

SKRIPSI

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN FORMALDEHID KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN



**Dibuat untuk Memenuhi Syarat Mengikuti Ujian Sarjana pada
Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

MARETA DWI SAHARANY (03031282025060)

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

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN FORMALDEHID KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

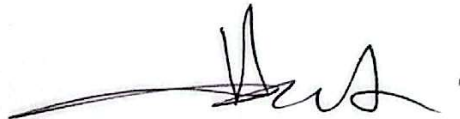
Dibuat untuk Memenuhi Syarat Mengikuti Ujian Sarjana
Pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh:

MARETA DWI SAHARANY (03031282025060)

Indralaya, 10 Juli 2025

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



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

NIP. 195610241981032001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Formaldehid Kapasitas 50.000 Ton/tahun" telah dipertahankan oleh Mareta Dwi Saharany dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 23 Juni 2025. Dengan ini menyatakan bahwa:

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

()

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

()

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

1/7/2025
()

Indralaya, 10 Juli 2025

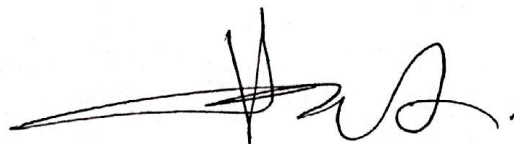
Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

Pembimbing Tugas Akhir



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

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

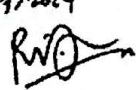
MARETA DWI SAHARANY

03031282025060

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN FORMALDEHID
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN”**

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

1. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph. D ()
NIP. 197505112000122001
2. Dr. Ir. Asyeni Miftahul Jannah, S.T., M. Si ()
NIP. 198606292008122002
3. Ir. Rizka Wulandari, S.T., M.T. (^{1/9/2024}
)
NIP. 199007112019032018

Indralaya, 10 Juli 2025

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir



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

NIP. 195610241981032001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mareta Dwi Saharany
NIM : 03031282025060
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Formaldehid
Kapasitas 50.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Fakultas Teknik/Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan sesungguhnya bahwa Karya Ilmiah berbentuk Skripsi ini merupakan hasil karya saya yang didampingi Dosen Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Selain itu semua dokumen yang disertakan dalam Karya ilmiah ini adalah benar dan sesuai dengan kenyataannya. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini atau pemalsuan dokumen, maka saya bersedia menerima konsekuensi hukum dan sanksi dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

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

Indralaya, Juli 2025



Mareta Dwi Saharany

NIM. 03031282025060



RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN FORMALDEHID KAPASITAS
50.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Mei 2025

Mareta Dwi Saharany

Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik pembuatan Formaldehid dengan kapasitas produksi 50.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2028 di daerah Bontang Lestari, Kecamatan Bontang Selatan, Kota Bontang, Kalimantan Timur dengan luas area sebesar 2,2 Ha. Pabrik beroperasi secara kontinu selama 24 jam/hari selama 300 hari operasional per tahun. Proses pembuatan mengacu pada patent WO 2022/079434 A1 tahun 2022. Bahan baku yang digunakan adalah metanol dan oksigen serta katalis berupa *iron molybdenum oxide*. Jenis reaktor yang digunakan adalah *Fixed Bed Multitubular reactor*, beroperasi pada temperatur 325°C dan tekanan 2 atm dengan proses *mixed oxide catalyst*. Bentuk perusahaan yang akan didirikan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line and staff* serta total karyawan yaitu 176 pekerja. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi sebagai berikut.

❖ <i>Total Capital Investment</i>	= US\$ 15.610.487,49
❖ <i>Selling Price per Year</i>	= US\$ 24.301.285,71
❖ <i>Total Production Cost</i>	= US\$ 15.728.007,23
❖ <i>Annual Cash Flow</i>	= US\$ 7.565.153,51
❖ <i>Pay Out Time</i>	= 2,1 Tahun
❖ <i>Rate of Return</i>	= 41,19%
❖ <i>Discounted Cash Flow</i>	= 47,80%
❖ <i>Break Even Point</i>	= 35,18%
❖ <i>Service Life</i>	= 11 Tahun

Kata Kunci: *Formaldehyde, Iron Molybdenum Oxide, Mixed Oxide Catalyst*

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Formaldehid Kapasitas 50.000 Ton/Tahun”. Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu sebagai syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M. T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM. selaku Sektetaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
5. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materi.
6. Serta Teman-teman yang selalu memberikan motivasi serta saran yang sangat membantu dalam penyusunan tugas akhir.

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

Indralaya, Maret 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
RINGKASAN	vi
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah Dan Perkembangan Formaldehid	2
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Formaldehid	4
1.4. Sifat Fisik dan Sifat Kimia	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK	11
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	11
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi	12
2.3. Pemilihan Bahan Baku	14
2.4. Pemilihan Proses	15
2.5. Uraian Proses.....	16
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	19

3.1. Lokasi Pabrik.....	19
3.2. Luas Area Pabrik	23
3.3. Tata Letak Pabrik.....	23
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	26
4.1. Neraca Massa	26
4.2. Neraca Panas	30
BAB V UTILITAS.....	37
5.1. Unit Pengadaan Steam.....	37
5.2. Unit Pengadaan Air	38
5.3. Unit Pengadaan Dowtherm A	43
5.4. Unit Pengadaan Listrik.....	43
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar	45
BAB VI SPESIFIKASI ALAT	47
6.1. Tangki-01 (T-01).....	47
6.2. Tangki-02 (T-02).....	47
6.3. Blower-01 (BL-01).....	48
6.4. Blower-02 (BL-02).....	48
6.5. Pompa-01 (P-01)	49
6.6. Pompa-02 (P-02)	50
6.7. Pompa-03 (P-03)	51
6.8. Vaporizer-01 (VP-01)	51
6.9. Heater-01 (H-01)	52
6.10.Cooler-01 (C-01)	53
6.11.Cooler-02 (C-02)	54
6.12.Cooler-03 (C-03)	55
6.13.Reaktor (R-01).....	56

6.14. Absorber-01 (AB-01)	57
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	58
7.1. Bentuk Perusahaan	58
7.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	59
7.3. Tugas dan Wewenang	62
7.4. Sistem Kerja	68
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	69
BAB VIII ANALISA EKONOMI	74
8.1. Profitabilitas (Keuntungan)	75
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal.....	76
8.3. Total Modal Akhir	77
8.4. Laju Pengembalian Modal.....	79
8.5. Break Even Point (BEP).....	81
BAB IX KESIMPULAN	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Sifat Fisika Udara	7
Tabel 2. 1. Tingkat Pertumbuhan Impor Rata-Rata Formaldehid.....	12
Tabel 2. 2. Data Industri Produsen Formaldehid di Indonesia.....	13
Tabel 2. 3. Perbandingan Macam Proses Pembuatan Formaldehid	15
Tabel 3. 1. Perincian Luas Area Pabrik Formaldehid	23
Tabel 4. 1. Neraca Massa <i>Vaporizer</i> (VP-01)	26
Tabel 4. 2. Neraca Massa Mixing Point (MP-01) sebelum Recycle.....	26
Tabel 4. 3. Neraca Massa Mixing Point (MP-01) setelah Recycle	26
Tabel 4. 4. Neraca Massa Mixing Point (MP-02) sebelum Recycle.....	27
Tabel 4. 5. Neraca Massa Mixing Point (MP-02) sesudah Recycle	27
Tabel 4. 6. Neraca Massa Reaktor (R-01) sebelum ada Recycle	28
Tabel 4. 7. Neraca Massa Reaktor (R-01) setelah Recycle.....	28
Tabel 4. 8. Neraca Massa Absorber (AB-01) sebelum Recycle	28
Tabel 4. 9. Neraca Massa Absorber (AB-01) sesudah Recycle	29
Tabel 4. 10. Neraca Massa Tee-01 sebelum Recycle.....	29
Tabel 4. 11. Neraca Massa Tee-01 sesudah Recycle.....	29
Tabel 4. 12. Neraca Panas Vaporizer (VP-01) sebelum Recycle	30
Tabel 4. 13. Neraca Panas Vaporizer (VP-01) sesudah Recycle.....	30
Tabel 4. 14. Neraca Panas Blower-01 (BL-01).....	30
Tabel 4. 15. Neraca Panas Mixing Point-01 (MP-01) sebelum Recycle	31
Tabel 4. 16. Neraca Panas Mixing Point-01 (MP-01) sesudah Recycle	31
Tabel 4. 17. Neraca Panas Blower-02 (BL-02) sebelum Recycle	31
Tabel 4. 18. Neraca Panas Blower-02 (BL-02) sesudah Recycle	31
Tabel 4. 19. Neraca Panas Mixing Point-02 (MP-02) sebelum Recycle	32
Tabel 4. 20. Neraca Panas Mixing Point-02 (MP-02) sesudah Recycle	32
Tabel 4. 21. Neraca Panas Heater (H-01) sebelum Recycle	32
Tabel 4. 22. Neraca Panas Heater (H-01) sesudah Recycle.....	33
Tabel 4. 23. Neraca Panas Reaktor (R-01) sebelum Recycle	33
Tabel 4. 24. Neraca Panas Reaktor (R-01) sesudah Recycle	33
Tabel 4. 25. Neraca Panas Cooler (C-01) sebelum Recycle	34

Tabel 4. 26. Neraca Panas Cooler (C-01) sesudah Recycle.....	34
Tabel 4. 27. Neraca Panas Cooler (C-02) sebelum Recycle	34
Tabel 4. 28. Neraca Panas Cooler (C-02) sesudah Recycle.....	34
Tabel 4. 29. Neraca Panas Absorber (AB-01) sebelum Recycle	35
Tabel 4. 30. Neraca Panas Absorber (AB-01) sesudah Recycle	35
Tabel 4. 31. Neraca Panas Cooler (C-03) sebelum Recycle	35
Tabel 4. 32. Neraca Panas Cooler (C-03) sesudah Recycle.....	36
Tabel 4. 33. Neraca Panas Tee-01 sebelum Recycle.....	36
Tabel 4. 34. Neraca Panas Tee-01 sesudah Recycle	36
Tabel 5. 1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas.....	37
Tabel 5. 2. Kebutuhan Saturated Steam.....	38
Tabel 5. 3. Kebutuhan Air Pendingin.....	38
Tabel 5. 4. Total Kebutuhan Air.....	42
Tabel 5. 5. Kebutuhan Listrik Peralatan	43
Tabel 7. 1. Pembagian Jadwal Shift Kerja Karyawan.....	68
Tabel 7. 2. Perincian Jumlah Karyawan	71
Tabel 8. 1. Total Penjualan Produk	75
Tabel 8. 2. Angsuran Pengembalian Modal	77
Tabel 8. 3. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Grafik Impor Formaldehid di Indonesia	13
Gambar 3. 1. Lokasi Pendirian Pabrik Formaldehid	19
Gambar 3. 2. Tata Letak Pabrik Formaldehid	25
Gambar 3. 3. Tata Letak Peralatan Pabrik Formaldehid	25
Gambar 7. 1. Struktur Organisasi Perusahaan	61
Gambar 7. 2. Ketentuan Tenaga Kerja Proses untuk Industri Kimia	70
Gambar 8. 1. Grafik <i>Break Even Point</i> (BEP)	82

DAFTAR NOTASI

1. TANGKI

C_c	= Tebal korosi yang diizinkan (in)
D	= Diameter tangki (m)
E_j	= <i>Joint efficiency</i>
H_e	= Tinggi head (m)
H_s	= Tinggi silinder (m)
H_t	= Tinggi total tangki (m)
P	= Tekanan desain (Psi)
r	= Jari-jari tangki (m)
S	= <i>Allowable working stress</i> (psi)
t	= Tebal dinding tangki (m)
W	= Laju alir massa (kg/jam)
V_e	= Volume head (m ³)
V_s	= Volume silinder (m ³)
V_t	= Volume tangki (m ³)
ρ	= Densitas (kg/m ³)

2. HEATER, COOLER, HEAT EXCHANGER, VAPORIZER

A	= Luas area perpindahan panas (ft ²)
a''	= <i>Tube surface area</i> (ft ² /ft)
a_t'	= <i>Flow area per tube</i> (in ²)
a_t	= <i>Flow area tube</i> (ft ²)
a_s	= <i>Cross flow area shell</i> (ft ²)
B	= <i>Baffle Space</i> (in)
C'	= <i>Clearance</i> (in)
C_p	= Kapasitas panas fluida
D_e	= Diameter ekuivalen (ft)
D_s	= Diameter shell
f	= Faktor friksi
G_s	= Laju alir massa fluida pada shell (lb/jam.ft ²)

Gt	= Laju alir massa fluida pada tube, (lb/jam.ft ²)
h _{io}	= Koefisien perpindahan panas di tube (Btu/jam ft ² °F)
h _o	= Koefisien perpindahan panas di shell (Btu/jam ft ² °F)
ID	= <i>Inside Diameter</i> (in)
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal fluida (Btu/jam ft ² °F)
L	= Panjang tube (ft)
LMTD	= <i>Logarithmic Mean Temperature Difference</i> (°F)
NT	= Jumlah tube
OD	= <i>Outside diameter</i> (in)
Pr	= Bilangan Prandtl
P _T	= <i>Tube Pitch</i> (in)
Q	= Beban Panas (Btu/jam)
R _d	= <i>Dirt Factor</i>
Re	= Bilangan <i>Reynold</i>
s	= <i>Specific gravity</i>
T ₁	= Temperatur inlet fluida panas (°F)
T ₂	= Temperatur outlet fluida panas (°F)
t ₁	= Temperatur inlet fluida dingin (°F)
t ₂	= Temperatur outlet fluida dingin (°F)
t _c	= Temperatur rata-rata fluida dingin (°F)
T _c	= Temperatur rata-rata fluida panas (°F)
U _c	= <i>Clean overall coefficient</i> (Btu/jam ft °F)
U _d	= <i>Design overall coefficient</i> (Btu/jam ft °F)
V	= Laju alir volumetrik
W	= Laju alir massa (kg/jam)
μ	= Viskositas fluida (lb/ft jam)

3. 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	= <i>Fanning Friction</i>
Ff	= <i>Friction Loss</i> (J/kg)
gc	= Percepatan gravitasi (ft/s ²)
hex	= <i>Enlargement Loss</i> (J/kg)
hc	= <i>Sudden Contration Friction Loss</i> (J/kg)
hf	= <i>Loss in Fitting Elbow and Valve</i> (J/kg)
ΣF	= <i>Total Friction Loss</i> (J/kg)
ID	= <i>Inside Diameter</i> (in)
K _{ex} , K _c	= Koefisien ekspansi, Koefisien kontraksi
L	= Panjang pipa (ft)
Le	= Panjang ekuivalen pipa (ft)
M _s	= Laju alir massa (lb/menit)
MPH	= <i>Power motor</i> (HP)
NPSH	= <i>Net Positive Suction head</i> (m)
N _{re}	= <i>Reynold Number</i>
OD	= <i>Outside diameter</i> (in)
T	= Temperatur (°C)
P	= Tekanan (atm)
Q _f	= Kapasitas pompa (ft ³ /s)
V	= Kecepatan alir (m/s)
ρ	= Densitas (lb/ft ³)
η	= Efisiensi Pompa

4. BLOWER

C _p	= Kapasitas panas gas, tekanan konstan (Kj/kmol. K)
C _v	= Kapasitas panas gas, volume konstan (Kj/kmol. K)
hp	= <i>Power Blower</i> (horsepower)
Q	= Laju alir volumetrik (ft ³ /menit)
W _s	= Laju alir massa (kg/jam)
T	= Temperatur (°C)
P	= Tekanan (bar)

P = Densitas gas (kg/m^3)

5. REAKTOR

Af = Free Area (m^2)

AT = Tube area (m^2)

As = Luas area shell (m^2)

a'' = Flow area (m^2)

Cc = Corrosion maksimum (m)

CAO = Konsentrasi reaktan mula-mula (kmol/m^3)

Ds = Diameter shell (m)

De = Diameter ekuivalen (m)

Ej = Joint efisiensi

E = Energi aktivasi

FAO = Jumlah feed mula-mula (kmol/jam)

G = Tube side mass velocity ($\text{kg/m}^2 \text{ s}$)

Hs = Tinggi Head (m)

HR = Tinggi reaktor total (m)

ID = Diameter dalam (m)

k = Konstanta kecepatan reaksi

L = Tinggi Reaktor

N_T = Jumlah tube

OD = Diameter luar (m)

P = Tekanan (atm)

Q = Laju alir volumetrik (m^3/s)

Re = Bialangan *Reynold*

ri = Jari-jari kolom (in)

S = *Working stress allowable*

t = Tebal dinding tangki (m)

T = Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

V_R = Volume reaktor (m^3)

V_S = *Volume Shell* (m^3)

V_T = Volume per tube (m^3)

W	= Laju alir massa (kg/jam)
μ	= Viskositas (kg/m s)
ϕ	= Porositas katalis
ρ	= Densitas gas (kg/m ³)
ΔP_t	= <i>Tube side pressure drop</i> (Pa)
ΔP_s	= <i>Shell side pressure drop</i> (Pa)

6. ABSORBER

A	= Cross sectional area of column (m ²)
C_c	= Tebal korosi maksimum (in)
D	= Diameter kolom (m)
D_G	= Difusivitas gas (m ² /s)
D_L	= Difusivitas liquid (m ² /s)
d_s	= Diameter packing (m)
E_j	= <i>Joint efficiency</i>
F	= Factor Packing
FG	= Koefisien perpindahan massa gas (kmol/m ² s)
FG_a	= Koefisien volumetrik gas (kmol/m ³ s)
FL_a	= Koefisien volumetrik liquid (kmol/m ³ s)
G	= Laju alir gas masuk (kg/s)
G	= Superficial gas molar velocity (kmol/m ² s)
G'	= Laju alir gas saat flooding (kg/m ² s)
g_c	= Percepatan gravitasi
H_tG	= Tinggi transfer unit fase gas (m)
H_tL	= Tinggi transfer unit fase liquid (m)
H_{tOG}	= Tinggi transfer unit keseluruhan (m)
L'	= Superficial liquid mass velocity (kg/m ² s)
L	= Laju alir produk (kg/s)
N_{tOG}	= Jumlah transfer unit
OD	= Outside diameter (m)
P	= Tekanan desain
r	= Jari-jari kolom (m)

S	= Allowable working stress (Psi)
t	= Tebal dinding kolom (m)
T	= Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Z	= Tinggi packing (m)
μ_G	= Viskositas gas (kg/m s)
μ_L	= Viskositas liquid (kg/m s)
ρ_G	= Densitas gas (kg/m ³)
ρ_L	= Densitas liquid (kg/m ³)
σ	= Tegangan permukaan (N/m)
ϕ_{Lo}	= <i>Liquid operating holdup</i>
ϕ_{Ls}	= <i>Liquid static holdup</i>
ϕ_{Lt}	= <i>Total liquid holdup</i>
ε	= <i>Energy of molecular attraction</i>
ε_{Lo}	= <i>Operating void space in the packing</i>
α_A	= Interfacial area (m ² /m ³)

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I.	PERHITUNGAN NERACA MASSA
LAMPIRAN II.	PERHITUNGAN NERACA PANAS
LAMPIRAN III.	PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT
LAMPIRAN IV.	PERHITUNGAN EKONOMI
LAMPIRAN V.	TUGAS KHUSUS

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan sumber daya alam dan sumber daya manusia sehingga berpotensi dalam mengembangkan berbagai jenis industri. Adanya dorongan globalisasi dan kemajuan teknologi yang pesat, Indonesia dapat menjadi negara industri besar yang mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri dan bahkan menjadi negara eksportir produk industri di segala bidang. Sektor industri merupakan jalur alternatif berperan penting terhadap pertumbuhan ekonomi negara salah satunya adalah pembangunan industri kimia.

Industri kimia diharapkan dapat memberikan kontribusi yang besar terhadap perekonomian Indonesia karena dapat menyerap modal yang besar, menciptakan lapangan kerja, serta menghasilkan nilai tambah. Berdasarkan Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi, industri kimia menjadi salah satu sektor yang menjadi penyumbang paling besar terhadap capaian nilai ekspor industri manufaktur nasional tahun 2023 yaitu sebesar USD 17,30 miliar. Hal tersebut menunjukkan bahwa Industri kimia dapat menjadi sumber pendapatan ekspor yang penting bagi Indonesia.

Namun, Indonesia masih mengimpor bahan baku atau produk-produk industri kimia dari luar negeri yang mengakibatkan devisa negara berkurang. Untuk itu, diperlukan suatu usaha untuk menanggulangi ketergantungan impor yang salah satu solusinya adalah dengan pendirian pabrik untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Sampai saat ini industri kimia yang masih kurang mencukupi kebutuhan dalam negeri adalah industri formaldehid.

Formaldehid (juga disebut metanal atau formalin) merupakan senyawa kimia organik golongan aldehida dengan rumus kimia CH_2O . Formaldehid merupakan salah satu bahan kimia organik yang sangat penting dalam industri kimia. Bahan kimia ini banyak digunakan sebagai bahan baku maupun bahan pembantu berbagai industri kimia. Kegunaan formaldehid dalam industri kimia sangat banyak, diantaranya sebagai bahan baku pembuatan melamin formaldehid, urea formaldehid, fenol formaldehid. Formaldehid dapat digunakan secara

langsung, akan tetapi dalam jumlah kecil misalnya sebagai pengawet, bahan penelitian dan desinfektan pada ruangan rumah sakit. Selain itu, Formaldehid juga menjadi senyawa yang banyak digunakan untuk memproduksi senyawa kimia lainnya yang diterapkan pada industri kayu, plastik dan *coating*.

Besarnya penggunaan formaldehid dalam memproduksi berbagai senyawa kimia lainnya menyebabkan kebutuhan formaldehid sebagai bahan baku produksi senyawa tersebut juga meningkat serta memiliki nilai strategis dalam perkembangan dunia industri di dalam negeri. Selain itu, apabila ditinjau berdasarkan produksi formaldehid di dunia, Indonesia masih berada dalam persentase produksi sebesar 1,2% (Mahdi dkk, 2023). Nilai tersebut terbilang rendah jika dibandingkan dengan USA sebesar 13,9% dan China 34,2%. Oleh karena itu, dengan didirikannya pabrik formaldehid di Indonesia diharapkan dapat membantu mengurangi ketergantungan pada impor bahan kimia, mencukupi kebutuhan dalam negeri dan meningkatkan orientasi ekspor di Indonesia. Pendirian pabrik formaldehid juga dapat bertujuan untuk mendiversifikasi produk menjadi bahan-bahan yang lebih ekonomis.

1.2. Sejarah Dan Perkembangan Formaldehid

Formaldehid memiliki rumus kimia CH_2O dan merupakan senyawa aldehida yang paling sederhana namun paling reaktif. Senyawa formaldehid dapat berbentuk gas atau cair yang dikenal sebagai formalin, atau berupa padatan yang dikenal sebagai paraformaldehyde atau trioxane. Formaldehid memiliki bau yang kuat dan menyengat serta berwujud gas tidak berwarna apabila pada suhu kamar. Meskipun dalam udara bebas formaldehid berada dalam wujud gas, tetapi bisa larut dalam air (biasanya dijual dalam kadar larutan 37% menggunakan merk dagang 'formalin' atau 'formol'). Dalam air, formaldehid mengalami polimerisasi dan sedikit sekali yang ada dalam bentuk monomer H_2CO . Larutan ini umumnya mengandung beberapa persen metanol untuk membatasi polimerisasinya. Pada umumnya, formaldehid terbentuk akibat reaksi oksidasi katalitik pada methanol. Oleh sebab itu, formaldehid bisa dihasilkan dari pembakaran bahan yang mengandung karbon dan terkandung dalam asap pada kebakaran hutan, knalpot mobil, dan asap tembakau.

Formaldehid pertama kali dilaporkan pada tahun 1859 oleh Alexander Mikhailovich Butlerov, seorang ahli kimia Rusia, ketika mencoba mensintesis metilen glikol. Namun, formaldehid tidak teridentifikasi secara meyakinkan sampai tahun 1867, ketika August Wilhelm von Hofmann, seorang ilmuwan Jerman, pertama kali mengumumkan produksi formaldehid dengan melewati uap metanol di udara melalui tembaga panas. Pembuatan formaldehid murni dijelaskan kemudian oleh Kekulé pada tahun 1882. Produksi formaldehid secara industri menjadi mungkin pada tahun 1882, ketika Tollens menemukan metode untuk mengatur rasio uap metanol: udara dan memengaruhi hasil reaksi.

Produksi formaldehid secara komersial dimulai di Jerman pada tahun 1880-an dan diambil alih oleh Belgia, Prancis, dan Amerika Serikat pada awal tahun 1900-an. Perusahaan Jerman, Mercklin und Lösekann, mulai memproduksi dan memasarkan formaldehid dalam skala komersial pada tahun 1889. Perusahaan Jerman lainnya, Hugo Blank, mematenkan penggunaan pertama katalis perak pada tahun 1910. Formaldehid awalnya diproduksi dalam jumlah kecil untuk digunakan di beberapa pabrik dan laboratorium universitas, namun perbaikan pada proses manufaktur akhirnya menghasilkan produksi formaldehid dalam skala besar.

Perkembangan sintesis metanol bertekanan tinggi oleh BASF pada tahun 1923 memungkinkan produksi formaldehid pada skala industri. Awalnya, kain kasa yang terbuat dari kawat perak digunakan sebagai elemen katalis. Namun jenis katalis ini hampir seluruhnya digantikan oleh lapisan katalis dangkal yang terbuat dari kristal perak. Perkembangan lebih lanjut menghasilkan katalis campuran oksida besi-molibdenum oksida yang kini bersaing dengan proses perak, dan menyumbang sekitar 45% produksi formaldehid di dunia. Pabrik komersial pertama yang menggunakan katalis Iron Molybdenum pada prosesnya terjadi pada tahun 1952. Proses lainnya yang menggunakan oksidasi hidrokarbon atau hidrogenasi karbon monoksida tidak signifikan secara industri karena tidak menguntungkan jika dibandingkan dengan konversi metanol baik dari segi biaya atau penurunan hasil.

Meskipun ada banyak kemungkinan cara untuk mensintesis formaldehid, metode metanol dioksidasi dengan katalis logam masih menjadi dasar produksi industri formaldehid saat ini. Dalam proses dehidrogenasi, reaksi yang sangat endotermik terjadi dengan adanya besi dan kromium oksida. Uapnya diserap ke

dalam air, menghasilkan formalin dalam larutan. Berbeda dengan proses dehidrasi, proses oksidasi sangat eksotermik. Udara dipanaskan dan diumpankan ke evaporator metanol, tempat gas bereaksi. Gas-gas tersebut kemudian dipanaskan dan direaksikan dengan adanya perak dan molibdenum oksida. Gas produk dikirim ke *light end stripper* dan kemudian *alcohol stripper*, tempat formalin diproduksi. Beberapa metanol yang tidak bereaksi juga diperoleh kembali dan didaur ulang.

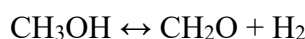
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Formaldehid

Pada umumnya, metode utama produksi formaldehid melibatkan oksidasi metanol. Proses pembuatan formaldehid dari metanol dan udara secara industri dapat dilakukan dengan dua jenis proses yaitu proses *silver catalyst*, dan proses *metal oxide catalyst*.

1.3.1. Proses *Silver Catalyst*

Sesuai dengan namanya, proses ini melibatkan oksidasi metanol dengan adanya katalis perak pada suhu tinggi (600-720°C) dan tekanan atmosferik. Katalis perak berumur sekitar 3-8 bulan. Umpan metanol dan udara masuk secara bersama-sama ke evaporator untuk diuapkan, selanjutnya dilewatkan bed-reactor yang berisi kristal perak. Jenis reaktor yang digunakan adalah *fixed bed multitube reactor*. Di reaktor terjadi reaksi oksidasi metanol menjadi formaldehid. Selama proses berlangsung tiga jenis reaksi, sebagai berikut:

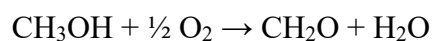
- Dehidrogenasi metanol



- Oksidasi Hidrogen menjadi air



- Dehidrogenasi Oksidatif



Selain reaksi diatas, produk sampingan juga dapat terbentuk dalam reaksi sekunder seperti karbon monoksida, karbon dioksida, metil format, dan asam format. Hasil gas reaksi didinginkan langsung dengan air, sisa panas di dasar absorber formaldehid. Di absorber, sebagian besar metanol, air, dan formaldehid dipisahkan. Larutan formaldehid 42% dari bagian bawah kolom diumpankan ke distilasi, sedangkan metanol diperoleh kembali di bagian atas kolom, dan didaur ulang ke bagian bawah evaporator. Produk formaldehid dan metanol kurang dari

1%(wt) diambil dari dasar kolom distilasi dan didinginkan. Secara keseluruhan, proses *silver catalyst* terbagi menjadi dua jenis proses yaitu *methanol ballast process* dan *BASF process*.

1. Complete Conversion of Methanol (BASF Process)

Proses BASF merupakan proses sintesis formaldehid yang melewati metanol melalui katalis perak. Proses ini dioperasikan pada temperatur sekitar 680-720°C. Produk biasanya mengandung 40-55 wt% berat formaldehid dengan rata-rata metanol 1,3 wt% dan asam format 0,01 wt%. Konversi metanol berkisar 97-98% dengan yield sebesar 89,5-90,5%.

Umpan bahan baku metanol dan air akan masuk ke evaporator bersama dengan udara proses serta dicampur dengan sisa gas daur ulang dari kolom absorpsi. Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan metanol dan air disediakan oleh heat exchanger, yang dihubungkan dengan tahap penyerapan pertama dari kolom absorpsi.

2. Incomplete Conversion and Distillative Recovery of Methanol

Formaldehid dapat diproduksi melalui oksidasi parsial dan pemulihan distilasi metanol. Proses ini dilakukan pada temperatur sekitar 590-650°C. Dibandingkan dengan proses BASF, metode ini berjalan pada suhu yang lebih rendah, yang berdampak pada reaksi yang tidak selesai dan sebagian metanol didaur ulang kembali ke saluran masuk. Ini adalah salah satu cara untuk menjaga suhu tetap terkendali karena reaksinya tidak selesai. Produk biasanya mengandung 42 wt% formaldehid sehingga perlu didistilasi untuk mencapai konsentrasi yang tinggi. Konversi metanol dalam proses ini berkisar antara 77-87% dan yield sebesar 91-92% (Trulsson, 2015).

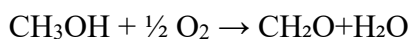
Campuran umpan uap metanol murni dan udara segar dihasilkan dalam evaporator. Uap yang dihasilkan digabungkan dengan steam kemudian mengalami pemanasan tidak langsung dan dimasukkan ke dalam reaktor. Setelah bereaksi di reaktor, gas reaksi didinginkan secara tidak langsung dengan air, sehingga menghasilkan uap. Sisa panas reaksi kemudian dikeluarkan dari gas dalam cooler dan diumpankan ke bagian bawah kolom absorpsi. Larutan formaldehid 42% berat dari bagian bawah kolom absorpsi diumpankan ke kolom distilasi. Produk yang mengandung hingga 55% berat formaldehid dan kurang dari 1% berat metanol

diambil dari dasar kolom distilasi dan didinginkan. Larutan formaldehid kemudian biasanya dimasukkan ke dalam unit penukar anion untuk mengurangi kandungan asam formatnya hingga tingkat yang ditentukan yaitu kurang dari 50 mg/kg.

1.3.2. Proses *Metal Oxide* (Formox)

Proses *metal oxide* atau yang disebut dengan proses Formox merupakan proses produksi formaldehid dari metanol menggunakan katalis *Iron Molybdenum Oxide* (katalis oksida besi). Katalis ini dapat berumur sekitar 12-18 bulan. Proses formox beroperasi pada temperatur 250-400°C, dan tekanan atmosferik. Konversi yang diperoleh bisa mencapai 95-99% dengan *yield* formaldehid 88-92% (Bahmanpour dkk, 2014). Namun, konversi bergantung pada temperatur karena pada temperatur >470°C, reaksi samping meningkat secara signifikan yaitu pembentukan karbon monoksida.

Proses dimulai dengan umpan metanol dialirkan ke evaporator yang dipanaskan dengan uap. Udara dan *recycle* gas buang dari absorber dicampur dan dipanaskan terlebih dahulu dalam *heat exchanger* sebelum dimasukkan ke evaporator. Umpan metanol uap dengan udara dan gas *recycle* kemudian direaksikan dengan katalis *iron-molybdenum oxide* dalam reaktor *fixed bed multitube*. Reaksi yang terjadi sebagai berikut.



Produk gas keluar meninggalkan reaktor dan didinginkan hingga suhu 110°C dalam unit *heat exchanger* kemudian dialirkan ke kolom absorber. Proses ini memiliki keuntungan karena tidak adanya pemakaian kolom distilasi dalam proses. Konsentrasi formaldehid diatur dengan mengendalikan jumlah air proses yang ditambahkan di bagian atas kolom. Produk akhir yang dihasilkan terdiri dari 0,5-1,5 wt% metanol dan 55 wt% formaldehid. Sedangkan produk samping yang paling umum adalah CO dan DME. Karbondioksida dan asam format juga dapat diproduksi namun dalam jumlah yang lebih kecil (Trulsson, 2015). Kelebihan dari penggunaan katalis logam adalah katalis tidak mudah teracun, proses berlangsung pada tekanan rendah, dan selektivitas yang tinggi.

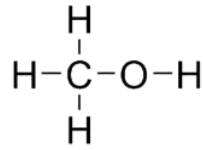
1.4. Sifat Fisik dan Sifat Kimia

1.4.1. Bahan Baku

1) Metanol

- Sifat Fisik

Rumus Molekul : CH₄O



Rumus Bangun :

Berat Molekul : 32,042 g/mol

Wujud : Liquid

Titik Leleh : -97,53 °C

Titik Didih : 64,70 °C

Densitas pada 25 °C : 0,7866 g/mL

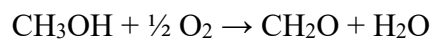
Temperatur Kritis : 239,43 °C

Tekanan Kritis : 8096 kPa

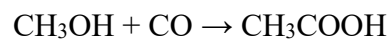
Volume Kritis : 117,8 cm³/mol

- Sifat Kimia

- 1) Reaksi dehidrogenasi dan dehidrogenasi oksidatif dengan katalis silver/molybdenum oksida membentuk formaldehid.



- 2) Reaksi karbonilasi dengan katalis kobalt/rhodium membentuk asam asetat.



- 3) Reaksi dehidrasi dengan katalis asam membentuk dimethyl eter dan air



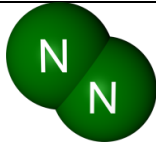
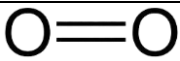
- 2) Udara

Udara terdiri dari campuran gas utama N₂ dan O₂ dengan komposisi N₂ sebesar 79% dan O₂ sebesar 21%.

- Sifat Fisik

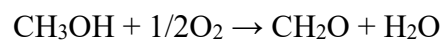
Tabel 1.1. Sifat Fisika Udara

Sifat Fisika	Nitrogen	Oksigen
Rumus Molekul	N ₂	O ₂

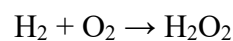
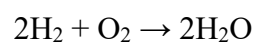
Rumus Bangun		
Berat Molekul	28,013 g/mol	31,998 g/mol
Wujud	Gas tidak berwarna	Gas tidak berwarna
Titik Leleh	-210,00 °C	-218,35 °C
Titik Didih	-195,798 °C	-182,953 °C
Densitas	1.145 g/L	1.1308 g/L
Temperatur Kritis	-146.94 °C	-118,57 °C
Tekanan Kritis	3.3958 Mpa	5.043 MPa
Volume Kritis	90 cm ³ /mol	73 cm ³ /mol

- Sifat Kimia

- 1) Reaksi dengan metanol menghasilkan formaldehid dan air



- 2) Reaksi dengan hidrogen menghasilkan senyawa peroksida dan air

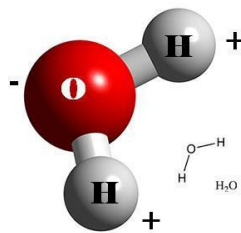


- 3) Sebagian besar reaksi kimia dengan oksigen adalah reaksi redoks dimana oksigen menerima dua elektron selama pembentukan oksida. Contoh reaksi oksidasi yang lambat adalah terjadinya korosi pada pelat besi karena karat. Warna merah merupakan hasil oksida besi yang terbentuk dari reaksi redoks besi dan oksigen dengan adanya uap air.

- 3) Air

- Sifat Fisik

Rumus Molekul : H₂O



Rumus Bangun :

Berat Molekul : 18,015 g/mol

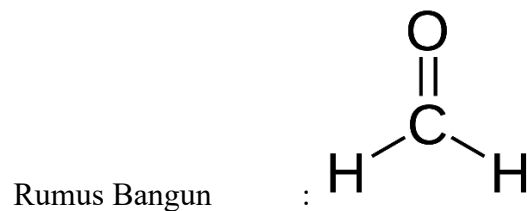
Fasa	: Liquid
Titik Leleh	: 0,00°C
Titik Didih	: 100°C
Densitas	: 0,9990 g/cm ³
Temperatur Kritis	: 373.9 °C
Tekanan Kritis	: 22.06 Mpa
Volume Kritis	: 56 cm ³ /mol
Viskositas	: 0,89 cP pada 25°C
Specific Heat	: 1 cal/g/°C

1.4.2. Produk

1) Formaldehid

- Sifat Fisik

Rumus Molekul : CH₂O



Berat Molekul : 30,026 g/mol

Fasa : Gas

Titik Leleh : -92 °C

Titik Didih : -19.1 °C

Densitas : 0,815 g/cm³

Gibbs energy : -109,9 Kj/mol (suhu 25°C)

Temperatur Kritis : 408,00 K

Tekanan Kritis : 65,86 Bar

Volume Kritis : 105 cm³/mol

- Sifat Kimia

1. Reaksi Dekomposisi

Pada suhu 150°C, formaldehid mengalami dekomposisi heterogen membentuk metanol dan CO₂. Sedangkan suhu > 350°C, akan terurai menjadi CO dan H₂.

2. Polimerisasi

Formaldehid berpolimerisasi secara perlahan pada suhu di bawah 100 °C, polimerisasi dipercepat oleh sedikit pengotor polar seperti asam, basa, atau air. Dalam larutan air formaldehid terhidrasi menjadi metilen glikol.

3. Reduksi dan Oksidasi.

Formaldehid mudah direduksi menjadi metanol dengan hidrogen melalui katalis nikel. Apabila formaldehid dioksidasi oleh asam nitrat, kalium permanganat, kalium dikromat, atau oksigen menghasilkan asam format atau CO₂ dan air.

4. Pembentukan Resin

Formaldehid berkondensasi dengan urea, melamin, uretan, sianamida, sulfonamid dan amina aromatik, serta fenol menghasilkan berbagai macam resin.

1.4.3. Katalis

1) Iron Molybdate

- Sifat Fisik

Rumus Molekul	: $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$
Berat Molekul	: 591,56 gr/gmol
Wujud	: Padat
Titik Leleh	: 956 °C
Warna	: coklat-kuning-hijau
Densitas	: 4,5 g/cm ³

2) Molybdenum Trioxide

Rumus Molekul	: MoO_3
Berat Molekul	: 143,94 g/mol
Wujud	: Padat
Titik Leleh	: 802 °C
Warna	: Putih-Kuning
Densitas	: 4,70 g/cm ³

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. n.d. *Data Ekspor Impor Nasional*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada tanggal 2 Mei 2024).
- Badan Pusat Statistik. n.d. *Data Ekspor Impor Nasional*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada tanggal 2 Mei 2024).
- Bahmanpour, A. M., Hoadley, A., dan Tanksale, A. 2014. Critical Review and Ecergy Analysis of Formaldehyde Production Process. *Rev Chem Eng*. Vol. 30(6): 583-604.
- Brunei Methanol Company. 2022. *Company Profile*. (Online). <https://www.brunei-methanol.com/company-profile>. (Diakses pada tanggal 2 Mei 2024)
- Comtradeplus.un.org. n.d. *UN Comtrade Database*. (Online). <https://comtrade.un.org/>. (Diakses pada 2 Mei 2024).
- Couper, J. R., Penney, W. R., Fair, J. R., dan Walas, S. M. 2012. *Chemical Process Equipment Selection and Design 3rd ed*. USA: Elsevier.
- Deshmukh, S. A. R. K., van Sint Annaland, M., dan Kuipers, J. A. M. 2005. Kinetics of Partial Oxidation of Methanol Over a Fe-Mo Catalyst. *Applied Catalysis A: general*. Vol. 289: 240-255.
- Formacare. n.d. *History of Formaldehyde*. (Online). History of Formaldehyde - Formacare. (Diakses pada tanggal 24 Januari 2024)
- Geankoplis, C. J., Hersel, A. A., dan Lepek, D. H. 2018. *Transport Process and Separation Process Principles 5th ed*. Prentice Hall.
- Hayness, W. M. 2014. *Handbook of Chemistry and Physics*. New York: CRC Press.
- Hummadi, K. K., Hassan, K. H., dan Mitchell, P. C. H. 2009. Selectivity and Activity of Iron Molybdate Catalyst in Oxidation of Methanol. *The Journal of Engineering Research*. Vol.6(1): 1-7.
- Kementrian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi. 2024. *Produk Manufaktur Tetap Mendominasi Capaian Ekspor Nasional*. (Online). <https://www.menpan.go.id/site/berita-terkini/berita-daerah/produk-manufaktur-tetap-mendominasi-capaian-ekspor-nasional>. (Diakses pada tanggal 28 Januari 2024).
- Kern, D.Q. 1983. *Process Heat Transfer*. Japan: Mc Graw Hill Book.

- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 1967. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology, Volume 1*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. 2001. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology, Volume 16*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- Lide, D. R. 2009. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Florida: CRC Press.
- Mahdi, H. I., Ramlee, N. N., Santos, D. H. D. S., Giannakoudakis, D. A., Oliveira, L. H. D, Selvasembian, R., Azelee, N. I. W., Bazargan, A., dan Meili, L. 2023. Formaldehyde Production Using Methanol and heterogeneous Solid Catalysts: A Comprehensive Review. *Molecular Catalysis*. Vol. 537: 1-18.
- Malik, M. I., Abatzoglou, N., dan Achouri, I. E. 2021. Methanol to Formaldehyde: An Overview of Surface Studies and Performance of an Iron Molybdate Catalyst. *Catalysts*. Vol. 11 (8): 1-24.
- Nurlia. 2019. Pengaruh Struktur Organisasi Terhadap Pengukuran Kualitas Pelayanan (Perbandingan Antara Ekspektasi / Harapan dengan Hasil Kerja). *Meraja Journal*. Vol. 2 (2): 51-66
- Okpala, C. C. dan Chukwumanya, E. O. 2016. Plant Layout's Analysis and Design. *International Journal of Advanced Engineering Technology*. Vol. 7: 201-206.
- Perry, R.H. dan Green, D.W. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th ed. New York: McGraw-Hill
- Peters, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th ed*. New York: McGraw-Hill
- Raun, K. V. 2018. Understanding the Deactivation of the Iron Molybdate Catalyst and its Influence on the Formox Process. Technical University of Denmark.
- Salthammer, T., Mentese, S., dan Marutzky, R. 2010. Formaldehyde in the Indoor Environment. *Chem. Rev.* 2536-2572.
- Setiyawati, N., Wharman, W. S., Syadiah, L., dan Wiyani, S. 2023. Struktur Organisasi dan Implementasinya pada Organisasi Koperasi Mahasiswa.
- Shakeel, K., Javaid, M., Muazzam, Y., Naqvi, S. R., Taqvi, S. A. A., Uddin, F., Mehran, M. T., Sikander, U., dan Niazi, M. B. K. 2020. Performance Comparison of Industrially Produced Formaldehyde Using Two Different Catalysts. *Processes*. Vol. 8(5): 1-12.

- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbot, M. M., dan Swihart, M. T. 2017. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition*. New York: McGraw Hill.
- Svensson, R. 2021. *Implementation of Reaction Kinetics into Reactor Model Followed by Validation of The Reactor Model*. [SKRIPSI]. Sweden. Lund University.
- The Engineering ToolBox. 2003. *Higher Calorific Values of Common Fuels: Reference & Data*. (online). https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html (Diakses pada tanggal 23 Maret 2025).
- Treybal, R. E. 1981. *Mass-Transfer Operation*. New York: McGraw-Hill.
- Trulsson, A. 2015. *By-Products from Production of Formaldehyde for Haldor Topsoe*. [SKRIPSI]. Lund University.
- Ullman, F., dan Bohnet, M. 2005. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vols. 1 to 39*. Wiley-VCH.
- Undang-Undang Republik Indonesia No 8 Tahun 1997. *Dokumen Perusahaan*. (Online). https://dpmpstsp.jabarprov.go.id/web/application/modules/arsip/files/1997_UU%208_DOKUMEN%20PERUSAHAAN.pdf (Diakses pada tanggal 8 Mei 2025).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007. *Perseroan Terbatas*. (Online). https://www.dpr.go.id/dokjdih/document/uu/UU_2007_40.pdf. (Diakses pada tanggal 5 Maret 2025).
- Vilbrandt, F. C., dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design 4th Edition Volume IV*. New York: McGraw-Hill International Edition.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Boston: Butterworth-Heinemann Series in Chemical Engineering.
- Walas, S.M. 1988. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Michigan: Butterworths
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Zhang, L. 2018. *Formaldehyde: Exposure, Toxicity, and Health Effects*. Royal Society of Chemistry.