

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN *TETRAHYDROFURAN*
DARI 1,4-BUTANEDIOL
KAPASITAS 60.000 TON PER TAHUN**



SKRIPSI

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

Oleh:

Aliya Azzahra	03031282126044
Muhammad Habbib	03031282126052

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

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TETRAHIDROFURAN DARI 1,4-BUTANEDIOL KAPASITAS 60.000 TON / TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Oleh:

Aliya Azzahra

NIM. 03031282126044

Muhammad Habbib

NIM. 0303128216052

Indralaya, Juli 2025

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

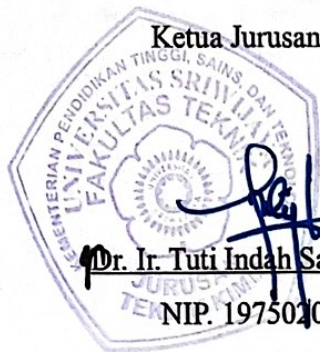


Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T.

NIP. 197809192003122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM.

NIP. 197504012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofuran dari 1,4-Butanediol Kapasitas 60.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan oleh Aliya Azzahra dan Muhammad Habbib dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 24 Juni 2025. Dengan ini menyatakan bahwa:

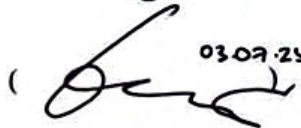
1. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 198010312005011003

() 4/25

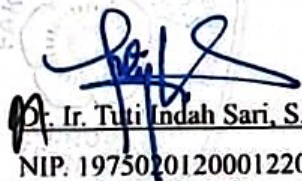
2. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.
NIP. 196009091987031004

()

3. Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 197503261999032002

() 03.07.25

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

Indralaya, Juli 2025
Pembimbing Tugas Akhir


Dr. Ir. Scelpiana, S.T., M.T.
NIP. 197809192003122001

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

ALIYA AZZAHRA

03031282126044

MUHAMMAD HABBIB

03031282126052

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TETRAHIDROFURAN
DARI 1,4-BUTANEDIOL KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juni 2025 oleh Dosen Penguji:

1. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003

( 9/7

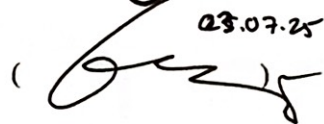
2. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.

NIP. 196009091987031004

(

3. Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

NIP. 197503261999032002

( 23.07.25

Indralaya, Juli 2025

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

(

Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T.

NIP. 197809192003122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aliya Azzahra

NIM : 03031282126044

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofuran dari
1,4-Butanediol Kapasitas 60.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Muhammad Habbib** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai sistem yang berlaku.

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

Indralaya, Juli 2025



Aliya Azzahra

03031282126044

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Habbib

NIM : 03031282126052

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofur dari
1,4-Butanediol Kapasitas 60.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Aliya Azzahra didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai sistem yang berlaku.

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

Indralaya, Juli 2025



Muhammad Habbib

03031282126052



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas berkat limpahan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Terahydrofuran dari 1,4-Butanediol Kapasitas 60.000 Ton/Tahun”. Tugas akhir ini diselesaikan dengan dukungan dari berbagai pihak. Diucapkan terima kasih yang setulusnya kepada:

- 1) Kedua orang tua penulis yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa yang tiada henti-hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 2) Ibu Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Dr. Ir. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM. selaku Sektetaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
- 5) Ibu Dr. Ir. Asyeni Miftahul Jannah, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya Kampus Indralaya.
- 6) Bapak/Ibu dosen dan staf Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 7) Sahabat, Rekan-rekan Teknik Kimia, dan kakak tingkat yang telah memberi semangat dan bantuan kepada penulis selama menyelesaikan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Palembang, Mei 2025

Tim Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TETRAHYDROFURAN DARI 1,4-BUTANEDIOL KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Juli 2025

Aliya Azzahra dan Muhammad Habbib

Dibimbing oleh Dr. Ir. Selpiana, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik *Tetrahydrofuran* dengan kapasitas pabrik sebesar 60.000 ton per tahun direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2030 dan akan berlokasi di Kawasan Industri Marunda Center Blok N, Sagara Makmur, Kecamatan Tarumajaya, Kabupaten Bekasi. Proses produksi *Tetrahydrofuran* di pabrik ini menggunakan reaksi dehidrasi 1,4-*Butanediol* sebagai bahan baku dengan bantuan katalis asam berupa resin penukar ion *Amberlyst-15* dalam sebuah *Fixed Bed Reactor*, yang beroperasi pada suhu 110°C dan tekanan 6 atm, mengacu pada paten CN 220835483 U. Pabrik ini berbentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dan menerapkan struktur organisasi *line and staff*, dipimpin oleh seorang direktur serta didukung oleh 190 karyawan. Berdasarkan analisis kelayakan ekonomi, pendirian pabrik ini dinilai layak untuk direalisasikan:

❖ <i>Total Capital Investment</i>	: US\$ 66.512.284,778
❖ <i>Net Profit Over Total life Time</i>	: US\$ 479.697.348,840
❖ <i>Total Capital Sink (TCS)</i>	: US\$ 467.833.425,660
❖ <i>Pay Out Time (POT)</i>	: 1,3 tahun
❖ <i>Rate of Return on Invesment (ROR)</i>	: 64,68%
❖ <i>Discounted Cash Flow</i>	: 71,77%
❖ <i>Break Even Point (BEP)</i>	: 33,36%

Kata Kunci : *Tetrahydrofuran*, *Fix Bed Reactor*, Perseroan Terbatas

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN.....	viii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	2
1.3. Proses Pembuatan	3
1.3.1. Proses Hidrogenasi.....	3
1.3.2. Proses Dehidrasi.....	3
1.3.3. Proses Siklodehidrasi	4
1.4. Deskripsi dan Kegunaan Tetrahidrofuran	8
1.5. Sifat Fisika dan Kimia	10
1.5.1. Bahan Baku.....	10
1.5.2. Produk.....	10
1.5.3. Katalis.....	11
BAB II PERENCANAAN PABRIK.....	12
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	12
2.2. Penentuan Kapasitas	13

2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	16
2.4. Pemilihan Proses	16
2.5. Uraian Proses.....	17
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....	19
3.1. Lokasi Pabrik.....	19
3.1.1. Ketersediaan Bahan Baku.....	24
3.1.2. Akses Transportasi dan Pemasaran	25
3.1.3. Utilitas	25
3.1.4. Penyediaan Tenaga Kerja	25
3.1.5. Karakteristik Lingkungan	26
3.2. Tata Letak Pabrik.....	26
3.3. Luas Area Pabrik	28
BAB IV NERACA MASSA DAN PANAS	30
4.1. Neraca Massa	30
4.2. Neraca Panas	33
BAB V UTILITAS	38
5.1. Unit Pengadaan Air.....	38
5.2. Unit Pengadaan Steam	43
5.2.1. <i>Steam</i> pemanas.....	43
5.3. Unit Pengadaan Listrik	44
5.3.1. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan.....	44
5.3.2. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan	45
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar	47
5.4.1. Bahan Bakar untuk Boiler	47
5.4.3. Total Kebutuhan Bahan bakar	48
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	49
6.1. Accumulator-01 (ACC-01)	49

6.2. <i>Condensor-01 (CD-01)</i>	49
6.3. <i>Cooler-01 (C-01)</i>	50
6.4. <i>Cooler-02 (C-02)</i>	50
6.5. <i>Extractive Distillation Column-01 (EDC-01)</i>	51
6.6. <i>Heater-01 (H-01)</i>	52
6.7. <i>Heater-02 (H-02)</i>	52
6.8. <i>Liquid Phase Membrane Dehydration-01 (MBR-01)</i>	53
6.9. <i>Reaktor-01 (R-01)</i>	54
6.10. <i>Reboiler-01 (RB-01)</i>	54
6.11. <i>Pompa-01 (P-01)</i>	55
6.12. <i>Pompa-02 (P-02)</i>	56
6.13. <i>Pompa-03 (P-03)</i>	57
6.14. <i>Pompa-04 (P-04)</i>	57
6.15. <i>Pompa-05 (P-05)</i>	58
6.16. <i>Tangki-01 (T-01)</i>	59
6.17. <i>Tangki-02 (T-02)</i>	60
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	61
7.1. <i>Bentuk Perusahaan</i>	61
7.2. <i>Struktur Organisasi</i>	62
7.3. <i>Tugas dan Wewenang</i>	65
7.3.1. <i>Pemegang Saham</i>	66
7.3.2. <i>Dewan Komisaris</i>	66
7.3.3. <i>Direktur Utama</i>	66
7.3.4. <i>Manajer Teknik dan Produksi</i>	67
7.3.5. <i>Manajer Pemasaran dan Keuangan</i>	67
7.3.6. <i>Manajer Umum dan Personalia</i>	68

7.3.7. Sekretaris	68
7.3.8. Supervisor	68
7.3.9. Operator	69
7.3.10. Staf	69
7.4. Sistem Kerja	69
7.4.1. Karyawan <i>Non-Shift</i>	69
7.4.2. Karyawan <i>Shift</i>	70
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	71
7.5.1. Direct Operating Labor (DOL)	71
7.5.2. <i>Indirect Operating Labor</i>	72
BAB VIII ANALISIS EKONOMI.....	76
8.1. Profitabilitas (Keuntungan)	77
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal	78
8.3. Total Modal Akhir	80
8.4. Laju Pengembalian Modal	82
8.5. Break Even Point (BEP)	83
BAB IX KESIMPULAN	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88
LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA	93
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	113
LAMPIRAN III PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT	141
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI.....	231
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS	248

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2. Data Impor Tetrahidrofuram dalam Kawasan Asia Tenggara.....	13
Gambar 3.1. Lokasi Pabrik Tetrahidrofuram, Marunda, Bekasi	20
Gambar 3.2. Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Lokasi Pabrik Tetrahidrofuram,21	
Gambar 3.3. Peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW).....	22
Gambar 3.4. Hasil Visualisasi OSM sesuai Zonasi RTRW Kabupaten Bekasi ...	23
Gambar 3.5. Jarak Lokasi Pabrik Tetrahidrofuram dengan	24
Gambar 3.6. Gambar Tata Letak Pabrik	28
Gambar 3.7. Plant LayOut Alat Proses.....	29
Gambar 7.1. Bagan Struktur Organisasi Lini.....	63
Gambar 7.2. Bagan Struktur Organisasi Lini dan Staf.....	64
Gambar 7.3. Bagan Struktur Organisasi Fungsional.....	65
Gambar 7.4. Struktur Organisasi.....	75
Gambar 8.1. Grafik Break Even Point (BEP)	85

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Macam-macam Perbandingan Proses Pembuatan Tetrahidrofuran	4
Tabel 1.2. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama.....	10
Tabel 1.3. Sifat Fisika dan Kimia Produk Utama	10
Tabel 1.4. Sifat Fisika dan Kimia Produk Samping	11
Tabel 1.5. Sifat Fisika dan Kimia Katalis	11
Tabel 2.4. Data Impor Tetrahidrofuran dalam Kawasan Asia Tenggara.....	13
Tabel 2.5. Analisis Pertumbuhan Rata-rata Data Impor Tetrahidrofuran	14
Tabel 2.6. Prediksi Data Impor Tetrahidrofuran di Kawasan Asia Tenggara	14
Tabel 2.7. Kapasitas Pabrik Tetrahidrofuran di Dunia	15
Tabel 4.1. Neraca Massa Mixing Point (MV-01)	31
Tabel 4.2. Neraca Massa Reaktor-01.....	31
Tabel 4.3. Neraca Massa MBR-01	31
Tabel 4. 4. Neraca Massa EDC-01	32
Tabel 4.5. Neraca Massa Condenser-01	32
Tabel 4.6. Neraca Massa Accumulator-01	32
Tabel 4. 7. Neraca Massa Reboiler-01.....	33
Tabel 4. 8. Neraca Panas H-01	34
Tabel 4. 9. Neraca Panas Mixing Point (MV-01).....	34
Tabel 4. 10. Neraca Massa Reaktor-01.....	34
Tabel 4. 11. Neraca Panas MBR-01	35
Tabel 4. 12. Neraca Panas H-02	35
Tabel 4. 13. Neraca Panas EDC-01	35
Tabel 4. 14. Neraca Panas Condenser-01	36
Tabel 4. 15. Neraca Panas ACC-01	36
Tabel 4. 16. Neraca Panas Reboiler-01.....	36
Tabel 4. 17. Neraca Panas C-01	37
Tabel 4. 18. Neraca Panas C-02	37
Tabel 5. 1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Utilitas.....	38
Tabel 5. 2. Kebutuhan Air Pendingin	39
Tabel 5. 3. Total Kebutuhan Air	43
Tabel 5. 4. Kebutuhan Saturated Steam.....	43

Tabel 5. 5. Total Kebutuhan Steam	44
Tabel 5. 6. Kebutuhan Listrik Peralatan	45
Tabel 5. 7. Total Kebutuhan Bahan Bakar	48
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal Kerja Pekerja Shift	71
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofur.....	73
Tabel 8.1. Tabel Penjualan Produk.....	77
Tabel 8.2. Angsuran Pengembalian Modal (US\$).....	79
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisis Ekonomi	86

DAFTAR NOTASI

1. ACCUMULATOR

Cc	= Tebal korosi maksimum, in
Ej	= Efisiensi pengelasan
ID	= <i>Inside Diameter</i> , m
OD	= <i>Outside Diameter</i> , m
L	= Panjang accumulator, m
P	= Tekanan desain, psi
S	= Tegangan kerja yang diizinkan, psi
T	= Temperatur operasi, °C
t	= Tebal dinding accumulator, cm
V	= Volume total, m ³
Vs	= Volume silinder, m ³
P	= Densitas, kg/m ³

2. COOLER, HEATER, CONDENSER, EVAPORATOR, REBOILER

A	= Area perpindahan panas, ft ²
C	= <i>Clearance</i> antar tube, in
D	= Diameter dalam tube, in
D _e	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, ft ² /in ²
G _s	= Laju alir massa fluida pada <i>shell</i> , lb/jam.ft ²
G _t	= Laju alir massa fluida pada <i>tube</i> , lb/jam.ft ²
g	= Percepatan gravitasi, m/s ²
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft ² . °F
h _i ,h _o	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar <i>tube</i> , Btu/jam.ft ² . °F
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² . °F
L	= Panjang <i>tube</i> , pipa, ft
LMTD	= <i>Logaritmik Mean Temperature Difference</i> , °F
N _t	= Jumlah <i>tube</i>
P _T	= <i>Tube pitch</i> , in

ΔP_s	= Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan <i>tube</i> , Psi
ID	= <i>Inside Diameter</i> , ft
OD	= <i>Outside Diameter</i> , ft
ΔP_T	= Penurunan tekanan total pada <i>tube</i> , Psi
Q	= Beban panas pada <i>heat exchanger</i> , Btu/jam
R_d	= <i>Dirt factor</i> , Btu/jam.ft ² . °F
R_e	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= <i>Specific gravity</i>
T_1, T_2	= Temperatur fluida panas <i>inlet, outlet</i> , °F
t_1, t_2	= Temperatur fluida dingin <i>inlet, outlet</i> , °F
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t_c	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U_c, U_d	= <i>Clean overall coefficient, design overall coefficient</i> , Btu/jam.ft ² . °F
W_1	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
W_2	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viskositas, cP

3. KOLOM DISTILASI EKSTRAKSI

P	= Tekanan, atm
T	= Temperatur, °C
α	= Volatilitas relatif
N _m	= Stage minimum
L/D	= Refluks
N	= <i>Stage/tray</i>
m	= <i>Rectifying section</i>
p	= <i>Stripping section</i>
F_{LV}	= <i>Liquid-vapor flow factor</i>
U _f	= Kecepatan <i>flooding</i> , m/s
U _v	= Laju volumetrik, m ³ /s
A _n	= <i>Net area</i> , m ²
A _c	= Luas area kolom, m ²

Dc	= Diameter kolom, m
Ad	= <i>Downcomer area</i> , m ²
Aa	= <i>Active area</i> , m ²
lw	= <i>Weir length</i> , m
Ah	= <i>Hole area</i> , m ²
hw	= <i>Weir height</i> , mm
dh	= <i>Hole diameter</i> , mm
Lm	= <i>Liquid rate</i> , kg/s
how	= <i>Weir liquid crest</i> , mm Liquid
Uh	= <i>Minimum design vapor velocity</i> , m/s
Co	= <i>Orifice coefficient</i>
hd	= <i>Dry plate drop</i> , mm Liquid
hr	= <i>Residual Head</i> , mm Liquid
ht	= <i>Total pressure drop</i> , mm Liquid
hap	= <i>Downcomer pressure loss</i> , mm
Aap	= <i>Area under apron</i> , m ²
Hdc	= <i>Head loss in the downcomer</i> , mm
hb	= <i>Backup Downcomer</i> , m
tr	= <i>Check resident time</i> , s
θ	= Sudut <i>subintended</i> antara pinggir <i>plate</i> dengan <i>unperforated strip</i>
Lm	= <i>Mean length, unperforated edge strips</i> , m
Aup	= <i>Area of unperforated edge strip</i> , m ²
Lcz	= <i>Mean length of calming zone</i> , m
Acz	= <i>Area of calming zone</i> , m ²
Ap	= <i>Total area perforated</i> , m ²
Aoh	= <i>Area untuk 1 hole</i> , m ²
t	= <i>Tebal dinding</i> , cm
D	= <i>Diameter kolom</i> , m
r	= <i>Jari-jari kolom</i> , m
S	= <i>Tekanan kerja yang diizinkan</i> , atm
Cc	= <i>Korosi yang diizinkan</i> , m

E_j	= Efisiensi pengelasan
OD	= Diameter luar, m
ID	= Diameter dalam, m
ρ	= Densitas, kg/m^3
μ	= Viskositas, N.s/m^2
H_e	= Tinggi tutup elipsoidal, m
H_t	= Tinggi vessel, m

4. LIQUID PHASE MEMBRANE DEHYDRATION

P_w	= Permeabilitas pir, $\text{L/m}^2 \cdot \text{jam}$
J	= Flux permeasi, kg/m^2
Q_p	= Laju plir permeat, kg/jam
V_p	= Lajur alir volumetric permeat, m^3/jam
A	= Luas membran, m^2
d_o	= Diameter luar, m
d_i	= Diameter luar, m
L_s	= Panjang serat, m
A_s	= Luas permukaan perserat membran, m^2
N	= Jumlah serat membran
V_s	= Volume modul membran, m^3
V_t	= Volume total, m^3
L_m	= Panjang modul, m
D_m	= Diameter modul, m
ΔP	= Penurunan tekanan pada membran, atm

5. REAKTOR

C_{A0}	= Konsentrasi awal umpan A masuk, kmol/m^3
C_c	= <i>Corrosion allowance</i> , in
C_p	= <i>Spesific heat capacity</i> , kJ/kg K
D_T	= Diameter total reaktor, m
d_i	= <i>Inside diameter</i> , m
E_j	= <i>Joint efficiency</i>
F_{A0}	= Laju alir umpan, kmol/jam
g	= Gravitasi, m/s^2

H_e	= Tinggi ellipsoidal, m
H_s	= Tinggi silinder, m
H_r	= Tinggi Reaktor, m
k	= Konstanta kecepatan reaksi
N_{Re}	= <i>Reynold number</i>
OD	= <i>Outside Diameter</i> , m
P	= <i>Pressure Drop</i> , N/m ²
Q	= Debit aliran masuk reaktor, m ³ /jam
$-r_a$	= kecepatan reaksi, kmol/m ³ jam
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, psi
t	= Tebal dinding reaktor, m
V	= Volume reaktor, m ³
V	= <i>Volumetrik flowrate</i> , m ³ /s
Z	= Panjang reaktor, m
ρ_L	= Densitas campuran, kg/m ³
τ	= Waktu tinggal, detik
μ_L	= Viskositas campuran, cP

6. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan, mm
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan
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, psi
T	= Temperatur Operasi, K
V_h	= Volume ellipsoidal head, 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.....	93
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	113
LAMPIRAN III PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT	141
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI.....	231
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS	248

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri kimia memiliki peran yang sangat penting bagi ekonomi dunia, termasuk Indonesia. Industri kimia sering kali dijadikan sebagai indikator kemajuan ekonomi suatu negara karena merupakan sektor yang mendukung berbagai industri strategis seperti farmasi, tekstil, mobil, serta energi. Perbedaan antara ekspor dan impor bahan kimia adalah cara untuk mengukur kemampuan suatu negara dalam mengelola sumber daya dan memenuhi kebutuhan domestik. Ekspansi ekonomi merupakan komponen penting dalam kemajuan ekonomi sebuah negara. Mayoritas produksi negara disebabkan oleh peningkatan ekspor, yang mana akan mendorong pertumbuhan ekonomi, sementara peningkatan impor barang dapat mengurangi produksi lokal serta akan berdampak pada perdagangan (Kertayuga dkk, 2021).

Pertumbuhan impor yang cukup tinggi pada negara di Asia Tenggara, terutama pada barang modal dan bahan baku dari mitra dagang utama layaknya China, yang mana menciptakan tekanan neraca perdagangan bagi sejumlah negara. Berdasarkan tinjauan ekonomi triwulan Asia Tenggara 2024 oleh McKinsey & Company, negara di kawasan Asia Tenggara mengalami peningkatan kebutuhan impor layaknya Malaysia dan Vietnam masing-masing sebesar 20,8% dan 17,3%. Negara yang mampu mengurangi ketergantungan pada impor serta meningkatkan kemampuan produksi dalam negeri menunjukkan tingkat kemajuan ekonomi yang lebih tinggi. Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS), nilai impor Indonesia pada Juli 2024 meningkat 11,07% dibandingkan pada Juli 2023. Sebagian besar negara di kawasan Asia Tenggara yang masih berstatus negara berkembang, akan menghadapi masalah besar dalam memenuhi kebutuhan bahan kimianya yang sebagian besar diimpor, salah satunya adalah tetrahidrofur.

Tetrahidrofur dikenal sebagai pelarut organik yang secara luas digunakan dalam sintesis polimer, farmasi, dan formulasi cat. Seiring meningkatnya kebutuhan global akan produk-produk turunan tetrahidrofur, terutama elastomer poliuretan dan serat sintesis seperti spandex, permintaan tetrahidrofur di kawasan global, termasuk negara pada kawasan Asia Tenggara, terus mengalami peningkatan. Berdasarkan pasar kebutuhan global, kebutuhan dari tetrahidrofur akan mencapai

1.015.000 ton pada tahun 2022 (Chemanalyst, 2023). Pertumbuhan *market size* tetrahidrofurana dengan CAGR mencapai 6,7% hingga tahun 2030 seiring dengan meningkatnya permintaan PTMEG di global. Meskipun kebutuhan akan tetrahidrofurana cukup signifikan, negara di kawasan Asia Tenggara termasuk Indonesia, menghadapi sejumlah tantangan dalam penyediaan bahan tersebut. Ketergantungan penuh pada impor tetrahidrofurana menjadi kendala utama karena belum adanya pabrik yang memproduksi langsung tetrahidrofurana pada kawasan Asia Tenggara ini akan meningkatkan risiko gangguan pasokan serta mengakibatkan harga yang fluktuatif dan relatif tinggi bagi industri pengguna lokal.

Oleh karena itu, mendirikan pabrik tetrahidrofurana di Indonesia menjadi solusi strategis guna mengatasi ketergantungan impor serta berbagai masalah yang dihadapi oleh negara di kawasan Asia Tenggara. Dengan dilakukan pembangunan pabrik tetrahidrofurana, Indonesia tidak hanya dapat memenuhi kebutuhan industri domestik secara mandiri, tetapi juga berpotensi menstabilkan harga bahan baku tetrahidrofurana di pasar lokal serta meningkatkan daya saing dengan industri asing.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

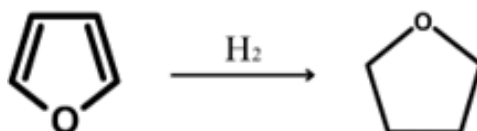
Tetrahidrofurana (THF) adalah senyawa organik heterosiklik dengan rumus kimia C_4H_8O yang pertama kali ditemukan pada abad ke-19 melalui hidrogenasi furana, turunan dehidrasi pentosa seperti xilosa. Pada abad ke-20, THF menjadi perhatian di industri karena sifatnya sebagai pelarut serbaguna yang mampu melarutkan senyawa polar dan nonpolar, sekaligus perannya dalam berbagai reaksi kimia organik. Metode produksi awal melibatkan hidrogenasi furana dari furfural, yang diperoleh dari limbah biomassa seperti sekam padi dan tongkol jagung. Kemajuan besar terjadi pada 1950-an dengan pengenalan *Reppe chemistry*, yang menggunakan asetilena dan formaldehida sebagai bahan baku untuk memproduksi 1,4-butandiol, yang kemudian didehidrasi menjadi tetrahidrofurana. Pada 1970-an, pengembangan katalis logam transisi lebih lanjut meningkatkan efisiensi proses hidrogenasi. THF memiliki berbagai aplikasi, mulai dari pelarut dalam sintesis organik, media untuk reaksi Grignard, hingga bahan baku dalam produksi poli (tetrametilena eter) glikol (PTMEG), yang digunakan dalam elastomer seperti spandek. Selain itu, tetrahidrofurana ini digunakan dalam polimerisasi anionik dan sebagai prekursor dalam sintesis polimer.

Pada abad ke-21, perhatian semakin beralih ke metode produksi yang berkelanjutan, yaitu menggunakan furfural berbasis biomassa untuk menggantikan bahan baku berbasis minyak bumi. Penelitian juga berfokus pada pengurangan dampak lingkungan dengan teknologi pengelolaan limbah serta peningkatan keselamatan, mengingat THF bersifat mudah menguap dan mudah terbakar. Dengan berbagai kegunaan dan upaya inovasi yang terus berkembang, THF tetap menjadi senyawa kunci dalam industri kimia, farmasi, dan polimer global.

1.3. Proses Pembuatan

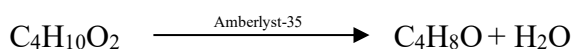
Tetrahidrofuran terbuat dari beberapa proses dalam pembuatannya yang dibedakan dari bahan baku, jenis reaksi, kondisi operasi, tipe reaktor, dan katalis yang digunakan dalam reaksinya. Beberapa proses tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1.3.1. Proses Hidrogenasi



Reaksi hidrogenasi pada proses pembentukan tetrahidrofuran ini dengan mereaksikan furan (C_4H_4O) dengan hidrogen dengan bantuan katalis palladium-alumina pada reaktor tubular. Furan direaksikan dengan hidrogen pada temperatur $140^{\circ}C$ dengan tekanan 20 bar. Reaksi tersebut menghasilkan selectivity untuk tetrahidrofuran sebesar 99,5% (EP 4086244 A1, 2022).

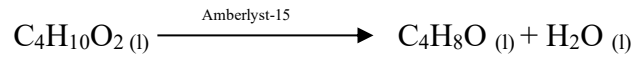
1.3.2. Proses Dehidrasi



Proses pembuatan tetrahidrofuran yang menggunakan metode dehidrasi umumnya menjadikan 1,4-Butanediol sebagai bahan baku. Pada proses ini, 1,4-Butanediol akan dialirkan ke distilasi reaktif, di mana terdapat dua bagian dari alat tersebut, yaitu bagian reaktif serta rektifikasi. Aliran reaktan 1,4-Butanediol akan memasuki area reaktif untuk melakukan proses dehidrasi dengan bantuan katalis asam resin penukar ion, yaitu Amberlyst-35. Reaksi dehidrasi dilakukan pada temperatur $105-120^{\circ}C$ dan tekanan $0,8-1,0 \text{ Kg/cm}^2G$. Kemudian menghasilkan tingkat konversi sebesar 99,85%, namun reaksi dehidrasi ini masih membentuk

senyawa antara berupa molekul linier berikatan rangkap sebelum terbentuk tetrahidrofuran dalam cincin serta alat yang digunakan lebih kompleks karena butuh perhatian yang lebih lanjut ketika menggunakan alat yang mencakup 2 proses yaitu sintesis dan purifikasi sekaligus (US 11149015 B2, 2021).

1.3.3. Proses Siklodehidrasi



Produksi tetrahidrofuran menggunakan reaksi siklodehidrasi ini akan mempersingkat proses karena langsung membentuk tetrahidrofuran dengan bentuk cincin. Tetrahidrofuran diproduksi menggunakan bahan baku 1,4-Butanediol yang didehidrasi pada *fixed bed* reaktor dengan menggunakan katalis asam padat resin penukar kation asam kuat pada temperatur 110°C dan tekanan 0,5 MpaG. Kemudian dilakukan pemisahan dengan menggunakan *liquid phase membrane dehydration* dan BDO *recovery tower*. Proses ini menghasilkan konversi 1,4-Butanediol yang mencapai 50-99,5%, kadar air tetrahidrofuran mencapai 0,01%, tingkat *purity* di 99,99%, serta selektivitas tetrahidrofuran di 99,5%, dengan menggunakan proses ini, risiko korosi yang timbul kecil, reaktor tidak memerlukan material khusus, dan konsumsi energi yang lebih rendah karena kondisi operasi pada alat yang digunakan terbilang rendah dibandingkan proses lainnya (CN 220835483 U, 2024).

Tabel 1.1. Macam-macam Perbandingan Proses dalam Pembuatan Tetrahidrofuran

Aspek	Proses Hidrogenasi	Proses Dehidrasi	Proses Siklodehidrasi
Sumber	<i>Method for Producing Tetrahydrothiophene from Furfural</i> (EP4086244A1)	<i>Method for Producing Tetrahydrofuran</i> (US11149015B2)	<i>A System for Preparing Tetrahydrofuran from 1,4-Butanediol</i> (CN220835483U)
Tanggal Patent	18 Maret 2022	19 Oktober 2021	26 April 2024
Inventor	Roberto De La Fuente, et al	Shih-Bo Hung dan Tian-Yuan Lin	Leng Bingwen , et al
Bahan Baku	• Furan (C₄H₄O) • Gas Hidrogen (H₂) • Katalis Logam (Ni, Pd, atau Ru)	• 1.4-Butanediol (C₄H₁₀O₂) • Katalis asam (H₂SO₄ atau Amberlyst 35)	• 1.4-Butanediol (C₄H₁₀O₂) • Katalis resin asam Amberlyst 15
Nama Proses	Hidrogenasi Katalitik Furan	Dehidrasi Termokatalitik dengan Distilasi Reaktif	Siklodehidrasi Katalitik Intramolekuler
Sintesis	• Reaksi $C_4H_4O + 2H_2 \rightarrow C_4H_8O$ • Kondisi Operasi Suhu : 200-300°C Tekanan : 10-30 bar Risiko : Kebocoran H₂ berisiko ledakan, memerlukan material reaktor baja Paduan (SS316)	- Reaksi $C_4H_{10}O_2 \rightarrow C_4H_8O + H_2O$ - Mekanisme : Dehidrasi 2 tahap melalui intermediat 4-hidroksibutanal (linear) - Kondisi Operasi : Suhu 150-300°C	- Reaksi $C_4H_{10}O_2 \rightarrow C_4H_8O + H_2O$ - Mekanisme : Siklisasi langsung tanpa intermediat linear karena itu THF terbentuk sudah sempurna - Kondisi Operasi

		Tekanan : 1-5 bar - Kelemahan : Produk samping butenal $(\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCHO})$ dan polimer	Suhu 90-150°C Tekanan : 1-5 bar
Separasi	Unit Operasi : - Separator Gas-Cair (Pemisahan H_2 berlebih) - Flash Evaporator (Pemisahan Furan sisa) - Sentrifugasi (Pemisahan katalis logam)	Unit Operasi L - Distilasi Reaktif Terintegrasi (THF dan H_2O diambil sebagai distilat, BDO sisa dan katalis di reboiler) - Dekanter (Pemisahan fasa air-THF)	Unit Operasi : - Membrane Dehydration Phase (Pemisahan air dengan THF dan BDO menggunakan membran)
Purifikasi	Tahapan - Distilasi fraksional (Pemisahan THF dari tetrahydrofurfuryl alcohol) - Adsorpsi (Penghilang logam katalis) - Molecular Siever (dehidrasi)	Tahapan - Distilasi Azeotrop (THF-air menggunakan Cyclohexane) - Ekstraksi Pelarut (untuk menghilangkan asam) - Distilasi Vakum - Kelemahan : Konsumsi energi tinggi di reboiler	Tahapan - Distilasi Ekstraksi (Pemisahan THF-Air dan BDO menggunakan solvent BDO)
Produk dan	- Produk Utama THF ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$) - Produk samping	- Produk Utama THF - Produk Samping	- Produk Utama Tetrahydrofuran 99,99%

Produk Samping	Tetrahydrofurfuryl alcohol Butanol	Butenal	
Konsumsi Energi	Tinggi (Kompresi H ₂ + pendigninan reaksi eksoterm)	Sangat tinggi (distilasi reaktif + reboiler)	Rendah (tidak ada kompresi dan kondisi operasi yang rendah)
Biaya Investasi	Sangat tinggi (Reaktor bertekanan tinggi, sistem kompresi H ₂ , safety explosion-proof)	Tinggi (kolom distilasi reaktif custom, material tahan asam)	Tinggi (Membran dan Distilasi Ekstraksi)
Keamanan	Risiko Tinggi : - Ledakan H₂ - Kebocoran tekanan tinggi	Risiko Sedang : - Korosi asam, - Operasi suhu tinggi	Risiko Rendah: - Tekanan Atmosfer - Tidak ada bahan mudah meledak - Tidak korosi

1.4. Deskripsi dan Kegunaan Tetrahidrofur

Tetrahidrofur adalah senyawa yang biasa dikenal juga sebagai oxolane (oksolana) adalah salah satu senyawa nonplanar yang memiliki beragam kegunaan. Senyawa polar aprotik ini memiliki rumus kimia C_4H_8O , di mana tersusun dari struktur cincin yang mengandung atom dari dua atau lebih unsur yang berbeda dalam cincin-nya, yaitu karbon dan hidrogen, menjadikan tetrahidrofur tersebut sebagai eter heterosiklik. Tetrahidrofur memiliki kata “furan” di dalam namanya yang menggambarkan bahwa tetrahidrofur merupakan turunan senyawa furan yang hanya memiliki 4 ikatan hidrogen guna pengganti ikatan rangkap. Tetrahidrofur (THF) merupakan senyawa polar yang tidak berwarna, berbau tajam, dan dapat bercampur yang sangat kuat bereaksi dengan oksidator kuat dan asam. Senyawa ini sangat mudah terbakar dalam bentuk apapun (cair atau gas), bersifat korosif, menyebabkan iritasi pada mata, kulit, serta sistem pernapasan.

Tetrahidrofur adalah senyawa yang kaya akan manfaat. Senyawa ini biasa digunakan sebagai pelarut karena sifat kepolarannya. Tetrahidrofur sering kali digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan atau reaksi polimer karena senyawa THF merupakan molekul eter yang paling polar dengan pH 7-8. Contohnya, yaitu sebagai pelarut industri untuk membuat polivinil klorida (PVC), di mana PVC sendiri ialah plastik yang umumnya digunakan untuk membuat sebagian besar pipa dalam ruangan, selain itu tetrahidrofur juga senyawa yang melarutkan PVC sehingga menjadikan tetrahidrofur menjadi bahan utama dalam perekat PVC.

PVC sering kali digunakan sebagai pelapis kain PET, masa pakai komposit ini diperkirakan hingga 20 tahun serta setelahnya harus diperlukan perawatan pascapakai. Pengolahan daur ulang bahan ini dapat dilakukan dengan melarutkan PVC dengan pelarut organik seperti tetrahidrofur. Menurut penelitian Grause dkk (2017), tetrahidrofur terbukti dapat melarutkan PVC 100% pada temperatur $20^{\circ}C$ dalam waktu 20 menit. *Solubility* parameter tetrahidrofur ini sesuai dengan karakteristik PVC terutama pada nilai parameter Kamlet-Taftnya ($\beta = 0,55$ dan $\pi^* = 0,58$). Tetrahidrofur sebagai pelarut aprotik ($\alpha = 0,00$) mencegah terjadinya ikatan hidrogen antara pelarut dan polimer dan memenuhi karakteristik kemampuan sebagai akseptor hidrogen yang baik untuk PVC ($0,5 < \beta < 0,75$) dan polaritas yang cocok untuk PVC ($0,58 < \pi^* < 0,88$) menjadikan THF unggul sebagai pelarut.

Tetrahidrofur digunakan sebagai pelarut untuk melarutkan karet sebelum analisis massa molekul dilakukan dengan metode kromatografi permeasi gel (GPC). Berdasarkan Jianmin dkk. (2021), metode GPC ini digunakan untuk memisahkan molekul berdasarkan ukuran atau volume hidrodinamikanya, salah satunya untuk menganalisis distribusi berat molekul dalam aspal menggunakan tetrahidrofur sebagai pelarutnya. Tetrahidrofur memiliki kemampuan untuk melarutkan komponen aspal secara efisien, reproduktivitas yang tinggi sehingga memberikan hasil yang konsisten, dan lebih kompatibel dengan material kolom kromatografi yang digunakan dalam GPC. Selain itu, sebagai pelarut pada reaksi Grignard karena sifatnya sebagai pelarut polar aprotik yang membantu reagen Grignard ($R-Mg-X$) bereaksi dengan senyawa karbonil. Tetrahidrofur memiliki elektron bebas pada atom oksigennya sehingga akan membantu senyawa organomagnesium halida sebagai reagen larut pada THF, kemudian THF juga akan melarutkan senyawa karbonil yang bersifat polar seperti ester sehingga reaksi Grignard terjadi. Menurut Tuulmets dkk (2004), reaksi Grignard dengan pelarut tetrahidrofur berlangsung lebih cepat dibanding pelarut lain karena adanya keseimbangan Schlenk dalam konsentrasi yang cukup tinggi, dengan tetrahidrofur dapat dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi sehingga dapat mempercepat reaksi, serta magnesium halida dapat berkoordinasi lebih dengan molekul tetrahidrofur, meningkatkan stabilitas kompleks dan mempengaruhi reaktivitas.

Tetrahidrofur dalam industri di Indonesia digunakan sebagai pelarut, pelapis dan perekat, serta pelarut PVC pada PT BASF Indonesia, PT Tirta Surya Raya, PT CLP Indonesia, dan PT Mega Kemiraya, serta PT Merck Chemicals and Life Sciences (Edgina, 2023). THF juga dimanfaatkan sebagai *cleaning agent*, senyawa kimia *intermediate*, pembuatan alkohol dari alkena di mana THF sebagai katalis antara kedua reaktan (reaksi hidroborasi-oksidasi), sebagai alat bantu pengolahan dalam produksi minyak bumi, serta jika pada asam kuat, tetrahidrofur dapat mengalami polimerisasi menjadi politetrametilen eter glikol (PTMEG) dengan bantuan katalis sehingga tetrahidrofur membentuk polimer rantai panjang dari unit-unit monomer tetrahidrofur, yang kemudian digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatan serat poliuretan elastomerik, seperti spandeks.

1.5. Sifat Fisika dan Kimia

Sifat fisika dan kimia senyawa dalam proses pembuatan tetrahidrofuran ialah sebagai berikut.

1.5.1. Bahan Baku

Tabel 1.2. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama

Parameter	1,4-Butanediol
Rumus molekul	C ₄ H ₁₀ O ₂
Berat molekul, g/mol	90,122
Kemurnian, %	99
Warna	Tak berwarna
Titik didih, K	501,15
Titik beku, K	293,05
Temperatur Kritis, K	667
Tekanan Kritis, bar	48,8
Tekanan Uap, mmHG (25 °C)	0,0105
Densitas, g/cm ³ (20 °C)	1,0171
Bahaya	Iritasi
Kelarutan	Larut dalam air

(Sumber: Yaws, 1999; Pubchem, 2024)

1.5.2. Produk

Tabel 1.3. Sifat Fisika dan Kimia Produk Utama

Parameter	Tetrahidrofuran
Rumus molekul	C ₄ H ₈ O
Berat molekul, g/mol	72,107
Wujud	Cairan
Warna	Tak berwarna
Titik didih, K	338
Titik beku, K	164,65
Temperatur Kritis, K	540,15
Tekanan Kritis, bar	51,88
Tekanan Uap, kPa (20 °C)	19,3

Densitas, g/cm ³ (25 °C)	0,8833
Viskositas, cP (20 °C)	0,53
Bahaya	Mudah terbakar, Iritasi, dan Bahaya kesehatan
Kelarutan	Larut dalam air 30% (25°C)

(Sumber: Yaws, 1999; Pubchem, 2024)

Tabel 1.4. Sifat Fisika dan Kimia Produk Samping

Parameter	Air
Rumus molekul	H ₂ O
Berat molekul, g/mol	18,015
Wujud	Cairan
Warna	Tak berwarna
Titik didih, K	373,15
Titik beku, K	273,15
Temperatur Kritis, K	647,13
Tekanan Kritis, bar	220,55
Densitas, g/cm ³	1

(Sumber: Yaws, 1999; Pubchem, 2024)

1.5.3. Katalis

Tabel 1.5. Sifat Fisika dan Kimia Katalis

Parameter	Amberlyst-15
Rumus molekul	C ₁₈ H ₁₈ O ₃ S
Berat molekul, g/mol	314,4
Wujud	Solid
Warna	Putih pucat
Titik didih, °C (760 mmHg)	516,7
Titik nyala, °C	266,3
Konsentrasi situs asam, eq/Kg	4,70
Densitas, g/cm ³	0,75

(Sumber: Pubchem, 2025; AlfaChem, 2025)

DAFTAR PUSTAKA

- Alfiana, F., dan Nurhayati, H. K. 2024. *Prarancangan Pabrik Tetrahydrofuran dari 1,4-Butanediol Kapasitas 90.000 Ton/tahun*. [SKRIPSI] Yogyakarta (IDN). Universitas Islam Indonesia.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Berita Resmi Statistik: Perkembangan Ekspor dan Impor Indonesia Juli 2024*. Badan Pusat Statistik – BPS.
- Baker, R. W. 2004. *Membrane Technology and Applications*. England: British Library Cataloguing in Publication Data.
- Black, D., Cossy, J., dan Stevens, C. 2021. *Comprehensive Heterocyclic Chemistry Volume IV*. Amsterdam: Elsevier Science.
- Chemanalyst. 2023. *Tetrahydrofuran Market Analysis: Industry Market Size, Plant Capacity Production, Operating Efficiency, Demand & Supply, End-User Industries, Sales Channel, Regional Demand, Company Share, Manufacturing Process, 2015-2032*. (Online). <https://www.chemanalyst.com/industry-report/tetrahydrofuran-market-586>. (Diakses pada tanggal 5 Januari 2025).
- Choirunnisa, A., dan Mustain, A. 2022. Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun. *Distilat*. Vol. 8 (1): 86 – 93.
- Coker, A. K. 2015. *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Volume 3* 4th Edition. USA: Elsevier.
- Deepa, S., Anipriya, N., dan Subblakshmy, R. 2015. Design of Controllers for Continuous Stirred Tank Reactor. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*. Vol. 5 (4): 576 - 582.
- Dinas Bina Marga dan Penataan Ruang. 2022. *RTRW Provinsi Jawa Barat*. (Online). <https://wargi.jabarprov.go.id/petav2/dataset/detil/4>. (Diakses pada Tanggal 29 Juni 2025).
- Edgina, E. 2023. *Pra Rancangan Pabrik Tetrahydrofuran dari 1,4-Butanediol Kapasitas 11.000 Ton/Tahun*. [SKRIPSI] Lampung Selatan (IDN). Institut Teknologi Sumatera.

- Fauzia, I. K., Maulina, W., dan Misto. 2018. Kajian Membran Nilon Sebagai Filter Pada Proses Penjernihan Nira Tebu. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol. 3 (1): 57 – 66.
- Felder, R. M., dan Rousseau, R.W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Process 3rd Edition*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Fernando, J. 2025. *What is the Consumer Price Index (CPI)*. (Online). <https://www.investopedia.com/terms/c/consumerpriceindex.asp>. (Diakses pada Tanggal 5 Januari 2025).
- Filson Filtration. 2020. *Tubular Reactor: The Ultimate FAQ Guide*. Online. <https://www.filsonfilters.com/tubular-reactor>. (Diakses pada tanggal 20 Mei 2025).
- Fogler, H. S. 2016. *Elements of Chemical Reaction Engineering 5th Edition*. USA: Pearson Education, Inc.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. USA: PTR Prentice-Hall, Inc.
- Grand View Research. 2023. *Tetrahydrofuran Market Size, Share & Trends Analysis Report By Technology (Reppe Process, Davy Process, Propylene Oxide), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2024 – 2030*. (Online). <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/tetrahydrofuran-market-report>. (Diakses pada Tanggal 1 Juli 2025).
- Grause, G., Hirahashi, S., Toyoda, H., Kameda, T., dan Yoshioka, T. 2017. Solubility Parameters for Determining Optimal Solvents For Separating PVC from PVC-Coated PET Fibers. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 19 (1): 612-622.
- Hydranautics Nitto Group Company (2013). *Data Logging, Normalization and Performance Analysis for HYDRAcap® Systems, Technical Service Bulletin TSB 139.03, Lenntech*. (Online). <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Hydranautics-TAB139-L.pdf>. (Diakses pada Tanggal 28 Juni 2025).
- Jianmin, M., Guoqiang, S., Daquan, S., Fan, Y., Mingjun, H., dan Tong, L. 2021. Application of Gel Permeation Chromatography Technology in Asphalt Materials: a Review. *Construction and Building Materials*, 278 (122386): 1-17.

- Johnson Screens. 2025. *Internal for Radial Flow Reactor*. Online. https://johnsonscreens.com/wp-content/uploads/2022/06/Internals-for-Radial_Eng.pdf. (Diakses pada tanggal 20 Mei 2025).
- Julia, M., dan Masyruroh, A. J. 2022. Literature Review Determinasi Struktur Organisasi: Teknologi, Lingkungan Dan Strategi Organisasi. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi*. Vol 3 (4): 383-395.
- Kasmir. 2017. *Analisis Laporan Keuangan*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Jepang: McGraw-Hill.
- Kertayuga, D., Santoso, E., dan Hidayat, N. 2021. Prediksi Nilai Ekspor Impor Migas Dan Non-Migas Indonesia Menggunakan Extreme Learning Machine (ELM). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(6): 2792-2800.
- KLM Technology Group. 2011. *Layout and Spacing (Project Standards and Specifications) In Project Engineering Standard*. (Online). <https://www.klmttechgroup.com>. (Diakses pada Tanggal 29 Juni 2025).
- Krisdayanti, S. 2021. ROA, ROE, and EPS on The Stock Prices in The Basic & Chemical Industry Sector Listed on The Jakarta Composite Indeks. *Indonesian Financial Review*. Vol. 1 (1): 46 – 62.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Maximize Market Research. 2025. Tetrahydrofuran (THF) Market – Global Industry Analysis and Forecast (2025-2032). (Online). <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-tetrahydrofuran-thf-market/4735/>. (Diakses pada Tanggal 1 Juli 2025).
- McKinsey & Company. 2024. Southeast Asia quarterly economic review: Mixed growth. (Online). <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-asia/southeast-asia-quarterly-economic-review#vietnam>. (Diakses pada tanggal 5 Januari 2025).
- Nur, M. 2023. *Organisasi dan Manajemen*. Yogyakarta: Deepublish.
- Ogle, R., dan Carpenter, A. 2014. Calculating the Capacity of Chemical Plants. *Chemical Engineering Progress*. Vol. 110 (1) : 59 – 63.

- Pal, R., Sarkar, T., dan Khasnobis, S. 2012. Amberlyst-15 in Organic Synthesis. *ARKIVOC: Archive for Organic Chemistry*. Vol. 1 (1): 570 – 609.
- Peraturan Daerah No. 12 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bekasi Tahun 2011 – 2031.
- Peraturan Daerah Nomor 9 Tahun 2022 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Barat 2022 – 2024.
- Perry, R. H., Green, D. W., dan Maloney, J. O. 1997. *Perry's Chemical Engineers Handbook 7th Edition*. USA: McGraw-Hill.
- Peters, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering, 4th Edition*. New York: Mc Graw Hill International Book Co.
- PW Market Research. 2025. *THF (Tetrahydrofuran) Market*. (Online). <https://pmarketresearch.com/chemi/thf-tetrahydrofuran-market>. (Diakses pada Tanggal 1 Juli 2025).
- Sato, K. dkk. 2012. Development of practically available up-scaled high-silica CHA-type zeolite membranes for industrial purpose in dehydration of N-methyl pyrrolidone solution. *Journal of Membrane Science*.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series: Chemical Engineering Design, Volume 6, 4th Edition*. UK: Elsevier.
- Smith, J.M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2018. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Solikin, A. (2022). Peran Sektor Industri Pengolahan dalam Perekonomian Empat Provinsi di Pulau Jawa. *Eqien-Jurnal Ekonomi dan Bisnis*. 9(2): 25-34.
- Syukran, M., Agustang, A., Idkhan, A. M., dan Rifdan, R. 2022. Konsep Organisasi dan Pengorganisasian dalam Perwujudan Kepentingan Manusia. *PUBLIK: Jurnal Manajemen Sumber Daya Manusia, Administrasi, dan Pelayanan Publik*. Vol 9 (1): 95-103.
- Treyball, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations*. Singapore: McGraw-Hill.
- Tuulmets, A., Nguyen, B. T., dan Panov, D. 2004. Grignard reaction with chlorosilanes in THF: A kinetic study. *The Journal of Organic Chemistry*, 69(15): 5071-5076.

- UN Cometrade Database. 2025. *Detailed Global Trade Data*. (Online).
<https://comtradeplus.un.org/>. (Diakses pada Tanggal 30 Juni 2025).
- Undang-undang Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja.
- Undang-undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan.
- Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas.
- Vaidya, S. H., Bhandari, V. M., dan Chaudhari, R. V. 2003. Reaction Kinetics Studies on Catalytic Dehydration of 1,4-Butanediol Using Cation Exchange Resin. *Applied Catalysis A: General*. Vol. 242 (1): 321 – 328.
- Vilbrandt, F. C., dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment*. USA: A Division of Reed Publishing
- Wargi Jabar. 2022. *Web Penataan Ruang Berbasis GIS Provinsi Jawa Barat Peta Rencana Tata Ruang RTRW Provinsi Jawa Barat*. (Online).
<https://wargi.jabarprov.go.id/petav2/peta/kategorisub/30>. (Diakses pada Tanggal 29 Juni 2025).
- Winkle, M. V. 1967. *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Woolf, P. J. 2009. *Chemical Process Dynamics and Controls*. Michigan: University of Michigan Engineering Controls Group.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Zhang, W., Lin, Y., Norinaga, K. 2023. Insights into Structure-Performance Relationship in Radial Flow Fixed Bed Reactor for CO₂ Methanation. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 48 (1): 24594 – 24606.