

SKRIPSI

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TETRAHIDROFURAN DARI 1,4-BUTANADIOL KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN

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



Oleh

RICHARD SEPRIYADI OSMAN

03031281823054

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN
TETRAHIDROFURAN DARI 1,4-BUTANADIOL
KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana**

Oleh:

Richard Sepriyadi Osman

03031281823054

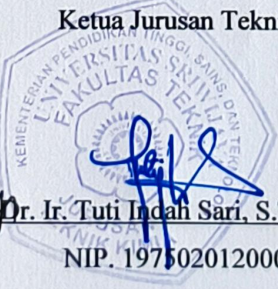
Palembang, 22 Juli 2025

Pembimbing Tugas Akhir


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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofuran dari 1,4-Butanadiol Kapasitas 35.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan oleh Richard Sepriyadi Osman dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Juli 2025.

Palembang, 23 Juli 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Dr. Ir. Fitri Hadiyah, S.T., M.T., IPM
NIP. 197808222002122001
2. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, R., DEA
NIP. 196010111985032002
3. Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 199007112019032018

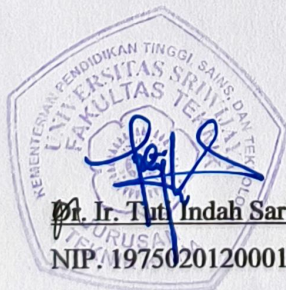
: (.....)

: (.....)

21/7/25
: (.....)

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Palembang, 23 Juli 2025
Pembimbing Tugas Akhir



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

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

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

RICHARD SEPRIYADI OSMAN

03031281823054

Judul:

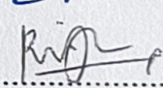
**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TETRAHIDROFURAN
DARI 1,4-BUTANADIOL KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 17 Juli 2025 oleh Dosen Penguji:

1. Dr. Ir. Fitri Hadiyah, S.T., M.T., IPM
NIP. 197808222002122001
2. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, R., DEA
NIP. 196010111985032002
3. Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 199007112019032018

: (..........)

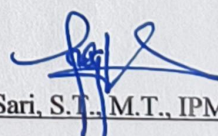
: (..........)

: (.....^{21/7-25} .....)

Palembang, 23 Juli 2025

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir


Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502011000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Richard Sepriyadi Osman
NIM : 03031281823054
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofuran
dari 1,4-Butanadiol Kapasitas 35.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

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

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

Palembang, 22 Juli 2025



Richard Sepriyadi Osman
NIM. 03031281823054



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya haturkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis telah menyelesaikan tugas akhir yang berjudul *“Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Tetrahidrofuran dari 1,4-Butanadiol Kapasitas 35.000 Ton/Tahun”*.

Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini juga penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

- 1) Ibu Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir dan Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 2) Ibu Dr. Ir. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
- 4) Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Kedua orangtua, keluarga, dan teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, dukungan, doa, saran, serta motivasi.

Penulis pun menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, maka segala saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Palembang, 20 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
RINGKASAN	xix
BAB I PEMBAHASAN UMUM.....	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan.....	2
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan.....	4
1.4. Sifat Fisika dan Kimia	9
BAB II PERENCANAAN PABRIK	13
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	13
2.2. Penentuan Kapasitas	15
2.3. Pemilihan Bahan Baku	19
2.4. Pemilihan Proses	19
2.5. Uraian Proses.....	23
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....	29
3.1. Lokasi Pabrik.....	29
3.2. Tata Letak Pabrik	34
3.3. Perkiraan Luas Area yang Diperlukan	36
BAB IV NERACA MASSA DAN PANAS	37
4.1. Neraca Massa.....	37
4.2. Neraca Panas	40
BAB V UTILITAS.....	45
5.1. Unit Pengadaan <i>Steam</i>	45
5.2. Unit Pengadaan Air	45

5.3. Unit Pengadaan Listrik	50
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar	52
5.5. Unit Pengolahan Air Limbah.....	54
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	55
6.1. Tangki-01 (T-01)	55
6.2. Tangki-02 (T-02)	56
6.3. Tangki-03 (T-03)	57
6.4. Pompa-01 (P-01)	58
6.5. Pompa-02 (P-02)	59
6.6. Pompa-03 (P-03)	60
6.7. Pompa-04 (P-04)	61
6.8. Pompa-05 (P-05)	62
6.9. Pompa-06 (P-06)	63
6.10. Pompa-07 (P-07).....	64
6.11. Pompa-08 (P-08).....	65
6.12. Pre Heater-01 (H-01)	66
6.13. Cooler-01 (C-01)	67
6.14. Cooler-02 (C-02)	68
6.15. Cooler-03 (C-03)	69
6.16. Kolom Distilasi Reaktif-01 (R-01)	70
6.17. Kolom Distilasi-01 (KD-01).....	71
6.18. Kolom Distilasi-02 (KD-02).....	72
6.19. Kondensor-01 (CD-01).....	73
6.20. Kondensor-02 (CD-02).....	74
6.21. Kondensor-03 (CD-03).....	75
6.22. Reboiler-01 (RB-01).....	76
6.23. Reboiler-02 (RB-02).....	77
6.24. Reboiler-03 (RB-03).....	78
6.25. Reflux Drum-01 (RD-01)	79
6.25. Reflux Drum-02 (RD-02)	79
6.26. Reflux Drum-03 (RD-03)	80
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	81

7.1 Bentuk Perusahaan	81
7.2 Struktur Organisasi	82
7.3 Tugas dan Wewenang	85
7.4 Sistem Kerja	87
7.4 Penentuan Jumlah Buruh	88
BAB VIII ANALISA EKONOMI	93
8.1. Menentukan Indeks Harga	93
8.2. Profitabilitas	94
8.3. Lama Waktu Pengembalian Modal	95
8.4. Lama Pengangsuran Pengembalian Pinjaman	95
8.5. Total Modal Akhir	96
8.6. Laju Pengembalian Modal	97
8.7. Break Even Point (BEP)	98
BAB IX KESIMPULAN	101
DAFTAR PUSTAKA	103
LAMPIRAN	109

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Volume Impor THF Indonesia Tahun 2015-2024.....	15
Tabel 2.2.	Volume Impor THF Beberapa Negara di Asia Pasifik Tahun 2015-2023	16
Tabel 2.3.	Hasil Perhitungan Pertumbuhan Volume Impor THF di Kawasan Asia Pasifik Rata-rata per Tahun	16
Tabel 2.4.	Hasil Perhitungan Prediksi Volume Impor THF di Kawasan Asia Pasifik Tahun 2024-2030	17
Tabel 2.5.	Kapasitas Produksi Pabrik THF di Dunia	18
Tabel 2.6.	Perbandingan Proses Pembuatan THF	21
Tabel 3.1.	Rincian Luas Area Pabrik.....	36
Tabel 4.1.	Neraca Massa R-01.....	37
Tabel 4.2.	Neraca Massa Refluks R-01	37
Tabel 4.3.	Neraca Massa Reboiler R-01.....	38
Tabel 4.4.	Neraca Massa KD-01	38
Tabel 4.5.	Neraca Massa Refluks KD-01	38
Tabel 4.6.	Neraca Massa Reboiler KD-01	39
Tabel 4.7.	Neraca Massa KD-02	39
Tabel 4.8.	Neraca Massa Refluks KD-02	39
Tabel 4.9.	Neraca Massa Reboiler KD-02.....	39
Tabel 4.10.	Neraca Massa MPV-001.....	40
Tabel 4.11.	Neraca Panas H-01	40
Tabel 4.12.	Neraca Panas R-01	40
Tabel 4.13.	Neraca Panas CD-01.....	40
Tabel 4.14.	Neraca Panas RB-01	41
Tabel 4.15.	Neraca Panas C-01	41
Tabel 4.16.	Neraca Panas KD-01	41
Tabel 4.17.	Neraca Panas CD-02.....	41
Tabel 4.18.	Neraca Panas RB-02.....	42
Tabel 4.19.	Neraca Panas C-02	42
Tabel 4.20.	Neraca Panas KD-02	42

Tabel 4.21.	Neraca Panas CD-01.....	42
Tabel 4.22.	Neraca Panas RB-01	43
Tabel 4.23.	Neraca Panas MPV-001	43
Tabel 5.1.	Kebutuhan <i>Steam</i> Peralatan Proses	45
Tabel 5.2.	Kebutuhan Air Pendingin Peralatan Proses.....	46
Tabel 5.3.	Kebutuhan Air Domestik.....	49
Tabel 5.4.	Total Kebutuhan Air.....	49
Tabel 5.5.	Rincian Komposisi Air Limbah.....	54
Tabel 7.1.	Pembagian Jadwal Shift Kerja Karyawan	88
Tabel 7.2.	Perincian Jumlah Karyawan Pabrik Tetrahidrofuran	90
Tabel 8.1.	Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman	95
Tabel 8.2.	Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Flowsheet Pabrik Tetrahidrofuran	26
Gambar 2.2.	Diagram Alir Proses Sintesis Tetrahidrofuran	27
Gambar 2.3.	Diagram Alir Proses Purifikasi Tetrahidrofuran	28
Gambar 3.1.	Citra Satelit Peta Lokasi Pabrik di JIPE.....	29
Gambar 3.2.	Rute Pelabuhan JIPE - Lokasi Pabrik	30
Gambar 3.3.	Perencanaan Tata Letak Pabrik	35
Gambar 3.4.	Perencanaan Tata Letak Peralatan Pabrik	36
Gambar 7.1.	Struktur Organisasi Perusahaan.....	84
Gambar 8.1.	Grafik <i>Break Even Point</i>	99

DAFTAR NOTASI

1. REFLUX DRUM

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

2. COOLER,, CONDENSOR, REBOILER, HEATER

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

h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft ² .°F
h_i, h_o	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² .°F
L	= Panjang tube, pipa, ft
$LMTD$	= Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
N	= Jumlah baffle
N_t	= Jumlah tube
P_T	= Tube pitch, in
$\otimes P_r$	= Return drop sheel, Psi
$\otimes P_s$	= Penurunan tekanan pada shell, Psi
$\otimes P_t$	= Penurunan tekanan tube, Psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
$\otimes P_T$	= Penurunan tekanan total pada tube, Psi
Q	= Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
R_d	= Dirt factor, Btu/jam.ft ² .°F
Re	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= Specific gravity
T_1, T_2	= Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
t_1, t_2	= Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t_c	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U_c	= Clean overall coefficient, Btu/jam.ft ² .°F
U_d	= Design overall coefficient, Btu/jam.ft ² .°F
W	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
w	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viscositas, cp

3. KOLOM DISTILASI

A_d	= Downcomer area, m^2
A_t	= Tower area, m^2
A_n	= Net area, m^2
A_a	= Active area, m^2
A_b	= Hole area, m^2
A_{da}	= Aerated area, m^2
C	= Faktor korosi yangizinkan, m
C_{sb}	= Kapasitas vapor, m/det
Dl	= Clearance, mm
d_h	= Diameter hole, mm
d_c	= Diameter kolom, mm
e	= Total entrainment, kg/det
E	= Joint efficiency, dimensionless
F	= Friction factor, dimensionless
F_{iv}	= Paramater aliran, dimensionless
h_a	= Aerated liquid drop, m
h_f	= Froth height, mm
h_w	= Weir height, mm
h_f	= Weep point, cm
H	= Tinggi kolom, m
L_w	= Weir length
L	= Laju alir massa liquid solvent, kg/det
N_m	= Jumlah tray minimum
$\otimes P$	= Pressure drop
P	= Tekanan desain, atm
q	= Laju alir volume umpan solvent, m^3/det
Q	= Laju alir volume umpan gas, m^3/det
R	= $[L/D]$ refluks ratio, dimensionless
R_h	= Radius Hydrolic, m
R_m	= Refluks minimum
R_{eh}	= Reynold modulus, dimensionless

S	=	Working stress, N/m ²
Ss	=	Stage umpan
St	=	Jumlah stages
t	=	Tebal dinding vessel, m
T	=	Temperatur operasi, °C
T _{av}	=	Temperatur rata-rata, °C
U _f	=	Kecepatan aerated mass, U _f
V	=	Laju alir massa umpan gas, kg/det
V _d	=	Downcomer velocity, m/det
⟨	=	Relatif volatil, dimensionless
⊗	=	Liquid gradien, cm
ρ _g	=	Densitas gas, kg/m ³
ρ _l	=	Densitas liquid, kg/m ³
∕	=	Fractional entrainment, dimensionless

4. POMPA

A	=	Area alir pipa, in ²
BHP	=	Brake Horse Power, HP
D _{i opt}	=	Diameter optimum pipa, in
E	=	Equivalent roughness
f	=	Faktor friksi
FK	=	Faktor keamanan
g _c	=	Percepatan gravitasi, ft/s ²
Gpm	=	Gallon per menit
H _{f suc}	=	Total friksi pada suction, ft
H _{f dis}	=	Total friksi pada discharge, ft
H _{fs}	=	Skin friction loss
H _{fsuc}	=	Total suction friction loss
H _{fc}	=	Sudden Contraction Friction Loss (ft lb _m /lb _f)
H _{fe}	=	Sudden expansiom friction loss (ft lb _m /lb _f)
ID	=	Inside diameter pipa, in
K _C , K _S	=	Contraction, expansion loss contraction, ft

L	= Panjang pipa, ft
L_e	= Panjang ekuivalen pipa, ft
NPSH	= Net positive suction head (ft)
N_{Re}	= Reynold number, dimension less
P_{vp}	= Tekanan uap, Psi
Q_f	= Laju alir volumeterik
V_f	= Kapasitas pompa, lb/jam
V	= Kecepatan alir
$\otimes P$	= Beda tekanan, Psi

5. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
h	= Tinggi head, m
H	= Tinggi silinder, m
H_T	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Operasi, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
t	= Lama persediaan/penyimpanan, hari
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
γ	= Densitas, kg/m^3

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Neraca Massa	109
Lampiran 2. Perhitungan Neraca Panas	145
Lampiran 3. Perhitungan Spesifikasi Peralatan	189
Lampiran 4. Perhitungan Ekonomi	379
Lampiran 5. Tugas Khusus	397

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TETRAHIDROFURAN DARI 1,4-BUTANADIOL KAPASITAS 35.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2025

Richard Sepriyadi Osman; Dibimbing oleh Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xix + 411 halaman, 39 tabel, 9 gambar, 4 lampiran

ABSTRAK

Pabrik pembuatan *Tetrahidrofur* dengan kapasitas produksi 35.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2033 di Kawasan Industri Java Integrated Industrial and Ports Estate (JIPE), Gresik, Provinsi Jawa Timur dengan perkiraan luas area sebesar 2,5 Ha.

Bahan baku dari pembuatan tetrahidrofur ini adalah 1,4-butanadiol, solven dimetil sulfoksida, dan katalis Amberlyst 35. Proses pembuatan kalsium fluorida ini mengacu pada US Patent No. US2021/0061780A1/2021 dengan proses dehidrasi 1,4-butanadiol membentuk tetrahidrofur menggunakan proses distilasi reaktif. Jenis reaktor yang digunakan adalah kolom distilasi reaktif dengan katalis fixed bed packing. Zona reaksi beroperasi pada temperatur 104-119°C dan tekanan 0,8-1,0 kg/cm²G sedangkan zona rektifikasi beroperasi pada temperatur 87,7-100,4°C dan tekanan 0,7 kg/cm²G atm. Proses purifikasi dengan metode distilasi ekstraktif dilakukan untuk mendapatkan tetrahidrofur dengan kemurnian 99,95%.

Perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 109 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik Tetrahidrofur ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- | | |
|---|-----------------------|
| • <i>Total Capital Investment</i> (TCI) | = US\$ 32.379.844,10 |
| • Total Penjualan | = US\$ 105.288.948,89 |
| • <i>Total Production Cost</i> (TPC) | = US\$ 85.646.477,39 |
| • <i>Annual Cash Flow</i> | = US\$ 12.683.066,63 |
| • <i>Pay Out Time</i> | = 3 tahun |
| • <i>Rate Of Return On Investment</i> (ROR) | = 37,00% |
| • <i>Discounted Cash Flow –ROR</i> | = 38,27% |
| • <i>Break Even Point</i> (BEP) | = 45,40% |
| • <i>Service Life</i> | = 11 tahun |

Kata Kunci: Tetrahidrofur, 1,4-Butanadiol, Distilasi Reaktif, Perseroan Terbatas.

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Industri kimia adalah sektor fundamental yang memproses bahan baku mentah produk jadi untuk berbagai keperluan, termasuk rumah tangga, konstruksi, medis, dan pertanian. Dengan fungsi krusial ini, industri kimia menjadi salah satu sektor global terbesar, dengan nilai mencapai 5,72 triliun dolar pada tahun 2022 (Chandra Asri, 2025). Sektor ini juga vital bagi ekonomi nasional, menyumbang pada Produk Domestik Bruto (PDB) melalui penciptaan lapangan kerja, stimulasi inovasi, dan pemenuhan kebutuhan masyarakat. Di antara beragam produk kimia yang dihasilkan untuk mendukung berbagai sektor tersebut, terdapat senyawa-senyawa setengah jadi yang krusial, dan salah satunya adalah Tetrahidrofur (THF). Senyawa ini berperang penting sebagai bahan baku dan pelarut dalam sintesis produk-produk turunan yang lebih kompleks.

Kebutuhan negara Indonesia akan Tetrahidrofur seluruhnya diperoleh dari kegiatan impor (Badan Pusat Statistik, 2025). Permintaan THF baik di Indonesia maupun di luar negeri diproyeksikan akan terus meningkat sejalan dengan peningkatan kebutuhan akan produk turunan. Produk turunan THF memiliki beberapa kegunaan yaitu sebagai bahan baku pembuatan *Polytetramethylene Ether Glycol* (PTMEG) untuk serat spandeks dan poliuretan (Lange & Wadman, 2020). Keberadaan pabrik THF secara langsung mendukung sektor-sektor manufaktur seperti tekstil dan konstruksi sehingga mendukung program prioritas pemerintah saat ini (Fajri & Sukmawijaya, 2024). Ketergantungan pada produk impor tidak hanya menguras devisa negara tetapi juga rentan terhadap fluktuasi harga pasar global dan isu pasokan. Oleh karena itu, pendirian pabrik THF di dalam negeri menjadi langkah yang strategis untuk mengurangi ketergantungan impor, menciptakan lapangan kerja, serta mendukung kemandirian industri kimia nasional. Selain itu, keberadaan pabrik THF domestik dapat mendorong pertumbuhan industri hilir yang menggunakan THF sebagai bahan baku atau pelarut, serta meningkatkan cadangan devisa negara dengan kegiatan ekspor memenuhi kebutuhan THF negara-negara lain.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Tetrahidrofuran (THF) merupakan senyawa eter siklik yang tidak berwarna dengan rumus kimia C_4H_8O , mudah larut dalam air, dan memiliki peran krusial dalam industri kimia modern. Sebagai pelarut serbaguna serta prekursor utama bagi polimer bernilai tinggi, THF telah menjadi komponen penting dalam berbagai aplikasi industri (Gu dkk., 2018). Perkembangan teknologi produksi THF berkaitan erat dengan evolusi sintesis kimia, yang awalnya mengandalkan metode berbasis pertanian sebelum beralih ke teknik sintetis yang lebih maju dengan tingkat efisiensi tinggi. Transformasi ini tercermin dalam peningkatan signifikan penggunaan THF di sektor industri, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan bahan baku berkualitas tinggi dan produk kimia khusus (Fowles dkk., 2013).

Produksi THF telah mengalami transformasi yang signifikan, beralih dari bahan baku berbasis biomassa ke jalur sintetis yang lebih efisien dan andal. Perkembangan ini mencerminkan tren dalam industri kimia yang terus mendorong efisiensi, *scalability*, dan integrasi dengan rantai nilai petrokimia. Pada awalnya THF diproduksi melalui proses furfural yang memanfaatkan produk sampingan pertanian seperti tongkol jagung dan sekam gandum. Proses ini melibatkan dekarbonilasi furfural menjadi furan, yang kemudian dihidrogenasi secara katalitik untuk menghasilkan THF. Namun, ketergantungannya pada bahan baku pertanian menimbulkan tantangan dalam hal pasokan dan stabilitas harga, sehingga membatasi kelayakan industri dalam skala besar (Hoydonckx dkk., 2007).

Terobosan dalam produksi THF terjadi dengan pengembangan Proses Reppe pada pertengahan abad ke-20. Metode ini dipelopori oleh Walter Reppe, menggunakan reaksi asetilena dan formaldehida untuk menghasilkan 1,4-butanadiol (BDO), yang kemudian didehidrasi menjadi THF (Bohnet & Ullmann, 2003). Dengan efisiensi yang tinggi dan bahan baku yang lebih terkendali, proses ini menjadi metode utama produksi THF secara global. Seiring berjalannya waktu, teknologi berbasis butana mulai mendapat perhatian, dengan Proses DuPont dan Davy yang semakin memperluas lanskap produksi. Proses DuPont melibatkan oksidasi n-butana menjadi maleat anhidrida yang kemudian dihidrogenasi secara katalitik menjadi THF. Sementara itu, Proses Davy menggabungkan tahap esterifikasi sebelum hidrogenasi, menghasilkan campuran THF, BDO, dan gamma-

butirolakton (GBL), yang memungkinkan fleksibilitas dalam menyesuaikan rasio produk sesuai permintaan pasar. Zaman kini, proses pembuatan THF didominasi oleh proses dehidrasi 1,4-butanadiol yang disebabkan oleh rendahnya konsumsi energi, desain proses dan peralatan yang lebih sederhana, serta tingginya yield THF yang didapatkan (American Chemical Society, 2015).

Selain metode utama tersebut, berbagai rute alternatif telah dikembangkan, termasuk produksi melalui reaksi butadiena serta penggunaan propilena oksida sebagai bahan awal. Dalam beberapa tahun terakhir, muncul minat baru terhadap produksi THF dari sumber daya terbarukan, terutama melalui konversi asam suksinat berbasis biomassa menjadi BDO dan kemudian menjadi THF. Perkembangan teknologi produksi ini sejalan dengan meningkatnya permintaan industri terhadap senyawa ini (Zhu dkk., 2022).

Aplikasi industri THF telah berkembang pesat sejak penggunaannya sebagai pelarut laboratorium. Kemampuannya melarutkan berbagai zat polar dan non-polar menjadikannya esensial dalam berbagai sektor. Salah satu penggunaan utama THF adalah sebagai prekursor dalam produksi polytetramethylene ether glycol (PTMEG), yang melalui polimerisasi pembukaan cincin digunakan dalam pembuatan serat poliuretan elastomerik, seperti spandex. Peningkatan permintaan global terhadap spandex di industri pakaian dan tekstil telah menjadi pendorong utama pertumbuhan pasar THF. Selain itu, THF berperan sebagai pelarut penting dalam industri farmasi, produksi polivinil klorida (PVC), serta formulasi pelapis, tinta cetak, dan bahan perekat (Clifton, 2019).

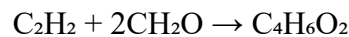
Pasar global THF terus menunjukkan pertumbuhan yang stabil, didorong oleh ekspansi ekonomi di kawasan Asia-Pasifik yang merupakan pusat utama manufaktur tekstil dan kimia (Heilmann dkk., 2023; The Insight Partners, 2024). Hingga kini, beberapa pabrik baru terus bermunculan pada beberapa negara khususnya negara berkembang untuk memenuhi kebutuhan THF yang terus meningkat. Tren kelanjutan peningkatan kebutuhan akan tekstil berkualitas tinggi serta pertumbuhan industri farmasi diperkirakan akan terus mendorong konsumsi THF di masa mendatang. Selain itu, inovasi dalam aplikasi baru dan pengembangan jalur produksi yang lebih berkelanjutan berbasis bio kemungkinan besar akan memberikan dampak yang positif untuk perkembangan pasar THF.

1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan

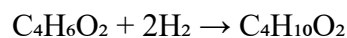
1.3.1. Proses Reppe

Salah satu metode industri yang umum dalam mensintesis tetrahydrofuran (THF) adalah Proses Reppe. Proses ini menggunakan asetilena dan formaldehida sebagai bahan baku utama. Proses sintesis dilakukan dalam dua tahap, masing-masing melibatkan reaksi kimia yang berbeda serta parameter operasi tertentu.

Tahap awal berfokus pada produksi 1,4-butanadiol (BDO) sebagai senyawa perantara utama. Proses ini dilakukan dengan mereaksikan asetilena dengan larutan formaldehida dalam kondisi tekanan tinggi dan suhu sekitar 100–110°C. Berikut reaksi asetilena dengan larutan formaldehida yang menghasilkan 1,4-butindiol:

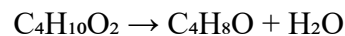


Reaksi etinilasi ini membutuhkan katalis khusus berupa senyawa tembaga-bismut agar reaksi dapat berjalan secara efektif. Produk langsung dari tahap ini adalah 1,4-butindiol, sebuah alkohol tak jenuh, yang kemudian dihidrogenasi untuk menyaturasi ikatan rangkap tiga karbon-karbon, sehingga menghasilkan 1,4-butanadiol. Adapun reaksi hidrogenasi sebagai berikut:



Pengelolaan asetilena dalam kondisi bertekanan tinggi menjadi faktor penting dalam tahap ini karena sifatnya yang dapat terurai secara eksplosif, sehingga memerlukan protokol keamanan yang ketat.

Pada tahap kedua, senyawa perantara 1,4-butanadiol diubah menjadi tetrahydrofuran melalui dehidrasi intramolekular yang dikatalisis oleh asam yang reaksinya dapat dilihat sebagai berikut:

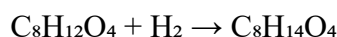
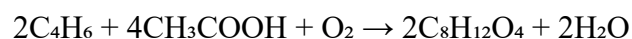


Proses ini berlangsung dengan pemanasan BDO di hadapan katalis asam, yang pada awalnya menggunakan asam mineral seperti asam sulfat atau asam fosfat. Namun, dalam penerapan modern, katalis asam padat seperti resin penukar ion asam sering digunakan karena dapat menyederhanakan proses pemisahan dan mengurangi korosi pada peralatan. Katalis ini membantu siklisasi molekul BDO, membentuk cincin eter beranggota lima yang menjadi karakteristik utama THF, sembari mengeliminasi satu molekul air. Tahap akhir melibatkan proses pemurnian,

biasanya melalui distilasi azeotropik, untuk memisahkan THF dari air serta BDO yang belum bereaksi (Bohnet & Ullmann, 2003).

1.3.2. Asetoksilasi Butadiena

Proses asetoksilasi butadiena merupakan salah satu metode industri dalam produksi 1,4-butanadiol (BDO), yang berperan sebagai prekursor langsung dalam sintesis tetrahydrofuran (THF). Berbeda dengan proses Reppe yang menggunakan asetilena, metode ini memanfaatkan butadiena, asam asetat, dan oksigen sebagai bahan baku utama. Sintesis ini terdiri dari beberapa tahap, dimulai dengan pembentukan senyawa diasetat sebagai perantara, yang kemudian dikonversi menjadi BDO sebelum mengalami siklisasi menjadi THF. Reaksi pembuatan THF dari jalur asetoksilasi butadiena terangkum sebagai berikut:



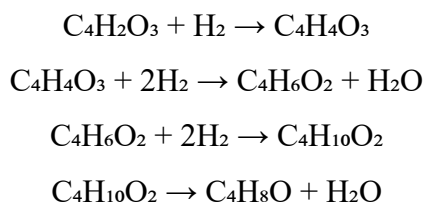
Tahap utama dalam proses ini adalah reaksi asetoksilasi awal, di mana 1,3-butadiena bereaksi dengan asam asetat dan gas yang mengandung oksigen dalam fase cair untuk menghasilkan 1,4-diasetoksi-2-butena. Reaksi ini berlangsung pada suhu antara 50°C hingga 150°C dan menggunakan sistem katalis yang mengandung palladium yang didukung oleh media seperti karbon aktif atau silika (Bohnet & Ullmann, 2003). Untuk memastikan selektivitas tinggi dan mempertahankan aktivitas katalis, palladium dikombinasikan dengan promotor seperti antimon, bismut, atau telurium, yang berperan penting dalam mengarahkan reaksi menuju pembentukan produk 1,4-diasetoksi-2-butena yang diinginkan.

Setelah tahap asetoksilasi, senyawa perantara 1,4-diasetoksi-2-butena mengalami dua langkah konversi sebelum menjadi THF. Pertama, senyawa tak jenuh ini dihidrogenasi menggunakan katalis seperti palladium atau nikel untuk menyaturasi ikatan rangkap karbon-karbon, sehingga menghasilkan 1,4-diasetoksibutana. Senyawa diester yang telah tersaturasi ini kemudian mengalami hidrolisis, yang berfungsi untuk memutus kedua gugus ester dan menghasilkan 1,4-butanadiol serta meregenerasi asam asetat (Bohnet & Ullmann, 2003). Asam asetat

yang terbentuk dapat dipisahkan dan didaur ulang kembali ke reaktor asetoksilasi awal. Tahap akhir dari proses ini melibatkan dehidrasi BDO melalui siklisasi yang dikatalisis oleh asam, suatu metode umum dalam sintesis THF, sehingga menghasilkan produk akhir tetrahydrofuran yang telah dimurnikan.

1.3.3. Hidrogenasi Maleat Anhidrida

Hidrogenasi katalitik maleat anhidrida merupakan salah satu jalur industri utama dalam proses pembuatan THF, sering kali dilakukan dalam pabrik yang juga memproduksi 1,4-butanadiol (BDO) dan gamma-butirolakton (GBL). Proses ini, yang dikomersialkan sebagai Proses Davy (sekarang Johnson Matthey), menggunakan n-butana sebagai bahan baku utama, yang pertama-tama dioksidasi menjadi anhidrida maleat. Senyawa ini kemudian menjadi bahan awal dalam rangkaian hidrogenasi bertahap. Secara keseluruhan reaksi pembuatan THF dari jalur hidrogenasi maleat anhidrida terangkum sebagai berikut (Heilmann dkk., 2023):



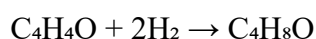
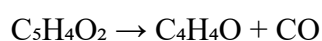
Tahapan utama dari proses ini adalah melibatkan reaksi maleat anhidrida dengan gas hidrogen dalam reaktor fixed-bed bertekanan tinggi, biasanya berkisar antara 40 hingga 100 bar, serta suhu yang meningkat hingga 150–250°C. Reaksi ini berlangsung melalui serangkaian senyawa perantara, di mana maleat anhidrida pertama-tama dihidrogenasi menjadi anhidrida suksinat, yang kemudian dengan cepat dikonversi menjadi gamma-butirolakton (GBL), senyawa stabil yang berperan sebagai perantara utama dalam proses ini.

Produk akhir kemudian terbentuk dari GBL. Gamma-butirolakton dapat mengalami hidrogenasi lebih lanjut untuk menghasilkan 1,4-butanadiol (BDO) tergantung pada katalis yang digunakan serta kondisi operasional proses yang diterapkan. Tetrahydrofuran kemudian diperoleh melalui tahap dehidrasi BDO yang dikatalisis oleh asam. Pemilihan katalis menentukan distribusi produk yang dihasilkan. Umumnya katalis yang digunakan berjenis khusus yang berbasis metal

tembaga. Tahapan akhir dari proses Davy melibatkan sistem distilasi kompleks untuk memisahkan THF, BDO, dan GBL dari satu sama lain serta dari air yang merupakan produk sampingan dari reaksi sintesis.

1.3.4. Proses Pentosan/Furfural

Produksi THF dari pentosan merupakan contoh klasik dari proses *biorefinery* yang memanfaatkan limbah pertanian sebagai bahan baku yang dapat diperbarui, menggantikan sumber petrokimia. Jalur ini dimulai dengan biomassa yang kaya akan kandungan pentosan, seperti tongkol jagung, sekam gandum, bagas tebu, atau serpihan kayu. Pentosan sendiri adalah polisakarida kompleks yang terdiri dari gula berkarbon lima, yang kemudian dipecah menjadi senyawa perantara utama, yaitu furfural. Reaksi-reaksi yang terjadi pada proses pentosan/furfural dapat dijabarkan sebagai berikut (Heilmann dkk., 2023):



Proses ini diawali dengan mengolah biomassa menggunakan uap dan katalis asam mineral, seperti asam sulfat, pada suhu yang tinggi. Tahap pertama ini menghidrolisis polimer pentosan menjadi monomer gula C5, terutama xilosa. Dalam kondisi asam dan suhu yang tinggi ini, molekul xilosa kemudian mengalami dehidrasi, kehilangan tiga molekul air untuk membentuk furfural. Furfural mentah yang dihasilkan kemudian dimurnikan melalui distilasi sebelum masuk ke tahapan konversi berikutnya.

Transformasi furfural menjadi THF melibatkan dua tahap katalitik berturut-turut. Pertama, furfural mengalami dekarbonilasi dalam fase uap, di mana senyawa ini dilewatkan melalui katalis yang biasanya mengandung logam seperti paladium atau nikel pada suhu tinggi. Reaksi ini menghilangkan gugus aldehida (-CHO) dalam bentuk karbon monoksida (CO), menghasilkan furan sebagai produk antara. Pada tahap akhir, furan kemudian mengalami hidrogenasi katalitik, biasanya menggunakan katalis berbasis nikel seperti Raney nickel. Reaksi ini menyaturasi dua ikatan rangkap dalam cincin furan, sehingga menghasilkan produk akhir berupa tetrahydrofuran.

1.3.5. Proses Dehidrasi BDO

Proses dehidrasi langsung 1,4-butanadiol (BDO) merupakan metode yang sangat efisien dan sederhana dalam proses pembuatan THF. Sebagai tahap akhir dalam banyak rantai produksi skala besar, proses ini banyak dipilih oleh pelaku industri karena kesederhanaan operasionalnya, hasil yang sangat tinggi, serta kondisi yang relatif ringan. Transformasi ini sangat dioptimalkan untuk mengonversi molekul linier BDO menjadi eter siklik yang bernilai tinggi, yaitu THF (Heilmann dkk., 2023).

Keunggulan utama dari proses ini terletak pada kesederhanaannya dan penggunaan katalis modern yang awet. Reaksi terjadi dalam satu tahap yang bersih, yaitu dehidrasi intramolekular yang dikatalisis oleh asam:



Alih-alih menggunakan asam mineral cair yang korosif dan sulit ditangani, pabrik industri modern memanfaatkan katalis asam padat seperti resin penukar ion asam atau zeolit. Penggunaan katalis ini memungkinkan proses berlangsung secara kontinu yang menyederhanakan operasi, mengurangi korosi peralatan, serta mempermudah penanganan dan regenerasi katalis. Selain itu, reaksi berlangsung pada suhu yang relatif moderat, sekitar 120–180°C, sehingga mengurangi konsumsi energi dan menekan biaya operasional dibandingkan dengan metode sintesis kimia yang lebih intensif energi.

Hasil dari proses dehidrasi BDO sangatlah layak, ditandai dengan selektivitas dan rendemen yang sangat tinggi. Transformasi kimia yang membentuk cincin THF beranggota lima ini sangat spesifik sehingga *yield* sering kali melebihi 99%. Konversi yang hampir kuantitatif ini memastikan bahwa pembentukan produk sampingan yang tidak diinginkan sangat minimal, sehingga menyederhanakan proses pemurnian berikutnya. Produk keluaran dari reaktor berupa campuran THF dan air dengan konsentrasi tinggi, yang dapat dipisahkan dengan mudah melalui proses distilasi azeotrop untuk memperoleh THF hampir murni sesuai dengan kebutuhan pasar (Bohnet & Ullmann, 2003). Kombinasi antara proses yang sederhana, kondisi yang ringan, dan hasil yang luar biasa menjadikan dehidrasi BDO sebagai pilihan utama dalam produksi THF.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Bahan Baku

a) 1,4-Butanadiol

Rumus molekul	: $C_4H_{10}O_2$
Warna	: tidak berwarna
Berat molekul	: 90,12 g/mol
Titik didih	: 230°C pada 760,00 mmHg
Titik leleh	: 20,1°C
Titik nyala	: 121°C
Suhu swasulut	: 215°C
Temperatur kritis	: 450,85°C
Tekanan kritis	: 54,48 atm
Berat jenis	: 1,017g/cm ³ pada 20°C
Viskositas	: 84,9 cP pada 20°C
Kelarutan	: larut dalam air
Degradasi	: degradasi saat suhu tinggi (reaksi dehidrasi), stabil pada suhu ruang namun cukup higroskopis
Sifat korosi	: non korosif
Bau	: tidak berbau

(National Library of Medicine, 2025a)

b) Dimetil Sulfoksida

Rumus molekul	: C_2H_6OS
Warna	: tidak berwarna
Berat molekul	: 78,14 g/mol
Titik didih	: 189°C pada 760,00 mmHg
Titik leleh	: 18,5°C
Titik nyala	: 95°C
Suhu swasulut	: 215°C
Temperatur kritis	: 447°C
Tekanan kritis	: 56.3 atm
Berat jenis	: 1,100 g/cm ³ pada 20°C
Viskositas	: 2,47 cP pada 20°C

Kelarutan	: larut dalam air
Degradasi	: mulai terdegradasi pada suhu 189°C
Sifat korosi	: korosif terhadap plastik, karet, dan pelapis
Bau	: seperti sulfur, bawang, atau tiram

(gChem, 2025b, 2025a; National Library of Medicine, 2025b)

1.4.2. Produk

a) Tetrahidrofur

Rumus molekul	: C_4H_8O
Warna	: tidak berwarna
Berat molekul	: 72,11 g/mol
Titik didih	: 65°C pada 760,00 mmHg
Titik leleh	: -108,44°C
Titik nyala	: -14,5°C
Suhu swasulut	: 321°C
Temperatur kritis	: 268,0°C
Tekanan kritis	: 51,2 atm
Berat jenis	: 0,8833 g/cm ³ pada 25 °C
Viskositas	: 0,53 cP pada 20°C
Kelarutan	: 30% dalam air pada 25°C
Degradasi	: dapat terdegradasi menjadi peroksida dan karbon monoksida saat terpapar dengan udara
Sifat korosi	: korosif terhadap plastik, karet, dan pelapis
Bau	: seperti ether

(National Library of Medicine, 2025c)

b) Air

Rumus molekul	: H_2O
Warna	: tidak berwarna
Berat molekul	: 18,015 g/mol
Titik didih	: 100°C pada 760,00 mmHg
Titik leleh	: 0°C
Titik nyala	: -
Suhu swasulut	: -
Temperatur kritis	: $373,95^\circ\text{C}$
Tekanan kritis	: 217,75 atm
Berat jenis	: $0,997 \text{ g/cm}^3$ pada 25°C
Viskositas	: 0,8949 cP pada 20°C
Kelarutan	: larut total dalam air, larut dalam etanol, metanol, dan aseton
Degradasi	: -
Sifat korosi	: korosif terhadap metal jika mengandung mineral
Bau	: tidak berbau

(National Library of Medicine, 2025d)

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. (2025). *Dimethyl Sulfoxide Product on Alibaba.com*.
https://www.alibaba.com/product-detail/Dimethyl-Sulfoxide-DMSO-Dmso-99-9_1601440846026.html?spm=a2700.7724857.0.0.16f86cd5DSEPKs
- American Chemical Society. (2015, Juli 28). *Tetrahydrofuran*. American Chemical Society. <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/t/tetrahydrofuran.html>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Data Ekspor Impor—Badan Pusat Statistik Indonesia*. <https://www.bps.go.id/id/exim>
- Bohnet, M., & Ullmann, F. (Ed.). (2003). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry* (6., completely revised ed). Wiley-VCH.
- Chandra Asri. (2025, Februari 17). *Industri Kimia: Pengertian, Jenis Produk, dan Contohnya* | Chandra Asri. <https://chandra-asri.com/id/blog/industri-kimia-pengertian-jenis-produk-dan-contohnya>
- Clifton, J. (2019, Juli 24). What Are The Uses Of Tetrahydrofuran (THF)? *ReAgent Chemical Services*. <https://www.chemicals.co.uk/blog/uses-of-tetrahydrofuran-thf>
- Deguchi, Y., Kono, M., Koizumi, Y., Izato, Y., & Miyake, A. (2020). Study on Autocatalytic Decomposition of Dimethyl Sulfoxide (DMSO). *Organic Process Research & Development*, 24(9), 1614–1620. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.0c00113>
- Fajri, M., & Sukmawijaya, A. (2024, Oktober 4). *Menperin Pastikan Industri Tekstil Masuk Sektor Prioritas*. kumparan.

<https://kumparan.com/kumparanbisnis/menperin-pastikan-industri-tekstil-masuk-sektor-prioritas-23eOCgYUKNy>

Fitriyanti, F. P. (2022). Teori Sumber vs Teori Badan Hukum dan Teori Transfromasi Keuangan dalam Menafsirkan Status Hukum Keuangan Badan Usaha Milik Negara. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(8), 10708–10723. <https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v7i8.9179>

Fowles, J., Boatman, R., Bootman, J., Lewis, C., Morgott, D., Rushton, E., Van Rooij, J., & Banton, M. (2013). A Review of The Toxicological and Environmental Hazards and Risks of Tetrahydrofuran. *Critical Reviews in Toxicology*, 43(10), 811–828. <https://doi.org/10.3109/10408444.2013.836155>

gChem. (2025a). DMSO Physical Properties | gChem. *gChem*. <https://www.gaylordchemical.com/products/literature/physical-properties/>
gChem. (2025b). DMSO Recovery, Engineering & Environmental. *gChem*. <https://www.gaylordchemical.com/process-safety-and-technology/dmso-recovery-engineering-environmental/>

Ghuge, P. D., Mali, N. A., & Joshi, S. S. (2017). Comparative analysis of extractive and pressure swing distillation for separation of THF-water separation. *Computers & Chemical Engineering*, 103, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.03.019>

Gu, J., You, X., Tao, C., Li, J., Shen, W., & Li, J. (2018). Improved Design and Optimization for Separating Tetrahydrofuran–water Azeotrope Through Extractive Distillation with and without Heat Integration by Varying

- Pressure. *Chemical Engineering Research and Design*, 133, 303–313.
<https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.03.015>
- Heilmann, M., Rodewald, D., & Weiguny, J. (2023). Tetrahydrofuran. Dalam Wiley-VCH (Ed.), *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (1 ed., hlm. 1–10). Wiley. https://doi.org/10.1002/14356007.a26_221.pub3
- Hoydonckx, H. E., Van Rhijn, W. M., Van Rhijn, W., De Vos, D. E., & Jacobs, P. A. (2007). Furfural and Derivatives. Dalam *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (1 ed.). Wiley.
https://doi.org/10.1002/14356007.a12_119.pub2
- Hung, S.-B., & Lin, T.-Y. (2021). *Methods for producing tetrahydrofuran* (United States Patent No. US20210061780A1).
<https://patents.google.com/patent/US20210061780A1/en>
- Indrapradja, I. S. (2018). Kajian Yuridis Terhadap Tanggung Jawab Direksi Dan Dewan Komisaris Pada Struktur Organisasi Perseroan Terbatas Yang Bersifat Kolegialitas Menurut Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas. 2018, 1(1), 11–15.
- Jatraningrum, D. A., Octavianingrum, S., & Santosa, H. (2010). *Kelayakan Ekonomi pada Prarancangan Pabrik Ftalat Anhidrida Kapasitas 45.000 Ton/Tahun*. 13(1), 209–215.
- JIIPE. (2025). *Instalasi Pengolahan Air—Berita—JIIPE, Kawasan Industri dan pelabuhan Terpadu Gresik Jawa Timur*.
<https://www.jiipe.com/id/home/blogDetail/id/336>
- Kemendikbud. (2010). *Modul 4 Legalitas Bentuk Perusahaan*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

- Lange, J.-P., & Wadman, S. H. (2020). Furfural to 1,4-Butanediol/Tetrahydrofuran – A Detailed Catalyst and Process Design. *ChemSusChem*, 13(19), 5329–5337. <https://doi.org/10.1002/cssc.202001376>
- Liu X.-Y., Shang D.-J., & Liu Z.-Y. (2017). Comparison of extractive and pressure-swing distillation for separation of tetrahydrofuran-water mixture. *Chemical Engineering Transactions*, 61, 1423–1428. <https://doi.org/10.3303/CET1761235>
- National Library of Medicine. (2025a, Juni 7). *1,4-Butanediol*. National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8064>
- National Library of Medicine. (2025b, Juni 7). *Dimethyl Sulfoxide*. National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/679>
- National Library of Medicine. (2025c, Juni 7). *Tetrahydrofuran*. National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Tetrahydrofuran>
- National Library of Medicine. (2025d, Juni 7). *Water*. National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/962>
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (4. ed). McGraw-Hill.
- SunSirs. (2025). *SunSirs: The 1,4-Butanediol Market Rebounded Last Week*. https://www.sunsirs.com/uk/detail_news-24456.html

- Syukran, M., Agustang, A., Idkhan, A. M., & Rifdan, R. (2022). Konsep Organisasi dan Pengorganisasian dalam Perwujudan Kepentingan Manusia. *Publik: Jurnal Manajemen Sumber Daya Manusia, Administrasi dan Pelayanan Publik*, 9(1), 95–103. <https://doi.org/10.37606/publik.v9i1.277>
- The Insight Partners. (2024). *Tetrahydrofuran Market Dynamics and Analysis by 2031*. The Insight Partners. <https://www.theinsightpartners.com/en/reports/tetrahydrofuran-market>
- TLV. (2025). *Calculator: Saturated Steam Table by Pressure | TLV - A Steam Specialist Company (Worldwide)*. <https://toolbox.tlv.com/global/TI/calculator/steam-table-pressure.html>
- Utami, P. D. Y. (2020). Pengaturan Pendaftaran Badan Usaha Bukan Badan Hukum Melalui Sistem Administrasi Badan Usaha. *Jurnal Komunikasi Hukum (JKH)*, 6(1), Article 1. <https://doi.org/10.23887/jkh.v6i1.23432>
- Vilbrandt, F. C., & Dryden, C. E. (1959). *Chemical Engineering Plant Design*. McGraw.
- World Bank. (2025). *Tetrahydrofuran imports by country*. <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/ALL/year/2023/trade/eflow/Imports/partner/WLD/product/293211>
- Yamashita, R., Nishimura, S., & Nagahama, H. (2015). *Method for producing tetrahydrofuran* (United States Patent No. US20150218117A1). <https://patents.google.com/patent/US20150218117A1/en?q=US20150218117A1>

Zhu, Y., Yang, J., Mei, F., Li, X., & Zhao, C. (2022). Bio-Based 1,4-Butanediol and Tetrahydrofuran Synthesis: Perspective. *Green Chemistry*, 24(17), 6450–6466. <https://doi.org/10.1039/D2GC02271K>