

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIBUTYL PHTHALATE*
DENGAN METODE ESTERIFIKASI DENGAN KAPASITAS PABRIK
12.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

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

Oleh:

Fadhlurrahman Renaldi 03031182126008

M. Naufal Akbar 03031282126040

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK *DIBUTYL PHTHALATE*
DENGAN METODE ESTERIFIKASI DENGAN
KAPASITAS PABRIK 12.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

**Dibuat untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana**

Oleh:

FADHLURRAHMAN RENALDI

NIM 03031182126008

M. NAUFAL AKBAR

NIM 03031282126040

Indralaya, Juli 2025

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,

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

NIP. 198106022008011010

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 Dibutyl Phthalate Dengan Metode Esterifikasi Dengan Kapasitas Pabrik 12.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh Fadhlurrahman Renaldi dan M. Naufal Akbar dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 16 Juli 2025. Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, R., DEA
NIP. 196010111985032002

()

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

()

3. Ir. Rahmatullah, S.T, M.T
NIP. 198905172015041002

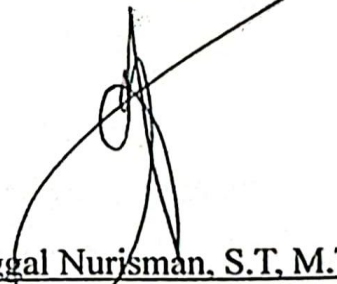
()

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

Indralaya, Juli 2025

Pembimbing Tugas Akhir


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

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

FADHLURRAHMAN RENALDI

03031182126008

M. NAUFAL AKBAR

03031282126040

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN DIBUTYL PHTHALATE
DENGAN METODE ESTERIFIKASI DENGAN KAPASITAS PABRIK
12.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Juli 2025 oleh Dosen Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, R., DEA
NIP. 196010111985032002

()

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

()

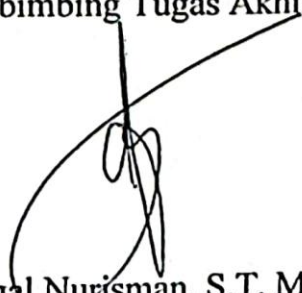
3. Ir. Rahmatullah, S.T, M.T
NIP. 198905172015041002

()

Indralaya, Juli 2025

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir


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

NIP. 198106022008011010

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadhlurrahman Renaldi
NIM : 03031182126008
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Dibutyl Phthalate
Dengan Metode Esterifikasi Dengan Kapasitas 12.000
Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **M. Naufal Akbar** 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.

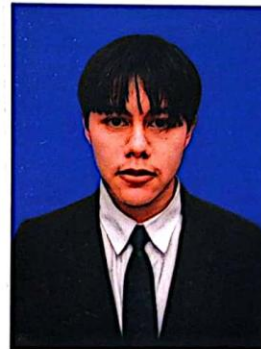
Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Indralaya, Juli 2025



Fadhlurrahman Renaldi

03031182126008



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Naufal Akbar
NIM : 03031282126040
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Dibutyl Phthalate
Dengan Metode Esterifikasi Dengan Kapasitas 12.000
Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Fadhurrahman Renaldi** 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



M. Naufal Akbar

03031282126040

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *“Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Dibutyl Phthalate Dengan Metode Esterifikasi Dengan Kapasitas Pabrik 12.000 Ton/Tahun”* dengan baik dan tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi kurikulum pada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis atas kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa tiada henti, menjadi sumber kekuatan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM, selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penyusunan laporan ini.
5. Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Keluarga, sahabat, dan rekan-rekan yang telah memberikan motivasi, bantuan, serta dukungan moral selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh kalangan dan pihak yang membacanya.

Palembang, Juni 2025

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIBUTYL PHTHALATE* DENGAN METODE ESTERIFIKASI KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2025

Fadhlurrahman Renaldi dan M. Naufal Akbar

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

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik *dibutyl phthalate* berkapasitas 12.000 ton/tahun direncanakan beroperasi pada tahun 2030 di Kawasan Industri Gresik, Karangturi, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Operasi pabrik berjalan selama 24 jam/hari dalam 330 hari/tahun. Komoditi *dibutyl phthalate* yang diproduksi mengacu pada patent CN 220834174 U yang menggunakan proses esterifikasi dengan n-butanol dan *phthalic anhydride* sebagai bahan baku produksi. Proses reaksi berlangsung di *Continuous Stirred Tank Reactor* dengan kondisi operasi yaitu pada temperatur 100°C dengan tekanan 1 atm yang di dalamnya terdapat katalis H₂SO₄. dengan berat katalis 3%-wt menghasilkan DBP dengan kemurnian 99%. Bahan baku diperoleh dari PT Petro OXO Nusantara dan PT Petrowidada. Pabrik berbentuk PT dengan struktur organisasi *Line and Staff* (Fungsional), dan mempekerjakan 108 tenaga kerja. Berdasarkan analisis ekonomi, pabrik dinilai layak dibangun dan dioperasikan dengan *Total Capital Investment* (TCI) sebesar US\$ 50.446.372,14, *Total Production Cost* (TPC) sebesar US\$36.023.135,79, dan Total Penjualan per Tahun sebesar US\$ 62.952.363,26. Nilai *Annual Cash Flow* (ACF) mencapai US\$ 26.929.227,47, *Rate of Return on Investment* (ROR) sebesar 45,37%, *Discounted Cash Flow-ROR* sebesar 54,00%, *Break Even Point* (BEP) sebesar 33,671%, *Pay Out Time* (POT) selama 1,85 tahun, dan umur layanan (*Service Life*) pabrik selama 11 tahun. Berdasarkan parameter tersebut, pendirian Pabrik *Dibutyl Phthalate* dinilai layak secara teknis dan ekonomis sebagai langkah strategis menuju kemandirian industri kimia nasional.

Kata Kunci: *Dibutyl Phthalate*, Esterifikasi, *Continuous Stirred Tank Reactor*, Perseroan Terbatas (PT).

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
RINGKASAN	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan DBP	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik.....	3
1.3.1. Tujuan Pendirian Pabrik.....	3
1.3.2. Manfaat Pendirian Pabrik.....	3
1.4. Data-Data Sifat Fisik dan Kimia Bahan Kimia yang Terlibat.....	4
1.4.1. Produk dan Bahan Baku.....	4
1.4.2. Katalis	8
1.5. Proses Pembuatan Dibutyl Phthalate	11
BAB II PERENCANAAN PABRIK	13
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	13
2.2. Penentuan Kapasitas.....	13
2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	17
2.4. Pemilihan Proses	18
2.5. Uraian Proses	19
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK.....	23
3.1. Lokasi Pabrik	23
3.2. Ketersediaan Bahan Baku	24
3.3. Pemasaran dan Transportasi	25
3.4. Ketersediaan Sistem Utilitas	25
3.5. Ketersediaan Tenaga Kerja.....	26
3.6. Letak Geografis.....	26

3.7.	Tata Letak Pabrik	27
3.8.	Perkiraan Luas Tanah	29
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	30
4.1.	Neraca Massa	30
4.2.	Neraca Panas	33
BAB V	UTILITAS	39
5.1.	Unit Pengadaan <i>steam</i>	39
5.2.	Unit Pengadaan Air	40
5.2.1.	Air Pendingin	41
5.2.2.	Air Umpan Boiler	43
5.2.3.	Air Domestik	43
5.2.4.	Air Proses	45
5.2.5.	Total Kebutuhan Air	45
5.3.	Unit Pengadaan Listrik	46
5.3.1.	Kebutuhan Listrik Peralatan	46
5.3.2.	Kebutuhan Listrik Penerangan dan Fasilitas Lain	46
5.4.	Unit Pengadaan Bahan Bakar (LNG)	48
5.4.1.	Bahan Bakar Boiler	48
5.4.2.	Bahan Bakar Generator	49
BAB VI	SPESIFIKASI PERALATAN	50
6.1.	Tangki-101 (T-101)	50
6.2.	Tangki-201	50
6.3.	Tangki-301	51
6.4.	Tangki-401	51
6.5.	Silo-Bin 101 (S-101)	52
6.6.	Screw-Conveyor 101 (SC-101)	53
6.7.	Pompa-01 (P-01)	53
6.8.	Pompa-02 (P-02)	54
6.9.	Pompa-03 (P-03)	55
6.10.	Pompa-04 (P-04)	56
6.11.	Pompa-05 (P-05)	56
6.12.	Pompa-06 (P-06)	57
6.13.	Pompa-07 (P-07)	58
6.14.	Pompa-08 (P-08)	59

6.15.	Pompa-09 (P-09)	60
6.16.	Pompa-10 (P-10)	61
6.17.	Pompa-11 (P-11)	61
6.18.	Pompa-12 (P-12)	62
6.19.	Pompa-13 (P-13)	63
6.20.	Pompa-14 (P-14)	64
6.21.	Pompa-15 (P-15)	64
6.22.	Cooler-101 (C-101)	65
6.23.	Cooler-102 (C-102)	66
6.24.	Cooler-103 (C-103)	67
6.25.	Heater-101 (H-101)	68
6.26.	Heater-102 (H-102)	69
6.27.	Heater-103 (H-103)	70
6.28.	Condensor-01 (CD-01)	71
6.29.	Condensor-02 (CD-02)	72
6.30.	Reboiler-01 (RB-01)	73
6.31.	Reboiler-02 (RB-02)	74
6.32.	Mixing Tank-101 (M-101)	75
6.33.	Reaktor-101 (R-101)	75
6.34.	Reaktor-201 (R-201)	76
6.35.	Netralizer-101 (N-101)	78
6.36.	Decanter-101 (D-101)	79
6.37.	Kolom Distilasi-101 (KD-101)	79
6.38.	Kolom Distilasi-201 (KD-201)	81
6.39.	Accumulator-01 (ACC-01)	82
6.40.	Accumulator-02 (ACC-02)	82
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN		85
7.1.	Bentuk Perusahaan	85
7.2.	Struktur Organisasi	86
7.2.1.	Struktur Fungsional	86
7.2.2.	Struktur Divisional	86
7.2.3.	Struktur Matriks	86
7.2.4.	Struktur Hiperteks	86
7.2.5.	Struktur Jaringan	87

7.3.	Tugas dan Wewenang.....	88
7.3.1.	Pemegang Saham	88
7.3.2.	Dewan Komisaris	89
7.3.3.	Direktur Utama.....	89
7.3.4.	Manajer Teknik dan Produksi	89
7.3.5.	Manajer Pemasaran dan Keuangan	90
7.3.6.	Manajer Kepegawaian dan Umum.....	91
7.3.7.	Sekretaris Direktur	91
7.3.8.	Operator dan Karyawan	91
7.4.	Sistem Kerja	91
7.4.1.	Karyawan <i>day-shift</i>	91
7.4.2.	Karyawan <i>shift</i>	92
7.5.	Penentuan Jumlah Karyawan	92
BAB VIII	ANALISA EKONOMI	97
8.1.	Keuntungan (Profitabilitas).....	97
8.1.1.	Total Penjualan Produk	97
8.1.2.	Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i>	97
8.2.	Lama Waktu Pengembalian.....	98
8.2.1.	Lama Pengangsuran Pengembalian Pinjaman	98
8.2.2.	<i>Pay Out Time</i>	99
8.3.	Total Modal Akhir	99
8.3.1.	<i>Net Profit Over Total Life of Project</i> (NPOTLP)	99
8.3.2.	Total Capital Sink.....	100
8.4.	Laju Pengembalian Modal.....	101
8.4.1.	<i>Rate of Return Investment</i> (ROR).....	101
8.4.2.	Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR).....	101
8.5.	Break Event Point	102
BAB IX	KESIMPULAN	105
DAFTAR PUSTAKA.....		106

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan Proses pembuatan Dibutyl Phthalate	11
Tabel 2.1. Data Impor Dibutyl Phthalate di Indonesia	14
Tabel 2.2. Variabel x pada regresi polinomial	15
Tabel 2.3. Kebutuhan impor 2025-2030 dengan perhitungan pertumbuhan	16
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas.....	39
Tabel 5.2. Kebutuhan Saturated Steam 370°C	40
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Pendingin	41
Tabel 5.4. Kebutuhan Air Proses	45
Tabel 5.5. Total Kebutuhan Air.....	45
Tabel 5.6. Kebutuhan Listrik Peralatan	46
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal Shift Kerja Karyawan	92
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan Pabrik Pembuatan DBP	93
Tabel 8.1. Tabel Penjualan Produk	97
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tren Impor Dibutyl Phthalat	15
Gambar 3.1. Peta Rencana Lokasi Pendirian Pabrik	23
Gambar 3.2. Peta Lokasi Jarak Sumber Bahan Baku dengan Lokasi Pendirian Pabrik (a) Bahan baku n-butanol (b) Bahan baku phthalic anhydride	25
Gambar 3.3. Perencanaan Tata Letak Pabrik	28
Gambar 3.4. Perencanaan Tata Letak Peralatan Proses	29
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	96
Gambar 8.1. Grafik Break Even Point (BEP) Pabrik Pembuatan Dibutyl Phthalate	103

DAFTAR NOTASI

1. ACCUMULATOR

C	= Tebal korosi yang diizinkan (m)
E	= Efisiensi pengelasan (dimensionless)
ID	= Inside diameter (m)
OD	= Outside diameter (m)
L	= Panjang accumulator (m)
P	= Tekanan operasi (atm)
S	= Working stress yang diizinkan (psi)
T	= Temperatur operasi ($^{\circ}\text{C}$)
V	= Volume total (m^3)
V_s	= Volume silinder (m^3)
W	= Laju alir massa (kg/jam)
ρ	= Densitas (kg/m^3)

2. COOLER, HEAT EXCHANGER, CONDENSOR, REBOILER, HEATER

A	= Area perpindahan panas (ft^2)
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	= Percepatan gravitasi (ft/s^2)
j_H	= Faktor perpindahan panas (dimensionless)
k	= Konduktivitas termal ($\text{Btu}/\text{jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$)
L	= Panjang tube/pipa (ft)
LMTD	= Log Mean Temperature Difference ($^{\circ}\text{F}$)
N	= Jumlah baffle
N_t	= Jumlah tube

PT	= Tube pitch (in)
Q	= Beban panas (Btu/jam)
Rd	= Dirt factor (Btu/jam·ft ² ·°F)
Re	= Bilangan Reynold (dimensionless)
s	= Specific gravity
Uc	= Clean overall coefficient (Btu/jam·ft ² ·°F)
Ud	= Design overall coefficient (Btu/jam·ft ² ·°F)
Ga	= Laju alir massa fluida annulus (lb/jam·ft ²)
Gp	= Laju alir massa fluida inner pipe (lb/jam·ft ²)
Gs	= Laju alir massa fluida shell (lb/jam·ft ²)
Gt	= Laju alir massa fluida tube (lb/jam·ft ²)
W	= Laju alir massa fluida panas (lb/jam)
w	= Laju alir massa fluida dingin (lb/jam)
ΔPr	= Return drop shell (Psi)
ΔPs	= Penurunan tekanan pada shell (Psi)
ΔPt	= Penurunan tekanan pada tube (Psi)
ΔPT	= Penurunan tekanan total tube (Psi)
h	= Koefisien perpindahan panas (Btu/jam·ft ² ·°F)
hi, hio	= Koefisien perpindahan panas fluida dalam/luar tube dan wall
T1, T2	= Temperatur fluida panas inlet/outlet (°F)
t1, t2	= Temperatur fluida dingin inlet/outlet (°F)
Tc	= Temperatur rata-rata fluida panas (°F)
tc	= Temperatur rata-rata fluida dingin (°F)
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·ft)
ID	= Inside Diameter (ft)
OD	= Outside Diameter (ft)
μ	= Viskositas (cp)

ρ = Densitas (lb/ft³)

3. DECANTER

W_c = Laju alir massa fase kontinyu (kg/jam)

ρ_c = Densitas fase kontinyu (kg/m³)

Q_c = Laju alir volumetrik fase kontinyu (m³/jam)

μ_c = Viskositas fase kontinyu (kg/m.s)

W_d = Laju alir massa fase dispersi (kg/jam)

ρ_d = Densitas fase dispersi (kg/m³)

Q_d = Laju alir volumetrik fase dispersi (m³/jam)

μ_d = Viskositas fase dispersi (kg/m.s)

d_d = Diameter droplet (μ m)

U_d = Kecepatan pengendapan droplet (m/s)

D_{dec} = Diameter decanter (m)

h = Tinggi decanter (m)

I = Ketebalan dispersi band (m)

Z_i = Tinggi antarmuka cairan (m)

Z_t = Kedalaman pengambilan light liquid (m)

Z_a = Kedalaman pengambilan heavy liquid (m)

t_r = Waktu tinggal droplet (s)

D_p = Diameter pipa (m)

ID = Diameter dalam decanter (m)

OD = Diameter luar decanter (m)

t = Ketebalan dinding decanter (m)

t_h = Ketebalan head (in)

V_t = Volume head torispherical (m³)

V_{sf} = Volume straight flange (m³)

V_s = Volume silinder (m³)

4. KOLOM DISTILASI

A_d = Downcomer area (m²)

A_t	= Tower cross-sectional 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)
d_c	= Column diameter (mm)
d_h	= Hole diameter (mm)
H	= Column height (m)
h_w	= Weir height (mm)
h_f	= Froth height (mm)
h_σ	= Weep point (cm)
L_w	= Weir length (m)
t	= Wall thickness (m)
V	= Vapor feed flow rate (kg/s)
L	= Liquid solvent flow rate (kg/s)
Q	= Volumetric vapor flow (m^3/s)
q	= Volumetric liquid flow (m^3/s)
V_d	= Downcomer velocity (m/s)
U_f	= Aerated mass velocity (m/s)
F_{iv}	= Flow parameter (dimensionless)
ΔP	= Pressure drop (Pa or mmH ₂ O)
P	= Design pressure (atm)
T	= Operating temperature ($^{\circ}C$)
T_{av}	= Average temperature ($^{\circ}C$)
ρ_g	= Vapor density (kg/ m^3)
ρ_l	= Liquid density (kg/ m^3)
α	= Relative volatility (dimensionless)
ψ	= Fractional entrainment (dimensionless)
N_m	= Minimum number of trays

St = Total stages
 Ss = Feed stage
 Rm = Minimum reflux ratio
 R = Actual reflux ratio (L/D)
 Reh = Reynolds number (dimensionless)
 Rh = Hydraulic radius (m)
 e = Total entrainment (kg/s)
 ha = Aerated liquid drop (m)
 Δ = Liquid gradient (cm)
 C = Corrosion allowance (m)
 E = Joint efficiency (dimensionless)
 S = Allowable stress (N/m²)
 Csb = Vapor capacity factor (m/s)
 DI = Downcomer clearance (mm)

5. MIXER, NETRALIZER, REAKTOR

Cao = Initial concentration (mol/L)
 Fa, Fb, Fc, Fd, Fe = Molar flow rates (mol/h)
 F' = Mass flow rates (kg/h)
 $X1, X2$ = Conversion rates (%)
 $k1a$ = Rate constant for monoester formation (L/mol·h)
 $k2c$ = Rate constant for diester formation (L/mol·h)
 r = Reaction rate (mol/L·h)
 α = Relative volatility (dimensionless)
 V = Liquid volume (m³)
 H = Reactor height (m)
 dc = Column diameter (m)
 $LMTD$ = Log Mean Temperature Difference (°C)
 Uc = Clean overall coefficient (Btu/hr·ft²·°F)
 Ud = Dirty overall coefficient (Btu/hr·ft²·°F)

R_d = Fouling factor ($\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu}$)
 N_{Re} = Reynolds number (dimensionless)
 j_H = Heat transfer factor (dimensionless)
 N = Number of turns
 D_{spiral} = Spiral diameter (m)
 t = Wall thickness (m)
 E = Joint efficiency (dimensionless)
 S = Allowable stress (N/m^2)
 i_d = Diameter Reaktor beserta jaket
 V_j = Volume jacket

6. POMPA

Q_f = Volumetric flow rate (GPM or m^3/h)
 V_f = Pump capacity (lb/h or kg/h)
 ΔP = Pressure difference (Psi or kPa)
 $NPSH$ = Net Positive Suction Head (ft or m)
 BHP = Brake Horse Power (HP or kW)
 $D_{i \text{ opt}}$ = Optimum pipe diameter (in or mm)
 ID = Inside pipe diameter (in or mm)
 A = Flow area (in^2 or m^2)
 L = Pipe length (ft or m)
 L_e = Equivalent pipe length (ft or m)
 $H_{f \text{ suc}}$ = Total suction friction loss (ft or m)
 $H_{f \text{ dis}}$ = Total discharge friction loss (ft or m)
 H_{fs} = Skin friction loss (ft or m)
 H_{fc} = Sudden contraction/expansion loss (ft or m)
 K_C, K_S = Contraction/expansion loss coefficients
 f = Friction factor (dimensionless)
 E = Pipe roughness (ft or m)
 P_{Vp} = Vapor pressure (Psi or kPa)

V = Flow velocity (ft/s or m/s)
 NRe = Reynolds number (dimensionless)
 FK = Safety factor (dimensionless)
 g_c = Gravitational acceleration (32.17 ft/s² or 9.81 m/s²)

7. SCREW CONVEYOR

w = Laju massa padatan (kg/jam)
 ρ = Densitas padatan (kg/m³)
 Q_v = Laju alir volumetrik (m³/jam atau ft³/h)
 D_f = Diameter flights screw (in)
 D_p = Diameter pipa dalam screw (in)
 D_s = Diameter shaft (in)
 N = Kecepatan putar screw (rpm)
 D_{feed} = Diameter bagian feed (in)
 HB_F = Hanger Bearing Factor (tak berdimensi)
 MF = Material Factor (tak berdimensi)
 L = Panjang screw conveyor (ft)
 Hanger Center = Jarak antar hanger bearing (ft)

8. SILO

V = Volume padatan (m³)
 Safety Factor = Faktor keamanan (%)
 V_{silo} = Kapasitas silo (m³)
 ρ = Densitas padatan (kg/m³)
 g = Percepatan gravitasi (m/s²)
 G = Laju alir massa padatan keluar silo (kg/s)
 B = Sudut konis silo (°)
 d_{eff} = Diameter efektif keluaran silo (m)
 D = Diameter shell silo (m atau in)
 d = Diameter ujung bawah konis (m)
 H_k = Tinggi konis silo (m)

H_s = Tinggi silinder (shell) silo (m)

H_{total} = Tinggi total silo (m)

V_k = Volume bagian konis silo (m^3)

V_s = Volume bagian silinder silo (m^3)

V_{tot} = Volume total silo (m^3)

9. TANGKI

m_s = Laju massa cairan (kg/jam)

ρ = Densitas cairan (kg/m^3)

t = Waktu simpan (jam)

V_{liquid} = Volume cairan (m^3)

V_{tank} = Kapasitas tangki yang dibutuhkan (m^3)

D = Diameter tangki (m)

H = Tinggi silinder tangki (m)

SG = Specific Gravity

S_d = Allowable stress untuk shell tangki (MPa)

S_t = Allowable stress untuk ring plate / uji shell (MPa)

E = Efisiensi sambungan las (Joint Efficiency)

CA = Corrosion Allowance (mm/thn)

t_d = Tebal desain dinding tangki (mm)

t_t = Tebal uji shell tangki (mm)

t_r = Tebal pelat atap tangki (mm)

θ = Sudut kemiringan atap konis ($^\circ$)

H_r = Tinggi atap tangki (m)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. Perhitungan Neraca Massa	109
Lampiran II. Perhitungan Neraca Panas.....	143
Lampiran III. Spesifikasi Peralatan	192
Lampiran IV. Perhitungan Ekonomi	308
Lampiran V. Tugas Khusus	327
Lampiran VI. Paten Utama Dan Paten Pendukung	345

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Industri petrokimia merupakan salah satu sektor vital dalam perekonomian Indonesia karena menghasilkan berbagai senyawa kimia yang menjadi bahan baku utama dalam berbagai industri hilir, seperti plastik, tekstil, kosmetik, dan farmasi. Namun, salah satu tantangan yang dihadapi adalah belum tercukupinya kebutuhan senyawa tertentu, seperti *Dibutyl Phthalate* (DBP). DBP adalah senyawa ester dari asam ftalat yang memiliki peran penting sebagai *plasticizer*, yaitu zat yang digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas, daya lentur, dan daya tahan plastik, terutama pada produk seperti kabel, pipa, dan pelapis. Selain itu, DBP juga digunakan dalam industri cat, tinta cetak, perekat, dan kosmetik, seperti cat kuku. Keterbatasan pasokan lokal senyawa ini mengharuskan Indonesia untuk mengimpor, sehingga pengembangan kapasitas produksi domestik DBP menjadi penting untuk mendukung kemandirian industri petrokimia nasional.

Dibutyl phthalate (DBP), dengan nama kimia 1,2-benzena dikarboksilat dibutil, adalah senyawa organik dengan rumus molekul $C_{16}H_{22}O_4$. DBP merupakan cairan tak berwarna yang dikenal memiliki sifat plastis penting, sehingga banyak digunakan sebagai *plasticizer*, yaitu senyawa yang meningkatkan fleksibilitas, elastisitas, dan daya tahan plastik. Senyawa ini digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi industri, termasuk sebagai bahan utama dalam pelapis permukaan seperti cat, pigmen, pelapis lantai, perekat, emulsi polimer, dan senyawa PVC. Selain itu, DBP juga ditemukan dalam produk konsumen, seperti kosmetik (terutama cat kuku), mainan, dan barang kebutuhan rumah tangga lainnya. Namun, penggunaan DBP mendapat perhatian khusus karena potensi risiko kesehatannya, terutama terhadap sistem reproduksi, yang mendorong pembatasan penggunaannya di beberapa negara untuk produk tertentu, seperti mainan anak-anak dan kosmetik.

Perusahaan produsen *Dibutyl Phthalate* (DBP) di Indonesia saat ini belum tersedia. DBP, yang merupakan salah satu *plasticizer* penting untuk berbagai aplikasi industri, dapat diproduksi melalui reaksi antara *phthalic anhydride* dan *n*-butanol dengan katalis asam. Bahan baku utama untuk memproduksi DBP, yaitu *phthalic anhydride*, diproduksi di Indonesia, seperti PT Petrowidada dengan

kapasitas 70.000 ton/tahun. Sementara itu, n-butanol yang juga merupakan bahan baku utama diproduksi dari PT Petro Oxo Nusantara di Gresik dengan kapasitas 130.000 ton/tahun. Dengan adanya ketersediaan *phthalic anhydride* dan n-butanol, Indonesia memiliki potensi untuk mendirikan industri DBP domestik, yang dapat mengurangi ketergantungan pada impor serta mendukung kebutuhan pasar dalam negeri untuk senyawa ini.

Dibutyl phthalate (DBP) disintesis oleh R. H. Mills, M. W. Farrar, dan O. J. Weinkauff dari Monsanto melalui reaksi *phthalic acid* dengan *n-butyl chloride*, yang pada masa itu menjadi pendekatan inovatif dalam memproduksi senyawa ester ini. Namun, seiring berkembangnya teknologi kimia, proses produksi DBP mengalami perbaikan, hingga metode yang paling umum digunakan saat ini adalah reaksi *phthalic anhydride* dengan n-butanol dalam kondisi katalitik asam. Reaksi ini memiliki keunggulan efisiensi dan kemurnian produk, sekaligus mengurangi limbah yang dihasilkan. *Phthalic anhydride*, sebagai bahan baku utama, bereaksi dengan n-butanol untuk membentuk DBP melalui esterifikasi, yang kemudian dimurnikan untuk mencapai kualitas yang sesuai dengan kebutuhan industri.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan DBP

Dibutyl Phthalate (DBP), sebuah ester dari asam ftalat, memiliki nomor registrasi CAS 84-74-2, rumus molekul $C_{16}H_{22}O_4$, dan berat molekul 278,4. Nama lain dari senyawa ini mencakup 1,2-benzenedicarboxylic acid, dibutyl ester; *phthalic acid*, dibutyl ester; dan di-n-butyl phthalate. DBP adalah cairan berminyak tak berwarna dengan tekanan uap sekitar 0,01 Pa pada suhu 25°C, konstanta Henry sebesar $6,4 \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$ atau lebih rendah, koefisien partisi oktanol-air ($\log K_{ow}$) antara 4,31 dan 4,79, serta kelarutan dalam air sekitar 10 mg/L. Meski begitu, nilai kelarutan hingga 4500 mg/L juga pernah dilaporkan. Penentuan kelarutan air untuk ester asam ftalat sering kali sulit karena senyawa ini mudah membentuk dispersi koloid dalam air dan mengalami "lipatan molekul."

Analisis DBP yang paling sensitif dan selektif pada media lingkungan dilakukan menggunakan kromatografi gas dengan deteksi tangkapan elektron. Namun, kontaminasi sering terjadi akibat keberadaan ftalat di udara laboratorium, pelarut, atau peralatan analisis, seperti tabung polivinil yang dapat mengandung DBP hingga 23,3%. Oleh karena itu, kehati-hatian sangat diperlukan selama

pengambilan sampel, penyimpanan, dan analisis untuk menghindari overestimasi konsentrasi DBP.

Di Kanada, tidak ada produsen DBP. Sebuah perusahaan sempat memproduksi DBP dalam jumlah kurang dari 1000 ton per tahun, tetapi menghentikan produksinya pada awal 1988. Sebanyak 540 ton DBP diimpor ke Kanada pada 1991, turun dari 860 ton pada 1988, dengan sekitar 83% berasal dari Amerika Serikat. DBP sebagian besar digunakan sebagai plastisizer pada emulsi polivinil. Pada 1991, 54% dari total pasokan DBP di Kanada digunakan untuk perekat, 15% untuk pelapis (termasuk lak), dan 31% untuk aplikasi lain seperti pelapisan kertas. DBP juga digunakan dalam kosmetik, termasuk sebagai pelarut parfum, agen suspensi dalam aerosol, pelumas katup aerosol, antifoam, emolien kulit, serta plastisizer dalam cat kuku, alat pemanjang kuku, dan semprotan rambut.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik

1.3.1. Tujuan Pendirian Pabrik

Pendirian pabrik *dibutyl phthalate* (DBP) dilakukan mempertimbangkan tingginya kebutuhan senyawa DBP di Indonesia. Senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan baku maupun bahan tambahan dalam berbagai industri, terutama industri plastik, cat, perekat, dan kosmetik. Keterbatasan pabrik yang memproduksi DBP di Indonesia mengakibatkan sebagian besar kebutuhan senyawa ini harus dipenuhi melalui impor. Oleh karena itu, diperlukan pendirian pabrik DBP dengan kapasitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, mengurangi ketergantungan impor, dan mendukung keberlanjutan industri terkait di Indonesia.

1.3.2. Manfaat Pendirian Pabrik

- 1) Meningkatkan devisa negara dan memperkuat perekonomian nasional melalui pengurangan ketergantungan impor *Dibutyl Phthalate* (DBP).
- 2) Mendukung pertumbuhan industri di Indonesia dengan menyediakan bahan baku dan bahan tambahan berupa DBP yang banyak digunakan dalam berbagai sektor, seperti plastik, cat, dan kosmetik.
- 3) Menciptakan lapangan kerja baru dan secara tidak langsung meningkatkan kesejahteraan ekonomi masyarakat sekitar.

1.4. Data-Data Sifat Fisik dan Kimia Bahan Kimia yang Terlibat

Sifat fisik dan kimia senyawa yang terlibat dalam proses pembuatan *Dibutyl Phthalate* baik bahan baku, katalis, produk (utama dan samping) sebagai berikut:

1.4.1. Produk dan Bahan Baku

1) *Dibutyl Phthalate*

a. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: $C_{16}H_{22}O_4$
Berat Molekul	: 278,34 g/mol
Densitas kritis	: 1050 kg/m ³
Titik didih	: 340 C
Titik nyala	: 157 C
Tekanan kritis	: 1,60 MPa
Temperatur kritis	: 797 K
Viskositas	: 0,203 poise (20,3 mPa.s) at 25 C
Kelarutan	: Dibutyl phthalate (DBP) memiliki kelarutan sangat rendah dalam air, sekitar 0,001–11,2 mg/L tergantung suhu, namun sangat larut dalam pelarut organik seperti etanol, eter, benzena, dan minyak.

b. Sifat Kimia

- Klasifikasi Kimia:

Dibutyl Phthalate (DBP) termasuk dalam kelompok phthalates dan dikategorikan sebagai senyawa organik semi-volatil (SVOC), menjadikannya penting dalam berbagai aplikasi industri.

- Penggunaan pada Obat dan Kosmetik:

Dalam industri kosmetik, DBP digunakan sebagai pelarut. Penggunaannya telah diakui oleh Cosmetic Ingredient Review (CIR) dan tercatat dalam California Safe Cosmetics Program (CSCP) sebagai bahan pelengkap yang sering digunakan dalam produk kosmetik.

- *Endocrine Disruptors*:

DBP memiliki potensi sebagai senyawa pengganggu sistem endokrin (EDCs). Hal ini menjadikannya bagian dari daftar PARC T4.2 yang mengidentifikasi senyawa-senyawa dengan potensi efek biologis pada sistem hormonal.

- Sebagai Plasticizer:

Sebagai bahan tambahan plastik, DBP digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas dan daya lentur pada berbagai produk. Penggunaannya diakui dalam daftar bahan aditif plastik menurut ECHA Plastic Additives Initiative.

- Penggunaan dalam Polimer:

DBP dimanfaatkan pada berbagai jenis polimer, seperti PVC lunak dan PUR. Senyawa ini meningkatkan elastisitas dan daya lentur, yang sangat penting untuk aplikasi pada produk plastik dan karet.

2) *Phthalic Anhydride*

a. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: $C_8H_4O_3$
Berat Molekul	: 148,11 g/mol
Densitas kritis	: 1530 kg/m ³
Titik didih	: 285,3 °C
Titik nyala	: 152 °C
Viskositas	: 1.19 mPa.s at 132 °C; 1.125 mPa.s at 155 °C
Kelarutan	: <i>Phthalic Anhydride</i> memiliki kelarutan dalam air berkisar antara 5.964 mg/L hingga 6.400 mg/L pada suhu 20–26 °C, dengan kelarutan meningkat hingga 16.400 mg/L karena hidrolisis cepat menjadi asam ftalat.

b. Sifat Kimia

- Dekomposisi

Phthalic anhydride mudah terhidrolisis di hadapan air, membentuk asam ftalat. Waktu paruh untuk proses ini adalah 30,5 detik pada pH 7,24 dan 61 detik pada pH 6,8.

- Degradasi melalui Hidrolisis

Phthalic anhydride mengalami hidrolisis yang cepat ketika berinteraksi dengan air, menghasilkan asam ftalat. Reaksi ini berlangsung dalam waktu yang sangat singkat, dengan waktu paruh (half-life) yang sangat pendek, terutama pada pH netral. Hal ini menunjukkan bahwa phthalic anhydride sangat reaktif terhadap air dan mudah terurai dalam kondisi yang tepat

- Reaksi dengan Air

Reaksi phthalic anhydride dengan air tergantung pada pH lingkungan. Pada pH netral (sekitar 7), reaksi hidrolisis berlangsung cepat, sementara pada pH yang lebih rendah (seperti pH 6.8), reaksi tersebut berlangsung lebih lambat. Hal ini menunjukkan bahwa sifat kimia phthalic anhydride dapat dipengaruhi oleh kondisi asam atau basa, yang memengaruhi kecepatan proses hidrolisisnya.

- **Potensi Reaksi**

Phthalic anhydride memiliki kemampuan untuk mengionisasi dengan energi yang cukup besar. Ia digunakan secara luas dalam industri kimia, terutama dalam pembuatan plastik dan polimer. Reaksi kimia ini memungkinkan phthalic anhydride untuk berperan penting dalam modifikasi struktur polimer, sehingga dapat meningkatkan kinerja bahan plastik yang dihasilkan, seperti PVC dan polimer lainnya.

3) N-Butanol

a. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: $C_4H_{10}O$
Berat Molekul	: 74,12 g/mol
Densitas kritis	: 810 kg/m ³
Titik didih	: 117 °C
Titik nyala	: 29 °C
Viskositas	: 36.1 cP at -50.9 °C; 5.186 cP at 0 °C; 2.544 cP at 25 °C; 0.533 cP at 100 °C
Kelarutan	: N-butanol sangat larut dalam air dengan kelarutan 68 g/L pada suhu 25 °C, serta mudah bercampur dengan banyak pelarut organik seperti aseton, etanol, dan eter.

b. Sifat Kimia

- **Reaktivitas**

N-butanol dapat terurai ketika dipanaskan, menghasilkan asap dan uap tajam. Proses ini menandakan adanya kemungkinan reaksi kimia yang terjadi pada suhu tinggi.

- **Korosivitas**

N-butanol dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai material seperti plastik dan karet, yang mengindikasikan reaktivitasnya terhadap bahan-bahan tersebut.

- Pengaruh pada Senyawa Kimia Lain

N-butanol dapat berinteraksi dengan senyawa kimia lainnya dalam proses kimia, terutama dalam reaksi pembentukan ester atau dalam sintesis bahan kimia lainnya.

- Keasaman

N-butanol memiliki sifat yang cukup netral dalam larutan, tetapi dapat berperan dalam reaksi yang melibatkan pH jika tercampur dengan asam atau basa kuat.

- Sifat Pembentuk Zat Padu

N-butanol dapat membentuk senyawa padat atau kristal ketika berada pada suhu rendah, yang mengindikasikan kemampuannya untuk mengkristal dalam kondisi tertentu.

4) Monobutyl Phthalate

a. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: $C_{12}H_{14}O_4$
Berat Molekul	: 222,24 g/mol
Titik didih	: 527,09 K (253,94 C)
Titik lebur	: -35 C
Titik beku	: -33,9 C
Densitas	: 1173 kg/m ³
Kelarutan	: 409 mg/L air
Viskositas	: 10,6492 mPa.s pada 25 °C

b. Sifat Kimia

- Deskripsi Kimia

Monobutyl Phthalate (MBP) adalah senyawa hasil metabolit dari phthalate ester, seperti di-n-butyl phthalate (DBP), yang banyak digunakan sebagai plasticizer. MBP termasuk dalam kelas phthalate, yang berperan penting dalam meningkatkan fleksibilitas bahan plastik.

- Potensi Sebagai Endocrine Disruptor

MBP dikategorikan sebagai endocrine disruptor potensial. Hal ini berarti MBP dapat mengganggu sistem endokrin pada manusia dan organisme lain, yang berpotensi menyebabkan gangguan kesehatan seperti efek reproduksi dan perkembangan.

- Kestabilan dan Reaktivitas

MBP stabil pada suhu dan tekanan normal, tetapi dapat terurai pada kondisi ekstrem, seperti suhu tinggi atau dalam media asam/basa kuat. Reaksinya meliputi hidrolisis lebih lanjut menjadi asam phthalic dan butanol.

- Kelarutan dan Polaritas

MBP bersifat amfifilik, sehingga memiliki kelarutan moderat dalam pelarut organik namun rendah dalam air. Sifat polaritasnya memungkinkan interaksi dengan berbagai senyawa kimia, menjadikannya relevan dalam studi kimia kompleks.

1.4.2. Katalis

1) Asam Sulfat

a. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: H_2SO_4
Berat Molekul	: 98,08 g/mol
Densitas kritis	: 1800 kg/m ³
Titik didih	: 337 C
Titik lebur	: 10 C
Temperatur kritis	: 655 C
Viskositas	: 21 mPa.s at 25 °C
Kelarutan	: Asam sulfat bersifat <i>miscible</i> dengan air dalam segala perbandingan, menghasilkan panas yang signifikan saat larut, serta juga larut sempurna dalam etanol dengan disertai kontraksi volume.

b. Sifat Kimia

- Korosivitas Tinggi

Asam sulfat merupakan zat yang sangat korosif, terutama pada logam. Larutan asam sulfat pekat cenderung tidak korosif terhadap timbal dan baja ringan, tetapi larutan encer dapat menyerang sebagian besar logam,

menghasilkan gas hidrogen sebagai produk samping. Kemampuan korosif ini juga memengaruhi bahan lain seperti batu kapur, marmer, kulit, kertas, dan bahan organik lainnya, menyebabkan perubahan warna dan kerusakan struktural.

- Afinitas Tinggi terhadap Air

Asam sulfat memiliki daya serap yang kuat terhadap air, baik dari udara maupun dari senyawa organik. Proses ini sering menghasilkan panas yang signifikan. Sifat ini juga memungkinkan asam sulfat digunakan sebagai agen dehidrasi, yang terlihat dari kemampuannya untuk mengarbonisasi bahan organik seperti kayu dan gula.

- Kemampuan Menghasilkan Panas Saat Dicampur dengan Air

Ketika asam sulfat dicampur dengan air, terjadi reaksi eksotermis yang menghasilkan banyak panas. Oleh karena itu, pencampuran harus dilakukan dengan hati-hati, dengan menuangkan asam ke dalam air, bukan sebaliknya, untuk menghindari percikan yang berbahaya.

- Reaktivitas dengan Logam dan Pelepasan Hidrogen

Asam sulfat dapat bereaksi dengan berbagai logam, terutama dalam kondisi encer, menghasilkan garam logam sulfat dan gas hidrogen. Reaksi ini menjadi salah satu alasan asam sulfat sering digunakan dalam proses pembersihan logam dan dalam industri elektrokimia.

- Penguraian pada Suhu Tinggi

Pada suhu tinggi (sekitar 340 °C), asam sulfat terurai menjadi sulfur trioksida (SO_3) dan air. Reaksi ini penting dalam proses pembuatan asam sulfat itu sendiri melalui metode kontak, sekaligus menunjukkan kestabilan termal relatif asam sulfat pada kondisi tertentu.

2) Natrium Hidroksida

a. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: NaOH
Berat Molekul	: 39,997 g/mol
Densitas kritis	: 2100 kg/m ³
Titik didih	: 138 C
Titik lebur	: 12 C

Viskositas : 4.0 cP at 350 °C

Kelarutan : Natrium hidroksida (NaOH) memiliki kelarutan yang sangat tinggi dalam air, mencapai 111% pada suhu kamar, yang berarti dapat larut sepenuhnya dan membentuk larutan yang sangat pekat. Senyawa ini juga mudah larut dalam air dingin maupun panas, serta larut bebas dalam etanol dan gliserol. Dalam pelarut seperti metanol, 1 gram NaOH dapat larut dalam 4,2 mL, sementara dalam alkohol absolut membutuhkan 7,2 mL. Kelarutan NaOH meningkat secara signifikan dalam air mendidih, dengan 1 gram larut hanya dalam 0,3 mL air.

b. Sifat Kimia

- Stabilitas dan Higroskopisitas

NaOH bersifat higroskopis, yang berarti mudah menyerap uap air dan karbon dioksida (CO_2) dari udara, menghasilkan natrium karbonat (Na_2CO_3). Oleh karena itu, NaOH harus disimpan dalam wadah yang rapat untuk mencegah reaksi ini. Sifat ini menjadikannya sensitif terhadap kondisi penyimpanan, sehingga penanganan yang tepat sangat diperlukan untuk menjaga kemurniannya.

- Dissosiasi dalam Air

NaOH adalah basa kuat yang terionisasi sempurna dalam air, menghasilkan ion natrium (Na^+) dan hidroksida (OH^-). Proses ini menghasilkan larutan dengan pH sangat tinggi, yang dapat mencapai nilai maksimal sekitar 14 pada konsentrasi tertentu. Sifat ini membuatnya sangat efektif sebagai agen pH buffer dan dalam reaksi netralisasi dengan asam.

- Reaktivitas dengan Logam Amfoterik dan Asam Lemah

NaOH bereaksi dengan logam amfoterik seperti aluminium, seng, dan timah, membentuk kompleks anion seperti aluminate (AlO_2^-) disertai pelepasan gas hidrogen (H_2). Selain itu, NaOH juga bereaksi dengan asam lemah, gas asam (seperti H_2S dan SO_2), serta asam organik, menghasilkan garam yang larut dalam air. Sifat ini membuatnya banyak digunakan dalam industri kimia.

- Korosivitas

NaOH sangat korosif terhadap banyak material, termasuk logam seperti aluminium ketika ada kelembapan. Dalam lingkungan basah, NaOH dapat menyebabkan korosi yang signifikan pada permukaan, sehingga material tahan korosi harus digunakan dalam aplikasi yang melibatkan senyawa ini. Sifat ini juga penting dalam proses pembersihan industri.

- Kemampuan sebagai Agen Pengoksidasi dan Pereduksi
Dalam reaksi tertentu, NaOH dapat bertindak sebagai agen pengoksidasi atau pereduksi, tergantung pada senyawa yang direaksikan. Contohnya adalah penggunaannya dalam deklorinasi senyawa organik dan dalam reaksi kimia kompleks. Sifat ini menjadikan NaOH sebagai bahan kimia multifungsi yang banyak digunakan dalam proses industri, seperti pemurnian minyak dan pengolahan limbah.

1.5. Proses Pembuatan Dibutyl Phthalate

Proses pembuatan Dibutyl Phthalate (DBP) terdiri dari dua proses utama, yaitu reaksi antara Phthalic anhydride dengan n-butanol dan reaksi antara Dioctyl terephthalate dengan n-butanol. Proses pertama merupakan proses yang umum digunakan, di mana Phthalic anhydride bereaksi dengan n-butanol dalam kondisi asam sebagai katalis untuk menghasilkan Dibutyl Phthalate. Reaksi ini berlangsung melalui esterifikasi, menghasilkan DBP dan Monobutyl Phthalate sebagai produk sampingan. Proses kedua melibatkan reaksi antara Dioctyl terephthalate dengan n-butanol. Proses ini merupakan alternatif yang menggunakan senyawa berbasis tereftalat. Reaksi berlangsung melalui transesterifikasi di bawah pengaruh katalis basa, menghasilkan Dibutyl Phthalate dan produk sampingan lainnya. Perbandingan proses pembuatan Dibutyl Phthalate dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Perbandingan Proses pembuatan Dibutyl Phthalate

Proses Pembuatan	Esterifikasi	Transesterifikasi
Temperatur	100-120 C	150 C
Tekanan	1 atm	1,5-2,5 atm

Reaksi Utama	$C_{12}H_{12}O_4 + 2 C_4H_9OH \rightarrow C_{24}H_{38}O_4 + 2 C_4H_9OH \rightarrow$ $C_{16}H_{22}O_4 + H_2O$	$C_{16}H_{22}O_4 + 2 C_8H_{18}O$
Reaksi Samping	$C_8H_4O_3 + C_4H_9OH \rightarrow C_{12}H_{12}O_4 + H_2O$ (Seri)	$C_{24}H_{38}O_4 + C_4H_9OH \rightarrow C_{16}H_{22}O_4$ (BOTP) + $C_8H_{18}O$
Konversi	88%	38,5%
Produk samping	-	BOTP
Kelebihan	Menggunakan pre-mixer untuk mencampurkan feed (Pthalic Anhidrat dan n-Butanol) sebelum masuk ke reaktor sehingga didapatkan waktu reaksi yang lebih sedikit	Menghasilkan lebih banyak senyawa kelompok terephthalate
Kekurangan	Hanya berfokus konversi tinggi pada DBP	Konversi reaksinya terlalu rendah dan produk samping yang dihasilkan banyak sehingga dibutuhkan proses pemisahan yang lebih banyak

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2025. *Badan Pusat Statistik: Ekspor dan Impor*. (Online). <https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada tanggal 2 Februari 2025).
- Bausbacher, E., dan Hunt, R. 1993. *Process Plant Layout and Piping Design*. United States: Prentice Hall.
- Berman, S., Melynychuk, A. A., dan Othmer, D. F. 1948. Dibutyl Phthalate Reaction Rate of Catalytic Esterification. *Industrial And Engineering Chemistry*. Vol. 40, No. 7: 1312-1319.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959) *Process Equipment Design: Vessel Design*. John Wiley & Sons.
- Engineering Tool box. 2025. www.engineeringtoolbox.com (Diakses pada 15 April 2025).
- Flynn, A. M., Akashige, T., dan Theodore, L. 2019. *Kern's Process Heat Transfer Second Edition*. United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Fogler, H.S. 1999. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Pearson Education
- Fogler, H.S. 2016. *Elements of Chemical Reaction Engineering Fifth Edition*. Michigan : Prentice Hall.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations (Third Edition)*. United States: Prentice-Hall.
- Gitman, L. J., dan Zutter, C. J. 2012. *Principles of Managerial Finance (13th Edition)*. United States: Prentice Hall.
- Google Maps. 2025. Peta Lokasi Rencana Pendirian Pabrik Dibutyl Phthalate. (Online). <https://maps.app.goo.gl/gB6Wy7xthbWKPAHE8> (Diakses pada tanggal 1 April 2025).
- Google Maps. 2025. *Peta Lokasi Rencana Pendirian Pabrik Dibutyl Phthalate*. (Online). <https://maps.app.goo.gl/gB6Wy7xthbWKPAHE8> (Diakses pada tanggal 1 April 2025).
- JCT Machinery. 2025. Jacketed Reactor And Pipe Coil Reactor. <https://www.jctmixingequipment.com/news/jacketed-reactor-and-pipe-coil-reactor#:~:text=Jacketed%20Reactor:%20Applicable%20to%20various,Equipment%20Footprint%20and%20Space%20Requirement.> (Diakses pada tanggal 1 Juli 2025).

- Kandil, U. F., Shaker, N. O., Amer, N. M., dan El-Sockary, M. A. 2009. Advanced Synthesis of Dioctyl Phthalate (DOP) and Dibutyl Phthalate (DBP) Plasticizers. *Chemical Technology An Indian Journal*. Vol. 4 (2): 47-54.
- Kern, D. Q. 1983. *Process Heat Transfer*. Japan: Mc-Graw Hill.
- Lee, S. G., Lee, S. K., dan Shin, J. H. 2021. *Method for Preparing Terephthalate-Based Composition, Comprising Pressurization Section* (EP 3 889 128 A1). European Patent Application.
- Matche. 2014. *Data Harga Peralatan*. (Online): <http://www.matche.com>. (Diakses pada 19 Mei 2025).
- Monoarfa, S. (Kepala Bapennas RI). 2023. Era Baru Biaya Logistik Untuk Indonesia Emas 2045. https://supplychainindonesia.com/wp-content/files/Kementerian_PPN_-_Bappenas.pdf. (Diakses pada Tanggal 29 Mei 2025).
- Moran, S. 2017. *Process Plant Layout (Second Edition)*. United Kingdom: Elsevier.
- Peraturan Bupati Gresik Nomor 31 Tahun 2024. Tentang Perubahan Atas Peraturan Bupati Nomor 1 Tahun 2018 Tentang Tarif Air Pada Perusahaan Daerah Air Minum Giri Tirta Kabupaten Gresik. (Diakses pada Tanggal 29 Mei 2025).
- Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 144/PMK.04/ Tahun 2022. Tentang Nilai Pabean untuk Penghitungan Bea Masuk. (Online). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/230635/pmk-no-144pmk042022>. (Diakses pada Tanggal 29 Mei 2025).
- Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor 176/PMK.011 Tahun 2009. Tentang Pembebasan Bea Masuk Atas Impor Mesin Serta Barang dan Bahan untuk Pembangunan atau Pengembangan Industri Dalam Rangka Penanaman Modal. (Online). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/167732/pmk-no-176pmk0112009>. (Diakses pada Tanggal 29 Mei 2025).
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 121 Tahun 2020. Tentang Perubahan atas Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2016 tentang Penetapan Harga Gas Bumi. (Online). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/156888/perpres-no-121-tahun-2020>. (Diakses pada Tanggal 29 Mei 2025).
- Perry, R.H. (1997). *Perry's Chemical Engineers Handbook*.

- Peters, M.S., dan Timmerhaus, K.D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. United States: McGraw-Hill.
- PT Kawasan Industri Gresik. 2022. *Gresik Industrial Area (KIG)*. (Online). <https://halo.kig.co.id/en/home21> (Diakses pada tanggal 1 April 2025).
- PT Petro OXO Nusantara. 2023. *Normal Butanol*. (Online). <https://www.pon.co.id/products/normal-butanol>. (Diakses pada tanggal 2 Maret 2025).
- PT Petrowidada. 2025. *Phthalic Anhydride (PA)*. <https://ebergroup.com/petrowidada/>. (Diakses pada tanggal 2 Maret 2025).
- Pubchem. 2025. *Compound Summary Chemical and Physical Properties*. (Online) <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/docs/about>. (Diakses pada 1 April 2025).
- Shujuan, S., Yunlong, H., dan Wenqian, H. 2023. *Efficiency Production System for Dibutyl Phthalate* (CN 220834174 U). State Intellect Property Office.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Smith, N. J. 2002. *Engineering Project Management (Second Edition)*. Great Britain: Blackwell Science Ltd.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 28 April 2025).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007. Tentang Perseroan Terbatas. (Online). <https://www.ojk.go.id/sustainable-finance/id/peraturan/>
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1999. Tentang Larangan Praktek Monopoli aan Persaingan Usaha Tidak Sehat. (Online). <https://www.postel.go.id/content/ID/regulasi/telekomunikasi/uu/uu%20no.%205%20tahun%201999.pdf>. (Diakses pada Tanggal 9 Maret 2025).
- [undang-undang/Documents/5.%20UU-40-2007%20PERSEROAN%20TERBATAS.pdf](https://www.postel.go.id/content/ID/regulasi/telekomunikasi/uu/uu%20no.%205%20tahun%201999.pdf). (Diakses pada Tanggal 28 April 2025).
- Weather Spark. 2025. *Iklim dan Cuaca Rata-Rata Sepanjang Tahun di Gresik*. (Online). <https://id.weatherspark.com/y/124650/Cuaca-Rata-rata-bulan-Gresik-Indonesia-Sepanjang-Tahun>. (Diakses pada tanggal 2 April 2025).
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill.