

SKRIPSI

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIOCTYL TEREPHTHALATE* KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN



Chelsi

NIM 03031181621114

Muhammad Nugroho

NIM 03031281621049

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

SKRIPSI

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIOCTYL TEREPHTHALATE* KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia pada Universitas Sriwijaya



Chelsi

NIM 03031181621114

Muhammad Nugroho

NIM 03031281621049

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIOCTYL*
TEREPHTHALATE KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh:

Chelsi

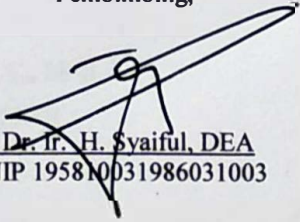
NIM 03031181621114

Muhammad Nugroho

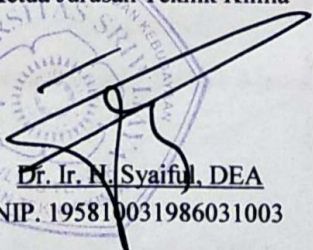
NIM 03031281821049

Palembang, Juli 2020

Pembimbing,


Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP 195810031986031003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Ir. N. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003



HALAMAN PERSETUJUAN

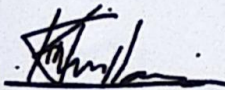
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* Kapasitas 60.000 Ton / Tahun” telah dipertahankan oleh Chelsi dan Muhammad Nugroho di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juni 2020.

Palembang, Juli 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

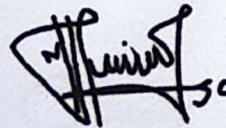
1. Ir. Hj. Tri Kurnia Dewi, M.Sc, Ph.D

NIK. 1671104307520005

()

2. Novia Sumardi, S.T, M.T, Ph.D

NIP. 197311052000032003

()

3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003

()

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003



HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Chelsi

03031181621114

Muhammad Nugroho

03031281621049

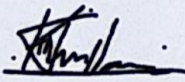
Judul:

"PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIOCTYL TEREPHTHALATE* KAPASITAS 60.000 TON / TAHUN"

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juni 2020 oleh Dosen Penguji:

Ir. Hj. Tri Kurnia Dewi, M.Sc, Ph.D

NIK. 1671104307520005

()

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

NIP. 198010312005011003

()

Inderalaya, Juli 2020

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Chelsi

NIM : 03031181621114

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate*
dengan Kapasitas 60.000 Ton/Tahun.

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Muhammad Nugroho** 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 paksaan dari pihak manapun.

Palembang, Juli 2020



Chelsi
Chelsi

NIM. 03031181621114



ABSTRAK

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *DIOCTYL TEREPHTHALATE* KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juni 2020

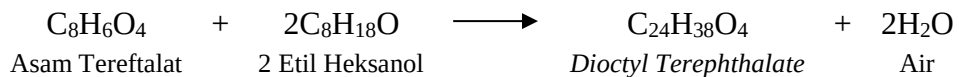
Chelsi dan Muhammad Nugroho

Dibimbing oleh Dr. Ir. H. Syaiful, DEA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

RINGKASAN

Pra rancangan pabrik pembuatan *Diocetyl Terephthalate* dengan kapasitas produksi 60.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Provinsi Banten dengan perkiraan luas area sebesar 2,5 Ha. Proses pembuatan *Diocetyl Terephthalate* ini mengacu pada US Patent No. 2020/0010039 A1 dan US Patent No. 2015/0307435 A1 dengan proses esterifikasi Asam Tereftalat menggunakan katalis Asam Sulfat di dalam *continuous stirred tank reactor* yang beroperasi pada temperatur 150°C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 172 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik *Diocetyl Terephthalate* ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- Biaya Investasi = US\$ 47.362.696,05
- Hasil penjualan per tahun = US\$ 84.029.951,24
- Biaya produksi per tahun = US\$ 44.900.230,80
- *Annual Cash Flow* = US\$ 31.050.649,01
- *Pay Out time* = 1,46 Tahun
- *Rate of return on investment* = 57,83%
- *Discounted Cash Flow –ROR* = 65,30%
- *Break Even Point* = 28,52%
- *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci: *Diocetyl Terephthalate*, Esterifikasi, CSTR, Perseroan Terbatas.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulisan tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* Kapasitas 60.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana strata satu di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk semua pihak.

Indralaya, Juli 2020

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, petunjuk, serta dorongan, baik yang bersifat moral maupun material. Terimakasih kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat dan karunia-Nya yang memberikan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua yang telah memberikan perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya mengalir demi kelancaran dan kesuksesan dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan sekaligus selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Ibu Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
6. Teman-teman yang telah memberikan motivasi, saran, serta dukungan yang terbaik, serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini turut memberi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Indralaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	vii
UCAPAN TERIMA KASIH	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR NOTASI.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan	2
1.3 Deskripsi dan Kegunaan	3
1.4 Macam-macam Proses Pembuatan.....	4
1.5 Sifat Fisika dan Kimia.....	8
BAB II PERENCANAAN PABRIK	
2.1 Alasan Pendirian Pabrik.....	11
2.2 Penentuan Kapasitas.....	11
2.3 Pemilihan Bahan Baku.....	13
2.4 Uraian Proses	14
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	
3.1 Lokasi Pabrik	17
3.2 Pertimbangan Tata Letak Peralatan	22
3.3 Tata Letak Pabrik	22
3.4 Luas Area Pabrik.....	23

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS

4.1 Neraca Panas.....	26
4.2 Neraca Panas.....	30

BAB V UTILITAS

5.1 Unit Pengadaan <i>Steam</i>	36
5.2 Unit Pengadaan Air	37
5.3 Unit Pengadaan Listrik	41
5.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar	44

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN..... 50

BAB VII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN

7.1 Bentuk Perusahaan	100
7.2 Struktur Organisasi Perusahaan.....	101
7.3 Tugas dan Wewenang.....	103
7.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	106
7.5 Sistem Kerja	106
7.6 Penentuan Jumlah Karyawan	108
7.7 Penggolongan Jabatan	110

BAB VIII ANALISA EKONOMI

8.1 Keuntungan (Profitabilitas)	113
8.2 Lama Waktu Pengembalian Modal	114
8.3 Total Modal Akhir	115
8.4 Laju Pengembalian Modal.....	117
8.5 <i>Break Even Point</i>	119

BAB IX KESIMPULAN 122

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Perbandingan Proses Pembuatan DOTP.....	7
Tabel 2.1 Data Impor DOTP di Indonesia.....	12
Tabel 5.1 Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 200°C	36
Tabel 5.2 Kebutuhan Air Pendingin	37
Tabel 5.3 Total Kebutuhan Air	41
Tabel 5.4 Kebutuhan Listrik Peralatan	41
Tabel 5.5 Total Kebutuhan Listrik.....	43
Tabel 5.8 Total Kebutuhan Bahan Bakar.....	47
Tabel 7.1 Jam Kerja Karyawan Shift	107
Tabel 7.2 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	107
Tabel 7.3 Perincian Jumlah Karyawan.....	109
Tabel 7.4 Perincian Tingkat Pendidikan	111
Tabel 8.1 Total Penjualan Produk.....	113
Tabel 8.2 Angsuran Pengembalian Modal TCI (US \$)	114
Tabel 8.3 Kesimpulan Analisa Ekonomi	121

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Data Impor DOTP di Indonesia 2009-2019	12
Gambar 3.1. Lokasi Pabrik Pembuatan <i>Dioctyl Tetepththalate</i>	21
Gambar 3.2. Tata Letak Peralatan Pabrik Pembuatan <i>Dioctyl Terephthalate</i>	24
Gambar 3.3. Tata Letak Pabrik Pembuatan <i>Dioctyl Terephthalate</i>	25
Gambar 7.1 Struktur Organisasi Perusahaan	102
Gambar 7.2 Kebutuhan Karyawan Proses untuk Industri Kimia	108
Gambar 8.1. <i>Break Even Point</i> (BEP).....	120

DAFTAR NOTASI

1. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
He	= Tinggi head, m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Desain, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
V _h	= Volume ellipsoidal head, m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
V _t	= Volume tangki, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

2. SILO DAN HOPPER

C	= Faktor korosi, in
D	= Diameter shell, ft
d	= Diameter ujung konis, ft
E	= Welded joint efficiency
F	= Allowance stress, psi
h	= Tinggi silo, ft
G	= Laju Alir Massa, kg/s
g	= Percepatan Gravitasi, m/s ²
P	= Tekanan, atm
T	= Temperatur, K
V _t	= Volume tangki, m ³
W _s	= Laju alir massa, kg/jam

α	= angle of repose
ρ	= Densitas, kg/m ³
θ	= Sudut Silo

3. MIXING TANK

C	= Korosi yang diizinkan, m
E	= Effisiensi pengelasan, dimensionless
S	= Working stress yang diizinkan, psi
D _t	= Diameter tanki, m
D _i	= Diameter pengaduk, m
H _i	= Tinggi pengaduk dari dasar tanki
H _l	= Tinggi pengaduk
W	= Lebar daun impeller
L	= Panjang daun impeller
V _s	= Volume silinder, m ³
V _e	= Volume ellipsoidal, m ³
t _h	= Tebal tanki, m
N _t	= Jumlah pengaduk
P	= Densitas liquid
μ	= Viscosity, cP
t _m	= waktu pengadukan, menit

4. REAKTOR DAN NEUTRALIZER TANK

C _{Ao}	= konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m ³
C	= Tebal korosi yang diizinkan, atm
D _K	= Diameter katalis, cm
F _{Ao}	= Laju alir umpan, kmol/jam
H _r	= Tinggi Reaktor, m
ID	= Inside Diameter, m
k	= Konstanta laju reaksi
N	= Bilangan Avogadro

OD	= Outside Diameter, m
P	= Tekanan, atm
Q_f	= Volumetric Flowrate Umpan
Re	= Bilangan Reynold
S	= Working Stress yang diizinkan, atm
T	= Temperatur. °C
t	= Tebal dinding vessel
V_t	= Volume reaktor, m ³
X	= Konversi
ρ	= Densitas
σ	= Diameter Partikel, cm

5. FILTER PRESS

A	= Area Filtrasi , m ²
C	= Konsentrasi solid dalam feed, kg/m ³
m_f	= Flowrate feed, kg/jam
V	= Volume liquid, m ³
ρ_c	= Densitas cake, kg/m ³
ρ_s	= Densitas campuran, kg/m ³
Θ	= Waktu filtrasi, menit

6. ACCUMULATOR TANK

C	= Corrosion maksimum, in
D	= Diameter tanki minimum,m
E	= Joint effisiensi
L	= Panjang tanki, m
OD	= Outside diameter, m
P	= Tekanan desain, psi
Q_r	= Laju alir massa umpan, m ³ /s
S	= Working stress allowable, psi

t	= tebal dinding tanki, m
V_T	= Volume Tanki, m^3

7. DECANTER

A_i	= Area Permukaan m^2
A_p	= Area permukaan pipa, m^2
C	= Corrosion maksimum, in
D	= Diameter vessel minimum, m
d_d	= Diameter droplet, m
D_p	= Diameter pipa, m^2
E	= Joint efisiensi
H	= Tinggi decanter, m
I	= Dispersion band, m
L_c	= Laju alir volumetrik fase kontinyu, m^3/jam
OD	= Outside diameter, m
P	= Tekanan desain, psi
Q_r	= Laju alir massa umpan, m^3/s
S	= Working stress allowable, psi
t	= tebal dinding tanki, m
T_r	= Waktu tinggal droplet, s
U_d	= Kecepatan pengendapan, m/s
W_d	= Laju alir massa fase terdispersi (fase berat), kg/jam
W_c	= Laju alir massa fase kontinyu (fase ringan), kg/jam
Z_a	= Kedalaman heavy liquid take off, m
Z_i	= Tinggi permukaan, m
Z_t	= Kedalaman zat cair, m
ρ_d	= Densitas fase terdispersi (fase berat), kg/m^3
ρ_c	= Densitas fase kontinyu (fase ringan), kg/m^3
μ_d	= Viskositas fase terdispersi (fase berat), cP
μ_c	= Viskositas fase kontinyu (fase ringan), cP

8. SCREW CONVEYOR

ρ	= Densitas bahan, lb/ft ³
Q	= volumetric flowrate, ft ³ /jam
W	= Laju alir massa, kg/jam

9. BUCKET ELEVATOR

ρ	= Densitas bahan, lb/ft ³
W_s	= Laju alir massa, kg/jam

10. BELT CONVEYOR

C	= Faktor material
H	= Panjang belt, ft
THP	= Kapasitas belt, ton/jam
f	= Faktor keamanan, %
V	= Tinggi belt, ft
W_s	= Laju alir massa, kg/jam

11. ROTARY DRYER, ROTARY COOLER

C_p	= Kapasitas panas udara, kkal/kg°C
D	= Diameter dryer, m
F	= Jumlah sayap
G_s	= Jumlah udara yang digunakan, lb/jam
L	= Panjang dryer, m
L_f	= Panjang flight
N	= Jumlah putaran
P	= Power dryer, HP
S_s	= Jumlah produk yang dikeringkan, lb/jam
t_1	= Temperatur umpan masuk, °F
t_2	= Temperatur umpan keluar, °F
t_w	= Temperatur wet bulb, °F
T_{G1}	= Temperatur udara masuk, °F

T_{G2}	= Temperatur udara keluar, °F
U_d	= Overall heat transfer area, lb/ft ² jam
θ	= Time of retention, jam

12. COOLER, HEATER, CONDENSER, EVAPORATOR, VAPORIZER

A	= Area perpindahan panas, ft ²
C	= Clearance antar tube, in
D	= Diameter dalam tube, in
D_e	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, ft ² /in ²
G_s	= Laju alir massa fluida pada 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_{io}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
j_H	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² .°F
L	= Panjang tube, pipa, ft
$LMTD$	= Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
N_t	= Jumlah tube
P_T	= Tube pitch, in
ΔP_r	= Return drop sheel, Psi
ΔP_s	= Penurunan tekanan pada shell, Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan tube, Psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
ΔP_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, U_d	= Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft ² .°F
W_1	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
W_2	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viskositas, cp

13. POMPA

A	= Area alir pipa, in ²
BHP	= Brake Horse Power, HP
$D_{i \text{ opt}}$	= Diameter optimum pipa, in
E	= Equivalent roughness
f	= Faktor friksi
FK	= Faktor keamanan
g_c	= Percepatan gravitasi, ft/s ²
Gpm	= Gallon per menit
$H_{f \text{ suc}}$	= Total friksi pada suction, ft
$H_{f \text{ dis}}$	= 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	= Diameter dalam 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
ΔP	= Beda tekanan, Psi

14. BLOWER

A	= Luas permukaan blower, ft^2
D_{opt}	= Diameter optimum pipa, in
P	= Tekanan blower, in H_2O
Q	= Debit volumetric, ft^3/jam
W_s	= Laju alir massa, kg/jam
V	= Kecepatan udara, ft/detik
ρ	= Densitas, kg/m^3

15. BILANGAN TAK BERDIMENSI

N_{Re}	= Reynold Number
Sc	= Schmidt Number
j_H	= Faktor perpindahan panas
f	= Friction factor

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Hal
Lampiran I: Neraca Massa	130
Lampiran II: Neraca Panas.....	162
Lampiran III: Spesifikasi Peralatan.....	244
Lampiran IV: Perhitungan Ekonomi.....	455
Tugas Khusus.....	467

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi disertai dengan kemajuan sektor industri telah menuntut semua negara ke arah industrialisasi. Indonesia sebagai negara berkembang banyak melakukan pembangunan di segala bidang. Sampai saat ini pembangunan sektor industri mengalami peningkatan, salah satunya adalah pembangunan sektor industri kimia. Pada tahun 2014 Kementerian Perindustrian Indonesia menyatakan bahwa sekitar 64% kebutuhan bahan baku industri nasional di Indonesia masih bergantung pada impor.

Plasticizer secara luas digunakan dalam industri plastik, material *coating*, material komposisi *sealing*, dan industri karet. *Diethyl Phthalate* (DOP) menjadi *plasticizer* yang paling umum digunakan dalam industri plastik. Adanya perdebatan publik mengenai dampak negatif penggunaan *phthalate* terhadap kesehatan mendorong produsen untuk memproduksi *plasticizer* bebas *phthalate*. Menurut US 2020/0010399 A1, *Diethyl Terephthalate* (DOTP) adalah *plasticizer* bebas *phthalate* yang penting dan ramah lingkungan. DOTP dapat digunakan dalam proses produksi *Poly Vinyl Chloride* (PVC) dan resin etilselulosa untuk memproduksi plastik film, kulit imitasi, kawat elektrik, pembungkus kabel, lembaran plastik, cetakan produk plastik, dan sebagainya. Berbagai Industri petrokimia di seluruh dunia telah menggunakan DOTP sebagai bahan aditif.

Beberapa industri yang memproduksi DOTP saat ini seperti BASF (Texas), Aekyung Petrochemical (Korea), dan Eastman Chemical Company (Amerika). Di Indonesia sendiri belum ada industri yang memproduksi DOTP sehingga kebutuhannya dipenuhi melalui impor. Salah satu cara untuk mengurangi impor adalah dengan mendirikan pabrik DOTP di Indonesia sehingga diharapkan industri kimia dalam negeri dapat mengalami peningkatan, maka dari itu dilakukan pra rancangan pabrik pembuatan DOTP untuk memenuhi kebutuhan DOTP.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Eastman Chemical Company mulai memproduksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di pabrik Kingsport, Tennessee pada tahun 1974, namun DOTP masih sedikit penggunaannya hingga dikeluarkannya aturan oleh Uni Eropa pada 2005 yang membatasi penggunaan *plasticizer ortophthalate* dalam pembuatan mainan anak-anak. DOTP meskipun memiliki nama *terephthalate*, secara kimia berbeda dengan *ortophthalate* dan dianggap *nonphthalate* secara regulasi.

Ortophthalate seperti *Diocetyl Phthalate* (DOP) yang diproduksi Eastman dan *Diisoonyl Phthalate* (DINP) yang diproduksi oleh Exxon Mobile merupakan *plasticizer* yang paling umum digunakan sejak 1950. *Plasticizer or-phthalate* yakni DOP sejak 1988 dan DINP sejak 2013 telah terdaftar sebagai senyawa kimia yang diusulkan mendapatkan peringatan dengan label “Bahan-bahan yang diketahui dapat menyebabkan kanker di Kalifornia”.

Undang-Undang Uni Eropa tahun 2005 mempercepat pemasaran produk *nonphthalate* seperti DOTP dan diperkuat oleh *United State of the Consumer Product Safety Improvement Act* yang juga membatasi penggunaan senyawa *ortophthalate* pada 2009. Perkembangan produksi DOTP secara signifikan terjadi pada tahun 2010 ketika pabrik *Vinyl Floor* Tarkett (Amerika) beralih menggunakan *plasticizer nonphthalate* sebagai tanggapan terhadap masalah kesehatan yang sedang berkembang.

Penelitian yang dilakukan oleh Pusat Ekologi Amerika tahun 2015 menyatakan bahwa terdapat sejumlah senyawa *ortophthalate* dalam ubin lantai. Sehingga beberapa produser besar berjanji untuk menghilangkan sepenuhnya penggunaan *ortophthalate* pada bahan-bahan pembersih lantai. Hal-hal diatas membuat pertumbuhan permintaan DOTP meningkat secara signifikan sepanjang 2014-2016.

Perlu diketahui bahwa pembatasan penggunaan *ortphthalate* ini bersifat sukarela dan berlaku terus menerus untuk mainan anak-anak. Permintaan DOTP yang terus meningkat menyebabkan Eastman meningkatkan kapasitas produksi dengan membeli pabrik *plasticizer* dari Sterling Chemicals Inc di Texas pada 2011 dan mengubahnya memproduksi DOTP. Selain itu BASF mulai membangun pabrik DOTP dengan kapasitas 60.000 ton/tahun pada 2017.

1.3. Deskripsi dan Kegunaan

DOTP adalah cairan tidak berwarna, hampir tidak berbau, sedikit kental yang digunakan untuk membuat resin lebih fleksibel dan lebih mudah diproses sebagai plastik. DOTP adalah bahan kimia organik sintetis dan bagian dari kelompok produk kimia, yang dikenal sebagai *plasticizer*. *Di (2-ethylhexyl) terephthalate* (juga disebut *diisooctyl terephthalate*, pendeknya DOTP) adalah *plasticizer* yang tidak beracun untuk wadah makanan dan memiliki kompatibilitas yang baik dengan bahan polimer seperti polivinil klorida (PVC), volatilitas rendah, dan sifat listrik yang sangat baik.

Plasticizer ditambahkan ke dalam komposisi resin (biasanya untuk menggabungkan plastomer atau elastomer) untuk meningkatkan fleksibilitas, kemampuan kerja, dan distensibilitas komposisi resin. Penggunaan *plasticizer* terbesar adalah untuk produksi produk-produk *plasticized* atau polivinil klorida (PVC) yang fleksibel. Penggunaan PVC *plasticized* yang umum termasuk *film*, lembaran, tabung, kain berlapis, isolasi kawat dan kabel, jaket, mainan, bahan lantai, perekat, segel, dan tinta.

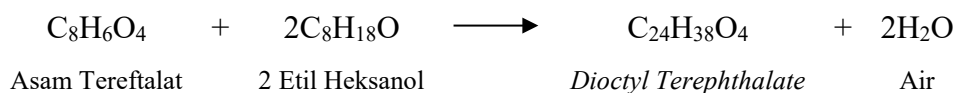
Terdapat berbagai jenis *plasticizer*, penggunaannya dipengaruhi oleh interaksi fisik kimia *dari plasticizer* dengan resin (terutama PVC) dan karakteristik produk yang diinginkan. *Plasticizer* dapat dibagi menjadi dua kelompok yakni *phthalate* (juga disebut *orto-phthalate*) dan *non-phthalate* (*para-phthalate*). Awalan "orto-" dan "para-" merujuk pada struktur molekul *plasticizer*, yang memiliki hubungan langsung dengan kemungkinan bahwa *plasticizer* dapat terpisah dari plastik dan beresiko terhadap kesehatan, terutama untuk anak-anak. Misalnya, *plasticizer di-2-ethylhexyl phthalate* (DEHP/DOP) dan DOTP memiliki formula kimia yang sama ($C_{24}H_{38}O_4$), tetapi perbedaan strukturalnya membuat DEHP menjadi *plasticizer phthalate* dan DOTP sebagai *plasticizer non-phthalat*. Menurut *United State International Commission* (2017) hal ini dikarenakan *plasticizer phthalate* tidak berikatan dengan resin ketika plastik dibuat, mereka lebih mudah dilepaskan ke lingkungan dan dihirup atau dicerna

1.4. Macam Proses Pembuatan

Terdapat dua macam proses pembuatan *Diocetyl Terephthalate* yakni proses esterifikasi dengan bahan baku berupa asam tereftalat dan 2-etil heksanol dan proses transesterifikasi dengan bahan baku berupa dimetil tereftalat dan 2-etil heksanol.

a) Esterifikasi

Proses esterifikasi adalah sebuah metode untuk membuat suatu diester asam tereftalat termasuk mereaksikan asam tereftalat (TPA) dan sebuah C₆₋₁₈ alkil monohidrat alkohol, dengan adanya katalis berbasis titanium atau zirkonium untuk menghasilkan Di(C₆₋₁₈ alkil) Tereftalat. US 2015/0307435 A1 menggunakan asam sulfat sebagai katalis. *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) yang dihasilkan melalui proses esterifikasi umumnya menggunakan bahan baku 2-etilheksanol sebagai C₆₋₁₈ alkil monohidrat alkohol. Proses ini banyak digunakan di Korea dan memiliki nilai selektivitas konversi yang tinggi mencapai 90% atau lebih. Reaksi yang terjadi dengan menggunakan bahan baku TPA dan 2 etil heksanol adalah sebagai berikut:



Reaksi dimulai dengan mengkombinasikan TPA, alkohol, dan katalis, untuk menghasilkan campuran reaksi, kemudian dipanaskan sehingga diperoleh campuran reaksi yang mengandung campuran produk. Variasi kondisi operasi dapat dilakukan untuk reaksi, bergantung pada alkohol tertentu, efisiensi yang diinginkan, katalis, dan pertimbangan lainnya. Contohnya, reaksi dapat dilakukan pada suhu 160-250 °C dan pada tekanan 0,3-10 bar. Reaksi umumnya terjadi pada tekanan atmosfer, terkecuali jika titik didih C₆₋₁₈ alkohol kurang dari temperatur reaksi. Waktu reaksi bervariasi contohnya 12-36 atau 20-28 jam. Reaksi juga dapat dilakukan pada atmosfer inert, seperti nitrogen atau argon.

Alkohol (C₆₋₁₈) diumpankan secara berlebih kedalam zona reaksi dan air yang terbentuk sesegera mungkin di keluarkan dari zona reaksi untuk meningkatkan konversi TPA menjadi DOTP. Beberapa penelitian menggunakan gas nitrogen yang diinjeksikan ke dalam zona reaksi untuk membawa semua air yang terbentuk. WO

2014/185872 A1 menjelaskan desain reaktor untuk memproduksi DOTP tanpa menggunakan nitrogen, dimana reaktor dihubungkan langsung dengan menara pendingin sehingga semua air yang terbentuk dan alkohol yang tidak bereaksi akan keluar dari zona reaksi.

Campuran produk dapat berupa di(C₆₋₁₈) Tereftalat, terkhusus DOTP, residu C₆₋₁₈ alkohol, air, TPA tak bereaksi, dan satu atau lebih *by-produk*. Setelah proses reaksi selanjutnya adalah proses purifikasi DOTP dari campuran produk. Purifikasi DOTP dapat mencakup serangkaian proses yakni distilasi, netralisasi asam, dan filtrasi, yang dapat dilakukan dalam urutan apa pun. Distilasi dilakukan untuk memisahkan alkohol (C₆₋₁₈) yang tidak bereaksi dalam kemurnian tinggi, misalnya, 98%, atau lebih besar.

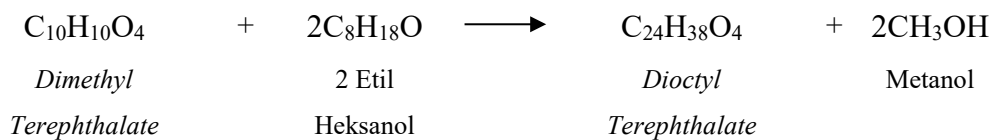
Katalis asam dalam campuran produk dapat dinetralkan. Penyaringan campuran reaksi dapat dilakukan sebelum menetralkan katalis asam atau sebaliknya. Katalis dapat dinetralkan dengan mendinginkan campuran produk pada suhu kurang dari 100°C, kemudian menambahkan larutan alkali setara dengan jumlah asam yang ada dalam campuran reaksi. Basa yang cocok untuk digunakan misalnya garam logam alkali, khususnya garam natrium seperti natrium karbonat, dan hidroksida logam alkali seperti natrium hidroksida. Penyaringan bertujuan untuk memisahkan asam tereftalat yang tidak bereaksi dan garam yang terbentuk dengan campuran produk. Purifikasi DOTP selanjutnya dengan mengkontakan filtrat dengan zat penghilang warna seperti arang aktif, dan menyaring filtrat yang diolah, misalnya menggunakan bantuan filter, untuk memberikan DOTP dengan spesifikasi yang sesuai.

b) Transterifikasi

Paten JP 2003238479 memaparkan mengenai proses produksi DOTP dengan metode transesterifikasi *Dimethyl Terephthalate* (DMT) dengan alkohol monohidrat C₆-C₁₃ dalam proses produksi 2 langkah. Pertama Metanol yang terbentuk sebagai produk samping dipisahkan pada temperatur kontrol uap dibawah titik didih alkohol monohidrat dan menggunakan kolom destilasi atau parsial kondensor hingga konsentrasi metil ester mencapai kurang dari 20-30%. Kedua, temperatur reaksi akan naik hingga 198-220°C setelah ditambahkan umpan alkohol

monohidrat segar untuk menghasilkan produk yang mengandung kurang dari 1% berat mono metil ester.

Bahan baku proses transesterifikasi untuk menghasilkan DOTP adalah Dimetil tereftalat dan 2 etil heksanol. Metode ini merupakan solusi dari metode esterifikasi dimana kelarutan TPA dalam 2 EH sangat kecil, meskipun demikian muncul masalah baru yakni adanya residu metil etil heksil tereftalat. Industri yang menggunakan proses ini adalah Eastman Chemical Company (Amerika) dan menghasilkan produk samping berupa metanol. Reaksi yang terjadi dengan menggunakan bahan baku DMT dan 2 etil heksanol (2 EH) adalah sebagai berikut:



DMT dan 2 EH diumpankan ke dalam reaktor berpengaduk dengan perbandingan 1:5 mol dan katalis tetraisopropil titanat sebanyak 0,2 ml dengan temperatur reaksi 198°C-220°C tekanan atmosfer. Metanol yang terbentuk kemudian di destilasi pada suhu uap 90°C. Saat laju destilasi alkohol melambat ditambahkan 1,5 mol 2 EH segar hingga kandungan mono metil ester dalam produk kurang dari 1% berat. Waktu reaksi mencapai 4 jam. Pada contoh yang lain ada yang menggunakan kolom destilasi reaktif sebagai reaktor sekaligus kolom destilasi pada proses pembuatan DOTP.

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan DOTP

Proses	Bahan Baku	Kondisi Operasi	Produk	Perbandingan Bahan Baku	Kelebihan dan Kekurangan
Esterifikasi	Asam tereftalat (TPA) dan 2-etilheksanol	P = 1 atm T = 150-210°C	DOTP dan Air	TPA: 2 EH 1 : 2,5007 mol	• Waktu reaksi lebih lama yakni 6 jam • Bahan baku tersedia melimpah di Indonesia • Konversi mencapai 98%
Transesterifikasi	Dimetil tereftalat (DMT) dan 2-etilheksanol	P = 1 atm T = 198-220°C	DOTP dan Metanol	DMT: 2 EH 1: 5 mol + 1,5 mol	• Waktu reaksi lebih cepat yakni 4 jam • Bahan baku DMT tidak tersedia di Indonesia • Adanya residu metil etil heksil tereftalat sehingga peralatan proses yang digunakan lebih banyak • Konversi 94%

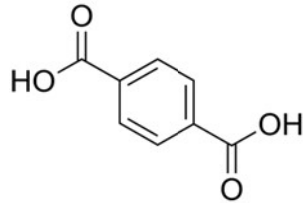
1.5. Sifat Fisik

1.5.1. Bahan Baku

a) Asam Tereftalat

Rumus molekul : $C_8H_6O_4$

Rumus Bangun :



Berat molekul : 166,133 kg/kmol

Wujud : Padat pada 25°C dan 1,013 bar

Warna : Putih

Titik leleh : 427°C (700,15 K)

Titik didih : 558,85°C (832 K)

Temperatur kritis : 859,85°C (1133 K)

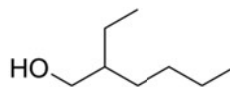
Tekanan kritis : 38,98347 atm (39,5 Bar)

Densitas (g/cm^3) : 1,52

b) 2-Etil heksanol

Rumus molekul : $C_8H_{18}O$

Rumus Bsngun :



Berat molekul : 130,23 kg/kmol

Wujud : Cair pada 25°C dan 1,013 bar

Warna : Tidak Berwarna

Titik leleh : -70°C (203,15 K)

Titik didih : 184,60 °C (457,75 K)

Temperatur kritis : 367,09 °C (640,24 K)

Tekanan kritis : 26,94301 atm (27,3 Bar)

Densitas (g/cm^3) : 0,823

1.4.1. Bahan Pendukung

a) Sodium Hidroksida

Rumus molekul : NaOH

Rumus Bangun :

$$\text{Na}-\text{O}-\text{H}$$

Berat molekul : 39,997 kg/kmol

Wujud : Cairan pada 25°C dan 1,013 bar

Warna : Tak berwarna

Titik leleh : 322,85°C (596 K)

Titik didih : 1390°C (1663,15 K)

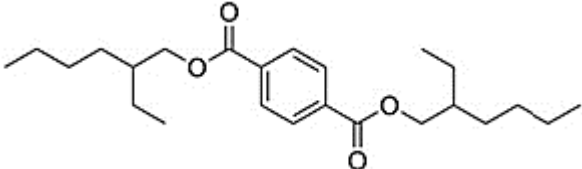
Temperatur kritis : 2546,85°C (2820 K)

Tekanan kritis : 249,99753 atm (253,31 Bar)

Densitas (g/cm³) : 0,2

1.4.2. Produk

Produk Utama

a) *Diocetyl Terephthalat*Rumus molekul : C₂₄H₃₈O₄Rumus Bangun :


Berat molekul : 380,563 kg/kmol

Wujud : Cairan Viskous pada 25°C dan 1,013 bar

Warna : Tak berwarna

Titik leleh : -50°C (223,15 K)

Titik didih : 384 °C (657,15 K)

Temperatur kritis : 532,85°C (806 K)

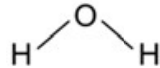
Tekanan kritis : 11,64569 atm (11,8 Bar)

Densitas (g/cm³) : 0,98

Produk Sampling

a) Air

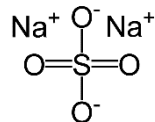
Rumus molekul : H_2O
 Berat molekul : 18,015 kg/kmol
 Rumus Bangun :



Wujud : Cairan pada 25°C dan 1,013 Bar
 Warna : Tak berwarna
 Titik leleh : 0°C (273,15 K)
 Titik didih : 100°C (373,15 K)
 Temperatur kritis : 373,98°C (647,13 K)
 Tekanan kritis : 226,54824 atm (229,55 Bar)
 Densitas (g/cm^3) : 0,322

b) Natrium Sulfat

Rumus molekul : Na_2SO_4
 Berat molekul : 142,04 kg/kmol
 Rumus Bangun :



Wujud : padatan kristal 25°C dan 1,013 Bar
 Warna : putih
 Titik leleh : 884°C (1157,3 K)
 Titik didih : 1429°C (1.702,15 K)
 Temperatur kritis : -
 Tekanan kritis : -
 Densitas (g/cm^3) : 2,664

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2009. Chemical Engineering Cost Plant Index. *Chemical Engineering* www.che.com. Hal. 64.
- _____. 2016. Chemical Engineering Cost Plant Index. *Chemical Engineering* www.che.com. Hal. 96.
- _____. 2017. *Diethyl Terephthalate (DOTP) from Korea*. United State International Commission: Washington DC
- _____. 2019. Chemical Engineering Cost Plant Index. *Chemical Engineering* www.che.com. Hal. 60.
- _____. 2020. *Dijual Tanah 18000 m² di Cilegon*. (Online). <https://www.lamudi.co.id/dijual-tanah-luas-18000-m2-di-cilegon.html>. (Diakses pada tanggal 12 Mei 2020).
- _____. 2020. *2 Ethyl Hexanol*. (Online). <https://m.alibaba.com/showroom/2-ethyl-hexanol.html>. (Diakses pada tanggal 06 Mei 2020).
- _____. 2020. *Diethyl Terephthalate Price*. (Online). <https://www.google.com/amp/s/m.alibaba.com/amp/showroom/diethyl-terephthalate-dotp-price.html>. (Diakses pada tanggal 09 Mei 2020).
- _____. 2020. *Energy Efficiency Guide for Industry in Asia*. (Online): www.energyefficiencyasia.org. (Diakses pada tanggal 04 Mei 2020)
- _____. 2020. *H₂SO₄ Price*. (Online). <https://m.alibaba.com/trade/search?searchtext=h2so4+price> (Diakses pada tanggal 06 Mei 2020).
- _____. 2020. *Jln Amerika Kecamatan Citangkil Kota Cilegon Banten* (Online). <https://www.google.com/maps/place/Jl.+Amerika,+Kec.+Citangkil,+Kota+Cilegon,+Banten+42443/@-5.9957919,105.9917015,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x2e41901dca9bdd83:0x7e3e25c09c3e8984!8m2!3d-5.9957919!4d105.9938902>. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2020).
- _____. 2020. *NaOH Price*. (Online). <https://m.alibaba.com/aSmp/showroom/naoh+price.html>. (Diakses pada tanggal 07 Mei 2020).
- _____. 2020. *Sodium Sulfate*. (Online). <https://m.alibaba.com/amp/showroom/na2so4+92+price.html>. (Diakses pada tanggal 09 Mei 2020).

- _____. 2020. *Purified Terephthalic Acid*. (Online). <https://www.google.com/amp/s/m.alibaba.com/amp/showroom/purified-terephthalic-acid.html>. (Diakses pada tanggal 06 Mei 2020).
- _____. 2020. *The Engineering ToolBox*. (Online). <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Diakses pada tanggal 04 Mei 2020).
- Anonuevo, E. M. C. 2013. *Design of Plate and Frame Filter Press*. (Online). <https://www.scribd.com/document/168651188/Design-of-Plate-and-Frame-Filter-Press>. (Diakses pada Tanggal 28 Maret 2020).
- ASME. 2013. *ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- Badan Pusat Statistik, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI. 2020. *Data Impor Bahan Industri Kimia: Dioctyl Terephthalate Tahun 2009-2019*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada tanggal 10 Januari 2020).
- Bank Indonesia. 2020. *Kurs Transaksi Bank Indonesia*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/informasi-kurs/transaksi-bi/default.aspx>. (Diakses pada tanggal 08 Mei 2020).
- Brown, R. N. 2005. *Compressor: Selection and Sizing, 3rd Edition*. New York: Elsevier
- Coker, A. K. 2001. *Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*. Texas, United States: Gulf Publishing Company.
- Couper, J. R., Penney, W. R., James, dan Walas, S. M. 2010. *Chemical Process Equipment Selection and Design Edisi 2*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Dazhuang, L., Shaohui, S., Jianguo, W., dan Peiqin, S. 2006. Study on the Consecutive Reaction Kinetics of Synthesis of Di (2-Ethylhexyl) Terephthalate Under Nonisothermal Conditions. *Wiley Periodicals, Inc. Chem Kinet.* 38: 578-584.

- DPD RI Provinsi Banten. 2020. *Profil Profinsi Banten*. (Online). <https://banten.dpd.go.id/public/post/detail/profil-provinsi-banten>. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2020).
- Dwiki. 2015. *Kota Cilegon*. (Online). https://widuri.raharja.info/index.php?title=Kota_Cilegon. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2020).
- Felder, R. M. and Rousseau R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Process, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Fogler, H. S. 2001. *Elements of Chemical Reaction Engineering 3th edition*. New Jersey: Prentice Hall PTR.
- Freude, D. 2004. *Molecular Physics (International Edition)*. Saksoni, Jerman: Universitat Leipzig.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. United States of America: Prentice-Hall International.
- Global Petrol Prices. 2020. *Indonesia Electicity Prices*. (Online). https://www.globalpetrolprice.com/Indonesia/electricity_prices/. (Diakses pada tanggal 06 Mei 2020).
- Hendri. 2008. *Perencanaan Tata Letak Pabrik. Modul 10 PTLP secara sistematis*. Jurusan Teknik Industri. Universitas Mercu Buana.
- Ilmusipil.com. 2020. *Harga Borong Bangunan per Meter Persegi*. (Online). <http://www.ilmusipil.com/harga-borong-bangunan-per-meter-persegi>. (Diakses pada tanggal 07 Mei 2020).
- Index Mundi. 2020. *Indonesian Liquified Natural Gas Monthly Price – US Dollars per Million Metric British Thermal Unit*. (Online). <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=indonesian-liquified-natural-gas>. (Diakses pada tanggal 06 Mei 2020).
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*, Cetakan Ketiga. Palembang: Penerbit Unsri. ISBN 979-587-168-4.
- Jenkins, S. 2020. *2019 Chemical Engineering Cost Plant Index Annual Average*. (Online). <https://www.chemengonline.com/2019-chemical-engineering-plant-cost-index-annual-average/>. (Diakses pada tanggal 04 Mei 2020).

- Kementerian PU. 1996. *Kriteria Perencanaan Pengolahan Air*. Jakarta: Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2014. *64% dari Industri Nasional Bergantung pada Bahan Baku Impor*. (Online). <https://kemenperin.go.id/artikel/9306/64-dari-Industri-Nasional-Bergantung-pada-Bahan-Baku-Impor>. (Diakses pada tanggal 29 Mei 2020).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw - Hill International Edition.
- KLM Technology Group. 2011. *Layout and Spacing (Project Standards and Spesifications)*. (Online). https://www.klmtechgroup.com/PDF/ess/PROJECT_STANDARDS_AND_SPECIFICATIONS_layout_and_spacing_Rev1.0.pdf. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2020).
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.
- Matches Engineering. 2020. *Cost Information Equipment*. (Online): <http://matche.com/EquipCost.htm> (Diakses pada tanggal 04 dan 05 Mei 2020)
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook 12th Edition*. Oklahoma: University of Tulsa.
- Nurbana, A. 3 Cara *Perhitungan Kapasitas Cooling Tower*. (Online): www.olah-air.com/2019/11/perhitungan-kapasitas-cooling-tower.html?m=1 (Diakses pada tanggal 04 Mei 2020).
- Otoritas Jasa Keuangan. 2020. *Suku Bunga Dasar Kredit*. (Online). <https://www.ojk.go.id/kanal/perbankan/Page/Suku-Bunga-Dasar.aspx>. (Diakses pada tanggal 09 Mei 2020).
- PAM Jaya. 2020. *Tarif Air Minum*. (Online). pamjaya.co.id/cuztomer-info/drinking-water-tariff. (Diakses pada tanggal 06 Mei 2020).
- Paten JP No. 2003238479. Hayashi, K. 2003. *Method for Producing Higher Alcohol Terephthalic Acid Ester*.

- Perry, R. H. and Green D. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th Edition. New York: McGraw - Hill Book Company.
- Perry, R. H. and Green D. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8th Edition. New York: McGraw - Hill Book Company.
- Peter, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering*, 4th Edition. New York : Mc Graw Hill International Book Co.
- Raihan, R. 2018. *Pengertian Evaporasi dan Alat Evaporator Beserta Prinsip Kerjanya*. (Online): <http://myteknikkimiablogaddress.blogspot.com/2018/11/pengertian-evaporasi-dan-alat.html>. (Diakses pada tanggal 28 Mei 2020).
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. R. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Sheir, L. L., R. A. Jarman dan G. T. Burstein. 2000. *Corrosion*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Sinnot, R. K. 1999. *Chemical Engineering Volume 6 4th Edition*. New York: Buttenworth - Heinemann.
- Sinnot, R. K. 2015. *Chemical Engineering Volume 6 5th Edition*. New York: Buttenworth - Heinemann.
- Smith, J. M. 1982. *Chemical Engineering Kinetics 2nd Edition*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th Edition. Singapore: Mc Graw Hill.
- Smith, J. M. 2018. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 8th*. Singapore: Mc Graw Hill.

- SNI 03-6197-2000 tentang Konservasi Energi Sistem Pencahayaan pada Bangunan Gedung
- Thome, J. R. 2004. *Heat Transfer Data Book*. Switzerland: Wolverine Tube, Inc.
- Treybal, R. E. 2005. *Mass Transfer Operations, 3rd Edition*. Rhode Island: McGraw -Hill Book Co.
- Ulrich, G. G. 1984 *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada tanggal 04 Mei 2020).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas (UUPT). (Online). [https://www.ojk.go.id/sustainable finance/id/peraturan/undang-undang/Documents/5%20UU-40 2007%20perseroan%20TERBATAS.pdf](https://www.ojk.go.id/sustainable%20finance/id/peraturan/undang-undang/Documents/5%20UU-40%202007%20perseroan%20TERBATAS.pdf). (Diakses pada tanggal 12 Mei 2020).
- US Patent No. 2015/0307435 A1. De Munick, N., A. 2015. *Esterification Process*.
- US Patent No. 2018/0362440. Liao, T. C., Chuang, J. J., dan Lin, H. M. 2018. *Diocetyl Terephthalate Plasticizer and Method of Enchanging Reaction Effeciency in Process for Producing the Same*.
- US Patent No. 2020/0010399 A1. Nandy, R., Patrick, B., dan Nesakumar, J. 2020. *Method of Making Dialkyl Terephthalate from Terephthalic Acid*.
- Vataruk, W. M., Hall, R. S., dan Matley, J. 2002. Updating the CE Plant Cost Index. *Chemical Engineering* www.che.com. Hal: 62-70.
- Vibrant & Dryden. 1959. *Chemical Engineering Design*. USA: McGraw-Hill Publishing Co.
- Walas, S. M. 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. USA: Butterworth Publishers.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- WO Patent No. 2014/185872 A1. Caahit, Y. 2014. *DOTP (Diocetyl Terephthalat) Production Method*.

Woods, D. R. 2007. *Rules of Thumb in Chemical Engineering Practice*. Jerman: Wiley-VCH.

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

Yaws, C. L. 2015. *The Yaws Handbook of Vapor Pressure, 2nd Edition*. New York: Elsevier.