

**PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL*
TEREPHTHALATE DARI *TEREPHTHALIC ACID* DAN
2-ETHYL-HEXANOL DENGAN KATALIS ASAM
SULFAT KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor (RE-201))**

(Skripsi)

Oleh:

Yoga Riyanto

1655041005



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL TEREPHTHALATE* DARI *TEREPHTHALIC ACID* DAN *2-ETHYL-HEXANOL* DENGAN KATALIS ASAM SULFAT KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan *Reaktor CSTR (RE-201)*)

Oleh

YOGA RIYANTO

Diocetyl Terephthalate merupakan salah satu produk industri kimia yaitu *plasticizer* bebas *phthalate* yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan *poly vinyl choloride* (PVC) dan resin etilselulosa untuk memproduksi plastic film, kulit imitasi, kawat elektrik, pembungkus kabel. *Diocetyl Terephthalate* dapat di produksi dengan beberapa proses yaitu 1) Proses esterifikasi, dan 2) Proses transterifikasi. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem penyediaan *steam*, *cooling water*, sistem penyediaan udara tekan, dan sistem pembangkit tenaga listrik.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 20.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Cilegon, Banten. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 130 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi, diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 286.093.169.584,-
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 50.487.027.927,-
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 709.284.107.648,-
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 40,95 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 19,59 %
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b	= 2,19 years
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a	= 2,60 years
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b	= 30,27 %
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a	= 24,22 %

Discounted Cash Flow (DCF) = 30,89 %

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik *Dioctyl Terephthalate* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

ABSTRACT

DESIGN OF DIOCTYL TEREPHTHALATE FACTORY FROM TEREPHTHALIC ACID AND 2-ETHYL-1-HEXANOL WITH SULFURIC ACID CATALYST CAPACITY 20,000 TON/YEAR (Multiple Effect Evaporator Design (EV-301&EV-302))

By

YOGA RIYANTO

Dioctyl Terephthalate is a product of the chemical industry, namely a phthalate-free plasticizer that is used as a raw material for making polyvinyl chloride (PVC) and ethylcellulose resin to produce plastic film, imitation leather, electric wire, and cable wrapping. Dioctyl Terephthalate can be produced by several processes, namely 1) the esterification process, and 2) the transesterification process. Provision of factory utility needs in the form of a water treatment and supply system, a steam supply system, cooling water, a compressed air supply system, and a power generation system.

The factory's production capacity is planned to be 20,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in the Cilegon area, Banten. The workforce is 130 people in the form of a Limited Liability Company (PT) business entity led by a Main Director who is assisted by a Director of Production and the Director of Finance with a line and staff organizational structure.

From the economic analysis, obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 286.093.169.584,-
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 50.487.027.927,-
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 709.284.107.648,-
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 40,95 %
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 19,59 %
<i>Pay Out Time before Taxes</i>	(POT) _b	= 2,19 years
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a	= 2,60 years
<i>Return on Investment before Taxes</i>	(ROI) _b	= 30,27 %
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a	= 24,22 %
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 30,89 %

Considering the summary above, it is appropriate that the establishment of the Dioctyl Terephthalate factory be studied further, because it is a profitable plant and has good prospects.

**PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL
TEREPHTHALATE* DARI *TEREPHTHALIC ACID* DAN
2-ETHYL-HEXANOL DENGAN KATALIS ASAM
SULFAT KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor (RE-201))**

Oleh

**YOGA RIYANTO
1655041005**

(Skripsi)

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
Sarjana Teknik

Pada
Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL TEREPHTHALATE* DARI *TEREPHTHALIC ACID* DAN *2-ETHYL-HEXANOL* DENGAN KATALIS ASAM SULFAT KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201))**

Nama Mahasiswa

: **Yoga Riyanto**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1655041005

Program Studi


: Teknik Kimia

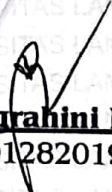
Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001


Panca Nugrahini E. S.T., M.T.
NIP. 199001282019031015


2. Ketua Jurusan


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

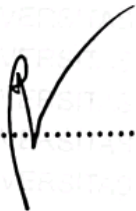
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

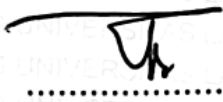
Ketua : **Yuli Darni, S.T., M.T.**

.....


Sekretaris : **Panca Nugrahini F., S.T., M.T.**

.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.**

.....

Lia Lismeri, S.T., M.T.

.....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. 
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **15 Juni 2023**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Yoga Riyanto
NPM. 1655041005

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung, 09 Agustus 1998, sebagai putra kedua dari Ibu Masiah.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 4 Way Laga pada tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 11 Bandar Lampung pada tahun 2013 dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur UMMPTN Universitas Lampung 2016

Pada tahun 2020, penulis melakukan Kerja Praktek di PT Petrokimia Gresik , Gresik, Jawa Timur dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Ammonia Converter* (105-D) pada *Ammonia Plant* Departemen Produksi 1B”. Selain itu, penulis melakukan penelitian dengan judul “Desain Rotational Rheometer Untuk Studi Karakteristik Reologi Bahan Lelehan Plastik”.

Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEMIA) Unila pada periode 2018 sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar, sebagai staff dinas Eksternal periode 2017/2018 di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung, serta menjadi Sekretaris Daerah 1 Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Indonesia (BKKMTKI) periode 2018-2020.

MOTTO

“Laa Haula Walaa Quwwata Illa Billah”

“Tidak ada daya dan upaya kecuali dengan pertolongan Allah”

(HR. Al-Bukhari)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Qs. Al-Baqarah : 286)

*“Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji
kekuatan akarnya”*

(Ali bin Abi Thalib)

*“Jadilah seperti air putih, walaupun sederhana namun selalu dibutuhkan semua
orang”*

(Yoga Riyanto)

SANWACANA

Puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL TEREPHTHALATE* DARI *TEREPHTHALIC ACID* DAN *2-ETHYL-HEXANOL* DENGAN KATALIS ASAM SULFAT KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang Maha Esa dan Maha Pengasih, karena-Nya penulis masih diberikan nikmat iman dan sehat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua penulis, Ibu Masiah dan bapak Hery Prasetyo Gunawan yang tak lelah memanjatkan doa dan memberikan dukungan dari segala lini agar penulis dapat menyelesaikan perkuliahan ini yang mana semua pengorbanan tersebut tidak dapat penulis balas seutuhnya.
3. Leo Leando, OKtaviana, Lotta Manahhayu yang telah memberikan dukungan, semangat, doa dan bantuan kepada penulis dalam penyelesaian perkuliahan.

4. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia sekaligus Dosen Pembimbing Pendamping penulis, yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama pengerjaan tugas akhir dan juga bantuan yang telah diberikan selama proses penyelesaian perkuliahan penulis.
5. Ibu Dr Hertti Utami, S.T.,M.T sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan kepada penulis selama berada di kampus.
6. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., dan Ibu Panca Nugrahini F, S.T. M.T., sebagai Dosen Pembimbing yang telah memberikan kasih sayang, ilmu, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Ibu Dr Elida Purba, S.T.,M.Sc. sebagai Dosen Penguji Utama, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
8. Ibu Dr Lilis Hermida, S.T.,M.Sc sebagai Dosen Penguji Pendamping, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
9. Seluruh Dosen dan Staf Teknik Kimia yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan.
10. Ali Sakti Nasution, sebagai partner tugas akhir, yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Sahabat terbaik penulis, Ali Sakti Nasution, Refardo Taufani Patria, Naufal Pangestu Utomo yang telah memberikan bantuan, semangat, dalam menyelesaikan tugas akhir ini dan memberikan warna dalam kehidupan perkuliahan penulis.
12. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016, Terimakasih yang sebanyak-banyaknya untuk kalian semua yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam segala hal. Kalianlah keluarga terbaik yang pernah saya punya di kampus. Sukses untuk kita semua dan semoga kita dapat dipertemukan kembali dalam keadaan yang lebih baik suatu saat nanti.
13. Teman – teman tempat berbagi rokok, pengalaman, kisah dalam kehidupan ini, Ahmad Apriansyah, Fernando Hilal, Febby Prasetyo Putra
14. Teman terdekat penulis, Anniza Hasna Purnama, yang telah menjadi tempat berkeluh kesan dan sumber semangat tambahan dalam menyelesaikan tugas perkuliahan ini.

15. Anniza Hasna Purnama, Cecelia Nia Rehmalem Barutu, Tiara Cahya Putri, Aknasasia Virginia, dan Isyaeboni, teman wanita yang selalu menasehati dalam kehidupan kampus
16. Ikhsan Muttaqin, Muhammad Akbar Pambudi, Nico Afriano, dan lainnya dari angkatan 2019 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
17. Kakak-kakak adik-adik tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak memberikan warna-warni selama berada di kampus.
18. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Penulis

Yoga Riyanto

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Kegunaan Produk.....	3
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	3
1.4 Kapasitas Pabrik	4
1.5 Lokasi Pabrik	9
BAB II PEMILIHAN PROSES	
2.1 Jenis-jenis Proses	13
2.2 Seleksi Proses	16
2.2.1 Berdasarkan Nilai <i>Gibbs Free Energy</i>	16
2.2.2 Berdasarkan Harga Bahan Baku dan Produk.....	20
2.3 Pemilihan Proses.....	30
2.4 Uraian Proses	31
2.4.1 Tahap Persiapan	31
2.4.2 Tahap Reaksi	32
2.4.3 Tahap Separasi	33
2.4.4 Tahap Purifikasi	33

BAB III	SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK	
3.1	Spesifikasi Bahan Baku	34
3.2	Spesifikasi Bahan Baku Pendukung	35
3.3	Spesifikasi Produk	35
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1	Neraca Massa	37
4.2	Neraca Energi	42
BAB V	SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS	
5.1.	Peralatan Proses	54
5.2.	Peralatan Utilitas.....	84
BAB VI	UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	
6.1	Unit Pendukung Proses	111
6.1.1	Unit Penyediaan Air	111
6.1.2	Unit Penyediaan <i>Steam</i>	126
6.1.3	Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	127
6.1.4	Sistem Penyediaan Bahan Bakar	127
6.2	Pengolahan Limbah	128
6.3	Laboratorium	128
6.4	Instrumentasi dan Pengendalian Proses	132
BAB VII	TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK	
7.1	Lokasi Pabrik	134
7.1.1	Penyediaan Bahan Baku	134
7.1.2	Fasilitas Transportasi.....	135
7.1.3	Utilitas	136
7.1.4	Lahan	136
7.1.5	Tenaga Kerja	136
7.1.6	Keadaan Iklim dan Tanah	137
7.1.7	Perizinan.....	137
7.2	Tata Letak Pabrik.....	138
7.3	Tata Letak Peralatan Proses	141
7.4	Estimasi Area Lingkungan Pabrik	143
7.5	Sistem Distribusi dan Pemasaran	144

BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI

8.1	<i>Project Master Schedule</i>	145
8.1.1	Pembebasan Lahan dan Perizinan Pendirian Pabrik	145
8.1.2	<i>Engineering</i>	146
8.1.3	<i>Procurement</i>	146
8.1.4	<i>Contruction</i>	146
8.1.5	<i>Precommissioning</i>	146
8.1.6	<i>Commissioning</i>	146
8.1.7	<i>Start-up Operation</i>	147
8.2	Bentuk Perusahaan.....	147
8.2.1	Perusahaan Perseorangan	148
8.2.2	Perusahaan Firma	148
8.2.3	Perusahaan Komanditer.....	148
8.2.4	Perseroan Terbatas (PT)	148
8.3	Stuktur Organisasi Perusahaan	150
8.4	Tugas dan Wewenang.....	153
8.4.1	Pemegang Saham	153
8.4.2	Dewan Komisaris	153
8.4.3	Dewan Direktur	154
8.4.4	Kepala Bagian	156
8.4.5	Kepala Seksi	160
8.5	Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	161
8.5.1	Status Karyawan.....	161
8.5.2	Pembagian Jam Kerja Karyawan	162
8.5.3	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	164
8.5.4	Kesejahteraan Karyawan.....	169
8.6	Manajemen Produksi	173

BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI

9.1	Investasi	177
9.1.1	<i>Fixed Capital Investment</i> (Modal Tetap)	177
9.1.2	<i>Working Capital Investment</i> (Modal Kerja).....	178
9.1.3	<i>Total Production Cost</i> (TPC).....	178

9.1.4	<i>Manufacturing Cost</i> (Biaya Produksi)	179
9.2	Evaluasi Ekonomi	181
9.2.1	<i>Return on Investment</i> (ROI)	181
9.2.2	<i>Pay Out Time</i> (POT)	181
9.2.3	<i>Break Even Point</i> (BEP).....	183
9.2.4	<i>Shut Down Point</i> (SDP).....	183
9.3	Angsuran Pinjaman.....	184
9.4	<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	184
BAB X	SIMPULAN DAN SARAN	
10.1	Simpulan	186
10.2	Saran	187
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN A	
	LAMPIRAN B	
	LAMPIRAN C	
	LAMPIRAN D	
	LAMPIRAN E	
	LAMPIRAN F	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1. Data Impor <i>Diocetyl Terephthalate</i> di Indonesia	4
1.2. Data Impor <i>Diocetyl Terephthalate</i> di Asia Tenggara	5
1.3. Data Impor <i>Diocetyl Terephthalate</i> di Dunia.....	6
1.4. Data Produksi PVC di Perusahaan Indonesia.....	5
2.1. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen Proses Esterifikasi	16
2.2. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen Proses Transterifikasi ...	17
2.3. Data Entalpi Pembentukan Standar tiap Komponen Proses Esterifikasi.....	19
2.4. Data Entalpi Pembentukan Standar tiap Komponen Proses Transterifikasi.	20
2.5. Harga Bahan Baku dan Produk dari TPA, 2EH dan DMT.....	21
2.6. BM Bahan Baku dan Produk dari TPA dan 2EH	21
2.7. Mol Bahan Baku dan Produk dari Reaksi TPA dan 2EH.....	22
2.8. Massa Bahan Baku dan Produk dari Reaksi TPA dan 2EH	23
2.9. Harga Bahan Baku dan Produk dari TPA dan 2EH.....	24
2.10. BM Bahan Baku dan Produk dari Reaksi DMT dan 2EH.....	25
2.11. Mol Bahan Baku dan Produk dari Reaksi DMT dan 2EH.....	26
2.12. Massa Bahan Baku dan Produk dari Reaksi DMT dan 2EH	27
2.13. Harga Bahan Baku Produksi DOTP dari Reaksi DMT dan 2EH.....	28
2.14. Perbandingan Profit	29
2.15. Perbandingan antara Proses Esterifikasi dan Transterifikasi.....	29
4.1. Neraca Massa <i>Mixing Tank</i> (MT-101)	38
4.2. Neraca Massa <i>Tee Valve</i> (TV-101).....	38
4.3. Neraca Massa <i>Reactor</i> (RE-201)	39
4.4. Neraca Massa <i>Mixing Tank</i> (MT-102)	39
4.5. Neraca Massa <i>Neutralizer Tank</i> (NT-201)	40
4.6. Neraca Massa <i>Decanter</i> (DC-301)	40
4.7. Neraca Massa <i>Evaporator</i> (EV-301)	41
4.8. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-301).....	41
4.9. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301).....	42
4.10. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301).....	42

4.11. Neraca Panas <i>Heater</i> (H-102A).....	45
4.12. Neraca Panas <i>Mixing Tank</i> (MT-101)	46
4.13. Neraca Panas <i>Tee Valve</i> (TV-101)	46
4.14. Neraca Panas <i>Heater</i> (H-101A).....	46
4.15. Neraca Panas <i>Heater</i> (H-101B).....	47
4.16. Neraca Panas <i>Heater</i> (H-102B).....	47
4.17. Neraca Panas <i>Reactor</i> (RE-201).....	48
4.18. Neraca Panas <i>Cooler</i> (C-201).....	48
4.19. Neraca Panas <i>Mixing Tank</i> (MT-102)	49
4.20. Neraca Panas <i>Heater</i> (H-103).....	49
4.21. Neraca Panas <i>Neutralizer Tank</i> (NT-201)	50
4.22. Neraca Panas <i>Decanter</i> (DC-301)	50
4.23. Neraca Panas <i>Heater</i> (H-301).....	51
4.24. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-301).....	51
4.25. Neraca Panas <i>Evaporator</i> (EV-301).....	52
4.26. Neraca Panas <i>Evaporator</i> (EV-302).....	52
4.27. Neraca Panas <i>Cooler</i> (C-301).....	52
4.28. Neraca Panas <i>Cooler</i> (C-302).....	53
4.29. Neraca Panas <i>Cooler</i> (C-303).....	53
5.1. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> C ₈ H ₁₈ O (ST-101)	54
5.2. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> H ₂ SO ₄ (ST-102).....	55
5.3. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> NaOH (ST-103)	55
5.4. Spesifikasi <i>Hopper Tank</i> C ₈ H ₆ O ₄ (ST-301)	56
5.5. Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-101)	57
5.6. Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101)	57
5.7. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-101)	58
5.8. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-102)	59
5.9. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-103)	59
5.10. Spesifikasi <i>Heater</i> (H-101A).....	60
5.11. Spesifikasi <i>Heater</i> (H-101B)	61
5.12. Spesifikasi <i>Heater</i> (H-102A).....	62
5.13. Spesifikasi <i>Heater</i> (H-102B)	63

5.14. Spesifikasi <i>Mixing Tank</i> (MT-101)	65
5.15. Spesifikasi <i>Mixing Tank</i> (MT-102)	66
5.16. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-201)	67
5.17. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-202)	67
5.18. Spesifikasi <i>Reactor</i> (RE-201)	68
5.19. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201)	68
5.20. Spesifikasi <i>Neutralizer Tank</i> (NT-201)	70
5.21. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-301)	70
5.22. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-302)	71
5.23. Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-301)	71
5.24. Spesifikasi <i>Heater</i> (H-301)	72
5.25. Spesifikasi <i>Pump Proces</i> (PP-303)	73
5.26. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-304)	73
5.27. Spesifikasi <i>Evaporator</i> (EV-301)	74
5.28. Spesifikasi <i>Evaporator</i> (EV-302)	75
5.29. Spesifikasi <i>Pump Process</i> (PP-303)	75
5.30. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301)	76
5.31. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301)	77
5.32. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302)	78
5.33. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301)	78
5.34. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302)	79
5.35. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-303)	81
5.36. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-301)	82
5.37. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-302)	83
5.38. Spesifikasi Bak Sedminetasi (BS-401)	84
5.39. Spesifikasi <i>Storage Tank Alum</i> (ST-401)	84
5.40. Spesifikasi <i>Storage Tank Kaporit</i> (ST-402)	85
5.41. Spesifikasi <i>Storage Tank Soda Kaustik</i> (ST-403)	86
5.42. Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401)	86
5.43. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401)	87
5.44. Spesifikasi <i>Filter Water Tank</i> (ST-404)	88
5.45. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-401)	88

5.46. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Asam Sulfat (ST-405).....	89
5.47. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Dispersant (ST-406).....	90
5.48. Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	90
5.49. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401)	91
5.50. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	91
5.51. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401)	92
5.52. Spesifikasi <i>Demin Water Tank</i> (ST-408).....	93
5.53. Spesifikasi <i>Daerator</i> (DE-401)	94
5.54. Spesifikasi Tangki <i>Hidrazine</i> (ST-409).....	95
5.55. Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-401)	95
5.56. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-410).....	96
5.57. Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BL-401)	97
5.58. Spesifikasi Generator (GS-401).....	97
5.59. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	97
5.60. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	98
5.61. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	98
5.62. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	99
5.63. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	100
5.64. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	100
5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	101
5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	101
5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	102
5.68. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	102
5.69. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	103
5.70. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	103
5.71. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	104
5.72. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	105
5.73. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	105
5.74. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	106
5.75. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	106
5.76. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	107
5.77. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419).....	107

5.78. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420).....	108
5.79. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-421).....	109
5.80. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-422).....	109
6.1. Kebutuhan Air Umpan Pendingin	114
6.2. Kebutuhan Air Umpan <i>Boiler</i>	117
6.3. Kebutuhan Air Pabrik	119
6.4. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	133
6.5. Pengendalian Variabel Utama Proses	133
7.1. Perincian luas area Pabrik <i>Dioctyl Terephthalate</i>	143
8.1. <i>Project Master Schedule of Dioctyl Terephthalate Plant</i>	147
8.2. Jadwal Kerja Masing-Masing Regu.....	163
8.3. Perincian Tingkat Pendidikan.....	165
8.4. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	167
8.5. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas	167
8.6. Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	168
9.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	178
9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	179
9.3. <i>General Expenses</i>	180
9.4. Biaya Administrasi	180
9.5. <i>Minimum Acceptable Percent Return on Investment</i>	182
9.6. <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik	183
9.7. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	185

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Grafik Impor <i>Dioctyl Terephthalate</i> di Indonesia	6
1.2. Data Kebutuhan <i>Dioctyl Terephthalate</i> Secara Global	8
1.3. Lokasi Pabrik	10
6.1. <i>Cooling Tower</i>	115
6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i>	116
6.3. <i>Deaerator</i>	118
6.4. Diagram Alir Pengolahan Air.....	119
7.1. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	141
7.2. Tata Letak Peralatan Proses.....	143
8.1. Struktur Organisasi Perusahaan	152
9.1. Grafik BEP dan SDP	184
9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	185

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi, salah satu strategi Indonesia memasuki Industri 4.0 yaitu dengan penyiapan sector manufaktur guna memperkuat fundamental struktur industri di tanah air. Perkembangan industri di Indonesia pada saat ini mengalami peningkatan disegala bidang, salah satunya dalam bidang industri kimia. Peningkatan yang pesat baik secara kualitatif ataupun kuantitatif terhadap industri kimia sebesar 33,37% (BPS, 2018). Untuk menunjang proses produksi pada industri kimia maka digunakan berbagai macam bahan kimia. *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) merupakan salah satu bahan kimia yang penting serta dalam kegunaannya hampir disemua industri, salah satunya adalah industri plastik, material *coating*, material komposisi *sealing*, dan industri karet.

Bedasarkan US 2020/0010399 A1 bahwa, *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) merupakan *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.

Diocetyl Terephthalate (DOTP) secara fisik berwujud cairan tidak berwarna, hampir berbau, sedikit kental dan memiliki rumus molekul $C_{24}H_{38}O_4$ dengan berat molekul 390,564 g/mol. *Diocetyl Terephthalate* larut dalam etanol, aseton, detil ester dan hidrokarbon aromatik. *Diocetyl Terephthalate* tidak larut dalam air dingin dan dapat bercampur dengan minyak mineral dan heksana. Kelarutan *Diocetyl Terephthalate* dalam air 0,3 mg/L pada suhu 25°C (SNI, 1987).

DOTP adalah bahan kimia organik sintetis dan bagian dari kelompok produk kimia, yang dikenal dengan 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.

Pada Undang Undang Uni Eropa tahun 2005 mempercepat proses 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

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Pusat Ekologi Amerika Tahun 2015 menyatakan bahwa terdapat sejumlah senyawa *ortophthalate* dalam ubin lantai. Sehingga membuat beberapa produser besar berjanji agar menghilangkan sepenuhnya penggunaan *ortophthalate* pada bahan-bahan pembersih lantai. Hal-hal diatas mengakibatkan peningkatan pertumbuhan permintaan DOTP secara signifikan selama 2014-2016

Dilihat dari kebutuhan DOTP yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun maka dapat membuka peluang pendirian pabrik *Dioctyl Terephthalate* (DOTP) dengan beberapa pertimbangan untuk mendirikan pabrik *Dioctyl Terephthalate* (DOTP) antara lain :

1. Banyaknya perusahaan yang membutuhkan DOTP sebagai bahan aditif.
2. Menghemat devisa negara.
3. Indonesia masih belum memiliki pabrik DOTP sehingga Indonesia masih bergantung terhadap impor.
4. Berperan serta dalam program pemerintah untuk menciptakan lapangan kerja baru di bidang industri kimia.
5. Ketersediaan bahan baku yaitu asam tereftalat dan 2-etil heksanol yang melimpah dan dapat dimanfaatkan dalam waktu yang panjang. Sehingga dengan pendirian pabrik DOTP dapat meningkatkan pendapatan negara melalui kerja sama antar industri kimia di Indonesia.
6. Membuka peluang bagi pengembangan-pengembangan industri dengan bahan baku *Dioctyl Terephthalate* (DOTP), sehingga tercipta produk yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi.

1.2 Kegunaan Produk

Produk *Dioctyl Terephthalate* (DOTP) sebagian besar digunakan pada industri kimia sebagai bahan pembantu dalam industri barang-barang *plastic* (sebagai *plasticizer*). Selain itu dipergunakan dalam industri kulit imitasi, kabel, dan automotif,

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku dalam memproduksi *Dioctyl Terephthalate* (DOTP) adalah asam tereftalat dan 2 etil heksanol. Asam tereftalat dengan kemurnian 99,9% (*Purified Terephthalic Acid*) diperoleh dari PT Mitsubishi Chemical Indonesia, Cilegon, Banten. Sedangkan 2 Etil Heksanol dengan kemurnian minimal 99% diperoleh dari PT Petro Oxo Nusantara, Gresik, katalis Asam

Sulfat didapatkan dari PT Petrokimiaa, Gresik. Natrium Hidroksida dengan kemurnian 48% didapatkan dari PT Asahimas Chemical, Cilegon, Banten.

1.4 Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan berdasarkan data impor, data ekspor, kebutuhan konsumsi produk dalam negeri, serta data produksi yang telah ada. Sehingga, dari data-data tersebut akan didapat kapasitas produksi pabrik yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan produk dalam negeri.

1.4.1. Data Impor

Berikut ini data impor *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di Indonesia pada beberapa tahun terakhir.

Tabel 1.1. Data Impor *Diocetyl Terephthalate* di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2009	2.382,40
2010	4.209,68
2011	4.945,92
2012	6.402,92
2013	5.858,15
2014	4.942,47
2015	7.142,10
2016	10.149,73

Lanjutan Tabel 1.1.

2017	19.117,33
2018	18.321,37
2019	16.830,86
2020	10.988,52

(Sumber : Badan Pusat Statistik, 2021)

Tabel 1.2. Data Impor *Diocetyl Terephthalate* di Asia Tenggara

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2014	3.046,60
2015	3.848,68
2016	4.815,50
2017	5.258,36
2018	3.468,41
Rata-Rata	4.087,51

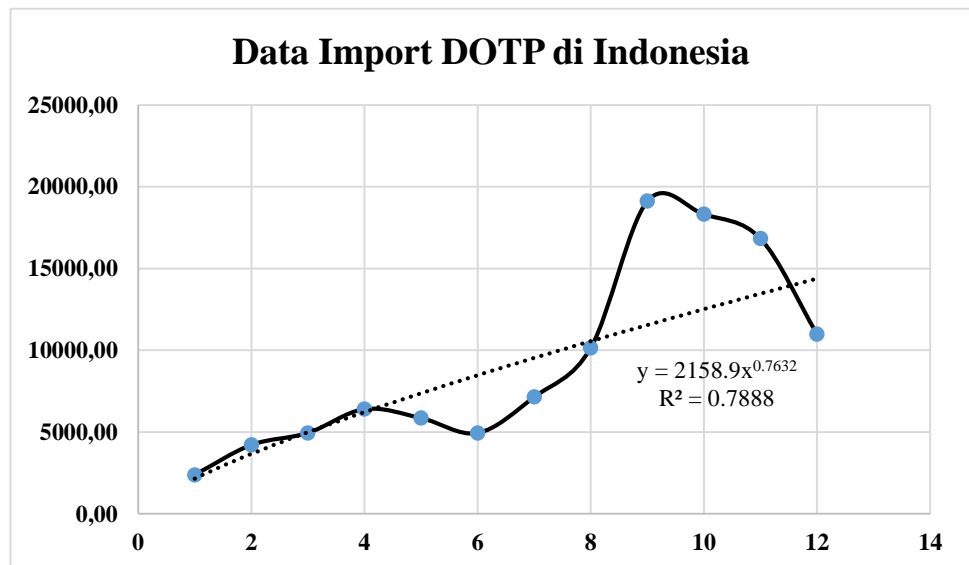
(Sumber : UNdata, 2019)

Tabel 1.3. Data Impor *Diocetyl Terephthalate* di Dunia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2014	5.979,54
2015	10.019,29
2016	10.612,47
2017	8.901,46
2018	8.102,61
Rata-Rata	8.723,07

(Sumber : UNdata, 2019)

Dari data pada Tabel 1.1. di atas, dapat dibuat grafik data impor *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di Indonesia seperti gambar dibawah ini :

**Gambar 1.1.** Grafik Impor *Diocetyl Terephthalate* di Indonesia

(Sumber : BPS, 2021)

Bedasarkan data kebutuhan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di Indonesia akan didapatkan kapasitas pabrik dengan cara menggunakan persamaan garis lurus. Pada Gambar 1.1. sumbu x merupakan tahun ke-

Tahun 2009 = Tahun ke-1

Tahun 2010 = Tahun ke-2

Tahun 2011 = Tahun ke-3

Dan seterusnya sampai Tahun 2027 = Tahun ke-19

Bedasarkan data-data yang diplotkan pada Gambar 1.1. dilakukan pendekatan menggunakan regresi *power*.

Dimana : y = Kebutuhan impor *Diocetyl Terephthalate* (Ton/Tahun)

x = Tahun ke (19)

Melalui perhitungan persamaan di atas diperoleh persamaan $y = 2158,9x^{0,7632}$, yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di Indonesia pada tahun 2027. Dengan persamaan garis tersebut didapatkan prediksi kebutuhan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di Indonesia sebagai berikut :

$$y = 2158,9x^{0,7632}$$

$$y = 2158,9 \times (19^{1,3667})$$

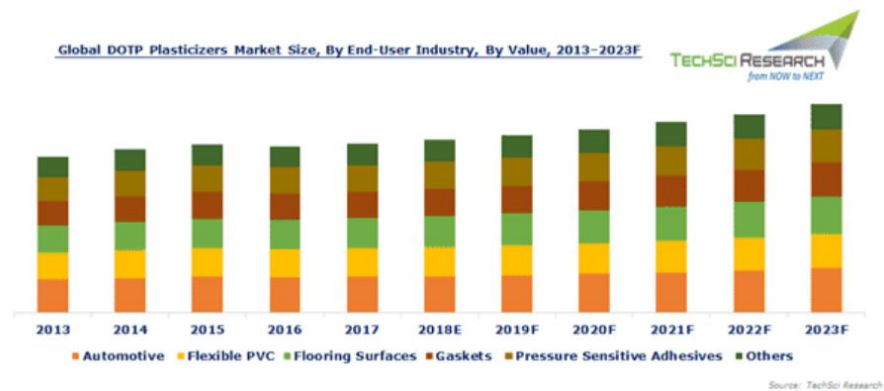
$$y = 20.425,72 \text{ Ton/Tahun}$$

Dengan mempertimbangkan kebutuhan dalam maupun luar negeri. Maka direncanakan pabrik ini akan memenuhi 100% kebutuhan impor di Indonesia pada tahun 2027 dan 12.810,58 Ton/Tahun dari Total kebutuhan di Asia Tenggara dan Dunia. Sehingga :

$$y = 20.000,0000 \text{ Ton/Tahun}$$

1.4.2. Data Kebutuhan

Diocetyl Terephthalate digunakan sebagai *plasticizer* dan produk yang dihasilkan adalah PVC. Sesuai dengan Undang Undang Uni Eropa tahun 2005 mempercepat proses 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.



Gambar 1.2. Data Kebutuhan *Diocetyl Terephthalate* Secara Global

(Sumber : TechSci Research, 2017)

Tabel 1.4. menampilkan data kapasitas produksi PVC pada perusahaan di Indonesia. Dimana dalam proses pembuatan PVC membutuhkan *plasticizer* sebesar 30% (Kirk Othmer, 2005). Sehingga dapat memperkirakan jumlah DOTP dalam produksi PVC pada perusahaan yang telah berdiri di Indonesia.

Tabel 1.4. Data Produksi PVC di Perusahaan Indonesia

Perusahaan	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)	Jumlah <i>Plasticizer</i> yang dibutuhkan (30%)
PT. Asahimas Subentra Chemical	320.000	96.000
PT. Standard Toyo Polymer	176.000	52.800
PT. Satomo Indovyl Polymer	70.000	21.000
PT. Eastern (Mitsubishi) Polymer	36.000	10.800

1.5 Lokasi Pabrik

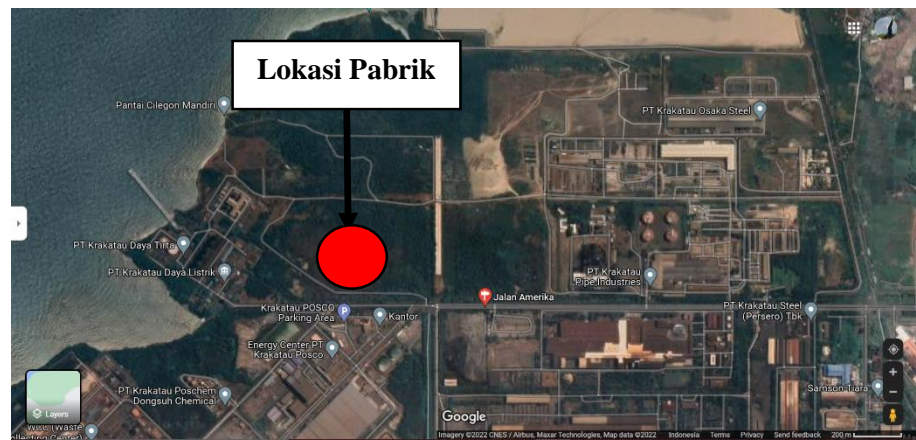
Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor terpenting dari keberhasilan membangun suatu pabrik. Penentuan lokasi pabrik didasarkan dari beberapa pertimbangan baik ditinjau dari segi teknis maupun ekonomis. Sehingga penentuan yang tepat akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang minimal sehingga pabrik tersebut dapat berjalan efisien, ekonomis dan juga menguntungkan.

Lokasi juga penting bagi perusahaan, karena akan mempengaruhi kedudukan perusahaan dalam persaingan dan menentukan kelangsungan hidup perusahaan tersebut. Pada penentuan lokasi pabrik harus diusahakan agar biaya transportasi serta upah pekerja memiliki nilai sekecil mungkin.

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan lokasi pendirian pabrik antara lain :

1. Penyediaan bahan baku

Bahan baku adalah salah satu hal penting dalam proses produksi suatu pabrik sehingga harus dipertimbangkan dalam penempatan lokasi pabrik. Yang bertujuan untuk memudahkan mendapatkan bahan baku menuju lokasi pabrik agar memperkecil biaya transportasi. Pabrik *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) ini akan didirikan di Kawasan Industri Krakatau Steel tepatnya di jalan Amerika, Semangraya, Kecamatan Citangkil, Kota Cilegon, Provinsi Banten dengan garis lintang $5^{\circ}59'43.40''S$ dan garis bujur $105^{\circ}59'35.1''E$, karena dekat dengan sumber bahan baku. Bahan baku. Pertimbangan pemilihan lokasi pabrik dari ketersediaan bahan baku sebagai berikut :



Gambar 1.3. Lokasi Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP)

- Asam Tereftalat merupakan salah satu bahan baku utama dalam produksi *Diocetyl Terephthalate* yang diperoleh dari PT. Mitsubshi Chemical Indonesia yang berjarak 8,3 km dari lokasi pabrik.
- 2-Etil Heksanol dan katalis Asam Sulfat diperoleh dari luar daerah Kawasan Industri Krakatau Steel. 2-Etil Heksanol diperoleh dari PT. Oxo Nusantara dan katalis Asam Sulfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gersik yang berlokasi di Gersik, Jawa Timur. Untuk

meminimalkan biaya transportasi bahan baku, maka pabrik didirikan berdekatan dengan pelabuhan merak yang berjarak 11,4 km.

- Natrium Hidroksida yang digunakan sebagai bahan penunjang diperoleh dari PT. Asahimas Chemical yang berjarak 18,6 km dari lokasi pabrik.

2. Daerah pemasaran

Untuk memudahkan pemasaran produk, lokasi pabrik harus dekat dengan daerah pemasaran atau dekat dengan konsumen. *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) merupakan bahan baku industri polimer. Dengan berdirinya pabrik *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di Kawasan Industri Krakatau Steel tepatnya di jalan Amerika, Semangraya, Kecamatan Citangkil, Kota Cilegon, Provinsi Banten, diharapkan mampu memenuhi kebutuhan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP), selain itu juga dapat membuka kesempatan berdirinya industri-industri yang menggunakan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) sebagai bahan bakunya.

3. Tenaga kerja

Salah satu hal yang dipertimbangkan untuk mendirikan sebuah pabrik yaitu harus ditempatkan pada daerah yang banyak tenaga kerjanya, dari tingkat sarjana sampai pekerja buruh. Dengan pendirian pabrik ini diharapkan dapat membuka lapangan kerja baru dan dapat mengurangi pengangguran di Indonesia.

4. Penyediaan air

Dalam menjalankan suatu proses dalam pabrik, dibutuhkan air yang jumlahnya cukup besar yaitu untuk air pendingin, air proses serta untuk kebutuhan sehari-hari bagi karyawannya dan masyarakat sekitar pabrik. Oleh karena itu, lokasi pabrik harus berada di daerah dekat

dengan sumber air. Kebutuhan air domestik pabrik dapat terpenuhi dengan menggunakan PDAM kota Cilegon yang berjarak 11,1 km atau dari PT Krakatau Tirta Musi yang berjarak 16 km dari lokasi Pabrik. Selain itu kebutuhan air juga dapat dipenuhi dengan mengolah air yang berasal dari Waduk Krakatau yang terletak di dekat lokasi pabrik.

5. Sarana transportasi

Pemilihan lokasi pabrik di dikarenakan letaknya dekat pelabuhan dan tepat di tepi jalan di Kawasan Industri sehingga akan mempermudah akses dengan jalur darat dan jalur laut dalam memasok bahan baku dan pemasaran produk. Lokasi pabrik berada dekat dengan jalan raya dan berjarak 21 km dari Tol Merak sehingga sangat mudah untuk di akses oleh mode transportasi darat. Adapun jalur laut dapat diakses melalui pelabuhan yang berada didekat lokasi pendirian pabrik seperti pelabuhan PT Krakatau Bandar Samudra.

6. Utilitas

Utilitas utama dalam pabrik ini meliputi kebutuhan listrik dan bahan bakar. Ketersediaan tenaga listrik dapat dipenuhi dengan memproduksi listrik sendiri. Adapun terdapat permasalahan sehingga pasokan listrik terhenti maka dapat diperoleh dari PT Krakatau Daya Listrik dimana memiliki kapasitas suplai energi sebesar 120 MW dengan jarak tempuh sekitar 1,3 km dari lokasi pabrik. Bahan bakar yang digunakan adalah *Liquified Natural Gas* (LNG) yang didapat dari *Floating Storage and Regasification Unit* (FSRU) Lampung, yang dikelola PT PGN LNG Indonesia.

BAB II

PEMILIHAN PROSES

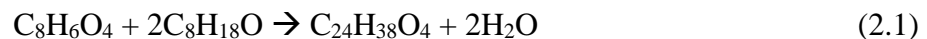
2.1 Jenis-Jenis Proses

Berikut ini merupakan jenis-jenis proses pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) berdasarkan beberapa patent antara lain :

2.1.1. Proses Esterifikasi

US 2015/0307435 AI menjelaskan proses produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) menggunakan proses esterifikasi dengan bahan baku diester asam tereftalat termasuk mereaksikan asam tereftalat (TPA) dan C₆₋₁₈ alkil monohidrat alkohol, dengan adanya bantuan dari katalis yang berbasis asam yaitu asam sulfat untuk menghasilkan Di(C₆₋₁₈ alkil) Tereftalat. *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) yang dihasilkan melalui proses esterifikasi ini umumnya menggunakan bahan baku 2-etilheksanol sebagai C₆₋₁₈ alkil monohidrat alkohol. Penggunaan proses ini banyak digunakan di Korea serta mempunyai nilai konversi yang tinggi yaitu 90% atau lebih.

Reaksi yang terwujud dengan menggunakan bahan baku Asam Tereftalat (TPA) dan 2-Etil Heksanol sebagai berikut :



Reaksi diawali dengan mengkombinasikan TPA, alkohol dan katalis sehingga menghasilkan campuran reaksi, kemudian dipanaskan sehingga didapatkan campuran reaksi yang mengandung campuran produk. Variasi kondisi operasi dapat digunakan untuk reaksi, tergantung dengan alkohol tertentu, efisiensi yang dicapai, serta katalis dan pertimbangan lainnya. Sebagai contoh reaksi dapat dilakukan dengan interval temperatur 150-250°C dengan kondisi tekanan 0,3-10 bar. Pada umumnya reaksi yang terjadi pada tekanan atmosfer, terkecuali jika titik didih C₆₋₁₈ alkohol kurang dari temperatur reaksi. Waktu tinggalpun dapat bervariasi sebagai contoh 12-36 atau 20-28 jam. Reaksi pun dapat dilakukan dengan kondisi *inert*, seperti Nitrogen atau Argon.

Alkohol (C₆₋₁₈) diumpankan secara berlebihan ke dalam zona reaksi dan air yang terbentuk sesegera mungkin dikeluarkan dari zona menggunakan Nitrogen sehingga dapat meningkatkan konversi TPA yang akan menjadi DOTP. WO 2014/185872 AI menjelaskan tentang desain reaktor yang digunakan 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, DOTP, residu C₆₋₁₈ alkohol, air TPA yang tidak bereaksi dan satu atau lebih *by-product*. Setelah proses reaksi berakhir selanjutnya masuk ke dalam proses purifikasi. Purifikasi DOTP dapat mencakup serangkaian proses yaitu distilasi, netralisasi asam dan filtrasi. Distilasi dilakukan untuk memisahkan alkohol (C₆₋₁₈) yang tidak bereaksi dalam kemurnian tinggi, misalnya 98% atau lebih.

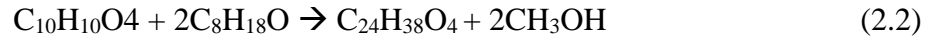
Katalis asam yang terdapat didalam campuran produk dapat dinetralkan. Penyaringan campuran reaksi dilakukan sebelum menetralkan katalis asam atau sebaliknya. Katalis dinetralkan dengan mendinginkan campuran produk pada temperatur kurang dari 100°C, kemudian dilakukan penambahan larutan alkali setara dengan jumlah asam yang ada dalam campuran reaksi. Basa yang cocok 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 filtrate dengan zat penghilang warna seperti arang aktif dan menyaring filtrate yang diolah, misalnya menggunakan bantuan filter untuk membersihkan DOTP dengan spesifikasi yang sesuai.

2.1.2. Proses Transterifikasi

Bedasarkan patent JP 2003238479 menjelaskan mengenai proses produksi DOTP dengan proses transesterifikasi *Dimethyl Terephthalate* (DMT) dengan alkohol monohidrat C₆-C₁₃ dalam proses produksi 2 langkah. Pertama Metanol yang digunakan terbentuk sebagai produk samping dipisahkan pada temperatur kontrol uap dibawah titik didih alkohol monohidrat dan menggunakan kolom destilasi atau parsial kondensor sehingga 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 dari 1% berat mono metil ester.

Bahan baku proses transesterifikasi untuk memproduksi DOTP yakni Dimetil Tereftalat dan 2 etil heksanol. Proses ini adalah solusi dari proses esterifikasi dimana kelarutan TPA dalam 2 Etil Heksanol

sangat kecil, meskipun demikian masalah barupun muncul yaitu adanya residu metil etil heksil tereftalat. Industri yang menggunakan proses ini adalah Eastman Chemical Company (Amerika) dan menghasilkan produk samping berupa methanol. Reaksi yang terjadi dengan bahan baku DMT dan 2 Etil Heksanol sebagai berikut :



DMT dan 2 etil Heksanol diumpankan kedalam reaktor berpengaduk dengan perbandingan 1:5 mol dan katalis tetraisipropil titanat sebanyak 0,2 ml dengan temperatur reaksi 198-220°C dengan tekanan atmosfer. Methanol yang terbentuk kemudian didistilasi dengan temperatur uap yaitu 90°C. saat laju destilasi alkohol melambat ditambahkan 1,5 mol 2 Etil Heksanol segar sehingga kandungan mono metil ester dalam produk berkurang dari 1% berat. Waktu reaksi mencapai 4 jam.

2.2. Seleksi Proses

2.2.1. Berdasarkan nilai *gibbs free energy*

Berikut ini adalah perbandingan antara *gibbs free energy* dari kedua proses pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP).

- a. Proses esterifikasi

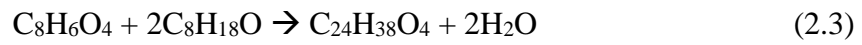
Tabel 2.1. Harga ΔG Proses Esterifikasi pada Suhu 298 K dan

Komponen	ΔG^{o298} (kJ/mol)
C ₈ H ₆ O ₄	-599,00

Lanjutan Tabel 2.1.

$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	-188,88
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	-406,30
$2\text{H}_2\text{O}$	-227,36

Adapun reaksi dari pembuatan *Diocetyl Terephthalate* dengan proses esterifikasi adalah sebagai berikut :



$$\Delta G^{\circ}f = \Delta G^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

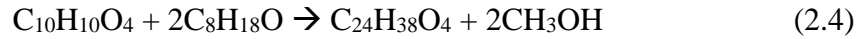
$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}f_{298} &= \Delta G^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}f_{\text{reaktan}} \\ &= (-406,3 \text{ kJ/mol} + (2 \times -227,36 \text{ kJ/mol})) - (-599,00 \\ &\quad \text{kJ/mol} + (2 \times -118,88 \text{ kJ/mol})) \\ &= (-861,02 \text{ kJ/mol}) - (-836,76 \text{ kJ/mol}) \\ &= -24,26 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Pada keadaan standar}) \end{aligned}$$

b. Proses Transterifikasi

Tabel 2.2. Harga ΔG Proses Transterifikasi pada Suhu 298 K

Komponen	ΔG°_{298} (kJ/mol)
$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$	-474,00
$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	-118,88
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	-406,30
$2\text{CH}_3\text{OH}$	-162,51

Adapun reaksi dari pembuatan *Diocetyl Terephthalate* dengan proses transterifikasi adalah sebagai berikut :



$$\Delta G^{\circ}f = \Delta G^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}f_{298} &= \Delta G^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}f_{\text{reaktan}} \\ &= (-406,30 \text{ kJ/mol} + (2 \times -162,51 \text{ kJ/mol})) - (-474,00 \\ &\quad \text{kJ/mol} + (2 \times -118,88 \text{ kJ/mol})) \\ &= (-731,32 \text{ kJ/mol}) - (-711,76 \text{ kJ/mol}) \\ &= -19,56 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Pada keadaan standar}) \end{aligned}$$

Perubahan	Indikasi
$-\Delta G$	Sangat menjajikan
$+\Delta G$ (kecil)	Patut dikaji lagi
$+\Delta G$ (besar)	Hanya mungkin pada kondisi yang diluar kebiasaan

2.2.2. Berdasarkan ΔH reaksi

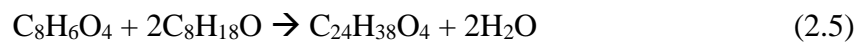
Nilai ΔH komponen bahan baku dan produk dalam pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi adalah sebagai berikut :

a. Proses esterifikasi

Tabel 2.3. Nilai ΔH Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) Melalui Proses Esterifikasi

Komponen	$\Delta H_f^{\circ 298}$ (kJ/mol)
$C_8H_6O_4$	-717,9
$2C_8H_{18}O$	-365,3
$C_{24}H_{38}O_4$	-966,72
$2H_2O$	-241,8

Adapun reaksi dari pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dengan proses esterifikasi sebagai berikut :



$$\Delta H^{\circ}f = \Delta H^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

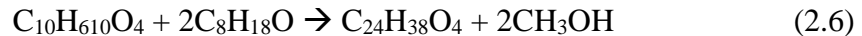
$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}f_{298} &= \Delta G^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}f_{\text{reaktan}} \\ &= (-966,72 \text{ kJ/mol} + (2 \times -241,8 \text{ kJ/mol})) - (-717,9 \\ &\quad \text{kJ/mol} + (2 \times -365,30 \text{ kJ/mol})) \\ &= (-1.450 \text{ kJ/mol}) - (-1.449 \text{ kJ/mol}) \\ &= -1,82 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Pada keadaan standar}) \end{aligned}$$

b. Proses transterifikasi

Tabel 2.4. Nilai ΔH Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) Melalui Proses Transterifikasi

Komponen	$\Delta H_f^{\circ 298}$ (kJ/mol)
$C_{10}H_{10}O_4$	-637
$2C_8H_{18}O$	-365,3
$C_{24}H_{38}O_4$	-966,72
$2CH_3OH$	-201,17

Adapun reaksi dari pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dengan proses transterifikasi sebagai berikut :



$$\Delta H^{\circ}f = \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H^{\circ}f_{298} = \Delta G^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_f \text{ reaktan}$$

$$= (-966,72 \text{ kJ/mol} + (2 \times -201,17 \text{ kJ/mol})) - (-637,00$$

$$\text{kJ/mol} + (2 \times -365,3 \text{ kJ/mol}))$$

$$= (-1.369 \text{ kJ/mol}) - (-1.268 \text{ kJ/mol})$$

$$= -1,46 \text{ kJ/mol} \quad (\text{Pada keadaan standar})$$

2.2.3. Berdasarkan harga bahan baku dan produk

Kapasitas produksi yang dirancang pada pendirian *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) di tahun 2027 sebesar 18.000 ton/tahun. Dalam satu tahun, pabrik dirancang untuk beroperasi selama 330 hari, maka kapasitas produksi untuk setiap $\frac{kg}{jam}$ sebesar :

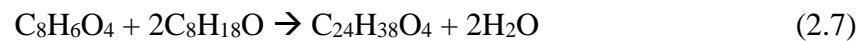
$$\frac{20.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = \frac{2.525,25 \text{ kg}}{\text{jam}}$$

Tabel 2.5. Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari TPA, 2-EH dan DMT

Komponen	Rupiah/kg
$C_8H_6O_4(s)$	Rp. 141.462,5/Kg
$C_{10}H_{10}O_4(s)$	Rp. 75.823,9/Kg
$2C_8H_{18}O(l)$	Rp. 141.462,5/Kg
$C_{24}H_{38}O_4(l)$	Rp.282,925/Kg
$2CH_3OH(l)$	Rp.141.462,5
$2H_2O(l)$	Rp. 0/Kg

a. Proses esterifikasi

Adapun reaksi dari pembentukan *Diocetyl Terephthalate* dengan proses esterifikasi adalah sebagai berikut :



Tabel 2.6. BM Bahan Baku dan Produk untuk Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi TPA dan 2-EH

Komponen	BM (kg/mol)
$C_8H_6O_4(s)$	0,1661
$2C_8H_{18}O(l)$	0,1302

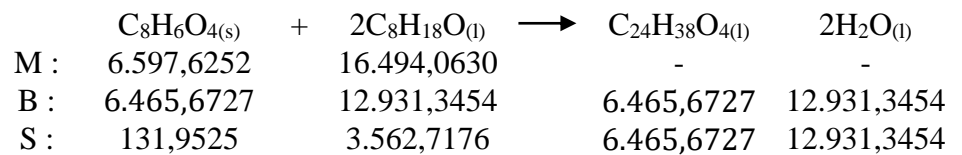
Lanjutan Tabel 2.6.

$C_{24}H_{38}O_{4(l)}$	0,3906
$2H_2O_{(l)}$	0,0180

Untuk kapasitas produksi $C_{24}H_{38}O_{4(l)}$ sebesar 2.525,25 Kg/jam dengan konversi 98%, sehingga jumlah mol/jam *Diocetyl Terephthalate* yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Mol } C_{24}H_{38}O_{4(l)} &= \frac{\text{massa}}{BM} \\ &= \frac{2.525,2525 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{0,3906 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \\ &= 6.465,6727 \text{ mol/jam} \end{aligned}$$

Maka :



Diperoleh mol/jam bahan baku dan produk yang dibutuhkan pada proses pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara TPA dan 2-EH sebagai berikut :

Tabel 2.7. mol/jam Bahan Baku dan Produk untuk Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi TPA dan 2-EH

Komponen	mol/jam
$C_8H_6O_{4(s)}$	6.597,63

Lanjutan Tabel 2.7

$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_{(l)}$	16.494,06
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_{4(l)}$	6.465,67
$2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	12.931,35

Massa yang dibutuhkan sebesar = mol/jam x BM

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{C}_8\text{H}_6\text{O}_{4(s)} &= 6.597,6252 \text{ mol/jam} \times 0,1661 \text{ kg/mol} \\ &= 1.096,0833 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh massa bahan baku dan produk untuk pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara TPA dan 2-EH sebagai berikut :

Tabel 2.8. Massa Bahan Baku dan Produk untuk Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi TPA dan 2-EH

Komponen	kg/jam
$\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_{4(s)}$	1.096,0833
$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_{(l)}$	2.148,0218
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_{4(l)}$	2.525,2525
$2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$	232,9582

Maka, harga bahan baku untuk pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara TPA dan 2-EH sebagai berikut :

Harga kapasitas produksi = Massa yang dibutuhkan x Harga / Kg

Harga $C_8H_6O_4(s)$ dibutuh= 1.096,0833 Kg/jam x 141.462,5

Rupiah/Kg

= 155.054.679,2 Rupiah/jam

Dengan cara yang sama diperoleh harga bahan baku untuk pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara TPA dan 2-EH sebagai berikut :

Tabel 2.9. Harga Bahan Baku Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi TPA dan 2-EH

Komponen	Rupiah/jam
$C_8H_6O_4(s)$	155.054.679,2
$2C_8H_{18}O(l)$	303.864.537,4
Total	458.919.216,6

Sedangkan untuk harga produk *Diocetyl Terephthalate* sesuai dengan kapasitas produksi sebesar :

Harga kapasitas produksi = Massa yang dihasilkan x Harga / Kg

= 2.525,2525 Kg/jam x 282.925

Rupiah/Kg

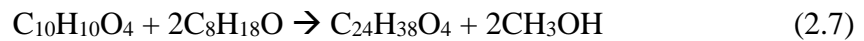
= 714.457.070,7 Rupiah/jam

Maka, keuntungan yang diperoleh dari pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara TPA dan 2-EH adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= 714.457.070,7 - 458.919.216,6 \\
 &= 255.537854,1 \text{ Rupiah/jam}
 \end{aligned}$$

b. Proses transterifikasi

Adapun reaksi dari pembentukan *Diocetyl Terephthalate* dengan proses esterifikasi adalah sebagai berikut :



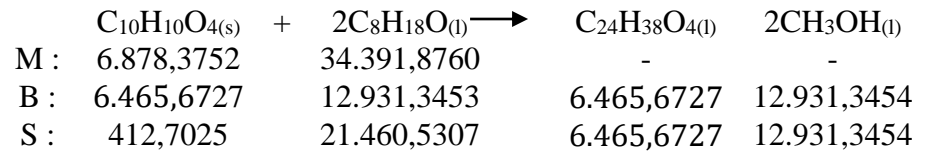
Tabel 2.10. BM Bahan Baku dan Produk untuk Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi DMT dan 2-EH

Komponen	BM (kg/mol)
$C_{10}H_{10}O_{4(s)}$	0,1942
$2C_8H_{18}O_{(l)}$	0,1302
$C_{24}H_{38}O_{4(l)}$	0,3906
$2CH_3OH_{(l)}$	0,0320

Untuk kapasitas produksi $C_{24}H_{38}O_{4(l)}$ sebesar 2.525,2525 Kg/jam dengan konversi 94%, sehingga jumlah mol/jam *Diocetyl Terephthalate* yang dihasilkan sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Mol } C_{24}H_{38}O_{4(l)} &= \frac{\text{massa}}{BM} \\
 &= \frac{2.525,2525 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{0,3906 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} \\
 &= 6.465,6727 \text{ mol/jam}
 \end{aligned}$$

Maka :



Diperoleh mol/jam bahan baku dan produk yang dibutuhkan pada proses pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara DMT dan 2-EH sebagai berikut :

Tabel 2.11. mol/jam Bahan Baku dan Produk untuk Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi DMT dan 2-EH

Komponen	mol/jam
$\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_{4(s)}$	6.878,3752
$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}_{(l)}$	34.931,8760
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_{4(l)}$	6.465,6727
$2\text{CH}_3\text{OH}_{(l)}$	12.931,3454

Massa yang dibutuhkan sebesar = mol/jam x BM

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } \text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_{4(s)} &= 6.878,3751 \text{ mol/jam} \times 0,1942 \text{ kg/mol} \\
 &= 1.335,6525 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh massa bahan baku dan produk untuk pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara DMT dan 2-EH sebagai berikut :

Tabel 2.12. Massa Bahan Baku dan Produk untuk Produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi DMT dan 2-EH

Komponen	kg/jam
$C_{10}H_{10}O_{4(s)}$	1.335,6525
$2C_8H_{18}O_{(l)}$	4.478,8540
$C_{24}H_{38}O_{4(l)}$	2.525,2525
$2CH_3OH_{(l)}$	414,3340

Maka, harga bahan baku untuk pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara DMT dan 2-EH sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Harga kapasitas produksi} &= \text{Massa yang dibutuhkan} \times \text{Harga / Kg} \\
 \text{Harga } C_{10}H_{10}O_{4(s)} \text{ dibutuh} &= 1.335,6525 \text{ Kg/jam} \times 75.823,9 \\
 &\text{Rupiah/Kg} \\
 &= 101.274.383,7 \text{ Rupiah/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh harga bahan baku untuk pembuatan *Diocetyl Terephthalate* melalui reaksi antara DMT dan 2-EH sebagai berikut :

Tabel 2.13. Harga Bahan Baku Produksi *Dioctyl Terephthalate* (DOTP) dari Reaksi DMT dan 2-EH

Komponen	Rupiah/jam
$C_{10}H_{10}O_{4(s)}$	101.274.383,7
$2C_8H_{18}O_{(l)}$	633.589.886,4
Total	734.864.270,1

Sedangkan untuk harga produk *Dioctyl Terephthalate* sesuai dengan kapasitas produksi sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Harga } C_{24}H_{38}O_{4(l)} &= \text{Massa yang dihasilkan} \times \text{Harga / Kg} \\
 &= 2.525,25 \text{ Kg/jam} \times 282.925 \text{ Rupiah/Kg} \\
 &= 714.457.070,7 \text{ Rupiah/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Harga } 2CH_3OH_{(l)} &= \text{Massa yang dihasilkan} \times \text{Harga / Kg} \\
 &= 414,33 \text{ Kg/jam} \times 141.462,5 \text{ Rupiah/Kg} \\
 &= 58.612.725,4 \text{ Rupiah/jam}
 \end{aligned}$$

Maka, keuntungan yang diperoleh dari pembuatan *Dioctyl Terephthalate* melalui reaksi antara DMT dan 2-EH adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 &= 773.069.796,11 - 734.864.270,1 \\
 &= 38.205.526 \text{ Rupiah/jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 2.14. Perbandingan Profit antara Proses Esterifikasi dengan Transterifikasi

Jenis Proses	Harga Bahan Baku (Rupiah/jam)	Harga Produk (Rupiah/jam)	Keuntungan (Rupiah/jam)
Esterifikasi	458.919.216,6	714.457.070,7	255.537.854,1
Transterifikasi	734.864.270,1	773.069.796,11	38.205.526

Bedasarkan hasil perhitungan harga bahan baku dan produk. Didapatkan nilai keuntungan yang lebih besar pada proses esterifikasi dibandingkan dengan proses transterifikasi. Kemudian, untuk ΔG pada reaksi pembuatan *Diocetyl Terephthalate* diperoleh nilai ΔG°_f sebesar -24,26 KJ/mol pada proses esterifikasi sedangkan untuk transterifikasi sebesar -19,56 kJ/mol. Dari kedua proses tersebut nilai ΔG°_f yang diperoleh yaitu negative, dimana menunjukkan reaksi berlangsung secara spontan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan proses esterifikasi dalam pembuatan *Diocetyl Terephthalate* menjanjikan.

Tabel 2.15. Perbandingan antara Proses Esterifikasi dengan Transterifikasi

Parameter	Proses Esterifikasi	Proses Transterifikasi
Suhu Operasi (°C)	150	220
Tekanan (atm)	1	1
Konversi	98%	94%

Lanjutan Tabel 2.15.

Waktu (jam)	6	4
Produk	DOTP dan Air	DOTP dan Metanol
Bahan Baku	<i>Terephthalic Acid</i> (TPA) dan 2- <i>Ethyl Hexanol</i>	<i>Dmethyl Terephthalate</i> (DMT) dan 2- <i>Ethyl Hexanol</i>
Rasio Bahan Baku	1 : 2,5 mol	1 :5 mol
Katalis	<i>Sulfuric Acid</i>	<i>Tetraisipropil Titanat</i>
ΔG°_f	-24,26 KJ/mol	-19,56 KJ/mol
ΔH°_f	-1,82 KJ/mol	-1,46 KJ/mol
Profit (Rp/Kg)	255.537.854,1	38.205.526
Harga Bahan Baku (Rp/jam)	458.919.216,6	734.864.270,1

2.3. Pemilihan Proses

Dari uraian proses produksi *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) diatas, maka proses yang dipilih adalah proses esterifikasi dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Nilai konversi pada *Diocetyl Terephthalate* (DOTP) yang dihasilkan sebesar 98%.
2. Harga bahan baku yang lebih murah yaitu sebesar Rp. 458.919.216,6/jam.

3. Produk yang dihasilkan mempunyai kemurnian sebesar 99,7%.
4. Profit yang didapatkan lebih menguntungkan yaitu sebesar Rp. 255.537.854,1/jam.

2.4. Uraian Proses

Bedasarkan US 2020/0010399 AI dan US 2015/0307435 AI secara garis besar pabrik produksi DOTP melalui proses esterifikasi dapat dibagi menjadi empat tahapan proses yaitu :

1. Tahap Persiapan.
2. Tahap Reaksi.
3. Tahap Separasi.
4. Tahap Purifikasi.

2.4.1. Tahap Persiapan

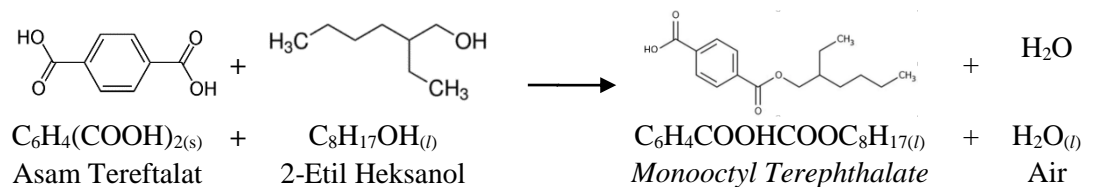
Bahan baku *2-Ethyl Hexanol* (2-EH) dari Tangki dialirkan menuju *Heater* untuk dipanaskan hingga mencapai temperatur 140°C yang selanjutnya akan dialirkan ke *Mixing Tank*. *Terephthalic Acid* (TPA) berbentuk padat dari *Hopper Tank* dipindahkan menggunakan *Screw Conveyor* dan *Bucket Elevator* menuju *Mixing Tank*. TPA dan 2-EH dihomogenisasi dengan perbandingan massa 1:1 untuk mencegah penggumpalan TPA dan meningkatkan luas permukaan TPA sebelum masuk reaktor. US 2018/0362440 AI menjelaskan dengan adanya homogenisasi ini maka dapat meningkatkan efisiensi reaksi dan menurunkan waktu reaksi 37.5-54%. Larutan TPA dengan 2EH kemudian dipanaskan di *Heater* hingga mencapai temperatur 150°C.

2-EH dan Asam Sulfat (H₂SO₄) dari Tangki sebanyak 1% dari total bahan baku (US 2015/0307435 A1) dipanaskan di *Heater* hingga 150°C.

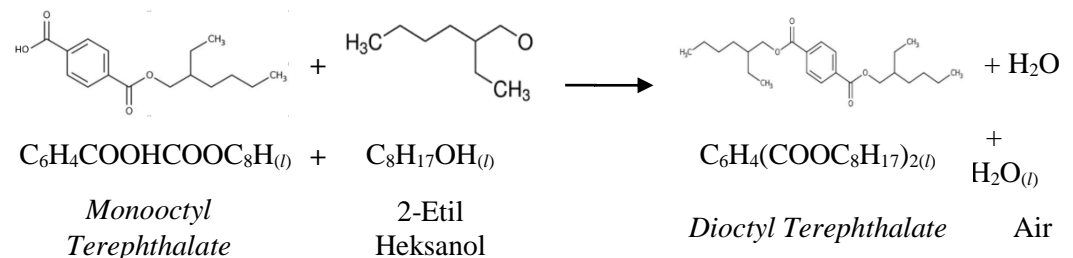
2.4.2. Tahap Reaksi

Campuran 2-EH dan katalis H_2SO_4 , dan larutan TPA diumpankan ke dalam Reaktor (*Continous Stirred Tank Reactor*) dengan kondisi operasi suhu $150^\circ C$ dan tekanan atmosfer dengan perbandingan TPA : 2-EH yakni 1 : 2,5 mol (US 2015/0307435 A1). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Tahap Pertama :



2. Tahap Kedua :



Kedua reaksi berjalan secara berurutan. Reaksi tahap pertama berlangsung sangat lambat dalam suasana heterogen. Reaksi tahap kedua berlangsung dengan sangat cepat jika dibandingkan dengan reaksi tahap pertama, dikarenakan reaksi ini berlangsung dalam suasana homogen sehingga menghasilkan *Diethyl Terephthalate* (DOTP). Oleh, karna itu reaksi pertama dapat dinyatakan sebagai reaksi pembatas (Dazhuang, 2006). Keluaran atas reaktor merupakan campuran excess 2-EH dan air yang terbentuk selama reaksi berlangsung. Keluaran bawah reaktor adalah TPA yang tidak bereaksi berbentuk padat, DOTP dan sisa katalis H_2SO_4 yang tidak bereaksi.

2.4.3. Tahap Separasi

Hasil keluaran bawah reaktor yang berupa campuran TPA, DOTP, katalis H_2SO_4 , dan sedikit air dan 2-EH didinginkan sampai temperatur $90^\circ C$ di *Cooler* untuk kemudian dialirkan menuju *Neutralizer* untuk menetralkan suasana asam dalam produk.

Air dari utilitas dan NaOH 48% dari Tangki diumpankan ke *Mixing Tank* sehingga didapatkan NaOH 10% dan kemudian dipanaskan sampai temperatur $90^\circ C$ menggunakan *Heater* untuk kemudian diumpankan ke *Neutralizer Tank* bersamaan dengan penambahan air untuk menetralkan katalis H_2SO_4 . Garam yang terbentuk larut di dalam air pencuci yang nantinya akan dipompakan menuju *Decanter* untuk dipisahkan. Keluaran bawah *Decanter* yang mengandung Na_2SO_4 diumpankan ke *Evaporator* untuk diuapkan kandungan airnya. Na_2SO_4 disimpan di Tangki setelah sebelumnya didinginkan di *Cooler*. Air yang menguap akan di kondensasikan di utilitas sehingga dapat digunakan kembali dalam proses.

2.4.4. Tahap Purifikasi

Keluaran *Decanter* yang mengandung produk DOTP dan sedikit 2-EH di umpankan ke *Distilation* untuk memisahkan 2-EH dengan DOTP sehingga kemurnian produk DOTP akan meningkat. Uap 2-EH kemudian di kondensasikan di *Condenser* dan di tampung di *Accumulator Tank* sebelum di alirkan kembali menuju tangki penyimpanan 2-EH. DOTP keluaran *Distilation* didinginkan sampai $30^\circ C$ di *Cooler* dan kemudian disimpan di Tangki.

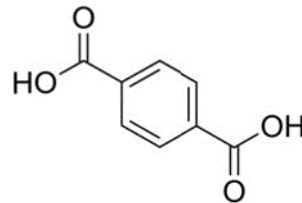
III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1. Spesifikasi Bahan Baku

3.1.1. Spesifikasi Asam Tereftalat (C₈H₆O₄)

Rumus kimia : C₈H₆O₄

Rumus bangun :



Berat molekul : 166,133 gr/mol

Bentuk : 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)

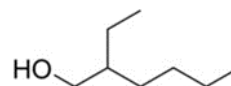
Tekanan kritis : 38,98347 atm (39,5 Bar)

Densitas (g/cm³) : 1,52

3.1.2. Spesifikasi 2-Etil Heksanol (C₈H₁₈O)

Rumus kimia : C₈H₁₈O

Rumus bangun :



Berat molekul : 130,23 gr/mol

Wujud : Cair pada 25°C dan 1,013 bar

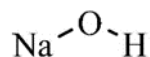
Warna : Tidak Berwarna

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

3.2. Spesifikasi Bahan Pendukung

3.2.1. Spesifikasi Sodium Hidroksida (NaOH)

Rumus kimia	: NaOH
Rumus bangun	:

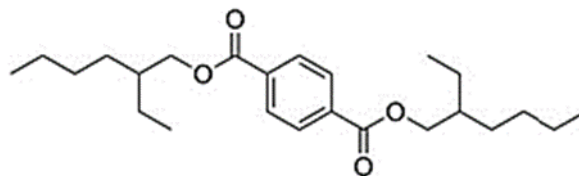


Berat molekul	: 39,997 gr/gmol
Wujud	: Cairan pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tak berwarna
Titik leleh	: 322,85°C (596 K)
Titik didih	: 1390°C (1663,15 K)
Temperatur kritis	: 2546,85°C (2820 K)
Tekanan kritis	: 249,99753 atm (253,31 Bar)
Densitas (g/cm ³)	: 0,2

3.3. Spesifikasi Produk

3.3.1. Spesifikasi Produk Utama Dioctly Terephthalat (C₂₄H₃₈O₄)

Rumus kimia	: C ₂₄ H ₃₈ O ₄
Rumus bangun	:



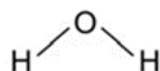
Berat molekul	: 90,563 gr/mol
Wujud	: Cairan Viskous pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tak berwarna
Titik leleh	: -50°C (223,15 K)

Titik didih	: 384 °C (657,15 K)
Temperatur kritis	: 532,85°C (806 K)
Tekanan kritis	: 11,64569 atm (11,8 Bar)
Densitas (g/cm ³)	: 0,98

3.3.2. Spesifikasi Produk Samping Air (H₂O)

Rumus molekul : H₂O

Rumus bangun :



Berat Molekul : 18,015 gr/mol

Wujud : Cairan pada 25oC 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)

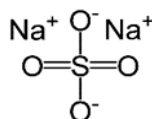
Tekanan kritis : 226,54824 atm (229,55 Bar)

Densitas (g/cm³) : 0,997

3.3.3. Spesifikasi Produk Samping Natrium Sulfat (Na₂SO₄)

Rumus molekul : Na₂SO₄

Rumus bangun :



Berat Molekul : 142,04 gr/mol

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/cm³) : 2,664

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *Diocetyl Terephthalate* dari *Terephthalic Acid* dan *2-Etyhl-1-Hexanol* dengan kapasitas 20.000 ton/tahun dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Prarancangan Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* kapasitas 20.000 ton/tahun direncanakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri.
2. Ditinjau dari faktor bahan baku, transportasi, pemasaran dan lingkungan, pabrik *Diocetyl Terephthalate* didirikan di daerah Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Banten.
3. Berdasarkan hasil analisis teknis dan ekonomi, maka pabrik *Diocetyl Terephthalate* ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut :
 - a. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak yaitu 30,2737% dan setelah pajak yaitu 24,2190%
 - b. *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak yaitu 2,1922 tahun dan 2,5979 tahun setelah pajak.

- c. *Break Even Point* (BEP) sebesar 40,95%, dimana rentang BEP standar antara 31 – 60%. Nilai *Shut Down Point* (SDP) sebesar 22,87%, yaitu dengan batasan kapasitas produksi tersebut pabrik harus berhenti berproduksi karena jika beroperasi dibawah nilai SDP maka pabrik akan mengalami kerugian.
- d. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 30,89%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik daripada ke bank.

10.2. Saran

Pabrik *Dioctyl Terephthalate* dari *Terephthalic Acid* dan *2-Etyhl-1-Hexanol* dengan kapasitas 20.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut, baik dari segi proses maupun dari segi ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2022. Peta Provinsi Banten. <https://www.google.co.id/maps,2016>. Diakses pada 15 Febuari 2022.
- Badan Pusat Statistik, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI. 2022. *Data Impor Bahan Industri Kimia: Dioctyl Terephthalate Tahun 2009-2020*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada tanggal 10 Febuari 2022).
- Bachus, L and Custodio, A. 2003. *Know and Understand Centrifugal Pumps*. Bachus Company, Inc. Oxford: UK.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill : New York.
- Bank Indonesia. 2023. *Nilai Kurs*. www.bi.go.id. Diakses 1 April 2023
- Brown. G. George., 1950, *Unit Operation 6^{ed}*, Wiley&Sons, USA.
- Brownell. L. E. and Young. E. H., 1959, *Process Equipment Design 3^{ed}*, John Wiley & Sons, New York.
- Coker, A. K. 2001. *Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*. Texas, United States: Fulf Publihing Company.
- Coulson. J. M. and Ricardson. J. F., 1983, *Chemical Engineering vol 6*, Pergamon Press Inc, New York.
- Coulson J.M., and J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering 4th edition*. Butterworth-Heinemann : Washington.

Couper, J. R., Penney, W. R., 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

Felder, R. M. and Rousen R. W. 2005. *Elements of Chemical Reaction Engineering 3th edition*. New Jersey: Prentice Hall PTR.

Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering 4th edition*. Prentice Hall International Inc. : United States of America.

Geankoplis. Christie. J., 1993, *Transport Processes and unit Operation 3th ed*, Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Google Map. 2021. Area Sungai Cidanau – Banten. Diakses pada 20 Desember 2021.

Himmeblau. David., 1996, *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, Prentice Hall Inc, New Jersey.

Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. New York: Elsevier Science Publishing Company INC.

Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mcgraw-Hill Co.: New York.

Levenspiel. O., 1972, *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.

McCabe. W. L. and Smith. J. C., 1985, *Operasi Teknik Kimia*, Erlangga, Jakarta.

Megyesy. E. F., 1983, *Pressure Vessel Handbook*, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.

Patent JP No. 2003238479. Hayashi, K. 2003. *Method for Production Higher Alcohol Terephthalic Acid Ester*.

Perry, Robert H., and Don W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th edition*. McGraw Hill : New York.

Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition*. McGraw Hill : New York.

Peter. M. S. and Timmerhause. K. D., 1991, *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3^{ed}*, Mc Graww-Hill Book Company, New York.

Powell, S. T., 1954, "Water Conditioning for Industry", Mc Graw Hill Book Company, New York.

Santosa, Galih. 2022. *Hydrant Water*. Galih Santosa. adhiatma.blog. Diakses pada 26 Maret 2022.

Smith. J. M. and Van Ness. H. C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 3^{ed}*, McGraww-Hill Inc, New York.

Smith, J.M., H.C. Van Ness, and M.M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition*. McGraw Hill : New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3th edition*. McGraww-Hill Book Company: New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*. McGraw-Hill : New York.

Treyball. R. E., 1983, *Mass Transfer Operation 3^{ed}*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Ulrich. G. D., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.

US Patent No. 2015/0362440 AI. De Munick, N., A. 2015. *Esterification Process*..

US Patent No. 2018/0362440. Liao, T. C., Chuang, J. J., dan Lin, H. M. 2018. *Dioctyl Terephthalate Plasticizer and Method of Enchanging Reaction Effeciensy in Process for Production the Same*.

US Patent No. 2020/0010399 AI. Nandy, R., Patrick, B., dan Nesakumar, J. 2020. *Method of Making Dialkyl Terephthalate from Terephthalic Acid*.

Vibrant & Dryden. 1959. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. USA: Butterworth Publishers..

Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann : Washington.

Wallas. S. M., 1988, *Chemical Process Equipment*, Butterworth Publishers, Stoneham USA.

Wilson, E. T.2005.*Clarifier Design*. Mc Graw Hill Book Company : London

Yaws, C. L., 1999. *Chemical Properties Handbook*, Mc Graw Hill Book Co., New York

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

www.indoacid.com/asam_sulfat.htm, Diakses pada 01 Agustus 2021

www.insoclay.com/ammonium_hidroksida.htm, Diakses pada 01 Agustus 2021

www.water.me.vccs.edu. Diakses pada 20 Maret 2022.

www.icis.com., Diakses pada 15 Juli 2021