

**PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN *2-ETHYL HEXANOL* DENGAN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN**

**(TUGAS KHUSUS PERANCANGAN *DISTILLATION COLUMN* (DC-301))**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**HELEN TRI MILANDA (1715041012)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2024**

**PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL PHTHLATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN *2-ETHYL HEXANOL* DENGAN KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN**

**(Tugas Khusus Perancangan *Distillation Column* (DC-301))**

Oleh

**HELEN TRI MILANDA**

**1715041012**

**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**

**2024**

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN *2-ETHYL HEXANOL* KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN (Perancangan *Distillation Column (DC-301)*)

Oleh

**HELEN TRI MILANDA**

Pabrik *Dioctyl Phthalate* berbahan baku *Phthalic Anhydride* dan *2-Ethyl Hexanol*, yang rencananya akan didirikan di *Java Integrated Industrial and Port Estate*, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja, perizinan dan kondisi masyarakat sekitar.

Pabrik ini direncanakan dapat memproduksi *Dioctyl Phthalate* sebanyak 23.000 ton/tahun, dengan waktu operasi selama 24 jam/hari serta 330 hari/tahun. Banyaknya bahan baku yang digunakan adalah *Phthalic Anhydride* sebanyak 1.123 kg/jam dan *2-Ethyl Hexanol* sebanyak 2.483 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik *Dioctyl Phthalate* ini berupa unit penyedia dan pengolahan air, unit penyedia *steam*, unit penyedia *hot oil*, unit penyedia udara instrumen dan unit penyedia bahan bakar.

Jumlah karyawan sebanyak 164 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi jenis *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 598.503.905.911
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 149.625.976.478
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 748.129.882.389
<i>Total Production Cost</i>	(TPC)	= Rp 960.730.736.375
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 45,17%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 19,63%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub>	= 2,27 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 2,60 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 30%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 26%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 30,64%

Berdasarkan beberapa paparan di atas, maka pendirian pabrik *Dioctyl Phthalate* ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif cukup baik.

Judul Skripsi

: **PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN *2-ETHYL HEXANOL* KAPASITAS 23.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Distillation Column* (DC – 301))**

Nama Mahasiswa : **Helen Tri Milanda**

No. Pokok Mahasiswa : 1715041012

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and curves, positioned to the left of the UNILA logo.

**Simparmin Br. Ginting, S.T.,M.T.**  
NIP. 196611111994022001

A handwritten signature in black ink, consisting of a vertical line with a horizontal crossbar and a small hook at the end, positioned to the right of the UNILA logo.

**Donny Lesmana, S.T., M.Sc.**  
NIP. 198410082008121003

Ketua Jurusan Teknik Kimia

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and curves, positioned below the text "Ketua Jurusan Teknik Kimia".

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

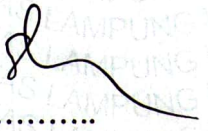


**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

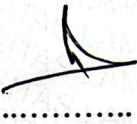
Ketua

: **Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T.**

  
.....

Sekretaris

: **Donny Lesmana, S.T., M.Sc.**

  
.....

Penguji

Bukan Pembimbing : **Yuli Darni, S.T., M.T.**

  
.....

**Muhammad Haviz, S.T., M.T.**

  
.....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

NIP. 197509281001121002

Tanggal Lulus Seminar Skripsi : **21 Juni 2024**

## 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 2024



Helen Tri Milanda

NPM. 1715041012

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bangun Rejo pada tanggal 15 Mei 2000, anak ke-tiga dari empat bersaudara dari Bapak Ponijan dan Ibu Ruwiyah.

Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SD Negeri 29 Bangun Rejo (2005-2011), SMP Negeri 1 Pagaralam (2011-2014) dan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Pagaralam pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Masuk SNMPTN.

Pada tahun 2021 penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. Pabrik Minyak Kelapa Sawit II, Pancajaya, Mesuji, Lampung dengan tugas khusus “Evaluasi Kinerja *Digester* dan *Screw Press*” serta menjalankan penelitian yang berjudul “Pendegradasian Kandungan COD, TSS, Minyak dan Lemak pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Air Laut sebagai Koagulan Alami dan Biofiltrasi Anaerob Menggunakan Bioreaktor Anaerob” di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staff Departemen Kesekretariatan Himatemia FT Unila Periode 2018, Staff Departemen Edukasi Divisi SCET Himatemia FT Unila Periode 2019, Kepala Departemen Kemuslimahan Fossi-FT Unila Periode 2019, serta Sekretaris Komisi III DPM U KBM Unila Periode 2020/2021.



## ***Motto dan Persembahan***

“Yaa Allah pahami kan bagi hamba tentang agama dan suatu hal dengan mudah dan pahami kan detil sesuatu untuk mengungkap rahasianya.”

“Duhai Allah, sungguh aku meminta kepada-Mu kelembutan-Mu (kasih sayang-Mu dan rahmat-Mu) pada apa saja yang Engkau takdirkan untukku.”

-Imam Syafi'i-

“Tuhanmu tidak meninggalkan engkau (Muhammad) dan tidak (pula) membencimu, dan sungguh yang kemudian itu lebih baik daripada yang permulaan. Dan sungguh, kelak Tuhanmu pasti memberikan karunia-Nya kepadamu, sehingga engkau menjadi puas.”

**(QS. Adh-Dhuha. 3-5)**

“Dan Dia mendapatimu sebagai orang yang bingung, lalu dia memberikan petunjuk. Dan Dia mendapatimu sebagai seorang yang kekurangan, lalu Dia memberikan kecukupan.”

**(QS. Adh-Dhuha. 7-8)**

“Dan terhadap nikmat Tuhanmu, hendaklah engkau nyatakan (dengan bersyukur).”

**(QS. Adh-Dhuha. 11)**

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

**(QS. Al-Insyirah. 5-6)**

“Antara sungguh-sungguh dan sukses itu tidak bersebelahan, tapi ada jarak. Jarak ini bisa hanya 1 cm, tapi juga bisa ribuan km. Jarak ini bisa ditempuh dalam hitungan detik, tapi juga bisa puluhan tahun. Jarak antara sungguh-sungguh dan sukses hanya bisa diisi sabar. Sabar yang aktif, sabar yang gigih, sabar yang tidak menyerah, sabar yang penuh dari pangkal sampai ujung yang paling ujung. Sabar yang bisa membuat sesuatu yang tidak mungkin menjadi mungkin, bahkan seakan-akan itu sebuah keajaiban dan keberuntungan. Padahal keberuntungan adalah hasil kerja keras, do’a dan sabar yang berlebih-lebih. Bagaimanapun tingginya impian, dia tetap wajib dibela habis-habisan walau hidup sudah digelung nestapa akut. Hanya dengan sungguh-sungguhlah jalan sukses terbuka. Tapi hanya dengan sabarlah takdir itu terkuak menjadi nyata. dan Tuhan selalu memilihkan yang terbaik dan paling kita butuhkan.

Itulah hadiah Tuhan buat hati yang kukuh dan sabar.”

**-Ahmad Fuadi-**

“Tak usah kau risaukan, Ayah. Aku berkelana bukan untuk dunia semata. Jangan kau kusutkan keningmu, Ibu. Langkah kakiku adalah hangatnya peluk dan do’a mu. Mungkin ini adalah akhir dari pencarianku terhadap diriku sendiri. Mungkin pula inilah awal, dari semangatku yang menggumpal. Mungkin aku akan sampai lebih lambat. Mungkin aku akan terjebak dan tersesat. Namun, bukankah tersesat di jalan yang benar, lebih baik daripada melaju mulus di jalan yang salah?. Di tanah ini, aku terdampar dan mematrikan janji di dalam hati, kepada Sang Maha Pasti. Di tepian teluk ini, napasku beradu sendu dengan impian dan udara masa depan. Dari kebasnya rasa cinta dan benci, aku mengerti. Dari guratan firasat tak bertepi, aku mengerti. Perjalananku, adalah perjalanan jauh ke dalam hati, untuk hari esok yang lebih berarti.”

**-J.S. Khairen-**

“Yaa Allah berilah aku kekuatan untuk sesuatu yang bisa aku ubah. Dan berikan aku kesabaran untuk sesuatu yang tidak dapat aku ubah. Dan beri aku kebijaksanaan untuk membedakan antara keduanya.”

“... Janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya yang berputus asa dari rahmat Allah hanyalah orang-orang yang kafir.”

**(QS. Yusuf. 87)**

## *Sebuah Karya*

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:*

*Allah SWT, berkat Rahmat dan Ridho-Nya aku dapat menyelesaikan dan bertahan sejauh ini. Ampuni hamba ya Rabbi atas salah dan kekeliruan yang telah hamba perbuat selama ini.*

*Kedua Orang Tuaku, Mamak dan Bapak, Jazakumullah khayran katsiran atas do'a, kasih sayang, perjuangan dan pengorbanan selama ini. Semoga Helen bisa menjadi qurrota 'ayun dan mar' atus sholihah untuk Mamak dan Bapak di dunia dan surga-Nya (atas izin Allah) aamin.*

*My Beloved Sisters, Brothers and All of My Family, Jazakumullah khayran katsiran atas dukungan, do'a, kasih sayang dan bantuannya. Semoga Allah kumpulkan kita kelak di surga-Nya.*

*Sahabat-sahabatku, Jazakumullah khayran katsiran telah menjadi bagian hidupku. Semoga persahabatan kita kekal hingga surga-Nya.*

*Para Pengajar sebagai tanda hormatku, Jazakumullah khayran katsiran atas ilmu yang telah diberikan, semoga Allah berkahi dan menjadi amal jariyah.*

*Almamaterku tercinta, Civitas Akademik Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, Jazakumullah khayran katsiran atas ilmu yang telah diberikan selama ini baik itu berupa ilmu keteknikkimiaan maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat berguna dan bermanfaat. Semoga Allah berkahi dan menjadi amal jariyah.*

## SANWACANA

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, Segala Puji bagi Allah Subhanahu Wata'ala atas segala rahmat karunia dan nikmat-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik *Diocetyl Phthalate* dari *Phthalic Anhydride* dan *2-Ethyl Hexanol* dengan Kapasitas 23.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik. Segala kebaikan dari tugas akhir ini datangnya dari Allah sedangkan kekurangan dari penulis sendiri. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu ‘Alaihi Wasallam, suri teladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Nya yang lurus.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu wata'ala, yang telah memberikan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir/Skripsi ini dengan baik hingga akhir.
2. Mamak dan Bapak yang selalu memberikan do'a, motivasi, semangat dan dukungan baik moril dan materil atas izin Allah untuk kelancaran proses dalam menempuh pendidikan ini. *Jazakumullah khayran katsiran* Mamak dan Bapak. Semoga Allah karuniakan berlipat-lipat kebaikan untuk Mamak dan Bapak baik di dunia maupun di akhirat kelak. Semoga Allah kumpulkan kita kelak di Jannah-Nya *aamiin*.
3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan Dosen Penguji Utama Tugas Akhir (TA). Terima kasih Bu telah memberikan saran, arahan, motivasi dan pandangan kepada penulis serta



senantiasa mengingatkan dalam penyelesaian Tugas Akhir. Semoga menjadi amal jariyah Ibu. *Jazakumullah khayran katsiran* Ibu.

4. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Kerja Praktik (KP), yang telah memberikan bimbingan, motivasi, nasihat, arahan dan pandangan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik. Semoga menjadi amal jariyah Ibu. *Jazakumullah khayran katsiran* Ibu.
5. Ibu Simparmin Br. Ginting S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, motivasi, nasihat, arahan dan pandangan kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir dengan baik. Semoga menjadi amal jariyah Ibu. *Jazakumullah khayran katsiran* Ibu.
6. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, motivasi, nasihat, arahan dan pandangan kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir dengan baik. Semoga menjadi amal jariyah Bapak. *Jazakumullah khayran katsiran* Bapak.
7. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Pendamping Tugas Akhir (TA). Terima kasih bapak atas saran, arahan dan pandangan yang telah diberikan kepada penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir dengan baik. Semoga menjadi amal jariyah Bapak. *Jazakumullah khayran katsiran* Bapak.
8. Bunda Panca Nugrahini Febriningrum, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) dan Dosen Pembimbing Penelitian, yang telah banyak memberikan bimbingan, nasihat, motivasi, arahan dan pandangan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik. Semoga menjadi amal jariyah Bunda. *Jazakumullah khayran katsiran* Bunda.
9. Anggun Sukma Hidayati sebagai *partner* Tugas Akhir. Terima kasih atas kesediaannya berjuang bersama, bersabar, kebersamaian baik dalam tawa, tangis, dan bahagia (atas izin Allah) untuk menyelesaikan tahapan menuju Sarjana ini.
10. *My beloved sisters and brothers*, Mba Ayang, Abang, Abang Acap, Adek Awa, Mba Lili-Chan (a.k.a Mba Linda), Kakak, *Baby* Kinan, and *my cutie twinnie boy* Ndil, *Jazakumullah khayran katsiran* untuk semuanya. *Sorry ya,*

*im too childish, as always.* Semoga Allah kumpulkan kita kelak di Jannah-Nya *aamiin.*

11. Anak-anak Idola Cilik: Atika (umiya), Fenti, Beti, Rima, Ria, Annisa, Anggun, Esvi, Indah, Kiki, dan Disa. Terima kasih atas kesediannya menjadi tempat yang nyaman untuk bercerita. *Shohibul jannah ya insyaa Allah Aamiin.*
12. Sahabat, Teman, sekaligus keluarga Teknik Kimia Unila angkatan 2017. *You guys are worth it and worthy!. And the one who said to me "Hey, let's finish it and I'll go for u", thanks dude! for such a great motivation u gave it to me, it really means a lot. And also thanks to Ashari the best captain I've ever known!.* Terima kasih banyak atas kebaikannya dan kesediaannya menerima Helen menjadi bagian dari kalian.
13. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
14. Para guru dan pengajar baik formal maupun nonformal. *Jazakumullah khayran katsiran* atas ilmu yang telah diberikan. Semoga menjadi amal kebaikan dan amal jariyah buat Ibu dan Bapak.
15. Keluarga Fossi-FT, terutama Kak Lulu, Dian, Dwi, Mba Ade, Mba Endah, Kak Novia, Mba Arini, Mba Ishmah dan semuanya yang menginspirasi Helen untuk selalu berusaha menjadi lebih baik dari sebelumnya. Semoga Allah kumpulkan kita di surga-Nya *aamiin.*
16. Keluarga langit (TTQ IX, MPQ dan RPQ), terutama Umi Afif, Ustadz, Musyrifah yaitu Mba Khodijah, Mba Eka, Mba Khansa, Mba Nova, Syifa, Fia, Mba Mun dan semua sholihah keluarga langit, *jazakumullah khayran katsiran* atas ilmu, motivasi dan nasihat baik dalam konteks agama maupun dunia. Semoga kita menjadi sebenarnya keluarga langit, keluarganya Allah di surga-Nya kelak. *Afwan Jiddan* Umi dan Ustadz atas salah dan khilaf yang telah Helen perbuat.
17. Keluarga DPM U KBM Unila 2020 Parlemen Saibatin, terutama Mba Silvi (*partner* pertama di DPM yang perhatian dengan adiknya ini, *jazakillah khayran ya mba:'*), Diyah, Mba Serli, Ipo, Mba Mahar, Mba Anggi, Sapphire dan yang lainnya. *Jazakumullah khayran* atas doa dan motivasi yang diberikan. *Till jannah yaa aamiin.*

18. Yayasan Baitun Najah, program magang TPQ Ad-Du'a, TPQ Darussalam, Rumah Qur'an Nusanesia. *Jazakumullah khayran katsiran* atas kesediannya dan kesempatan yang telah diberikan kepada Helen untuk belajar dan mengajarkan ilmu atas izin Allah. *Barakallahu fiikum*.
19. *My dearest bestie* Uti, Mumu, Ellis, Fia, Ayu, Anggik dan Mba Sel. Terima kasih sudah membuat Helen merasakan indahnya punya yang namanya "Sahabat" dalam arti sesungguhnya. *Shohibul till jannah yaa aamiin*.
20. Rachma kitty, Atus, Dika, Rifdah, Lola, Adibah, Valen, Naja, Melly, Mba Ratu, Mba Rahma, Mba Nurfii, Mba Nurul. *Jazakumullah Khayran*, Helen suka dengerin kalian cerita!
21. *Dynamic Duo, my best cousins*. Mas Ogi dan Mas Oby. *Thankyou. Both of u such a great motivator I've ever had!*
22. Sungguh, kalaulah boleh menyebutkan satu-persatu orang baik dalam perjalanan hidup Helen hingga sampai di titik ini (atas izin Allah), Helen akan dengan senang hati menyebutkannya. Namun, hal itu tidak mungkin terlaksana. Sehingga tanpa mengurangi rasa hormat, Helen mengucapkan *jazakumullah khayran katsiron* untuk semua orang-orang baik dan pihak baik lainnya yang telah membantu, mendoakan dan kebersamai Helen. Semoga Allah pertemukan kita kembali, kalau tidak di dunia, semoga di Surga-Nya.

Semoga Allah Subhanahu Wata'ala membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. *Aamiin*.

Bandar Lampung, 21 Juni 2024

Penulis,

Helen Tri Milanda

NPM. 1715041012

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR TABEL</b>	
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Penentuan Kapasitas Produksi .....	2
1.3. Lokasi Pabrik .....	8
<b>II. TINJAUAN PROSES .....</b>	<b>10</b>
2.1. Jenis Katalis.....	10
2.2. Pemilihan Proses .....	10
2.3. Uraian Proses .....	21
<b>III. SPESIFIKASI BAHAN .....</b>	<b>24</b>
3.1. Sifat Fisis Bahan Baku dan Produk.....	24
<b>IV. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI .....</b>	<b>30</b>
4.1. Neraca Massa .....	30
4.2. Neraca Energi .....	41
<b>V. SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>48</b>
5.1. Spesifikasi Peralatan Proses .....	48
5.2. Spesifikasi Peralatan Unit Penyediaan dan Pengolahan Air .....	76
5.3. Spesifikasi Peralatan Pembangkit <i>Steam</i> .....	85
5.4. Spesifikasi Perlatan Penyedia Udara Instrumentasi .....	88
5.5. Spesifikasi Peralatan Pembangkit dan Pendistribusian Listrik ....	90
5.6. Spesifikasi Peralatan Unit Penyedia Pemanas ( <i>Hot Oil</i> ).....	101

<b>VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH .....</b>	<b>104</b>
6.1. Unit Pendukung Proses .....	104
6.2. Unit Pengolahan Limbah .....	120
6.3. Laboratorium .....	121
6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	124
<b>VII. TATA LETAK PABRIK .....</b>	<b>126</b>
7.1. Lokasi Pabrik .....	126
7.2. Tata Letak Pabrik .....	128
7.3. Estimasi Area Pabrik .....	130
<b>VIII. SISTEM OPERASI DAN MANAJEMEN PERUSAHAAN .....</b>	<b>135</b>
8.1. <i>Project Master Schedule</i> .....	135
8.2. Bentuk Perusahaan .....	137
8.3. Struktur Organisasi .....	138
8.4. Tugas dan Wewenang .....	142
8.5. Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....	151
8.6. Pembagian Jam Kerja Karyawan .....	153
8.7. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan .....	155
8.8. Kesejahteraan Karyawan .....	160
8.9. Bahaya pada Pabrik ( <i>Hazard</i> ) .....	161
<b>IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI .....</b>	<b>163</b>
9.1. Investasi .....	163
9.2. Evaluasi Ekonomi .....	168
9.3. Angsuran Pinjaman .....	170
9.4. <i>Discounted Cash Flow</i> .....	170
<b>X. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>172</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>173</b>



<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>174</b>
<b>LAMPIRAN A NERACA MASSA</b>	
<b>LAMPIRAN B NERACA ENERGI</b>	
<b>LAMPIRAN C SPESIFIKASI PERALATAN PROSES</b>	
<b>LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS</b>	
<b>LAMPIRAN E PERHITUNGAN INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI</b>	
<b>LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1. Data Impor <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	2
1.2. Data Ekspor <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	3
1.3. Konsumsi <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	4
1.4. Industri <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	6
1.5. Perkiraan Data Impor, Ekspor, Produksi dan Konsumsi <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	6
2.1. Perbandingan Katalis .....	11
2.2. Harga Komponen Bahan Baku dan Produk .....	12
2.3. Stoikiometri persamaan proses Esterifikasi <i>Diocetyl Phthalate</i> .....	12
2.4. Nilai $S_{298}$ , $\Delta H^{\circ f}$ dan $\Delta G^{\circ f}$ setiap komponen .....	16
2.5. Konstanta kapasitas panas setiap komponen .....	17
2.6. Nilai $C_{p423}$ dan $S_{423}$ setiap komponen .....	18
2.7. Konstanta kapasitas panas setiap komponen .....	19
2.8. Nilai $C_{p423}$ dan $S_{423}$ setiap komponen .....	19
2.9. Perbandingan Katalis Proses Esterifikasi <i>Diocetyl Phthalate</i> .....	20
4.1. Berat Molekul Komponen .....	30
4.2. Neraca Massa <i>Mix-Point</i> (MP-101) .....	31
4.3. Neraca Massa <i>Melter</i> (MT-101) .....	31
4.4. Neraca Massa <i>Mix-Point</i> (MP-102) .....	31
4.5. Neraca Massa Reaktor (RE-201) .....	32
4.6. Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-301) .....	32
4.7. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301) .....	33
4.8. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301) .....	33
4.9. Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-302) .....	33
4.10. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-302) .....	34

4.11.	Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-302) .....	34
4.12.	Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-303) .....	34
4.13.	Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-303) .....	35
4.14.	Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-303) .....	35
4.15.	Neraca Massa <i>Mix-Point</i> (MP-101) .....	36
4.16.	Neraca Massa <i>Melter</i> (MT-101) .....	36
4.17.	Neraca Massa <i>Mix-Point</i> (MP-102) .....	36
4.18.	Neraca Massa <i>Mix-Point</i> (MP-301) .....	37
4.19.	Neraca Massa <i>Reaktor</i> (RE-201) .....	37
4.20.	Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-301) .....	37
4.21.	Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301) .....	38
4.22.	Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301) .....	38
4.23.	Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-302) .....	39
4.24.	Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-302) .....	39
4.25.	Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-302) .....	39
4.26.	Neraca Massa <i>Distillation Column</i> (DC-303) .....	40
4.27.	Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-303) .....	40
4.28.	Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-303) .....	40
4.29.	Neraca Energi <i>Melter</i> (MT-101) .....	41
4.30.	Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-101) .....	41
4.31.	Neraca Energi <i>Reaktor</i> (RE-201) .....	41
4.32.	Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-201) .....	42
4.33.	Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (DC-301) .....	42
4.34.	Neraca Energi <i>Steam Ejector</i> (SE-301 A) .....	42
4.35.	Neraca Energi <i>Steam Ejector</i> (SE-301 B) .....	42
4.36.	Neraca Energi <i>Expansion Valve</i> (EV-301 A) .....	43
4.37.	Neraca Energi <i>Expansion Valve</i> (EV-301 B) .....	43
4.38.	Neraca Energi <i>Barometric Condensor</i> (BRC-301) .....	43
4.39.	Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-301) .....	43
4.40.	Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (DC-302) .....	44
4.41.	Neraca Energi <i>Expansion Valve</i> (EV-302 A) .....	44
4.42.	Neraca Energi <i>Expansion Valve</i> (EV-302 B) .....	44

4.43.	Neraca Energi <i>Steam Ejector</i> (SE-302 A) .....	45
4.44.	Neraca Energi <i>Steam Ejector</i> (SE-302 B) .....	45
4.45.	Neraca Energi <i>Barometric Condensor</i> (BRC-302) .....	45
4.46.	Neraca Energi <i>Distillation Column</i> (DC-303) .....	45
4.47.	Neraca Energi <i>Expansion Valve</i> (EV-303 A) .....	46
4.48.	Neraca Energi <i>Expansion Valve</i> (EV-303 B) .....	46
4.49.	Neraca Energi <i>Steam Ejector</i> (SE-303 A) .....	46
4.50.	Neraca Energi <i>Steam Ejector</i> (SE-303 B) .....	46
4.51.	Neraca Energi <i>Barometric Condensor</i> (BRC-303) .....	47
4.52.	Neraca Energi <i>Cooler</i> (CO-302) .....	47
4.53.	Neraca Energi <i>Heater</i> (HE-302) .....	47
5.1.	Spesifikasi <i>Storage Tank</i> 2-EH (ST-101) .....	48
5.2.	Spesifikasi <i>Storage Tank</i> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ST-102) .....	49
5.3.	Spesifikasi <i>Silo Storage</i> PA (SI-101) .....	49
5.4.	Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-101) .....	50
5.5.	Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101) .....	50
5.6.	Spesifikasi <i>Melter Tank</i> (MT-101) .....	51
5.7.	Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101) .....	52
5.8.	Spesifikasi <i>Reaktor</i> (RE-201) .....	52
5.9.	Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-301) .....	53
5.10.	Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-301) .....	54
5.11.	Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301) .....	54
5.12.	Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-301) .....	55
5.13.	Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-301 A) .....	56
5.14.	Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-301 B) .....	56
5.15.	Spesifikasi <i>Steam Ejector</i> (SE-301) .....	57
5.16.	Spesifikasi <i>Barometric Condensor</i> (BRC-301) .....	57
5.17.	Spesifikasi <i>Horizontal Hotwell Basin</i> (HWB-301) .....	58
5.18.	Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301) .....	58
5.19.	Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301) .....	59
5.20.	Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-302) .....	59
5.21.	Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-302) .....	60

5.22.	Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-302) .....	61
5.23.	Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-302 A) .....	61
5.24.	Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-302 B) .....	62
5.25.	Spesifikasi <i>Steam Ejector</i> (SE-302) .....	62
5.26.	Spesifikasi <i>Barometric Condensor</i> (BRC-302) .....	63
5.27.	Spesifikasi <i>Horizontal Hotwell Basin</i> (HWB-302) .....	63
5.28.	Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302) .....	64
5.29.	Spesifikasi <i>Distillation Column</i> (DC-303) .....	64
5.30.	Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-303) .....	65
5.31.	Spesifikasi <i>Accumulator</i> (ACC-303) .....	66
5.32.	Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-303 A) .....	66
5.33.	Spesifikasi <i>Expansion Valve</i> (EV-303 B) .....	67
5.34.	Spesifikasi <i>Steam Ejector</i> (SE-303) .....	67
5.35.	Spesifikasi <i>Barometric Condensor</i> (BRC-303) .....	68
5.36.	Spesifikasi <i>Horizontal Hotwell Basin</i> (HWB-303) .....	68
5.37.	Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-303) .....	69
5.38.	Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-302) .....	69
5.39.	Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-303) .....	70
5.40.	Spesifikasi <i>Storage Tank DOP</i> (ST-301) .....	71
5.41.	Spesifikasi Pompa (PP-101) .....	71
5.42.	Spesifikasi Pompa (PP-102) .....	72
5.43.	Spesifikasi Pompa (PP-103) .....	72
5.44.	Spesifikasi Pompa (PP-201) .....	73
5.45.	Spesifikasi Pompa (PP-301) .....	73
5.46.	Spesifikasi Pompa (PP-302) .....	74
5.47.	Spesifikasi Pompa (PP-303) .....	74
5.48.	Spesifikasi Pompa (PP-304) .....	75
5.49.	Spesifikasi Pompa (PP-305) .....	75
5.50.	Spesifikasi Pompa (PP-306) .....	76
5.51.	Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-601) .....	76
5.52.	Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-601) .....	77
5.53.	Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-601) .....	77



5.54.	Spesifikasi Gudang Utilitas (WH-601) .....	78
5.55.	Spesifikasi NaOH Dissolving Tank (DT-601) .....	78
5.56.	Spesifikasi Tangki Air Filter (TA-601) .....	79
5.57.	Spesifikasi Tangki Air Domestik (TA-602) .....	79
5.58.	Spesifikasi Tangki Air Hidran (TA-603) .....	80
5.59.	Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (SF-601) .....	80
5.60.	Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-601) .....	81
5.61.	Spesifikasi Tangki Asam sulfat (TP-601) .....	81
5.62.	Spesifikasi Tangki <i>Hot Basin</i> (HB-601) .....	82
5.63.	Spesifikasi Tangki Dispersan (TP-602) .....	82
5.64.	Spesifikasi Tangki Inhibitor (TP-603) .....	83
5.65.	Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-601) .....	83
5.66.	Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-602) .....	84
5.67.	Spesifikasi Tangki Air Demin (TA-604) .....	85
5.68.	Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-701) .....	85
5.69.	Spesifikasi Tangki Hidrazin (TP-701) .....	86
5.70.	Spesifikasi <i>Boiler</i> (B-701) .....	86
5.71.	Spesifikasi <i>Blower Air</i> (BA-701) .....	87
5.72.	Spesifikasi <i>Burner</i> (B-701) .....	87
5.73.	Spesifikasi <i>Blower Stream</i> (BS-701) .....	87
5.74.	Spesifikasi Air Dryer (AD-801) .....	88
5.75.	Spesifikasi Air Compressor (AC-801) .....	88
5.76.	Spesifikasi Cyclone (CYC-801) .....	88
5.77.	Spesifikasi <i>Blower Udara</i> (BU-801) .....	89
5.78.	Spesifikasi <i>Blower Udara</i> (BU-802) .....	89
5.79.	Spesifikasi <i>Blower Udara</i> (BU-803) .....	89
5.80.	Spesifikasi <i>Blower Udara</i> (BU-804) .....	89
5.81.	Spesifikasi Generator Listrik (GS-901) .....	90
5.82.	Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-901) .....	90
5.83.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-601) .....	91
5.84.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-602) .....	91
5.85.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-603) .....	92

5.86.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-604) .....	92
5.87.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-605) .....	93
5.88.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-606) .....	93
5.89.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-607) .....	94
5.90.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-608) .....	94
5.91.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-609) .....	95
5.92.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-610) .....	95
5.93.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-611) .....	96
5.94.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-612) .....	96
5.95.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-613) .....	97
5.96.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-614) .....	97
5.97.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-615) .....	98
5.98.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-616) .....	98
5.99.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-617) .....	99
5.100.	Spesifikasi Pompa Utilitas Air (PU-618) .....	99
5.101.	Spesifikasi Pompa Utilitas Steam (PU-701) .....	100
5.102.	Spesifikasi Pompa Utilitas Steam (PU-702) .....	100
5.103.	Spesifikasi Pompa Utilitas Steam (PU-703) .....	101
5.104.	Spesifikasi <i>Fired Heater</i> .....	101
5.105.	Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-601) .....	102
5.106.	Spesifikasi Pompa Utilitas Downtherm-A (PP-602) .....	103
6.1.	Kebutuhan air untuk umum ( <i>General Uses</i> ) .....	105
6.2.	Kebutuhan Air Pendingin .....	106
6.3.	Kebutuhan Air Umpan <i>Boiler</i> .....	109
6.4.	Kebutuhan Air Pabrik .....	111
6.5.	Spesifikasi <i>Fired Heater</i> .....	119
6.6.	Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian .....	124
6.7.	Pengendalian Variabel Utama Proses .....	125
7.1.	Perincian Luas Area pabrik <i>Dioctyl Phthalate</i> .....	131
8.1.	<i>Project Master Schedule of Dioctyl Phthalate</i> .....	136
8.2.	Daftar Gaji Karyawan .....	152
8.3.	Jadwal Kerja Masing-masing Regu .....	154

8.4.	Perincian Tingkat Pendidikan .....	155
8.5.	Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat .....	157
8.6.	Jumlah Karyawan Berdasarkan Jenis Jabatan .....	158
9.1.	<i>Fixed Capital Investment</i> .....	163
9.2.	<i>Manufacturing Cost</i> .....	165
9.3.	<i>General Expenses</i> .....	165
9.4.	Biaya Administratif .....	166
9.5.	<i>Minimum Acceptable Percent Return On Investment (ROI)</i> .....	168
9.6.	<i>Acceptable Pay Out Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik .....	169
9.7.	Hasil Uji Kelayakan Ekonomi .....	171

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Grafik Impor <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	3
1.2. Grafik Ekspor <i>Diocetyl Phthalate</i> di Indonesia .....	4
6.1. <i>Cooling Tower</i> .....	108
6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i> .....	109
6.3. <i>Deaerator</i> .....	111
6.4. Diagram Alir Pengolahan Air .....	112
7.1. Peta Kabupaten Gresik .....	132
7.2. Area Kawasan Industri JIPE Gresik .....	132
7.3. Tata Letak Pabrik .....	133
7.4. Tata Letak Unit Proses .....	134
8.1. Struktur Organisasi pada Pabrik <i>Diocetyl Phthalate</i> .....	141
9.1. Grafik Analisa Ekonomi .....	170
9.2. Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i> terhadap Umur Pabrik .....	109

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang mengalami perkembangan cukup pesat yang terus berusaha meningkatkan kesejahteraan hidup masyarakatnya dengan cara melakukan pembangunan berkelanjutan di segala aspek seperti ekonomi, sosial, dan lingkungan. Pengaplikasian usaha memperkuat aspek ekonomi nasional dan jangka panjang yaitu melalui pengembangan sektor industri kimia di Indonesia. Adanya usaha dalam mengembangkan sektor industri kimia ini diharapkan dapat mempercepat laju pertumbuhan ekonomi, menekan impor bahan kimia, menciptakan lapangan kerja yang luas, dan menghemat devisa negara.

Upaya untuk peningkatan sektor industri yaitu dengan mendirikan pabrik-pabrik kimia dalam negeri sehingga dapat memenuhi kebutuhan bahan-bahan industri dan diharapkan produk industri yang diperoleh mampu menembus pasar ekspor internasional.

*Dioctyl Phthalate* (DOP), juga dikenal sebagai *di-2-ethyl hexyl phthalate* dengan formula kimia  $C_{24}H_{38}O_4$ , merupakan senyawa yang sangat in-demand dalam industri saat ini. Sebagai bahan plastisizer yang vital, DOP hadir dalam bentuk cair pada suhu kamar dengan sifat yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam etanol, dietil ester, aseton, dan hidrokarbon aromatik. Warna kekuningan yang khas dan konsistensi agak kental menandai senyawa ini, sementara titik didihnya tercatat pada suhu tinggi sebesar  $384^{\circ}C$ .

*Dioctyl Phthalate* (DOP) berperan krusial dalam membentuk kekenyalan, keliatan, dan ketahanan plastik untuk memfasilitasi pembentukan yang mudah dan ketahanan yang optimal. Penggunaan *Dioctyl Phthalate* meluas

dalam berbagai sektor industri, terutama sebagai plasticizer dalam produksi bahan plastik, terutama PVC, sol sepatu, kulit sintetis, kabel listrik, kabel telepon, dan aplikasi lainnya. Tak hanya itu, DOP digunakan dalam beragam resin, elastomer, cairan dielektrik, serta sebagai komponen dalam kemasan makanan dan mainan (Kirk *et al.*, 1949). Dengan peranannya yang sangat penting ini, kebutuhan akan *Diocetyl Phthalate* diprediksi akan terus meningkat dalam ranah industri.

Pendirian pabrik *Diocetyl Phthalate* dianggap sangat menguntungkan, terutama karena harga jualnya dapat melampaui biaya bahan baku yang dikeluarkan. Permintaan impor *Diocetyl Phthalate* yang terus meningkat setiap tahun di dalam negeri telah membuat Indonesia meraih peringkat ketiga sebagai negara pengguna plastik terbesar di dunia (Plastic Europe, 2016). Selain itu, limbah yang dihasilkan dari produksi *Diocetyl Phthalate*, seperti air, sejumlah kecil *monoocetyl phthalate*, dan *slurry*, tidak memerlukan penanganan yang rumit dalam proses pengolahan limbahnya.

## 1.2. Penentuan Kapasitas Produksi

Kapasitas pabrik *Diocetyl Phthalate* ditentukan berdasarkan sejumlah faktor kunci, termasuk:

1. Permintaan *Diocetyl Phthalate* di pasar domestik.
2. Ketersediaan bahan baku yang memadai.
3. Kebutuhan kapasitas produksi minimum.
4. Kapasitas produksi yang direncanakan.

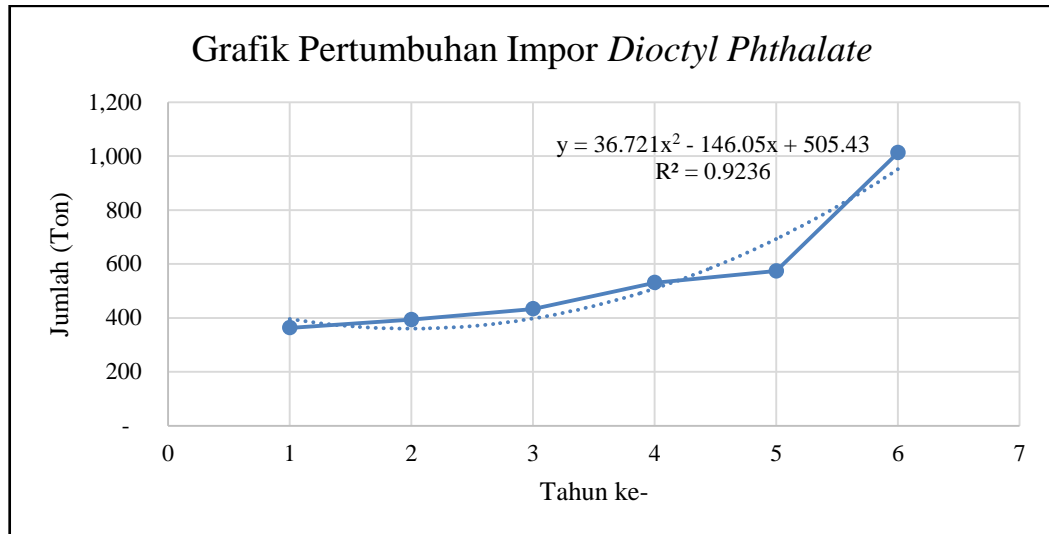
### 1.2.1. Kebutuhan *Diocetyl Phthalate*

#### a. Data Impor *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

**Tabel 1.1.** Data impor *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2017	363
2018	393,37
2019	433
2020	531
2021	574
2022	1.013

(Sumber: BPS, 2017-2022)



**Gambar 1.1.** Grafik Pertumbuhan Impor *Diocetyl Phthalate*

Dari persamaan kuadrat pada grafik di atas, diperoleh:

$$Y = 36,721x^2 - 146,05x + 505,43$$

Pada tahun 2028 pembuatan pabrik *Diocetyl Phthalate* yaitu

$$\begin{aligned} \text{Perkiraan kebutuhan DOP} &= 36,721x^2 - 146,05x + 505,43 \\ &= 36,721(12)^2 - 146,05(12) + 505,43 \\ &= 4.040,65 \text{ ton.} \end{aligned}$$

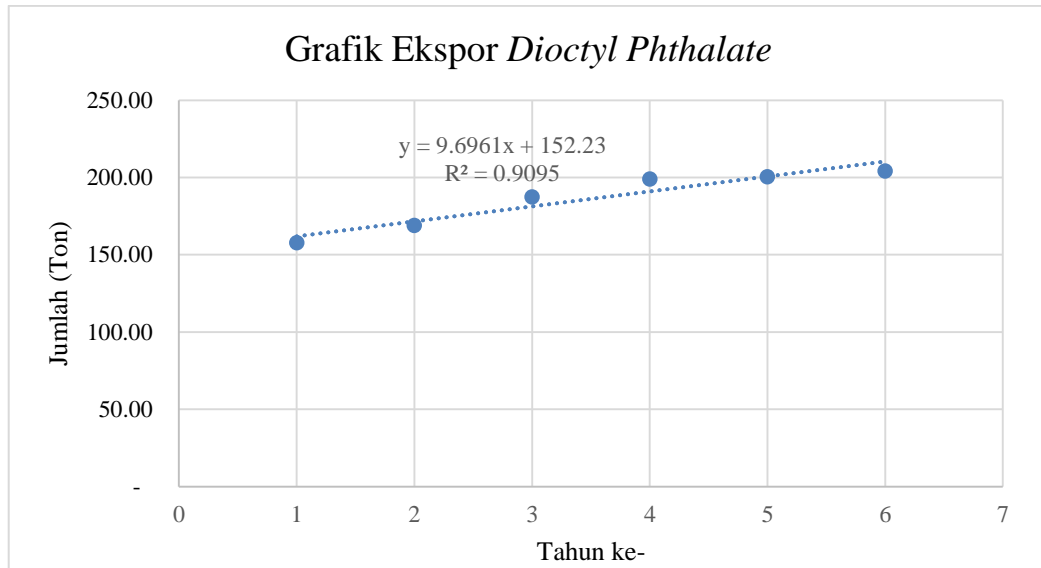
Dengan data historis *Diocetyl Phthalate* setiap tahun, prediksi kebutuhan untuk masa depan dapat disusun. Proyeksi impor *Diocetyl Phthalate* untuk tahun 2028 adalah sebanyak 4.040,65 Ton.

#### b. Data Ekspor *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

**Tabel 1.2.** Data Ekspor *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2017	157,60
2018	168,75
2019	187,20
2020	198,93
2021	200,40
2022	204,14

(Sumber: BPS, 2017-2022)



**Gambar 1.2.** Grafik Ekspor *Diocetyl Phthalate*

Dengan data historis *Diocetyl Phthalate* setiap tahun, prediksi kebutuhan untuk masa depan dapat disusun. Proyeksi impor *Diocetyl Phthalate* untuk tahun 2028 adalah sebanyak 268,58 Ton.

### c. Data Konsumsi *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

Adapun data konsumsi kebutuhan *Diocetyl Phthalate* di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.3. berikut.

**Tabel 1.3.** Konsumsi *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

<b>PVC (<i>Polyvinyl Chlorida</i>)</b>			
<b>Nama Pabrik</b>	<b>Tempat</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Satuan</b>
PT Eastern (Mitsubishi) Polymer	Jakarta	36.000	Ton
PT Standard Toyo Polymer	Serang	176.000	Ton
PT Asahimas Subentra Chemical	Cilegon	320.000	Ton
PT Satomo Indovyl Polymer	Merak	70.000	Ton
<b>Total</b>		<b>602.000</b>	<b>Ton</b>
<b>Total Persen Penggunaan DOP</b>		<b>72.240</b>	<b>Ton</b>
<b>PE (<i>Polyethylene</i>)</b>			
<b>Nama Pabrik</b>	<b>Tempat</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Satuan</b>
PT Chandra Asri Petrochemical	Anyer, Banten	280.000	Ton
Pertamina UP III	Plaju, Sumatera Selatan	40.000	Ton
PT Polytama Propindo	Balongan, Jabar	180.000	Ton
<b>Total</b>		<b>500.000</b>	<b>Ton</b>



**Tabel 1.3.** Lanjutan

<b>Total Persen Penggunaan DOP</b>			
		<b>54.500</b>	<b>Ton</b>
<b>SEPATU</b>			
<b>Nama Pabrik</b>	<b>Tempat</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Satuan</b>
-	Indonesia	806.000.000	Pasang
		1.612.000.000	Pcs
		564.200.000	Kg
<b>Total</b>		<b>564.200</b>	<b>Ton</b>
<b>Total Persen Penggunaan DOP</b>		<b>47.054,28</b>	<b>Ton</b>
<b>MAINAN</b>			
<b>Nama Pabrik</b>	<b>Tempat</b>	<b>Kapasitas</b>	<b>Satuan</b>
-	Indonesia	120.000.000	Pcs
		60.000.000	Kg
<b>Total</b>		<b>60.000</b>	<b>Ton</b>
<b>Total Persen Penggunaan DOP</b>		<b>10.866</b>	<b>Ton</b>
<b>Total Keseluruhan Penggunaan DOP</b>		<b>184.660,28</b>	<b>Ton</b>

Maka, dari data tersebut dapat terlihat bahwa total konsumsi *Diocetyl Phthalate* di Indonesia saat ini adalah 184.660,28 ton.

### 1.2.2. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang diperlukan untuk produksi *Diocetyl Phthalate* melibatkan *Phthalic Anhydride* yang diproduksi oleh PT Petrowidodo di Gresik, Jawa Timur, dengan kapasitas total produksi 70.000 ton per tahun. *2-Ethyl Hexanol* juga tersedia dari PT Petro Oxo Nusantara, yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur, dengan kapasitas total produksi 135.000 ton per tahun. Selain itu, katalis asam sulfat diperoleh dari PT Petrokimia Gresik, Jawa Timur, dengan kapasitas total produksi mencapai 1.170.000 ton per tahun. Keperluan bahan baku dalam proses produksi menuntut variasi pemasok bahan baku. Sebagai contoh, *Phthalic Anhydride* bisa diperoleh melalui PT Eterindo Wahanatama Tbk, *2-Ethyl Hexanol* dari PT Tuban Petrochemical Industries, dan katalis asam sulfat dari PT Perdana Mulia Jaya.

Dalam industri, ketersediaan bahan baku menjadi faktor krusial dalam kesinambungan proses produksi. PT Petrowidodo di Gresik, Jawa Timur, memainkan peran penting dalam menyediakan *Phthalic*

*Anhydride* yang vital untuk produksi *Diocetyl Phthalate*. PT Petro Oxo Nusantara, juga berbasis di Gresik, Jawa Timur, memiliki kapasitas produksi besar untuk *2-Ethyl Hexanol*, komponen penting dalam pembuatan *Diocetyl Phthalate*. Sementara itu, PT Petrokimia Gresik, Jawa Timur, turut berperan dalam menyediakan katalis asam sulfat yang esensial dalam proses produksi.

### 1.2.3. Kapasitas Minimum Produksi

Salah satu cara untuk mengetahui kapasitas rancangan minimum pabrik *Diocetyl Phthalate* adalah dengan merujuk pada data kapasitas produksi *Diocetyl Phthalate* pada pabrik yang telah beroperasi di Indonesia. Berikut adalah kapasitas pabrik yang telah berdiri di Indonesia.

**Tabel 1.4.** Industri *Diocetyl Phthalate* di Indonesia

No	Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	PT Wavin Duta Jaya	43.200
2	PT Rusli Vinilon Sakti	38.000
3	PT Indonesia Polymer Compound	48.000
4	PT Oneject Indonesia	49.000
5	PT Universal Gloves Indonesia	35.000
<b>Total</b>		<b>213.200</b>

Maka, didapatkan bahwa total produksi *Diocetyl Phthalate* di Indonesia ialah 213.200 ton/tahun.

Sehingga, kapasitas produksi dapat ditentukan berdasarkan data-data impor, ekspor, konsumsi akan bahan tersebut dan pabrik yang sudah beroperasi di Indonesia.

**Tabel 1.5.** Perkiraan Data Impor, Ekspor, Produksi dan Konsumsi *Diocetyl Phthalate* (DOP) di Indonesia Tahun 2028

No	Keterangan	Jumlah DOP (Ton)
1.	Impor	4.041
2.	Ekspor	269
3.	Produksi di Indonesia	213.200
4.	Konsumsi di Indonesia	240.026

Dengan informasi yang tersedia, kapasitas produksi dapat dihitung dan ditetapkan. Persamaan untuk menentukan kapasitas produksi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$KP = DI + DK - DP - DE$$

KP : Kapasitas Produksi pada tahun x

DI : Data Impor pada tahun x

DK : Data Konsumsi pada tahun x

DP : Data Produksi yang telah ada pada tahun x

DE : Data Ekspor pada tahun x

$$\begin{aligned} KP &= DI + DK - DP - DE \\ &= 4.041 + 240.026 - 213.200 - 269 \\ &= 30.598 \text{ ton} \end{aligned}$$

Berdasarkan peraturan perundang-undangan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1999 mengenai praktik monopoli dan persaingan usaha tidak sehat, dijelaskan bahwa pemegang usaha tidak diperkenankan menguasai lebih dari 75% pangsa pasar. Oleh karena itu, untuk menetapkan kapasitas produksi, ditetapkan pada tingkat 75%, yang setara dengan 22.948,23 ton/tahun. Sebagai hasilnya, kapasitas pabrik yang direncanakan adalah 23.000 ton/tahun, jumlah ini akan digunakan untuk memenuhi permintaan *Diocetyl Phthalate* di pasar domestik dan untuk ekspor ke pasar internasional.

#### 1.2.4. Kapasitas Rancangan Produksi

Setelah mempertimbangkan sejumlah faktor, termasuk proyeksi impor minimum, kapasitas produksi minimal yang masih ekonomis, ketersediaan bahan baku, kebutuhan produksi dalam negeri, dan target ekspor, kapasitas produksi *Diocetyl Phthalate* disetujui sebesar 23.000 ton per tahun. Penetapan kapasitas ini diputuskan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri yang diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pembangunan lintas sektor yang terus berlangsung.
- b. Dapat mendorong tumbuhnya industri dalam negeri yang menggunakan Dioctyl Phthalate sebagai bahan baku utama untuk memenuhi kebutuhan produksinya.

### 1.3. Lokasi Pabrik

Letak Keputusan untuk mendirikan pabrik *Dioctyl Phthalate* di Gresik, Jawa Timur, didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan strategis berikut:

1. **Karakteristik Lokasi:** Gresik terletak secara strategis di Jawa Timur, sebagian besar wilayahnya dataran rendah pesisir yang jarang terkena bencana alam seperti banjir atau letusan gunung.
2. **Daerah Pemasaran:** Gresik memiliki sejumlah industri plastik yang signifikan, yang menjadi target utama pemasaran *Dioctyl Phthalate*. Lokasi dekat dengan konsumen seperti PT. TPC Indo Plastic and Chemical (8,7 km), PT. Indopipe (11,4 km), dan PT. Jintai Indonesia (52,2 km) mendukung distribusi produk. Selain itu, aksesibilitas ke pulau lain di Indonesia melalui jalan tol dan pelabuhan JIPE Gresik memudahkan distribusi.
3. **Bahan Baku dan Pembantu:** Ketersediaan bahan baku utama seperti *Phthalic Anhydride* dan *2-Ethyl Hexanol* dari PT Petrowidada (10 km) dan PT Petro Oxo Nusantara (11 km) di Gresik, serta katalis asam sulfat dari PT Petrokimia Gresik (13 km), menjadi pertimbangan utama.
4. **Utilitas:** Ketersediaan utilitas seperti air, steam, hot oil, bahan bakar, dan listrik dari PLN dan generator, serta pemenuhan kebutuhan listrik dari Pertamina atau perusahaan sejenis, serta sumber air dari sungai di sekitar pabrik atau pabrik pengolahan air lokal.
5. **Tenaga Kerja:** Tenaga kerja profesional dari lulusan universitas di Pulau Jawa dan tenaga kerja pelaksana dari masyarakat sekitar akan memenuhi kebutuhan tenaga kerja.

6. **Kebijakan Pemerintah:** Gresik merupakan kawasan industri yang didukung oleh kebijakan pemerintah pusat dan lokal, menjadikannya tempat yang sesuai untuk pengembangan industri.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, Gresik, Jawa Timur, terpilih sebagai lokasi ideal untuk mendirikan pabrik *Diocetyl Phthalate*, khususnya di kawasan industri *Java Integrated Industrial and Port Estate (JIPE)* Gresik.

## **BAB II**

### **PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES**

Operasi produksi dalam industri kimia melibatkan berbagai sistem proses yang terintegrasi, yang dikenal sebagai teknologi proses. Secara umum, sistem proses utama dalam pabrik kimia meliputi sistem reaksi dan sistem pemisahan dan pemurnian. Proses transformasi bahan mentah menjadi produk terjadi dalam kerangka sistem reaksi, di mana reaktor berperan sebagai sistem pemrosesan untuk sistem reaksi. Di sisi lain, sistem pemisahan dan pemurnian diperlukan untuk memastikan hasil dari proses reaksi sesuai dengan standar pasar agar dapat dipasarkan.

#### **2.1. Jenis-Jenis Katalis**

Proses pembuatan *Diocetyl Phthalate* melibatkan satu metode utama, yaitu esterifikasi, yang dapat menggunakan dua jenis katalis berbeda, yaitu asam sulfat atau *titanates*.

##### **1. Esterifikasi dengan Katalis Asam Sulfat:**

Dalam proses ini, *phthalic anhydride* dan *2-ethyl hexanol* bereaksi dengan bantuan asam sulfat sebagai katalis pada suhu reaktor sekitar 150°C. Tingkat konversi yang dicapai mencapai 98%. (US. Patent 2,759,967)

##### **2. Esterifikasi dengan Katalis *Titanates*:**

Proses ini melibatkan reaksi antara *phthalic anhydride* dan *2-ethyl hexanol* dengan *titanates* sebagai katalis pada rentang suhu reaktor 180-225°C. Tingkat konversi sebesar 97%. Katalis ini tidak tersedia di Indonesia dan perlu diimpor dari India. (US. Patent 9,481,628)

#### **2.2. Pemilihan Proses**

Perbedaan katalis asam sulfat dan katalis *titanates* dalam proses esterifikasi *diocetyl phthalate* ditampilkan pada Tabel 2.1. berikut:

**Tabel 2.1.** Perbandingan katalis asam sulfat dengan sodium bisulfat pada proses esterifikasi pembuatan *dioctyl phthalate*.

No	Parameter	Asam Sulfat	Titanates
1	Suhu	150°C	180-225°C
2	Konversi	98%	97%
3	Harga katalis	Rp4.500/l	Rp70.970,25/l
4	Perolehan katalis	Dalam Negeri	Luar Negeri

Kedua katalis yang digunakan dalam produksi *Dioctyl Phthalate* memiliki reaksi yang serupa, sehingga bahan baku yang dibutuhkan sama. Keputusan dalam pemilihan proses didasarkan pada pertimbangan berikut:

1. Suhu operasi katalis asam sulfat lebih rendah daripada katalis *titanates*.
2. Harga katalis asam sulfat lebih ekonomis dibandingkan dengan katalis *titanates*.
3. Katalis asam sulfat lebih mudah diperoleh karena ketersediaannya di dalam negeri.

Berdasarkan pertimbangan ini, diputuskan untuk menggunakan katalis asam sulfat dalam produksi *Dioctyl Phthalate*.

#### A. Tinjauan Proses secara Umum

Tekanan	: 1 atm
Temperatur	: 150°C
Konversi	: 98%
<i>Phthalic anhydrid</i> : 2-EH	: 1 : 2,5
Reaktor	: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk
Fase reaksi	: Cair

#### B. Mekanisme Reaksi

Proses reaksi dalam fasa cair berlangsung melalui tahapan berikut:

1. Awalnya, satu molekul *phthalic anhydride* bereaksi dengan satu molekul *2-ethyl hexanol* untuk membentuk satu molekul *monoethyl phthalate*.
2. Selanjutnya, satu molekul *monoethyl phthalate* bereaksi kembali dengan satu molekul *2-ethyl hexanol*, melepaskan satu molekul air, dan membentuk molekul *dioctyl phthalate*.

### C. Tinjauan Ekonomi

**Tabel 2.2.** Harga Komponen Bahan Baku dan Produk

Bahan Kimia	Konsentrasi (%)	Harga (US\$)	Harga (Rp)
<i>Phthalic Anhydride</i> (BM: 148,1 kg/kmol)	99,98	0,70/kg	11.132,891/kg
<i>2-Ethyl Hexanol</i> (BM: 130,23 kg/kmol)	99,5	1,39/kg	22.106,740/kg
<i>Diethyl Phthalate</i> (BM: 390,563 kg/kmol)	99,5	5/kg	79.520,650/kg

(Alibaba.com, 2023)

Pembentukan reaksi *diethyl phthalate* adalah sebagai berikut:



Dengan konversi : 98%

Basis perhitungan : 1 jam

Mengacu pada persamaan stoikiometri dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

**Tabel 2.3.** Stoikiometri persamaan proses Esterifikasi *Diethyl Phthalate*

	$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$	$2\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	$\text{H}_2\text{O}$
Mula-mula	$n_{A0}$	$n_{B0}$		
Bereaksi	$-n_{A0} \cdot X$	$-n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$
Akhir	$n_{A0} \cdot (1 - X)$	$n_{B0} - n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$	$n_{A0} \cdot X$

- Mol *Diethyl Phthalate* ( $n_C$ )

$$\begin{aligned} n_C &= 23.000 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\ &= 2.904,04 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Maka, mol DOP yang terbentuk} = \frac{\text{massa}}{\text{BM}} = \frac{2.904,04 \text{ kg/jam}}{390,563 \text{ kg/kmol}} = 7,43 \text{ kmol/jam}$$

- Mol Awal *Phthalic Anhydride* ( $n_{A0}$ )

$$n_C = n_{A0} \cdot X$$

$$n_{A0} = \frac{n_C}{X} = \frac{7,43 \text{ kmol/jam}}{0,98} = 7,58 \text{ kmol/jam}$$



- Mol 2-Ethyl Hexanol ( $n_B$ )

Diketahui:

Rasio *Phthalic Anhydride* dan 2-Ethyl Hexanol = 1 : 2,5 (Li *et al.*, 2007)

$$\begin{aligned} \text{Massa } Phthalic \text{ Anhydride} &= \text{mol PA} \times \text{BM PA} \\ &= 7,58 \text{ kmol/jam} \times 148,1 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.123,81 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Mol 2-Ethyl Hexanol ( $n_B$ ) = Mol *Phthalic Anhydride* x 2,5  
= 7,58 x 2,5  
= 18,96 kmol/jam

- Massa 2-Ethyl Hexanol = Massa *Phthalic Anhydride* x BM 2-EH  
= 18,96 kmol/jam x 130,228  
= 2.470,22 kg/jam

Tahapan Reaksi Pembentukan  $C_{24}H_{38}O_4$

	$C_8H_4O_3$	$2C_{18}H_{18}O$	$C_{24}H_{38}O_4$	$H_2O$
Mol Awal	7,58	18,96	-	-
Mol Reaksi	7,43	14,87	7,43	7,43
Mol Akhir	0,15	4,09	7,43	7,43

- Kebutuhan Biaya Tahunan

a. Bahan Baku

*Phthalic Anhydride*

$$\begin{aligned} \text{Massa } Phthalic \text{ Anhydride} &= \text{mol PA} \times \text{BM PA} \\ &= 7,58 \text{ kmol/jam} \times 148,1 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.123,81 \text{ kg/jam} \\ &= \frac{1.123,81 \text{ kg/jam}}{\text{Konsentrasi PA}} \\ &= \frac{1.123,81 \text{ kg/jam}}{99,98\%} \\ &= 1.124,03 \text{ kg/jam} \\ &= 1.124,03 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \frac{330 \text{ hari}}{1 \text{ tahun}} \\ &= 8.902.381,66 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost Phthalic Anhydride} &= 8.902.381,66 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}11.132,891 \\ &= \text{Rp}99.109.244.680,- \end{aligned}$$

### 2-Ethyl Hexanol

$$\begin{aligned} \text{Massa 2-Ethyl Hexanol} &= \text{mol 2-EH} \times \text{BM 2-EH} \\ &= 18,96 \text{ kmol/jam} \times 130,228 \\ &= 2.470,22 \text{ kg/jam} \\ &= \frac{2.470,22 \text{ kg/jam}}{\text{konsentrasi 2-EH}} \\ &= \frac{2.470,22 \text{ kg/jam}}{99,5\%} \\ &= 2.482,63 \text{ kg/jam} \\ &= 2.482,63 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \frac{330 \text{ hari}}{1 \text{ tahun}} \\ &= 19.662.467,15 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost 2-Ethyl Hexanol} &= 19.662.467,15 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}22.106,740 \\ &= \text{Rp}434.673.062.888,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya total bahan baku} &= \text{Rp}99.109.244.680,- + \text{Rp}434.673.062.888,- \\ &= \text{Rp}533.782.307.569,- \end{aligned}$$

## b. Produk

### Dioctyl Phthalate

$$\begin{aligned} \text{Massa Dioctyl Phthalate} &= \text{mol DOP} \times \text{BM DOP} \\ &= 7,43 \text{ kmol/jam} \times 390,563 \text{ kg/kmol} \\ &= 2.904,04 \text{ kg/jam} \\ &= 2.904,04 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \frac{330 \text{ hari}}{1 \text{ tahun}} \\ &= 23.000.000 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cost Dioctyl Phthalate} &= 23.000.000 \text{ kg/tahun} \times \text{Rp}79.520,650 \\ &= \text{Rp}1.828.974.950.000,- \end{aligned}$$

Hal ini dapat diperoleh potensi ekonomi pada proses ini adalah

$$\begin{aligned} \text{Potensi ekonomi} &= \text{Biaya total produk} - \text{Biaya total bahan} \\ &= \text{Rp}1.828.974.950.000,- - \text{Rp}533.782.307.569,- \\ &= \text{Rp}1.295.192.642.430,- \end{aligned}$$

#### D. Tinjauan Termodinamika

Dalam mengevaluasi keberhasilan suatu proses kimia, perhatian terhadap perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dan perubahan energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) sangatlah penting. Informasi yang diperoleh dari kedua parameter ini memberikan wawasan yang mendalam tentang jumlah panas yang diperlukan untuk menjalankan proses kimia secara optimal, serta apakah proses tersebut memerlukan atau malah menghasilkan panas dalam konteks desain reaktor (Smith et al., 2001).

Dalam konteks sistem tertutup yang beroperasi pada tekanan konstan dan reversible secara mekanis, dengan asumsi aliran yang stabil dan pengabaian terhadap energi potensial serta kinetik, panas reaksi dapat dianggap setara dengan perubahan entalpi sistem ( $\Delta H$ ). Penilaian karakter reaksi kimia dapat dilakukan berdasarkan nilai  $\Delta H$ , dimana nilai negatif menunjukkan sifat eksotermis yang berpotensi menurunkan konstanta kesetimbangan dan meningkatkan suhu, sedangkan nilai positif mengindikasikan reaksi endotermis (Smith et al., 2001).

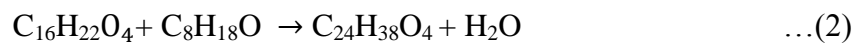
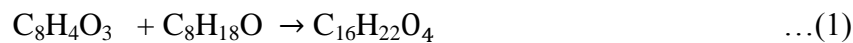
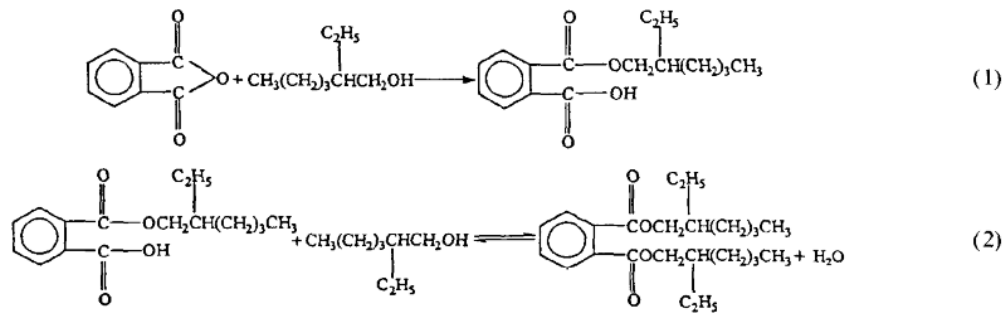
Perubahan entalpi standar reaksi, yang terjadi pada kondisi temperatur standar, juga memberikan petunjuk penting tentang sifat reaksi kimia.  $\Delta H$  negatif menggambarkan reaksi eksotermis, yang melepaskan panas, sementara  $\Delta H$  positif menunjukkan reaksi endotermis yang memerlukan penyerapan panas (Coulson et al., 2002).

Lebih lanjut, suatu reaksi kimia hanya akan berlangsung pada suhu dan tekanan tertentu ketika nilai energi bebas Gibbs mencapai minimum. Perubahan energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) menjadi parameter kunci yang menentukan kelangsungan proses, di mana nilai negatif menandakan reaksi berjalan secara spontan, nilai nol menunjukkan kesetimbangan, dan nilai positif menunjukkan proses yang tidak dapat berlangsung (Lee, 2000).

Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terhadap nilai  $\Delta G$  sangatlah penting dalam pengambilan keputusan terkait pemilihan proses

kimia yang paling efisien secara termodinamika. Informasi yang diperoleh dari perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dan energi bebas Gibbs ( $\Delta G$ ) merupakan kunci utama dalam menentukan efisiensi, keberhasilan, dan kelangsungan suatu reaksi kimia.

Pembentukan reaksi *dioctyl phthalate* adalah sebagai berikut:

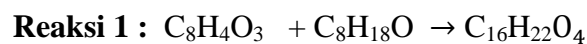


Nilai ( $\Delta H^\circ_f$ ) masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.4. berikut.

**Tabel 2.4.** Nilai  $S_{298}$ ,  $\Delta H^\circ_f$  dan  $\Delta G^\circ_f$  Masing-masing Komponen

Komponen	$S_{298}$ (J/mol.K)	$\Delta H^\circ_f$ (kJ/mol)	$\Delta G^\circ_f$ (kJ/mol)
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$	399,53	-383,13	-329
$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	496,60	-365,3	-118,88
$\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$	900	-750,9	-475,4
$\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$	1.149	-966,72	-406,3
$\text{H}_2\text{O}$	186,94	-241,8	-228,6

(Sumber: Yaws, 1999)



$$\Delta H^\circ = \sum_i v_i \cdot \Delta H^\circ_f i \quad (\text{Smith } et al., 2001)$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= (\Delta H^\circ_f \text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4) - (\Delta H^\circ_f \text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3 + \Delta H^\circ_f \text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}) \\ &= (-750,9) - (-383,13 + (-365,3)) \\ &= -2,47 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= (\sum v_i \Delta G^\circ_f (\text{produk}) - \sum v_i \Delta G^\circ_f (\text{reaktan})) \quad (\text{Atkins \& Paula, 2006}) \\ &= (\Delta G^\circ_f \text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4) - (\Delta G^\circ_f \text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3 + \Delta G^\circ_f \text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}) \\ &= (-475,40) - (-329,00 + (-118,88)) \end{aligned}$$

$$= -27,52 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi ini berjalan pada kondisi eksotermis ( $\Delta H^\circ = -2,47 \text{ kJ/mol}$ ) dan reaksi spontan ( $\Delta G^\circ = -27,52 \text{ kJ/mol}$ ).

Pada kondisi termodinamika saat suhu reaksi  $150^\circ\text{C}$ , maka digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\Delta H = \Delta H^\circ + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad (\text{Smith } et \text{ al.}, 2001)$$

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = \Delta A (T-T_o) + \frac{\Delta B}{2} (T^2-T_o^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3-T_o^3) + \frac{\Delta D}{4} (T^4-T_o^4)$$

**Tabel 2.5.** Konstanta Kapasitas Panas setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$	54,192	1,0546	-0,002109	$1,7388 \times 10^{-6}$
$\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$	149,56	0,97903	-0,0026177	$3,1042 \times 10^{-6}$
$\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$	230,175	-1,5996	-0,0034574	$3,4963 \times 10^{-6}$
Total	433,927	0,43403	-0,00818	$8,3393 \times 10^{-6}$

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (433,927)(423-298) + \left(\frac{0,43403}{2}\right)(423^2-298^2) + \left(\frac{-0,00818}{3}\right)(423^3$$

$$-298^3) + \left(\frac{8,3393 \times 10^{-6}}{4}\right)(423^4-298^4)$$

$$= -10.179,64 \text{ J/mol}$$

$$= -10,17 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{423} = -2,47 + (8,314 \times (-10,17)) \text{ kJ/mol}$$

$$= -87,10 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Chang}, 2004)$$

$$\Delta G_{423} = \Delta H_{423} - T\Delta S_{423}$$

$$S_2 = S_1 + C_p \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Chang}, 2004)$$

$$S_{423} = S_{298} + C_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$C_p = A + B.T + C.T^2 \quad (\text{Yaws}, 1999)$$

Dengan data  $S_1$  pada Tabel 2.4. dan data konstanta kapasitas panas pada Tabel 2.5. maka  $C_{p423}$  dan  $S_{423}$  dapat dihitung dan didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 2.6.** Nilai  $C_{p423}$  dan  $S_{423}$  setiap komponen

Komponen	$C_{p423}$ (J.mol.K)	$S_{423}$ (J/mol.K)
$C_8H_4O_3$	254,51	310,38
$C_8H_{18}O$	330,25	380,92
$C_{16}H_{22}O_4$	-800,46	1180,38

$$\text{Sehingga, } \Delta S = \sum v_i.S(\text{produk}) - \sum v_i.S(\text{reaktan}) \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\Delta S_{423} = (\Delta S C_{16}H_{22}O_4) - (\Delta S C_8H_4O_3 + \Delta S C_8H_{18}O)$$

$$= (1180,38) - (310,38 + 380,92)$$

$$= 489,08 \text{ J/mol.K}$$

$$= 0,49 \text{ kJ/mol.K}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\Delta G_{423} = -87,10 \text{ kJ/mol} - 423 \text{ K} \times (0,49 \text{ kJ/mol.K})$$

$$= -293,99 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta H^\circ = \sum_i v_i. \Delta H^\circ_{fi} \quad (\text{Smith } et al., 2001)$$

$$\Delta H^\circ = (\Delta H^\circ_f C_{24}H_{38}O_4 + \Delta H^\circ_f H_2O) - (\Delta H^\circ_f C_{16}H_{22}O_4 + \Delta H^\circ_f C_8H_{18}O)$$

$$= (-966,72 + (-241,8)) - (-750,9 + (-365,3))$$

$$= -92,32 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ = (\sum v_i \Delta G^\circ_{f(\text{produk})} - \sum v_i \Delta G^\circ_{f(\text{reaktan})}) \quad (\text{Atkins \& Paula, 2006})$$

$$= (\Delta G^\circ_f C_{24}H_{38}O_4 + \Delta G^\circ_f H_2O) - (\Delta G^\circ_f C_{16}H_{22}O_4 + \Delta G^\circ_f C_8H_{18}O)$$

$$= (-406,30 + (-228,60)) - (-475,40 + (-118,88))$$

$$= -40,62 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi ini berjalan pada kondisi eksotermis ( $\Delta H^\circ = -92,32 \text{ kJ/mol}$ ) dan reaksi spontan ( $\Delta G^\circ = -40,62 \text{ kJ/mol}$ ).

Pada kondisi termodinamika saat suhu reaksi  $150^\circ\text{C}$ , maka digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\Delta H = \Delta H^\circ + R \int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT \quad (\text{Smith } et al., 2001)$$

$$\int_{T_o}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT$$

$$= \Delta A (T-T_0) + \frac{\Delta B}{2} (T^2-T_0^2) + \frac{\Delta C}{3} (T^3-T_0^3) + \frac{\Delta D}{4} (T^4-T_0^4)$$

**Tabel 2.7.** Konstanta Kapasitas Panas setiap komponen (Yaws, 1999)

Komponen	A	B	C	D
C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	230,175	-1,5996	-0,00346	3,4963x10 <sup>-6</sup>
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	149,56	0,97903	-0,00262	3,1042x10 <sup>-6</sup>
C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	370,624	1,9804	-0,00416	4,282x10 <sup>-6</sup>
H <sub>2</sub> O	92,053	-3,9953	-2,1103	5,3469x10 <sup>-7</sup>
Total	842,41	-2,63547	-2,12054	1,1417x10 <sup>-5</sup>

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT = (842,41)(423-298) + \left(\frac{-2,63547}{2}\right)(423^2-298^2) + \left(\frac{-2,12054}{3}\right)(423^3-298^3)$$

$$+ \left(\frac{1,1417 \times 10^{-5}}{4}\right)(423^4-298^4)$$

$$= -34737884,92 \text{ J/mol}$$

$$= -34737,88 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{423} = -92,32 + (8,314 \times -34737,88) \text{ kJ/mol}$$

$$= -288903,09 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$\Delta G_{423} = \Delta H_{423} - T\Delta S_{423}$$

$$S_2 = S_1 + C_p \ln \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{Chang, 2004})$$

$$S_{423} = S_{298} + C_p \ln \frac{T_1}{T_2}$$

$$C_p = A + B.T + C.T^2 \quad (\text{Yaws, 1999})$$

Dengan data S<sub>1</sub> pada Tabel 2.4. dan data konstanta kapasitas panas pada Tabel 2.7. maka Cp<sub>423</sub> dan S<sub>423</sub> dapat dihitung dan didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 2.8.** Nilai Cp<sub>423</sub> dan S<sub>423</sub> setiap komponen

Komponen	Cp <sub>423</sub> (J.mol.K)	S <sub>423</sub> (J/mol.K)
C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	-800,46	1180,38
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> O	330,25	380,91
C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	788,08	872,95
H <sub>2</sub> O	-379151,35	132997,36

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } \Delta S &= \sum v_i.S(\text{produk}) - \sum v_i.S(\text{reaktan}) \quad (\text{Chang, 2004}) \\
 \Delta S_{423} &= (\Delta S_{C_{24}H_{38}O_4} + \Delta S_{H_2O}) - (\Delta S_{C_{16}H_{22}O_4} + \Delta S_{C_8H_{18}O}) \\
 &= (872,95 + 132997,36) - (1180,38 + 380,91) \\
 &= 132309,01 \text{ J/mol.K} \\
 &= 132,31 \text{ kJ/mol.K} \\
 \Delta G &= \Delta H - T\Delta S \quad (\text{Chang, 2004}) \\
 \Delta G_{423} &= -288903,09 \text{ kJ/mol} - 423 \text{ K} \times (132,31 \text{ kJ/mol.K}) \\
 &= -344869,81 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$S_{298}$	= entropi komponen di suhu 298 K (kJ/mol.K)
$\Delta H_{f298}^{\circ}$	= entalpi pembentukan reaksi standar (kJ/mol)
$\Delta H_f^{\circ}$	= entalpi reaksi standar (kJ/mol)
$\Delta H$	= entalpi reaksi (kJ/mol)
R	= tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)
$C_p$	= konstanta panas (J.mol.K)
T	= suhu reaksi (K)
$T_0$	= suhu standar (K)
$\Delta G$	= energi bebas gibbs reaksi (kJ/mol)
$S_2$	= entropi reaksi (kJ/mol.K)
$S_1$	= entropi reaksi standar (kJ/mol.K)
$\Delta S$	= perubahan entropi reaksi (kJ/mol.K)

**Tabel 2.9.** Perbandingan Katalis Proses Esterifikasi *Dioctyl Phthalate*

Parameter	Asam Sulfat	Titanates
Bahan Baku	<i>Phthalic Anhydride</i> dan 2- <i>Ethyl Hexanol</i>	<i>Phthalic Anhydride</i> dan 2- <i>Ethyl Hexanol</i>
Perolehan Katalis	Dalam Negeri	Luar Negeri
Suhu Reaksi	150°C	180-225°C
Konversi	98%	97%
$\Delta H$ (kJ/mol)	-92,32	-92,32
$\Delta G$ (kJ/mol)	-40,62	-40,62
Jenis Reaksi	Eksotermis	Eksotermis

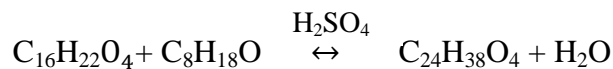


Parameter	Asam Sulfat	Titanates
Harga Katalis	Rp4.500/l	Rp70.970,25/l

### E. Tinjauan Kinetika

Jenis reaksi penambahan gugus ester (esterifikasi) merupakan reaksi orde satu terhadap monoester yang memiliki persamaan reaksi mengikuti persamaan reaksi 1 dan 2.

Persamaan reaksi kedua disimbolkan dengan :



Reaksi pertama yaitu reaksi antara *phthalic anhydride* dengan *2-ethyl hexanol* yang menghasilkan *monoethyl phthalate* adalah reaksi yang berjalan sangat cepat sehingga selalu berada dalam kesetimbangan, sedangkan reaksi kedua yang menghasilkan *dioethyl phthalate* adalah reaksi yang berjalan lambat, sehingga reaksi ini yang digunakan sebagai pengontrol laju reaksi.

Persamaan laju reaksinya adalah:

$$-r_A = k \cdot C_M$$

Reaksi di atas merupakan reaksi orde 1.

Dimana :

$$k = 1,66 \times 10^6 e^{(11.300/1,987 \times T)}$$

$$C_M = \text{Konsentrasi } \textit{monoethyl phthalate} \text{ (mol/L)}$$

$$T = 150^\circ\text{C} = 423 \text{ K}$$

$$E = 11300 \text{ cal/mol}$$

$$R = 1,987 \text{ cal/mol.K}$$

$$K = 1,7462 \text{ dm}^3/\text{mol.min}$$

$$= 104,7713 \text{ m}^3/\text{kmol.Jam}$$

$$k = 1,66 \times 10^6 \exp\left(\frac{-11300}{RT}\right) (\text{dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ min}^{-1})$$

(Sumber: Jerzy Skrzypek, 1994)

### 2.3. Uraian Proses

Adanya proses penambahan gugus ester (esterifikasi) dalam sintesis *dioctyl phthalate* secara umum terdiri dari tiga tahapan proses utama:

1. **Penyiapan Bahan Baku:** Tahap awal proses yang melibatkan persiapan bahan baku yang diperlukan.
2. **Reaksi Pembentukan *Dioctyl Phthalate*:** Tahapan reaksi utama di mana *dioctyl phthalate* terbentuk melalui proses esterifikasi yang tepat.
3. **Pemisahan dan Pemurnian Hasil:** Tahapan akhir proses yang melibatkan pemisahan dan pemurnian hasil akhir untuk menghasilkan produk *dioctyl phthalate* yang berkualitas.

#### 2.3.1. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Tahap ini dimulai dengan *phthalic anhydride* dari Silo (SI-101) pada suhu 30°C, tekanan 1 atm dilewatkan ke *Belt Conveyor* (BC-101) menuju *Screw Conveyor* (SC-101) lalu menuju *Melter Tank* (MT-101), dan *2-ethyl hexanol* dari tangki penyimpanan (ST-101) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm serta katalis  $H_2SO_4$  dari tangki penyimpanan (ST-102) diumpankan ke dalam *Heater* (HE-101).

#### 2.3.2. Tahap Reaksi Pembentukan *Dioctyl Phthalate* (DOP)

Hasil output dari *Melter Tank* (MT-101), *Heater* (HE-101), dan hasil *output recycle* dari *Heater* (HE-302) setelah distilasi dimasukkan ke dalam reaktor (RE-201) untuk proses sintesis *dioctyl phthalate*. Reaksi ini memiliki sifat berupa eksotermis yang membuat reaktor (CSTR) (isotermal) memiliki fitur jaket pendingin untuk menjaga suhu dalam reaktor tetap stabil. Sintesis *dioctyl phthalate* dibutuhkan waktu 5 menit dengan tingkat konversi sebesar 98% pada suhu operasi 150°C dan tekanan 1 atm di dalam reaktor.

#### 2.3.3. Tahap Pemurnian Hasil

*Output* dari reaktor yang memiliki suhu 150°C dinaikkan suhunya menjadi 188°C dalam *Heater* (HE-301) untuk dapat diumpankan pada *Distillation Column* (DC-301) yang memiliki suhu umpan masuk 188°C. Selanjutnya distilat dari DC-301 dengan suhu 97°C diturunkan

suhunya menjadi 87,24°C pada *Cooler* (CO-302) untuk dapat diumpankan pada *Distillation Column* (DC-302) yang memiliki suhu umpan masuk 87,24°C, sedangkan *bottom product* dari DC-301 menuju *Distillation Column* (DC-303).

Distilat pada *Distillation Column* (DC-302) yang berupa air akan dialirkan ke UPL (Unit Pengolahan Limbah) sedangkan *bottom product* dari DC-302 yaitu *2-Ethyl Hexanol* akan menuju *Mix Point* (MP-301).

Selain itu, distilat pada *Distillation Column* (DC-303) yang mengandung  $H_2SO_4$  dan *Monooctyl Phthalate* akan dialirkan ke *Mix Point* (MP-301) untuk dicampur dengan *2-Ethyl Hexanol* dan kemudian alirkan kembali ke Reaktor (RE-201). Sedangkan *bottom product* dari DC-303 yaitu *Dioctyl Phthalate* akan diturunkan suhunya dari 293°C menjadi 30°C di *Cooler* (CO-302) untuk dapat disimpan pada *Storage Tank* (ST-301).

### BAB III

#### SPEKIFIKASI BAHAN

### 3.1. Sifat Fisis Bahan Baku dan Produk

#### 3.1.1. Bahan Baku

##### 1. *Phthalic anhydride* (PA)

###### a. Sifat Fisik

- Rumus molekul :  $C_8H_4O_3$
- Berat molekul : 148,11 g/mol
- Titik didih :  $284^{\circ}C$
- Titik lebur :  $131^{\circ}C$
- *Spesific gravity* : 1,53
- Kelarutan dalam 100 gr air : sangat sedikit larut
- Kelarutan dalam alkohol : larut (*soluble*)
- Fase : Padat (Kristal)
- Densitas : 1,53 g/ml

(Perry, 2008)

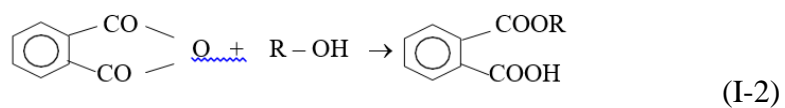
- Kemurnian : min. 99,98 % (% wt)
- Impuritas (*Maleic anhydride*) : max. 0,05% (% wt)
- Warna : Putih

(PT Petrowidada)

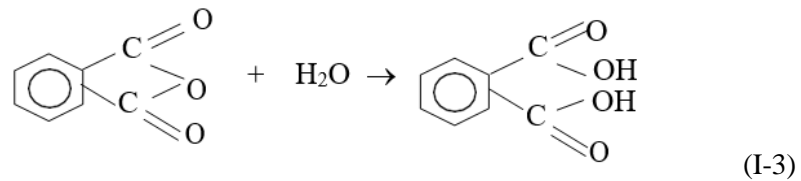
###### b. Sifat Kimia

- Reaksi esterifikasi

Reaksi PA dengan alkohol membentuk phthalate ester



- Hidrolisis dengan air panas membentuk ortho-asam ftalat



## 2. 2-Ethyl hexanol (2-EH)

### a. Sifat Fisik

- Rumus molekul :  $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$
- Berat molekul : 130,23 g/mol
- Titik didih :  $184^\circ\text{C}$
- Titik lebur :  $-76^\circ\text{C}$
- Bentuk : Cairan tak berwarna
- *Spesific gravity* : 0,833
- Kelarutan dalam 100 gr air : 0,1 mL
- Densitas :  $833 \text{ kg/m}^3$

(Yaws, 2015)

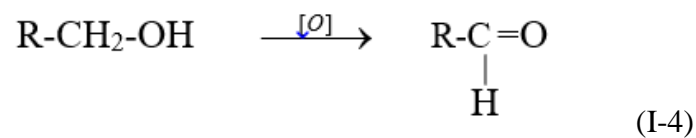
- Kemurnian : 99,5% (% wt)
- Warna : Tidak berwarna
- Impuritas ( $\text{H}_2\text{O}$ ) : 0,5% (% wt)

(PT Petro Oxo Nusantara)

### b. Sifat Kimia

#### • Oksidasi

Oksidasi alkohol primer menghasilkan aldehida, yang jika terus dioksidasi akan membentuk asam.



#### • Sulfatasi

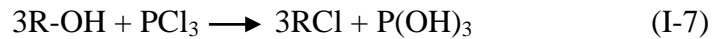
Alkohol bereaksi dengan asam halo sulfat untuk menghasilkan alkil sulfat sesuai dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Sodium alkil sulfat

- Halogenasi

Alkohol bereaksi dengan *phosphor halida* menghasilkan alkil halida dan *phosphor hydroxide* sesuai dengan mekanisme reaksi yang terjadi.



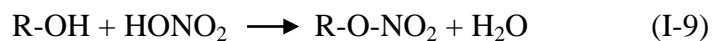
- Dehidrasi

Alkohol mengalami dehidrasi untuk menghasilkan etena dan air sebagai produk reaksi.



- Esterifikasi

Alkohol bereaksi dengan asam membentuk ester dan air sebagai hasil reaksi.



### 3.1.2. Bahan Pendukung

#### 1. Asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (katalis)

##### a. Sifat Fisik

- Rumus molekul : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- Berat molekul : 98,08 gr/grmol
- Titik lebur : 10,4°C
- Titik didih : 290°C
- *Spesific gravity* : 1,834
- Kelarutan dalam air : sangat larut
- Kemurnian : 98% (% wt)
- Fase : Cair
- Warna : Tidak berwarna
- Impuritas (H<sub>2</sub>O) : 2% (% wt)
- Densitas (25°C) : 1,83 g/cm<sup>3</sup>

(PT Petrokimia)

##### b. Sifat Kimia

- Bersifat korosif

- Reaksi dengan sebagian besar logam mengakibatkan pembebasan hidrogen dan pembentukan senyawa logam sulfat, seperti besi (Fe), aluminium (Al), seng (Zn), mangan (Mn), dan nikel (Ni).
- Dapat menginduksi cedera bakar yang parah, terutama pada kadar yang tinggi.

### 3.1.3. Produk

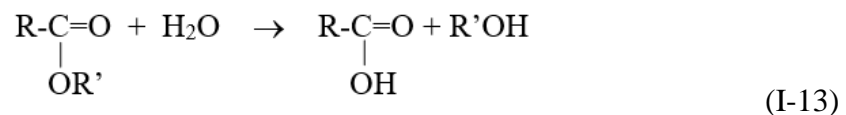
#### 1. *Diocetyl Phthalate* (DOP)

##### a. Sifat Fisik

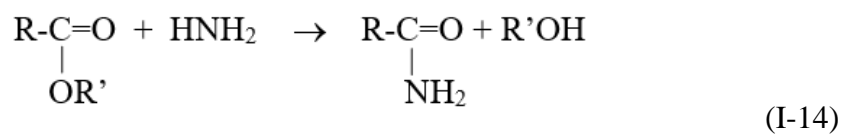
- Rumus molekul :  $C_{24}H_{38}O_4$
  - Berat molekul : 390,56 g/mol
  - Titik leleh :  $-50^{\circ}C$
  - Titik didih :  $384^{\circ}C$
  - Bentuk : cair
  - *Specific gravity* : 0,9861
  - Kelarutan dalam air : tidak larut
  - Densitas ( $30^{\circ}C$ ) :  $0,9813 \text{ kg/m}^3$
- (Yaws,2015)
- Kemurnian : min. 99,5% (% wt)
  - Fase : cair
  - Warna : Putih
  - Impuritas ( $C_8H_{18}O$ ) : maks. 0,24% (% wt)
  - ( $C_{16}H_{22}O_4$ ) : maks. 0,26% (% wt)

##### b. Sifat Kimia

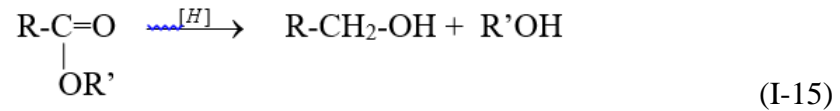
- Hidrolisis



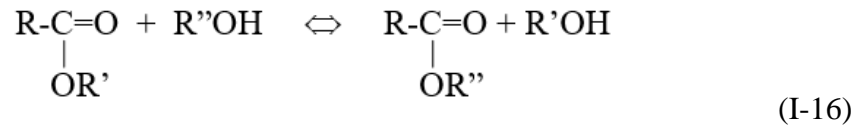
- Amanolisis



- Reduksi



- Alkoholis



### 3.1.4. Bahan Intermediet

#### 1. *Monooctyl phthalate* (MOP)

##### a. Sifat Fisik

- Bentuk : cairan tidak berwarna
- Rumus molekul :  $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$
- Berat molekul : 278,34 gr/grmol
- Titik didih :  $340^\circ\text{C}$
- *Specific gravity* : 1,045
- Kelarutan dalam 100 gr air : 0,0013 mL

(Perry, 2008)

##### b. Sifat Kimia

- Larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, dan benzene
- Bersifat racun dan dapat menyebabkan iritasi pada mata

#### 2. *Maleic anhydride* (MA)

##### a. Sifat Fisik

- Bentuk : padatan kristal putih
- Rumus molekul :  $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$
- Berat molekul : 98,06 gr/grmol
- Titik leleh :  $53^\circ\text{C}$
- Titik didih :  $202^\circ\text{C}$
- *Specific gravity* : 1,48
- Kelarutan dalam air : larut

(Perry, 2008)



b. Sifat Kimia

- Bersifat racun dan dapat menyebabkan luka bakar pada kulit
- Dapat menyebabkan gejala susah bernapas bila terhirup

## X. SIMPULAN DAN SARAN

### 10.1. Simpulan

Berdasarkan analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *Diocetyl Phthalate* dengan kapasitas 23.000 ton/tahun, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. ROI (*Return on Investment*) setelah pajak mencapai 26%, menunjukkan tingkat pengembalian investasi.
2. POT (*Pay Out Time*) setelah pajak adalah 2,6 tahun, menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal.
3. BEP (*Break Event Point*) sebesar 45,17%, menunjukkan titik di mana biaya produksi sama dengan pendapatan.
4. SDP (*Shut Down Point*) sebesar 19,63%, menunjukkan kapasitas produksi di mana pabrik harus dihentikan karena kerugian.
5. DCF (*Discounted Cash Flow Rate of Return*) sebesar 30,64%, melebihi suku bunga bank saat ini sebesar 5,57%, menunjukkan keunggulan investasi di pabrik ini dibandingkan dengan menempatkan uang di bank.

### 10.2. Saran

Dengan mempertimbangkan hasil perhitungan dari hasil analisis ekonomi di atas maka pabrik *Diocetyl Phthalate* dengan kapasitas dua puluh tiga ribu ton/tahun baik untuk dikaji lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

Alibaba, 2023. *Harga Bahan Kimia*. Diakses melalui [www.Alibaba.com](http://www.Alibaba.com) pada 19 Juli 2023.

Badan Pusat Statistik, 2023. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id) pada 15 Mei 2023.

Brownell, L. E., and Young, E. H. 1956. *Process Equipment Design*. University of Michigan. John Wiley and Sons Inc. New York.

Coulson, J. M., and J. F. Richardson 2005. *Chemical Engineering 4<sup>th</sup> edition*. Butterworth-Heinemann: Washington.

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

Geankoplis, Christie. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operation 3<sup>rd</sup> edition*. Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Himmelblau, David. 2004. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering 7<sup>th</sup> edition* . Prentice Hall Inc, New Jersey.

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

Kirk, R.E. and Othmer, D.F. 2004. “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4<sup>th</sup> edition, vol.17. John Wiley and Sons Inc. New York.

- Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering 2<sup>nd</sup> edition*. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Ludwig, E. Ernest. 1999. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants 3<sup>rd</sup> edition*. Houston: Gulf Publishing Company.
- McCabe, W. L. and Smith, J. C. 1985. *Operasi Teknik Kimia*. Erlangga, Jakarta.
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill: New York.
- Peter, M. S., Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill: New York.
- Smith, J. M., h.c. Van Ness, and M. M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill: New York.
- Syed R. Qasim. 1985. *Wastewater Treatment Plants, Planning, Design and Operation*. Holt, Rinerhart and Winton, CBS College Publishing.
- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5<sup>th</sup> edition*. McGraw-Hill: New York.
- Treyball, R.E. 1983. *Mass Transfer Operation 3<sup>rd</sup> edition*. 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.

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

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