

**PRARANCANGAN PABRIK *TRICRESYL PHOSPHATE* DARI *CRESOL*
DAN *PHOSPHORUS OXYCHLORIDE* DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN**

Tugas Khusus Prancangan *Absorber* (AB-201)

(Skripsi)



Oleh:

DIANDRA PUSPARINI

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

2024

ABSTRAK

**PRARANCANGAN PABRIK *TRICRESYL PHOSPHATE* DARI *CRESOL*
DAN *PHOSPHORUS OXYCHLORIDE* DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN
(Prancangan *Absorber* (AB-201))**

Oleh

DIANDRA PUSPARINI

Tricresyl Phosphate (TCP) merupakan bahan yang digunakan dalam aplikasi industri seperti *plasticizers* (bahan pelunak), *cable coating* (pelapis kabel), zat penghambat api pada plastik dan karet, serta sebagai bahan aditif tambahan dalam cairan. Pabrik *Tricresyl Phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Oxychloride* dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun yang direncanakan beroperasi pada tahun 2028 selama 330 hari per tahun. Pabrik ini didirikan di Kawasan Industri Katibung, Lampung Selatan. Reaksi pembentukan *Tricresyl Phosphate* dilakukan dalam *Bubble Reactor* (Reaktor Gelembung), dengan bahan baku *Cresol* sebanyak 2.281,03995 kg/jam dan *Phosphorus Oxychloride* sebanyak 1.077,6 kg/jam serta katalis berupa *Magnesium Chloride* sebanyak 33,33 kg/jam yang berlangsung pada kondisi operasi isothermal pada suhu 150°C, 1,5 atm, dan konversi sebesar 93% dengan sifat reaksi eksotermis. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik *Tricresyl Phosphate* berupa unit penyediaan air, *steam*, *Dowtherm A*, udara instrumentasi serta pengadaan Listrik dari PLN dan satu buah generator set.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp349.296.012.728
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp61.640.472.834
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp410.936.485.562

<i>Break Event Point</i>	(BEP)	= 42,580%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 22,983%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT)_b	= 1,365 Tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT)_a	= 1,932Tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI)_b	= 53,775%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI)_a	= 35,491%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 42,049%

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik *Tricresyl Phosphate* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik

ABSTRACT

PREDESIGN OF A TRICRESYL PHOSPHATE PLANT FROM CRESOL AND PHOSPHORUS OXYCHLORIDE WITH A CAPACITY OF 20,000 TONS/YEAR (Design of Absorber (AB-201))

By

DIANDRA PUSPARINI

Tricresyl Phosphate (TCP) is a material used in industrial applications such as plasticizers, cable coatings, flame retardants in plastics and rubber, as well as additional additives in liquids. The Tricresyl Phosphate plant from Cresol and Phosphorus Oxychloride with a production capacity of 20,000 tons/year is planned to operate in 2028 for 330 days per year. This plant was established in the Katibung Industrial Area, South Lampung. The reaction to form Tricresyl Phosphate was carried out in a Bubble Reactor, with Cresol as raw materials as much as 2,281.03995 kg/hour and Phosphorus Oxychloride as much as 1,077.6 kg/hour and a catalyst in the form of Magnesium Chloride as much as 33.33 kg/hour which took place under conditions isothermal operation at a temperature of 150°C, 1.5 atm, and conversion of 93% with exothermic reaction properties. Providing utility needs for the Tricresyl Phosphate plant in the form of water supply units, steam, Dowtherm A, instrumentation air as well as electricity procurement from PLN and one generator set.

From the economic analysis it is obtained:

Fixed Capital Investment	(FCI)	= Rp349.296.012.728
Working Capital Investment	(WCI)	= Rp61.640.472.834
Total Capital Investment	(TCI)	= Rp410.936.485.562
Break Event Point	(BEP)	= 42,580%

<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 22,983%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT)_b	= 1,365 Tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT)_a	= 1,932Tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI)_b	= 53,775%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI)_a	= 35,491%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 42,049%

Considering the explanation above, it is appropriate to study the establishment of this Tricresyl Phosphate plant further, because it is a profitable plant and has a good future.

**PRARANCANGAN PABRIK *TRICRESYL PHOSPHATE* DARI *CRESOL*
DAN *PHOSPHORUS OXYCHLORIDE* DENGAN KAPASITAS 20.000
TON/TAHUN
(Perancangan *Absorber* (AB-201))**

**Oleh
DIANDRA PUSPARINI
1915041033**

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**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : PRARANCANGAN PABRIK *TRICRESYL*
PHOSPHATE DARI *CRESOL* DAN
PHOSPHORUS OXYCHLORIDE DENGAN
KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN
(Perancangan *Absorber* (AB-201))

Nama Mahasiswa : Diandra Pusparini

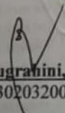
Nomor Pokok Mahasiswa : 1915041033

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

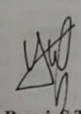

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Panca Nugrahini, S.T., M.T.
NIP. 197302032000032001


Dr. Herti Utami, S.T., M.T.
NIP. 197112192000032001

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

MENGENAL

1. Tim Penguji

Ketua : Panca Nugrahini F., S.T., M.T.

Sekretaris : Dr. Herti Utami, S.T., M.T.

Penguji
Bukan Pembimbing I : Dr. Sri Ismiyati D., S.T., M.Eng.

Bukan Pembimbing II : Dr. Heri Rustamadji, S.T., M.Eng.

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung


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

NN. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 Juli 2024

PERNYATAAN

viii

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, 12 Agustus 2024



Diandra Pusparini
NPM. 1915041033

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta, pada tanggal 27 Oktober 2001. Penulis merupakan putri pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Sri Winarno dan Ibu Widya Fajarini.

Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di Sekolah Dasar Negeri Ciputat VI pada tahun 2013, Madrasah Tsanawiyah Negeri I Kota Tangerang Selatan pada tahun 2016 dan Sekolah Menengah Atas Negeri IX Kota Tangerang Selatan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) tahun 2019.

Pada tahun 2022, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT Madubaru Pabrik Gula Madukismo, Yogyakarta dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Quadruple Effect Evaporator* pada Stasiun Pemurnian”. Selain itu di tahun yang sama, penulis melakukan penelitian dengan judul “Sintesis Biokoagulan dari..... lupa saya”. Di tahun yang sama, penulis mengikuti *Summer Course* yang diselenggarakan oleh Universitas Syiah Kuala dengan GPA 61,81.

Penulis termasuk mahasiswi yang aktif dalam kegiatan non akademik yang mana terlibat dalam beberapa organisasi di dalam kampus maupun di luar kampus. Pada tahun 2021/2022 penulis bergabung sebagai staf riset dan penalaran di UKM Penelitian Unila, selain itu penulis berkontribusi sebagai Koordinator bagian siswa yang mengkoordinir siswa – siswa seluruh Indonesia yang berpartisipasi dalam Pekan Ilmiah Nasional 6 yang diselenggarakan oleh UKM Penelitian Unila. P

Penulis aktif di beberapa organisasi di luar kampus, pada tahun 2020/2021 penulis bergabung ke dalam organisasi Minecraft Hub Indonesia sebagai *Head of Public Relations and Administration*, penulis terlibat dalam kolaborasi Minecraft Hub Indonesia dengan Tim Jurusan Event Universitas Prasetya Mulya dalam acara

“Cerita Waktu x Minecraft Hub Indonesia” yang dihadiri oleh lebih dari 100 partisipan dari berbagai latarbelakang.

Pada tahun 2021 hingga 2022 penulis juga bergabung ke dalam organisasi *Inspire Club Community* sebagai staf pada Divisi *Community Strategy* serta staf *Community Partnership* dan juga menjadi salah satu pembicara dalam webinar “Gapai Impianmu Mulai dari Kampus Impian” yang diselenggarakan oleh Muslimah Fillah Indonesia, dengan tema yang dibawakan oleh penulis ialah “Tips and Trick Mengerjakan Soal SBMPTN” yang mana dihadiri oleh lebih dari 30 partisipan.

MOTTO

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ وَإِذَا أَرَادَ اللَّهُ بِقَوْمٍ سُوءًا ۖ
فَلَا مَرَدَّ لَهُ ۚ وَمَا لَهُمْ مِّنْ دُونِهِ مِّنْ وَّالٍ

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.” (Surat Ar-Ra'd ayat 11)

“Dan bersabarlah. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.” (Surat Al-Anfal ayat 46)

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.” (Q.S. Al-Mujadalah ayat 11)

The best way to send information is to wrap it up in a person.

– J. Robert Oppenheimer –

You cannot hope to build a better world without improving the individuals. To that end, each of us must work for our own improvement and, at the same time, share a general responsibility for all humanity, our particular duty being to aid those to whom we think we can be most useful.

– Marie Curie –

Sebuah Karyaku....

Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Allah SWT

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh
Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil
ini*

Atas anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.

*Kedua orang tuaku dan seluruh keluarga besar,
terima kasih atas doa, kasih sayang, pengorbanan, dan
keikhlasannya.*

*Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan
pengorbanan dan kasih sayang selama ini*

*Sahabat-sahabatku,
terimakasih atas dukungan, doa, dan ketulusannya selama ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini, baik itu
berupa ilmu teknik kimia, maupun ilmu kehidupan yang tentunya
sangat berguna dan bermanfaat.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,
semoga kelak berguna dikemudian hari*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas segala berkat dan rahmatNya, sehingga tugas akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik *Tricresyl Phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Oxychloride* dengan Kapasitas 20.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik.

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. Mami, Papi, Aisha, Ci Neno, Eyang Utu, Eyang Kung, Agan, Om Wisnu, Ale, Kinan serta seluruh keluarga besar atas pengorbanan, dukungan, doa, bantuan, serta semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Bunda Panca Nugrahini F, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I serta Dosen Pembimbing Kerja Praktek, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, semangat, bantuan serta kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

3. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II serta Dosen Penguji Kerja Praktek, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, semangat, bantuan serta kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan ilmu, semangat, pengarahan, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Bapak Dr. Heri Rustamadji, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan ilmu, semangat, pengarahan, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
6. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
7. Adinda Margarisa selaku partner dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terima kasih atas dukungannya selama diperkuliahan maupun penyusunan Tugas Akhir.
8. Sih Noormantoro Dwi Pandumukti, S.T., selaku partner dalam segala hal, yang tidak hanya menjadi partner dalam perjalanan akademik ini, tetapi juga menjadi sumber inspirasi dan kekuatan dalam setiap langkah yang diambil. Terima kasih atas cinta, dukungan, dan kebersamaan yang selalu membuat hari-hari saya lebih bermakna.

9. Teman-teman SMA, Bunga Aziza Saprila, S.Ak., Adinda Maharani A.N., S.T., Nanda Nabila Nugraha, S. Pd., yang telah menemani, menghibur dan mendengarkan keluh kesah saya selama menyelesaikan perkuliahan ini serta selalu menunggu saya pulang dari tanah rantauan. Terima kasih untuk kesetiaan, semangat, dukungan dan doanya hingga saya bisa meraih gelar sarjana Teknik.
10. Teman-teman perkuliahan serta seluruh Angkatan 2019, sebagai teman seperjuangan dari ospek hingga meraih gelar sarjana yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan doa.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini dan tentunya untuk diri sendiri yang selalu percaya dan yakin bahwa mampu menyelesaikan perkuliahan dengan cara dan waktu yang sebaik-baiknya.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga skripsi ini dapat dipergunakan sebaik-baiknya.

Bandar Lampung, 15 Agustus 2024
Penulis,

Diandra Pusparini

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	viii
RIWAYAT HIDUP.....	ix
SANWACANA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	3
1.3 Ketersediaan Bahan Baku.....	3
1.4 Analisa Pasar	5
1.4.1 Data Impor	5
1.5 Kapasitas Pabrik	7
1.6 Lokasi Pabrik.....	7
1.6.1 Ketersediaan Bahan Baku dan Lokasi Pemasaran	9
1.6.2 Utilitas.....	10
1.6.3 Sarana Transportasi.....	10
1.6.4 Tenaga Kerja.....	10
1.6.5 Kondisi Geografis	11
BAB II.....	12
DESKRIPSI PROSES	12
2.1 Jenis – Jenis Proses.....	12
2.1.1 Pembuatan <i>Tricresyl Phosphate</i> dengan Bahan Baku <i>Cresol</i> dan <i>Phosphorus Oxychloride</i> (POCl_3) menggunakan Katalis MgCl_2	12
2.1.2 Pembuatan <i>Tricresyl Phosphate</i> dengan Bahan Baku <i>Cresol</i> dan <i>Phosphorus Pentachloride</i> (PCl_5).....	13

2.2 Pemilihan Proses	15
2.2.1 Berdasarkan Tinjauan Ekonomi.....	16
2.2.2 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika.....	31
BAB III	39
BAHAN BAKU	39
3.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama	39
3.2 Spesifikasi Bahan Baku Pendukung.....	41
3.3 Spesifikasi Produk.....	42
BAB IV	44
NERACA MASSA DAN ENERGI	44
4.1 Neraca Massa	45
4.2 Neraca Energi	49
BAB V.....	53
SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS	53
5.1 Peralatan Proses.....	53
5.2 Peralatan Utilitas	74
BAB VI	116
UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	116
6.1 Unit Pendukung Proses	116
6.2 Pengolahan Limbah.....	132
6.3 Laboratorium	133
6.4 Instrumentasi dan Pengendalian Proses	136
BAB VII.....	139
TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK	139
7.1 Lokasi Pabrik.....	139
7.2 Lokasi Pabrik.....	142
7.3 Estimasi Area Pabrik	148
BAB VIII.....	150
MANAJEMEN DAN ORGANISASI.....	150
8.1 Bentuk Perusahaan	150
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan.....	153
8.3 Tugas dan Wewenang	155
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian	162
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	163

8.6 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	165
8.7 Kesejahteraan Karyawan	170
BAB IX	174
INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	174
9.1 Investasi	174
9.2 Evaluasi Ekonomi	180
9.3 Angsuran Pinjaman	182
9.4 <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	183
BAB X	184
KESIMPULAN DAN SARAN	184
10.1 Kesimpulan	184
10.2 Saran	184
DAFTAR PUSTAKA	185
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A. NERACA MASSA	
LAMPIRAN B. NERACA ENERGI	
LAMPIRAN C. SPESIFIKASI ALAT	
LAMPIRAN D. UTILITAS	
LAMPIRAN E. KEEKONOMIAN	
LAMPIRAN F. TUGAS KHUSUS	

DAFTAR TABEL

Tabel. 1. 1 Daftar Perusahaan Produksi Bahan Baku	3
Tabel. 1. 2 Data Impor <i>Tricresyl Phosphate</i> di Indonesia	5
Tabel. 1. 1 Daftar Perusahaan Produksi Bahan Baku	3
Tabel. 1. 2 Data Impor <i>Tricresyl Phosphate</i> di Indonesia	5
Tabel. 2. 1 Perbandingan Proses Pembuatan <i>Tricresyl Phosphate</i>	14
Tabel. 2. 2 Harga Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan <i>Tricresyl Phosphate</i> dari Cresol dan <i>Phosphorus Oxychloride</i>	16
Tabel. 2. 3 Harga Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan <i>Tricresyl phosphate</i> dari Cresol dan <i>Phosphorus Pentachloride</i>	22
Tabel. 2. 4 Perbandingan Biaya Produksi Pembuatan <i>Tricresyl Phosphate</i>	30
Tabel. 2. 5 Nilai ΔH°_f pada Setiap Komponen pada Suhu 298 K.....	31
Tabel. 2. 6 Nilai ΔG°_f pada Setiap Komponen pada Suhu 298 K.....	32
Tabel. 2. 7 Nilai k pada Suhu 90 – 110°C.....	35
Tabel. 2. 8 Data Linearisasi.....	37
Tabel. 4. 1 Neraca Massa di <i>Heat Exchanger</i> (HE-101).....	45
Tabel. 4. 2 Neraca Massa di <i>Heat Exchanger</i> (HE-102).....	45
Tabel. 4. 3 Neraca Massa di Reaktor (RE-201)	46
Tabel. 4. 4 Neraca Massa di <i>Absorber</i> (AB-201).....	46
Tabel. 4. 5 Neraca Massa di <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RVF-301).....	47
Tabel. 4. 6 Neraca Massa di <i>Heat Exchanger</i> (HE-301).....	47
Tabel. 4. 7 Neraca Massa di <i>Heat Exchanger</i> (HE-302).....	48
Tabel. 4. 8 Neraca Energi di <i>Heat Exchanger</i> (HE-101)	49
Tabel. 4. 9 Neraca Energi di <i>Heat Exchanger</i> (HE-102)	49
Tabel. 4. 10 Neraca Energi di Reaktor (RE-201).....	50
Tabel. 4. 11 Neraca Energi di <i>Heat Exchanger</i> (HE-301)	50
Tabel. 4. 12 Neraca Energi di <i>Heat Exchanger</i> (HE-302)	51
Tabel. 4. 13 Neraca Energi di <i>Rotary Drum Vacuum Filter</i> (RD-301)	51
Tabel. 4. 14 Neraca Energi di <i>Absorber</i> (AB-201)	52
Tabel. 5. 1 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-101)	53
Tabel. 5. 2 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-102)	54
Tabel. 5. 3 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-301)	55
Tabel. 5. 4 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-302)	56
Tabel. 5. 5 Spesifikasi <i>Silo Storage</i> (SS-101)	57
Tabel. 5. 6 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-101)	58
Tabel. 5. 7 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-102)	59
Tabel. 5. 8 Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-301)	60
Tabel. 5. 9 Spesifikasi Reaktor (RE-201)	62

Tabel. 5. 10 Spesifikasi Absorber (AB-201).....	63
Tabel. 5. 11 Spesifikasi Hopper (HP-101).....	64
Tabel. 5. 12 Spesifikasi Belt Conveyor (BC-101)	65
Tabel. 5. 13 Spesifikasi Bucket Elevator (BE-101)	66
Tabel. 5. 14 Spesifikasi Rotary Drum Filter (RD-301).....	67
Tabel. 5. 15 Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	68
Tabel. 5. 16 Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	69
Tabel. 5. 17 Spesifikasi Pompa Proses (PP-103)	70
Tabel. 5. 18 Spesifikasi Pompa Proses (PP-104)	71
Tabel. 5. 19 Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	72
Tabel. 5. 20 Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	73
Tabel. 5. 21 Spesifikasi Filter Screen (FS-401)	74
Tabel. 5. 22 Spesifikasi <i>Sedimentation Basin</i> (BS-401)	75
Tabel. 5. 23 Spesifikasi Clarifier (CL-401)	76
Tabel. 5. 24 Spesifikasi Sand Filter (SF-401)	77
Tabel. 5. 25 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401).....	78
Tabel. 5. 26 Spesifikasi Anion Exchanger (AE-401).....	79
Tabel. 5. 27 Spesifikasi Storage Tank Alum (ST-401).....	80
Tabel. 5. 28 Spesifikasi Storage Tank Soda Kaustik (ST-402).....	81
Tabel. 5. 29 Spesifikasi <i>Storage Tank</i> Kaporit (ST-403).....	82
Tabel. 5. 30 Spesifikasi Storage Tank Air Filter (ST-404)	83
Tabel. 5. 31 Spesifikasi Storage Tank Asam Sulfat (ST-405)	84
Tabel. 5. 32 Spesifikasi Storage Tank Air Demin (ST-406).....	85
Tabel. 5. 33 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401)	86
Tabel. 5. 34 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402)	87
Tabel. 5. 35 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403)	88
Tabel. 5. 36 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404)	89
Tabel. 5. 37 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405)	90
Tabel. 5. 38 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406)	91
Tabel. 5. 39 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407)	92
Tabel. 5. 40 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408)	93
Tabel. 5. 41 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409)	94
Tabel. 5. 42 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410)	95
Tabel. 5. 43 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	96
Tabel. 5. 44 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412)	97
Tabel. 5. 45 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413)	98
Tabel. 5. 46 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414)	99
Tabel. 5. 47 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415)	100
Tabel. 5. 48 Spesifikasi Storage Tank Hidrazin (ST-501).....	101
Tabel. 5. 49 Spesifikasi Storage Tank Solar (ST-502).....	102
Tabel. 5. 50 Spesifikasi Deaerator (DA-501)	103
Tabel. 5. 51 Spesifikasi Boiler (BO-501)	104
Tabel. 5. 52 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501)	105
Tabel. 5. 53 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502)	106
Tabel. 5. 54 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503)	107

Tabel. 5. 55 Spesifikasi Storage Tank Dowtherm (ST-601).....	108
Tabel. 5. 56 Spesifikasi Cooling Tower (CT-601).....	109
Tabel. 5. 57 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-601).....	110
Tabel. 5. 58 Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-602).....	111
Tabel. 5. 59 Spesifikasi Cyclone (CY-701).....	112
Tabel. 5. 60 Spesifikasi Air Dryer (AD-701).....	113
Tabel. 5. 61 Spesifikasi Compressor (CO-701).....	114
Tabel. 5. 62 Spesifikasi Blower Udara (BU-701).....	114
Tabel. 5. 63 Spesifikasi Blower Udara (BU-702).....	115
Tabel. 5. 64 Spesifikasi Blower Udara (BU-703).....	115
Tabel. 6. 1 Kebutuhan Air untuk Keperluan Umum.....	117
Tabel. 6. 2 Kebutuhan Dowtherm A sebagai Pendingin Alat Proses	119
Tabel. 6. 3 Kebutuhan Air untuk Pembangkit Steam.....	121
Tabel. 6. 4 Kebutuhan Air untuk Proses	121
Tabel. 6. 5 Kebutuhan Air untuk Hydrant.....	122
Tabel. 6. 6 Kualitas air Sungai Way Katibung.....	124
Tabel. 6. 7 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	137
Tabel. 6. 8 Pengendalian Variabel Utama Proses	138
Tabel. 7. 1 Perincian Luas Area Pabrik Tricresyl Phosphate.....	148
Tabel. 8. 1 Jadwal Kerja Masing - Masing	165
Tabel. 8. 2 Rincian Jabatan dan Prasyarat.....	166
Tabel. 8. 3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat.	167
Tabel. 8. 4 Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	169
Tabel. 9. 1 <i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	175
Tabel. 9. 2 Total Manufacturing Cost	177
Tabel. 9. 3. General Expenses	178
Tabel. 9. 4 <i>Administrative Cost</i>	178
Tabel. 9. 5 Minimum Acceptable Return on Investment Before Taxes.....	180
Tabel. 9. 6 Acceptable Pay Out Time (POT) untuk Tingkat Resiko Pabrik.	181
Tabel. 9. 7 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	183

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1. 1 Grafik Impor Tricresyl Phosphate di Indonesia	6
Gambar. 1. 2 Lokasi Kawasan Industri Katibung, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung	8
Gambar. 6. 1 Diagram Alir Pengolahan Air	124
Gambar. 7. 1 Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung	146
Gambar. 7. 2 Tata Letak Peralatan Proses	147
Gambar. 7. 3 Lokasi Pabrik.....	149
Gambar. 8. 1 Struktur Organisasi Perusahaan	154
Gambar. 9. 1 Grafik Perpotongan BEP dan SDP.....	182
Gambar. 9. 2 Grafik Cumulative Cash Flow	183

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara berkembang, Indonesia berusaha semaksimal mungkin untuk mengurangi ketergantungan dari negara lain. Untuk itu dilakukanlah pembangunan di segala sektor, terutama pembangunan di bidang industri. Industri kimia merupakan salah satu industri yang diharapkan dapat memajukan pembangunan di Indonesia. Karena keadaan yang demikian ini, industri kimia mengalami peningkatan secara kualitas maupun kuantitas baik industri yang mengolah bahan baku maupun bahan penunjang untuk menjadi bahan setengah jadi ataupun bahan jadi. Seiring dengan pesatnya perkembangan industri khususnya industri plastik kebutuhan akan *plasticizer* semakin meningkat mengikuti perkembangannya. Salah satu industri kimia yang berkembang dengan pesat adalah industri bahan polimer yang menghasilkan berbagai jenis produk plastik, serat sintetis, karet sintetis, dan sebagainya.

Salah satu bahan kimia yang kebutuhannya belum terpenuhi dari dalam negeri adalah *tricresyl phosphate* yang merupakan senyawa organik (*ester*) dengan rumus molekul $C_{21}H_{21}PO_4$. Sebutan lain untuk *tricresyl phosphate* (TCP) adalah *tritolyl phosphate*, *tritolyl ester*, *phosphoric acid tris (methyl phenyl) ester* dan *tris (tolyloxy) phosphine oxide*.

Tricresyl phosphate (TCP) merupakan senyawa organik dengan rumus molekul $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$ yang digunakan sebagai *plasticizer* (bahan pelunak), pelarut bahan selulosa asetat maupun *cable coating* (pelapis kabel), gasoline aditif, *lubricant* (bahan pelumas). Bentuk dan wujud *tricresyl phosphate* berupa cairan kental, tidak berwarna, tidak berbau, tidak larut dalam air, larut dalam cairan organik dan tidak menyerap air.

Di Indonesia industri *tricresyl phosphate* belum ada. Selama ini *tricresyl phosphate* masih di impor dari Amerika dan Jepang. Dalam perancangan ini digunakan *cresol* dan *phosphorus oxychloride* sebagai bahan baku untuk *tricresyl phosphate*.

Dengan diproduksi *tricresyl phosphate* diharapkan bisa memenuhi kebutuhan *tricresyl phosphate* di Indonesia. Disamping itu dengan didirikannya pabrik *tricresyl phosphate* dapat membuka lapangan kerja baru dan diharapkan dapat memacu berdirinya pabrik-pabrik lain yang menggunakan *tricresyl phosphate*.

Industri *tricresyl phosphate* saat ini belum tersedia. Selama ini *tricresyl phosphate* masih di impor dari Amerika dan Jepang. Impor *tricresyl phosphate* masih jauh dari kata cukup untuk memenuhi kebutuhan *tricresyl phosphate* di Indonesia. Dikutip dari data Badan Pusat Statistik (BPS) data impor *tricresyl phosphate* Indonesia pada tahun 2023 mencapai 16 ribu ton.

Atas dasar besarnya jumlah impor *tricresyl phosphate* Indonesia maka pendirian pabrik *tricresyl phosphate* akan memiliki prospek yang sangat menjanjikan. Disamping untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang terus bertambah setiap tahunnya, produk ini diharapkan mampu bersaing di pasar internasional. Hal inilah yang mendasari pendirian pabrik *tricresyl phosphate* dengan harapan dapat memenuhi kebutuhan *tricresyl phosphate* serta membantu perekonomian bangsa untuk kesejahteraan masyarakat serta menghemat devisa negara dengan berkurangnya ketergantungan impor.

1.2 Kegunaan Produk

- Produk *tricresyl phosphate* banyak digunakan dalam industri kimia antara lain digunakan dalam:
- Industri plastik pembungkus makanan.
- Industri plastik transparan.
- Industri pelumas (*lubricant*) dan zat aditif pada pelumas.
- Industri cairan tahan api.
- Sebagai anti oksidan dan *stabilizer* dalam industri plastik.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Pertimbangan lain dalam menentukan kapasitas pabrik *tricresyl phosphate* adalah ketersediaan bahan baku. Pabrik yang akan didirikan harus selalu mendapatkan *supply* bahan baku secara terus menerus dan sebisa mungkin didapatkan dari dalam negeri. Akan tetapi, jika tidak terdapat bahan baku dari dalam negeri maka akan dilakukan impor bahan baku dari luar negeri dengan pertimbangan dampak ekonomis. Bahan baku cresol yang diperoleh dari Great Lakes Chemical, Nitro, USA. Bahan baku *phosphorus oxychloride* diperoleh dari Great Lakes Chemical, Nitro, USA. Bahan baku katalis Magnesium Klorida (MgCl_2) diimpor dari Weifang Haizhiyuan Chemistry and Industry China.

Tabel. 1. 1 Daftar Perusahaan Produksi Bahan Baku

Bahan Baku	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
<i>Cresol</i>	PT Great Lakes Chemical Corp	620.000
<i>Phosporus Oxychloride</i> (POCl_3)	PT Great Lakes Chemical Corp	870.000
Katalis MgCl_2	PT Weifang Haizhiyuan Chemistry and Industry	114.000

(Sumber: www.reportsanddata.com/ Report and Data, 2023 diakses pada 18 September 2023)

Kapasitas pabrik *tricresyl phosphate* direncanakan sebesar 20.000 ton per tahun, dengan perkiraan kebutuhan bahan baku sebagai berikut: *cresol* sebesar 18.959 ton per tahun, *phosphorus oxychloride* sebesar 8.961,28 ton per tahun, dan katalis *magnesium chloride* sebesar 277,18 ton per tahun.

Dilihat dari ketersediaan bahan baku, PT Great Lakes Chemical Corp memproduksi *cresol* dengan kapasitas 620.000 ton per tahun, yang sangat cukup untuk memenuhi kebutuhan pabrik sebesar 18.959 ton per tahun. Begitu pula dengan *phosphorus oxychloride*, yang juga diproduksi oleh PT Great Lakes Chemical Corp dengan kapasitas 870.000 ton per tahun, memenuhi kebutuhan pabrik sebesar 8.961,28 ton per tahun. Katalis *magnesium chloride* yang diproduksi oleh PT Weifang Haizhiyuan Chemistry and Industry dengan kapasitas 114.000 ton per tahun juga mencukupi kebutuhan pabrik sebesar 277,18 ton per tahun.

Dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah serta kebutuhan *tricresyl phosphate* di Indonesia yang relatif cukup tinggi, maka perlu pertimbangan lebih lanjut untuk mendirikan sebuah pabrik yang memproduksi *tricresyl phosphate*. Dengan pendirian pabrik *tricresyl phosphate* yang direncanakan berdiri tahun 2028 diharapkan dapat memenuhi kebutuhan *tricresyl phosphate* yang terus meningkat dari tahun ke tahun. Sehingga Indonesia dapat mengurangi kebutuhan impor dan dapat meningkatkan pendapatan nasional.

1.4 Analisa Pasar

Analisa pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk. Adapun analisis pasar meliputi data impor, data ekspor, dan data konsumsi *triclesyl phosphate* di Indonesia.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia masih melakukan impor dalam jumlah sangat besar untuk memenuhi kebutuhan *triclesyl phosphate* dalam beberapa tahun terakhir, karena produksi Indonesia saat ini belum ada.

Kebutuhan *triclesyl phosphate* diprediksi akan terus meningkat setiap tahunnya dikarenakan pemanfaatannya di berbagai industri. Berdasarkan data analisis pasar dari *Verified Market Research*, (2023) bahwa potensi pasar global *triclesyl phosphate* akan terus meningkat hingga tahun 2030 pada CAGR 5,89%. Selain itu, diperkirakan juga bahwa pasar global *triclesyl phosphate* mencapai nilai US\$ 1,11 miliar pada tahun 2030.

1.4.1 Data Impor

Sejauh ini, Indonesia masih belum dapat untuk memenuhi semua kebutuhan *triclesyl phosphate* dalam negeri sehingga Indonesia masih melakukan impor *triclesyl phosphate* dalam rangka memenuhi kebutuhan industri. Besarnya kapasitas pabrik salah satunya ditentukan berdasarkan data impor untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2023), didapatkan data impor *triclesyl phosphate* beberapa tahun terakhir.

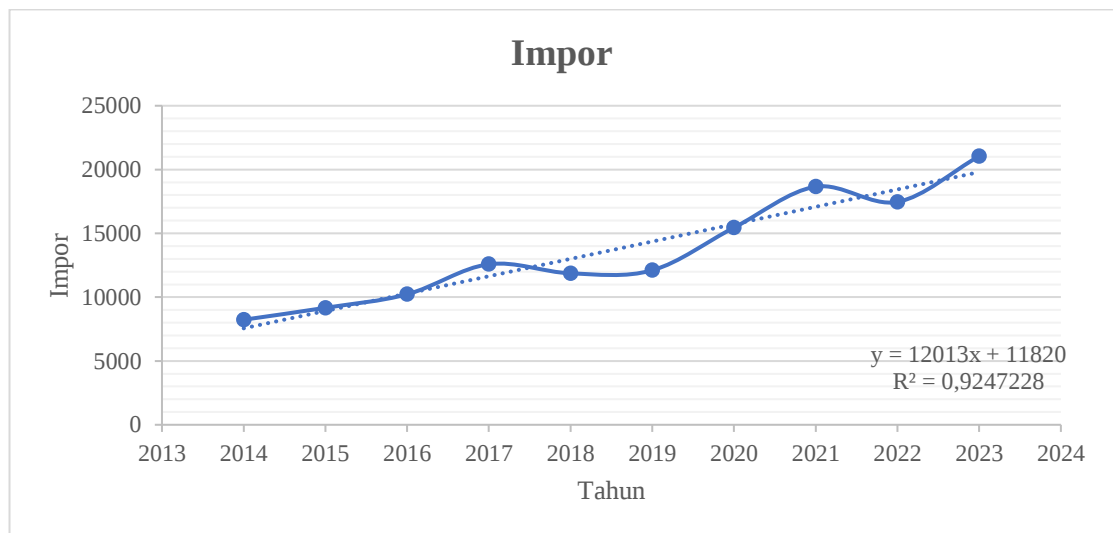
Tabel. 1. 2 Data Impor *Triclesyl Phosphate* di Indonesia

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2014	8.231,22
2015	9.167,80
2016	10.225,37
2017	12.583,40
2018	11.868,23

2019	12.105,96
2020	15.451,17
2021	18.657,32
2022	17.466,80
2023	21.050,12

(Sumber: Badan Pusat Statistik, Ekspor - Impor, 2023)

Pada Tabel. 1.2 perkembangan *triclesyl phosphate* rata – rata 11,64 % per tahun dengan jumlah impor tahun 2023 sebesar 21.050,12 ton.



Gambar. 1. 1 Grafik Impor *Triclesyl Phosphate* di Indonesia

Berdasarkan data – data yang sudah diplotkan pada Gambar 2. dilakukan pendekatan linier, $y = ax + b$, Maka, kebutuhan impor *triclesyl phosphate* pada tahun 2028 berdasarkan pendekatan linier:

$$y = 12.013x + 11.820$$

$$y = 12.013(15) + 11.820$$

$$y = 29.835 \text{ ton}$$

Dimana:

y : Kebutuhan impor *triclesyl phosphate* (ton/tahun)

x : Tahun ke (15)

1.5 Kapasitas Pabrik

Kapasitas produksi suatu pabrik biasanya ditentukan berdasarkan analisis mendalam terhadap kebutuhan komersial produk dalam negeri serta potensi untuk mengurangi ketergantungan pada impor melalui substitusi produk yang dihasilkan dalam negeri. Dalam hal ini, kapasitas produksi pabrik *triclesyl phosphate* ditetapkan dengan mempertimbangkan data impor yang mencapai 29.835 ton per tahun, sebagaimana dilaporkan oleh sumber-sumber terpercaya seperti Badan Pusat Statistik. Data ini mengindikasikan adanya permintaan yang tinggi terhadap produk tersebut di pasar domestik, yang selama ini dipenuhi melalui impor. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan mendukung kebijakan substitusi impor, kapasitas produksi pabrik *triclesyl phosphate* ditentukan sebesar 20.000 ton per tahun. Langkah ini diambil sebagai bagian dari strategi untuk memperkuat kemandirian industri nasional serta memastikan ketersediaan produk yang mencukupi untuk pasar dalam negeri.

1.6 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik didasarkan atas beberapa pertimbangan yang lebih menguntungkan baik dari segi teknis maupun ekonomis. Keberadaan suatu pabrik juga akan berpengaruh pada keadaan masyarakat dan lingkungan di sekitarnya. Beberapa pertimbangan yang diperlukan untuk pemilihan lokasi pabrik antara lain: pabrik dekat dengan sumber bahan baku, letak dengan pasar penunjang, transportasi, tenaga kerja, kondisi sosial dan kemungkinan pengembangan di masa mendatang.

Pabrik *tricresyl phosphate* dari *cresol* dan *phosphorus oxychloride* direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri Katibung Kecamatan Katibung Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.



Gambar. 1. 2 Lokasi Kawasan Industri Katibung, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung

(Sumber: Google Maps. Diakses pada 28 September 2023)

Pemilihan lokasi merupakan hal yang penting dalam perancangan suatu pabrik, karena berhubungan dengan nilai ekonomis dari pabrik yang akan didirikan. Pabrik *tricresyl phosphate* ini direncanakan akan didirikan di daerah Kawasan Industri Katibung Kecamatan Katibung Kabupaten Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

Faktor-faktor dalam pemilihan lokasi pabrik antara lain:

1.6.1 Ketersediaan Bahan Baku dan Lokasi Pemasaran

Pabrik sebaiknya didirikan tidak jauh dari lokasi penyediaan bahan baku dan pemasaran produk, hal ini dilakukan dengan harapan dapat menekan biaya transportasi. Selain itu, sebaiknya pabrik didirikan di lokasi yang dekat dengan tiga Pelabuhan laut yaitu Pelabuhan Bakauheni, Pelabuhan Ketapang dan Pelabuhan Panjang untuk bahan baku atau produk yang dikirim dari dan ke luar negeri.

Bahan baku pabrik *tricresyl phosphate* yaitu cresol yang didapatkan dari PT Lanxess yang diimpor dari Jerman dan *phosphorus oxychloride* juga diimpor dari PT Lanxess, Jerman atau PT Great Lake Chemical Corp, USA. Untuk katalis magnesium klorida diimpor dari PT Weifang Haizhiyuan Chemistry and Industry Cina.

Daerah Lampung Selatan merupakan daerah yang strategis untuk mendirikan pabrik *tricresyl phosphate*. Provinsi Lampung masih memiliki ketersediaan lahan yang lebih luas dibanding daerah di Pulau Jawa. Selain itu, harga tanah di Provinsi Lampung relatif lebih murah daripada harga tanah di Pulau Jawa sehingga untuk pabrik *tricresyl phosphate* melakukan perluasan lahan akan mudah.

Kecamatan Katibung Kabupaten Lampung Selatan merupakan daerah strategis karena terletak di Sumatera bagian selatan dan merupakan wilayah pelabuhan (berbatasan dengan selat sunda), sehingga berdekatan dengan kawasan industri Jabodetabek yang merupakan pusat untuk memperluas pemasaran dan perdagangan *tricresyl phosphate* antar pulau atau kota.

Terdapat beberapa pabrik yang membutuhkan *tricresyl phosphate* seperti PT Wiharta Karya Agung, PT Asahimas Chemical sebagai pabrik pembuat PVC dan plastik, lalu PT Three Lines Indonesia yang bergerak di industri kabel, serta PT Atlantic Ocean Paint yang merupakan perusahaan cat kayu.

1.6.2 Utilitas

Dalam proses produksi dibutuhkan utilitas sebagai sarana pendukung berjalannya produksi sebuah pabrik. Adapun sarana tersebut yaitu air, listrik, bahan bakar dan lain-lain. Hal ini juga menjadi faktor penting dalam penentuan lokasi pabrik karena lokasi yang dekat dengan sarana tersebut dapat menguntungkan bagi pabrik.

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam suatu pabrik, baik untuk proses, pendinginan, atau kebutuhan lainnya. Sungai yang mengalir di daerah ini adalah Way Katibung, sungai ini yang nantinya akan di gunakan sebagai sumber air industri. Sedangkan tenaga listrik direncanakan akan disuplai secara eksternal dari PLN Lampung unit pembangkit PLTU Tarahan dan generator apabila terjadi gangguan Listrik

1.6.3 Sarana Transportasi

Letak geografis pabrik di provinsi Lampung cukup strategis, karena berdekatan dengan kawasan Jabodetabek yang merupakan pusat pengembangan nasional dan juga daerah lainnya di Sumatera. Hal ini merupakan peluang untuk memperluas jaringan pemasaran. Pemasaran produk tidak lepas dari sistem transportasi yang tersedia di provinsi Lampung. Lampung memiliki 3 pelabuhan besar yakni, pelabuhan Bakauheni, Ketapang dan Pelabuhan Panjang yang efektif untuk bongkar muatan kapal yang mengangkut sehingga mempermudah proses distribusi produk.

1.6.4 Tenaga Kerja

Berdirinya sebuah pabrik akan membuka banyak lapangan pekerjaan bagi masyarakat. Namun untuk menunjang keberlangsungan pabrik, dibutuhkan. Berdasarkan data Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) Kabupaten Lampung Selatan tahun 2022 adalah 5,31% lebih besar dari Provinsi Lampung yaitu sebesar 4,52% (Bappeda Provinsi Lampung, 2023). Dengan dibangunnya pabrik di Kabupaten Lampung Selatan, diharapkan agar dapat mengurangi tingkat pengangguran di daerah tersebut.

1.6.5 Kondisi Geografis

Secara geografis, wilayah Kabupaten Lampung Selatan terletak antara 105.14' sampai dengan 105, 45' Bujur Timur dan 5,15' sampai dengan 6 Lintang Selatan. Letak geografis ini menyebabkan Kabupaten Lampung Selatan memiliki iklim tropis humid. Kabupaten Lampung Selatan memiliki suhu tertinggi dan terendah antara 21,20°C dan 34,10°C. Kabupaten Lampung Selatan merupakan daerah tropis, dengan curah hujan rata-rata 161,7 mm/bulan dan rata-rata jumlah hari hujan 15 hari/bulan (BPKP Provinsi Lampung, 2023).

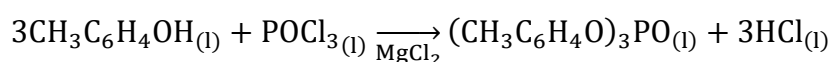
BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Jenis – Jenis Proses

Untuk membuat suatu produk, diperlukan seleksi proses yang akan digunakan untuk menghasilkan produk yang diinginkan. Pemilihan proses ini dilakukan agar nantinya proses dapat berjalan dengan efisien sesuai dengan pertimbangan aspek – aspek yang ada, seperti bahan baku utama, bahan baku penunjang, sistem utilitas, hingga biaya produksi yang dibutuhkan. Dalam proses pembuatan *tricresyl phosphate* ini terdapat dua proses yang sering digunakan, yaitu pembuatan *tricresyl phosphate* dengan bahan baku cresol dan *phosphorus oxychloride* (POCl₃) dengan katalis MgCl₂ dan pembuatan *tricresyl phosphate* dengan bahan baku cresol dan *phosphorus pentachloride* (PCl₅).

2.1.1 Pembuatan *Tricresyl Phosphate* dengan Bahan Baku *Cresol* dan *Phosphorus Oxychloride* (POCl₃) menggunakan Katalis MgCl₂



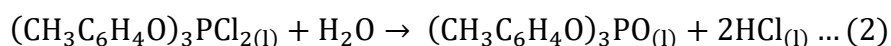
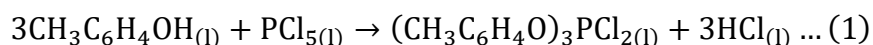
(100°C – 200°C, 1 atm)

Reaksi antara cresol dan phosphorus oxychloride dijalankan dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada suhu 100-200°C dan tekanan atmosferis. Perbandingan mol reaksi antara antara cresol dan *phosphorus oxychloride* yaitu 3:1 dengan waktu reaksi diantara 1-3 jam. Konversi yang diperoleh berdasarkan cresol sebesar 93-98%. (US Patent 2,960,524).

Katalis yang digunakan adalah katalis klorida *Anhydrous Friedel-Crafts* berbentuk bubuk seperti Al, Fe, Cr, Ti, Sn, Zn, Mg atau Ca. (US Patent 2,870,292). Katalis yang paling efektif untuk digunakan adalah magnesium klorida, karena dapat mempertahankan campuran reaksi berada pada fase cair sehingga mudah dalam proses pengadukan. Jumlah katalis yang digunakan antara 1-10% mol *phosphorus oxychloride* tetapi yang lebih sering digunakan 5%. (US Patent 2,960,524).

2.1.2 Pembuatan Tricresyl Phosphate dengan Bahan Baku Cresol dan Phosphorus Pentachloride (PCl₅).

Salah satu proses dalam pembuatan *tricresyl phosphate* adalah dengan mereaksikan senyawa cresol dengan *phosphorus pentachloride*, dengan reaksi sebagai berikut.



Dalam pembuatan *tricresyl phosphate* dengan bahan baku cresol dan *phosphorus pentachloride* adalah sebagai berikut. Cresol diinputkan ke dalam reaktor kemudian ditambahkan PCl₅ secara perlahan. Penambahan secara kontinyu dengan laju alir 5 lb per menit untuk 900 lb cresol. Air hangat yang berisi sejumlah uap air dihembuskan ke dasar reaktor. Panas reaktor didapat dari reaksi eksotermis dan temperature dipelihara pada suhu 80°C dengan cara mengatur laju alir penambahan PCl₅. Setelah semua PCl₅ dimasukkan laju udara dari uap air dilanjutkan sampai reaksi hidrolisis sempurna. HCl yang diperoleh diambil dan dipindahkan ke system recovery. *Tricresyl phosphate* mentah kemudian dipindahkan dari reaktor dan dimurnikan. Konversi yang diperoleh sekitar 85 sampai 90 % dengan basis berat cresol (Faith *et al.*, 1975).

Dari uraian proses di atas, perbandingan proses dilakukan berdasarkan analisa dari kondisi operasi dan alat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel. 2. 1 Perbandingan Proses Pembuatan *Tricresyl Phosphate*

No.	Aspek Perbandingan	<i>Tricresyl Phosphate</i> dari Cresol dan POCl ₃	<i>Tricresyl Phosphate</i> dari Cresol dan PCl ₅
1.	Fase Reaksi	Cair – cair	Cair – cair
2.	Suhu Operasi	150°C	90°C
3.	Tekanan Operasi	1,5 atm	<1 atm
4.	Katalis	MgCl ₂	-
5.	Bahan Pembantu	Tanpa Bahan Pembantu	H ₂ O
6.	Konversi	93%	85%
7.	Yield	88%	85%
7.	Produk intermediet	-	tris(4-metoksifenoksi)fosfin diklorida

Berdasarkan perbandingan pada Tabel. 2.1, maka dipilih proses pembuatan *tricresyl phosphate* menggunakan bahan baku Cresol dan POCl₃ dengan bantuan katalisator magnesium klorida (MgCl₂). Proses ini memberikan *yield* yang tinggi sebesar 88% tanpa membutuhkan air sebagai bahan baku tambahan, dengan teknologi proses juga lazim digunakan saat ini. Walaupun memerlukan katalis dan biaya bahan baku tambahan, namun hal ini pantas dilakukan karena harga dari katalis MgCl₂ masih relatif terjangkau dan *yield* yang dihasilkan juga lebih tinggi serta durasi reaksi yang lebih singkat. Proses ini dapat menghasilkan produk pembuatan *tricresyl phosphate* dengan kemurnian hingga 99% tanpa menghasilkan produk samping sehingga dinilai menguntungkan secara ekonomi. Sedangkan pada proses pembuatan *tricresyl phosphate* menggunakan bahan baku Cresol dan PCl₅, memiliki kekurangan dimana pada reaksinya membutuhkan air sebanyak 801.661,212 kg/tahun untuk produksi *tricresyl phosphate* serta reaksi lebih rumit karena ada hasil intermediet sehingga perlu penanganan lanjutan.

2.2 Pemilihan Proses

Proses manufaktur di pabrik kimia melibatkan berbagai sistem yang saling berinteraksi dan terintegrasi dalam teknologi proses. Komponen utama dari pabrik kimia terdiri dari sistem reaksi dan sistem pemisahan serta pemurnian. Sistem reaksi bertanggung jawab untuk mengonversi bahan mentah menjadi produk akhir, dengan reaktor sebagai inti dari proses ini. Sementara itu, sistem pemisahan dan pemurnian berfungsi untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang dipersyaratkan oleh pasar, sehingga layak untuk dipasarkan.

Dalam konteks pembuatan *tricresyl phosphate*, terdapat dua pendekatan utama yang dapat digunakan: pertama, menggunakan bahan baku cresol dan *phosphorus oxychloride* (POCl_3), dan kedua, menggunakan cresol dan *phosphorus pentachloride* (PCl_5). Masing-masing proses memiliki kelebihan dan kekurangannya, baik dari segi teknis maupun ekonomis.

Proses menggunakan cresol dan POCl_3 beroperasi pada suhu yang lebih tinggi (150°C) dan tekanan yang sedikit lebih tinggi (1,5 atm). Proses ini juga memerlukan katalis MgCl_2 , yang dapat meningkatkan efisiensi reaksi, namun menambah kompleksitas operasional. Salah satu keunggulan utama dari proses ini adalah konversi yang tinggi yaitu 93% dan *yield* yang lebih baik sebesar 88%, yang menunjukkan bahwa lebih banyak bahan baku diubah menjadi produk akhir dengan sedikit limbah. Proses ini tidak memerlukan bahan pembantu tambahan, yang menyederhanakan operasional lebih lanjut.

Di sisi lain, proses menggunakan cresol dan PCl_5 beroperasi pada suhu yang lebih rendah sebesar 90°C dan tekanan di bawah atmosfer, yang mungkin memungkinkan penggunaan peralatan yang lebih sederhana dan lebih hemat energi. Proses ini tidak memerlukan katalis, tetapi memerlukan air sebagai bahan pembantu, yang mungkin memerlukan langkah tambahan untuk pemurnian produk akhir. Meskipun konversi sebesar 85% dan *yield* sebesar 85% yang mana sedikit lebih rendah dibandingkan dengan proses POCl_3 ,

proses ini memiliki keuntungan dalam hal suhu dan tekanan operasi yang lebih rendah, yang dapat mengurangi biaya energi dan peralatan.

Oleh karena itu, pemilihan proses yang tepat harus didasarkan pada analisis mendalam dari aspek ekonomi dan termodinamika. Proses dengan POCl_3 mungkin lebih cocok untuk situasi di mana efisiensi tinggi dan minimisasi limbah menjadi prioritas, sementara proses dengan PCl_5 bisa lebih menguntungkan jika biaya energi dan kesederhanaan operasional lebih diutamakan. Tujuan akhirnya adalah untuk memilih metode yang paling menguntungkan dari segi biaya, efisiensi energi, serta investasi peralatan, sehingga mampu memberikan nilai tambah maksimal bagi produksi *triclesyl phosphate*.

2.2.1 Berdasarkan Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik per kg produk yang dihasilkan pada masing-masing proses yang akan digunakan. Berikut perbandingan keuntungan yang diperoleh melalui kedua proses di atas.

2.2.1.1 Pembuatan *Triclesyl Phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Oxychloride*

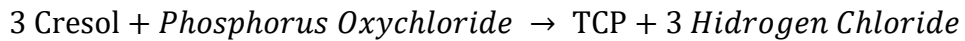
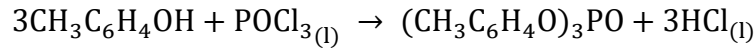
Salah satu proses dalam pembuatan *triclesyl phosphate* adalah dengan mereaksikan senyawa cresol dengan *phosphorus pentachloride*.

Tabel. 2. 2 Harga Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan *Triclesyl Phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Oxychloride*

No.	BM	Nama	Senyawa	\$/Unit
1.	36,5	Asam Klorida	HCl	0,45/kg
2.	153,33	<i>Phosphorus Oxychloride</i>	POCl_3	1,00/kg
3.	108,14	Cresol	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	1,00/kg
4.	386,36	<i>Triclesyl phosphate</i>	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$	6,00/kg
5	95	Magnesium Klorida	MgCl_2	0,51/kg

(Sumber: <http://www.alibaba.com> (diakses pada 23 September 2023))

Dengan reaksi:



Basis 1 kg *tricresyl phosphate*

$$\text{BM} = 356,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{maka, mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} = \frac{1 \text{ kg}}{356,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}$$

$$\text{maka, mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} = 2,588 \text{ kmol}$$

$$\text{Konversi} = 93\%$$

	$3\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	+	POCl_3	$\rightarrow$	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$	+	3HCl
Mula	8,3492		2,7831		0,000		0,000
Reaksi	7,7648		2,5883		2,5883		7,7648
Sisa	0,5844		0,1948		2,5883		7,7648

$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$:

$$= 3 \times \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} \times \text{BM } \text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$$

$$= \frac{7,7648 \text{ kmol} \times 108,14 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{93\%}$$

$$= 902,86 \text{ gram}$$

$$= 0,90286 \text{ kg}$$

POCl_3 yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$:

$$= \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} \times \text{BM } \text{POCl}_3$$

$$= \frac{2,5883 \text{ kmol} \times 153,33 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{93\%}$$

$$= 426,73 \text{ gram}$$

$$= 0,42673 \text{ kg}$$

HCl yang dihasilkan dari produksi 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$:

$$= 3 \times \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} \times \text{BM HCl}$$

$$= \frac{7,7648 \text{ kmol} \times 36,5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{93\%}$$

$$= 283,4 \text{ gram}$$

$$= 0,2834 \text{ kg}$$

Kapasitas produksi *tricresyl phosphate* sebesar:

$$= \frac{20.000.000 \text{ kg } \textit{tricresyl phosphate}}{\text{tahun}}$$

$$= \frac{63.636,4 \text{ kg } \textit{tricresyl phosphate}}{\text{hari}}$$

$$= \frac{2.651,5 \text{ kg } \textit{tricresyl phosphate}}{\text{jam}}$$

Rasio produk yang diinginkan terhadap basis perhitungan (faktor pengali):

$$= \frac{\text{tricresyl phosphate yang diharapkan}}{\text{tricresyl phosphate basis}}$$

$$= \frac{2.651,5 \text{ kg}}{1 \text{ kg}}$$

$$= 2.651,5 \text{ kg}$$

Cresol yang dibutuhkan sebesar:

$$= 0,90286 \text{ kg} \times 2.651,5$$

$$= 2.393,93329 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 57.454,39896 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 18.959.951,6568 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 18.959,95 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

Phosphorus oxychloride yang dibutuhkan sebesar:

$$= 0,42673 \text{ kg} \times 2.651,5$$

$$= 1.131,5 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 27.155,39028 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 8.961.278,7924 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 8.961,28 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

HCl yang dihasilkan sebesar:

$$= 0,2834 \text{ kg} \times 2.651,5$$

$$= 751,4351 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 18.034,4424 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 5.951.365,992 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 5.951,37 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

MgCl₂ yang dibutuhkan sebesar:

$$= (0,0132) \times 2.651,5$$

$$= 34,9998 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 839,9952 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 277.198,416 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 277,198 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

Perhitungan Ekonomi Kasar Bahan Baku

Harga Produksi:

$$= \text{Harga Cresol} + \text{Harga } Phosphorus\ Oxychloride + \text{Harga } MgCl_2$$

$$= \left(0,902 \text{ kg} \times \frac{\$1,00}{\text{kg}} \right) + \left(0,426 \text{ kg} \times \frac{\$1,00}{\text{kg}} \right) + \left(0,0132 \text{ kg} \times \frac{\$0,51}{\text{kg}} \right)$$

$$= \$0,902 + \$0,426 + \$0,006732$$

$$= \$1,334732 (\$ 1 = \text{Rp}14.738,168)$$

$$= \frac{\text{Rp}19.671,5}{\text{kg}} \text{ tricresyl phosphate}$$

Harga produk 1 kg *tricresyl phosphate*:

$$= \frac{\$6,00}{\text{kg}} (\$ 1 = \text{Rp}14.738,168)$$

$$= \frac{\text{Rp}88.429}{\text{kg}} \text{ tricresyl phosphate}$$

Harga produk HCl tiap produksi 1 kg *tricresyl phosphate*:

$$= (\text{Produk HCl yang dihasilkan tiap 1 kg } tricresyl\ phosphate) \times \text{harga HCl}$$

$$= (0,283 \text{ kg}) \times \frac{\$0,45}{\text{kg}}$$

$$= \$0,12735 (\$ 1 = \text{Rp}19.572,29)$$

$$= \frac{\text{Rp}1.877,35}{\text{kg}} \text{ tricresyl phosphate}$$

Keuntungan tiap produksi 1 kg *tricresyl phosphate*:

$$= \text{Harga produk} - \text{Biaya produksi}$$

$$= (\text{Rp}88.429 + \text{Rp}1.877,35) - (\text{Rp}19.572,29)$$

$$= \text{Rp } 70.734,068$$

2.2.1.2 Pembuatan *Tricresyl Phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Pentachloride*

Salah satu proses dalam pembuatan *tricresyl phosphate* adalah dengan mereaksikan senyawa *cresol* dengan *phosphorus pentachloride*.

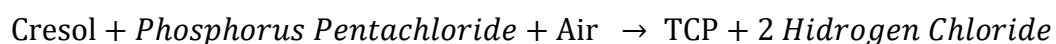
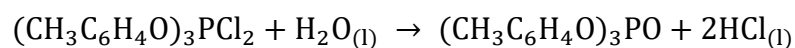
Tabel. 2. 3 Harga Bahan Baku dan Produk untuk Pembuatan *Tricresyl phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Pentachloride*

No.	BM	Nama	Senyawa	\$/Unit
1.	36,5	Asam Klorida	HCl	0,45/kg
2.	208,24	<i>Phosphorus Pentachloride</i>	PCl ₅	1,98/kg
3.	108,14	Cresol	CH ₃ C ₆ H ₄ OH	1,00/kg
4.	386,36	<i>Tricresyl phosphate</i>	(CH ₃ C ₆ H ₄ O) ₃ PO	6,00/kg
5.	95	Magnesium Klorida	MgCl ₂	0,51/kg

(Sumber: <http://www.alibaba.com> (diakses pada 23 September 2023))

Salah satu proses dalam pembuatan *tricresyl phosphate* adalah dengan mereaksikan senyawa *cresol* dengan *phosphorus pentachloride*.

Dengan reaksi 1:



Basis 1 kg *tricresyl phosphate*

$$BM = 356,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{maka, mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl} = \frac{1 \text{ kg}}{356,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}$$

$$\text{maka, mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl} = 3,0450 \text{ kmol}$$

$$\text{Konversi} = 85\%$$

	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3$	+	PCl_5	$\rightarrow$	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}$	+	2HCl
Mula	10,7471		3,5824		0,000		0,000
Reaksi	9,1350		3,0450		3,0450		9,1350
Sisa	1,6121		0,5374		3,0450		9,1350

$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2$:

$$= 3 \times \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2 \times \text{BM } \text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$$

$$= \frac{9,1350 \text{ kmol} \times 108,14 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{85\%}$$

$$= 1162,191276 \text{ gram}$$

$$= 1,16 \text{ kg}$$

PCl_5 yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2$:

$$= \text{mol}(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2 \times \text{BM } \text{PCl}_5$$

$$= \frac{3,0450 \text{ kmol} \times 208,24 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{85\%}$$

$$= 745,991959 \text{ gram}$$

$$= 0,75 \text{ kg}$$

HCl yang dihasilkan dari produksi 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2$:

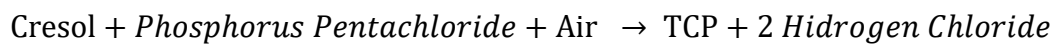
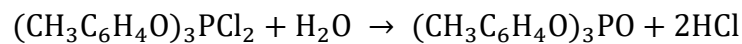
$$= 3 \times \text{mol}(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2 \times \text{BM HCl}$$

$$= \frac{9,1350 \text{ kmol} \times 36,5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{85\%}$$

$$= 333,4287437 \text{ gram}$$

$$= 0,333 \text{ kg}$$

Reaksi 2 yang terjadi:



Basis 1 kg *tricresyl phosphate*

$$\text{BM} = 356,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\text{maka, mol } \textit{tricresyl phosphate} = \frac{1 \text{ kg}}{356,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}$$

$$\text{maka, mol } \textit{tricresyl phosphate} = 3,0450 \text{ kmol}$$

Konversi = 85%

	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} + 2\text{HCl}$			
Mula	3,0450	3,0450	0,000	0,000
Reaksi	2,5883	2,5883	2,5883	5,1765
Sisa	0,4568	0,4568	2,5883	5,1765

$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2$ yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$:

$$= \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} \times \text{BM } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PCl}_2$$

$$= \frac{2,5883 \text{ kmol} \times 44,36 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{85\%}$$

$$= 1343,946213 \text{ gram}$$

$$= 1,34 \text{ kg}$$

H_2O yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$:

$$= \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} \times \text{BM } \text{H}_2\text{O}$$

$$= \frac{2,5883 \text{ kmol} \times 18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{85\%}$$

$$= 54,81020444 \text{ gram}$$

$$= 0,054 \text{ kg}$$

HCl yang dihasilkan dari produksi 1 kg $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$:

$$= 2 \times \text{mol } (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO} \times \text{BM HCl}$$

$$= \frac{5,1765 \text{ kmol} \times 36,5 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}}{85\%}$$

$$= 188,9429548 \text{ gram}$$

$$= 0,19 \text{ kg}$$

Kapasitas produksi *tricresyl phosphate* sebesar:

$$= \frac{20.000.000 \text{ kg } \textit{tricresyl phosphate}}{\text{tahun}}$$

$$= \frac{63.636,4 \text{ kg } \textit{tricresyl phosphate}}{\text{hari}}$$

$$= \frac{2.651,5 \text{ kg } \textit{tricresyl phosphate}}{\text{jam}}$$

Rasio produk yang diinginkan terhadap basis perhitungan (faktor pengali):

$$= \frac{\textit{tricresyl phosphate yang diharapkan}}{\textit{tricresyl phosphate basis}}$$

$$= \frac{2.651,5 \text{ kg}}{1 \text{ kg}}$$

$$= 2.651,5 \text{ kg}$$

Cresol yang dibutuhkan sebesar:

$$= 1,16 \text{ kg} \times 2.651,5$$

$$= 3.075,74 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 73.817,76 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 24.359.860,8 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 24.359,86 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

Phosphorus Pentachloride yang dibutuhkan sebesar:

$$= 0,75 \text{ kg} \times 2.651,5$$

$$= 1.988,625 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 47.727 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 15.749.910 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 15.749,9 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

H₂O yang dihasilkan sebesar:

$$= 0,054 \text{ kg} \times 2.651,5$$

$$= 143,181 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 3.436,344 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 1.133.993,52 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 1.133,993 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

HCl yang dihasilkan sebesar:

$$= (0,333 \text{ kg} + 0,19 \text{ kg}) \times 2.651,5$$

$$= 1.386,7345 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 33.281,628 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 10.982.937,24 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 10.982,937 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

MgCl₂ yang dibutuhkan sebesar:

$$= (0,0145) \times 2.651,5$$

$$= 38,44675 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$= 922,722 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}$$

$$= 304.498,26 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}$$

$$= 304,5 \frac{\text{ton}}{\text{tahun}}$$

Perhitungan Ekonomi Kasar Bahan Baku

Harga Produksi:

$$= \text{Harga Cresol} + \text{Harga } Phosphorus \text{ Pentachloride} + \text{Harga } MgCl_2$$

$$= \left(1,16 \text{ kg} \times \frac{\$1,00}{\text{kg}} \right) + \left(0,75 \text{ kg} \times \frac{\$1,98}{\text{kg}} \right) + \left(0,0145 \text{ kg} \times \frac{\$0,51}{\text{kg}} \right)$$

$$= \$1,16 + \$1,485 + \$0,007395$$

$$= \$2,652395 (\$ 1 = \text{Rp}14.738,168)$$

$$= \frac{\text{Rp}39.091,4}{\text{kg}} \text{ tricresyl phosphate}$$

Harga produk 1 kg *tricresyl phosphate*:

$$= \frac{\$6,00}{\text{kg}} (\$ 1 = \text{Rp}14.738,168)$$

$$= \frac{\text{Rp}88.429}{\text{kg}} \text{ tricresyl phosphate}$$

Harga produk HCl tiap produksi 1 kg *tricresyl phosphate*:

$$= (\text{Produk HCl yang dihasilkan tiap 1 kg } \text{tricresyl phosphate}) \\ \times \text{harga HCl}$$

$$= (0,523 \text{ kg}) \times \frac{\$0,45}{\text{kg}}$$

$$= \$0,23535 \text{ } (\$ 1 = \text{Rp}19.572,29)$$

$$= \frac{\text{Rp}3.468,6}{\text{kg}} \text{ triclesyl phosphate}$$

Keuntungan tiap produksi 1 kg *triclesyl phosphate*:

$$= \text{Harga produk} - \text{Biaya produksi}$$

$$= (\text{Rp}88.429 + \text{Rp}3.468,6) - (\text{Rp}38.584,5)$$

$$= \text{Rp}53.313,1$$

Tabel. 2. 4 Perbandingan Biaya Produksi Pembuatan *Triclesyl Phosphate*

Proses	Harga per 1 kg Produk <i>Triclesyl Phosphate</i>		
	Biaya Produksi	Harga Produk	Keuntungan
Pembuatan <i>Triclesyl Phosphate</i>			
dari <i>Cresol</i> dan <i>Phosphorus Oxychloride</i> (POCl_3)	Rp19.671,5	Rp90.306,35	Rp70.634,8
Pembuatan <i>Triclesyl Phosphate</i>			
dari <i>Cresol</i> dan <i>Phosphorus Pentachloride</i> (PCl_5)	Rp39.091,4	Rp91.897,6	Rp52.806,2

Berdasarkan perhitungan ekonomi kasar, pembuatan *Triclesyl Phosphate* dari *Cresol* dan *Phosphorus Oxychloride* lebih menguntungkan yaitu Rp70.734,1/kg produk sehingga proses inilah yang akan dipilih.

2.2.2 Berdasarkan Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis). Penentuan panas reaksi yang berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada $P = 1 \text{ atm}$ dan $T = 298 \text{ K}$ serta perhitungan energi Gibbs (ΔG°_f).

2.2.2.1 Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f)

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui panas reaksi dan reaksi berlangsung secara spontan atau tidak, serta arah reaksi (*reversible* atau *irreversible*). Ditinjau dari segi termodinamika dengan harga – harga ΔH°_f masing – masing komponen pada suhu 25°C (298 K).

Tabel. 2. 5 Nilai ΔH°_f pada Setiap Komponen pada Suhu 298 K

No.	Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
1.	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$	-851
2.	HCl	-92,3
3.	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	-128,62
4.	POCl_3	-558,5

(Sumber: Yaws, 1999)

Maka,

$$\Delta H^\circ_R = \sum (\Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan})$$

$$\Delta H^\circ_R = \{(\Delta H^\circ_f (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}) + (3 \times \Delta H^\circ_f \text{ HCl})\} \\ - \{(3 \times \Delta H^\circ_f (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})) + (\Delta H^\circ_f \text{ POCl}_3)\}$$

$$\Delta H^\circ_R = \left\{ \left(-851 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + \left(3 \times \left(-92,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right) \right\} \\ - \left\{ \left(3 \times \left(-128,62 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right) + \left(-558,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right\}$$

$$\Delta H_R^0 = -1.127,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 385,86 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 558,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_R^0 = -183,54 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_R^0 = -183.540 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Didapatkan harga ΔH_R^0 yang dihasilkan bernilai negatif, maka reaksi bersifat eksotermis

2.2.2.2 Energi Bebas Gibbs (ΔG^0_f)

Perhitungan energi gibbs (ΔG^0_f) digunakan untuk menentukan arah reaksi. ΔG^0_f bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar yang cukup besar. Sedangkan ΔG^0_f bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan. Berikut merupakan Harga ΔG^0_f masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel. 2.6 berikut.

Tabel. 2. 6 Nilai ΔG^0_f pada Setiap Komponen pada Suhu 298 K

No.	Komponen	ΔG^0_f (kJ/mol)
1.	$(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$	-1.350,82
2.	HCl	-95,3
3.	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$	-37,07
4.	POCl_3	-512,9

(Sumber: Yaws, Carl L., 1999)

Maka,

$$\Delta G_R^0 = \sum (\Delta G_f^0 \text{ Produk} - \Delta G_f^0 \text{ Reaktan})$$

$$\Delta G_R^0 = \{(\Delta G_f^0 (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}) + (3 \times \Delta G_f^0 \text{HCl})\} \\ - \{(3 \times \Delta G_f^0 (\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})) + (\Delta G_f^0 \text{POCl}_3)\}$$

$$\Delta G_R^0 = \left\{ \left(-1.350,82 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + \left(3 \times \left(-95,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right) \right\} \\ - \left\{ \left(3 \times \left(-37,07 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right) + \left(-512,9 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right\}$$

$$\Delta G_R^0 = -1.636,72 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} - (-624,11) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_R^0 = -1.012,61 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta G_R^0 = -1.012.610 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

Nilai konstanta kesetimbangan pada keadaan standar:

$$\Delta G_{R(298)}^0 = -RT \ln K_{(298)}$$

$$\ln K_{(298)} = \frac{\Delta G_{R(298)}^0}{-RT}$$

$$\ln K_{(298)} = \frac{-1.012,61 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{-\frac{0,008314}{\text{mol}} \text{K} \times (298\text{K})}$$

$$\ln K_{(298)} = 408,7106$$

$$K_{(298)} = e^{408,7106}$$

$$K_{(298)} = 3,1679 \times 10^{77}$$

$$\ln \frac{K_{(423)}}{3,1679 \times 10^{77}} = \frac{(-183,54) \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}}{-\frac{0,008314}{\text{mol}} \text{K}} \left[\frac{1}{423\text{K}} - \frac{1}{298\text{K}} \right]$$

$$\ln \frac{K_{(423)}}{3,1679 \times 10^{77}} = -27,40825$$

$$\ln \frac{K_{(423)}}{3,1679 \times 10^{77}} = e^{-27,40825}$$

$$\frac{K_{(423)}}{3,1679 \times 10^{77}} = 1,2495 \times 10^{165}$$

$$K_{(423)} = 3,9584 \times 10^{165}$$

$$K = \frac{k_1}{k_2}$$

$$K = 8,003 \times 10^{11}$$

Sehingga,

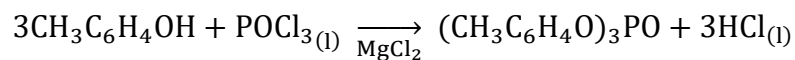
$$\ln K_{(423)} = \frac{\Delta G_{R(473)}^{\circ}}{-RT}$$

$$\ln(3,9584 \times 10^{165}) = \frac{\Delta G_{R(423)}^{\circ}}{-\frac{0,008314}{\text{mol}} K \times (423\text{K})}$$

$$\Delta G_{R(423)}^{\circ} = -1.499,4799 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Nilai yang didapat bernilai negatif (-), sehingga reaksi pada suhu 423 K berjalan spontan. Untuk harga konstanta kesetimbangan K (k_1/k_2) relatif besar dimana harga k_2 lebih kecil dibandingkan dengan harga k_1 sehingga reaksi dianggap berlangsung secara *irreversible*.

2.2.2.3 Kinetika Reaksi



(150°C, 1,5 atm)

Berdasarkan penelitian kinetika reaksi Miroslav Magura (1988) reaksi pembentukan *tricresyl phosphate* dari cresol dan *phosphorus oxychloride* merupakan reaksi orde 2, sehingga kecepatan reaksi tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$-r_A = kC_A C_B$$

Dengan,

$$-r_A = \text{laju reaksi} \left(\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \text{jam} \right)$$

$$k = \text{konstanta laju reaksi} \left(\frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \text{jam} \right)$$

$$C_A = \text{konsentrasi cresol} \left(\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right)$$

$$C_B = \text{konsentrasi phosphorus oxychloride} \left(\frac{\text{mol}}{\text{dm}^3} \right)$$

Tabel. 2. 7 Nilai k pada Suhu 90 – 110°C

No.	T (°C)	k (dm ³ /mol.jam)
1.	90	0,013
2.	95	0,015
3.	100	0,048
4.	110	0,087

(Sumber: Magura et al., 1988)

Untuk mendapatkan nilai k pada suhu operasi reaktor dilakukan ekstrapolasi dari data yang tersaji pada Tabel. 2.7 menggunakan pendekatan persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

Dengan,

$$k = \text{konstanta laju reaksi} \left(\frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \text{jam} \right)$$

A = faktor frekuensi tumbukan reaksi (faktor pre

$$- \text{eksponensial} \left(\frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \text{jam} \right)$$

$$E_a = \text{energi atau tenaga aktivasi reaksi} \left(\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \text{ atau } \frac{\text{J}}{\text{mol}} \right)$$

T = suhu absolut (K)

Linierisasi persamaan menjadi:

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Dengan melakukan regresi linear, persamaan didekati dengan bentuk persamaan linear sebagai berikut:

$$Y = A' + BX$$

Keterangan:

$$Y = \ln k$$

$$A' = \ln A$$

$$B = -\frac{E_a}{R}$$

$$X = \frac{1}{T}$$

Menggunakan persamaan least square maka nilai A dan E_a dapat ditentukan sehingga proses ekstrapolasi nilai k pada suhu yang diinginkan dapat dilakukan:

$$\sum Y = A'n + B \sum X$$

$$\sum XY = A' \sum X + B \sum X_2$$

Tabel. 2. 8 Data Linearisasi

T (°C)	T (K)	k	Y = ln k	X = 1/T	XY	X ²	Y ²
90	363	0,013	-2,90042	0,002755	-0,0079	7,58E-06	8,4124
95	368	0,015	-2,38597	0,002717	-0,0064	7,38E-06	5,6928
100	373	0,048	-2,00248	0,002681	-0,0053	7,18E-06	4,0099
110	383	0,087	-1,42712	0,002611	-0,0037	6,81E-06	2,0366
Jumlah			-8,71599	0,010764	-0,0235	2,89E-05	20,1518

Substitusi nilai terhitung berdasarkan Tabel. 2. 8. diatas kedalam persamaan *least square* menjadi:

$$-8,71599 = 4 A + 0,010764 B$$

$$-8,71599 = 0,010764 A + 0,0000289 B$$

Eliminasi persamaan, menjadi:

$$-8,71599 = 4 A + 0,010764 B$$

$$-8,71599 = 0,010764 A + 0,0000289 B (\times 0,0176)$$

$$-0,15340142 = 0,04306 A + 0,000115867 B (\times 4)$$

$$-0,15157 = 0,04306 A + 0,000115912 B$$

$$0,000646 = -0,000000045102952 B$$

$$B = -14331,01731$$

Substitusi nilai B:

$$-8,71599 = 4 A + 0,01076 (-14331,01731)$$

Diperoleh:

$$B = -10061,5601$$

$$A = 24,8970$$

$$\ln A = 24,8970$$

$$A = e^{24,8970}$$

$$A = 6.495.902.672.5$$

$$k_{(423)} = 6.495.902.672.5 \exp\left(-\frac{10061,5601}{423}\right)$$

$$k_{(423)} = 3,0368 \frac{\text{dm}^3}{\text{mol}} \text{jam}$$

BAB III

BAHAN BAKU

3.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama

1. Cresol

Rumus Molekul	: $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$
Berat Molekul	: 108,14 kg/kmol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: 203°C
Densitas	: 1,135 g/ml
Viskositas	: 35,06 cP
Kemurnian	: 99,5%
<i>Impurities</i>	: <i>Phenol</i> ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)
<i>Flammable</i>	: Lower 1,3%
Kelarutan dalam air	: 2,5g/100ml pada 20 – 25°C
Sifat Bahan	: Mudah terbakar, non volatile dan korosif

2. *Phosphorus Oxychloride*

Rumus Molekul	: POCl_3
Berat Molekul	: 153,33 kg/kmol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: 223°C
Densitas	: 1,645 g/ml
Viskositas	: 1,157 cP
Kemurnian	: 99,99%
<i>Impurities</i>	: PCl_3
Sifat Bahan	: Tidak mudah meledak, korosif dan <i>volatile</i>
Kelarutan	: Reaktif terhadap air

3.2 Spesifikasi Bahan Baku Pendukung

1. Magnesium Klorida

Rumus Molekul	: MgCl_2
Berat Molekul	: 95,21 kg/kmol
Wujud	: powder (bubuk)
Titik Didih	: 1412°C
Titik Lebur	: 714°C
Densitas	: 2,33 g/ml
Kemurnian	: 99,5%
Kelarutan dalam air	: 54,6 g/100ml pada suhu 20°C
Sifat Bahan	: Tidak mudah terbakar
Kelarutan	: Larut dalam air

3.3 Spesifikasi Produk

1. *Tricresyl Phosphate*

Rumus Molekul	: $(\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{O})_3\text{PO}$
Berat Molekul	: 368,37 kg/kmol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: 275°C
Densitas	: 1,165 g/ml
Viskositas	: 73,987 cP
Kemurnian	: 94%
Kelarutan	: Tidak larut dalam air
Sifat Bahan	: Mudah terbakar pada suhu tinggi

2. Hidrogen Klorida

Rumus Molekul	: HCl
Berat Molekul	: 36,46 kg/kmol
Wujud	: Cair
Titik Didih	: -84,85°C
Densitas	: 1,045 g/ml
Viskositas	: 0,045 cP
Kelarutan dalam	: 72 gr HCl/100 ml pada air 20°C:
Sifat Bahan	: Tidak mudah meledak, beracun dan korosif

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap prarancangan pabrik *tricresyl phosphate* dari *cresol* dan *phosphorus oxychloride* dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pabrik *tricresyl phosphate* beresiko tinggi karena pabrik merupakan usaha baru yang belum pernah dicoba sama sekali dengan kondisi pasar yang tidak pasti. Nilai *Percent Return of Investment* (ROI) sebelum pajak ialah 64,832% dan nilai *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 1,159 tahun, yang mana masuk dalam batasan pabrik beresiko tinggi, maka pabrik layak untuk didirikan.
2. *Break Even Point* (BEP) sebesar 35,170% dari kapasitas produksi total dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 28,384% dari kapasitas total.
3. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 42,049% lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Prarancangan pabrik *tricresyl phosphate* dari *cresol* dan *phosphorus oxychloride* dengan kapasitas produksi 20.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

American Petroleum Institute Standard 650. 1998. Welded Steel Tanks for Oil Storage, 10th ed. Washington D.C.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2017. ASTM D363-90(2000). Standard Specification for Tricresyl Phosphate (Withdrawn 2005). ASTM International. West Conshohocken, PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2017. ASTM E358-95. Test Methods for Analysis of Phosphoric Acid (Withdrawn 2000). ASTM International. West Conshohocken, PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2019. ASTM E224-16. Standard Test Methods for Analysis of Hydrochloric Acid. ASTM International. West Conshohocken, PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2019. ASTM E449-18. Standard Test Methods for Analysis of Magnesium Chloride. ASTM International. West Conshohocken, PA.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2020. ASTM D3852-20. Standard Practice for Sampling and Handling Phenol, Cresols, and Cresylic Acid. ASTM International. West Conshohocken, PA.

American Society of Mechanical Engineers. 2019. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1, Two Park Avenue. New York.

Anonim. 1997. Dowtherm A Heat Transfer Fluid: Product Technical Data. The Dow Chemical Company. USA

Aries, R.S., dan Newton, R.D. 1955. Chemical Engineering Cost Estimation. NewYork: McGraw-Hill Book Company

Bank Indonesia. 2023. Kurs Transaksi Bank Indonesia. <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/default.aspx>. Diakses pada 29 Desember 2023.

BPS Provinsi Lampung. 2023. Upah Minimum Kabupaten/Kota per Bulan di Provinsi Lampung. <https://provlampung.bps.go.id/indicator/19/185/1/upah-minimum-kabupaten-kota-perbulan.html>. Diakses pada 28 November 2023

Brown, G. 1950. Unit Operations. Brownell, L., & Young, E. (1959). Process Equipment Design. John Wiley & Sons, Inc.

Chemengonline. 2024. Plant Cost Index. <https://www.chemengonline.com/site/plant-cost.index/>. Diakses pada 13 Februari 2024

Coulson, J., & Richardson, J. 2019. Coulson and Richardson Chemical Engineering (6th ed.). Elsevier.

Faith, W., Keyes, D., & Clark, R. 1957. Industrial Chemical. John Wiley & Sons Inc.

Froment, G., & Bischoff, K. 2011. Chemical Reactor Analysis & Design. John Wiley & Sons Inc.

Geankoplis, C.J. 2003. Transport Processes and Unit Operations, 4th ed. Tokyo: Prentice-Hall International.

Geankoplis, C.J. 2003. Transport Processes and Unit Operations, 4th ed. Tokyo: Prentice-Hall International

Inchem. 2023. Pencarian untuk Tricresyl Phosphate. URL: <https://inchem.org/>. Diakses pada 17 Desember 2023.

Indiamart. 2023. Pencarian untuk Tricresyl Phosphate, Cresol. URL: <https://www.indiamart.com/>. Diakses pada 18 Desember 2023

Kern, D. 1965. Process Heat Transfer. McGraw-Hill.

Kirk-Othmer. 1950. Encyclopedia of Chemical Technology, 5, pp. 880 & 906, The Interscience Encyclopedia, Inc., New York

Magura, M., Vojtko, J., Zemanova, E., Kaszonyi, A., Ilavskyb, J., & 07222 Straiske, A. (1989). Esterification Kinetics of Phenol with Phosphoryl Trichloride. In Collect. Czech. Chem. Commun (Vol. 54).

Material Safety Data Sheet Alumunium Sulfate. <http://www.msdsalumuniumsulfate.com/>. Diakses pada 7 Februari 2024.

Material Safety Data Sheet Chlorine. <http://www.msdschlorine.com/>. Diakses pada 7 Februari 2024.

Material Safety Data Sheet Hydrazine. <http://www.msdshydrazine.com/>. Diakses pada 7 Februari 2024.

Material Safety Data Sheet Natrium Hydroxide. <http://www.msdsnatriumhydroxide.com/>. Diakses pada 7 Februari 2024

Material Safety Data Sheet Sulfuric Acid. <http://www.msdsulfuricacid.com/>. Diakses pada 7 Februari 2024.

OJK. 2024. Suku Bunga Dasar Kredit. <https://www.ojk.go.id/id/kanal/perbankan/Pages/Suku-Bunga-dasar.aspx>. Diakses pada 13 Februari 2024

Perry, R., & Green, D. (2008). Perry's Chemical Engineers Handbook.

Powell, S. T. 1954. Water Conditioning for Industry, 1st ed. New York: McGrawHill Book Company, Inc.

Praveen, Verma. 2004. Cooling Water Treatment Handbook. Albatross Fine Chem Ltd., India

PubChem. 2024. Pencarian untuk m-Cresol, Hydrochloric Acid, Natrium Hydroxide, Phosphorus Oxychloride, Tricresyl Phosphate. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. Diakses pada 5 Maret 2024.

Qasim, Syed R. 1985. Wastewater Treatment Plants 4th edition. CBS College Publishing: New York.

Rase, H.F., and Holmes, J.R. 1977. Chemical Reactor Design for Process Plant, Vol. 2: Principles and Techniques. Kanada: John Wiley & Sons Inc. Sinnott, R. 2005. Chemical Engineering Design. McGraw-Hill.

Severn, William H. and Degler, Howard E. Steam, Air and Gas Power. J. Wiley & Sons Inc: New York.

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

Timmerhaus, K., & Peters, M. 1991. Plant Design and Economics for Chemical Engineer (4th ed.). McGraw-Hill.

Treybal, R. 1984. Mass Transfer Operations. McGraw-Hill.

Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. 2000. Water Supply 5th edition. Butterworth-Heinemann: Oxford.

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

UN Data. 2023. <http://data.un.org>. Diakses pada 11 Mei 2023.

US Patent 2870192. 1957. Tricresyl Phosphate Process. United States Patent Office.

Walas, S. 1990. Chemical Process Equipment Selection and Design. Butterworth. Heinemann