

PRARANCANGAN PABRIK *DIBUTYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS 17.000 TON/TAHUN

**Tugas Khusus
Prarancangan Menara Distilasi (MD-301)**

(Skripsi)

**Oleh
WAYAN PIPIT PUSPITA
NPM 1915041061**



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

2024

PRARANCANGAN PABRIK *DIBUTYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS 17.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Prarancangan Menara Distilasi (MD-301))

Oleh

WAYAN PIPIT PUSPITA

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 *DIBUTYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS 17.000 TON/TAHUN (Prarancangan Menara Distilasi (MD-301))

Oleh
WAYAN PIPIT PUSPITA

Pabrik *Dibutyl Phthalate* ini berbahan baku *Phthalic Anhydride* dan n-Butanol, yang rencananya akan didirikan di Kecamatan Driyorejo, 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 *Dibutyl Phthalate* sebanyak 17.000 ton/tahun, dengan waktu operasi selama 24 jam/hari serta 330 hari/tahun. Banyaknya bahan baku *Phthalic Anhydride* yang digunakan adalah sebanyak 1.171,903 kg/jam dan n-Butanol sebanyak 1.464,878 kg/jam.

Penyediaan kebutuhan *utilitas* pabrik *Dibutyl Phthalate* ini berupa unit penyedia dan pengolahan air, unit penyedia *steam*, unit penyedia udara *instrument*, dan unit penyedia bahan bakar.

Jumlah karyawan sebanyak 144 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi jenis *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

<i>Fixeed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp349.794.977.997,-
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp61.728.525.529,-
<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= Rp411.523.503.526,-
<i>Break Even Point</i> (BEP)	= 42,074%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 29,686%
<i>Pay Out Time After Taxes</i> (POT) _a	= 3,026 tahun
<i>Return on Investment After Taxes</i> (ROI) _a	= 35,633%
<i>Discounted cash flow</i> (DCF)	= 42,761%
<i>Annual Net Profit</i> (Pa)	= Rp146.639.961.542,-/tahun

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

Kata kunci: Prarancangan Pabrik *Dibutyl Phthalate*, *Dibutyl Phthalate*

ABSTRACT

FACTORY PREDESIGN OF DIBUTYL PHTHALATE FROM PHTHALIC ANHYDRIDE AND N-BUTANOL WITH CAPACITY 17,000 TONS/YEARS (Distillation Tower Design (MD-301))

**By
WAYAN PIPIT PUSPITA**

This Dibutyl Phthalate factory is made from Phthalic Anhydride and n-Butanol as raw materials, which is planned to be established in Driyorejo District, Gresik Regency, East Java. This factory was established by considering the availability of raw materials, adequate transportation facilities, workforce, permits and conditions of the surrounding community.

This factory is planned to be able to produce 17,000 tons of Dibutyl Phthalate/year, with an operating time of 24 hours/day and 330 days/year. The amount of Phthalic Anhydride raw material used was 1,171,903 kg/hour and n-Butanol was 1,464,878 kg/hour.

Providing utility needs for the Dibutyl Phthalate factory is in the form of an air supply and processing unit, a steam supply unit, an air instrument supply unit, and a fuel supply unit.

The number of employees is 144 people and the company form is a Limited Liability Company (PT) with a line and staff type organizational structure.

From the economic analysis, the following results were obtained:

Fixed Capital Investment (FCI)	= IDR 349,794,977,997,-
Working Capital Investment (WCI)	= IDR 61,728,525,529,-
Total Capital Investment (TCI)	= IDR 411,523,503,526,-
Break Even Point (BEP)	= 42.074%
Closing Point (SDP)	= 29.686%
After-Tax Payment Time (POT) _a	= 3.026 years
Return on Investment After Tax (ROI) _a	= 35.633%
Discounted cash flow (DCF)	= 42.761%
Annual Net Profit (Pa)	= IDR 146,639,961,542,-/years

Based on the explanation above, the establishment of this Dibutyl Phthalate factory is worthy of further study, because it is a factory that is profitable from a further economic perspective and has relatively good prospects.

Keywords: Dibutyl Phthalate Factory Design, Dibutyl Phthalate

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK *DIBUTHYL PHTHALATE* DARI *PHTHALIC ANHYDRIDE* DAN N-BUTANOL DENGAN KAPASITAS 17.000 TON/TAHUN**
(Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi 301 (MD-301))

Nama Mahasiswa : **Wayan Pipit Puspita**

No. Pokok Mahasiswa : 1915041061

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



MENYETUJUI,
Komisi Pembimbing


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


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

Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

.....

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

.....

Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.

.....

Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng.

.....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **19 Maret 2024**

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 09 Juni 2024



Wayan Pipit Puspita

NPM. 1915041061

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Rantau Jaya Ilir, Putra Rumbia, Kab. Lampung Tengah pada tanggal 26 April 2001, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak I Wayan Sika dan Ibu Ni Nyoman Siti.

Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar Negeri (SDN) 2 Rantau Jaya Ilir (sekarang SDN 1 Mranggi Jaya) pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 3 Way Bungur pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Rumbia pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) 2019. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi sebagai Staff Departemen Edukasi Divisi SCET Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila periode 2020, Staff Departemen Riset Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila periode 2021, Anggota Bidang Kerohanian Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Hindu Universitas Lampung periode 2020, Anggota Bidang Kerohanian Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Hindu Universitas Lampung periode 2021, Staff Ahli Dinas Kajian

Strategis Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik Universitas Lampung periode 2021.

Pada tahun 2022, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sumber Agung Mataram, Kec. Seputih Mataram, Kab. Lampung Tengah. Penulis melakukan Kerja Praktik di PT Buma Cima Nusantara Unit Bungamayang, Lampung Utara dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja *Juice Heater* II pada Stasiun Pemurnian”. Penulis juga melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Rasio Massa Pati/Kitosan dan Bahan Pengisi Nanoserat Selulosa Batang Jagung terhadap Sifat Mekanik dan Fisik Bioplastik”. Pada tahun 2023 penulis mendapatkan kesempatan dan amanah sebagai asisten laboratorium Praktikum Kimia Dasar 2.

MOTTO

"Tubuh dibersihkan dengan air, pikiran disucikan dengan kebenaran, jiwa disucikan dengan pelajaran suci dan tapa brata, kecerdasan dengan pengetahuan yang benar." – Manawa Dharmasatra V. 109

"Yang membuat orang dikenal adalah hasil perbuatannya, perkataannya, dan pikirannya. Melalui ketiganya ini orang mengetahui kepribadian diri." - Sarasamuscaya 77

*"Temukanlah keabadian yang sedang kau cari di dalam dirimu sendiri."
- Yajur Weda 32.11*

"Sejauh mana orang berserah diri kepada-Ku, sejauh itulah Aku menganugerahi mereka. Semua orang menempuh jalan-Ku dalam segala hal." - Bhagawad Gita IV.1

"Ilmu tanpa agama, buta dan agama tanpa ilmu, lumpuh." - Albert Einstein

"The future depends on what you do today." - Mahatma Gandhi

"Ingatlah selalu ilmu padi"

PERSEMBAHAN

Sebuah KaryaKu

Kupersembahkan dengan sepenuh hati kepada:

Ida Sang Hyang Widhi Wasa,

karena atas asung kertha wara nugraha-Nya lah, aku dapat menyelesaikan karyaKu yang sederhana ini

Kedua orang tua dan seluruh keluarga besarku,

terima kasih atas doa dan segala pengorbanan yang telah diberikan, sehingga aku dapat menyelesaikan karya sederhana ini.

Seluruh sahabat-sahabatku,

terimakasih atas doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini.

Para pendidik,

terima kasih atas ilmu pengetahuan maupun kehidupan yang telah diberikan selama ini

Almamater kebanggaanku Universitas Lampung,

semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat

SANWACANA

Puji dan syukur dihadapan Ida Sang Hyang Widhi Wasa (Tuhan Yang Maha Esa) yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Prarancangan Pabrik *Dibutyl Phthalate* dari *Phthalic Anhydride* dan n-Butanol dengan Kapasitas 17.000 Ton/Tahun (Tugas Khusus Prarancangan Menara Distilasi (MD-301))”

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

Selama penyusunan tugas akhir ini banyak pihak yang telah membantu baik berupa doa, dukungan, kesempatan, bimbingan, petunjuk, informasi, saran dan lainnya. Melalui kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ida Sang Hyang Widhi Wasa (Tuhan Yang Maha Esa), yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga besar yang telah memberikan doa, dukungan, materi, segala bentuk perjuangan dan pengorbanan, serta ketulusan yang luar biasa kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung, Dosen Pembimbing I serta Dosen Pembimbing penelitian, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini.

6. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini.
7. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina Iryani, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc., selaku Pembimbing Akademik penulis yang telah memberikan ilmu, bimbingan, saran, dan motivasi kepada penulis.
10. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
11. Staff administrasi dan karyawan di Jurusan Teknik Kimia maupun di Fakultas Teknik Universitas Lampung.
12. Teman seperjuangan yaitu Mesa selaku partner tugas akhir dan penelitian penulis yang telah bersama-sama berjuang selama pencarian judul, bimbingan, dan penyusunan tugas akhir ini.
13. Teman-teman seperjuangan, Indah, Riska, Audhea, Mesa, Amirah, Galuh, dan Adinda selama perkuliahan dan pada saat kerja praktik yang telah membantu penulis selama melaksanakan kerja praktik di PT Buma Cima Nusantara Unit Bungamayang.
14. Teman-teman angkatan 2019, yang telah memberikan bantuan baik berupa doa, dukungan, maupun motivasi selama perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini.
15. Teman-teman Kuliah Kerja Nyata (KKN), Iga, Widya, Chintya, Andri, Aldi, dan Abshor, atas bantuan dan kerja samanya selama melaksanakan KKN di Desa Sumber Agung Mataram, Seputih Mataram, Lampung Tengah.
16. Kakak-kakak tingkat dan adek-adek tingkat yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
17. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.

18. Terakhir, terima kasih kepada diri saya sendiri yang telah berjuang untuk dapat menyusun dan menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang bermanfaat untuk menyempurnakan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat menjadi inspirasi serta menambah wawasan bagi pembacanya.

Bandar Lampung, 09 Juni 2024

Penulis,

Wayan Pipit Puspita

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GAMBAR.....	xxiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kegunaan Produk.....	3
1.3. Ketersediaan Bahan Baku.....	3

1.4. Lokasi Pabrik	4
1.5. Kapasitas Rancangan.....	6
1.5.1. Kapasitas Pabrik Dibutyl Phthalate yang telah Berproduksi	9
BAB II PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES.....	11
2.1. Konsep Proses.....	12
2.1.1. Mekanisme Reaksi	12
2.2. Tinjauan Termodinamika	13
2.3. Tinjauan Kinetika.....	17
2.4. Tinjauan Ekonomi.....	18
2.5. Uraian Proses	19
2.5.1. Tahap Persiapan Bahan Baku	19
2.5.2. Tahap Reaksi.....	19
2.5.3. Tahap Pemurnian Produk	20
BAB III SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK	21
3.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	21
3.2. Spesifikasi Bahan Pendukung.....	23
3.3. Spesifikasi Produk.....	23
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI	24
4.1. Neraca Massa	24
4.1.1. Neraca Massa Reaktor (RE-201)	25
4.1.3. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-301).....	26
4.1.4. Neraca Massa Condenser (CD-301).....	26
4.1.5. Neraca Massa Reboiler (RB-301)	27
4.1.6. Neraca Massa Cooler (CO-301).....	27
4.2. Neraca Energi	27
4.2.1. Neraca Energi Reaktor (RE-201).....	28
4.2.3. Neraca Energi Distilasi (MD-301).....	28
4.2.4. Neraca Energi Cooler (CO-301)	28

BAB V SPESIFIKASI ALAT	29
5.1. Alat Proses	29
5.1.1. Spesifikasi Tangki n-Butanol (ST-101)	29
5.1.2. Spesifikasi Tangki Asam Metanasulfonat (ST-102)	30
5.1.3. Spesifikasi Silo Storage Phthalic Anhydride (SS-101)	30
5.1.4. Spesifikasi Srew Conveyor (SC-101)	31
5.1.5. Spesifikasi Bucket Elevator (BE-101)	31
5.1.6. Spesifikasi Hopper (HO-101)	32
5.1.7. Spesifikasi Reaktor (RE-201)	33
5.1.8. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301)	34
5.1.9. Spesifikasi Condensor (CD-301)	35
5.1.10. Spesifikasi Accumulator (AC-301)	36
5.1.11. Spesifikasi Reboiler (RB-301)	37
5.1.12. Spesifikasi Cooler (CO-301)	38
5.1.13. Spesifikasi Tangki Dibutyl Phthalate (ST-301)	39
5.1.14. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	40
5.1.15. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	40
5.1.16. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	41
5.1.17. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	41
5.1.18. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	42
5.1.19. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303)	42
5.2. Alat Utilitas	43
5.2.1. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401)	43
5.2.2. Spesifikasi Tangki Alumina Silikat (ST-401)	44
5.2.3. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST- 402)	45
5.2.4. Spesifikasi Tangki NaOH (ST-403)	46
5.2.5. Spesifikasi Clarifier (CL-401)	47
5.2.6. Spesifikasi Sand Filter (SF-01)	48
5.2.7. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404)	49
5.2.8. Spesifikasi Tangki Penyimpanan Air Domestik (ST-405)	50
5.2.9. Spesifikasi Tangki Air Hidrant (ST-406)	51
5.2.10. Spesifikasi Hot Basin (HB-401)	52

5.2.11. Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-407).....	53
5.2.12. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-408)	54
5.2.13. Spesifikasi Cooling Tower (CT-401)	55
5.2.14. Spesifikasi Cold Basin (HB-401).....	56
5.2.15. Spesifikasi Tangki H ₂ SO ₄ (ST-406)	57
5.2.16. Spesifikasi Cation Exchanger (CE-401).....	58
5.2.17. Spesifikasi Anion Exchanger (AE-401)	59
5.2.18. Spesifikasi Tangki Air Demin (ST-410)	60
5.2.19. Spesifikasi Tangki Air Kondensat (ST-411)	61
5.2.20. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-412)	62
5.2.21. Spesifikasi Deaerator (DE-401).....	63
5.2.22. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-413).....	64
5.2.23. Spesifikasi Tangki Limbah (ST-414).....	65
5.2.24. Spesifikasi Boiler (BO-401)	65
5.2.25. Spesifikasi Steam Blower (SB-501).....	66
5.2.26. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401)	66
5.2.27. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402)	67
5.2.28. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403)	67
5.2.29. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404)	68
5.2.30. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405)	68
5.2.31. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406)	69
5.2.32. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407)	69
5.2.33. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408)	70
5.2.34. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409)	70
5.2.35. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410)	71
5.2.36. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	71
5.2.37. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412)	72
5.2.38. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413)	72
5.2.39. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414)	73
5.2.40. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415)	73
5.2.41. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416)	74
5.2.42. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417)	74

5.2.43. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418)	75
5.2.44. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501)	75
5.2.45. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502)	76
5.2.46. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503)	76
5.2.47. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-504)	77
5.2.48. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-505)	77
5.2.49. Spesifikasi Cyclone (CY-601)	78
5.2.50. Spesifikasi Air Dryer (AD-601).....	78
5.2.51. Spesifikasi Air Compressor (AC-601).....	79
5.2.52. Spesifikasi Blower Udara (BU-601)	79
5.2.53. Spesifikasi Blower Udara (BU-602)	80
5.2.54. Spesifikasi Blower Udara (BU-603)	80
5.2.55. Spesifikasi Blower Udara (BU-604)	81
 BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	82
6.1. Unit Pendukung Proses (Utilitas).....	82
6.2. Unit Pengolahan Limbah.....	94
6.3. Laboratorium	95
6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses	98
 BAB VII TATA LETAK PABRIK.....	100
7.1. Lokasi Pabrik	100
7.2. Tata Letak Pabrik	103
7.3. Estimasi Area Pabrik.....	107
7.4. Tata Letak Peralatan Proses.....	108
 BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN	110
8.1. Bentuk Perusahaan.....	110
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan	112
8.3. Tugas Dan Wewenang	115
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	122
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan	123

8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	126
BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....	135
9.1. Investasi.....	135
9.2. Evaluasi Ekonomi	140
9.3. Angsuran Pinjaman	142
9.4. Discounted Cash Flow (DCF)	142
BAB X KESIMPULAN DAN SARAN	144
10.1. Kesimpulan	144
10.2. Saran.....	144
DAFTAR PUSTAKA.....	145
LAMPIRAN	148

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Sumber Bahan Baku Utama.....	3
Tabel 1.2. Data Impor Dibutyl Phthalate di Indonesia	6
Tabel 1.3. Data Pabrik Penghasil Dibutyl Phthalate di Dunia	10
Tabel 2.1. Parameter Perbandingan Pemilihan Proses Produksi	11
Tabel 2.2. Harga ΔH°_f untuk Masing-Masing Komponen	13
Tabel 2.3. Nilai ΔG°_f 298 untuk Masing-Masing Komponen	15
Tabel 2.4. Harga Bahan Baku dan Produk.....	18
Tabel 4.1. Neraca Massa Reaktor (RE-201)	25
Tabel 4.2. Neraca Massa Holding Tank (HT-201).....	25
Tabel 4.3. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-101).....	26
Tabel 4.4. Neraca Massa Condenser (CD-301).....	26
Tabel 4.5. Neraca Massa Reboiler (RB-301)	27
Tabel 4.6. Neraca Massa Cooler (CO-301).....	27
Tabel 4.7. Neraca Energi Reaktor (RE-201)	28
Tabel 4.8. Neraca Energi Holding Tank (HT-201).....	28
Tabel 4.9. Neraca Energi Distilasi (MD-301)	28
Tabel 4.10. Neraca Energi Cooler (CO-301)	28
Tabel 5.1. Spesifikasi Tangki n-Butanol (ST-101).....	29
Tabel 5.2. Spesifikasi Tangki Asam Metanasulfonat (ST-102)	30
Tabel 5.3. Spesifikasi Silo Storage Phthalic Anhydride (SS-101)	30
Tabel 5.4. Spesifikasi Screw Conveyor (SC-101).....	31
Tabel 5.5. Spesifikasi Bucket Elevator (BE-101).....	31
Tabel 5.6. Spesifikasi Hopper (HO-101)	32
Tabel 5.7. Spesifikasi Reaktor (RE-201)	33
Tabel 5.8. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301).....	34

Tabel 5.9. Spesifikasi Condensor (CD-301)	35
Tabel 5.10. Spesifikasi Accumulator (AC-301)	36
Tabel 5.11. Spesifikasi Reboiler (RB-301)	37
Tabel 5.12. Spesifikasi Cooler (CO-301).....	38
Tabel 5.13. Spesifikasi Tangki Dibutyl Phthalate (ST-301).....	39
Tabel 5.14. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	40
Tabel 5.15. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	40
Tabel 5.16. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	41
Tabel 5.17. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	41
Tabel 5.18. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	42
Tabel 5.19. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303)	42
Tabel 5.20. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	43
Tabel 5.21. Spesifikasi Tangki Alumina Silikat (ST-401).....	44
Tabel 5.22. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST –402).....	45
Tabel 5.23. Spesifikasi Tangki NaOH (ST-403).....	46
Tabel 5.24. Spesifikasi Clarifier (CL–401).....	47
Tabel 5.25. Spesifikasi Sand Filter (SF-401)	48
Tabel 5.26. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404).....	49
Tabel 5.27. Spesifikasi Tangki Penyimpanan Air Domestik (ST–405)	50
Tabel 5.28. Spesifikasi Tangki Air Hidrant (ST-406)	51
Tabel 5.29. Spesifikasi Hot Basin (HB-401).....	52
Tabel 5.30. Spesifikasi Tangki Dispersant (ST-407).....	53
Tabel 5.31. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-408).....	54
Tabel 5.32. Spesifikasi Cooling Tower (CT-401)	55
Tabel 5.33. Spesifikasi Cold Basin (CB-401)	56
Tabel 5.34. Spesifikasi Tangki H ₂ SO ₄ (ST-409).....	57
Tabel 5.35. Spesifikasi Cation Exchanger (CE-401).....	58
Tabel 5.36. Spesifikasi Anion Exchanger (AE-401)	59
Tabel 5.37. Spesifikasi Tangki Air Demin (ST-410).....	60
Tabel 5.38. Spesifikasi Tangki Air Kondensat (ST-411).....	61
Tabel 5.39. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-412).....	62
Tabel 5.40. Spesifikasi Deaerator (DE-401)	63

Tabel 5.41. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-413)	64
Tabel 5.42. Spesifikasi Tangki Limbah (ST-414)	65
Tabel 5.43. Spesifikasi Boiler (BO-401)	65
Tabel 5.44. Spesifikasi Steam Blower (SB-401).....	66
Tabel 5.45. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	66
Tabel 5.46. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	67
Tabel 5. 47. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	67
Tabel 5.48. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	68
Tabel 5.49. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	68
Tabel 5.50. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	69
Tabel 5.51. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	69
Tabel 5.52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	70
Tabel 5.53. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	70
Tabel 5.54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	71
Tabel 5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	71
Tabel 5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	72
Tabel 5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	72
Tabel 5.58. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	73
Tabel 5.59. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	73
Tabel 5.60. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	74
Tabel 5.61. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	74
Tabel 5.62. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	75
Tabel 5.63. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501).....	75
Tabel 5.64. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-502).....	76
Tabel 5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-503).....	76
Tabel 5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-504).....	77
Tabel 5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-505).....	77
Tabel 5.68. Spesifikasi Cyclone (CY-601)	78
Tabel 5.69. Spesifikasi Air Dryer (AD-601)	78
Tabel 5.70. Spesifikasi Air Compressor (AC-601)	79
Tabel 5.71. Spesifikasi Blower Udara (BU-601)	79
Tabel 5.72. Spesifikasi Blower Udara (BU-602)	80

Tabel 5.73. Spesifikasi Blower Udara (BU-603)	80
Tabel 5.74. Spesifikasi Blower Udara (BU-604)	81
Tabel 6.1. Kebutuhan Air Umum	83
Tabel 6.2. Kebutuhan Air untuk Cooling Water	84
Tabel 6.3. Kebutuhan Air Umpan Boiler	84
Tabel 6.4. Kebutuhan Listrik Dalam Bangunan	88
Tabel 6.5. Kebutuhan Listrik Luar Bangunan	89
Tabel 6.6. Kebutuhan Listrik untuk Alat Proses	90
Tabel 6.7. Kebutuhan Listrik untuk Alat Utilitas	91
Tabel 6.8. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	99
Tabel 7.1. Perincian Luas Area Pabrik Dibutyl Phthalate	107
Tabel 8.1. Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	125
Tabel 8.2. Perincian Tingkat Pendidikan	126
Tabel 8.3. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses.....	128
Tabel 8.4. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas.....	129
Tabel 8.5. Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	129
Tabel 9.1. Perincian TCI Pabrik Dibutyl Phthalate	136
Tabel 9.2. Manufacturing Cost	138
Tabel 9.3. General Expenses	139
Tabel 9.4. Perincian TPC Pabrik Dibutyl Phthalate	139
Tabel 9.5. Hasil Analisis Kelayakan Pabrik Dibutyl Phthalate (DBP).....	143

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Data Impor Dibutyl Phthalate.....	7
Gambar 7.1. Tata Letak Pabrik.....	106
Gambar 7.2. Tata Letak Alat Proses	109
Gambar 7.3. Area Pabrik di Driyorejo, Kabupaten Gresik, Jawa Timur	109
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	114
Gambar 9.1. Grafik Analisa Ekonomi	142
Gambar 9.2. Kurva Cummulative Cash Flow terhadap Umur Pabrik	143

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meskipun perkembangan industri Indonesia terus meningkat, impor bahan kimia masih melebihi ekspor. Diperlukan upaya untuk mengatasi ketergantungan impor karena hal ini berdampak pada menurunnya devisa negara. Salah satu pilihannya adalah dengan membangun pabrik untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pemerintah memprioritaskan pembangunan industri yang dapat merangsang pertumbuhan industri lain, sehingga mengharapkan industri kimia tumbuh lebih cepat. Pengembangan sektor industri kimia diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pendapatan nasional, mengurangi ketergantungan impor luar negeri, memenuhi kebutuhan dalam negeri, dan meningkatkan unsur pendukung industri kimia seperti bahan baku dan bahan tambahan.

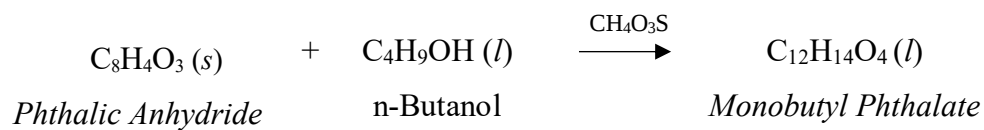
Industri petrokimia merupakan penghasil produk-produk strategis yang digunakan pada industri hilir seperti tekstil, plastik, dan karet sintetis. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan industri hilir petrokimia diperlukan industri yang menyediakan bahan baku dan bahan tambahan bagi industri hilir. *Dibutyl phthalate* merupakan salah satu bahan kimia yang dibutuhkan oleh industri hilir. Namun Indonesia masih belum bisa memenuhi kebutuhan *dibutyl phthalate*, sehingga *dibutyl phthalate* harus didatangkan atau diimpor.

Produk antara *dibutyl phthalate* memiliki banyak keunggulan. *Dibutyl phthalate* digunakan sebagai bahan pemlastis dalam produksi PVC, fiberglass, dan perekat. Plasticizer adalah bahan tambahan yang meningkatkan elastisitas bahan atau mengurangi viskositasnya. Ini adalah salah satu bahan pendukung dalam industri plastik dan digunakan karena sifat mudah dibentuk, tahan panas, tahan cuaca rendah, insulasi, dan tahan minyak (Kirk & Othmer, 2007). *Dibutyl phthalate*

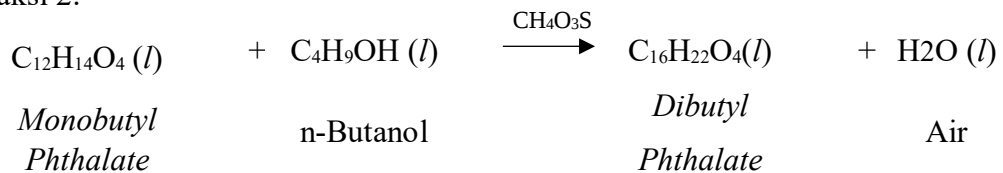
tidak hanya sebagai bahan pemlastis polimer, tetapi juga digunakan sebagai pelarut dalam produksi parfum.

Reaksi sintesis *dibutyl phthalate* adalah reaksi esterifikasi yang terjadi dari senyawa yang mempunyai gugus karboksil (R-COOH) dan gugus hidroksil (-OH). Berdasarkan eksperimen Skrzypek dkk., 2010, reaksi pembentukan *dibutyl phthalate* adalah sebagai berikut:

Reaksi 1:



Reaksi 2:



Reaksi 1 berlangsung secara cepat dan sempurna sedangkan untuk reaksi 2 berlangsung lambat dan memerlukan katalis asam.

Dalam memenuhi kebutuhan *dibutyl phthalate* di Indonesia, impor selalu menjadi andalan. Hingga saat ini Indonesia belum memiliki pabrik yang memproduksi *dibutyl phthalate*. Pendirian pabrik *dibutyl phthalate* di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan industri, mengurangi ketergantungan terhadap impor dan menghemat devisa negara. Oleh karena itu, berdasarkan penjelasan di atas, maka perlu didirikan pabrik *dibutyl phthalate* di Indonesia dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Memenuhi seluruh kebutuhan *dibutyl phthalate* dalam negeri dan mengurangi ketergantungan terhadap impor.
2. Penghematan devisa sektor industri melalui pajak dan ekspor terhadap produk.

3. Membuka peluang dan mendorong pengembangan industri baru yang menggunakan *dibutyl phthalate* sebagai bahan bakunya, dan menciptakan diversifikasi produk dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi.
4. Mengembangkan lapangan kerja baru sehingga mengurangi pengangguran.
5. Peningkatan sumber daya manusia melalui proses transfer teknologi.

1.2. Kegunaan Produk

Kegunaan produk *dibutyl phthalate* sebagai berikut (Greenfact, 2014):

1. Pemlastis pada cat nitroselulosa dan PVC
2. Pengencer pada industri pasta gigi
3. Pelapis fiber glass
4. Pelarut pada industri tekstil
5. Pelarut untuk pembuatan minyak wangi
6. Pemlastis pada cat kuku

1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Salah satu faktor penting yang menunjang kelancaran produksi adalah ketersediaan bahan baku. Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan *dibutyl phthalate* adalah *phthalic anhydride* dan n-butanol. Kebutuhan bahan baku tersedia dari produsen dalam negeri seperti terlihat pada Tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1.1. Sumber Bahan Baku Utama

No	Bahan Baku	Produsen	Kapasitas (Ton/tahun)
1.	<i>Phthalic anhydride</i>	PT. Petrowidada	70.000
2.	n-Butanol	PT. Petro Oxo Nusantara	100.000

(Sumber: Kemenperin, 2023)

1.4. Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang penting dalam perancangan suatu pabrik, karena lokasi suatu pabrik sangat dipengaruhi oleh kegiatan industri yang berkaitan dengan proses produksi, manufaktur, dan distribusi, serta berkaitan langsung dengan nilai keekonomian dari pabrik yang akan dibangun. Perencanaan lokasi pabrik yang tepat mengurangi biaya distribusi dan produksi. Oleh karena itu, kita dapat mengatakan bahwa lokasi pabrik ditujukan untuk mencapai manfaat teknis dan ekonomi yang seoptimal mungkin. Selain itu, lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku memberikan peluang perluasan pabrik dan manfaat jangka panjang. Berdasarkan beberapa faktor berikut, pabrik yang akan dibangun akan berlokasi di Gresik, Jawa Timur.

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama pembuatan *dibutyl phthalate* adalah *phthalic anhydride* dan n-Butanol. Pendirian lokasi pabrik *dibutyl phthalate* harus dekat dengan ketersediaan bahan bakunya. Bahan baku *phthalic anhydride* diperoleh dari PT Petrowidada, Gresik dan n-Butanol diperoleh dari PT Petro Oxo Nusantara, Gresik.

2. Pemasaran

Produksi *dibutyl phthalate* diprioritaskan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, khususnya kebutuhan industri plastik, seperti kulit tiruan PVC, kabel listrik, kabel telepon, pipa, dan sol sepatu, yang tersebar di Pulau Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Pemilihan lokasi sangat menguntungkan bila berlokasi di kawasan industri yang memerlukan *dibutyl phthalate*.

3. Utilitas

Dalam operasionalnya, pabrik membutuhkan air, energi (listrik), uap, dan perlengkapan lain yang diperlukan di dalam rumah. Oleh karena itu, untuk menjamin ketersediaan air, sebaiknya lokasi pabrik berada di dekat sumber air seperti sungai, waduk, atau laut. Sungai Brantas mengalir melalui

Kabupaten Gresik sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan umum, khususnya penyediaan air bersih.

4. Transportasi

Lokasi pabrik harus mempunyai prasarana transportasi darat dan laut yang baik untuk memperlancar proses transportasi bahan baku dan produk. Oleh karena itu, fasilitas jalan raya, kereta api, dan bandara sangatlah penting.

Letak Kabupaten Gresik sangat strategis ditinjau dari perkembangan wilayah. Gresik memiliki infrastruktur yang baik antara lain jalan tol yang menghubungkan langsung dengan Jalur Pantura, Bandara Juanda, dan Pelabuhan Tanjung Perak. Hal ini memudahkan bongkar muat bahan baku dan produk.

5. Kondisi Geografis

Lokasi pabrik harus berada di kawasan yang relatif aman dari bencana alam seperti gempa bumi dan tanah longsor. Selain itu, dalam penempatan pabrik perlu mempertimbangkan kondisi sosial di sekitar area produksi. Dukungan masyarakat di sekitar sangat membantu perkembangan pabrik. Kebijakan pemerintah daerah juga mempengaruhi lokasi pabrik. Jumlah lahan yang tersedia juga menjadi acuan penting. Kabupaten Gresik di Provinsi Jawa Timur memiliki kawasan industri dengan lahan kosong untuk pembangunan pabrik dengan peralatan dan infrastruktur yang handal.

6. Tenaga Kerja

Penyediaan tenaga kerja di wilayah Gresik, Jawa Timur dapat dengan mudah didapat karena jenjang pendidikan tenaga kerja berbeda-beda tergantung kebutuhan pabrik. Tenaga kerja yang dibutuhkan dapat direkrut dari masyarakat sekitar pabrik dan dari tenaga ahli di sekitar pabrik maupun di luar daerah pabrik.

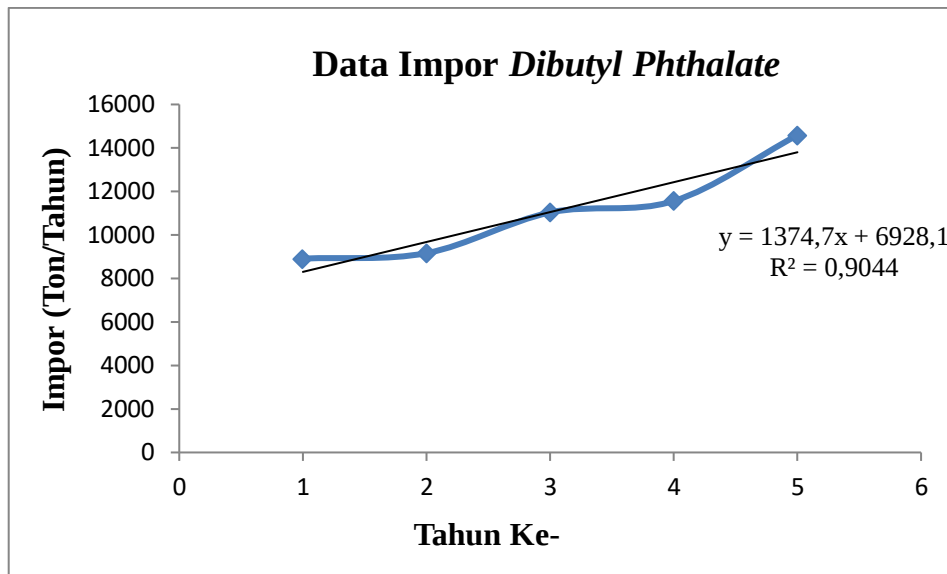
1.5. Kapasitas Rancangan

Untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap impor *dibutyl phthalate*, perlu didirikan pabrik *dibutyl phthalate* dengan kapasitas yang memadai. Pabrik *dibutyl phthalate* ini akan didirikan pada tahun 2028. Kebutuhan *dibutyl phthalate* di Indonesia dapat dihitung dengan mengetahui volume produksi impor. Tabel 1.2 berikut ini menyajikan data impor kebutuhan *dibutyl phthalate* di Indonesia dalam kurun waktu 5 tahun terakhir dari tahun 2018-2022 menurut Biro Pusat Statistik 2022.

Tabel 1.2. Data Impor *Dibutyl Phthalate* di Indonesia

Tahun	Impor (Ton)
2018	8.911,8
2019	9.165,21
2020	11.034,886
2021	11.562,642
2022	14.586,759

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2018-2022)



Gambar 1.1. Data Impor *Dibutyl Phthalate*

Dari data diatas, dapat ditentukan kebutuhan impor *dibutyl phthalate* pada tahun 2028 dengan menggunakan persamaan garis linear:

$$y = a.x + b$$

Dengan : y = kebutuhan *dibutyl phthalate* (Ton/Tahun)

x = tahun elevasi (tahun ke-)

Dari Gambar 1.1 didapatkan persamaan grafik melalui metode linear dengan $y = 1.374,7X + 6.928,1$ dan $R^2 = 0,904$. Pabrik direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2028. Sehingga dapat diperkirakan kebutuhan impor *dibutyl phthalate* pada tahun 2028 sebagai berikut:

$$y = 1374,7X + 6928,1$$

$$y = 1374,7(11) + 6928,1$$

$$y = 22.049,8 \text{ ton}$$

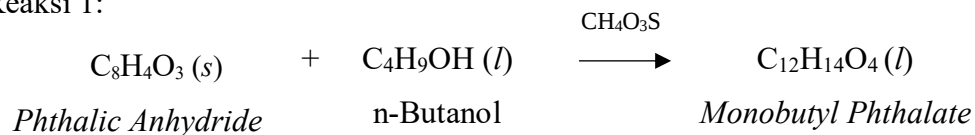
Berdasarkan kebutuhan *dibutyl phthalate* yang setiap tahun semakin besar, maka prarancangan pabrik *dibutyl phthalate* ini layak untuk didirikan dengan mengambil 75% dari kebutuhan *dibutyl phthalate* pada tahun 2028. Sesuai dengan peraturan perundang-undangan nomor 5 tahun 1999.

$$\text{Kapasitas} = 75\% \times 22.049,8 \text{ ton/tahun}$$

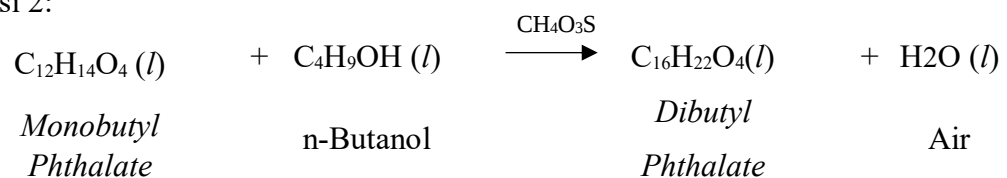
$$\text{Kapasitas} = 16.537,35 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan perhitungan kapasitas di atas, pabrik ini akan dirancang dengan kapasitas 17.000 ton/tahun. Untuk mendirikan pabrik *dibutyl phthalate* dengan kapasitas 17.000 ton/tahun, maka kebutuhan *phthalic anhydride* dan n-Butanol ditentukan melalui perhitungan stoikiometri. Berikut adalah perhitungan kebutuhan *phthalic anhydride* dan n-Butanol menurut stoikiometri:

Reaksi 1:



Reaksi 2:



1. Reaksi Pembentukan *Dibutyl Phthalate* (Reaksi 2)

Konversi 98%

	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4 (l)$	$+ \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}(l)$	$\xrightarrow{\text{CH}_4\text{O}_3\text{S}}$	$\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$	$+ \text{H}_2\text{O}$
M	7,879	7,879		-	-
R	7,721	7,721		7,721	7,721
S	0,158	0,158		7,721	7,721

2. Reaksi Pembentukan *Monobutyl Phthalate* (Reaksi 1)

	$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$	$+ \text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	$\xrightarrow{\text{CH}_4\text{O}_3\text{S}}$	$\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$
Mula-mula	7,879	7,879		-
Bereaksi	7,879	7,879		7,879
Sisa	0,000	0,000		7,879

Untuk mengetahui kebutuhan bahan baku *phthalic anhydride* (PA) dan n-Butanol, dapat dihitung dengan stoikiometri berdasarkan reaksi di atas. Dengan konversi 98% dan yield 98%, maka kebutuhan *phthalic anhydride start up* adalah:

$$\begin{aligned} \text{PA} &= \text{mol } phthalic \text{ anhydride} \times \text{BM } phthalic \text{ anhydride} \\ &= 7,879 \text{ kmol/jam} \times 148 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.166,043 \text{ kg/jam} \\ &= 9.235,061 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Dengan perbandingan mol PA dan n-Butanol adalah 1:2,5 sehingga kebutuhan n-Butanol *start up*:

$$\begin{aligned} \text{mol n-Butanol} &= \text{mol } phthalic \text{ anhydride} \times 2,5 \\ &= 7,879 \text{ kmol/jam} \times 2,5 \\ &= 19,697 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa n-Butanol} &= \text{mol n-Butanol} \times \text{BM n-Butanol} \\ &= 19,697 \text{ kmol/jam} \times 74 \text{ kg/kmol} \\ &= 1.457,554 \text{ kg/jam} \\ &= 11.543,828 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan kapasitas produksi, kebutuhan bahan baku pabrik *dibutyl phthalate* dapat terpenuhi. Dibutuhkan bahan baku *phthalic anhydride* sebesar 9.235,061 ton/tahun dan n-Butanol sebesar 11.543,828 ton/tahun.

1.5.1. Kapasitas Pabrik *Dibutyl Phthalate* yang telah Berproduksi

Di Indonesia belum ditemukan adanya pabrik *dibutyl phthalate* yang berdiri, sedangkan di dunia telah berdiri pabrik *dibutyl phthalate*. Data pabrik penghasil *dibutyl phthalate* di dunia bisa dilihat pada Tabel 1.3 sebagai berikut.

Tabel 1.3. Data Pabrik Penghasil *Dibutyl Phthalate* di Dunia

No.	Pabrik	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
1.	Henan Premtec Enterprise Corporation	Henan, China	35.000
2.	Jinan Yuntian Chemical Co., Ltd.	Shandong, China	100.000
3.	Dezhou Jupont Chemical Co., Ltd.	Shandong, China	6.000
4.	Tianjin Kaifengshun Chemicals Co., Ltd.	Tianjin, China	120.000
5.	Puyang Yongo Chemical Company Ltd.	Henan, China	40.000
6.	Zhengzhou Mahaco Industrial Corp Ltd.	Henan, China	36.000

Tabel 1.3 kapasitas produksi minimal di dunia adalah sebesar 6.000 ton/tahun. Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka ditetapkan kapasitas prarancangan pabrik *dibutyl phthalate* yang akan didirikan pada tahun 2028 sebesar 17.000 ton/tahun dengan alasan sebagai berikut:

- a. Kapasitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.
Produsen dapat memenuhi kebutuhan bahan baku *phthalic anhydride* sebanyak 9.235,061 ton/tahun dan n-Butanol sebesar 11.543,828 ton/tahun.
- b. Kapasitas produksi minimal pabrik *dibutyl phthalate* sebesar 6.000 ton/tahun.

Diharapkan dengan adanya pabrik *dibutyl phthalate* ini dapat memenuhi kebutuhan *dibutyl phthalate* dalam negeri, menurunkan jumlah pengangguran, dan dapat memacu pertumbuhan maupun perkembangan industri-industri yang menggunakan *dibutyl phthalate* sebagai bahan baku.

BAB II

PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES

Sampai saat ini, *dibutyl phthalate* hanya diproduksi melalui proses esterifikasi. Reaksi terjadi antara *phthalic anhydride* dan n-butanol. Reaksi ini berlangsung lambat dan memerlukan katalis untuk mempercepat proses reaksi. Menurut beberapa literatur terdapat dua katalis digunakan dalam proses produksi *dibutyl phthalate*, yaitu asam sulfat dan asam metanasulfonat (Berman dkk, 1948 dan Skrzypek dkk., 2010). Parameter perbandingan katalis asam sulfat dan asam metanasulfonat dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1. Parameter Perbandingan Pemilihan Proses Produksi

Dibutyl Phthalate

Parameter	Katalis	
	Asam Sulfat (Berman dkk., 1948)	Asam Metanasulfonat (Skrzypek dkk., 2010)
Suhu reaksi (°C)	140	110
Tekanan operasi (atm)	1	1
Fase katalis	Cair	Cair
Konversi (%)	85	98

Kriteria pemilihan suatu proses didasarkan pada beberapa faktor. Untuk proses produksi *dibutyl phthalate* dipilih proses esterifikasi menggunakan katalis asam metanasulfonat. Pada proses pemisahan katalitik, katalis asam sulfat memerlukan penambahan bahan kimia berupa basa (NaOH) untuk menetralkan asam sulfat dan mengubahnya menjadi garam. Menambahkan NaOH akan meningkatkan biaya produksi dan garam yang dihasilkan juga meningkatkan jumlah limbah terkontaminasi yang dibuang di instalasi pengolahan air limbah. Bila menggunakan katalis asam metanasulfonat, hanya air yang dibutuhkan untuk

proses pemisahan. Selain itu, dengan menggunakan katalis asam metanasulfonat dapat mencapai konversi 98%.

2.1. Konsep Proses

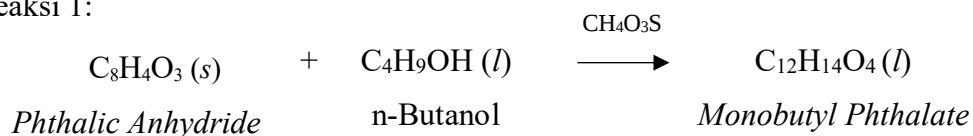
Proses pembuatan *dibutyl phthalate* dilakukan di dalam reaktor alir tangki berpengaduk. Reaksi berlangsung pada suhu 110°C dan tekanan 1 atm. Reaksi pembentukan *dibutyl phthalate* merupakan reaksi esterifikasi antara *phthalate anhydride* dengan n-butanol dengan rasio mol antara *phthalate anhydride* dengan n-butanol sebesar 1 : 2,5, konversi reaksi 98% dan yield produk *dibutyl phthalate* 98%. Reaksi esterifikasi *dibutyl phthalate* memerlukan katalis CH₄O₃S (asam metanasulfonat) untuk meningkatkan kecepatan reaksi dengan jumlah katalis 1,5% berat dari total massa umpan masuk (Skrzypek, dkk. 2010).

2.1.1. Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi esterifikasi *phthalate anhydride* dan n-butanol dengan menggunakan katalis CH₄O₃S (metanasulfonat) terdiri dari dua tahap, yaitu (Skrzypek, dkk. 2010).

1. Tahap pertama

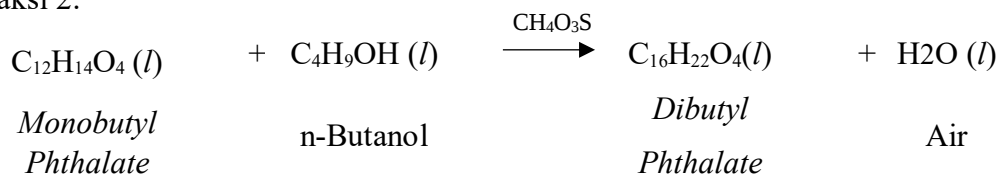
Reaksi 1:



Pada tahap pertama reaksi berlangsung secara cepat, searah, dan endotermis.

2. Tahap kedua

Reaksi 2:

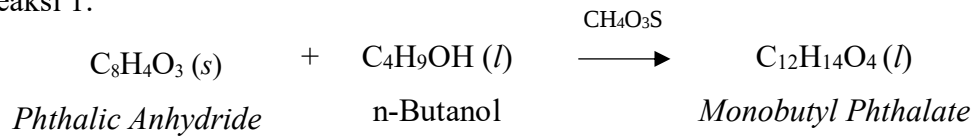


Pada tahap ini, terbentuk *dibutyl phthalate* yang disertai dengan perlepasan air. Reaksi esterifikasi pembentukan *dibutyl phthalate* berlangsung pada suhu 110°C dengan katalis asam metanasulfonat (Skrzypek, dkk. 2010).

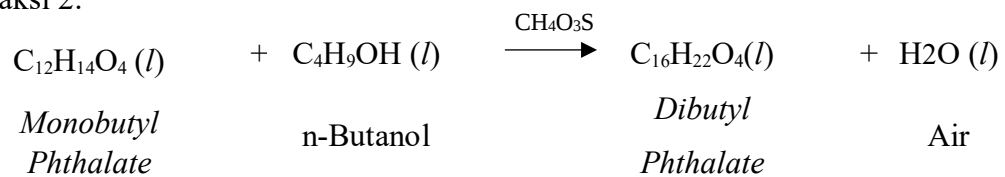
2.2. Tinjauan Termodinamika

Reaksi pembentukan *dibutyl phthalate* berlangsung secara endotermis, hal ini dapat ditinjau dari ΔH reaksi total *dibutyl phthalate* pembentukan dibawah ini:

Reaksi 1:



Reaksi 2:



Nilai ΔH°_f untuk masing masing komponen pada 298 K disajikan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Harga ΔH°_f untuk Masing-Masing Komponen

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)
$\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$	-393,13
$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	-274,43
H_2O	-241,43
<i>Dibutyl Phthalate</i>	-750,9
<i>Monobutyl Phthalate</i>	-688,3

Sumber: Carl L. Yaws,1999

Maka:

ΔH reaksi 1

$$\Delta H_{r1} = \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_{r1} = \Delta H_f^\circ MBP - (\Delta H_f^\circ PA + \Delta H_f^\circ butanol)$$

$$\Delta H_{r1} = -688,3 - (-393,13 + (-274,43))$$

$$\Delta H_{r1} = -20,74 \text{ kJ/mol}$$

ΔH reaksi 2

$$\Delta H_{r2} = \sum \Delta H_f^\circ \text{produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{reaktan}$$

$$\Delta H_{r2} = (\Delta H_f^\circ DBP + \Delta H_f^\circ air) - (\Delta H_f^\circ MBP + \Delta H_f^\circ butanol)$$

$$\Delta H_{r2} = (-750,9 - 241,43) - (-688,3 - 274,43)$$

$$\Delta H_{r2} = -29,6 \text{ kJ/mol}$$

ΔH reaksi total:

$$\Delta H_r = \Delta H_{r1} + \Delta H_{r2}$$

$$\Delta H_r = -20,74 \text{ kJ/mol} + (-29,6 \text{ kJ/mol})$$

$$\Delta H_r = -50,34 \text{ kJ/mol}$$

Karena ΔH reaksi total bernilai negatif maka reaksi bersifat eksotermis.

Menghitung harga K (Konstanta Keseimbangan)

Untuk menghitung harga K dibutuhkan data ΔG°_f 298 setiap komponen yang disajikan pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2.3. Nilai $\Delta G^\circ_{f\ 298}$ untuk Masing-Masing Komponen

Komponen	$\Delta G^\circ_{f\ 298}$
$C_8H_4O_3$	-143,58
C_4H_9OH	-150,67
H_2O	-228,61
<i>Dibutyl Phthalate</i>	-441,4
<i>Monobutyl Phthalate</i>	-494

ΔG reaksi 1

$$\Delta G_{298\ r1} = \sum \Delta G_f^\circ \text{produk} - \sum \Delta G_f^\circ \text{reaktan}$$

$$\Delta G_{298\ r1} = \Delta G_f^\circ MBP - (\Delta G_f^\circ PA + \Delta G_f^\circ butanol)$$

$$\Delta G_{298\ r1} = -494 - (-143,58 + (-150,67))$$

$$\Delta G_{298\ r1} = -199,75\ kJ/mol$$

$$\ln K_{298} = \frac{-\Delta G_{298\ r1}}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(-199,75)}{(8,314 \times 10^{-3} \times 298)}$$

$$K_{298} = 1,033 \times 10^{35}$$

Untuk menghitung nilai K reaksi 1 pada suhu reaksi 383 K (110°C) maka:

$$\ln \frac{K_1}{K_{298}} = \frac{-\Delta H_{r1}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_1}{1,033 \times 10^{35}} = \frac{-(-20,74)}{8,314 \times 10^{-3}} \times \left(\frac{1}{383} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_1}{1,033 \times 10^{35}} = -1,858$$

$$\frac{K_1}{1,033 \times 10^{35}} = 0,156$$

$$K_1 = 1,612 \times 10^{34}$$

Harga konstanta keseimbangan reaksi 1 sebesar $1,612 \times 10^{34}$, maka reaksi berlangsung cepat.

ΔG reaksi 2

$$\Delta G_{298} r_2 = \sum \Delta G_f^\circ \text{produk} - \sum \Delta G_f^\circ \text{reaktan}$$

$$\Delta G_{298} r_2 = (\Delta G_f^\circ \text{DBP} + \Delta G_f^\circ \text{air}) - (\Delta G_f^\circ \text{MBP} + \Delta G_f^\circ \text{butanol})$$

$$\Delta G_{298} r_2 = (-441,40 - 228,61) - (-494 + (-150,67))$$

$$\Delta G_{298} r_2 = -25,34 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-\Delta G_{298} r_2}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(-25,34)}{(8,314 \times 10^{-3} \times 298)}$$

$$K_{298} = 2,766 \times 10^4$$

Untuk menghitung nilai K reaksi 2 pada suhu reaksi 383 K maka:

$$\ln \frac{K_2}{K_{298}} = \frac{-\Delta H_{r2}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{2,766 \times 10^4} = \frac{-\Delta H_{r2}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{2,766 \times 10^4} = \frac{-(-29,6)}{8,314 \times 10^{-3}} \times \left(\frac{1}{383} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{2,766 \times 10^4} = -2,651$$

$$\frac{K_2}{2,766 \times 10^4} = 0,071$$

$$K_2 = 1,951 \times 10^3$$

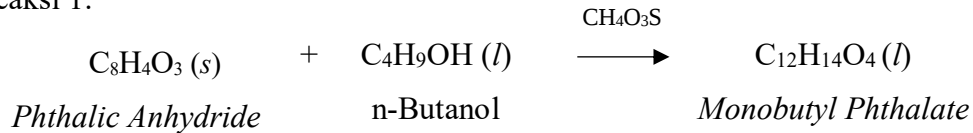
Harga konstanta keseimbangan reaksi 2 sebesar $1,951 \times 10^3$, maka reaksi berlangsung lambat.

2.3. Tinjauan Kinetika

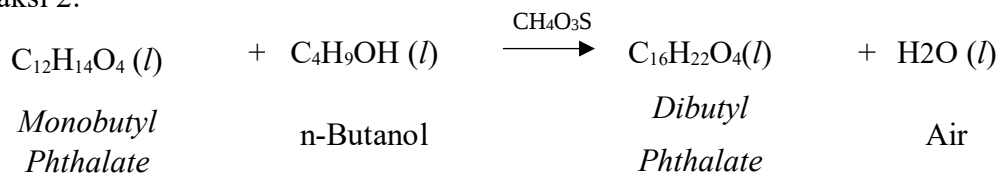
Secara umum derajat keberlangsungan suatu reaksi ditentukan oleh laju reaksi dan konsentrasi reaktan. Reaksi esterifikasi ini merupakan reaksi orde 2 (dua) dari monoester dan mempunyai rumus:

(Skrzypek, dkk. 2010)

Reaksi 1:



Reaksi 2:



Reaksi 1 berlangsung secara cepat dan spontan sedangkan reaksi 2 berlangsung lambat, sehingga laju reaksi yang ditinjau yaitu pada reaksi 2.

Dari studi kinetika, konstanta kecepatan reaksi pada proses pembentukan *dibutyl phthalate* dapat dihitung dengan persamaan:

$$-r_A = k \cdot C_A$$

$$k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) \quad (\text{Skrzypek, dkk. 2010})$$

Nilai $k_0 = 3,26 \times 10^6$ L/min dan $E = 62.600$ J/mol

Dimana:

$-r_A$: Laju pengurangan reaktan (mol/liter.jam)

C_A : Konsentrasi *phthalic anhydride* (mol/liter)

k : Konstanta laju reaksi (liter/mol.menit)

T : Temperatur (K)

R : Konstanta gas ($\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$)

k_0 : Faktor pra eksponensial (L/min)

E : Energi aktivasi (J/mol)

2.4. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi bertujuan untuk mengetahui potensial ekonomi (EP) berdasarkan perkiraan perhitungan ekonomi kasar pada saat pembelian bahan baku atau penjualan produk. Harga bahan baku dan penjualan produk dapat dilihat pada Tabel 2.4 sebagai berikut.

Tabel 2.4. Harga Bahan Baku dan Produk

No.	Bahan Kimia	Per kg (Rp)
1.	<i>Phthalic Anhydride</i>	13.608,27
2.	n-Butanol	10.584,21
3.	<i>Dibutyl Phthalate</i>	60.191,63

Sumber: Alibaba, 2023

Kurs 1 US \$ Desember 2023 adalah Rp15.433,750

Maka perhitungan ekonomi kasar per tahun:

$$\begin{aligned}\text{Harga total bahan baku} &= (\text{harga } \textit{phthalic anhydride} \times \text{total } \textit{phthalic anhydride}) \\ &\quad + (\text{harga n-Butanol} \times \text{total n-Butanol}) \\ &= ((\text{Rp}13.608,27 \times 9.235.060,56 \text{ kg/tahun}) + \\ &\quad (\text{Rp}10.584,21 \times 11.543.827,68 \text{ kg/tahun})) \\ &= \text{Rp}125.673.197.566,83 + \text{Rp}122.182.296.368,93 \\ &= \text{Rp}247.855.493.935,76 \\ \text{Besar penjualan} &= \text{harga } \textit{dibutyl phthalate} \times \text{total } \textit{dibutyl phthalate} \\ &= \text{Rp}60.191,63 \times 17.000.000 \text{ kg/tahun} \\ &= \text{Rp}1.023.257.710.000,00 \\ \text{Keuntungan} &= \text{besar penjualan} - \text{harga total bahan baku} \\ &= \text{Rp}565.499.220.000,00 - \text{Rp}247.855.482.141,93 \\ &= \text{Rp}775.402.216.064,24\end{aligned}$$

2.5. Uraian Proses

Proses pembuatan *dibutyl phthalate* yang dibuat dari *phthalic anhydride* dan n-butanol dengan reaksi esterifikasi menggunakan katalis $\text{CH}_3\text{O}_3\text{S}$ dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
2. Tahap Reaksi
3. Tahap Pemisahan Produk

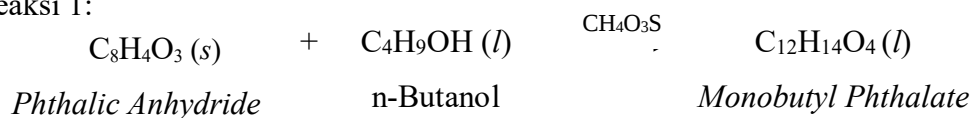
2.5.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Tahap awal dalam pembentukan *dibutyl phthalate* yaitu mempersiapkan bahan baku. Bahan baku pembuatan *dibutyl phthalate* yang berupa *phthalic anhydride* dengan kemurnian 99,5% berat diperoleh dari PT Petrowidada, Gresik, n-butanol dengan kemurnian 99,5% diperoleh dari PT Petro Oxo Nusantara, Gresik dan katalis asam metanasulfonat diperoleh dari PT BASF Indonesia. Ketiga bahan tersebut harus disimpan sesuai kondisi operasi penyimpanan, dimana *phthalic anhydride* yang berupa kristal padat disimpan dalam silo dengan suhu 30°C , n-butanol dan asam metanasulfonat yang berfase cair disimpan dalam tangki penyimpanan dengan suhu 30°C . Kemudian, *phthalic anhydride*, n-butanol, dan asam metanasulfonat diumpungkan ke dalam reaktor untuk direaksikan.

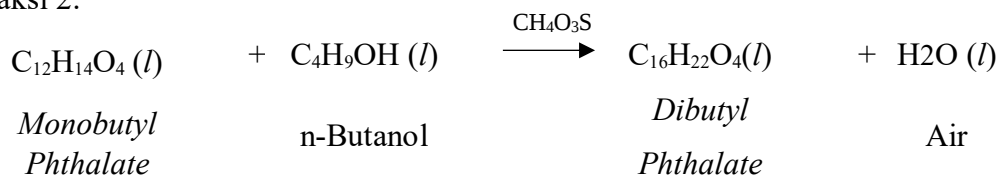
2.5.2. Tahap Reaksi

Reaksi yang terjadi didalam reaktor:

Reaksi 1:



Reaksi 2:



Phthalic anhydride dicairkan di *melter* sedangkan n-butanol dan katalis asam metanasulfonat yang memiliki suhu 30°C dialirkan ke *heater* sebelum masuk ke dalam reaktor. Kemudian, *phthalic anhydride*, n-butanol, dan katalis asam metanasulfonat dialirkan ke dalam reaktor. Reaktor beroperasi secara nonisothermal pada suhu 110°C dan tekanan 1 atm. Reaksi pembentukan *dibutyl phthalate* bersifat eksotermis. Reaktor dilengkapi dengan jaket pemanas untuk menaikkan suhu bahan baku yang berada di dalam reaktor. Hasil keluaran reaktor merupakan campuran dari *dibutyl phthalate*, *monobutyl phthalate*, *maleic anhydride*, asam metanasulfonat, n-butanol dan air.

2.5.3. Tahap Pemurnian Produk

Pada tahap pemurnian bertujuan untuk memisahkan produk keluaran reaktor dari katalis dan hasil samping reaksi esterifikasi yaitu air dan impuritis lainnya. Hasil keluaran reaktor berupa campuran *dibutyl phthalate*, *monobutyl phthalate*, *maleic anhydride*, asam metanasulfonat, n-butanol dan air diumpankan ke menara distilasi untuk memisahkan produk *dibutyl phthalate* dari campurannya. Hasil atas menara distilasi yang terdiri dari *maleic anhydride*, asam metanasulfonat, n-butanol, air, dan sedikit *monobutyl phthalate* dialirkan menuju tempat penampungan limbah sementara untuk kemudian diolah ke tempat pengolahan limbah B3 yaitu di PT Artama Sentosa Indonesia, Gresik, Jawa Timur, sedangkan hasil bawah menara distilasi yang berupa produk *dibutyl phthalate* dengan impuritis *monobutyl phthalate* disimpan ke dalam tangki penyimpanan produk akhir.

BAB III

SPESIFIKASI BAHAN DAN PRODUK

3.1. Spesifikasi Bahan Baku

1. *Phthalic Anhydride* (PA) (PT. Petrowidada)

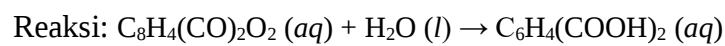
Sifat Fisik (Perry, 2008)

- a. Wujud : Kristal putih
- b. Rumus molekul : $C_8H_4O_3$
- c. Berat molekul : 148 g/mol
- d. Titik leleh (1 atm) : 131,26°C
- e. Titik didih (1 atm) : 284,5°C
- f. Kemurnian : 99,5%
- g. Impuritis : 0,5%

Sifat Kimia (Kirk Othmer, 1998)

a. Membentuk Asam dengan Hidrasi

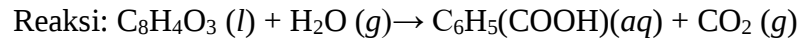
Phthalic anhydride cair dapat bereaksi dengan air membentuk asam secara eksotermis



Reaksi *phthalic anhydride* padat berlangsung lambat karena kelaruatannya rendah dan berjalan lambat pada suhu 200°C.

b. Dekarboksiklis

Jika *steam* dimasukkan ke *phthalic anhydride* lebur yang mengandung katalis dekarboksilat akan membentuk asam yang sesaat kemudian pecah menjadi asam benzoat dan CO₂.



c. PA bereaksi dengan alkohol membentuk ester

d. Sedikit larut dalam air

2. **n-Butanol (PT. Petro Oxo Nusantara)**

Sifat Fisik (Kirk Orthmer, 1998)

- a. Wujud : Cairan tidak berwarna
- b. Rumus molekul : C₄H₉OH
- c. Berat molekul : 74,12 g/mol
- d. Titik leleh (1 atm) : -89,3°C
- e. Titik didih (1 atm) : 117,66°C
- f. Kemurnian : 99,5%
- g. Impuritis : 0,5%

Sifat Kimia (Kirk Orthmer, 1998)

- a. Esterifikasi jika butanol direaksikan dengan *phthalic anhydride* menghasilkan *dibutyl phthalate* dengan menggunakan katalis asam metanasulfonat.
- b. Karbonasi reaksi antara butanol dengan HBr.
- c. Reaksi butanol dengan akilhalida.
- d. Stabil dalam kondisi biasa.
- e. Sedikit larut dalam air.
- f. Kontak dengan oksidator kuat dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan.

3.2. Spesifikasi Bahan Pendukung

1. Asam Metanasulfonat (PT. BASF Indonesia)

Sifat Fisik

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| a. Wujud | : Cairan bening dan tidak berwarna |
| b. Rumus | : $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ |
| c. Berat Molekul | : 96,1 g/mol |
| d. Titik Leleh | : 17°C hingga 19 °C |
| e. Titik Didih | : 167°C |
| f. Kemurnian | : 99% |
| g. Impuritis | : 1% |

3.3. Spesifikasi Produk

1. *Dibutyl Phthalate* (DBP)

Sifat Fisik (Perry, 2008)

- | | |
|------------------------|--|
| a. Wujud | : Cairan tidak berwarna |
| b. Rumus molekul | : $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$ |
| c. Berat molekul | : 278 g/mol |
| d. Titik leleh (1 atm) | : -40°C |
| e. Titik didih (1 atm) | : 340°C |
| f. Kemurnian | : 99,7% |
| g. Impuritis | : 0,3% |

Sifat Kimia (Kirk Orthmer, 1998)

- a. Larut dalam pelarut organik seperti alkohol dan benzene
- b. Bersifat racun dan dapat menyebabkan iritasi pada mata

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

10.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi pra-rancangan pabrik *dibutyl phthalate* dari butanol dan *phthalic anhydride* dengan kapasitas produksi 17.000 ton/tahun maka dapat disimpulkan bahwa pabrik ini layak untuk didirikan dengan hasil perhitungan analisis ekonomi sebagai berikut.

- a. *Percent return on investment* (ROI) sebelum pajak yaitu 44,544%.
- b. *Pay out time* (POT) sebelum pajak adalah 2,702 tahun.
- c. *Break even point* (BEP) sebesar 42,073%, dimana syarat umum BEP pabrik adalah 40-60 %.
- d. Nilai *shut down point* (SDP) sebesar 29,685%, dimana syaratnya adalah 20-30 %
- e. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 42,761%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2. Saran

Pabrik *dibutyl phthalate* dari butanol dan *phthalic anhydride* dengan kapasitas produksi 17.000 ton/tahun per tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya sebelum didirikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba Group. 2023. *Product Price*. Diakses melalui indonesian.alibaba.com pada tanggal 4 Desember 2023.
- Anonim. 2023. *Harga Industrial Diesel Oil*. Diakses melalui <http://en.sadikunniagamas.web.indotrading.com/product/minyak-solar-industri-p673471.aspx> pada tanggal 7 Desember 2023.
- Aries, R., dan Newton R.. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*, McGraw Hill International Book Company., New York..
- Badan Pusat Statistik. 2023. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui www.bps.go.id. pada tanggal 31 Juli 2023.
- Bank Indonesia. 2023. *Data Inflasi*. Diakses melalui www.bi.go.id. pada tanggal 2 Desember 2023.
- Bank Indonesia. 2023. *Nilai Kurs*. Diakses melalui www.bi.go.id. pada tanggal 2 Desember 2023.
- Berman, S., Melnychuk, A. A., & Othmer, D. F. (1948). Dibutyl Phthalate - Reaction Rate of Catalytic Esterification. *Industrial & Engineering Chemistry*, 40(7), 1312–1319. <https://doi.org/10.1021/ie50463a030>
- Brownell, L., Young, E. (1984). *Process Equipment Design* (p. 408).
- Chemical Engineering Plant Cost Index. 2023. Diakses melalui <https://toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/> pada tanggal 2 Desember 2023.
- Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J., & Harker, J. (1999). *Chemical Engineering Design* (p. 1.045).

- Fogler, H. S. 2006. *Element of Chemical Reaction Engineering 4th Edition* (p 1.080).
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. New York: Jhon Wiley & Sons.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineering' Handbook 7th*. New York: McGraw-Hill.
- Pertamina. 2023. *Densitas Fuel Oil*. Diakses melalui <https://www2.pertamina.com/industrialfuel/media/30603/minyak-diesel.pdf> pada tanggal 7 Desember 2023.
- Peters, M., Timmerhaus, K. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th*. New York: McGraw-Hill.
- Peters, M., Timmerhaus, K., West, R. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th*. New York: McGraw-Hill.
- Piotrowski, J, Kozak, R, Kujawska, M. 1998. *Thermodynamic Model of Chemical and Phase Equilibrium in the Urea Synthesis Process*. Chemical Engineering Science, Vol 53, 183-186.
- Skrzypek, J., Kulawska, M., Lachowska, M., & Moroz, H. (2010). Kinetics of the synthesis of butyl phthalates over methane sulfonic acid catalyst. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 100(2), 301–307. <https://doi.org/10.1007/s11144-010-0185-z>
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & Swihart, M.T. 2005., *Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition*. New York: McGraw-Hill Education .

Treybal, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operations*. Tokyo: McGraw-Hill Book Company.

Ulrich Gael D. (1984). *Buku_Ulrich_A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics-pdf.pdf* (p. 484).

Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. University of Kansas: Butterworth-Heinemann.

Yaws, Carl. (1999). *Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, And Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals* (p. 779).

LAMPIRAN