

**PRARANCANGAN N-BUTIL KLORIDA DARI BUTANOL
DAN ASAM KLORIDA KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN
(PERANCANGAN REAKTOR (R-201))**

(SKRIPSI)

Oleh:

Tevi Emiliana Andrian

(2015041071)



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL KLORIDA DARI BUTANOL DAN ASAM KLORIDA KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan Reaktor (R-201))

Oleh
TEVI EMILIANA ANDRIAN

Butil klorida (C_4H_9Cl) merupakan senyawa alkil halida berbentuk cairan tidak berwarna, mudah menguap, dan mudah terbakar. Senyawa ini banyak digunakan dalam industri sebagai *chemical intermediate* pada produksi farmasi, agrokimia, surfaktan, dan resin. Selain itu, butil klorida juga dimanfaatkan dalam pembuatan pestisida, analisis laboratorium, serta dalam proses polimerisasi dan produksi karet sintesis seperti *butyl rubber*, *polyurethane*, dan *viton*.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 20.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 131 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi, diperoleh :

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp469.235.748.752,06
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp117.308.937.188,02
<i>Total Cost Investment</i> (TCI)	= Rp586.544.685.940,07
<i>Break Event Point</i> (BEP)	= 49,90%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 23,76%
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) _a	= 1,911 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i> (ROI) _b	= 42,33%
<i>Return on Investment after taxes</i> (ROI) _a	= 24,64%
<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	= 33,87%.

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik N-Butil Klorida ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

Kata Kunci : Pabrik N-Butil Klorida, *Chemical Intermediate*, Reaktor

ABSTRACT**PRE-DESIGN OF A N-BUTYL CHLORIDE PLANT FROM BUTANOL
AND HYDROCHLORIC ACID WITH A CAPACITY OF
20.000 TONS/YEAR
(Reactor Design)**

**By
TEVI EMILIANA ANDRIAN**

Butyl chloride (C_4H_9Cl) is an alkyl halide compound in the form of a colorless, volatile, and flammable liquid. This compound is widely used in industry as a chemical intermediate in the production of pharmaceuticals, agrochemicals, surfactants, and resins. In addition, butyl chloride is also used in the manufacture of pesticides, laboratory analysis, and in polymerization processes and the production of synthetic rubbers such as butyl rubber, polyurethane, and viton.

The plant is designed with a production capacity of 20,000 tons per year, operating 330 days annually. The proposed plant location is Gresik area, East Java. The workforce requirement is 131 employees. The business entity will be established as a Limited Liability Company (PT), led by a President Director, assisted by a Production Director and a Finance Director, with an organizational structure based on the line-and-staff model.

From the economic analysis, the following results were obtained :

Fixed Capital Investment (FCI)	= Rp469.235.748.752,06
Working Capital Investment (WCI)	= Rp117.308.937.188,02
Total Cost Investment (TCI)	= Rp586.544.685.940,07
Break Event Point (BEP)	= 49,90%
Shut Down Point (SDP)	= 23,76%
Pay Out Time after Taxes (POT) _a	= 1,911 year
Return on Investment before taxes (ROI) _b	= 42,33%
Return on Investment after taxes (ROI) _a	= 24,64%
Discounted Cash Flow (DCF)	= 33,87%.

Considering the summary above, the establishment of this N-Butyl Chloride plant deserves further evaluation, as it is a profitable project with strong future prospects.

Keywords : N-Butyl Chloride Plant, *Chemical Intermediate*, Reaktor

**PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL KLORIDA DARI BUTANOL
DAN ASAM KLORIDA KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (R-201))**

Oleh

**Tevi Emiliana Andrian
2015041071**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK N-BUTIL KLORIDA
DARI BUTANOL DAN ASAM KLORIDA KAPASITAS
20.000 TON/TAHUN**

(Tugas Khusus Perancangan Reaktor R-201)


Nama Mahasiswa : **Jevi Emiliana Andrian**

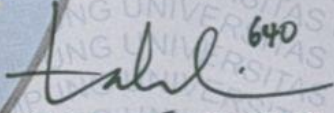
No. Pokok Mahasiswa : **2015041071**

Program Studi : **Teknik Kimia**

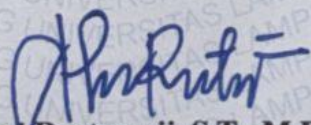
Fakultas : **Teknik**




Lia Lismeri, S.T., M.T.
NIP. 198503122008122004

 640
Taharuddin, S.T., M.Sc.
NIP. 197001261995121001

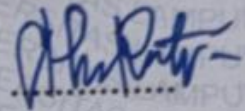
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng.
NIP. 198011212006041002

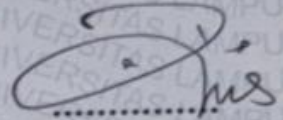
MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : **Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng.**

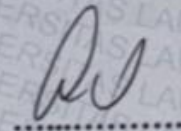


Sekretaris : **Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**

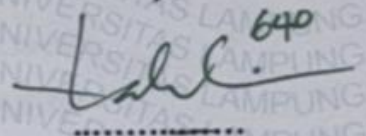


Penguji

Bukan Pembimbing : **Lia Lismeri, S.T. M.T.**



Taharuddin, S.T. M.Sc.



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **8 April 2026**



RIWAYAT HIDUP



Tevi Emiliana Andrian, penulis laporan ini dilahirkan di Yukum Jaya pada tanggal 12 April 2003, putri pertama dari pasangan Bapak Sutiyono Andry dan Ibu Sumiyati.

Penulis menyelesaikan pendidikan TK di SD IT Bustanul Ulum Terbanggi Besar pada tahun 2009, pendidikan sekolah dasar di SD IT Bustanul Ulum Terbanggi Besar pada tahun 2015, pendidikan sekolah menengah di SMP IT Bustanul Ulum Terbanggi Besar pada tahun 2018 dan pendidikan sekolah menengah atas di MAN 1 Terbanggi Besar pada tahun 2020.

Pada tahun 2020, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) sebagai Staff Departemen Hubungan Luar Periode 2021 dan BEM FT Unila sebagai Sekretaris Departemen Porakesma Periode 2022.

Pada tahun 2023, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. PERTAMINA Plaju, Sumatra Selatan dengan Tugas Khusus "Evaluasi Kinerja Cooler DEA (201)" dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Siger Berjaya Bersama mahasiswa Itera Dan UIN di Tanggamus Kec, Limau, Desa Ketapang di tahun 2023. Pada tahun 2022, penulis melakukan penelitian dengan judul "Aplikasi *Hybrid Biochar* Terhadap Zn Pada Tanah Bekas Pertambangan Batu Kapur".

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, 8 April 2026



[Signature]
Andrian

NPM. 2015041071

Motto dan Persembahan

"Sesungguhnya Tuhanku bersamaku, Dia akan memberi petunjuk kepadaku"
(QS. As-Syu'ara: 62)

"Hanya kepada Allah aku mengadukan kesusahan dan kesedihanku"
(QS. Yusuf: 86)

"Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi (pula) kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu; Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui"
(QS. Al-Baqarah: 216)

"Mungkin jalannya tidak terlalu cepat, tapi sesuatu yang berjalan dengan doa tidak akan benar-benar tersesat."

"Untuk semua doa yang diberi nyawa, semoga dihadihi aamiin yang ramai oleh semesta"

"Jalanya Terasa Berat Tapi Pada Akhirnya Semua Tetap Selesai"

Never Look Back, You're Not Going That Way"

*Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha
Penyayang.*

Kupersembahkan karya kecilku ini kepada

Allah yang Maha Esa.

Tuhan yang penuh kasih dan senantiasa menyertai.

Kemuliaan hanya bagi Engkau.

*Kedua orang tuaku, Papa dan Mama tercinta, terima kasih yang tak
terhingga untuk segala kasih dan sayang yang hingga detik ini masih
senantiasa tercurah. Adik-Adik tersayang dan keluarga besarku,
terimakasih banyak untuk doa dan dukungannya selama ini.*

Sahabat - sahabatku tersayang.

Terimakasih selalu ada dan menemani dengan setulus hati.

*Dosen-dosenku sebagai tanda hormatku, terima kasih atas ilmu yang
telah diberikan*

Serta kupersembahkan kepada Almamaterku.

Semoga dapat berguna dikemudian hari.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia, lindungan, dan hidayah-Nya yang telah dicurahkan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Prarancangan Pabrik N-Butil Klorida dari Butanol dan Asam Klorida Kapasitas 20.000 Ton/Tahun (Tugas Khusus Perancangan Reaktor (R-202))", sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi mahasiswa Program Studi Teknik Kimia untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Lampung sesuai pada waktu yang telah ditentukan. Penulis menyadari banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak selama pengerjaan laporan tugas akhir dan seminar tugas akhir.

Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah Subhanahu Waa Ta'ala, yang telah memberikan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan selamat hingga akhir.
2. Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M. Eng. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam penyelesaian skripsi dengan sabar. Banyak ilmu yang penulis dapatkan, semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
4. Bapak Taharuddin., S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan dukungan, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini. Semoga ilmu yang diberikan tersebut dapat berguna dikemudian hari.
5. Bapak Dr. Heri Rustamaji, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji I yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyelesaian tugas akhir.

7. Ibu Dr. Sri IsmiYati Damayanti, S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, dan bimbingannya bagi penulis dalam mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik
8. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika di jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung atas semua ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama ini.
9. Kedua orangtuaku yang aku sayangi, Ibu dan Bapak, Terima kasih atas segala cinta, doa, dan pengorbanan yang tidak pernah berhenti mengiringi setiap langkah hidup penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan studi ini. Ibu dan Bapak adalah sumber kekuatan, tempat penulis belajar tentang ketulusan, kerja keras, dan arti keluarga yang sesungguhnya.
10. Adik tercinta, yang selalu siap membantu dan menghibur kakak pertamanya hingga dapat menyelesaikan studi ini, semoga kalian diberi kemudahan dalam setiap langkah dan terus semangat untuk meraih cita-cita
11. Alica sebagai partner tugas akhir, penulis mengucapkan terima kasih atas segala dukungan, kerja sama, dan dedikasi yang telah diberikan hingga tugas akhir ini bisa selesai.
12. Aziza, Fadila, Lufita, Fitria, Tania selaku teman yang selalu bersedia menjadi tempat untuk bercerita dan berkeluh kesah, memberikan dukungan, semangat, dan doa.
13. Teman-teman angkatan 2020 yang juga senantiasa saling memberikan bantuan dan dukungan. Terimakasih telah menjadi lingkungan yang baik dan positif untuk penulis sehingga memotivasi penulis.
14. Kakak-kakak dan adik-Adik mahasiswa Teknik Kimia FT Unila serta semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan dan semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, April 2026

Tevi Emiliana Andrian

NPM 2015041071

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	ix
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Kegunaan Produk.....	2
1.3. Ketersediaan Bahan Baku.....	2
1.4. Analisis Pasar.....	3
1.4.1. Data Impor Butil Klorida di Indonesia.....	3
1.4.2. Data Impor Butil Klorida di Negara Lain.....	4
1.4.3. Data Pabrik Penghasil Butil Klorida di Dunia.....	7
1.5. Kapasitas Rancangan.....	7
1.6. Lokasi Pabrik.....	8
BAB II PEMILIHAN PROSES DAN URAIAN PROSES.....	11
2.1. Tinjauan Proses.....	11
2.2. Tinjauan Termodinamika.....	12
2.3. Tinjauan Ekonomi.....	21
2.4. Tinjauan Kinetika.....	24
2.5. Uraian Proses.....	24
2.6. Diagram Alir Proses.....	26
BAB III SPESIFIKASI BAHAN.....	27
3.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	27
3.2. Spesifikasi Bahan Pendukung.....	28
3.2. Spesifikasi Produk.....	29

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI.....	31
4.1. Neraca Massa.....	31
4.2. Neraca Energi.....	35
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....	50
5.1. Spesifikasi Peralatan Proses.....	39
5.2. Spesifikasi Peralatan Utilitas.....	58
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	89
6.1. Unit Pendukung Proses.....	89
6.2. Unit Pengolahan Limbah.....	105
6.3. Unit Laboratorium.....	106
6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	109
BAB VII TATA LETAK PABRIK.....	112
7.1. Lokasi Pabrik.....	112
7.2. Tata Letak Pabrik.....	114
7.3. Estimasi Area Pabrik.....	117
7.4. Tata Letak Peralatan Proses.....	118
7.5. Lokasi Pendirian Pabrik.....	120
BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI.....	121
8.1 Bentuk Perusahaan.....	121
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan.....	123
8.3 Tugas dan Wewenang.....	126
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	132
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	133
8.6 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	136
8.7 Kesejahteraan Karyawan.....	141
BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....	144
9.1. Investasi.....	144
9.2. Evaluasi Ekonomi.....	153
9.3. Angsuran Pinjaman.....	156
BAB X KESIMPULAN DAN SARAN.....	159
10.1. Kesimpulan.....	159
10.2. Saran.....	159
DAFTAR PUSTAKA.....	160

LAMPIRAN.....	134
LAMPIRAN A NERACA MASSA.....	A.1
LAMPIRAN B NERACA ENERGI.....	B.1
LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT.....	C.1
LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH...D.1	
LAMPIRAN E PERHITUNGAN INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....E.1	
LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS ROTARY SCREW REACTOR.....F.1	

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor Butil Klorida di Indonesia.....	3
Tabel 1. 2 Data Impor Butil Klorida di Negara Lain.....	4
Tabel 1. 3 Data Pabrik Penghasil Butil Klorida di Dunia.....	7
Tabel 2. 1 Data entalpi dan energy gibbs molar komponen pada kondisi standar Hidroklorinasi Butanol	12
Tabel 2. 2 Data kapasitas panas komponen Hidroklorinasi Butanol.....	13
Tabel 2. 3 Nilai kapasitas panas komponen Hidroklorinasi Butanol.....	14
Tabel 2. 4 Data entalpi dan energy gibbs molar komponen pada kondisi standar Hidroklorinasi Olefin.....	17
Tabel 2. 5 Data kapasitas panas komponen Hidroklorinasi Olefin.....	17
Tabel 2. 6 Nilai kapasitas panas komponen Hidroklorinasi Olefin.....	18
Tabel 2. 7 Perbandingan parameter antara proses.....	21
Tabel 2. 8 Tabel Harga Bahan baku dan produk.....	23
Tabel 4. 1 Komposisi Bahan Baku N-Butil Klorida.....	31
Tabel 4. 2 Berat Molekul Komponen.....	31
Tabel 4. 3 Neraca massa TP-101.....	32
Tabel 4. 4 Neraca massa TP-102.....	32
Tabel 4. 5 Neraca massa pada Reaktor (RE-201).....	32
Tabel 4. 6 Neraca Massa pada Dekanter (DE-101).....	33
Tabel 4. 7 Neraca massa pada Neraca Massa Evaporator (E-101).....	33
Tabel 4. 8 Neraca Massa pada Distilasi (Md-101).....	34
Tabel 4. 9 Neraca Massa pada Condenser (C-301).....	34
Tabel 4. 10 Neraca Massa pada Reboiler (RB-301).....	34
Tabel 4. 11 Neraca Energi pada Heater-01 (HE-101).....	35
Tabel 4. 12 Neraca Energi pada Heater 102 (HE-102).....	35
Tabel 4. 13 Neraca Energi pada Reactor-01 (RE-201).....	36
Tabel 4. 14 Neraca Energi pada Reactor-02 (RE-202).....	36
Tabel 4. 15 Neraca Energi pada Cooler-01 (CO-201).....	36
Tabel 4. 16 Neraca Energi pada Decanter-01 (DE-301).....	37
Tabel 4. 17 Neraca Energi pada Evaporator (E-301).....	37
Tabel 4. 18 Neraca Energi pada pada Condenser (CD-301).....	37

Tabel 4. 19	Neraca Energi pada Heater-03 (HE-301).....	37
Tabel 4. 20	Neraca Energi pada pada Menara Destilasi (DC-301)).....	38
Tabel 4. 21	Neraca Energi pada Cooler-01 (CO-301).....	38
Tabel 5. 1	Spesifikasi tangki penyimpanan Butanol (TP-101).....	39
Tabel 5. 2	Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	40
Tabel 5. 3	Spesifikasi tangki penyimpanan HCl (TP-102).....	40
Tabel 5. 4	Spesifikasi Pompa Proses (PP-102).....	41
Tabel 5. 5	Spesifikasi Heater-01 (HE-101).....	41
Tabel 5. 6	Spesifikasi Heater-01 (HE-102).....	42
Tabel 5. 7	Spesifikasi Reactor-01 (RE-201).....	43
Tabel 5. 8	Spesifikasi Reactor-02 (RE-202).....	44
Tabel 5. 9	Spesifikasi Pompa Proses (PP-201).....	45
Tabel 5. 10	Spesifikasi Pompa Proses (PP-202).....	45
Tabel 5. 11	Spesifikasi Cooler-01 (CO-301).....	46
Tabel 5. 12	Spesifikasi Decanter (DE-301).....	47
Tabel 5. 13	Spesifikasi Pompa Proses (PP-301).....	47
Tabel 5. 14	Spesifikasi Evaporator (EV-301).....	48
Tabel 5. 15	Spesifikasi Condensor (CD-301).....	49
Tabel 5. 16	Spesifikasi Pompa Proses (PP-303).....	49
Tabel 5. 17	pesifikasi Pompa Proses (PP-303).....	50
Tabel 5. 18	Spesifikasi Heater-03 (HE-103).....	51
Tabel 5. 19	Spesifikasi Menara Destilasi (DC-301).....	51
Tabel 5. 20	Spesifikasi Condensor (CD-301).....	52
Tabel 5. 21	Spesifikasi Accumulator (AC-301).....	53
Tabel 5. 22	Spesifikasi Reboiler (RB-301).....	53
Tabel 5. 23	Spesifikasi Pompa Proses (PP-304).....	54
Tabel 5. 24	Spesifikasi Cooler-02 (CO-302).....	54
Tabel 5. 25	Spesifikasi Pompa Proses (PP-305).....	55
Tabel 5. 26	Spesifikasi Pompa Proses (PP-306).....	55
Tabel 5. 27	Spesifikasi tangki penyimpanan N-Butil Klorida (ST-301).....	56
Tabel 5. 28	Spesifikasi Pompa Proses (PP-307).....	57
Tabel 6. 1	Kebutuhan Air Pendingin.....	92
Tabel 6. 2	Kebutuhan Air Umpan Boiler.....	95

Tabel 6. 3 Kebutuhan Air Pabrik.....	97
Tabel 6. 4 Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalia.....	110
Tabel 6. 5 Pengendalian Variabel Utama Proses.....	111
Tabel 7. 1 Pembagian Luas Area Pabrik.....	127
Tabel 8. 1 Jadwal Kerja Masing-masing Regu.....	135
Tabel 8. 2 Perincian Tingkat Pendidikan.....	136
Tabel 8. 3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses.....	137
Tabel 8. 4 Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	139
Tabel 9. 1 Perincian Total Capital Investment (TCI).....	148
Tabel 9. 2 Perincian TPC	149
Tabel 9. 3 General Expenses.....	151
Tabel 9. 4 Daftar Gaji Karyawan.....	151
Tabel 9. 5 Minimum Acceptable Persent Return on Investment.....	154
Tabel 9. 6 Minimum Acceptable Persent Pay Out Time.....	154
Tabel 9. 7 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi.....	156

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Impor Butil Klorida ke Indonesia.....	4
Gambar 1. 2 Impor Butil Klorida ke Thailand.....	5
Gambar 1. 3 Impor Butil Klorida ke India.....	5
Gambar 1. 4 Impor Butil Klorida ke Malaysia.....	6
Gambar 2. 1 Blok diagram proses hidroklorinasi butanol.....	26
Gambar 6. 1 Cooling Tower.....	93
Gambar 6. 2 Diagram Cooling Water System.....	94
Gambar 6. 3 Daerator.....	96
Gambar 6. 4 Diagram Alir Pengolahan Air.....	97
Gambar 7. 1 Tata Letak Pabrik.....	117
Gambar 7. 2 Tata Letak Peralatan Proses.....	119
Gambar 7. 3 Peta Kabupaten Gresik.....	120
Gambar 7. 4 Peta Lokasi Pabrik.....	120
Gambar 8. 1 Struktur Organisasi Perusahaan.....	125
Gambar 9. 1 Grafik Analisa Ekonomi.....	156
Gambar 9. 2 Grafik Kurva Cumulative Cash Flow.....	156

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara berkembang, Indonesia terus melakukan berbagai upaya dalam meningkatkan pembangunan di berbagai sektor, termasuk sektor industri. Salah satu sektor unggulan yang berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi nasional adalah industri kimia. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan bahan kimia setiap tahunnya, produksi bahan kimia dalam negeri justru belum mampu mengimbangnya. Untuk mencukupi kebutuhan tersebut, Indonesia masih bergantung pada impor dari negara-negara maju yang telah memiliki industri kimia yang mapan. Ketergantungan ini berpotensi meningkatkan nilai impor dari tahun ke tahun apabila tidak segera diatasi. Salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk menanggulangi permasalahan ini adalah dengan mendirikan pabrik dalam negeri guna memenuhi kebutuhan konsumsi yang terus mengalami peningkatan. Salah satu sektor industri kimia yang hingga kini belum mampu memenuhi kebutuhan dalam negeri adalah industri butil klorida.

Butil Klorida merupakan senyawa organik yang termasuk dalam golongan alkil halida dengan rumus kimia C_4H_9Cl . Senyawa ini berbentuk cairan tidak berwarna dengan aroma khas, mudah menguap, dan mudah terbakar.

Butil klorida memiliki peran penting baik sebagai bahan baku utama maupun sebagai bahan pendukung dalam berbagai proses industri. Senyawa ini digunakan sebagai bahan baku dalam sintesis butil litium serta *butyl cellosolve*. Di samping itu, butil klorida juga dimanfaatkan sebagai bahan pendukung dalam pembuatan pestisida, proses pengujian kromatografi dan spektrofotometri, serta sebagai zat aktif untuk pengendalian cacing pada hewan (BNT, 2022). Tak hanya itu, butil klorida juga berperan sebagai bahan penunjang dalam proses polimerisasi etilen dan produksi berbagai jenis polimer karet sintetis, seperti *butyl rubber* (IIR), *polyurethane* (AU), dan *viton* (FKM) (Aijun, 2008).

Dengan melihat pentingnya peran butil klorida dalam berbagai sektor industri serta cukup tingginya ketergantungan Indonesia terhadap impor, maka pendirian pabrik butil klorida di dalam negeri menjadi langkah strategis guna mendukung kemandirian dan pertumbuhan industri nasional.

1.2 Kegunaan Produk

Butil Klorida adalah senyawa organik turunan alkil halida yang memiliki berbagai fungsi dalam industri kimia. Senyawa ini digunakan baik sebagai bahan baku utama maupun bahan baku pendukung dalam berbagai proses industri dan laboratorium. Fungsinya mencakup pembuatan senyawa kimia lanjutan, pelarut, bahan aktif dalam pertanian, hingga komponen dalam produksi polimer sebagai berikut :

1. Bahan baku pembuatan butil litium dan *butyl cellosolve*.
2. Bahan pendukung dalam produksi pestisida.
3. Bahan pelarut dalam kromatografi dan spektrofotometri.
4. Bahan aktif antiparasit untuk hewan.
5. Bahan pendukung dalam polimerisasi etilen.
6. Bahan penunjang produksi karet sintetis seperti *butyl rubber* (IIR), *polyurethane* (AU), *viton* (FKM).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor yang sangat penting bagi keberlangsungan produksi suatu pabrik. Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi butil klorida adalah butanol (C_4H_9OH), asam Klorida (HCl), dan zinc klorida ($ZnCl_2$). Dimana butanol akan diperoleh dari PT. Petro Oxo Nusantara yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur yang memiliki kapasitas 100.000 ton/tahun. asam klorida akan diperoleh di PT. Sulfindo Adiusaha yang memiliki kapasitas 125.000 ton/tahun dan berlokasi di Serang, Banten. Untuk kebutuhan bahan pendukung yaitu zinc klorida akan diperoleh dari Hainan Yanghang Industrial Co., Ltd yang berlokasi di Tiongkok.

1.4 Analisa Pasar

Analisis pasar merupakan salah satu langkah untuk menentukan seberapa tinggi minat pasar terhadap suatu produk dalam hal ini adalah butil klorida (Munawaroh, dkk. 2019). Analisis pasar pada perancangan pabrik atau industri dapat dicari menggunakan beberapa metode diantaranya analisis kebutuhan pasar produk, ketersediaan bahan baku, serta perbandingan pabrik sejenis.

Untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk, analisis pasar meliputi data impor di Indonesia, data impor negara lain dan data produksi pabrik yang sudah berdiri.

1.4.1 Data Impor Butil Klorida di Indonesia

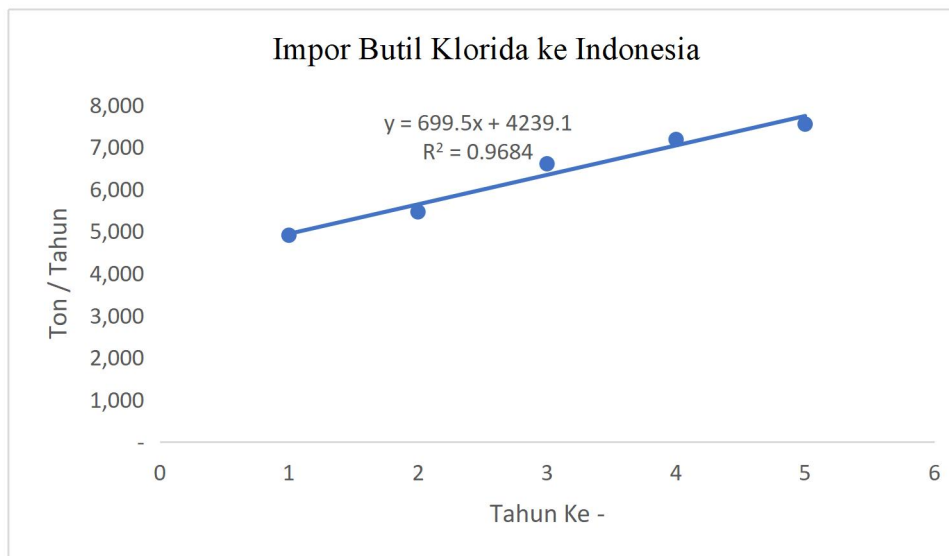
Berikut data impor butil klorida di Indonesia berdasarkan data UN Comtrade dalam periode waktu 2020 – 2024 :

Tabel 1.1 Data Impor Butil Klorida di Indonesia

Tahun Ke -	Jumlah Impor (Ton/Tahun)
1	4905
2	5460
3	6601
4	7179
5	7543

Sumber : UN Comtrade, 2020 – 2024.

Berdasarkan data dari UN Comtrade, kebutuhan impor butil klorida di Indonesia selama lima tahun mengalami kenaikan hingga tahun 2024 mencapai 7.543 ton/tahun dan untuk memenuhi kebutuhan tersebut Indonesia perlu mengimpor dari beberapa negara. Hal ini menunjukkan minat pasar butil klorida di Indonesia cukup tinggi dan terus meningkat, maka dengan ini pendirian pabrik butil klorida di Indonesia perlu dilakukan guna mengurangi ketergantungan impor dalam negeri dan menghemat devisa negara serta untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia.



Gambar 1.1 Impor Butil Klorida ke Indonesia

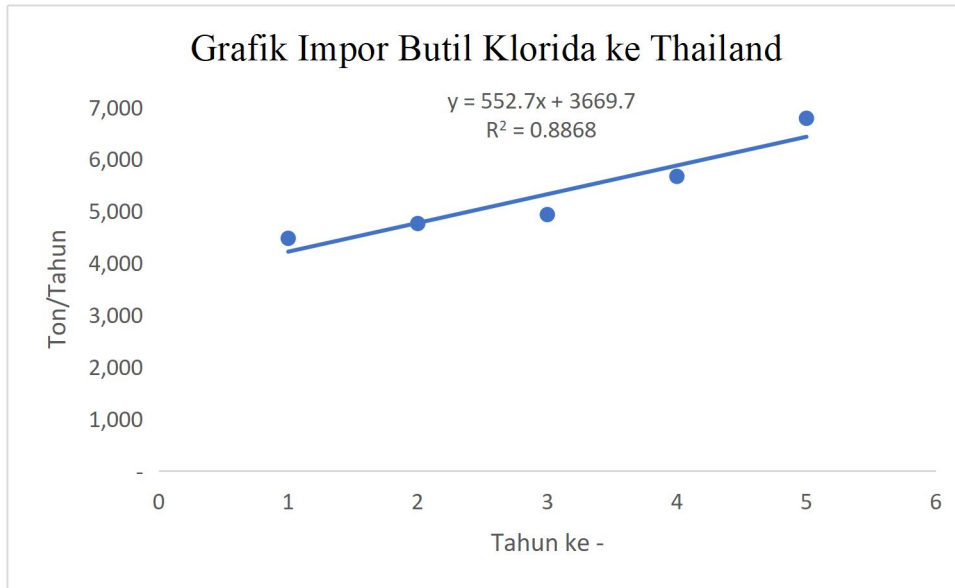
Kebutuhan impor butil klorida di Indonesia dari Gambar 1.1 diperoleh persamaan regresi linear $y = 699,5x + 4239,1$. Dengan persamaan tersebut dapat dikalkulasikan proyeksi kebutuhan butil klorida di Indonesia pada tahun 2030 berkisar pada 11.934 ton.

1.4.2 Data Impor Butil Klorida di Negara Lain

Hingga saat ini, Indonesia belum menjadikan butil klorida sebagai komoditas ekspor. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, Indonesia masih bergantung pada impor karena belum terdapat pabrik butil klorida yang beroperasi di dalam negeri. Berdasarkan kondisi tersebut, untuk mengetahui peluang ekspor butil klorida di pasar dunia setelah kebutuhan domestik terpenuhi, berikut data impor butil klorida di Malaysia, India, dan Thailand pada periode 2020 – 2024.

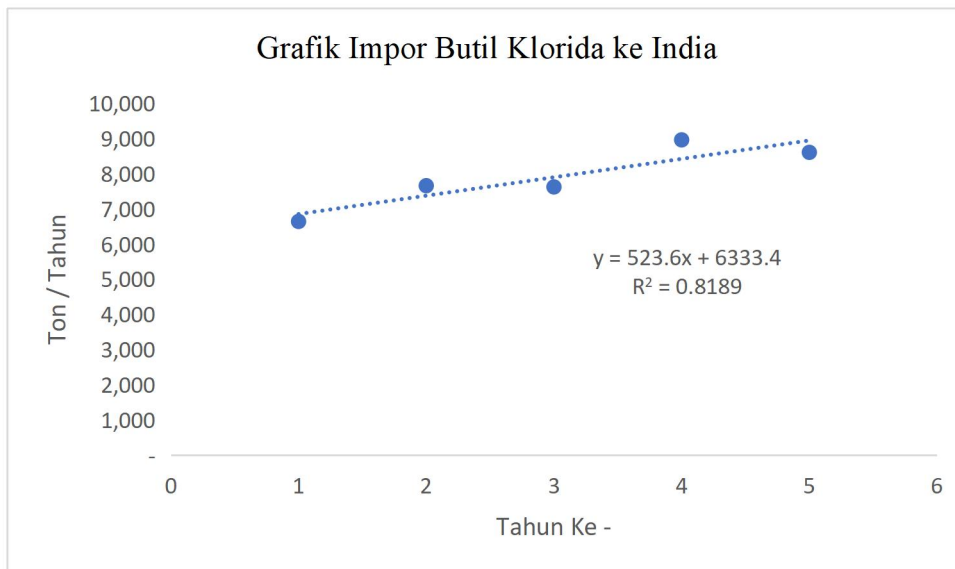
Tahun Ke -	Jumlah Impor (Ton/Tahun)		
	Thailand	India	Malaysia
1	4479	6647	1882
2	4764	7664	2708
3	4936	7629	3399
4	5671	8968	3431
5	6789	8613	4850

Sumber : UN Comtrade, 2020 – 2024.



Gambar 1.2 Impor Butil Klorida ke Thailand

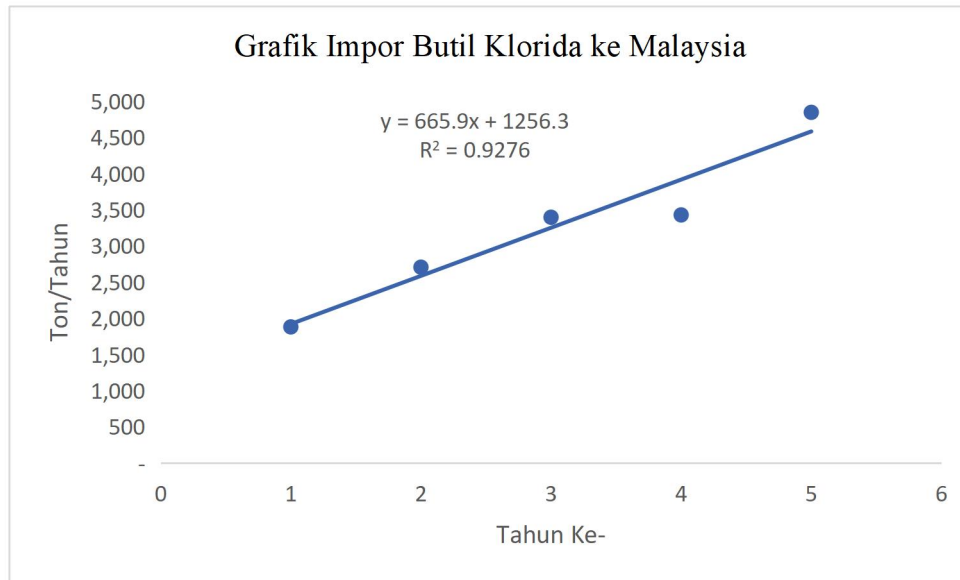
Kebutuhan impor butil klorida di Thailand dari Gambar 1.2 diperoleh persamaan regresi linear $y = 552,7x + 3669,7$. Dengan persamaan tersebut dapat dikalkulasikan proyeksi kebutuhan butil klorida di Thailand pada tahun 2030 berkisar pada 9.749 ton.



Gambar 1.3 Impor Butil Klorida ke India

Kebutuhan impor butil klorida di India dari Gambar 1.3 diperoleh persamaan regresi linear $y = 523,6x + 6333,4$. Dengan persamaan tersebut dapat

dikalkulasikan proyeksi kebutuhan butil klorida di India pada tahun 2030 berkisar pada 12.093 ton.



Gambar 1.3 Impor Butil Klorida ke Malaysia

Kebutuhan impor butil klorida di Malaysia dari Gambar 1.4 diperoleh persamaan regresi linear $y = 665,9x + 1256,3$. Dengan persamaan tersebut dapat dikalkulasikan proyeksi kebutuhan butil klorida di Malaysia pada tahun 2030 berkisar pada 8.581 ton.

Berdasarkan hasil data dari perhitungan persamaan regresi linear dari ketiga negara tersebut, dapat diprediksi impor butil klorida pada tahun 2030 di negara lain sebesar 30.423 ton/tahun. Pabrik ini direncanakan memenuhi 25% dari total kebutuhan beberapa kebutuhan negara tersebut yaitu sebesar 7.606 ton/tahun.

1.4.3 Data Pabrik Penghasil Butil Klorida di Dunia

Berikut data Pabrik penghasil Butil Klorida di Dunia :

Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
Jiangsu Changjili New Energy Technology Co., Ltd	Tiongkok	6.000
Shandong Tongcheng Co., Ltd.	Tiongkok	12.000
Evonik Industries	Jerman	22.000
VanDeMark Chemical Inc	USA	22.000
Aceto Chemicals	USA	24.000

1.5 Kapasitas Rancangan

Perhitungan kapasitas pabrik butil klorida yang direncanakan akan beroperasi pada tahun 2025 menggunakan persamaan berikut :

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5$$

dengan,

m_1 = nilai impor tahun 2030 (ton/tahun)

m_2 = produksi pabrik dalam negeri (ton/tahun)

m_3 = kapasitas pabrik yang akan didirikan (ton/tahun)

m_4 = nilai ekspor tahun 2030 (ton/tahun)

m_5 = nilai konsumsi dalam negeri tahun 2030 (ton/tahun)

Asumsi :

m_1 = 0, dikarenakan pabrik yang akan dibangun memenuhi seluruh kebutuhan butil klorida dalam negeri.

m_2 = 0, dikarenakan sampai tahun 2030 belum ada pabrik butil klorida yang didirikan di Indonesia.

Sehingga, kapasitas pabrik butil klorida yang akan didirikan pada tahun 2030 adalah:

$$\begin{aligned} m_3 &= (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2) \\ &= (11.934 + 7.606) \text{ ton/tahun} \\ &= 19.540 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Maka dari perhitungan tersebut kapasitas produksi dari pabrik butil klorida yang akan didirikan pada tahun 2030 adalah sebesar 20.000 Ton/Tahun. Sebanyak 11.934 ton/tahun diperuntukkan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan 7.606 ton/tahun tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan nilai ekspor menjadi 25% dari total kebutuhan beberapa negara.

1.6 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik bagi suatu perancangan merupakan salah satu hal yang penting karena berpengaruh secara langsung terhadap keberlangsungan hidup pabrik. Banyak faktor yang menjadi pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik, antara lain sumber bahan baku, letak dan sarana transportasi, utilitas, dan daerah pemasaran. Berdasarkan faktor-faktor tersebut maka pabrik yang akan didirikan berlokasi di kawasan industri Gresik, Jawa Timur dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pabrik butil klorida adalah butanol yang diperoleh dari PT. Petro Oxo Nusantara, Gresik, Jawa Timur dengan kapasitas 100.000 ton/tahun dan asam klorida yang diperoleh dari PT Sulfindo Adiusaha, Cilegon, Jawa Barat dengan kapasitas 125.000 ton/tahun dan bahan pendukung zinc klorida diperoleh dari Hainan Yanghang Industrial Co., Ltd. dengan kapasitas 120.000 ton/tahun.

2. Letak dan Sarana Transportasi

Ketersediaan sarana transportasi yang memadai sangat berperan dalam kelancaran distribusi produk maupun pasokan bahan baku. Akses jalur darat dapat dilalui melalui Jalan Deandles (Jalan Nasional) Gresik–Tuban serta Jalan Tol Manyar yang berjarak sekitar 20 km. Kondisi ini tentu mempermudah proses

pengiriman bahan baku maupun distribusi produk. Selain jalur darat, wilayah Gresik juga dekat dengan Pelabuhan Tanjung Perak. Dengan adanya akses transportasi tersebut, diharapkan proses distribusi dapat berjalan lancar tanpa hambatan.

3. Utilitas

Utilitas yang diperlukan adalah air, bahan bakar serta listrik. Listrik merupakan energi yang sangat penting ketersediannya untuk menunjang berjalannya pabrik. Terdapat Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Gas (PLTGU) yang dikelola oleh PT. Pembangkitan Jawa – Bali di Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pembangkit ini mengoperasikan 2 PLTG, 4 PLTU, dan 3 blok PLTGU dengan total kapasitas 2.218 MW. Wilayah Kabupaten Gresik didominasi oleh perairan, dimana wilayah daratan seluas 1.191,25 km² sedangkan wilayah perairan seluas 5.773,80 km². Hampir sepertiga bagian dari wilayah Kabupaten Gresik merupakan daerah pesisir pantai, yaitu sepanjang 140 km, 69 km di daratan memanjang mulai dari Kecamatan Kebomas, Gresik, Manyar, Bungah, Ujungpangkah, Sidayu dan Panceng, serta 71 km di Kecamatan Tambak dan Sangkapura yang berada di Pulau Bawean. Selain pesisir pantai, Kabupaten Gresik juga memiliki 6 Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu Tlogosandang, Sibro, Canga'an, Bengawan Solo, Corong, dan Lamong. DAS Bengawan Solo dan DAS Kali Lamong merupakan DAS yang memungkinkan untuk memenuhi kebutuhan air pabrik berupa air sungai karena debitnya yang besar (Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur, 2017).

4. Pemasaran

Lokasi pemasaran memengaruhi harga produk dan biaya transportasi. Letak pabrik yang berdekatan dengan pasar penyebaran produk adalah pertimbangan penting karena lebih mudah terjangkau konsumen dan mengurangi biaya transportasi. Konsumen utama butil klorida adalah industri karet yang mencakup produksi seperti *butyl rubber* (IIR), *polyurethane* (AU), *viton* (FKM), dan bahan baku untuk produksi *butyl cellosolve* dan butil litium. Adanya jalan lintas Jakarta – Merak semakin mendukung distribusi produk. Selain itu, terdapat transportasi laut, yaitu

pelabuhan Merak yang dapat digunakan untuk distribusi produk ke pulau-pulau lainnya di Indonesia, sehingga pemasaran produk di dalam dan di luar Pulau Jawa dapat ditangani dengan mudah. Pemilihan lokasi pabrik di Gresik juga mengingat daerah tersebut merupakan daerah utama transportasi (Jalan Pantura) dan sentral industri Jawa Timur selain Surabaya.

5. Tenaga Kerja

Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Gresik sebanyak 27.072 laki-laki dan 11.609 perempuan merupakan pengangguran. Dengan besarnya tingkat pengangguran, pendirian pabrik akan membuka lapangan pekerjaan baru sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan warga Gresik. Selain itu, lokasi pabrik mudah dijangkau oleh transportasi angkutan yang beroperasi secara permanen pada daerah lokasi pabrik.

6. Karakteristik Lokasi

Berdasarkan data Gresik pada tahun 2022, Kondisi iklim dan cuaca masyarakat Gresik sudah terbiasa dengan adanya industri. Hal tersebut berdampak baik sehingga kawasan ini tidak menimbulkan masalah lingkungan dan adaptasi masyarakat yang tinggal di dekat lokasi pabrik. Iklim Kabupaten Gresik termasuk tropis dengan temperatur rata-rata 28,5°C dan kelembaban udara rata-rata 2.245 mm/tahun. Selain itu lokasi pabrik yang berada di daerah khusus untuk kawasan industri memudahkan dalam perizinan pendirian pabrik.

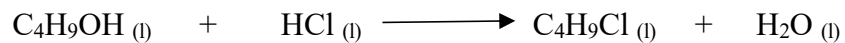
II. PEMILIHAN PROSES DAN URAIAN PROSES

2.1 Tinjauan Proses

Proses pembentukan butil klorida (C_4H_9Cl) dapat dilakukan dengan dua cara, berikut merupakan beberapa proses untuk memproduksi butil klorida.

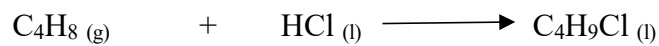
1. Hidroklorinasi Butanol

Hidroklorinasi merupakan suatu reaksi kimia di mana atom klorin dari asam klorida bereaksi dengan senyawa organik. Dalam sintesis butil klorida, reaksi ini berlangsung melalui mekanisme substitusi pada kondisi fase cair-cair, dengan bantuan katalis $ZnCl_2$ untuk mempercepat prosesnya. Proses ini dilakukan pada reaktor alir tangki berpengaduk pada suhu $80^\circ C$ dan tekanan 1,013 bar, dengan perbandingan molar rasio umpan antara butanol dan asam klorida adalah 1:1 dan perbandingan molar butanol dengan katalis adalah 1:0,15 (Sun Aijun, 2008).



2. Hidroklorinasi Olefin

Proses pembuatan butil klorida dapat dilakukan melalui hidroklorinasi olefin, di mana butil klorida dihasilkan dari reaksi substitusi antara olefin (dalam hal ini 1-butena) dengan asam klorida, menggunakan katalis boron trifluorida (BF_3). Reaksi dijalankan dengan perbandingan mol antara olefin dan katalis sekitar 10:1 hingga 20:1, tekanan operasi antara 34-54 atm, suhu sekitar $65^\circ C$, dan konversi yang dicapai sebesar $\pm 80\%$ (Axe, 1948).



2.2 Tinjauan Termodinamika

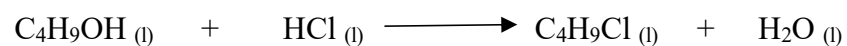
Tinjauan termodinamika bertujuan untuk mengetahui besaran energi yang dibutuhkan atau dilepaskan pada suatu reaksi. Tinjauan termodinamika dapat dianalisis berdasarkan perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan energi bebas gibbs (ΔG) pada suatu reaksi.

Perubahan entalpi (ΔH) menggambarkan besarnya panas yang harus diberikan atau dilepaskan oleh suatu reaksi. Apabila perubahan entalpi bernilai positif reaksi tersebut membutuhkan atau menyerap panas dari lingkungannya atau biasa disebut reaksi endotermis, sedangkan jika perubahan entalpi bernilai negatif, maka reaksi tersebut melepaskan panas dari sistem ke lingkungan, atau biasa disebut reaksi eksotermis (Suryana, 2014). Dari nilai perubahan entalpi ini dapat diketahui seberapa besar suplai panas yang diperlukan agar reaksi berlangsung.

Sementara itu spontanitas suatu reaksi ditentukan oleh perubahan energi bebas gibbs (ΔG). Apabila (ΔG) bernilai negatif, maka reaksi dapat bereaksi secara spontan, tanpa adanya tambahan energi eksternal. Namun apabila (ΔG) bernilai positif, maka reaksi tidak spontan dan membutuhkan energi tambahan agar dapat berlangsung spontan.

Berikut ini merupakan perhitungan perubahan entalpi dan perubahan energi bebas gibbs pada proses pembuatan butil klorida.

1. Hidroklorinasi Butanol



Berikut ini merupakan perhitungan ΔH dan ΔG untuk teknologi hidroklorinasi butanol.

Tabel 2.1 Data entalpi dan energy bebas gibbs molar komponen pada kondisi standar (298,15 K)

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)
C ₄ H ₉ OH	-327,18	-150,67
HCl	-92,307	-95,29
C ₄ H ₉ Cl	-188,15	-38,79
H ₂ O	-285,83	-228,6

Sumber: Yaws, 1999

Tabel 2.2 Data kapasitas panas komponen

Komponen	A	B	C	D
C ₄ H ₉ OH	83,877	5,6628E-01	-1,7208E-03	2,2780E-06
HCl	73,993	-1,2946E-01	-7,8980E-05	2,6409E-06
C ₄ H ₉ Cl	86,225	5,1021E-01	-1,6387E-03	2,4698E-06
H ₂ O	92,053	-3,9953E-02	-2,1103E-04	5,3469E-07

Sumber: Yaws. (1999), dengan $C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$ dimana T = suhu (K).

Menghitung entalpi reaksi (ΔH) kondisi operasi (T = 353,15 K)

$$\Delta H = \Delta H^\circ + \Delta C_p(T - T_0)$$

(Smith et al., 2001)

Menghitung entalpi reaksi standar (ΔH°) (T = 298,15 K)

$$\Delta H^\circ = \Sigma(n\Delta H_{f^\circ})_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta H_{f^\circ})_{\text{reaktan}}$$

(Bird, 1987)

$$\Delta H^\circ = \Sigma(n\Delta H_{f^\circ})_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta H_{f^\circ})_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H^\circ = [(nC_4H_9Cl \times \Delta H_{f^\circ}C_4H_9Cl) + (nH_2O \times \Delta H_{f^\circ}H_2O)] - [(nC_4H_9OH \times \Delta H_{f^\circ}C_4H_9OH) + (nHCl \times \Delta H_{f^\circ}HCl)]$$

$$\begin{aligned}
&= [(1 \times (-188,15 \text{ kJ/mol})) + (1 \times (-285,83 \text{ kJ/mol}))] - \\
&\quad [(1 \times (-327,18 \text{ kJ/mol})) + (1 \times (-92,307 \text{ kJ/mol}))] \\
&= -54,493 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Menghitung nilai kapasitas panas (Cp)

$$\Delta C_p = \sum_i n_i C_{p_i}$$

(Smith et al., 2001)

Berdasarkan data pada Tabel 2. diperoleh nilai Cp masing-masing komponen pada kondisi operasi sebagai berikut

Tabel 2.3 Nilai kapasitas panas komponen

Komponen	Kapasitas Panas (Cp) (J/mol.K)
C ₄ H ₉ OH	167,50
HCl	134,73
C ₄ H ₉ Cl	170,80
H ₂ O	75,17

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
\Delta C_p &= \sum_i n_i C_{p_i} \\
&= [(n_{C_4H_9Cl} \times C_{p_{C_4H_9Cl}}) + (n_{H_2O} \times C_{p_{H_2O}})] - \\
&\quad [(n_{C_4H_9OH} \times C_{p_{C_4H_9OH}}) + (n_{HCl} \times C_{p_{HCl}})] \\
&= [(1 \times (170,80 \text{ J/mol})) + (1 \times (75,17 \text{ J/mol}))] - \\
&\quad [(1 \times (167,50 \text{ J/mol})) + (1 \times (134,73 \text{ J/mol}))] \\
&= -56,25 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = -0,05625 \text{ kJ/mol.K}
\end{aligned}$$

Diperoleh nilai ΔH :

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta H^\circ + \Delta C_p(T - T_0) \\ &= -54,493 \text{ kJ/mol} + (-0,05625 \text{ k J/mol} \cdot \text{K} (353,15 \text{ K} - \\ &\quad 298,15 \text{ K})) \\ &= -57,59 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Menghitung Energi bebas gibbs (ΔG)

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_c$$

(Bird, 1987)

Menghitung energi gibbs pembentukan standar (ΔG°) ($T = 298,15 \text{ K}$)

$$\Delta G^\circ = \Sigma(n\Delta G_f^\circ)_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta G_f^\circ)_{\text{reaktan}}$$

(Bird, 1987)

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= [(nC_4H_9Cl \times \Delta G_f^\circ C_4H_9Cl) + (nH_2O \times \Delta G_f^\circ H_2O)] - \\ &\quad [(nC_4H_9OH \times \Delta G_f^\circ C_4H_9OH) + (nHCl \times \Delta G_f^\circ HCl)] \\ &= [(1 \times (-38,79 \text{ kJ/mol})) + (1 \times (-228,6 \text{ kJ/mol}))] - \\ &\quad [(1 \times (-150,67 \text{ kJ/mol})) + (1 \times (-95,299 \text{ kJ/mol}))] \\ &= -21,421 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Menghitung konstanta kesetimbangan pada kondisi standar (K_{c0})

($T = 298,15 \text{ K}$)

$$K_{c0} = e^{-\Delta G^\circ/RT}$$

(Bird, 1987)

$$\begin{aligned}
 K_{c0} &= e^{-\Delta G^\circ/RT} \\
 &= e^{-\frac{21,421 \text{ kJ/mol}}{(0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}\cdot\text{K}})(298,15 \text{ K})}} \\
 &= 5.662,46 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Menghitung konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi (K_c)
($T = 353,15 \text{ K}$)

$$\ln \frac{K_{c0}}{K_c} = \frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

(Bird, 1987)

$$\ln \frac{K_{c0}}{K_c} = \frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{5.662,46 \text{ kJ/mol}}{K_c} = \frac{-54,493 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol}\cdot\text{K}} \left(\frac{1}{353,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{5.662,46 \text{ kJ/mol}}{K_c} = 0,003423 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \cdot \text{K}$$

$$\ln \frac{5.662,46}{K_c} = 3,61$$

$$\frac{5.662,46}{K_c} = e^{3,61}$$

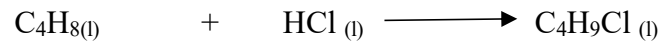
$$\frac{5.662,46}{K_c} = 37,087$$

$$K_c = 152,68$$

Sehingga diperoleh nilai ΔG :

$$\begin{aligned}
 \Delta G &= \Delta G^\circ + RT \ln K_c \\
 &= -21,421 \text{ kJ/mol} + ((0,008314 \text{ kJ/mol}\cdot\text{K})(353,15 \text{ K})(\ln 152,68)) \\
 &= -6.657,32 \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

2. Hidroklorinasi Olefin



Berikut ini merupakan perhitungan ΔH dan ΔG untuk teknologi hidroklorinasi olefin.

Tabel 2.1 Data entalpi dan energy bebas gibbs molar komponen pada kondisi standar (298,15 K)

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)	ΔG_f° (kJ/mol)
C ₄ H ₈	-0,63	71,3
HCl	-92,307	-95,29
C ₄ H ₉ Cl	-188,15	-38,79

Sumber: Yaws, 1999

Tabel 2.2 Data kapasitas panas komponen

Komponen	A	B	C	D
C ₄ H ₈	74,5670	0,3343	-1,39E-03	3,02E-06
HCl	73,993	-1,2946E-01	-7,8980E-05	2,6409E-06
C ₄ H ₉ Cl	86,225	5,1021E-01	-1,6387E-03	2,4698E-06

Sumber:

Yaws. (1999), dengan $C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$ dimana T = suhu (K).

Menghitung entalpi reaksi (ΔH) kondisi operasi (T = 338,15 K, P = 15,8 atm)

$$\Delta H = \Delta H^\circ + \Delta C_p(T - T_0)$$

(Smith et al., 2001)

Menghitung entalpi reaksi standar (ΔH°) ($T = 298,15 \text{ K}$)

$$\Delta H^\circ = \Sigma(n\Delta H_f^\circ)_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta H_f^\circ)_{\text{reaktan}}$$

(Bird, 1987)

$$\Delta H^\circ = \Sigma(n\Delta H_f^\circ)_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta H_f^\circ)_{\text{reaktan}}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= [(nC_4H_9Cl \times \Delta H_f^\circ C_4H_9Cl)] - [(nC_4H_8 \times \Delta H_f^\circ C_4H_8) + \\ &\quad (nHCl \times \Delta H_f^\circ HCl)] \\ &= [(1 \times (-188,15 \text{ kJ/mol}))] - [(1 \times (-0,63 \text{ kJ/mol})) + (1 \times \\ &\quad (-92,307 \text{ kJ/mol}))] \\ &= -95,213 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Menghitung nilai kapasitas panas (C_p)

$$\Delta C_p = \Sigma n_i C_{p_i}$$

(Smith et al., 2001)

Berdasarkan data pada Tabel 2. diperoleh nilai C_p masing-masing komponen pada kondisi operasi sebagai berikut

Tabel 2.3 Nilai kapasitas panas komponen

Komponen	Kapasitas Panas (C_p)
	(J/mol.K)
C_4H_8	145,45
HCl	123,29
C_4H_9Cl	166,86

Sehingga diperoleh:

$$\Delta C_p = \Sigma n_i C_{p_i}$$

$$\begin{aligned}
&= [(nC_4H_9Cl \times CpC_4H_9Cl) - [(nC_4H_8 \times CpC_4H_8) + (nHCl \\
&\quad \times CpHCl)]] \\
&= [(1 \times (166,86 \text{ kJ/mol}))] - [(1 \times (145,45 \text{ kJ/mol})) + (1 \times (- \\
&\quad 123,29 \text{ kJ/mol}))] \\
&= -101,88 \text{ J/mol} \cdot K = -0,101882 \text{ kJ/mol} \cdot K
\end{aligned}$$

Diperoleh nilai ΔH :

$$\begin{aligned}
\Delta H &= \Delta H^\circ + \Delta Cp(T - T_0) \\
&= 95,213 \text{ kJ/mol} + -0,101882 \text{ kJ/mol} \cdot K (338,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) \\
&= -99,29 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Menghitung Energi bebas gibbs (ΔG)

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_c$$

(Bird, 1987)

Menghitung energi gibbs pembentukan standar (ΔG°) ($T = 298,15 \text{ K}$)

$$\Delta G^\circ = \Sigma(n\Delta G_f^\circ)_{\text{produk}} - \Sigma(n\Delta G_f^\circ)_{\text{reaktan}}$$

(Bird, 1987)

$$\begin{aligned}
\Delta G^\circ &= [(nC_4H_9Cl \times \Delta G_f^\circ C_4H_9Cl) - [(nC_4H_8 \times \Delta G_f^\circ C_4H_8) + \\
&\quad (nHCl \times \Delta G_f^\circ HCl)]] \\
&= [(1 \times (-38,79 \text{ kJ/mol}))] - [(1 \times (-71,3 \text{ kJ/mol})) + (1 \times \\
&\quad (-95,299 \text{ kJ/mol}))] \\
&= -14,791 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Menghitung konstanta kesetimbangan pada kondisi standar (K_{c0})

($T = 298,15 \text{ K}$)

$$K_{c0} = e^{-\Delta G^{\circ}/RT}$$

(Bird, 1987)

$$\begin{aligned} K_{c0} &= e^{-\Delta G^{\circ}/RT} \\ &= e - \frac{-14,791 \text{ kJ/mol}}{(0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}\cdot\text{K}})(298,15 \text{ K})} \\ &= 390,31 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Menghitung konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi (K_c)

($T = 338,15 \text{ K}$)

$$\ln \frac{K_{c0}}{K_c} = \frac{\Delta H^{\circ}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

(Bird, 1987)

$$\ln \frac{K_{c0}}{K_c} = \frac{\Delta H^{\circ}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{390,315}{K_c} = \frac{-95,213 \text{ J/mol}}{0,008314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}} \left(\frac{1}{338,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{390,315}{K_c} = 4,74$$

$$\ln \frac{390,315}{K_c} = 4,74$$

$$\frac{390,315}{K_c} = e^{4,74}$$

$$\frac{390,315}{K_c} = 114,21$$

$$K_c = 3,417$$

Sehingga diperoleh nilai ΔG :

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta G^\circ + RT \ln K_c \\ &= -14,791 \text{ kJ/mol} + ((0,008314 \text{ kJ/mol} \cdot \text{K})(338,15 \text{ K})(\ln \\ &\quad 3,417)) \\ &= -11.336 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Dari tinjauan termodinamika diatas dapat dilihat perbandingan dapat dilihat perbandingan dari kedua proses.

Tabel 2.5 Perbandingan parameter antara proses.

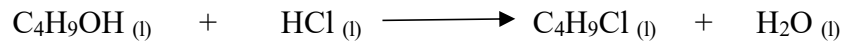
Parameter	Jenis-Jenis Proses	
	Hidroklorinasi Butanol	Hidroklorinasi Olefin
Suhu Operasi (°C)	80	65
Tekanan (atm)	1	34 – 54
Konversi Reaksi (%)	87	80
Katalis	ZnCl ₂	BF ₃
Termodinamika	Reaksi bersifat eksotermis dan reaksi berlangsung spontan	Reaksi bersifat eksotermis dan reaksi berlangsung spontan

Berdasarkan uraian di atas maka dipilih proses hidroklorinasi butanol sebagai proses yang akan digunakan dalam perancangan pabrik butil klorida. Alasan pemilihan proses tersebut adalah tekanan operasi yang atmosferik, harga katalis yang murah, dan konversi yang cukup tinggi.

2.3 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi pada prarancangan pabrik berguna untuk menilai keuntungan suatu pabrik yang akan didirikan, sehingga dapat diketahui apakah pabrik tersebut layak, menguntungkan dan dapat bersaing di pasaran.

Persamaan reaksi proses hidroklorinasi butanol



Basis : 1.000 kg $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$

BM $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ = 74,12 g/mol

BM HCl = 36,46 g/mol

BM $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ = 92,57 g/mol

BM H_2O = 18,01 g/mol

$$\begin{aligned} \text{mol } \text{C}_4\text{H}_9\text{Cl} &= \frac{\text{Massa } \text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}}{\text{BM } \text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}} \\ &= \frac{1.000 \text{ kg}}{92,57 \text{ g/mol}} \\ &= 10,80 \text{ kmol} \end{aligned}$$

Konversi = 87%

	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}_{(l)}$	+	$\text{HCl}_{(l)}$	\longrightarrow	$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}_{(l)}$	+	$\text{H}_2\text{O}_{(l)}$
Mula-mula	12,41		12,41				
Bereaksi	10,80		10,80		10,80		10,80
Sisa	1,61		1,61		10,80		10,80

Maka

Jumlah reaktan atau bahan baku yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 12,41 \text{ kmol} \times 74,12 \text{ g/mol} \\ &= 920,33 \text{ kg} = 0,9203 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl} &= 12,41 \text{ kmol} \times 36,46 \\ &= 452,71 \text{ kg} = 0,4527 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jumlah produk yang terbentuk

$$\begin{aligned} \text{C}_4\text{H}_9\text{Cl} &= 10,80 \text{ kmol} \times 92,57 \text{ g/mol} \\ &= 1000 \text{ kg} = 1 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= 10,80 \text{ kmol} \times 18,01 \text{ g/mol} \\ &= 194,55 \text{ kg} = 0,1946 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jumlah bahan baku tidak bereaksi :

$$\begin{aligned} \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} &= 1,61 \text{ kmol} \times 74,12 \text{ g/mol} \\ &= 58,85 \text{ kg} = 0,5885 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HCl} &= 1,61 \text{ kmol} \times 36,46 \\ &= 119,64 \text{ kg} = 0,11964 \text{ ton} \end{aligned}$$

Tabel Harga Bahan baku dan produk

	Komponen	Rumus Kimia	\$/Ton
Bahan Baku	Butanol	$\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$	700
	Asam Klorida	HCl	50
Produk	Butil Klorida	$\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$	3000

Selanjutnya dapat dihitung keuntungan kasar dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{EP} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Butil Klorida} - (\text{Butanol} + \text{Asam Klorida}) \\ &= (1 \times 3000) - (0,92033 \times 700 + 0,4527 \times 50) \\ &= \$2333,13/\text{ton} \\ &= \$2333,13/\text{ton} \times 20.000 \text{ ton/tahun} \\ &= \$46.662.593,95/\text{tahun} (\$1 = \text{Rp } 16.000,-) \\ &= \text{Rp } 746.601.503.180,57/\text{tahun} \end{aligned}$$

Harga bahan baku total adalah

$$\begin{aligned} &= \$666,87/\text{ton} \times 20.000 \text{ ton/tahun} \\ &= \$13.337.406,05/\text{tahun} (1\$ = \text{Rp } 16.000) \\ &= \text{Rp } 213.398.498.819,43/\text{tahun} \end{aligned}$$

2.4 Uraian proses

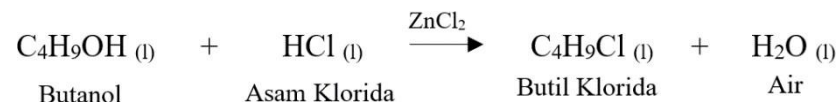
Secara garis besar, reaksi pembuatan butil klorida dari butanol dan asam klorida dapat dibagi menjadi 3 tahap:

1. Persiapan bahan baku

Proses persiapan bahan baku dalam pabrik ini diawali dengan mengalirkan arus *fresh feed* butanol dari tangki penyimpanan (TK-101) yang disimpan pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 1,013 bar, arus *fresh feed* asam klorida dari tangki penyimpanan (TK-102) yang disimpan pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 1,013 bar, serta arus *recycle* zinc klorida dari evaporator (E-101), dan arus *recycle* dari menara distilasi (T-101) ke dalam reaktor (R-101).

2. Reaksi pembentukan butil klorida

Seluruh reaktan yang sudah berada pada kondisi suhu dan tekanan reaksi tersebut, masuk ke reaktor (R-101) dan terjadi reaksi seperti berikut ini:



Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, sehingga untuk menjaga kestabilan reaksi dan pencapaian konversi, reaktor perlu dilengkapi dengan pendingin. Reaksi berlangsung di dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) dengan katalis zinc klorida. Perbandingan mol umpan antara butanol dengan asam klorida adalah 1 : 1 dan perbandingan mol antara butanol dan katalis zinc klorida adalah 1 : 0,15. reaktor yang digunakan berjumlah 2 buah (R-101/102) dengan konversi yang dihasilkan di R-101 mencapai 72% dan R-102 dengan total konversi mencapai 87%.

3. Pemurnian produk

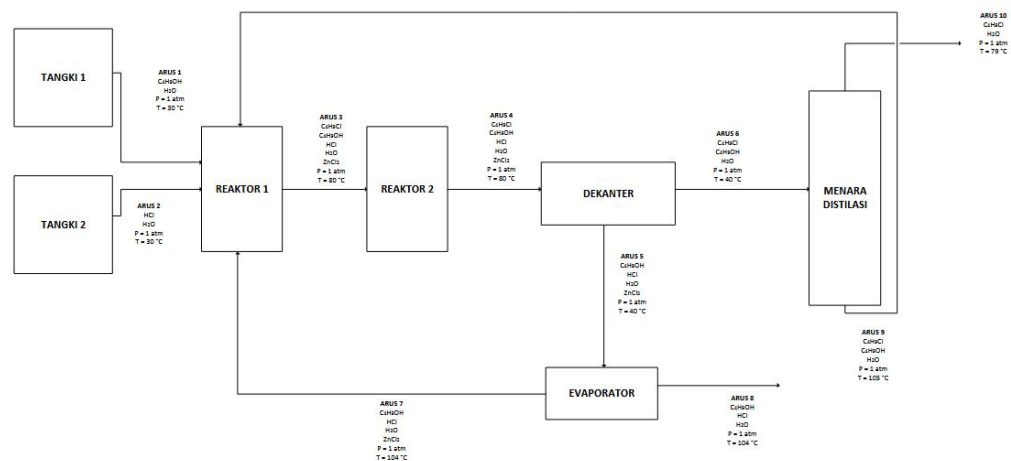
Produk keluar reaktor berupa butil klorida dan air serta sisa reaktan asam klorida dan butanol selanjutnya diturunkan suhunya dengan *cooler* (E-102) hingga mencapai suhu operasi 40°C, dan tekanan 1,013 bar sebelum masuk dekanter (V-101). Dalam dekanter terjadi pemisahan berdasarkan prinsip kelarutan dan densitas. Butil klorida dan butanol yang tidak terlarut dalam air akan terpisah dari asam klorida, zinc klorida dan air. Berdasarkan densitasnya, hasil fase ringan keluaran dekanter (V-101) berupa campuran butil klorida, butanol,

dan sedikit air yangselanjutnya dialirkan ke menara distilasi (T-101). Campuran butil klorida, butanol dan air dipanaskan dengan *heater* (E-106) untuk mencapai kondisi *saturated liquid*. Hasil keluaran fase berat dekanter berupa asam klorida, zinc klorida, air serta sedikit butanol dan butil klorida selanjutnya dialirkan ke evaporator (E-101).

Pada menara distilasi (T-101), campuran butil klorida, butanol dan air dipisahkan sehingga diperoleh hasil atas pada suhu 78,9°C berupa butil klorida dengan 99,5% massa yang kemudian dialirkan ke *cooler* (E-103) hingga suhu 40°C dan disimpan ke tangki penyimpanan butil klorida (TP-103). Hasil bawah berupa butanol, air dan sedikit butil klorida dialirkan kembali ke reaktor (R-101) pada suhu 80°C sebagai arus *recycle*.

Pada evaporator (E-101) asam klorida, air, dan sedikit butanol diuapkan, sedangkan seluruh katalis $ZnCl_2$ dan air dengan perbandingan 1:1 dari arus bawah E-101 diumpankan kembali ke dalam reaktor (R-101) pada suhu 80°C. Keluaran atas E-101 dengan suhu 100,8°C akan didinginkan hingga 45°C yang nantinya akan masuk ke dalam unit pengolahan limbah (UPL).

2.5 Diagram Alir Proses




Gambar Blok diagram proses hidroklorinasi butanol

b. Asam Klorida

Rumus Molekul	: HCl
Rumus bangun	: H—Cl
Kemurnian	: 33% berat
Impuritas (H ₂ O)	: 67% berat
Fase	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul, gr/mol	: 36,5
Titik didih pada 1 atm (32%), °C	: 81,5
Densitas pada 25 °C, g/ml	: 1,179
Fase pada suhu kamar, 1 atm	: cair
Spesifik gravity	: 1.0-1.2
Kelarutan dalam air	: tercampur penuh
Hazard	: beracun, korosif, nonflammable, iritan.
Sumber	: PT Sulfindo Adiusaha (2023)

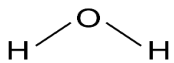
3.2 Spesifikasi Bahan Pendukung

a. Zinc Klorida

Rumus molekul	: ZnCl ₂
Rumus Bangun	: 
Kemurnian	: 99,9% berat

Impuritas (H ₂ O)	: 0,5% berat
Fase	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Berat molekul, gr/mol	: 92,57
Titik didih pada 1 atm, °C	: 78
Titik lebur, °C	: -123
Fase pada suhu kamar, 1 atm	: cair
Densitas pada 25°C, g/ml	: 0,8809
Spesifik gravity	: 0,8862
Kelarutan dalam air (25 °C, g/L)	: 0,87
Kelarutan dalam alcohol	: tercampur penuh
Hazard	: mudah terbakar, iritan

B. H₂O

Rumus molekul	: H ₂ O
Rumus Bngun	: 
Berat molekul, gr/mol	: 18,02
Titik didih pada 1 atm, °C	: 100
Titik beku, °C	: 0
ΔH_f (298 K), KJ/mol	: -285,83
ΔG_f (298 K), KJ/mol	: -285,83
Fase pada suhu kamar	: cair

BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik butil klorida dari butanol dan asam klorida dengan kapasitas 20.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 33,87% .
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 1.9 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 49,90% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 20 – 60 % kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 23,76%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 51,31 lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

B. Saran

Pabrik butil klorida dari butanol dan asam klorida dengan kapasitas 20.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya

DAFTAR PUSTAKA

- Aijun, Sun., Nie Yi., Li Chunxi and Wang Zihao (2008) *Preparation of Butyl Chloride from Butanol and hydrochloric Acid Using Ionic Liquids as Catalyst*. Chinese journal of chemical engineering, 16(1) 151-154. Beijing.
- API Standard 650 (1998) *Welded Steel Tanks for Oil Storage*. 10 th ed. Washington D.C.
- Aries, R.S., dan Newton, R.D. (1955) *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- Asahimas, Chemical (2023) Product Search for www.asc.co.id [diakses pada 14 Oktober 2022].
- ASME Section VIII (2019) *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division I*, Two Park Avenue. New York.
- ASTM D1068-15 (2018) *Standard Test Methods for Iron in Water*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D1125-14 (2014) *Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D1293-18 (2018) *Standard Test Methods for pH of Water*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D304-11 (2019) *Standard Specification for n-Butyl Alcohol*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D4658-15 (2015) *Standard Test Method for Sulfide Ion in Water*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D515-58 T (1960) *Tentative Methods of Test for Phosphate in Industrial Water*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D5907-18 (2018) *Standard Test Methods for Filterable Matter (Total Dissolved Solids) and Nonfilterable Matter (Total Suspended Solids) in Water*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D8016-18 (2018) *Standard Test Method for Silica, Precipitated, Hydrated—Sears Number*. West Conshohocken: ASTM International.

- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat (2023) *Jumlah Penduduk Menurut Kecamatan (Jiwa), 2018-2020*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik
- Badan Pusat Statistik Jakarta Pusat (2023) *Tingkat Partisipasi Angkatan Kerja, Tingkat Pengangguran Terbuka dan Tingkat Kesempatan Kerja di Kota Cilegon (Persen), 2019-2021*. Jakarta Pusat: Badan Pusat Statistik
- 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.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959) *Process equipment design: vessel design*. John Wiley & Sons.
- Cox, J.D., Wagman, D.D., Wagman, D.P. and Medvedev, V.A. eds., (1989) *CODATA key values for thermodynamics*. Hemisphere Pub.
- Fogler, H.S. and Fogler, S.H. (1999) *Elements of chemical reaction engineering*. Pearson Educacion.
- Garret, D.E. (1989) *Chemical Engineering Economics*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Geankoplis, C.J. (1993) *Transport Processes and Unit Operations*: PTR Prentice Hall. City, State, Country.
- Green, D.W. and Southard, M.Z. (2019) *Perry's chemical engineers' handbook*. McGraw-Hill Education.
- Haihang, Industry (2023) *Product Search for Zinc Chloride*. URL: www.haihangindustry.com [Diakses pada 14 Oktober 2022].
- ISI (1983) *ISI: Indian Standard Spesification for Feed Water, Boiler Water and Condensate for High Pressure Boilers*. New Delhi: Indian Standard Institution.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (2010) *Legalitas Bentuk Perusahaan*. Jakarta: Kementrian Pendidikan Nasional.
- Kern, D. Q. (1965) *Process Heat Transfer*. Japan: McGraw-Hill Book Company.
- Levenspiel, O., 1998. *Chemical reaction engineering*. John wiley & sons.
- Matche (2022) *Product Search for Tank, Vessel, Boiler, and Compressor*. URL: <https://www.matche.com/> [Diakses pada 8 Juni 2022].
- Merck (2022) *Lembaran Data Keselamatan Bahan 1-Chlorobutane untuk kromatografi cair*. Merck Group.
- Morsch, Layne (2015) *Organic Chemistry I*. University od Illinois Springfield.

- Mosselman, C. and Dekker, H. (1969) *A new method for handling volatile and hygroscopic substances in bomb calorimetry. Enthalpy of formation of liquid butanol-1*. Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas, 88(3), pp.257-265.
- National Research Council (2003) *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 4*.
- Nurlia (2019) *Pengaruh Struktur Organisasi terhadap Pengukuran Kualitas Pelayanan (Perbandingan Antara Ekspektasi/Harapan dengan Hasil Kerja)*. Meraja Journal, 2(2), pp. 53–58.
- Ortax (2023) *Kurs Bank Indonesia*. URL: <https://datacenter.ortax.org/ortax/kursbi/show/USD> [diakses pada 19 Mei 2023].
- Petro Oxo Nusantara (2023) *Product Search for Normal Butanol*. URL: www.pon.co.id [Diakses pada 14 Oktober 2022].
- Rase, H. F. (1977) *Chemical Reactor Design for Process Plants*. New York: John Wiley & Sons.
- Sinaga, N. A. (2018) *Hal-Hal Pokok Pendirian Perseroan Terbatas di Indonesia*. Jurnal Ilmiah Hukum Dirgantara, 8(2), pp. 17–45.
- Sinnott, R.K., Coulson, J.M. and Richardson, J.F. (2005) *Chemical engineering design* (Vol. 6, No. 4). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- SmartLab (2017) *Lembar Data Keselamatan Bahan Hydrochloric Acid 0.1 N*. SmartLab: 089
- SmartLab (2021) *Lembar Data Keselamatan Bahan N-Butanol*. SmartLab: 131.
- Smith, J.M., Van Ness, H.C., Abbott, M.M. and Swihart, M.T. (1949) *Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Stridh, G. and Sunner, S. (1975) *Enthalpies of formation of some 1-chloroalkanes and the CH₂-increment in the 1-chloroalkane series*. The Journal of Chemical Thermodynamics, 7(2), pp.161-168.
- Timmerhauss, K.D. and Peters, M.S. (1991) *Plant Design and Economics for Chemical Engineering*, 3rd editions, McGraw Hill International Book Company, Singapura.

Towler, G. and Sinnott, R. (2021) *Chemical engineering design: principles, practice and economics of plant and process design*. Butterworth-Heinemann.

Turton, R., Shaeiwitz J.A., Bhattacharyya, D., and Whiting W. B. (2018) *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. 5th ed, Pearson Education Inc. Ulrich, G.D. (1984) *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics* (p. 295). New York: Wiley.

United, Nation. 2023. *Product Search for 1-Chlorobutane*. URL: www.comtradeplus.un.org [diakses pada 1 Oktober 2022].

Vilbrandt, F.C., dan Dryden, CE. (1959) *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw-Hill Bok Company.

Wallas, D. (1997) *Rules of thumbs in Chemical Engineer*. Ed. McGraw Hill, New York, EUA.