

**PRARANCANGAN PABRIK ALLYL CHLORIDE DARI
PROPYLENE DAN CHLORINE
KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN**

PRA RANCANGAN PABRIK

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia



Disusun Oleh:

Nama : Bening Salsabila Mahanani

NIM : 20521059

Nama : Lutfi Komala Sari

NIM : 20521215

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

2026

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK ALLYL CHLORIDE DARI PROPYLEN KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Oleh :
Nama : Bening Salsabila Mahanani Nama : Lutfi Komala Sari
NIM : 20521059 NIM : 20521215



Yogyakarta, Januari 2026

Pembimbing

Dr. Diana, S.T., M.Sc.

NIP : 005210101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL

PERANCANGAN PABRIK KIMIA ALLYL CHLORIDE DARI PROPYLEN DAN KLOORIN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bening Salsabila Mahanani

Nim : 20521059

Nama : Lutfi Komala Sari

Nim : 20521215

Yogyakarta, 26 Januari 2026

Menyatakan Bahwa seluruh hasil Perancangan Pabrik ini adalah hasil sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun. Demikian surat pernyataan ini di buat, semoga dapat dipergunakan sebagai mestinya.

Tanda Tangan



Bening Salsabila Mahanani

Tanda Tangan



Lutfi Komala Sari

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK SODIUM SILIKAT DARI NATRIUM HIDROKSIDA DAN PASIR SILIKA KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN

Oleh :

Nama : Bening Salsabila Mahanani
NIM : 20521059

Nama : Lutfi Komala Sari
NIM : 20521215

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, Februari 2026

Tim Penguji

Dr. Diana, S.T., M.Sc.

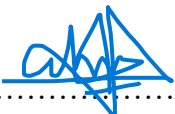
Ketua Penguji

()

Muflih Arisa Adnan, S.T., M.Sc., Ph.D

Ketua Penguji

Penguji I

()

Nur Indah Fajar Mukti, S.T., M.Eng., Dr.

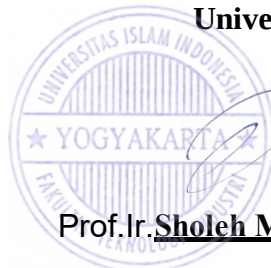
Ketua Penguji

Penguji II

()

Mengetahui:

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Prof. Ir. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D

NIP: 99520044

KATA PENGANTAR



Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Pra Rancangan Pabrik *Allyl Chloride* dari *Propylene* dan *Chlorine* dengan Kapasitas 15.000 Ton/Tahun”. Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai penerapan ilmu Teknik Kimia yang telah diperoleh selama masa perkuliahan serta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat, karunia, dan kehendak-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kesabaran, dan kemampuan untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, atas doa yang senantiasa dipanjatkan, pengorbanan, kasih sayang, serta dukungan yang tidak pernah putus kepada penulis. Terima kasih telah menemani setiap proses dan selalu memberikan kekuatan agar penulis mampu bangkit dan terus menjadi pribadi yang lebih baik.
3. Partner pejuang Tugas Akhir, atas kerja sama, komitmen, dan kebersamaan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU, ASEAN.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Ibu Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
7. Ibu Dr. Diana Jirjis, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing, yang telah dengan sabar membimbing, memberikan arahan, dukungan, serta masukan yang sangat berarti dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

8. Staf Program Studi Teknik Kimia, Bapak Hadi Siswanto, Mas Husnul Abdi, dan Mbak Aisyah, atas bantuan, keramahan, serta pelayanan yang diberikan kepada penulis selama masa studi.
9. Sahabat dan teman penulis, yang telah memberikan bantuan berupa saran, kritik, masukan, waktu, serta dukungan moral, serta senantiasa menjadi pendengar dan pengingat akan pentingnya keseimbangan antara kehidupan dunia dan akhirat.
10. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Angkatan 2020, yang telah banyak membantu dan mendukung kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
11. Penulis sendiri, yang telah berusaha dengan sungguh-sungguh, bertahan dalam berbagai tekanan dan tantangan, serta tetap berkomitmen untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini hingga akhir. Pencapaian ini merupakan hasil dari ketekunan, kesabaran, dan konsistensi yang patut disyukuri.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, khususnya bagi mahasiswa Teknik Kimia.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik.....	2
1.2.1 Supply	3
1.2.2 Demand	4
1.2.3 Ketersediaan Pabrik Komersil.....	8
1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku	9
1.2.2 Penentuan Kapasitas Perancangan.....	10
1.3 Tinjauan Pustaka	13
1.3.1 Allyl Chloride.....	13
1.3.2 Proses Pembuatan Allyl Chloride.....	15
1.3.3 Tinjauan Proses Secara Umum.....	16
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika.....	17
1.4.1 Tinjauan Termodinamika Proses Klorinasi Propilena.....	17
1.4.2 Kinetika	19
BAB II PERANCANGAN PRODUK.....	21
2.1 Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk	22
2.2 Studi Kebahayaan Bahan Baku dan Produk	23
2.3 Pengendalian Kualitas.....	24

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku	24
2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses	25
2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk	27
2.4 Klasifikasi Tingkat Risiko Pabrik <i>Allyl Chloride</i>	28
2.4.1 Risiko Berdasarkan Sifat Bahan.....	29
2.4.2 Risiko Berdasarkan Kondisi Operasi	29
2.4.3 Potensi Kebakaran dan Ledakan	30
2.4.4 Benchmark dengan Industri Sejenis.....	30
2.4.5 Klasifikasi Tingkat Risiko Pabrik	31
BAB III PERANCANGAN PROSES	32
3.1 Diagram Alir Proses dan Material	32
3.1.1 Diagram alir kualitatif	32
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	33
3.2 Uraian Proses	33
3.3 Spesifikasi Alat	36
3.3.1 Spesifikasi Reaktor.....	36
3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah	37
3.3.3 Spesifikasi Alat Pendukung.....	39
3.3.4 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku.....	42
3.3.5 Spesifikasi Alat Penyimpanan Produk	43
3.3.6 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan	44
3.3.7 Spesifikasi Alat Penukar Panas	47
3.4 Neraca Massa	52
3.4.1 Neraca Massa Reaktor.....	52
3.4.2 Neraca Massa Kondensial Parsial	52
3.4.3 Neraca Massa Menara Distilasi	53
3.4.4 Neraca Massa Absorber	54
3.5 Neraca Panas	55
3.5.1 Neraca Panas Reaktor	55
3.5.2 Neraca Panas WHB.....	55
3.5.3 Neraca Panas Condensor Parsial.....	56
3.5.4 Neraca Panas Condensor-01	56
3.5.5 Neraca Panas Reboiler-01	57
3.5.6 Neraca Panas Heat Exchanger.....	57
3.5.7 Neraca Panas <i>Cooler</i>	59

BAB IV PERANCANGAN PABRIK	60
4.1 Lokasi Pabrik	60
4.1.1 Ketersediaan Bahan Baku	61
4.1.2 Sarana Transportasi	61
4.1.3 Utilitas	61
4.1.4 Ketersediaan Kawasan dan Sumber Daya Manusia.....	62
4.1.5 Pengaruh Lingkungan dan Limbah	62
4.1.6 Faktor Ekonomi dan Hukum	63
4.2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout).....	64
4.3 Tata Letak Mesin/ Alat Proses (Machines Layout)	70
4.4 Orientasi Perusahaan	73
4.4.1 Bentuk Organisasi	73
4.4.2 Struktur Organisasi	73
4.4.3 Tugas dan Wewenang	76
4.4.4 Peraturan Jam Kerja Karyawan.....	80
4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji.....	82
4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan.....	86
BAB V Utilitas	89
5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air	89
5.1.1 Unit Penyedia Air	89
5.1.2 Unit Pengolahan Air.....	93
5.1.3 Penyediaan <i>Downthrem A</i>	100
5.1.4 Penyediaan Steam	101
5.1.5 Total Kebutuhan Air.....	102
5.1.6 Air untuk media pendingin	103
5.1.7 Air untuk umpan boiler	104
5.2 Unit Pembangkit Steam.....	104
5.3 Unit Pembangkit Listrik.....	105
5.4 Unit Penyedia Udara Tekan.....	106
5.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar	107
5.6 Unit Pengolahan Limbah	107
5.7 Spesifikasi Alat Utilitas.....	108
BAB VI EVALUASI EKONOMI.....	113
6.1 Penentuan Harga Alat	114
6.2 Analisis Perhitungan Biaya	117

6.3 Analisa Kelayakan	120
6.4 Hasil Perhitungan	123
6.5 Hasil Analisis Keuntungan.....	127
6.6 Hasil Kelayakan Ekonomi.....	127
PENUTUPAN.....	131
DAFTAR PUSTAKA	133
LAMPIRAN A PERANCANGAN REAKTOR.....	136
LAMPIRAN B PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD).....	155
LAMPIRAN C KARTU KONSULTASI BIMBINGAN.....	157

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor.....	3
Tabel 1. 2 Ukuran Pasar Global dan Harga Bahan Baku serta Produk Allyl Chloride	5
Tabel 1. 3 Proyeksi Kebutuhan Allyl Chloride	7
Tabel 1. 4 Daftar Pabrik Allyl Chloride	8
Tabel 1. 5 Perbedaan Proses Pembuatan Allyl Chloride	15
 Tabel 2. 1 Spesifikasi Bahan Baku, Bahan Pendukung, dan Produk	21
 Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor.....	36
Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Seperator-01	37
Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Separator-02.....	37
Tabel 3. 4 Spesifikasi Alat Separator-03.....	38
Tabel 3. 5 Spesifikasi Alat Accumulator-01	39
Tabel 3. 6 Spesifikasi alat Reboiler-01.....	39
Tabel 3. 7 Spesifikasi Alat Condensor-01	41
Tabel 3. 8 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku	42
Tabel 3. 9 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Produk.....	43
Tabel 3. 10 Spesifikasi Alat Pompa-05	44
Tabel 3. 11 Spesifikasi Alat Pompa-06	45
Tabel 3. 12 Spesifikasi Alat Pompa-07	45
Tabel 3. 13 Spesifikasi Alat Pompa-08	46
Tabel 3. 14 Spesifikasi Alat Heat Exchanger-01.....	47
Tabel 3. 15 Spesifikasi Alat Heat Exchanger-02.....	48
Tabel 3. 16 Spesifikasi Alat Heat Exchanger-03.....	49
Tabel 3. 17 Spesifikasi Alat Cooler-01	50
Tabel 3. 18 Spesifikasi Alat Cooler-02	51
Tabel 3. 19 Neraca Massa Reaktor.....	52
Tabel 3. 20 Neraca Massa Kondensor Partial.....	52
Tabel 3. 21 Neraca Massa Menara Distilasi	53
Tabel 3. 22 Neraca Massa Absorber.....	54

Tabel 3. 23 Neraca Panas Reaktor.....	55
Tabel 3. 24 Neraca Panas WHB	55
Tabel 3. 25 Neraca Panas Kondensor Partial	56
Tabel 3. 26 Neraca Panas Kondensor Total	56
Tabel 3. 27 Neraca Panas Reboiler-01	57
Tabel 3. 28 Neraca Panas Heat Exchanger-01.....	57
Tabel 3. 29 Neraca Panas Heat Exchanger-02.....	58
Tabel 3. 30 Neraca Panas Heat Exchanger-03.....	58
Tabel 3. 31 Neraca Panas Cooler-01	59
Tabel 3. 32 Neraca Panas Cooler-02	59
Tabel 4. 1 Rincian Penggunaan Area Pabrik.....	67
Tabel 4. 2 Jadwal Kerja Karyawan non-Shift.....	80
Tabel 4. 3 Jam Kerja Karyawan Shift.....	81
Tabel 4. 4 Pembagian Shift Kerja Tiap Kelompok	81
Tabel 4. 5 Gaji Karyawan.....	82
Tabel 5. 1 Jumlah Kebutuhan Air Proses	90
Tabel 5. 2 Jumlah Kebutuhan Air Umpan Boiler.....	90
Tabel 5. 3 Jumlah Kebutuhan Air Pendingin	91
Tabel 5. 4 Jumlah Kebutuhan Air Sanitasi	92
Tabel 5. 5 Jumlah Kebutuhan Air.....	93
Tabel 5. 6 Kebutuhan Dowtherm A.....	101
Tabel 5. 7 Kebutuhan Air Steam	102
Tabel 5. 8 Kebutuhan Listrik.....	105
Tabel 5. 9 Spesifikasi Pompa Utilitas.....	108
Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Utilitas	110
Tabel 6. 1 Harga Indeks Tahunan.....	114
Tabel 6. 2 Daftar Harga Alat Proses.....	115
Tabel 6. 3 Daftar Harga Alat Utilitas	116
Tabel 6. 4 Daftar Analisis Harga Alat Utilitas	117

Tabel 6. 5 Physical Plant Cost	123
Tabel 6. 6 Direct Plant Cost.....	123
Tabel 6. 7 Fixed Capital Investment.....	123
Tabel 6. 8 Direct Manufacturing Cost (DMC)	124
Tabel 6. 9 Indirect Manufacturing Cost (IMC)	124
Tabel 6. 10 Fixed Manufacturing Cost (FMC).....	124
Tabel 6. 11 Manufacturing Cost (MC)	125
Tabel 6. 12 Working Capital (WC)	125
Tabel 6. 13 General Expenses (GE)	125
Tabel 6. 14 Total Production Cost (TPC).....	126
Tabel 6. 15 Fixed Cost (Fa).....	126
Tabel 6. 16 Variabel Cost (Va).....	126
Tabel 6. 17 Regulated Cost (Ra)	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif.....	32
Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif.....	33
Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik Allyl Chloride	60
Gambar 4. 2 Lay Out Unit Allyl Chloride.....	69
Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses (Skala 1:100).....	72
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi	75
Gambar 6. 1 Grafik Evaluasi Ekonomi (Satuan Biaya: Miliar)	129

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Perancangan Reaktor.....	137
Lampiran B Process Engineering Flow Diagram (PEFD).....	156
Lampiran C Kartu Konsultasi Bimbingan.....	158

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	: Temperature, °C
D	: Diameter, m
H	: Tinggi, m
P	: Tekanan, psia
μ	: Viskositas, cP
ρ	: Densitas, Kg/ m ³
Q	: Kebutuhan Kalor, Kj/Jam
A	: Luas Penampang, m ²
x	: Konversi, %
K	: Konstanta Kinetika Reaksi, 1/waktu
V	: Volume, m ³
t	: Waktu, Jam
m	: Massa, Kg
Fv	: Laju Alir Volumetrik, m ³
r	: Jari-jari, in
P	: <i>Power Motor</i> , Hp
ts	: Tebal <i>Shell</i> , in
ΔP	: <i>Pressure Drop</i> , psia
ΔH	: Entalpi, KJ/jam
ID	: <i>Inside</i> diameter, in
OD	: <i>Outside</i> diameter, in
th	: Tebal <i>head</i> , in

Re	: Bilangan Reynold
f	: <i>Allowable Stress</i> , psia
E	: Efisiensi Pengelasan
C	: <i>Corrosion allowance</i>
icr	: Jari-jari sudut dalam, in
N	: Kecepatan pengadukan, rpm
Ud	: Koefisien transfer panas dalam keadaan kotor, Btu/jam ft ² °F
Uc	: Koefisien transfer panas dalam keadaan bersih, Btu/jam ft ² °F
Rd	: Faktor Pengotor
Cp	: Kapasitas Panas, Btu/lb °F
K	: Konduktivitas termal, Btu/jam ft ² °F
Hi	: <i>Inside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F
Ho	: <i>Outside film coefficient</i> , Btu/jam ft ² °F
LMTD	: <i>Long mean Temperature different</i> , °F

ABSTRAK

Pabrik *allyl chloride* dirancang untuk mengurangi ketergantungan impor serta mendukung pengembangan industri hilir berbasis kimia di Indonesia, seperti resin dan epoksi. *Allyl chloride* diproduksi melalui proses klorinasi propilena tanpa katalis dalam fase gas menggunakan reaktor alir pipa (RAP). Pabrik ini dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 15.000 ton per tahun, dengan kebutuhan bahan baku propilena sebesar 12.674 ton per tahun yang hanya memanfaatkan sebagian kecil dari kapasitas propilena nasional, sehingga ketersediaan bahan baku relatif terjamin. Proses reaksi berlangsung pada suhu tinggi dan bersifat eksotermik, sehingga diperlukan pengendalian kondisi operasi untuk menjaga kestabilan termal serta meminimalkan pembentukan produk samping.

Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi, diperoleh nilai *Return on Investment* (ROI) sebesar 28,58% sebelum pajak dan 22,29% setelah pajak. Nilai *Pay Out Time* (POT) masing-masing sebesar 2,7 tahun sebelum pajak dan 3,3 tahun setelah pajak. *Break Even Point* (BEP) tercapai pada 44,96% kapasitas produksi dan *Shut Down Point* (SDP) berada pada 25,70% kapasitas produksi. Selain itu, hasil analisis *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFR) menunjukkan bahwa pabrik layak secara ekonomis. Berdasarkan tinjauan teknis dan ekonomi tersebut, pabrik *allyl chloride* dengan kapasitas 15.000 ton per tahun dinilai layak untuk dikaji lebih lanjut.

Kata kunci: Allyl Chloride, Propilena, Klorinasi, Reaktor Alir Pipa, Pra Rancangan Pabrik, Evaluasi Ekonomi.

ABSTRACT

The *Allyl Chloride* plant is designed to reduce import dependency and support the development of downstream chemical industries in Indonesia, such as resins and epoxies. *Allyl chloride* is produced through a non-catalytic propylene chlorination process in the gas phase using a tubular flow reactor (RAP). The plant is designed with a production capacity of 15,000 tons per year, requiring 12,674 tons per year of propylene, which utilizes only a small fraction of the national propylene supply, ensuring raw material availability. The reaction occurs at high temperature and is exothermic, thus requiring controlled operating conditions to maintain thermal stability and minimize the formation of undesired by-products.

Based on the economic evaluation, the plant yields a *Return on Investment* (ROI) of 28.58% before tax and 22.29% after tax. The *Pay Out Time* (POT) is 2.7 years before tax and 3.3 years after tax. The *Break Even Point* (BEP) is achieved at 44.96% of production capacity, while the *Shut Down Point* (SDP) is reached at 25.70% capacity. Furthermore, the *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFR) analysis indicates that the plant is economically feasible. Based on the technical and economic assessments, the 15,000 tons per year *allyl chloride* plant is considered feasible for further development

Keywords: Allyl Chloride, Propylene, Chlorination, Pipe Flow Reactor, Pre-Plant Design, Economic Evaluation.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industry kimia adalah sektor kunci yang memiliki peranan signifikan dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan kemajuan industry hilir di Indonesia. Salah satu zat kimia yang memiliki nilai ekonomi tinggi serta berkontribusi besar dalam berbagai proses industry adalah *allyl chloride* (C_3H_5Cl). Senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan dasar untuk produksi epiklorohidrin, resin, plastic, perekat, pestisida, serta obat-obatan, sehingga permintaan akan *allyl chloride* terus mengalami peningkatan sejalan dengan perkembangan sektor kimia dan manufaktur di tanah air.

Sayangnya, sampai saat ini, Indonesia belum memiliki fasilitas untuk memproduksi *allyl chloride* secara domestic. Seluruh kebutuhan *allyl chloride* nasional masih dipenuhi melalui impor dari negara-negara penghasil seperti Amerika, Eropa, dan Asia Timur, yang mengakibatkan ketergantungan yang tinggi terhadap pasokan luar negeri. Menurut data dari UN Comtrade, volume impor *allyl chloride* ke Indonesia dalam rentang waktu 2016-2020 mencapai ratusan ton setiap tahun dengan pola fluktuatif, mengindikasikan adanya permintaan pasar yang besar namun belum dapat dipenuhi secara local. Kondisi ini menciptakan berbagai risiko, seperti perubahan harga di pasar internasional, biaya logistic yang tinggi, dan kemungkinan gangguan pasokan terutama saat terdapat perubahan dalam situasi ekonomi global.

Di sisi lain, Indonesia memiliki sumber bahan baku utama yang cukup melimpah, yaitu propilena (C_3H_6), yang dihasilkan oleh perusahaan-perusahaan besar seperti PT Chandra Asri Petrochemical Tbk, Pertamina Refinery & Petrochemical Complex (RCC) Balongan, dan Lotte Chemical Titan Nusantara dengan total kapasitas produksi nasional kira-kira 1,24 juta ton setiap tahunnya.

Ketersediaan bahan baku yang cukup ini menunjukkan bahwa pendirian pabrik *allyl chloride* di dalam negeri sangat mungkin dilakukan, sekaligus bisa mengurangi ketergantungan pada impor.

Dalam hal teknologi, ada beberapa metode alternatif untuk memproduksi allyl chloride, di antaranya adalah chlorinasi propilena, reaksi *allyl alcohol* dengan hydrogen chloride, serta proses oksiklorinasi propilena. Setelah mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomi, proses chlorinasi propilena tanpa katalis dipilih sebagai metode paling efisien untuk skala industry. Metode ini dikenal dengan istilah thermal chlorination, di mana reaksi terjadi pada suhu tinggi (sekitar 300 – 600 °C) dan tekanan rendah, menghasilkan allyl chloride dengan Tingkat konversi yang tinggi dan produk samping berupa hydrogen chloride (HCl). Metode ini telah terbukti efisien dan ekonomis di industry besar seperti Dow Chemical Company di Freeport, Texas, yang menjadi acuan utama dalam perancangan pabrik sejenis.

Berdasarkan analisis kapasitas, desain pabrik *allyl chloride* yang diusulkan memiliki kapasitas 15.000 ton per tahun, dengan tujuan utama untuk memenuhi kebutuhan domestic dan mendukung industry hilir local. Pendirian pabrik tersebut diharapkan tidak hanya akan mengurangi ketergantungan pada impor, tetapi juga meningkatkan nilai tambah dari bahan baku propilena domestic, menciptakan lapangan kerja baru, serta memperkuat daya saing industry ptrokimia Indonesia di pasar internasional. Dengan demikian, proyek ini memiliki urgensi yang tinggi baik dari aspek teknis, ekonomi, maupun strategis untuk nasional, sejalan dengan Upaya pemerintah dalam mendorong substitusi impor dan pengembangan industry kimia dasar di Indonesia.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Kapasitas pabrik merupakan tahapan yang sangat krusial dalam proses perancangan pabrik kimia maupun industri lainnya, karena keputusan ini akan berpengaruh langsung terhadap aspek teknis, ekonomi, serta kelayakan operasional pabrik di masa depan. Kapasitas pabrik dapat diartikan sebagai jumlah produk yang dapat dihasilkan dalam satuan waktu tertentu, misalnya per tahun, yang disesuaikan dengan target produksi dan kondisi pasar. Semakin besar kapasitas pabrik maka akan semakin besar pula keuntungan yang dihasilkan, namun disisi lain harus memperhatikan ketersediaan bahan baku dan kebutuhan produk juga menjadi pertimbangan dalam penentuan kapasitas pabrik.

1.2.1 Supply

Data *supply* untuk kebutuhan perancangan pabrik *allyl chloride* di Indonesia pada dasarnya sama dengan total impor tahunan, karena belum ada produksi domestik yang dapat dijadikan rujukan.

a. Impor

Data impor memberikan gambaran nyata mengenai besarnya kebutuhan pasar yang harus dipenuhi melalui pasokan luar negeri. Data Impor produksi *allyl chloride* dalam lima tahun terakhir dari tahun 2016-2020 dapat dilihat pada tabel.

Tabel 1. 1 Data Impor

Tahun	Kapasitas (ton/tahun)
2016	1.113.47
2017	1.168.01
2018	1.399.13
2019	666.04
2020	721.37

Sumber : (UNTRADE) <https://comtradeplus.un.org/>

b. Produk Dalam Negeri

Dengan belum adanya pabrik *allyl chloride* di Indonesia, maka seluruh pasokan yang digunakan di dalam negeri masih bergantung pada impor dari produsen luar negeri. Negara-negara seperti Amerika Serikat, Eropa, dan Asia Timur menjadi pemasok utama karena mereka telah memiliki fasilitas produksi komersial dengan kapasitas yang cukup besar. Ketergantungan penuh pada impor ini dapat menimbulkan risiko, baik dari sisi fluktuasi harga internasional, ketersediaan pasokan, maupun biaya logistik yang lebih tinggi.

1.2.2 Demand

a. Ekspor

Dalam ekspor produksi *allyl chloride* saat ini, Indonesia belum memiliki fasilitas produksi *allyl chloride*, sehingga kegiatan ekspor untuk komoditas ini belum dapat dilakukan. Seluruh kebutuhan dalam negeri masih dipenuhi melalui impor, sementara potensi ekspor belum terealisasi karena keterbatasan kapasitas produksi domestik.

b. Konsumsi dalam Negeri

Data spesifik mengenai konsumsi *allyl chloride* di Indonesia hingga saat ini belum tersedia. Oleh karena itu, besaran impor produk *allyl chloride* diasumsikan mewakili kebutuhan konsumsi dalam negeri. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa belum terdapat fasilitas produksi *allyl chloride* di Indonesia, sehingga seluruh kebutuhan industri hilir masih harus dipenuhi dari impor.

Secara global, permintaan *allyl chloride* menunjukkan tren pertumbuhan yang positif seiring meningkatnya kebutuhan industri kimia turunan seperti epichlorohydrin, resin epoksi, plastik, dan bahan farmasi. Nilai pasar global *allyl chloride* dilaporkan berada pada kisaran **USD 2,2–2,5 miliar** dan diproyeksikan terus meningkat dalam beberapa tahun mendatang (HTF Market Intelligence, n.d.).

Selain itu, pasar bahan baku utama seperti propilena dan klorin juga memiliki ukuran pasar yang sangat besar, masing-masing mencapai lebih dari puluhan hingga ratusan miliar USD secara global, yang menunjukkan kuatnya rantai pasok industri klorinasi dan turunannya (Data Bridge Market Research, n.d.; Fortune Business Insights, n.d.). Besarnya ukuran pasar tersebut mengindikasikan bahwa kebutuhan *allyl chloride* baik secara global maupun regional masih memiliki peluang yang signifikan untuk dipenuhi melalui pendirian fasilitas produksi baru.

Untuk memperkuat analisis permintaan pasar, berikut disajikan data ukuran pasar global serta kisaran harga bahan baku dan produk *allyl chloride* di pasar internasional.

Tabel 1. 2 Ukuran Pasar Global dan Harga Bahan Baku serta Produk *Allyl Chloride*

Bahan baku/ Produk	Market Size Global 2026 (USD)	Harga Bulk Industri (Rp/kg, 2026)	Sumber
C_3H_6	116-141 miliar	25.000-35.000 (Chandra Asri)	Data Bridge Market Research; Intratec
Cl_2	44-55 miliar	7.000-7.800 (Asahimas bulk tanker)	Fortune Business Insights
C_3H_5Cl	2.3 – 2.7 miliar	50.000-80.000 (estimasi ekspor Asia)	HTF Market Intelligence; Alibaba Trade Data
$C_3H_4Cl_2$	0.85 – 1 miliar	100.000-150.000 (fumigant impor)	Industry Market Reports
HCl 5%	3 – 3.2 miliar	2.000-4.000 (local industry)	360iResearch; IndexBox

Berdasarkan Tabel 1.2 terlihat bahwa nilai pasar global allyl chloride dan bahan bakunya berada pada skala miliaran USD. Hal ini menunjukkan bahwa industri allyl chloride memiliki potensi ekonomi yang besar serta didukung ketersediaan pasar bahan baku yang kuat.

Selanjutnya dalam perhitungan proyeksi kebutuhan *allyl chloride* di Indonesia digunakan metode Compound Annual Growth Rate (CAGR) menunjukkan rata-rata laju pertumbuhan suatu nilai (misalnya penjualan, konsumsi, atau investasi) per tahun dalam periode tertentu, dengan mengasumsikan pertumbuhan terjadi secara konstan setiap tahunnya (Blank & Tarquin, 2012).

Rumus CAGR :

$$CAGR = (V_t/V_0)^{1/t} - 1$$

Keterangan:

V_0 = nilai awal (misalnya konsumsi tahun pertama)

V_t = nilai akhir (misalnya konsumsi tahun terakhir)

t = jumlah tahun periode

Berdasarkan data pasar global tahun 2025, nilai pasar *allyl chloride* mencapai USD 3,70 miliar dengan harga rata-rata sebesar USD 2,95/kg. Dengan demikian, estimasi volume pasar tahun 2025 dapat dihitung sebagai berikut:

$$Volume_{2025} = \frac{3,70 \times 10^9}{2,95}$$

$$Volume_{2025} = 1,25 \times 10^6 \text{ ton/tahun}$$

Selanjutnya, dengan menggunakan tingkat pertumbuhan tahunan majemuk (CAGR) sebesar **6,81% per tahun**, proyeksi volume dihitung menggunakan persamaan:

$$V_t = V_0(1 + r)^n$$

Di mana:

$$V_0 = 1,25 \times 10^6 \text{ ton/tahun}$$

$$r = 0,0681$$

n = jumlah tahun proyeksi

Hasil proyeksi kebutuhan hingga tahun 2032 ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 1. 3 Proyeksi Kebutuhan *Allyl Chloride*

Tahun	Tahun Ke-	Proyeksi (Ton/Tahun)
2025	0	1.250.000
2026	1	1.335.000
2027	2	1.426.000
2028	3	1.523.000
2029	4	1.627.000
2030	5	1.739.000
2031	6	1.857.000
2032	7	1.980.000

Sumber: Fortune Business Insights, diolah menggunakan metode CAGR (2025).

Menurut *Fortune Business Insights* (2024), pasar *allyl chloride* global diproyeksikan tumbuh dengan CAGR sebesar 6,81% pada periode 2026–2034., volume pasar *allyl chloride* diproyeksikan meningkat dari 1,25 juta ton/tahun pada tahun 2025 menjadi sekitar 1,98 juta ton/tahun pada tahun 2032. Hal ini menunjukkan adanya tren pertumbuhan positif yang sejalan dengan ekspansi industri hilir seperti epichlorohydrin, resin epoksi, farmasi, dan agrokimia.

Namun demikian, penentuan kapasitas pabrik tidak hanya mengacu pada kebutuhan pasar saat ini, tetapi juga mempertimbangkan aspek teknis dan ekonomis berikut:

- Prospek pertumbuhan industri hilir berbasis *allyl chloride*.
- Peluang ekspor ke kawasan Asia Tenggara.
- Skala ekonomi industri kimia, di mana kapasitas terlalu kecil tidak layak secara investasi maupun operasional.
- Kapasitas pabrik global sebanding yang umumnya berada pada rentang 20.000–90.000 ton/tahun.

Oleh karena itu, kapasitas pabrik *allyl chloride* ditetapkan sebesar **15.000** ton/tahun sebagai skala menengah yang masih berada di bawah rata-rata kapasitas global. Kapasitas ini hanya sekitar 0,76% dari proyeksi pasar global tahun 2032, sehingga:

- Tidak berpotensi menyebabkan kelebihan pasokan,
- Mengurangi ketergantungan impor,
- Serta membuka peluang ekspor dan menjamin efisiensi ekonomi produksi.

1.2.3 Ketersediaan Pabrik Komersil

Data kapasitas pabrik komersial yang sudah beroperasi dapat menjadi acuan realistis untuk menentukan skala produksi, memperkirakan kebutuhan bahan baku, serta menganalisis potensi pasar. Dengan adanya referensi kapasitas pabrik komersial, rancangan pabrik tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga lebih mendekati kondisi nyata industri. Tabel berikut merupakan beberapa pabrik *allyl chloride* yang berada di dunia dan dijadikan acuan dalam penentuan kapasitas pabrik yang akan didirikan :

Tabel 1. 4 Daftar Pabrik *Allyl Chloride*

No	Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/tahun)	Sumber
1	TBWS Corp.	Beaumont, Texas, USA	15.000	OECD HPV Chemicals
2	Olin Corporation	Mobile, Alabama, USA	15.000	Olin Locations
3	Thai Organics Co.,	Thailand	20.000	Olin Locations
4	Solvay S.A	Brussels, Belgium	20.000	OECD HPV Chemicals
5	Shell Chemical Europe B.V.	Netherlands	90.000	OECD HPV Chemicals
6	The Dow Chemical company	Freeport, Texas, USA	90.000	OECD HPV Chemicals

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku untuk perancangan pabrik berbasis *propylene*, sumber pasokan di Indonesia cukup potensial dengan adanya beberapa produsen besar yang beroperasi di wilayah strategis industri petrokimia. Salah satu produsen utama adalah PT Chandra Asri Petrochemical Tbk yang berlokasi di Cilegon, Banten. Perusahaan ini mengoperasikan unit produksi *propylene* dengan kapasitas mencapai 490.000 ton per tahun. Chandra Asri bahkan sedang dalam tahap ekspansi dengan pembangunan kompleks petrokimia kedua yang didukung investasi hingga 1,7 miliar dolar AS, sehingga kapasitas produksi *propylene* nasional diproyeksikan akan meningkat signifikan di masa depan. Selain itu, Pertamina Refinery & Petrochemical Complex (RCC) Balongan juga berkontribusi sebagai pemasok *propylene* dengan kapasitas sekitar 230.000 ton per tahun. Unit ini terintegrasi dengan kilang minyak Balongan yang memungkinkan optimalisasi produksi *propylene* sebagai produk samping dari proses pengolahan minyak bumi. Produsen besar lainnya adalah Lotte Chemical Titan Nusantara yang berlokasi di Merak, Banten, dengan kapasitas produksi *propylene* sekitar 520.000 ton per tahun. Lotte Chemical terus melakukan efisiensi operasional dan penguatan investasi untuk memastikan pasokan bahan baku tetap stabil dan berkelanjutan di tengah dinamika pasar global.

Dengan demikian, total kapasitas produksi *propylene* dari tiga produsen utama di Indonesia, yaitu Chandra Asri, Pertamina RCC Balongan, dan Lotte Chemical, mencapai sekitar 1.240.000 ton per tahun. Jumlah ini menunjukkan bahwa ketersediaan bahan baku *propylene* di dalam negeri relatif memadai untuk mendukung kebutuhan bahan baku yang akan di gunakan.

Berdasarkan kebutuhan bahan baku, bahan baku yang diperlukan untuk pembuatan *allyl chloride* pada kapasitas 15.000 ton/tahun, dihitung dengan pendekatan neraca massa berdasarkan reaksi utama yang berlangsung, diketahui bahan masuk reactor digunakan rasio mol C_3H_6 per mol Cl_2 sebesar 4 mol (dipilih berdasarkan Smith, J.M. "Chemical Engineering Kinetics" 3 .ed Mc Grwahn Hill , NewYork, NY (1981) hal aman 229). Perhitungan neraca massa dilakukan dengan

mengonversi kapasitas produk tahunan ke dalam jumlah kg, kemudian diturunkan menjadi kebutuhan kg bahan baku. Setelah melalui serangkaian perhitungan neraca massa, didapatkan bahwa kebutuhan total bahan baku yang diperlukan untuk mendukung proses produksi *allyl chloride* sebesar 12.674 ton per tahun.

1.2.2 Penentuan Kapasitas Perancangan

Setelah mempertimbangkan berbagai faktor teknis, ekonomis, dan strategis yang telah diuraikan sebelumnya, kapasitas desain pabrik *allyl chloride* ditetapkan sebesar **15.000 ton/tahun**. Kapasitas ini dipilih sebagai skala menengah yang optimal untuk memenuhi kebutuhan domestik yang saat ini masih sepenuhnya bergantung pada impor berdasarkan data perdagangan dari United Nations Commodity Trade Statistics Database.

Data impor menunjukkan bahwa Indonesia belum memiliki fasilitas produksi *allyl chloride* sehingga kebutuhan industri hilir dipenuhi dari luar negeri. Industri pengguna utama meliputi produsen epichlorohydrin, resin epoksi, plasticizer, serta bahan kimia khusus lainnya, termasuk PT Chandra Asri Petrochemical Tbk, PT Lotte Chemical Titan Nusantara, dan PT Politama Propindo.

Penetapan kapasitas 15.000 ton/tahun tidak hanya didasarkan pada kebutuhan domestik eksisting, tetapi juga mempertimbangkan tren pertumbuhan industri global. Berdasarkan data pasar internasional, volume pasar *allyl chloride* pada tahun 2025 diperkirakan sebesar 1,25 juta ton/tahun dengan laju pertumbuhan tahunan majemuk (CAGR) sebesar 6,81% per tahun. Dengan tingkat pertumbuhan tersebut, volume pasar global diproyeksikan meningkat menjadi sekitar 1,98 juta ton/tahun pada tahun 2032.

Hal ini menunjukkan adanya prospek pertumbuhan jangka panjang yang positif, sehingga kapasitas pabrik dirancang tidak hanya untuk memenuhi permintaan saat ini, tetapi juga untuk mengantisipasi ekspansi industri hilir, substitusi impor, serta peluang penetrasi pasar ekspor regional.

Secara proporsional, kapasitas 15.000 ton/tahun hanya sekitar 0,76% dari proyeksi pasar global tahun 2032, sehingga tidak berpotensi menyebabkan kelebihan pasokan dan tetap berada dalam skala yang kompetitif.

Ketersediaan Bahan Baku

Berdasarkan neraca massa proses, kebutuhan total bahan baku untuk kapasitas 15.000 ton/tahun adalah sebesar 12.674 ton/tahun (propilena dan klorin). Jumlah ini relatif kecil dibandingkan kapasitas produksi propilena nasional yang mencapai sekitar 1.240.000 ton/tahun. Kontribusi utama berasal dari:

- PT Chandra Asri Petrochemical Tbk (490.000 ton/tahun)
- Pertamina RCC Balongan (230.000 ton/tahun)
- PT Lotte Chemical Titan Nusantara (520.000 ton/tahun)

Dengan demikian, kebutuhan bahan baku hanya sekitar 1% dari kapasitas nasional, sehingga ketersediaannya dinilai sangat memadai dan tidak menimbulkan tekanan terhadap rantai pasok domestik.

Aspek Teknis dan Ekonomis

Dari perspektif teknis dan ekonomis, kapasitas 15.000 ton/tahun berada dalam rentang menengah yang layak secara industri. Kapasitas terlalu kecil (<10.000 ton/tahun) cenderung menghasilkan biaya produksi tinggi karena belum tercapai skala ekonomi, sedangkan kapasitas besar (>50.000 ton/tahun) meningkatkan risiko investasi awal dan sensitivitas terhadap fluktuasi pasar. Kapasitas ini memberikan keseimbangan optimal antara efisiensi proses, kebutuhan utilitas, investasi peralatan, serta potensi pendapatan.

Lokasi pabrik yang direncanakan di kawasan industri Cilegon–Merak mendukung pemilihan kapasitas ini karena kedekatan dengan sumber propilena, infrastruktur petrokimia terintegrasi, serta akses pelabuhan untuk distribusi domestik maupun ekspor.

Strategi Pasar dan Pemasaran

Strategi pemasaran dirancang dalam dua lapis utama:

1. Pasar Domestik (Prioritas Utama)

Produk akan diarahkan untuk mensubstitusi impor *allyl chloride* yang saat ini sepenuhnya dipenuhi dari luar negeri. Keberadaan pabrik domestik akan memperpendek rantai pasok, menekan biaya logistik, serta meningkatkan kepastian pasokan bagi industri hilir.

2. Pasar Ekspor Regional (Komplementer)

Sebagian kapasitas produksi dapat dialokasikan untuk pasar Asia Tenggara dan Asia Timur yang menunjukkan pertumbuhan konsumsi seiring perkembangan industri epoksi dan turunannya. Dengan pertumbuhan pasar global sebesar 6,81% per tahun, peluang ekspor dinilai cukup prospektif.

Manfaat Strategis Kapasitas Terpilih

Kapasitas 15.000 ton/tahun secara keseluruhan mampu memberikan manfaat strategis berikut:

- Mengurangi defisit perdagangan impor *allyl chloride* nasional
- Menghemat devisa negara melalui substitusi impor
- Mendorong pertumbuhan industri hilir berbasis klorinasi *allylic*
- Memanfaatkan optimalisasi propilena domestik yang tersedia
- Mencapai skala ekonomi kompetitif dengan investasi menengah
- Memberikan fleksibilitas distribusi antara pasar domestik dan ekspor

Dengan mempertimbangkan aspek pasar domestik berbasis data impor aktual, tren pertumbuhan global melalui pendekatan CAGR, ketersediaan bahan baku, serta evaluasi teknis dan ekonomis, kapasitas 15.000 ton/tahun dinilai sebagai pilihan yang paling rasional dan strategis untuk perancangan pabrik *allyl chloride* ini.

1.3 Tinjauan Pustaka

1.3.1 Allyl Chloride

Allyl Chloride (C_3H_5Cl) merupakan senyawa organik yang tergolong dalam grup alkil halida, berbentuk cairan tanpa warna, mudah menguap, dan memiliki aroma yang kuat. Senyawa ini dipakai sebagai bahan baku perantara dalam sektor kimia, khususnya untuk pembuatan epiklorohidrin, plastik, resin, serta produk farmasi (Turkdogan et al., 2009). *Allyl Chloride* bersifat beracun dan mudah terbakar, sehingga penting untuk memperhatikan prosedur keselamatan kerja dan dampak lingkungan saat mengelolanya.

Allyl chloride komersial yang digunakan untuk produksi diklorohidrin memiliki kemurnian setidaknya 97,5% yang mengandung 1-kloropropena, 1-kloro propana, dan 1,5-hexadiene sebagai pengotor. *Allyl chloride* juga digunakan dalam pembuatan zat antara untuk produk seperti polimer lain, resin, dan bahan plastik, dalam proses untuk meningkatkan produksi minyak, dalam persiapan dan modifikasi katalis, dan dalam pembuatan pestisida, perekat, chelating agents, deterjen, zat warna, perasa, pencerah logam, parfum, obat-obatan, dan urethanes (Olin Corporation, 2016).

Pembuatan *allyl chloride* terdiri dari 3 Proses, diantaranya adalah :

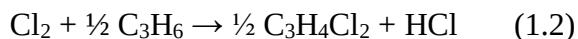
a. *Chlorinasi propylene*

Proses klorinasi propilen dengan klorin merupakan salah satu metode utama dalam produksi *allyl chloride* secara industri. Proses ini dilakukan melalui klorinasi radikal bebas (*free radical chlorination*) pada kondisi suhu tinggi dan tekanan relatif rendah. Reaksi berlangsung ketika molekul propilen (C_3H_6) bereaksi dengan gas klorin (Cl_2), di mana atom klorin menyerang atom hidrogen pada gugus metil dari propilen sehingga terbentuk *allyl chloride* (C_3H_5Cl) dan produk samping berupa gas hidrogen klorida (HCl). Reaksi utamanya dapat dituliskan sebagai berikut:



Namun, selain reaksi utama tersebut, terdapat juga reaksi samping yang dapat menghasilkan senyawa lain seperti 2,3-dichloropropane ($C_3H_4Cl_2$) akibat klorinasi

lebih lanjut pada molekul propilen, yang secara keseluruhan dapat menurunkan selektivitas terhadap *allyl chloride*. Persamaan Reaksinya adalah :



Proses ini biasanya dilakukan pada suhu sekitar 300-600 °C, yang cukup untuk memicu pembentukan radikal klorin dari molekul Cl_2 melalui pemutusan homolitik ikatan. Radikal klorin inilah yang kemudian menyerang atom hidrogen dari propilen, menghasilkan radikal propil yang kemudian bereaksi lebih lanjut dengan molekul klorin untuk membentuk produk akhir *allyl chloride* (*European Patent Specification*, EP0455644B1).

b. *Allyl alcohol dan hydrogen chloride (HCl)*

Pembuatan *allyl chloride* melalui reaksi antara *allyl alcohol* dan *hydrogen chloride* (HCl) umumnya dilakukan secara katalitik dalam fase cair dengan pengambilan segera (distilasi/stripping) produk yang terbentuk untuk meningkatkan selektivitas. Prinsip dasarnya adalah substitusi gugus hidroksil ($-\text{OH}$) pada *allyl alcohol* dengan ion klor (Cl^-) yang berasal dari HCl, sehingga terbentuk *allyl chloride* ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{Cl}$) dan air sebagai produk samping. Reaksi ini secara termodinamika dapat berlangsung tanpa katalis, tetapi laju reaksinya biasanya sangat lambat dan kurang praktis untuk produksi berskala industri sehingga keberadaan katalis yang sesuai merupakan hal esensial untuk menjamin kinetik yang layak secara komersial (Turja, 2011)

c. *Oxychlorination propylene*

Pada proses ini, bahan baku propilena direaksikan dengan hidrogen klorida (HCl) dan oksigen (O_2) untuk menghasilkan *allyl chloride*. Meskipun secara konsep metode ini cukup menarik karena memanfaatkan HCl sebagai bahan baku yang relatif murah, namun dalam praktik industri metode ini dinilai kurang menguntungkan. Konversi yang dihasilkan per reaktor relatif rendah sehingga dibutuhkan volume reaktor yang besar agar

produksi tetap signifikan. Selain itu, proses ini juga menghadapi masalah teknis berupa degradasi katalis yang cepat, sehingga meningkatkan biaya operasional dan menurunkan efisiensi proses, keterbatasan inilah yang menyebabkan metode oksiklorinasi jarang dipilih untuk produksi *allyl chloride* dalam skala besar (Kirk dan Othmer, 1998).

1.3.2 Proses Pembuatan Allyl Chloride

Proses pembuatan *allyl chloride* terus mengalami pembaharuan dengan menyesuaikan perkembangan jaman. Proses pembuatan *allyl chloride* dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut :

Tabel 1. 5 Perbedaan Proses Pembuatan Allyl Chloride

Parameter	<i>Chlorinasi propylene</i>	<i>Allyl alcohol dan hydrogen chloride (HCl)</i>	<i>Oxycchlorination propylene</i>
Bahan Baku	Propylene Chlorine	Allyl alcohol Hydrogen chloride	Propylene Hydrogen chloride Oksigen
Fase reaksi	Gas	Gas	Gas (katalitik)
Suhu, °C	300-600	100-250	350-500
Tekanan, bar	3,2	1-5	1
Konversi, %	90-96	85-95	88-94
Selektivitas	80-85%	>90%	50-70%
Reaktor	RAP	Fixed	Fluidized bed
Kekurangan	Perlu perhatian lebih pada <i>temperature</i>	Ketersediaan bahan baku terbatas	Konversi rendah aktivitas katalis cepat memburuk Alat yang digunakan kompleks

Setelah memperhatikan ketiga proses pembuatan *allyl chloride* maka dipilih proses nomor 1 yaitu *chlorinasi propylene*. Produksi *allyl chloride* merupakan proses industri penting yang umumnya dilakukan melalui reaksi chlorinasi propilena dengan klorin pada suhu tinggi.

Dalam proses ini, propilena direaksikan langsung dengan klorin tanpa menggunakan katalis, yang dikenal dengan metode *thermal chlorination* atau *chlorinasi termal*. Penggunaan proses klorinasi tanpa katalis berdasar pada prinsip bahwa suhu tinggi mampu memecah ikatan kimia propilena dan klorin secara langsung, sehingga katalis tidak diperlukan.

Selain itu, proses tanpa katalis menghindari risiko kontaminasi katalis dalam produk, yang penting untuk menjaga kualitas dan keamanan bahan kimia yang dihasilkan. Pabrik Dow Chemical di Freeport menjadi contoh nyata bahwa proses klorinasi propilena tanpa katalis dapat dioperasikan secara efisien dan ekonomis pada skala besar, sekaligus mempertahankan standar lingkungan dan keselamatan kerja yang ketat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, proses klorinasi propilena menggunakan klorin tanpa katalis dipilih sebagai metode utama produksi *allyl chloride*, mengingat kesederhanaan, efektivitas, dan keberhasilan penerapannya dalam industri kimia besar.

1.3.3 Tinjauan Proses Secara Umum

Pada proses klorinasi propilena terjadi reaksi substitusi, dimana atom hidrogen pada gugus alilik propilena digantikan oleh atom klorin sehingga menghasilkan *allyl chloride* sebagai produk utama disertai pembentukan hidrogen klorida (HCl) sebagai produk samping. HCl yang terbentuk selanjutnya diserap menggunakan media air sehingga dihasilkan larutan HCl berkonsentrasi rendah ($\pm 5\%$) yang masih memiliki nilai guna dan dapat dimanfaatkan oleh industri kimia sebagai bahan penunjang proses.

Dalam perancangan pabrik ini, reaksi klorinasi propilena dilakukan menggunakan reaktor alir pipa (RAP) atau *plug flow reactor*. Reaktor alir pipa dipilih karena sesuai untuk reaksi fase gas non-katalitik dengan temperatur operasi tinggi serta laju reaksi yang cepat. Selain itu, konfigurasi aliran mendekati plug flow memungkinkan peningkatan konversi reaksi per satuan volume reaktor dibandingkan reaktor alir tangki.

Reaksi berlangsung secara homogen di fase gas tanpa penggunaan katalis maupun media padat. Oleh karena itu, pengendalian reaksi difokuskan pada

pengaturan kondisi operasi seperti temperatur, tekanan, waktu tinggal (*residence time*), serta rasio mol umpan reaktan. Profil perubahan suhu dan konversi terjadi sepanjang panjang reaktor seiring dengan berlangsungnya reaksi eksotermik.

Karena reaksi klorinasi propilena bersifat eksotermik, maka pengendalian panas reaksi menjadi aspek penting dalam desain reaktor alir pipa. Pengaturan temperatur dilakukan melalui pengendalian kondisi umpan, laju alir, serta sistem perpindahan panas eksternal pada dinding reaktor guna mencegah kenaikan suhu yang berlebihan (*runaway reaction*) dan menekan pembentukan produk samping seperti *dichloropropene*.

Dengan demikian, pemilihan reaktor alir pipa pada proses produksi *allyl chloride* didasarkan pada kesesuaian karakteristik reaksi fase gas non-katalitik, kebutuhan pengendalian panas reaksi eksotermik, kemudahan pengoperasian kontinu, serta pertimbangan efisiensi konversi dan keselamatan operasi pada skala industri.

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika Proses Klorinasi Propilena

Proses klorinasi propilena tanpa menggunakan katalis adalah reaksi kimia yang berlangsung dalam fase gas pada temperature tinggi, biasanya berkisar antara 400 hingga 540 °C. dari perspektif termodinamika, reaksi ini melibatkan penggantian atom *hydrogen* yang ada di propilena dengan atom klorin dalam poses eksotermik, menghasilkan *allyl chloride* dan *hydrogen* klorida sebagai produk utama.

Reaksi substitusi radikal ini membutuhkan energi aktivasi yang cukup besar, sehingga dibutuhkan suhu tinggi untuk memastikan laju reaksi cukup signifikan tanpa kehadiran katalis. Pada temperature tinggi tersebut, energi kinetic dari molekul sudah memadai untuk memecahkan ikatan C–H dan C–Cl, yang membuat terbentuknya radikal bebas yang akan memulai mekanisme rantai reaksi.

Secara termodinamika, reaksi ini cenderung berlangsung spontan pada kondisi operasi yang digunakan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai perubahan

entalpi reaksi (ΔH_r) yang bernilai negatif, menandakan bahwa reaksi bersifat eksotermik, serta perubahan entropi yang relatif kecil. Kombinasi kedua faktor tersebut menyebabkan kesetimbangan reaksi bergeser ke arah pembentukan produk. Penentuan suhu dan tekanan operasi yang tepat menjadi aspek penting untuk memastikan bahwa kondisi termodinamik mendukung konversi dan selektivitas yang tinggi terhadap *allyl chloride*.

Perhitungan panas reaksi dilakukan berdasarkan data panas pembentukan standar (ΔH_f°) yang diperoleh dari Yaws, *Chemical Properties Handbook*. Panas reaksi standar dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta H_r^\circ = \sum v_p \Delta H_f^\circ(\text{produk}) - \sum v_r \Delta H_f^\circ(\text{reaktan})$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh panas reaksi standar untuk masing-masing reaksi sebagai berikut:

- Reaksi utama:

$$\Delta H_{r,1}^\circ = -48.000 \text{ kJ/kmol}$$

- Reaksi samping:

$$\Delta H_{r,2}^\circ = -79.200 \text{ kJ/kmol}$$

Untuk memperoleh nilai entalpi reaksi pada suhu operasi, dilakukan koreksi suhu terhadap panas reaksi standar dengan mempertimbangkan perubahan entalpi akibat kapasitas panas (C_p) masing-masing komponen. Secara umum, entalpi reaksi pada suhu T dinyatakan sebagai:

$$\Delta H_r(T) = \Delta H_r^\circ + \sum v_p \int_{T_{ref}}^T C_{p,p} dT - \sum v_r \int_{T_{ref}}^T C_{p,r} dT$$

Perhitungan integral kapasitas panas dilakukan secara numerik menggunakan *Microsoft Excel* dengan persamaan C_p sebagai fungsi suhu dan temperatur referensi tertentu.

Selain itu, penggunaan **reaktor alir pipa (RAP)** berperan penting dalam pengendalian distribusi panas selama berlangsungnya reaksi klorinasi propilena. Pada reaktor alir pipa, perpindahan panas dapat diatur secara lebih merata sepanjang reaktor melalui pengendalian kondisi operasi dan sistem pendinginan yang sesuai, sehingga dapat mencegah terbentuknya *hot spot* akibat sifat reaksi yang eksotermik. Pengendalian suhu yang baik berkontribusi dalam menjaga kestabilan termal proses serta mengurangi pembentukan produk samping yang tidak diinginkan, seperti produk klorinasi lanjutan maupun pembentukan karbon. Dengan pengaturan termodinamika yang tepat, proses klorinasi propilena tanpa katalis dalam reaktor alir pipa dapat dijalankan secara efisien dan aman, serta menghasilkan produk yang memenuhi standar industri. Keberhasilan penerapan proses serupa pada skala industri, seperti yang dilakukan oleh Dow Chemical di Freeport, Texas, menunjukkan bahwa penggunaan reaktor alir pipa layak diterapkan secara teknis dan ekonomis.

1.4.2 Kinetika

Berikut merupakan nilai kinetika reaksi pada pembuatan allyl chloride yang didapatkan dari (Chemical Engineering Kinetics Ed 3 , J M Smith, Hal 230).

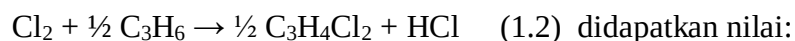
Reaksi utama ditunjukkan pada persamaan,



$$r_1 = 206,00e^{-27,200/RrT} \text{PC}_3\text{H}_6 \text{ PCl}_2; (T, ^\circ\text{R})$$

$$k_1 = 206.00 \exp$$

Reaksi samping ditunjukkan pada persamaan,



$$r_2 = 11.7e^{-6,860/RrT} \text{PC}_3\text{H}_6 \text{ PCl}_2; (T, ^\circ\text{R})$$

$$k_2 = 11.7 \exp\left(-\frac{6,860}{RT}\right)$$

Keterangan :

T : Temperature

R : Konstanta gas

$P_{C_3H_6}$: Tekanan parsial propilen

P_{Cl_2} : Tekanan parsial klorin

r_1, r_2 : Laju reaksi

k_1, k_2 : Konstanta

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Tabel 2. 1 Spesifikasi Bahan Baku, Bahan Pendukung, dan Produk

Spesifikasi Fisis	Produk			Bahan Baku dan Pendukung	
	<i>Allyl Chloride</i>	<i>Hydrogen Chloride</i>	<i>2,3- Dichloropropene</i>	<i>Propylene</i>	<i>Chlorine</i>
Rumus molekul	C ₃ H ₅ Cl	HCl	C ₃ H ₄ Cl	C ₃ H ₆	Cl ₂
Berat molekul, kg/kmol	76,53	36,46	110,97	42,08	70,90
Fasa, 25°C, 1 (atm)	Cair (liquid)	Gas	Cair (liquid)	Gas	Gas
Warna	Cair bening/ tidak berwarna	Tidak berwarna	Tidak berwarna - Kuning pucat	Tidak berwarna	Kuning-hijau
Titik Didih, °C	44,7-45	-85,05	96-104 (tergantung isomer, rata-rata sekitar 103)	-47,6	-34,04
Densitas, kg/m ³ °C	935-940	1,49	1200-1210	1,81 (15 °C)	3,21 (0 °C)
Kemurnian, % berat	95-99	≥ 99,5 - 99,999	≥ 98	≥ 99,0 - 99,7	99,0-99,9
Impuritas, % berat	1-5	0,001-0,5	1-2	0,3 - 1,0	0,1-1,0
Specific gravity	0,935-0,94	1,2	~1.20	1,48	2,6-2,7
Kelarutan, g/L °C	3,6	667- 823	2,5-3,0	0,60	3,3

Sumber : CRC Handbook of Chemistry and Physics, PubChem, dan Engineering Toolbox

2.1 Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk

a. *Allyl Chloride*

- Cairan tidak bewarna, mudah menguap, larut dalam pelarut organik, tidak larut dalam air
- Agen alkilasi reaktif, berguna untuk industri tapi juga sangat berbahaya. Dapat menghasilkan H_2O dan CO_2 jika dioksidasi dengan O_2 . (U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *Technical Fact Sheet – Allyl Chloride*. EPA).

b. *Hydrogen Chloride*

- Gas berwarna tidak tampak, berbau menusuk, sangat larut dalam air membentuk asam kuat (HCl)
- Mempunyai pKa sangat rendah (sekitar -3), mengindikasikan keasaman kuat
- IDLH sekitar 50 ppm; PEL/REL ~5 ppm (7 mg/m^3) (Hydrogen Chloride – Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH). CDC).

c. *Propylene Dichloride, 2,3-Dichloropropane*

- Cairan tak bewarna dengan bau mirip kloroform
- Kelarutan air rendah (0,26 g/100 mL pada 20°C). (Chemical Book. (2023). 2,3-Dichloropropane MSDS).

d. *Propylene*

- Gas tak berwarna dengan bau samar, hidrokarbon tak jenuh (alkena) dengan satu ikatan ganda
- Titik didih: -47–48 °C, titik lebur: -185 °C; sedikit larut dalam air (~0.33 g/L); flash point -108 °C. ((Thermopedia. (2022). Propylene. In Thermopedia).

e. Klorin

- Gas diatomik berwarna kuning kehijauan, sangat korosif dan reaktif. Mempunyai afinitas elektron sangat tinggi dan elektronegativitas tinggi

- Titik lebur $\sim -101.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, titik didih $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$; lebih berat dari udara; sedikit larut ($<1\text{ }\%$) dalam air membentuk asam klorida dan hipoklorit. (Chlorine Institute. (2024). Chlorine – Chemical Properties).

2.2 Studi Kebahayaan Bahan Baku dan Produk

a. *Allyl Chloride*

- Mudah terbakar, sangat berbahaya jika tertelan atau terhirup. Menyebabkan iritasi kulit dan mata, serta toksik akut/inhalasi
- Paparan kronik dapat merusak organ menyebabkan efek neurotoksik, hepatitis, nefritis; IARC menyatakan kemungkinan karsinogen (kelompok 3)
- Sangat berbahaya bagi organisme air (toxic aquatic)
- Bereaksi eksotermik dengan asam kuat atau logam yang berpotensi ledakan atau kerusakan akibat polimerisasi spontan. (U.S. Environmental Protection Agency. (2016). Technical Fact Sheet – Allyl Chloride. EPA).

b. *Hydrogen Chloride*

- Korosif ekstrem yang dapat menyebabkan luka bakar serius pada kulit, mata, saluran pernapasan. (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2011). (Hydrogen Chloride – Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH). CDC).

c. *Propylene Dichloride, 2,3-Dichloropropane*

- Sangat mudah menguap dan mudah terbakar (flash point sekitar 16°C), batas ledak (3,4 - 14,5 %)
- Toksik akut melalui inhalasi atau tertelan, efek iritasi pernapasan dan kulit.
- Sangat berbahaya bagi lingkungan (juga toksik bagi organisme air). (Chemical Book. (2023). 2,3-Dichloropropane MSDS).

d. *Propylene*

- Sangat mudah terbakar, membentuk campuran eksplosif dengan udara: penanganan memerlukan ventilasi dan kontrol sumber api

- Dalam konsentrasi tinggi bisa menyebabkan asfiksia atau iritasi kulit dan saluran pernapasan. (Thermopedia. (2022). Propylene. In Thermopedia).

e. Klorin

- Sangat iritan dan berbahaya bagi sistem pernapasan—dapat menyebabkan edema paru bahkan dengan paparan rendah (ppm)
- Digunakan sebagai gas perang; bersifat racun kuat
- Reaktif secara eksotermik dengan hidrogen, logam, dan banyak bahan organik—berpotensi menyebabkan kebakaran atau ledakan. (Chlorine Institute. (2024). Chlorine – Chemical Properties).

2.3 Pengendalian Kualitas

Dalam menjaga kualitas produk yang akan dihasilkan maka harus ada pengendalian kualitas mulai dari bahan baku sampai menjadi produk. Untuk melakukan pengawasan mutu dalam produksi dapat dilakukan analisis di laboratorium atau dengan alat kontrol. Pengendalian kualitas (*Quality Control*) yang ada pada pabrik *allyl chloride* berikut meliputi pengendalian kualitas bahan baku, pengendalian kualitas proses, dan pengendalian kualitas dari produknya.

2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas bahan baku bertujuan untuk mengetahui kualitas bahan baku yang digunakan, penyesuaian dengan spesifikasi yang telah ditentukan untuk proses produksi agar proses dapat berjalan pada kondisi yang optimal. Proses penyesuaian spesifikasi dilakukan dengan cara pengujian laboratorium terhadap bahan baku yang berupa *propylen* dan gas *chlorine*.

Untuk *propylene*, pengendalian kualitas dilakukan dengan memastikan bahwa bahan baku berada dalam kondisi kemurnian yang tinggi, umumnya di atas 99%, sehingga tidak menimbulkan reaksi samping yang dapat menurunkan efisiensi proses. Sifat fisis *propylene* yang diperhatikan dalam pengendalian kualitas antara lain: titik didih sekitar $-47,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, densitas cairan sekitar $0,51\text{ g/mL}$ pada $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, massa molekul $42,08\text{ g/mol}$, serta kondisi normalnya berupa gas tidak berwarna

dengan bau khas lemah. *Propylene* juga memiliki titik nyala $-108\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan batas ledak di udara 2–11 vol%, sehingga aspek keselamatan turut menjadi perhatian dalam penyimpanan dan penanganan. (Nomenclature of Organic Chemistry: IUPAC Recommendations and Preferred Names 2013 (Blue Book))

Sementara itu, gas chlorine sebagai bahan baku oksidator juga harus memenuhi spesifikasi kemurnian yang tinggi, biasanya $\geq 99,5\%$, untuk mencegah terbentuknya pengotor berbahaya maupun berkurangnya reaktivitas. Sifat fisis klorin yang menjadi acuan meliputi titik didih $-34,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, massa molekul 70,90 g/mol, densitas gas sekitar 3,2 g/L (lebih berat daripada udara), serta berwujud gas berwarna kuning-hijau dengan bau menyengat khas. Klorin memiliki kelarutan terbatas dalam air (sekitar 7,1 g/L pada $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan bersifat sangat reaktif, sehingga pengendalian kualitas juga mencakup pengawasan terhadap kadar kelembaban dan kontaminan lain yang dapat memengaruhi kestabilan maupun keamanan penggunaan. ([Standard Atomic Weights: Chlorine". CIAAW. 2009](#))

2.3.2 Pengendalian Kualitas Proses

Untuk menjaga agar semua proses dapat berjalan dengan baik dan kualitas produksi yang sesuai spesifikasi yang diinginkan maka diperlukan pengendalian dan pengawasan menggunakan alat pengendalian yang berpusat di *control room* secara otomatis dan sesuai indikator. Jika terjadi penyimpangan pada indikator baik itu *flow rate* bahan baku atau produk, *level control* ataupun *temperature control* dapat langsung diketahui dari sinyal atau tanda seperti nyala lampu, bunyi alarm dan lain-lain. Secara langsung alat yang menyimpang tersebut langsung diadakan perbaikan dan dikembalikan ke semula dengan cara manual maupun otomatis.

Pengendalian kualitas proses produksi bertujuan agar proses berjalan dengan baik dan mendapatkan hasil dengan mutu dan kapasitas sesuai dengan standar yang berlaku di pabrik. Pengendalian dan pengawasan dilakukan menggunakan alat yang telah disesuaikan dengan kualitas pabrik, seperti :

a. *Level indicator*

Level indicator ini digunakan untuk menunjukkan ketinggian cairan dalam tangki.

b. *Level control*

Level control digunakan sebagai pengendali volume cairan tangki / vessel dengan menggunakan *control valve* dalam mengatur rate cairan masuk atau keluar proses untuk mendapatkan kondisi operasi yang diinginkan.

c. *Pressure indicator*

Pressure indicator ini digunakan untuk menunjukkan tekanan akhir pada suatu alat.

d. *Pressure control*

Pressure control digunakan sebagai pengendali tekanan dalam suatu alat, jika tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan maka sensor akan menyala.

e. *Temperature control*

Temperature control digunakan sebagai pengendali suhu dan untuk mengatur batasan nilai suhu dalam alat proses, jika tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan maka sensor akan menyala.

f. *Flow Control*

Flow control digunakan sebagai pengendali aliran masuk dan keluar. *Flow control* mengukur kecepatan aliran fluida dalam *pipa line* atau unit proses. *Flow rate* yaitu alat yang dipasang di bagian aliran bahan baku, aliran masuk dan keluar proses dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi operasi yang sesuai.

g. *Ratio Control*

Ratio control digunakan sebagai pengendali rasio yang masuk menara distilasi. Mengatur antara kecepatan aliran rasio refluks menara distilasi dengan kecepatan aliran fluida menuju tangki penyimpanan produk.

2.3.3 Pengendalian Kualitas Produk

Pengendalian kualitas produk bertujuan untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan mutu pabrik dan sesuai standar. Kualitas produk yang akan dipasarkan ke target konsumen harus sesuai standar sehingga bernilai tinggi dan dapat membangun citra perusahaan. Pengendalian kualitas produk diharapkan dapat mengontrol produk yang keluar sesuai dengan yang diinginkan dalam proses pembuatan *allyl chloride* dengan adanya indikator berupa *flow control* dan *ratio control* pada menara distilasi. Kemudian produk akan dipindahkan ke tangki penyimpanan dengan dilengkapi *level indicator* dan *pressure indicator* untuk mengontrol produk yang dihasilkan di dalam tangki.

Pengendalian kualitas produk *allyl chloride* dilakukan melalui pengujian parameter fisika dan kimia yang telah ditetapkan sebagai standar mutu. Parameter utama yang menjadi acuan meliputi titik didih yang berada pada kisaran 44–47 °C, densitas sekitar 0,93–0,94 g/mL pada suhu 20 °C, serta indeks bias (*n_D*) pada 20 °C yang berkisar antara 1,41–1,42. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan konsistensi sifat fisik yang berhubungan erat dengan kemurnian dan kestabilan produk. Selain parameter fisika, kadar kemurnian produk *allyl chloride* menjadi aspek kritis dalam pengendalian kualitas.

Analisis kromatografi gas (GC) umumnya digunakan untuk menentukan persentase kemurnian, di mana produk komersial dipersyaratkan memiliki tingkat kemurnian minimal 98% untuk kelas teknis dan hingga 99% untuk kelas reagen. Adanya pengotor atau senyawa samping, seperti propilena klorida atau polimer hasil samping, harus dipantau dan dijaga agar tetap berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan. Prosedur pengendalian kualitas juga mencakup pengujian terhadap stabilitas produk, terutama karena *allyl chloride* bersifat mudah menguap, reaktif, dan memiliki potensi polimerisasi spontan. Oleh karena itu, penyimpanan serta pengiriman produk dilakukan dengan pengendalian tambahan, seperti penggunaan inhibitor tertentu atau pengisian di bawah atmosfer inert (misalnya nitrogen). Setiap batch produksi diwajibkan melewati pengujian ini sebelum dilepas ke pasar, untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi industri maupun kebutuhan pelanggan. Adapun *allyl chloride* termasuk senyawa

organik golongan haloalkena yang memiliki sifat sedikit larut dalam air, meskipun senyawa ini lebih mudah larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, dan kloroform. Hal ini karena sifat molekulnya yang non-polar dominan (rantai hidrokarbon alkena) dengan hanya terdapat satu atom klorin yang tidak cukup membuat molekulnya menjadi polar kuat. Kelarutan pada 25 °C: sekitar 0,34 g/100 mL air atau setara dengan 3,4 g/L (Weast, *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 1983). Dengan demikian kemurnian pada produk *allyl chloride* yang diproduksi pada perancangan pabrik ini sekitar 98%.

2.4 Klasifikasi Tingkat Risiko Pabrik *Allyl Chloride*

Industri kimia, khususnya pabrik yang memproduksi *allyl chloride*, memiliki risiko berbahaya yang besar karena menggunakan bahan baku, produk, dan keadaan operasional yang dapat berisiko tinggi. Produksi *allyl chloride* biasanya melibatkan reaksi klorinasi propilen dalam fase gas pada suhu yang cukup tinggi. Proses ini menghasilkan *allyl chloride* sebagai produk utama dan juga menghasilkan hidrogen klorida (HCl) yang bersifat korosif sebagai produk samping. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan tingkat risiko pabrik untuk menentukan kebutuhan sistem keamanan proses, perlindungan kebakaran, dan pengendalian dampak terhadap lingkungan.

Untuk klasifikasi tingkat risiko pabrik, beberapa parameter utama dipertimbangkan, termasuk bahaya yang ditimbulkan oleh bahan kimia, kondisi operasional proses, serta potensi terjadinya kebakaran dan ledakan. Selain itu, dampak toksisitas pada pekerja dan lingkungan juga harus diperhatikan. Pendekatan ini mengikuti prinsip-prinsip keselamatan dalam industri kimia yang umum, seperti evaluasi bahaya proses, standar perlindungan kebakaran di industri kimia, serta metode untuk menilai bahaya kebakaran dan ledakan.

2.4.1 Risiko Berdasarkan Sifat Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam membuat *allyl chloride* adalah propylene dan chlorine. *Propylene* adalah gas hidrokarbon yang sangat mudah terbakar, sedangkan klorin adalah gas beracun yang memiliki sifat oksidator yang kuat. Gabungan kedua bahan ini bisa memperbesar risiko bahaya, baik dalam hal kebakaran, ledakan, maupun keracunan.

Produk utama *allyl chloride* termasuk senyawa yang mudah menguap, mudah terbakar, dan beracun jika dihirup dalam jumlah yang banyak. Selain itu, produk samping berupa hidrogen klorida yang terbentuk sangat bersifat merusak terhadap peralatan dan berbahaya bagi sistem pernapasan manusia.

Berdasarkan karakteristik tersebut, maka klasifikasi bahaya bahan pada pabrik *allyl chloride* dapat dirangkum sebagai berikut:

- Flammability (kemudahan terbakar): Tinggi
Disebabkan oleh keberadaan *propylene* dan *allyl chloride* yang bersifat flammable.
- Toxicity (toksisitas): Tinggi
Berasal dari paparan chlorine dan *allyl chloride*.
- Corrosivity (korosivitas): Tinggi
Akibat terbentuknya HCl sebagai produk samping.
- Reactivity (reaktivitas): Sedang hingga tinggi
Karena reaksi klorinasi bersifat eksotermis dan berpotensi tidak terkendali.

2.4.2 Risiko Berdasarkan Kondisi Operasi

Selain sifat bahan, tingkat risiko juga dipengaruhi oleh kondisi operasi proses. Reaksi klorinasi *propylene* berlangsung pada fase gas dengan suhu operasi relatif tinggi untuk mencapai konversi reaksi yang optimal. Kondisi ini meningkatkan potensi terjadinya *runaway reaction* apabila pengendalian temperatur tidak berjalan baik.

Operasi fase gas juga memperbesar risiko kebocoran karena fluida mudah menyebar dan membentuk campuran mudah terbakar dengan udara. Di sisi

lain, keberadaan klorin meningkatkan risiko paparan gas beracun apabila terjadi kegagalan sistem containment.

Parameter risiko operasi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Suhu operasi: Tinggi
Meningkatkan risiko reaksi tidak terkendali dan degradasi material.
- Tekanan operasi: Sedang
Berpotensi menimbulkan overpressure apabila terjadi akumulasi gas.
- Fase fluida: Gas
Memperbesar risiko kebocoran dan dispersi bahan berbahaya.

2.4.3 Potensi Kebakaran dan Ledakan

Potensi terjadinya kebakaran di pabrik *allyl chloride* terutama disebabkan oleh adanya senyawa hidrokarbon tak jenuh, yaitu *propylene* dan *allyl chloride* itu sendiri. Campuran gas hidrokarbon dan udara dalam batas nyala bisa menyebabkan kebakaran atau ledakan jika ada sumber percikan seperti listrik, panas, atau muatan listrik statis.

Selain itu, reaksi klorinasi yang menghasilkan panas juga bisa menyebabkan tekanan dalam sistem meningkat dengan cepat jika pendinginan tidak berjalan baik, sehingga berisiko menyebabkan ledakan pada peralatan proses. Berdasarkan penilaian dengan pendekatan indeks bahaya kebakaran dan ledakan (*Fire and Explosion Hazard Index*), proses klorinasi hidrokarbon umumnya termasuk dalam kategori bahaya tinggi karena melibatkan:

- Bahan mudah terbakar
- Gas bertekanan
- Reaksi eksotermis
- Produk beracun dan korosif

2.4.4 Benchmark dengan Industri Sejenis

Sebagai pembandingan, industri petrokimia lain yang menggunakan proses klorinasi hidrokarbon juga dikategorikan sebagai industri berisiko tinggi. Proses produksi senyawa turunan klorin umumnya memiliki karakteristik

bahaya yang serupa, yaitu melibatkan bahan mudah terbakar, gas beracun, serta reaksi eksotermis.

Industri-industri tersebut memerlukan sistem keselamatan proses yang ketat, seperti:

- Sistem deteksi kebocoran gas klorin
- Scrubber penetral HCl
- Sistem proteksi kebakaran berbasis foam atau *dry chemical*
- *Pressure relief system*
- *Emergency shutdown system*

Kesamaan karakteristik bahaya ini memperkuat klasifikasi bahwa pabrik *allyl chloride* berada pada tingkat risiko yang setara dengan industri klorinasi petrokimia lainnya.

2.4.5 Klasifikasi Tingkat Risiko Pabrik

Berdasarkan penilaian terhadap sifat bahan, kondisi kerja, kemungkinan terjadinya kebakaran dan ledakan, serta perbandingan dengan industri yang serupa, pabrik *allyl chloride* dapat dikategorikan sebagai industri kimia dengan tingkat risiko yang tinggi.

Klasifikasi ini didasarkan pada beberapa hal penting, yaitu:

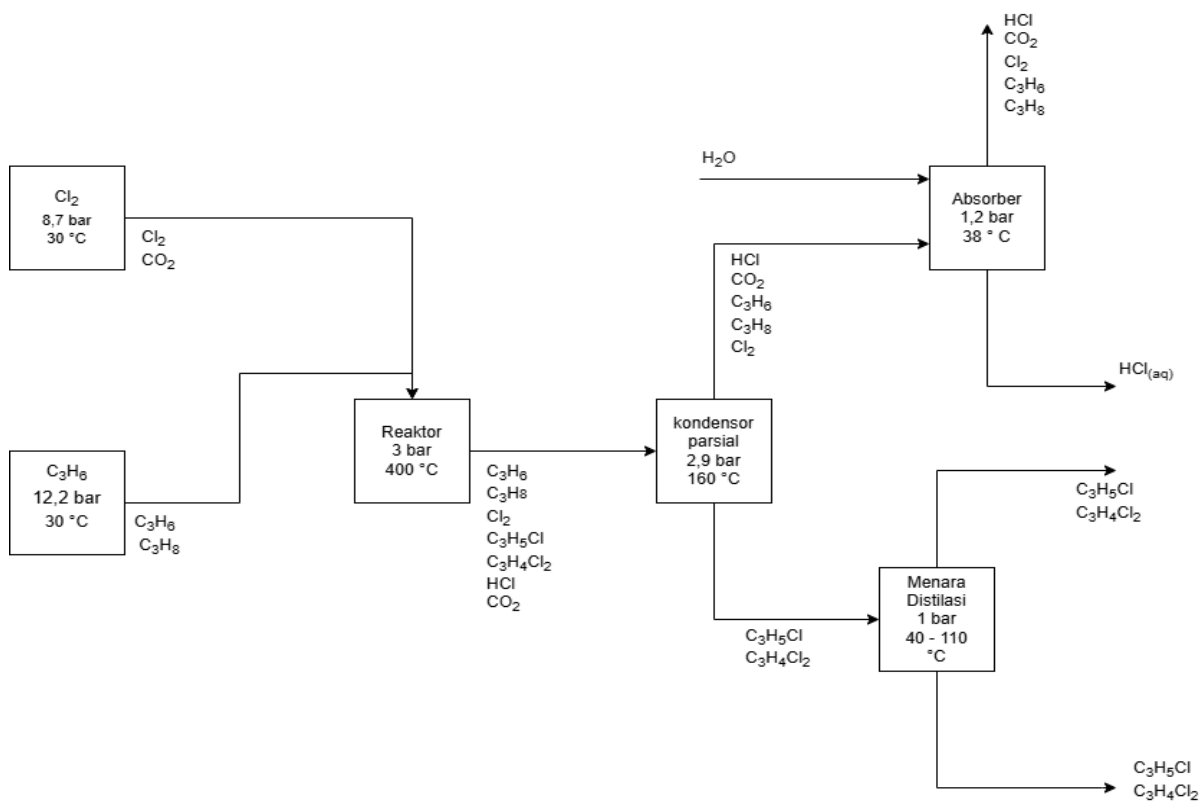
1. Penggunaan bahan baku berupa gas yang mudah terbakar dan beracun.
2. Produk bersifat flammable dan toksik.
3. Terbentuknya produk samping korosif (HCl).
4. Reaksi bersifat eksotermis pada suhu tinggi.
5. Potensi kebocoran gas berbahaya terjadi selama proses operasi fase gas.

Dengan tingkat risiko yang tinggi ini, desain pabrik harus dilengkapi dengan sistem keselamatan yang lengkap, terdiri dari pengawasan suhu dan tekanan, sistem deteksi serta penanggulangan bocoran gas, perlindungan terhadap kebakaran, dan prosedur respons darurat agar mengurangi bahaya bagi pekerja, peralatan, dan lingkungan.

BAB III PERANCANGAN PROSES

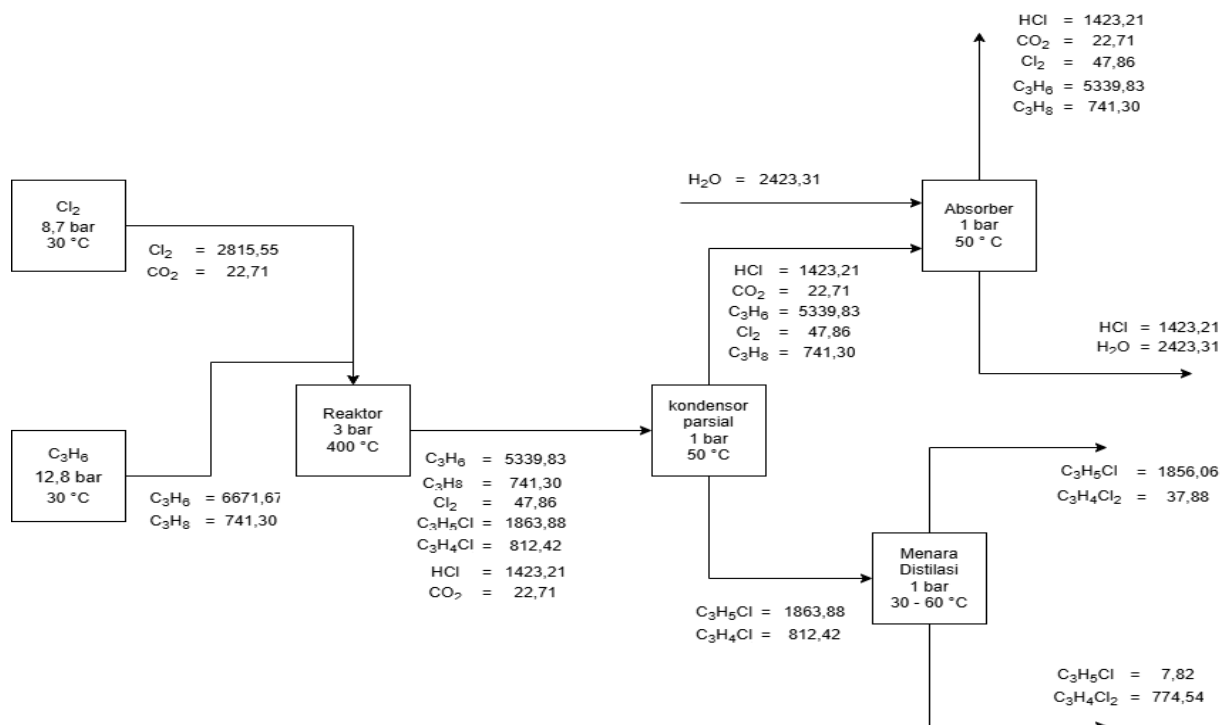
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram alir kualitatif



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif

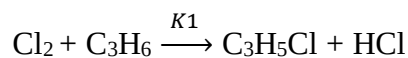


Gambar 3. 2 Diagram Alir Kuantitatif

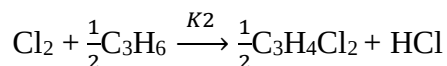
3.2 Uraian Proses

Proses pembuatan *allyl chloride* (C₃H₅Cl) dilakukan dengan cara mengklorinasi propilena dalam keadaan gas pada temperatur tinggi. Reaksi yang utama adalah sintesis *allyl chloride* dari propilena dan klorin, sementara hidrogen klorida (HCl) dihasilkan sebagai produk sampingan. Selain itu, reaksi tambahan juga dapat menghasilkan 2,3-dichloropropene (C₃H₄Cl₂). Reaksi yang terjadi adalah:

1. Reaksi utama:



2. Reaksi samping:



Produk utama adalah *allyl chloride*, sedangkan produk samping yang terbentuk yaitu *2,3-dichloropropene* dan *hydrogen chloride*.

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan utama yang digunakan dalam proses ini adalah propilena (C_3H_6) dan Klorin (Cl_2).

- Klorin (Cl_2) tersedia dalam bentuk cair bertekanan, kemudian tekanannya ditingkatkan hingga 8,7 bar pada suhu 30 °C. Aliran klorin tersebut diarahkan menuju reactor. Biasanya, klorin mengandung sedikit bahan inert (seperti CO_2), tetapi dapat tetap digunakan tanpa perlu proses pemurnian tambahan.
- Propilena (C_3H_6) disuplai pada tekanan 12,8 bar dan suhu 30 °C. aliran propilena ini dicampur dengan propilena daur ulang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan baku.

2. Reaksi pada Reaktor

Campuran yang terdiri dari klorin dan propilena ditempatkan ke dalam reactor berbentuk tabung yang bekerja pada tekanan 3 bar dan suhu 400 °C. Kondisi ini dipilih untuk memfasilitasi reaksi radikal bebas yang memproduksi *allyl chloride* sebagai hasil utama. Gas yang dihasilkan dari reaktor terdiri dari kombinasi *allyl chloride* (C_3H_5Cl), *2,3-Dichloropropene* ($C_3H_4Cl_2$), HCl, serta sisa propilena dan klorin yang belum bereaksi.

3. Pendinginan dan Kondensasi Parsial Produk Reaksi

Aliran gas yang dihasilkan dari reaksi diarahkan ke dalam kondensor dengan tekanan 1 – 2,9 bar dan temperature 160 °C. dalam proses ini, Sebagian besar produk seperti *allyl chloride*, *2,3-Dichloropropene*, dan propylene akan mengalami kondensasi menjadi bentuk cair. Sementara itu, gas-gas ringan seperti HCl, sisa klorin, dan sedikit *propylene* akan tetap berada dalam bentuk gas.

4. Pemisahan Gas dengan Absorber

Aliran gas dari kondensor partial kemudian diarahkan ke dalam pemisah pada tekanan 1,2 bar dan suhu 38 °C. dalam unit ini, HCl diambil dengan menggunakan air yang kemudian menghasilkan larutan HCl sebagai hasil

samping. Gas yang tersisa terdiri dari *propylene* yang tidak bereaksi, klorin yang tidak bereaksi, material inert, dan uap air akan dialirkan Kembali ke jalur utama reactor sebagai daur ulang. Dengan adanya proses daur ulang, efisiensi penggunaan *propylene* dan klorin dapat meningkat, serta kebutuhan akan bahan baku segar dapat berkurang.

5. Pemurnian Produk dalam Menara Distilasi

Aliran cairan yang keluar dari kondensor dan mengandung *allyl chloride*, *2,3-Dichloropropene*, serta sejumlah kecil *propylene* selanjutnya dipisahkan dalam sebuah Menara distilasi. Menara tersebut beroperasi pada tekanan 1 bar dengan suhu yang bervariasi antara 40-110 °C. dari Menara distilasi diperoleh distilat berupa *allyl chloride* (C_3H_5Cl) dengan Tingkat kemurnian tinggi yang menjadi produk utama. Sedangkan pada produk bawah dihasilkan *2,3-Dichloropropene* ($C_3H_4Cl_2$) sebagai produk sampingan. Adapun sisa *propylene* akan dialirkan kembali ke aliran umpan menuju reaktor untuk didaur ulang.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi Reaktor

Tabel 3. 1 Spesifikasi Reaktor

IDENTIFIKASI		
Nama Alat	:	Reaktor Alir Pipa (RAP)
Kode Alat	:	R-01
Fungsi	:	Tempat berlangsungnya reaksi klorinasi propilene
Jenis Alat	:	Plug Flow Reactor (PFR)
Mode Operasi	:	Continu
Bahan Konstruksi	:	Baja karbon A 285
DATA DESAIN		
Tekanan (atm)	:	3
Suhu (°C)	:	400
Kapasitas (ton/tahun)	:	15.000
Kondisi Operasi	:	Non-isothermal dan Non-Adiabatis
Volume (m ³)	:	1,200
DIMENSI RAKTOR		
Shell	:	Diameter (m) : 1,006
	:	Tinggi (m) : 1,509
	:	Tebal (in) : 0,00352
Head	:	Tinggi (m) : 0,25964
	:	Tebal (in) : 0,00323
	:	Volume (m3) : 0,13327
PENDINGIN		
Media Pendingin	:	Dowtherm A
Luas Transfer Panas (m ²)	:	3,77×10 ⁶
Kebutuhan Pendingin (kg/jam)	:	66,206
ISOLATOR		
Tebal (in)	:	3,27

3.3.2 Spesifikasi Alat Pemisah

a. Separator-01

Tabel 3. 2 Spesifikasi Alat Seperator-01

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Separator-01
Kode Alat	: SP-01
Fungsi	: Memisahkan campuran fase uap dan cair C_3H_6 dan C_3H_8
Jenis	: <i>Vertical Flash Drum</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
KONDISI OPERASI	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu (°C)	: -20
SPESIFIKASI	
Diameter (m)	: 0,6486
Tinggi (m)	: 4,5
Waktu tinggal	: 10 Menit
Tinggi Cairan (m)	: 2,7470
Jumlah	: 1

b. Separator 02

Tabel 3. 3 Spesifikasi Alat Separator-02

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Separator-02
Kode Alat	: SP-02
Fungsi	: Memisahkan campuran fase uap dan cair Cl_2 dan CO_2
Jenis	: <i>Vertical Flash Drum</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>

KONDISI OPERASI	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu (°C)	: -6
SPESIFIKASI	
Diameter (m)	: 0,1133
Tinggi (m)	: 4,5
Waktu tinggal	: 10 Menit
Tinggi Cairan (m)	: 0,4066
Jumlah	: 1

c. Separator-03

Tabel 3. 4 Spesifikasi Alat Separator-03

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Separator-03
Kode Alat	: SP-03
Fungsi	: Memisahkan campuran fase uap dan cair hasil absorber
Jenis	: <i>Vertical Sparator</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
KONDISI OPERASI	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu (°C)	: 91
SPESIFIKASI	
Diameter (m)	: 0,7031
Tinggi (m)	: 4,5
Waktu tinggal	: 10 Menit
Tinggi Cairan (m)	: 0,04772
Jumlah	: 1

3.3.3 Spesifikasi Alat Pendukung

a. Accumulator-01

Tabel 3. 5 Spesifikasi Alat Accumulator-01

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Accumulator-01
Kode Alat	: AC-01
Fungsi	: Menampung embun yang berasal dari condenser (CD-01) yang berupa campuran
Jenis	: <i>Silinder Horizontal</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
KONDISI OPERASI	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu (°C)	: 83
SPESIFIKASI	
Volume embunan (m ³)	: 0,4942
Volume tangki (m ³)	: 0,5931
Diameter tangki (m)	: 0,6314
Panjang tangki (m)	: 3

b. Reboiler-01

Tabel 3. 6 Spesifikasi alat Reboiler-01

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Reboiler-01
Kode Alat	: RB-01
Fungsi	: Menguapkan Sebagian cairan yang berasal dari dasar Menara destilasi MD-01.
Jenis	: <i>Kettle reboilers</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>

KONDISI OPERASI	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk (°C)	: 85
Suhu keluar (°C)	: 132
SPESIFIKASI	
Ukuran tabung	
Diameter luar tabung (m)	: 0,0190
Diameter dalam tabung (m)	: 0,0148
Luas Permukaan (m ² /m)	: 0,0598
Panjang tabung (m)	: 1,8288
Diameter slongong (m)	: 0,2032
Susunan	: 3/4 pada 15/16 in Tringular Pitch
Pitch (m)	: 0,0238
Diameter ekuivalen (m)	: 0,0139
Luas perpindahan kalor (m ²)	: 4,5968
h _o	: 1770 kJ/m ² s K
h _{io}	: 8,00000 kJ/m ² s K
U _c	: 1,5057 kJ/m ² s K
U _d	: 0,7065 kJ/m ² s K
R _d terhitung	: 0,7514 m ² s K/ kJ
R _d minimum	: 0,529 m ² s K/ kJ
Pressure drop shell	: 3,1122 bar
Pressure drop tube	: 0,0013 bar

c. Condensor-01

Tabel 3. 7 Spesifikasi Alat Condensor-01

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Condensor-01
Kode Alat	: CD-01
Fungsi	: Mengembunkan uap yang keluar puncak menara distilasi MD-01.
Jenis	: <i>Shell and Tube</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
KONDISI OPERASI	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk (°C)	: 83
Suhu keluar (°C)	: 83
SPESIFIKASI	
Ukuran tabung	
Diameter luar tabung (m)	: 0,0190
Diameter dalam tabung (m)	: 0,0148
Luas Permukaan (m ² /m)	: 0,0598
Panjang tabung (m)	: 7,3152
Diameter slongong (m)	: 0,0826
Susunan	: 3/4 pada 15/16 in Tringular Pitch
Pitch (m)	: 0,0238
Diameter ekuivalen (m)	: 0,0139
Luas perpindahan kalor (m ²)	: 49,9086
h _o	: 230,8614 kJ/m ² s K
h _{io}	: 8,4842 kJ/m ² s K
U _c	: 8,1835 kJ/m ² s K
U _d	: 0,70000 kJ/m ² s K
R _d terhitung	: 4,1986 m ² s K/ kJ
R _d minimum	: 0,88167 m ² s K/ kJ
Pressure drop shell	: 195531,4506 Pa
Pressure drop tube	: 545,71856 Pa

3.3.4 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku

Tabel 3. 8 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan Baku

Tangki		T-01	T-02
Fungsi		Menyimpan kebutuhan bahan baku berupa C_3H_6 & C_3H_8	Menyimpan kebutuhan bahan baku berupa Cl & CO_2
Jenis		Silinder Horizontal	Silinder Horizontal
Bahan Kontruksi		<i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>	<i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Lama Penyimpanan		15	15
Jumlah		1	1
Kondisi Operasi	Suhu ($^{\circ}C$)	30	30
	Tekanan (bar)	13	9
Spesifikasi	Volume embunan (m^3)	5399,1	746,96
	Volume tangki (m)	6478,9199	896,34846
	Volume bola (m)	0,28275	0,1462
	Diameter tangki (m)	14,009753	7,245837
	Panjang tangki (m)	3	3

3.3.5 Spesifikasi Alat Penyimpanan Produk

Tabel 3. 9 Spesifikasi Tangki Penyimpanan Produk

Tangki		T-03	T-04
Fungsi		Menyimpan produk atas absorber	Menyimpan Produk atas MD-01
Jenis		Silinder Vertikal	Silinder Vertikal
Bahan Kontruksi		<i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>	<i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Lama Penyimpanan		15	15
Jumlah		1	1
Kondisi Operasi	Suhu (°C)	30	30
	Tekanan (bar)	1	1
Spesifikasi	Volume bahan (m ³)	667,7181	970,7894
	Volume tangki (m ³)	801,2618	1164,974
	Diameter tangki (m)	12,192	12,192
	Tinggi tangki (m)	7,3151	7,3151

Tangki		T-05
Fungsi		Menyimpan Produk bawah MD-01
Jenis		Silinder Vertikal
Bahan Kontruksi		<i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Lama Penyimpanan		15
Jumlah		1
Kondisi Operasi	Suhu (°C)	30
	Tekanan (bar)	1

Spesifikasi	Volume bahan (m ³)	249,7854
	Volume tangki (m ³)	299,7426
	Diameter tangki (m)	12,192
	Tinggi tangki (m)	7,3152

3.3.6 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

a. Pompa 05

Tabel 3. 10 Spesifikasi Alat Pompa-05

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Pompa-05
Kode Alat	: P-05
Fungsi	: Mengalirkan hasil dari Sparator (SP-03) ke menara distilasi (MD-01)
Jenis	: <i>Centrifugal Pump</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
SPESIFIKASI PIPA	
Diameter luar (Od)	: 0,0889 m
Diameter dalam (Id)	: 0,0779 m
Luas aliran	: 0,0053 m ²
SPESIFIKASI POMPA	
Kapasitas (m ³ /jam)	: 2,6901
<i>Pump Head</i> (m)	: 19,9508
Viskositas (kg/ m s)	: 0,00046
Daya Motor (hp)	: 0,5296
NPSH (m)	: 6,966

b. Pompa 06

Tabel 3. 11 Spesifikasi Alat Pompa-06

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Pompa-06
Kode Alat	: P-06
Fungsi	: Mengalirkan produk dari absorber ke tangki (T-03)
Jenis	: <i>Centrifugal Pump</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
SPESIFIKASI PIPA	
Diameter luar (Od)	: 0,0421 m
Diameter dalam (Id)	: 0,0324 m
Luas aliran	: 0,0008 m ²
SPESIFIKASI POMPA	
Kapasitas (m ³ /jam)	: 5,9124
<i>Pump Head</i> (m)	: 37, 7748
Viskositas (kg/ m s)	: 0,000054
Daya Motor (hp)	: 1,5767
NPSH (m)	: 21,49

c. Pompa 07

Tabel 3. 12 Spesifikasi Alat Pompa-07

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Pompa-07
Kode Alat	: P-07
Fungsi	: Mengalirkan produk reboiler (RB-01) ke Tangki penyimpanan (T-05)
Jenis	: <i>Centrifugal Pump</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
SPESIFIKASI PIPA	
Diameter luar (Od)	: 0,3556 m
Diameter dalam (Id)	: 0,3365 m
Luas aliran	: 0,0889 m ²

SPESIFIKASI POMPA	
Kapasitas (m ³ /jam)	: 3,3499
<i>Pump Head</i> (m)	: 19,2851
Viskositas (kg/ m s)	: 0,00038
Daya Motor (hp)	: 0,3686
NPSH (m)	: 4,188

d. Pompa 08

Tabel 3. 13 Spesifikasi Alat Pompa-08

IDENTIFIKASI	
Nama Alat	: Pompa-08
Kode Alat	: P-08
Fungsi	: Mengalirkan produk accumulator ke tangki penyimpanan (T-04)
Jenis	: <i>Centrifugal Pump</i>
Bahan Kontruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
SPESIFIKASI PIPA	
Diameter luar (Od)	: 0,0603 m
Diameter dalam (Id)	: 0,0525 m
Luas aliran	: 0,0021 m ²
SPESIFIKASI POMPA	
Kapasitas (m ³ /jam)	: 2,2873
<i>Pump Head</i> (m)	: 23,3754
Viskositas (kg/ m s)	: 0,00035
Daya Motor (hp)	: 0,5015
NPSH (m)	: 9,539

3.3.7 Spesifikasi Alat Penukar Panas

a. Heat Exchanger (HE-01)

Tabel 3. 14 Spesifikasi Alat Heat Exchanger-01

IDENTIFIKASI	
Nama alat	: Heater
Kode alat	: HE-01
Fungsi	: Memanaskan gas yang berasal dari separator (SP-01) dengan media pemanas Steam Jenuh
Jenis HE	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan konstruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
KONDISI OPERASI	
Fluida Dingin	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk, t1 (°C)	: -20
Suhu keluar, t2 (°C)	: 30
Fluida Panas	
Tekanan (atm)	: 3,5
Suhu masuk, t1 (°C)	: 120
Suhu keluar, t2 (°C)	: 120
Massa pemanas (kg/jam)	: 205,134
Media pemanas	: Steam Jenuh
SPESIFIKASI	
Pipa luar	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0604
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0525
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1899
Pipa dalam	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0421
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0350
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1324
Panjang pipa (m)	: 1,8288
ho (kJ/m ² s K)	: 4,5036
hio (kJ/m ² s K)	: 8,5065
Uc (kJ/m ² s K)	: 2,9446
Ud (kJ/m ² s K)	: 0,5173
Rd terhitung (m ² s K/ kJ)	: 1,7664
Rd minimum (m ² s K/ kJ)	: 0,529
Pressure drop shell (Pa)	: 0,0427

Pressure drop tube (Pa)	: 0,7154
-------------------------	----------

b. Heat Exchanger (HE-02)

Tabel 3. 15 Spesifikasi Alat Heat Exchanger-02

IDENTIFIKASI	
Nama alat	: Heater
Kode alat	: HE-02
Fungsi	: Memanaskan gas yang berasal dari separator (SP-01) dengan media pemanas Steam Jenuh
Jenis HE	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan konstruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
KONDISI OPERASI	
Fluida Dingin	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk, t1 (°C)	: 30
Suhu keluar, t2 (°C)	: 400
Fluida Panas	
Tekanan (atm)	: 3,5
Suhu masuk, t1 (°C)	: 412
Suhu keluar, t2 (°C)	: 400
Massa pemanas (kg/jam)	: 591,40
Media pemanas	: Dowthrem A
SPESIFIKASI	
Pipa luar	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0604
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0525
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1899
Pipa dalam	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0421
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0350
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1324
Panjang pipa (m)	: 1,8288
ho (kJ/m ² s K)	: 9,2249
hio (kJ/m ² s K)	: 8,5065
Uc (kJ/m ² s K)	: 4,4255
Ud (kJ/m ² s K)	: 0,9625
Rd terhitung (m ² s K/ kJ)	: 0,8574
Rd minimum (m ² s K/ kJ)	: 0,529

Pressure drop shell (Pa)	: 0,0907
Pressure drop tube (Pa)	: 0,0684

c. Heater (HE-03)

Tabel 3. 16 Spesifikasi Alat Heat Exchanger-03

IDENTIFIKASI	
Nama alat	: <i>Heater</i>
Kode alat	: HE-03
Fungsi	: Memanaskan gas yang berasal dari separator (SP-02) dengan media pemanas Steam Jenuh
Jenis HE	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan konstruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
KONDISI OPERASI	
Fluida Dingin	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk, t1 (°C)	: -6
Suhu keluar, t2 (°C)	: 400
Fluida Panas	
Tekanan (atm)	: 3,5
Suhu masuk, t1 (°C)	: 412
Suhu keluar, t2 (°C)	: 400
Massa pemanas (kg/jam)	: 853,318
Media pemanas	: Dowthrem A
SPESIFIKASI	
Pipa luar	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0604
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0525
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1899
Pipa dalam	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0421
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0350
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1324
Panjang pipa (m)	: 1,8288
ho (kJ/m ² s K)	: 2,1413
hio (kJ/m ² s K)	: 8,5065
Uc (kJ/m ² s K)	: 1,71072
Ud (kJ/m ² s K)	: 0,2775

Rd terhitung ($\text{m}^2 \text{ s K/ kJ}$)	: 3,0178
Rd minimum ($\text{m}^2 \text{ s K/ kJ}$)	: 0,529
Pressure drop shell (Pa)	: 0,0543
Pressure drop tube (Pa)	: 0,0773

d. *Cooler* (CL - 01)

Tabel 3. 17 Spesifikasi Alat Cooler-01

IDENTIFIKASI	
Nama alat	: <i>Cooler</i>
Kode alat	: CL-01
Fungsi	: Mendinginkan hasil atas Menara destilasi (MD-01) menuju Tangki penyimpanan (T-04)
Jenis HE	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan konstruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
KONDISI OPERASI	
Fluida Panas	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk, t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	: 83
Suhu keluar, t_2 ($^{\circ}\text{C}$)	: 50
Fluida Dingin	
Suhu masuk, t_1 ($^{\circ}\text{C}$)	: 30
Suhu keluar, t_2 ($^{\circ}\text{C}$)	: 35
Massa pendingin (kg/jam)	: 6004,533
Media Pendingin	: Air
SPESIFIKASI	
Pipa luar	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0604
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0525
Luas permukaan (m^2/m)	: 0,1899
Pipa dalam	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0421
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0350
Luas permukaan (m^2/m)	: 0,1324
Panjang pipa (m)	: 1,8288
h_o ($\text{kJ/m}^2 \text{ s K}$)	: 7,2609
h_{io} ($\text{kJ/m}^2 \text{ s K}$)	: 9,9729
U_c ($\text{kJ/m}^2 \text{ s K}$)	: 4,2017

Ud (kJ/m ² s K)	: 0,2460
Rd terhitung (m ² s K/ kJ)	: 3,8260
Rd minimum (m ² s K/ kJ)	: 0,529
Pressure drop shell (Pa)	: 0,0126
Pressure drop tube (Pa)	: 0,000009290

e. Cooler (CL - 02)

Tabel 3. 18 Spesifikasi Alat Cooler-02

IDENTIFIKASI	
Nama alat	: <i>Cooler</i>
Kode alat	: CL-02
Fungsi	: Mendinginkan hasil bawah Menara destilasi (MD-01) menuju Tangki penyimpanan (T-04)
Jenis HE	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan konstruksi	: <i>Carbon Steels SA-283 Grade C</i>
Jumlah	: 1
KONDISI OPERASI	
Fluida Panas	
Tekanan (atm)	: 3
Suhu masuk, t1 (°C)	: 132
Suhu keluar, t2 (°C)	: 50
Fluida Dingin	
Suhu masuk, t1 (°C)	: 30
Suhu keluar, t2 (°C)	: 35
Massa pendingin (kg/jam)	: 1981,2762
Media pendingin	: Air
SPESIFIKASI	
Pipa luar	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0604
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0525
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1899
Pipa dalam	
Diameter luar pipa (m)	: 0,0421
Diameter dalam pipa (m)	: 0,0350
Luas permukaan (m ² /m)	: 0,1324
Panjang pipa (m)	: 1,8288
ho (kJ/m ² s K)	: 4,0500
hio (kJ/m ² s K)	: 10,5791

Uc (kJ/m ² s K)	: 2,9288
Ud (kJ/m ² s K)	: 0,2566
Rd terhitung (m ² s K/ kJ)	: 3,55429
Rd minimum (m ² s K/ kJ)	: 0,529
Pressure drop shell (Pa)	: 0,002714
Pressure drop tube (Pa)	: 0,00004783

3.4 Neraca Massa

3.4.1 Neraca Massa Reaktor

Tabel 3. 19 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
HCl	0	1423,215
CO ₂	22,706	22,706
C ₃ H ₆	6671,671	5339,838
C ₃ H ₈	741,296	741,296
Cl ₂	2815,553	47,864
C ₃ H ₅ Cl	0	1863,884
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	812,421
H ₂ O	0	0
Total	10251,227	10251,227

3.4.2 Neraca Massa Kondensial Parsial

Tabel 3. 20 Neraca Massa Kondensor Partial

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
		Liquid	Vapor
HCl	1423,215	0	1423,215
CO ₂	22,706	0	22,706

C ₃ H ₆	5339,838	0	5339,838
C ₃ H ₈	741,296	0	741,296
Cl ₂	47,864	0	47,864
C ₃ H ₅ Cl	1863,884	1863,884	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	812,421	812,421	0
H ₂ O	0	0	0
Total	10251,227	2676,305	7574,921
		10251,227	

3.4.3 Neraca Massa Menara Distilasi

Tabel 3. 21 Neraca Massa Menara Distilasi

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
		Distilat	Bottom
HCl	0	0	0
CO ₂	0	0	0
C ₃ H ₆	0	0	0
C ₃ H ₈	0	0	0
Cl ₂	0	0	0
C ₃ H ₅ Cl	1863,884	1856,061	7,823
C ₃ H ₄ Cl ₂	812,421	37,878	774,542

H ₂ O	0	0	0
Total	2676,305	1893,994	782,3656
		2676,305	

3.4.4 Neraca Massa Absorber

Tabel 3. 22 Neraca Massa Absorber

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
		Liquid	Vapor
HCl	1423,215	1423,215	0
CO ₂	22,706	22,706	0
C ₃ H ₆	5339,838	0	5339,838
C ₃ H ₈	741,296	0	741,296
Cl ₂	47,864	47,864	0
C ₃ H ₅ Cl	0	0	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	0	0
H ₂ O	0	2423,313	0
Total	7574,922	3917,099	6081,135
		7574,922	

3.5 Neraca Panas

3.5.1 Neraca Panas Reaktor

Tabel 3. 23 Neraca Panas Reaktor

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
HCl	0	441684,854
CO ₂	8447,116	8640,541
C ₃ H ₆	5405285,397	4233048,147
C ₃ H ₈	677791,378	695912,059
Cl ₂	529953,189	5407,289
3C ₃ H ₅ Cl	0	1437172,546
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	74082,589
H ₂ O	0	0
Q Reaksi	274734	0
Q Pendingin	0	10613,979
Total	6906562,003	6906562,003

3.5.2 Neraca Panas WHB

Tabel 3. 24 Neraca Panas WHB

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
HCl	0	0
CO ₂	9581,313	3759,586
C ₃ H ₆	6507845	2553596,332
C ₃ H ₈	821229,523	322240,089
Cl ₂	586176,052	230008.077
3C ₃ H ₅ Cl	0	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	0
H ₂ O	0	0
Q Pendingin	0	0

Total	19430528,436	19430528,436
-------	--------------	--------------

3.5.3 Neraca Panas Kondensor Parsial

Tabel 3. 25 Neraca Panas Kondensor Partial

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
HCl	153562,912	75033,461
CO ₂	2898,839	1416,422
C ₃ H ₆	1369411,678	669117,925
C ₃ H ₈	212773,979	103964,999
Cl ₂	3189,357	1558,374
3C ₃ H ₅ Cl	307258,093	150131,550
C ₃ H ₄ Cl ₂	105730,424	51661,690
H ₂ O	0	0
Q Pendingin	43481,32922	2811603,533
Total	3864487,955	3864487,955

3.5.4 Neraca Panas Kondensor-01

Tabel 3. 26 Neraca Panas Kondensor Total

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
3C ₃ H ₅ Cl	47057,01226	46831,75242
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	0
H ₂ O	0	0
Q Pendingin	143,40329	368,66313
Total	47200,41555	47200,41555

3.5.5 Neraca Panas Reboiler-01

Tabel 3. 27 Neraca Panas Reboiler-01

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
$3C_3H_5Cl$	38469,04789	7479273,036
$C_3H_4Cl_2$	400948,7288	66058712,5
H_2O	0	0
Q Pemanas	548952250,1	475709457,8
Total	549391667,9	549391667,9

3.5.6 Neraca Panas Heat Exchanger

a. Neraca Panas *Heat Exchanger*-01

Tabel 3. 28 Neraca Panas Heat Exchanger-01

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
HCl	0	0
CO_2	0	0
C_3H_6	-504451,6513	56835,74888
C_3H_8	-25261,50615	1762,272332
Cl_2	0	0
$3C_3H_5Cl$	0	0
$C_3H_4Cl_2$	0	0
H_2O	0	0
Q Pemanas	1462,422791	-586848,7558
Total	-528250,7346	-52850,7346

b. Neraca Panas Heat Exchanger-02

Tabel 3. 29 Neraca Panas Heat Exchanger-02

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
HCl	0	0
CO ₂	0	0
C ₃ H ₆	59565,37828	1291286,089
C ₃ H ₈	2838,505797	36572,0896
Cl ₂	0	0
3C ₃ H ₅ Cl	0	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	0
H ₂ O	0	0
Q Pemanas	373874,8104	-891680,204
Total	436278,6944	436278,6944

c. Neraca Panas *Heat Exchanger*-03

Tabel 3. 30 Neraca Panas Heat Exchanger-03

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
HCl	0	0
CO ₂	-606,6574017	2101,18621
C ₃ H ₆	0	0
C ₃ H ₈	0	0
Cl ₂	-41169,86352	138908,8524
3C ₃ H ₅ Cl	0	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	0
H ₂ O	0	0
Q Pemanas	54667,66163	-128118,8979
Total	12891,14071	12891,14071

3.5.7 Neraca Panas Cooler

a. Neraca Panas Cooler-01

Tabel 3. 31 Neraca Panas Cooler-01

Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
$3C_3H_5Cl$	24217,8246	115039,5648
$C_3H_4Cl_2$	835,2207251	399,9845927
H_2O	0	0
Q Pendingin	753680,9755	879284,4714
Total	99473,0208	99473,0208

b. Neraca Panas Cooler-02

Tabel 3. 32 Neraca Panas Cooler-02

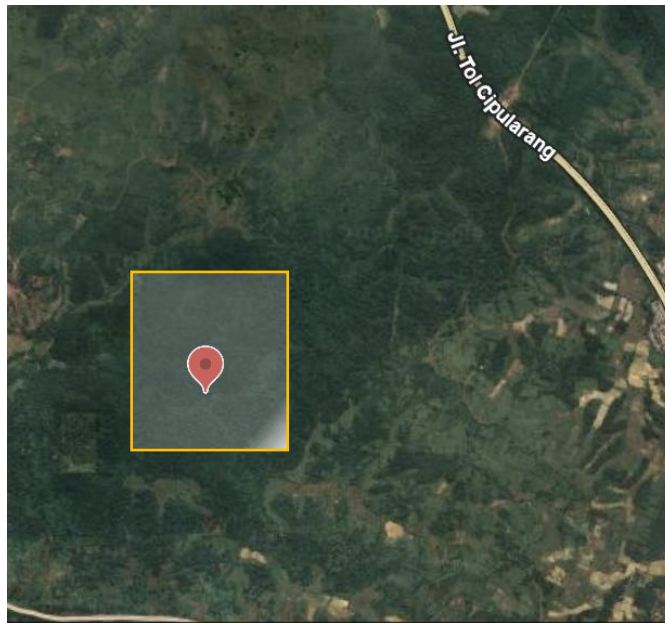
Keterangan	Input (kJ / Jam)	Output (kJ / Jam)
$3C_3H_5Cl$	4067,289701	1536,214118
$C_3H_4Cl_2$	136616,0221	51599,83117
H_2O	0	0
Q Pendingin	525283,5993	612830,8659
Total	665966,9112	665966,9112

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor yang sangat penting untuk keberlangsungan dan kemajuan operasi pabrik, baik pada masa berproduksi maupun di masa mendatang. Lokasi yang tepat dapat mempengaruhi keberhasilan suatu industri karena berdampak pada biaya produksi dan distribusi. Oleh karena itu, dalam memilih lokasi pabrik perlu diperhatikan berbagai faktor penting seperti ketersediaan pasar, bahan baku, dan utilitas, yang kesemuanya harus dipertimbangkan agar operasi pabrik dapat berjalan dengan biaya minimal dan peluang pengembangan yang optimal. Perancangan pabrik allyl chloride direncanakan didirikan di Desa Cicadas, Kecamatan Babakancikao, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat yang merupakan daerah yang sangat strategis untuk mendirikan pabrik. Lokasi Pabrik dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik Allyl Chloride:

Pemilihan lokasi pabrik dipilih dengan melakukan beberapa pertimbangan dan telah memenuhi berbagai pertimbangan tersebut antara lain sebagai berikut :

4.1.1 Ketersediaan Bahan Baku

Sumber bahan baku merupakan salah satu factor penentu dalam penentuan lokasi pabrik. Penempatan pada lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku dapat menurunkan biaya transportasi. Bahan baku utama yang digunakan untuk memproduksi Allyl chloride ini adalah Propylene (C_3H_6). Propylene akan diperoleh dari PT Chandra Asri Petrochemical Tbk yang berlokasi di Cilegon, Banten. Perusahaan ini mengoperasikan unit produksi propylene dengan kapasitas mencapai 490.000 ton/tahun. Lokasi bahan baku yang dekat dengan lokasi pabrik akan membuat pabrik yang ekonomis.

4.1.2 Sarana Transportasi

Pendirian pabrik di lokasi yang strategis sangat penting untuk memudahkan distribusi produk dan pasokan bahan baku, serta mengurangi biaya transportasi yang harus dikeluarkan oleh perusahaan maupun karyawan. Lokasi pabrik yang berdekatan dengan Jalan Raya Jakarta Cikampek II Selatan, Jalan Tol Cipularang, dan Pelabuhan Petimbangan Subang, Jawa Barat memberikan kemudahan transportasi baik darat maupun untuk ekspor melalui jalur laut. Dengan akses yang baik melalui darat dan laut, pemasaran produk dalam negeri dapat dilakukan dengan lebih efisien, sementara ekspor ke luar negeri dapat diakses dengan cepat melalui Pelabuhan Petimbangan Subang, Jawa Barat.

4.1.3 Utilitas

Kebutuhan tenaga listrik utama operasi pabrik disuplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) Gardu Induk South Pasific dan menggunakan generator diesel yang bahan bakarnya diperoleh dari Pertamina RU VI Balongan sebagai tenaga listrik cadangan. Sedangkan sumber air bahan baku diambil dari Sungai Citarum.

4.1.4 Ketersediaan Kawasan dan Sumber Daya Manusia

Menurut data Badan Pusat Statistik 2024, Penduduk usia yang produktif untuk bekerja berusia >15 tahun. Penduduk usia yang produktif untuk bekerja cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk di Kabupaten Purwakarta. Penduduk Kabupaten Purwakarta 1.063.932 jiwa dari jumlah penduduk dapat diklasifikasikan lagi menjadi berikut :

- Angka Kerja
 - Bekerja : 490.380 orang
 - Pengangguran : 47.885 orang
- Bukan Angka Kerja
 - Sekolah : 491.600 orang
 - Mengurus rumah tangga : 187.262 orang
 - Lainnya : 39.665 orang

Data menunjukkan 47.885 orang pengangguran dan 491.600 orang yang masih bersekolah bisa mendapat pekerjaan. Meski potensi tersebut tidak menunjukkan secara pasti jumlah sumber daya manusia yang memiliki keahlian yang sama, namun hal ini terutama didukung dengan hadirnya sekolah vokasi di bidang kimia dan industri kimia.

4.1.5 Pengaruh Lingkungan dan Limbah

Limbah pabrik merupakan salah satu permasalahan yang tidak terpisahkan dari kegiatan industri kimia, termasuk pada pabrik klorinasi. Proses klorinasi berpotensi menghasilkan limbah cair yang mengandung sisa klorin bebas, senyawa klorida, serta senyawa organik terklorinasi dalam jumlah tertentu. Oleh karena itu, limbah cair yang dihasilkan harus dikelola secara tepat agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Limbah cair dari unit proses klorinasi terlebih dahulu dialirkan ke unit pengolahan limbah cair untuk menurunkan konsentrasi zat pencemar. Tahapan pengolahan meliputi proses netralisasi, deklorinasi untuk menghilangkan sisa klorin bebas, serta pengolahan fisika dan kimia lainnya sesuai karakteristik limbah. Pengolahan ini bertujuan agar parameter limbah cair, seperti pH, kadar klorin bebas, dan

total senyawa terlarut, memenuhi baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan. Setelah memenuhi baku mutu air limbah sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku, limbah cair tersebut selanjutnya dialirkan ke badan perairan penerima, seperti laut, dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan lingkungan dan keberlanjutan ekosistem perairan.

4.1.6 Faktor Ekonomi dan Hukum

Lokasi pabrik yang direncanakan berada di Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat, Sehingga harus memenuhi ketentuan yang berlaku di Purwakarta, Adapun pabrik/kilang termasuk dalam usaha bisnis menurut Peraturan Daerah Kabupaten Purwakarta Nomor 15 Tahun 2023 tentang Pajak Daerah dan Retribusi Daerah dan dilaksanakan melalui Peraturan Bupati seperti Perbup Nomor 25 Tahun 2024 dan Perbup lain terkait PBB-P2 adalah pajak atas bumi dan/atau bangunan yang dimiliki, dikuasai, atau dimanfaatkan oleh orang pribadi atau badan, kecuali kawasan tertentu sesuai ketentuan yang berlaku. Besaran PBB-P2, dasar pengenaan, serta cara perhitungannya ditetapkan melalui Perda dan Perbup sebagai peraturan daerah setempat. Meskipun konsep umumnya sama dengan PBB-P2 di daerah lain seperti di Kabupaten Serang, dasar hukum dan ketentuan tarifnya berbeda karena masing-masing daerah menerbitkan peraturan sendiri sesuai kewenangannya dalam kebijakan pajak daerah. Tarif Pajak Bumi dan Bangunan Perdesaan dan Perkotaan (PBB-P2) di Kabupaten Purwakarta ditetapkan berdasarkan Nilai Jual Objek Pajak (NJOP) paling rendah 20% (dua puluh persen) dan paling tinggi 100% (seratus persen) dari NJOP setelah dikurangi Besarnya Nilai Jual Objek Pajak Tidak Kena Pajak (NJOPTKP) ditetapkan sebesar Rp 15.000.000,00 (lima belas juta rupiah) untuk setiap Wajib Pajak.

Adapun NJOP ditentukan melalui perbandingan harga dengan Objek lain yang sejenis, atau nilai perolehan baru, atau NJOP pengganti.

- a. Untuk NJOP dibawah Rp. 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah) sebesar 0,2% (nol koma dua persen); dan

- b. Untuk NJOP diatas Rp. 1.000.000.000,00 (satu milyar rupiah) sebesar 0,3% (nol koma tiga persen).
- c. Tarif PBB-P2 sebagaimana dimaksud ayat (1) yang berupa lahan produksi pangan dan ternak ditetapkan sebesar 0,1% (nol koma satu persen).

Berbeda lagi dengan peraturan Tarif pajak Pusat yang diatur oleh peraturan UU No.12 Tahun 1994 tentang Pajak Bumi dan Bangunan lahan industry diperoleh dari hasil kali Nilai Jual Kena Pajak (NJKP) dengan tarif sebesar 0,5%.

Pengembangan pabrik ini memiliki dampak signifikan terhadap perekonomian, terutama di daerah lokasi pabrik, dengan memberikan multiplier effect yang besar baik bagi ekonomi daerah maupun nasional yang pada akhirnya meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

4.2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout)

Tata letak pabrik merupakan pengaturan dan penempatan berbagai fasilitas di dalam area pabrik yang bertujuan untuk menunjang kelancaran proses produksi. Perencanaan tata letak pabrik mencakup pengaturan kebutuhan ruang untuk seluruh aktivitas operasional, seperti area proses, kantor, gudang, ruang utilitas, serta fasilitas pendukung lainnya yang berkaitan langsung maupun tidak langsung dengan kegiatan produksi. Perancangan tata letak pabrik harus dilakukan secara sistematis agar aliran bahan, peralatan, dan tenaga kerja dapat berlangsung secara efisien. Menurut Peters (2018), terdapat beberapa faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan tata letak pabrik :

- a. Urutan rangkaian proses produksi.
- b. Perluas lokasi pabrik.
- c. Distribusi ekonomis pada bahan baku, pengadaan air, steam process, serta tenaga listrik.
- d. Pemeliharaan serta perbaikan komponen-komponen dalam pabrik.
- e. Keamanan (safety) dan keselamatan kerja.

- f. Luas bangunan, kondisi bangunan, serta konstruksi bangunan yang telah memenuhi syarat.
- g. Perancangan tata letak pabrik yang fleksibel dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya perubahan dari proses ataupun mesin, sehingga perubahan-perubahan yang dilakukan tidak membutuhkan biaya yang mahal.
- h. Pembuangan limbah.
- i. Servis area, seperti ruang ibadah, kantin, toilet, tempat parkir, dan sebagainya diatur dengan baik sehingga tidak jauh dari lokasi kerja.

Berikut merupakan beberapa keuntungan pengaturan tata pabrik yang baik (Peters,2018)

- Mengurangi jarak antara transportasi dan produksi, sehingga dapat mengurangi material *handling*.
- Mengurangi biaya produksi, meningkatkan keselamatan kerja

Berikut merupakan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik adalah sebagai berikut :

1) Perluasan Pabrik

Perluasan pabrik ini harus sudah masuk dalam perhitungan sejak dalam perancangan pabrik. Hal ini ditujukan agar masalah kebutuhan tempat di kemudian hari tidak dipermasalahan. Sejumlah area khusus sudah disiapkan untuk dipakai sebagai perluasan pabrik, penambahan peralatan dan peningkatan kapasitas pabrik.

2) Keamanan

Keamanan terhadap kemungkinan adanya bahaya kebakaran, ledakan, asap/gas beracun harus benar-benar diperhatikan dalam penentuan tata letak pabrik. Untuk itu harus dilakukan penempatan alat-alat pengaman seperti hydrant, penampungan air yang cukup serta penahan ledakan. Tangki penyimpanan produk yang berbahaya harus diletakan di area khusus serta perlu adanya jarak antara bangunan yang satu dengan yang lainnya guna memberikan pertolongan dan menyediakan jalan bagi para karyawan untuk menyelamatkan diri di saat terjadinya keadaan darurat.

3) Luas Area yang tersedia

Harga tanah yang menjadi hal yang membatasi kemampuan penyedia area. Pemakaian tempat disesuaikan dengan area yang tersedia. Jika harga tanah terlalu tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan hingga peralatan tertentu diletakkan diatas peralatan yang lain ataupun lantai ruangan diatur sedemikian rupa agar menghemat tempat.

4) Bangunan

Bangunan yang ada secara fisik harus memenuhi standar dan perlengkapan yang menyertainya seperti ventilasi, instalasi, dan lain-lainnya tersedia dan memenuhi syarat.

5) Instalasi dan Utilitas

Pemasangan dan distribusi yang baik dari gas, steam dan listrik akan membantu kemudahan kerja dan perawatannya. Penempatan alat proses diatur sedemikian rupa sehingga karyawan dapat dengan mudah mencapainya dan dapat menjamin kelancaran operasi serta memudahkan dalam perawatannya.

6) Jaringan Jalan Raya

Untuk pengangkutan bahan, keperluan perbaikan, pemeliharaan dan keselamatan kerja, maka di antara daerah proses dibuat jalan yang cukup untuk memudahkan mobil keluar masuk, sehingga bila terjadi suatu bencana maka tidak akan mengalami kesulitan dalam menanggulanginya. Secara garis besar tata letak pabrik dibagi dalam beberapa daerah utama, yaitu:

a. Daerah Administrasi/perkantoran, laboratorium dan fasilitas pendukung. Area ini terdiri dari :

- Daerah administrasi sebagai pusat kegiatan administrasi dan keuangan pabrik. –
- Laboratorium sebagai pusat kontrol kualitas bahan baku dan produk.
- Fasilitas – fasilitas bagi karyawan seperti : poliklinik, kantin, dan masjid.

b. Daerah Proses Perluasan

Merupakan daerah tempat alat-alat proses diletakkan dan proses berlangsung. Ruang kontrol sebagai pusat pengendalian berlangsungnya proses.

c. Daerah Pergudangan, Bengkel, Garasi dan *Loading Space*

d. Daerah Utilitas dan Pemadam Kebakaran

Merupakan lokasi pusat kegiatan penyediaan air, steam, air pendingin dan tenaga listrik disediakan guna menunjang jalannya proses serta unit pemadam kebakaran.

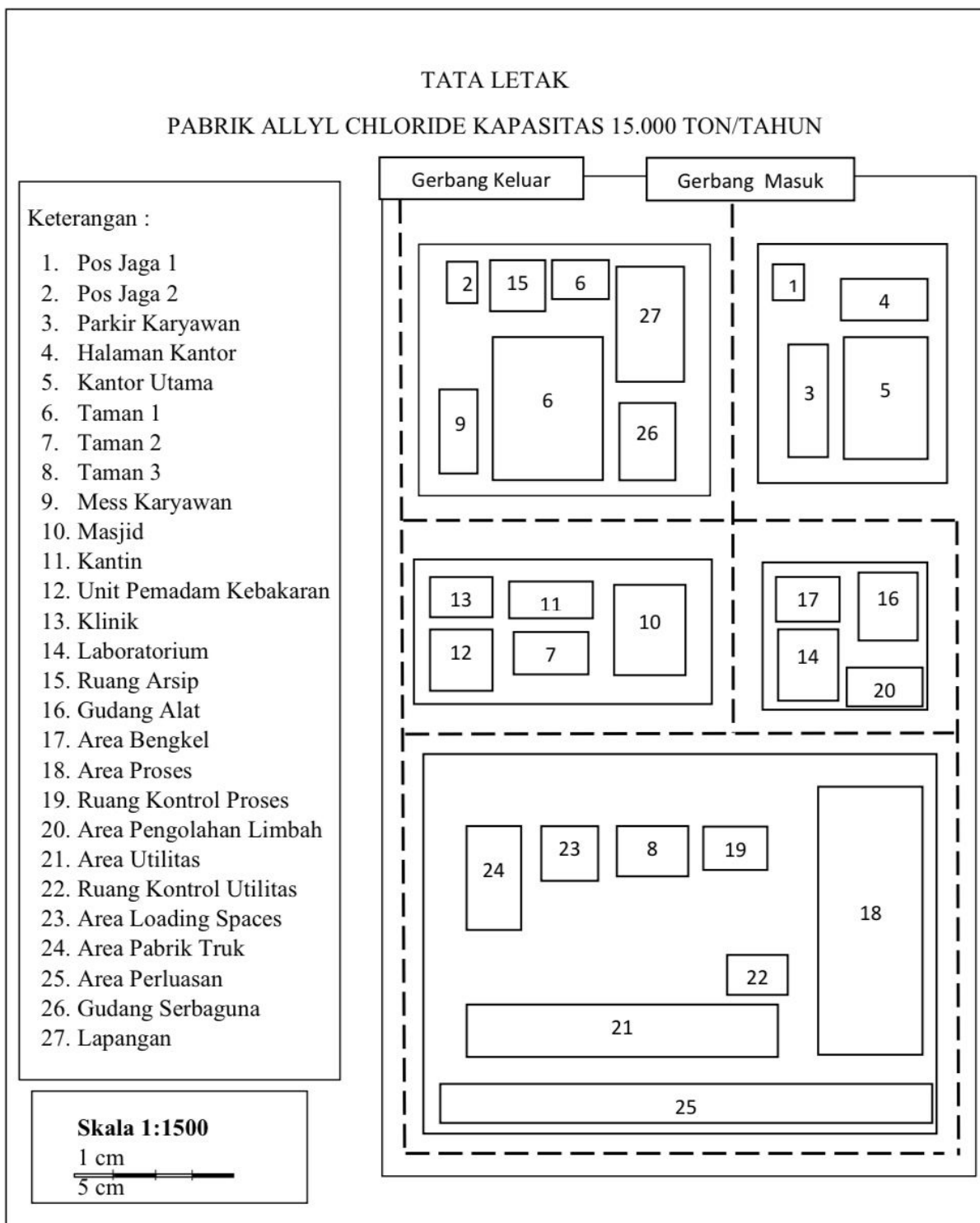
e. Daerah Pengolahan Limbah

Merupakan daerah pembuangan dan pengolahan limbah hasil proses produksi. Berikut merupakan perincian luas tanah sebagai bangunan pabrik dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Rincian Penggunaan Area Pabrik

No	Nama Lokasi	Panjang (m)	Lebar (m)	Luas (m ²)
1	Pos Jaga 1	8	7	56
2	Pos jaga 2	8	7	56
3	Parkir Karyawan	15	30	450
4	Halaman Kantor	30	15	450
5	Kantor Utama	30	35	1050
6	Taman 1	15	20	300
7	Taman 2	15	20	300
8	Taman 3	15	20	300
9	Mess Karyawan	40	35	1400
10	Masjid	30	25	750
11	Kantin	10	20	400
12	Unit Pemadam Kebakaran	15	15	225
13	Klinik	12	9	108
14	Laboratorium	25	20	700
15	Ruang Arsip	15	12	250
16	Gudang Alat	20	20	600
17	Area Bengkel	15	20	300
18	Area Proses	90	40	3600
19	Ruang Kontrol Proses	15	10	300

20	Area Pengolahan Limbah	25	15	800
21	Area Utilitas	90	25	2250
22	Ruang Kontrol Utilitas	15	10	150
23	Area Loading Spaces	18	18	500
24	Area Pabrik Truk	30	15	700
25	Area Perluasan	150	10	1500
26	Gedung Serbaguna	25	20	500
27	Lapangan	30	20	600
	Luas Total Bangunan			18,802.00
	Luas Tanah			27,882.2



Gambar 4. 2 Lay Out Unit Allyl Chloride

4.3 Tata Letak Mesin/ Alat Proses (Machines Layout)

Dalam suatu perancangan pabrik, tata letak dari suatu alat proses pabrik harus diperhatikan agar dapat mempermudah masuknya bahan baku menjadi produk. Hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Jalannya aliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar. Aliran bahan baku dan produk yang baik dapat menunjang keamanan dan kelancaran produksi, serta memberikan keuntungan yang besar.

2. Aliran Udara

Kelancaran aliran udara di dalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan. Dengan tujuan menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat sehingga menyebabkan akumulasi bahan kimia yang dapat mengancam keselamatan kerja

3. Pencahayaan

Pencahayaan seluruh area pabrik harus memadai. Dan untuk area proses yang beresiko tinggi harus diberi pencahayaan lebih.

4. Lalu Lintas Manusia dan Kendaraan

Dalam perancangan layout pabrik, lalu lintas manusia dan kendaraan perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan mudah dan cepat. Dengan tujuan dapat memperbaiki alat proses yang mengalami gangguan dengan cepat, selain itu keamanan para pekerja selama menjalankan tugasnya perlu diprioritaskan.

5. Pertimbangan Ekonomi

Penempatan alat-alat proses diusahakan dapat menekan biaya Operasi serta menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik, dari segi ekonomi, hal tersebut dapat menguntungkan.

6. Jarak Antar Alat Proses

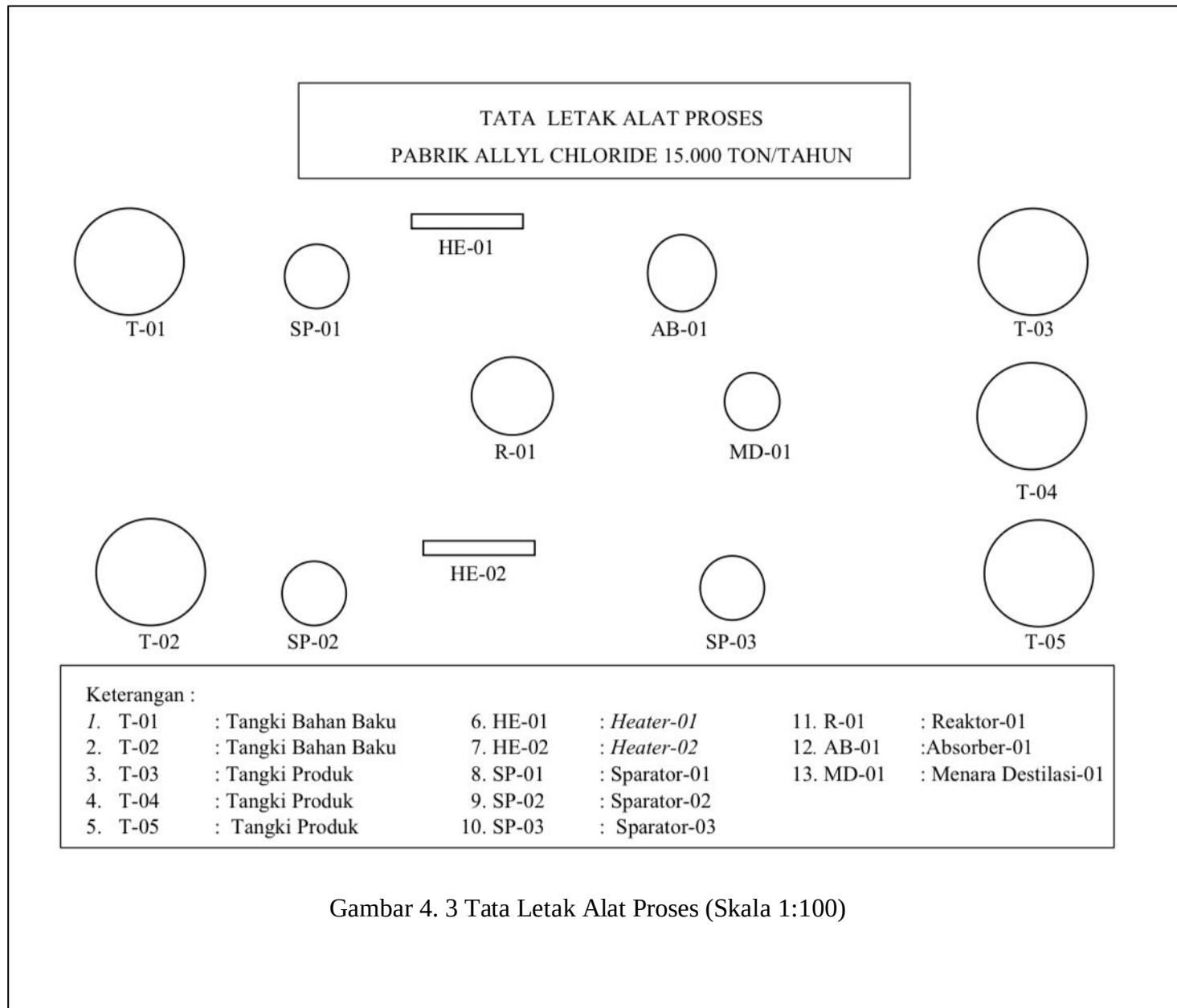
Alat proses yang memiliki suhu dan tekanan operasi tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya, hal tersebut dapat meminimalisir

kerusakan yang diakibatkan oleh ledakan atau kebakaran pada alat tersebut. Beberapa manfaat perancangan tata letak alat-alat proses:

- Menjamin kelancaran proses produksi
- Memanfaatkan luas lahan yang tersedia dengan efektif

7. *Maintenance*

Maintenace berguna untuk menjaga sarana dan fasilitas peralatan pabrik dengan cara pemeliharaan perbaikan alat agar produksi dapat berjalan dengan lancar dan produktivitas menjadi tinggi sehingga akan tercapai target produksi dan spesifikasi bahan baku yang diharapkan.



4.4 Orientasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk Organisasi

Pabrik *allyl chloride* direncanakan akan didirikan dengan spesifikasi sebagai berikut :

Bentuk : Perseroan Terbatas (PT)

Lapangan usaha : Industri *Allyl Chloride*

Lokasi Perusahaan : Desa Cicadas, Kecamatan Babakancikao,
Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat

Alasan dipilih bentuk Perseroan Terbatas pada perencanaan pendirian perusahaan ini dilatarbelakangi atas beberapa pertimbangan diantaranya adalah:

- a. Mudah mendapatkan modal dengan menjual saham perusahaan.
- b. Tanggung jawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi dipegang oleh pemimpin perusahaan saja.
- c. Pemilih (pemegang saham) dan pengurus perusahaan (direksi dan *staff*) terpisah satu sama lain.
- d. Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin karena tidak bergantung dengan berhentinya pemegang saham, direksi dan *staff* perusahaan.
- e. Lapangan usaha lebih luas

4.4.2 Struktur Organisasi

Dalam rangka menjalankan suatu perusahaan dan menunjang kemajuan perusahaan diperlukan struktur organisasi dengan manajemen atau pembagian tugas dan wewenang yang baik. Dalam penyusunan struktur yang baik dapat memperhatikan pedoman berikut :

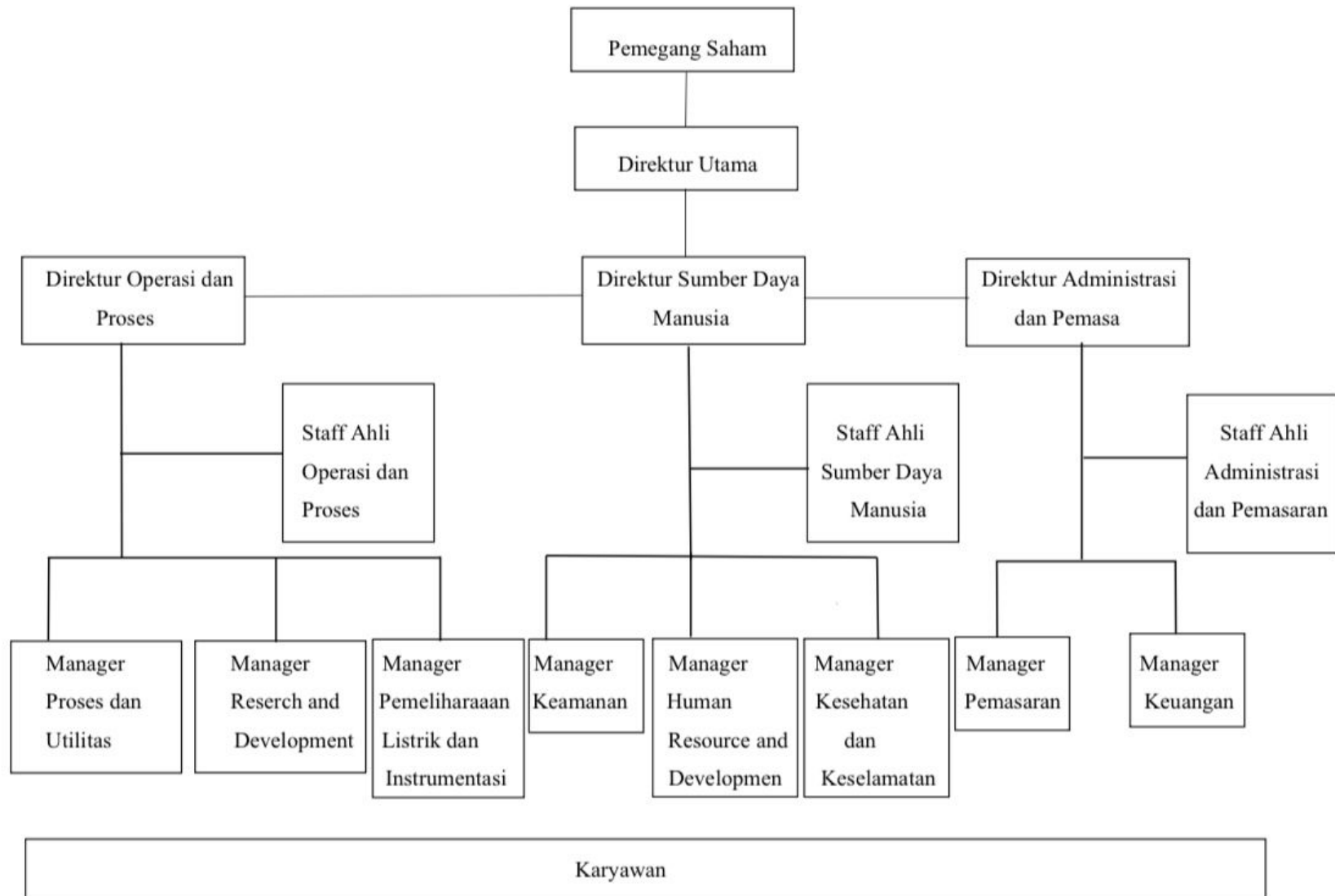
- a. Perumusan tujuan perusahaan yang jelas
- b. Pendelegasian wewenang

- c. Pembagian tugas yang jelas
- d. Kesatuan perintah dan tanggung jawab
- e. Sistem pengontrol atas pekerjaan yang telah dilaksanakan
- f. Organisasi perusahaan yang fleksibel

Dengan memperhatikan pedoman diatas dapat struktur organisasi yang baik yaitu sistem *line and staff*. Pada system ini garis kekuasaan lebih sederhana dan praktis. Kebaikan dalam pembagian tugas ini adalah terdapat 2 kelompok yang berpengaruh dalam menjalankan organisasi. Yang pertama adalah garis atau *line* yang bertugas melaksanakan tugas pokok organisasi dalam rangka mencapai tujuan. Selanjutnya yang kedua adalah staf yang bertugas sesuai dengan keahliannya untuk memberi saran pada unit operasional. Jenis kepemimpinan dalam perusahaan ini adalah sebagai berikut :

- a. Pemegang Saham
- b. Dewan Komisaris
- c. DIrektur Utama
- d. Direktur
- e. Kepala Bagian
- f. Kepala Seksi
- g. Karyawan

Tanggung jawab, tugas dan wewenang setiap kepemimpinan berbeda-beda dan puncak pimpinan tertinggi terletak pada dewan komisaris, sementara kekuasaan tertinggi berada pada rapat umum pemegang saham. Gambar 4.4 berikut menunjukkan struktur organisasi perusahaan :



Gambar 4. 4 Struktur Organisasi

4.4.3 Tugas dan Wewenang

1. Dewan Komisaris

Dewan komisaris dipilih oleh seluruh anggota pemegang saham melalui Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Umumnya anggota dewan komisaris terdiri dari orang maupun badan hukum pemegang saham mayoritas di perusahaan atau memiliki pengalaman dalam perusahaan. Dewan komisaris memiliki beberapa tugas diantaranya :

- a. Mengawasi dan mengevaluasi kinerja direktur.
- b. Menilai dan menyetujui rencana direksi tentang kebijakan umum, target laba perusahaan, alokasi sumber-sumber dana, dan pengarahan pemasaran.
- c. Membantu direktur dalam kegiatan penting.
- d. Melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan rencana jangka Panjang.
- e. Perusahaan (RJPP) dan Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan (RKAOP)
- f. Mengkaji sistem manajemen perusahaan.
- g. Memantau efektivitas penerapan Good Corporate Governance dan melaporkannya dalam RUPS

2. Direktur Utama

Sebagai pemegang jabatan tertinggi dalam perusahaan, direktur utama memiliki tanggungjawab terhadap kestabilan dan kesuksesan perusahaan sesuai dengan target yang ditetapkan dalam RUPS. Direktur utama bertanggungjawab kepada dewan komisaris atas segala tindakan serta kebijakan yang diambil sebagai pimpinan perusahaan. Selain itu direktur utama memiliki tugas sebagai berikut :

- a. Memimpin dan mengembangkan perusahaan secara efektif dan efisien.
- b. Menyampaikan laporan kinerja perusahaan kepada pemegang saham.
- c. Merancang dan menjalankan kebijakan umum pabrik berdasarkan kebijakan yang ada dalam RUPS.
- d. Mengangkat dan memberhentikan Kepala Bagian atas persetujuan dewan komisaris dalam rapat pemegang saham.

- e. Merencanakan serta mengawasi pelaksanaan tugas dan tanggungjawab setiap orang dalam perusahaan.
- f. Menjalin kerjasama dan mewakili perusahaan dalam hubungan maupun perjanjian dengan pihak luar perusahaan.

3. Sekertaris

Sekretaris akan dipilih secara langsung oleh direktur utama. Sekretaris bertugas dan bertanggungjawab dalam membantu kelancaran administrasi perusahaan, mencatat hasil dari berbagai rapat penting perusahaan termasuk RUPS, berkomunikasi dengan berbagai pihak, melakukan pengarsipan file dan dokumen perusahaan, membuat penjadwalan perusahaan dan supervisi terhadap karyawan baru.

4. Direktur Plant

Direktur *plant* bertanggung jawab langsung kepada direktur utama terkait segala urusan mengenai proses operasi dalam pabrik. Terdapat beberapa tugas yang dilimpahkan kepada direktur plant seperti mengepalai seluruh pelaksanaan kegiatan perusahaan yang berkaitan dengan sektor produksi, operasi, teknik, utilitas, pengembangan, pemeliharaan, pengadaan dan laboratorium. Direktur ini akan membawahi beberapa bidang seperti proses dan utilitas, *research and development*, serta pemeliharaan listrik dan instrumentasi.

a. Kepala Bagian Proses dan Utilitas

Memiliki tugas dan wewenang dalam menjalankan dan mengawasi proses produksi, mengawasi penyediaan bahan baku serta penanganan kelancaran utilitas. Dalam menjalankan tugasnya, kepala bagian proses dan utilitas akan dibantu oleh beberapa divisi seperti divisi produksi, divisi utilitas dan pengolahan limbah, dan divisi control room.

b. Kepala Bagian *Research and Development*

Memiliki tugas dan wewenang evaluasi produk sebelum, selama dan setelah proses produksi untuk memastikan kualitasnya sesuai dengan standar, mengembangkan strategi untuk memperbaiki dan meningkatkan

kualitas produk, menetapkan prosedur pengujian produk dan mempelajari perkembangan teknologi untuk peningkatan kualitas produk. Dalam menjalankan tugasnya, kepala bagian *research and development* akan dibantu oleh beberapa divisi yaitu divisi laboratorium, divisi quality control dan divisi penelitian proses dan teknologi.

c. Kepala Bagian Pemeliharaan Kelistrikan dan Instrumentasi

Memiliki tugas dan wewenang dalam pengawasan dan pelaksanaan pemeliharaan peralatan pabrik dan instrumentasi kelistrikan. Dalam menjalankan tugasnya, kepala bagian pemeliharaan kelistrikan dan instrumentasi akan dibantu oleh beberapa divisi yaitu divisi instrumentasi kelistrikan dan divisi perawatan pabrik.

d. Direktur Sumber Daya Manusia

Direktur Sumber Daya Manusia bertanggung jawab langsung kepada direktur utama terkait pengembangan dan pengelolaan SDM. Tugas yang dimiliki mengenai personalia, keamanan, humas, dan keselamatan kerja serta memimpin segala kegiatan yang berhubungan dengan tugasnya. Direktur ini akan membawahi beberapa bidang seperti kesehatan dan keselamatan kerja (K3), *human resource and development*, dan keamanan.

e. Kepala Bagian K3

Memiliki tugas dan wewenang dalam memastikan perusahaan telah menerapkan program K3 secara baik, mengelola program K3 serta penerapannya secara efektif, melakukan analisa risiko kerja dalam perusahaan dan memastikan setiap tenaga kerja bekerja sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP) yang ada.

f. Kepala Bagian *Human Resource and Development* (HRD)

Memiliki tugas dan wewenang dalam pengembangan kebijakan SDM, mengelola proses rekrutmen dan seleksi, merancang pelatihan dan pengembangan SDM, manajemen kinerja dan konflik, serta merancang dan mengimplementasikan program penghargaan dan kompensasi.

Dalam menjalankan tugasnya, kepala bagian HRD akan dibantu oleh beberapa divisi yaitu divisi pelatihan tenaga kerja dan divisi personalia.

g. Kepala Bagian Keamanan

Memiliki tugas dan wewenang dalam melakukan pemeriksaan keamanan pada area tertentu serta menjaga dan memelihara aset dan inventaris perusahaan.

5. Direktur Administrasi dan Pemasaran

Direktur administrasi dan pemasaran bertanggung jawab langsung kepada direktur utama terkait tugas utamanya mengenai perencanaan alokasi anggaran belanja dan pendapatan perusahaan, administrasi, melaksanakan strategi dan kebijakan pemasaran produk, dan pengawasan terhadap arus keuangan perusahaan. Direktur ini akan membawahi beberapa bidang seperti keuangan dan pemasaran.

a. Kepala Bagian Keuangan

Memiliki tugas dan wewenang seperti mengelola keuangan perusahaan, membuat laporan keuangan, mengelola risiko keuangan, membuat perencanaan keuangan jangka pendek dan jangka panjang serta mempertahankan hubungan dengan investor. Dalam menjalankan tugasnya, kepala bagian keuangan akan dibantu oleh beberapa divisi yaitu divisi pembelian dan divisi penjualan.

b. Kepala Bagian Pemasaran

Bertanggungjawab atas pengembangan strategi pemasaran, mengelola anggaran pemasaran, mengelola pendistribusian produk dan monitor pasar.

6. Staff Ahli

Staf ahli berisikan tenaga ahli yang bertugas membantu direktur menjalankan tugas yang berkaitan dengan teknik, administrasi serta hukum. Staff ahli akan bertanggung jawab langsung kepada direktur bidangnya masing-masing. Tugas dari staf ahli diantaranya memberikan saran dan

masukannya terkait pengembangan dan perencanaan, melakukan evaluasi terhadap bidangnya dan memberikan saran hukum

4.4.4 Peraturan Jam Kerja Karyawan

Pabrik *Allyl Chloride* yang akan beroperasi 330 hari selama satu tahun 24 jam per hari. Waktu yang tersisa dalam setahun akan digunakan untuk keperluan perbaikan serta perawatan pabrik. Berdasarkan jam kerja karyawan di perusahaan ini dibedakan menjadi dua golongan yaitu :

1. Karyawan *non-shift*

Karyawan non shift merupakan karyawan yang melakukan aktivitas kerja selama 5 hari dalam seminggu dengan total waktu kerja selama 40 jam. Sedangkan pada hari sabtu, minggu dan hari-hari besar karyawan non-shift libur. Karyawan *non-shift* tidak menangani proses produksi atau aktivitas produksi secara langsung. Karyawan *non-shift* terdiri dari Direktur utama, Sekretaris, Direktur, Direktur, Kepala Bagian serta bawahan yang beraktivitas di area perkantoran. Untuk rincian lebih lanjut mengenai jam kerja karyawan *non-shift* terdapat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 4. 2 Jadwal Kerja Karyawan non-Shift

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
Senin-Kamis	07.00-16.00 WIB	12.00-13.00 WIB
Jumat	07.00-17.30 WIB	11.30-14.00

2. Karyawan *Shift*

Berbeda dengan karyawan *non-shift*, karyawan *shift* memiliki kegiatan dan jam kerja yang berbeda. Karyawan *shift* merupakan orang-orang menangani secara langsung proses produksi dan mengatur bagian tertentu dari perusahaan yang berkaitan dengan keamanan dan kelancaran produksi selama 24 jam. Karyawan *shift* terdiri atas operator, bagian teknik, bagian pergudangan serta bagian lainnya yang memerlukan kesiagaan dalam penanganan dan pengawasan untuk menjaga keselamatan dan keamanan

jalannya pabrik. Waktu kerja karyawan *shift* umumnya sama yaitu 8 jam namun akan dibagi menjadi beberapa giliran dalam kurun waktu 24 jam sehari. Jam kerja karyawan shift dalam sehari akan dibagi menjadi 3 *shift* yang telah dirincikan pada Tabel 3.3 berikut :

Tabel 4. 3 Jam Kerja Karyawan Shift

Hari	Jam Kerja	Jam Istirahat
<i>Shift</i> Pagi (P)	06.30-14.30 WIB	11.00-12.00 WIB
<i>Shift</i> Siang (S)	14.30-22.30 WIB	18.30-19.30 WIB
<i>Shift</i> Malam (M)	22.30-06.30 WIB	02.30-03.30 WIB

Karyawan *shift* akan dibagi menjadi 4 kelompok yaitu A, B, C dan D. Setiap kelompok akan dikepalai oleh satu orang. Setiap hari akan ada 3 kelompok saja yang bertugas dan 1 kelompok akan libur. Untuk kelompok yang mendapatkan *shift* kerja di hari libur maupun hari besar yang ditetapkan pemerintah tetap berkewajiban untuk masuk, namun kegiatan tersebut akan dihitung sebagai kerja lembur dan mendapatkan bayaran sesuai dengan jam lemburnya. Berikut ini adalah pembagian *shift* kerja untuk masing-masing kelompok selama 1 bulan.

Tabel 4. 4 Pembagian Shift Kerja Tiap Kelompok

Kelompok	Tanggal														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P
B	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L
C	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	S	S	S	L	S
D	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M
Kelompok	Tanggal														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M
B	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P

C	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L
D	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S

4.4.5 Jumlah Karyawan dan Sistem Gaji

Sistem pembagian gaji berdasarkan pada ketentuan jabatan atau golongan, tingkat Pendidikan, pengalaman kerja dan tingkat risiko pekerjaan yang dilakukan. Pada perusahaan ini terdapat tiga jenis pembagian gaji, yaitu :

a. Gaji Pokok

Gaji tersebut diberikan kepada karyawan tetap perusahaan dengan nominal yang sesuai dengan peraturan perusahaan serta akan dibayarkan pada tanggal 1 setiap bulannya. Berikut ini adalah nominal gaji karyawan untuk masing-masing jabatan:

Tabel 4. 5 Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
1	Direktur utama	1	20,000,000.00	20000000
2	Sekretaris direktur utama	1	7,000,000.00	7000000
3	Staff Direktur Utama	1	6,000,000.00	6000000
4	Direktur Operasi dan Proses	1	15,000,000.00	15000000
5	Staff Direktur Operasi dan Proses	1	6,000,000.00	6000000
6	Direktur Sumber Daya Manusia	1	15,000,000.00	15000000
7	Staff Direktur Sumber Daya Manusia	1	6,000,000.00	6000000
8	Direktur Administrasi dan Pemasaran	1	15,000,000.00	15000000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
9	Staff Direktur Administrasi dan Pemasaran	1	6,000,000.00	6000000
10	Kepala Bagian Proses Utilitas	1	10,000,000.00	10000000
11	Kepala Bagian Research and Development	1	10,000,000.00	10000000
12	Kepala Bagian Pemeliharaan Listrik dan Instrumentasi	1	10,000,000.00	10000000
13	Kepala Bagian Kesehatan dan Keselamatan	1	10,000,000.00	10000000
14	Kepala Bagian Keuangan	1	10,000,000.00	10000000
15	Kepala Bagian Pemasaran	1	10,000,000.00	10000000
16	Kepala Bagian HRD	1	10,000,000.00	10000000
17	Kepala Bagian Keamanan	1	10,000,000.00	10000000
18	Karyawan Produksi	25	6,500,000.00	162500000
19	Karyawan Control Room	10	6,500,000.00	65000000
20	Karyawan Quality Control	6	6,500,000.00	39000000
21	Karyawan Laboratorium	5	6,000,000.00	30000000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
22	Karyawan Penelitian dan Proses Teknologi	5	6,000,000.00	30000000
23	Karyawan Utilitas dan Pengolahan Limbah	6	6,000,000.00	36000000
24	Karyawan Perawatan Pabrik	8	6,500,000.00	52000000
25	Karyawan Instrumental Kelistrikan	6	6,500,000.00	39000000
26	Karyawan Kesehatan dan Keselamatan Kerja	5	6,000,000.00	30000000
27	Karyawan Keuangan	4	6,000,000.00	24000000
28	Karyawan Pembelian	4	6,000,000.00	24000000
29	Karyawan Penjualan	5	6,000,000.00	30000000
30	Karyawan Analisa Pasar dan Perancangan Pemasaran	4	6,000,000.00	24000000
31	Karyawan Pelayanan Umum	3	6,000,000.00	18000000
32	Karyawan Humas	3	6,000,000.00	18000000
33	Karyawan Transportasi	3	6,000,000.00	18000000
34	Karyawan Personalia	3	6,000,000.00	18000000
35	Karyawan Gudang	5	6,000,000.00	30000000
36	Karyawan Keamanan	8	6,500,000.00	52000000
37	Karyawan Pelatih Tenaga Kerja	3	6,000,000.00	18000000
38	Dokter	2	8,000,000.00	16000000
39	Perawat	2	5,500,000.00	11000000
40	Supir	3	5,500,000.00	16500000

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan (Rp)	Total Gaji (Rp)
41	Cleaning Service	5	5,060,000.00	25300000
		150		1,002,300,000. 00

b. Gaji Harian

Gaji harian akan diberikan kepada karyawan tidak tetap/buruh harian serta karyawan Borongan.

c. Gaji Lembur

Gaji harian akan diberikan kepada karyawan tidak tetap/buruh harian serta pokoknya. Gaji lembur akan diberikan minimal satu hari atau maksimal dua hari setelah kegiatan dilakukan. Penentuan nominal uang lembur didasarkan pada Peraturan Pemerintah No.35 Pasal 30 ayat 3 Tahun 2021 dengan ketentuan sebagai berikut:

- Jam pertama sampai dengan jam kedelapan dibayar sebesar dua kali upah sejam.
- Jam kesembilan dibayar sebesar tiga kali upah sejam
- Jam kesepuluh, kesebelas dan kedua belas dibayar sebesar empat kali upah sejam.

Perhitungan upah kerja lembur didasarkan pada gaji bulanan yang diperoleh. Gaji perbulan yang diperoleh akan dikali dengan 1/173 dimana angka tersebut diperoleh dari perkiraan jumlah jam kerja perminggu (40 Jam) dikali jumlah minggu dalam sebulan (4,33 minggu).

4.4.6 Fasilitas dan Hak Karyawan

Terdapat beberapa fasilitas dan hak karyawan yang wajib diberikan oleh perusahaan demi menunjang efektivitas kinerja karyawan antara lain:

1. Hak Cuti

a. Cuti Tahunan

Berdasarkan Undang-undang No. 6 Pasal 79 ayat 3 tahun 2023 tentang Cipta Kerja, seluruh karyawan mendapatkan hak cuti tahunan paling sedikit 12 hari kerja apabila yang bersangkutan telah bekerja selama 12 bulan secara terus menerus. Karyawan pabrik ini mendapatkan hak cuti tahunan sebanyak 15 hari setiap tahunnya. Jika yang bersangkutan tidak mengambil hak cuti tahunan maka hak tersebut akan hangus pada tahun itu dan tahun berikutnya akan mendapatkan kembali hak cuti tahunan yang sama.

b. Cuti Sakit dan Haid

Untuk karyawan/buruh perempuan berhak memperoleh istirahat selama 1,5 (satu setengah) bulan sebelum saatnya melahirkan anak dan 1,5 (satu setengah) bulan sesudah melahirkan menurut perhitungan dokter kandungan atau bidan. Sedangkan apabila mengalami keguguran kandungan berhak memperoleh istirahat 1,5 (satu setengah) bulan atau sesuai dengan surat keterangan dokter kandungan atau bidan. Karyawan/buruh perempuan yang dalam masa haid merasakan sakit dan memberitahukan kepada pengusaha, tidak wajib bekerja pada hari pertama dan kedua pada waktu haid.

2. Hari Libur Nasional

Bagi karyawan harian (*non-shift*), hari libur nasional termasuk dalam hari libur kerja. Sedangkan untuk karyawan *shift*, pada hari libur nasional tetap masuk kerja dengan catatan hari tersebut diperhitungkan sebagai hari kerja lembur (*overtime*) serta mendapatkan upah kerja lembur.

3. Kerja Lembur (*Overtime*)

Pemberian jam kerja lembur hanya dilakukan apabila terdapat keperluan yang mendesak harus segera diselesaikan serta mendapatkan persetujuan dari

kepala bagian yang bersangkutan. Berdasarkan Undang-undang No. 6 Pasal 78 ayat 1 b tahun 2023 tentang Cipta Kerja, waktu kerja lembur hanya dapat dilakukan paling lama 4 jam dalam 1 hari dan 18 jam dalam 1 minggu.

4. Pakaian Kerja

Demi menghindari terjadinya kesenjangan sosial antar karyawan, maka perusahaan memberikan dua pasang seragam kerja dan apabila terdapat kerusakan yang mengakibatkan seragam menjadi tidak layak pakai maka perusahaan akan menggantinya. Selain itu perusahaan juga menyediakan peralatan lain yang disediakan dalam lingkungan pabrik seperti masker, *safety helmet*, pelindung wajah, pakaian pelindung, kacamata pengaman, sarung tangan dan peralatan serta alat pelindung diri lainnya. Seluruh atribut yang disediakan di dalam lingkungan pabrik akan selalu dicek secara berkala dan akan diganti apabila sudah mengalami kerusakan yang berakibat tidak layak pakai.

5. Jamsostek

Selain menerima gaji pokok tiap bulannya, seluruh karyawan pabrik akan mendapatkan tunjangan yang bertujuan memberikan kesejahteraan kepada karyawan. Tunjangan tersebut diantaranya:

a. Tunjangan Kesehatan

Seluruh karyawan pabrik akan mendapatkan asuransi Kesehatan sesuai dengan Permenaker Nomor 5 Tahun 2021. Berdasarkan peraturan tersebut jaminan sosial yang diperoleh diantaranya:

- Jaminan Kecelakaan Kerja
- Jaminan Hari Tua
- Jaminan Kematian

Apabila ada karyawan yang mengalami kecelakaan ataupun sakit sehingga harus mendapatkan perawatan, maka perusahaan harus mengganti keseluruhan dari biaya perawatan.

b. Tunjangan Keluarga

Tunjangan tersebut akan diberikan kepada karyawan dengan rincian tunjangan suami/istri dan tunjangan anak (maksimal dua anak) dengan besaran 10% dan 2 % dari gaji pokok.

c. Fasilitas Penunjang Aktivitas Karyawan, diantaranya:

- Penyediaan tempat ibadah lengkap dengan sarana air serta listrik.
- Penyediaan fasilitas kantin
- Penyediaan fasilitas poliklinik yang akan ditangani oleh dokter dan perawat.
- Penyediaan sarana transportasi seperti motor, sepeda, dan bus untuk keperluan tertentu

BAB V

Utilitas

5.1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyedia Air

Unit ini bertugas untuk menyediakan air kebutuhan industri maupun rumah tangga dan berpengaruh dalam kelancaran produksi dari awal hingga akhir suatu proses. Untuk memenuhi kebutuhan air digunakan beberapa sumber seperti air sungai, air danau, air sumur, dan air laut. Pada pra rancangan pabrik *allyl chloride* ini, air yang digunakan berasal dari Sungai Citarum, Beberapa Pertimbangan penggunaan air sungai, diantaranya :

- a. Letak Sungai Citarum yang dekat dengan lokasi pabrik.
- b. Air sungai merupakan sumber air yang tersedia dalam jumlah yang besar sehingga dapat menghindari adanya kekurangan air
- c. Pengolahan air sungai relatif lebih murah, mudah, dan sederhana

Kebutuhan air yang digunakan pada pabrik *allyl chloride* digunakan untuk keperluan sebagai berikut :

1. Air Proses

Air proses merupakan air yang digunakan secara langsung dalam berbagai tahapan produksi di lingkungan pabrik dan memiliki peranan penting dalam menunjang kelancaran operasi proses. Oleh karena itu, air proses harus memenuhi standar kualitas tertentu, antara lain jernih, tidak berbau, tidak berasa, serta bebas dari kandungan zat organik dan anorganik yang dapat mengganggu proses maupun merusak peralatan. Kualitas air proses yang baik diperlukan untuk menjaga efisiensi produksi, keandalan peralatan, serta memastikan mutu produk yang dihasilkan tetap sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Tabel 5. 1 Jumlah Kebutuhan Air Proses

Alat Proses	Air yang dibutuhkan (kg/am)
Absorber	27041,09835
Total	27041,09835

2. Air Umpan *Boiler*

Air umpan *boiler* harus memenuhi persyaratan agar tidak terjadi kerusakan pada boiler, diantaranya adalah :

- Tidak mengandung zat yang menyebabkan korosi berupa kandungan asam dan gas terlarut seperti O₂, CO₂, H₂S, serta NH₃.
- Tidak mengandung zat yang dapat menyebabkan kerak. Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi seperti adanya garam-garam karbonat dan silika. Adanya kerak pada dinding *boiler* dapat menyebabkan isolasi terhadap panas sehingga akan menghambat proses perpindahan panas dan dapat menimbulkan kebocoran apabila kerak pecah.
- Tidak mengandung zat yang menyebabkan *foaming* seperti adanya *solid matter*, *suspended matter* dan tingkat basa yang tinggi. Air yang diambil 90% dari proses pemanasan bisa menyebabkan *foaming* pada *boiler* karena adanya zat-zat 90% yang tak larut dalam jumlah besar. Adanya busa dapat menyebabkan kesulitan dalam pembacaan ketinggian cairan dalam *boiler* dan dapat menyebabkan percikan air yang kuat serta dapat mengakibatkan penempelan padatan yang dapat menyebabkan terjadinya korosi jika terdapat pemanasan lebih lanjut.

Tabel 5. 2 Jumlah Kebutuhan Air Umpan Boiler

Alat Proses	Air yang dibutuhkan (kg/jam)
<i>Weste Heat Boiler</i>	1588,526
Total	1588,526

3. Air Pendingin

Penggunaan air sebagai media pendingin dikarenakan air mudah dalam pengolahan dan pengaturannya. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar dan dapat menyerap jumlah panas yang 91relative tinggi persatuan volume. Pengolahan air pendingin harus memenuhi beberapa syarat berupa kandungan yang tidak diperbolehkan sebagai berikut :

- Besi dan oksigen terlarut dapat menyebabkan korosi
- Silika dapat menyebabkan kerak
- Minyak dapat menyebabkan gangguan pada *film corrosion inhibitor*, penurunan *heat exchanger coefficient* dan menimbulkan endapan karena minyak dapat menjadi makanan bagi mikroba.

Tabel 5. 3 Jumlah Kebutuhan Air Pendingin

Alat Proses	Air yang dibutuhkan (kg/Jam)
<i>Condensor Parsial</i>	43481,32922
<i>Condensor</i>	48205,78668
<i>Cooler-01</i>	6004,533176
<i>Cooler-02</i>	4184,904358
Total	101876,5534

4. Air Sanitasi

Air sanitasi merupakan air yang digunakan untuk keperluan sanitasi seperti perumahan dan perkantoran. Air sanitasi ini harus memenuhi kualitas sebagai berikut :

a) Syarat Fisika

- Memiliki suhu dibawah suhu udara
- Berwarna Jernih
- Tidak berasa, Tidak berbau

b) Syarat Kimia

- Memiliki pH netral dengan rentang 6,5-7,5

- Tidak mengandung zat organik dan anorganik yang dapat larut dalam air
- Tidak mengandung logam berat yang berbahaya seperti air raksa (Hg) dan timbal (Pb).

c) Syarat Bakteriologis

- Tidak mengandung bakteri *pathogen*
- Tidak mengandung mikroba dan penghasil toksin.

Berikut ini merupakan rincian kebutuhan air sanitasi pada pabrik allyl chloride.

- Kebutuhan Air Karyawan
 Jumlah karyawan : 150 orang
 Kebutuhan per orang : 150 liter/hari
 Total kebutuhan : 22500 liter/hari
 : 937,5 kg/jam
- Air untuk perumahan karyawan
 Jumlah rumah : 5 (dilingkungan pabrik)
 Jumlah orang per rumah : 6 orang
 Kebutuhan per rumah : 300 liter/hari
 Total Kebutuhan : 9000 liter/hari
 : 375 kg/jam

Tabel 5. 4 Jumlah Kebutuhan Air Sanitasi

No	Jenis Kebutuhan	Kebutuhan air (Kg/Jam)
1	Kebutuhan Air Karyawan	937,5
2	Air untuk perumahan karyawan	375
	Total	1312,5

Total Jumlah kebutuhan air yang akan diolah di unit pengolahan air tercantum pada Tabel berikut :

Tabel 5. 5 Jumlah Kebutuhan Air

Alat Proses	Air yang dibutuhkan (Kg/Jam)
Air Proses	27041,09835
Air Umpan <i>Boiler</i>	1588,526
Air Pendingin	101876,5534
Air Sanitasi	1312,5
Total	131818,678

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Kebutuhan air untuk prarancangan pabrik *allyl chloride* diambil dari air sungai Citarum yang jaraknya dekat dengan barik. Air sungai tidak dapat langsung digunakan, memerlukan beberapa pengolahan untuk mendapatkan spesifikasi air yang diinginkan. Proses pengolahan air merupakan serangkaian proses yang dilakukan untuk mengubah air yang sebelumnya tercemar atau kotor menjadi bersih, aman, dan layak untuk digunakan maupun dikonsumsi. Beberapa tahapan dalam proses pengolahan air, antara lain :

1. Bak Pengendap Awal

Bak pengendap awal berfungsi sebagai unit pengolahan pendahuluan yang digunakan untuk menampung air baku yang berasal dari sumber utama sebelum memasuki tahapan pengolahan selanjutnya. Pada unit ini berlangsung proses pengendapan awal yang bertujuan untuk mengurangi kandungan kotoran dalam air dengan memanfaatkan pengaruh gaya gravitasi. Melalui mekanisme tersebut, partikel-partikel pengotor yang memiliki massa jenis lebih besar dibandingkan air akan bergerak ke bawah dan mengendap di dasar bak. Jenis pengotor yang umumnya terpisahkan

pada tahap ini meliputi pasir, lumpur, kerikil, batuan berukuran kecil, serta partikel organik kasar yang belum tereliminasi pada proses sebelumnya. Keberadaan bak pengendap awal sangat penting karena mampu menurunkan beban pencemar pada unit pengolahan berikutnya, sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses pengolahan air secara keseluruhan serta mengurangi risiko penyumbatan maupun kerusakan pada peralatan pengolahan lanjutan.

2. Bak Pencampur Cepat

Bak pencampur cepat berfungsi sebagai unit pengolahan yang digunakan untuk mencampurkan bahan kimia ke dalam air baku secara cepat dan merata. Pada unit ini, proses pencampuran dilakukan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat agar bahan kimia yang ditambahkan dapat terdispersi secara homogen di seluruh volume air. Salah satu bahan kimia utama yang ditambahkan pada tahap ini adalah koagulan, yang berperan dalam menetralkan muatan partikel-partikel halus tersuspensi sehingga memungkinkan terjadinya proses penggumpalan partikel. Koagulan yang umum digunakan dalam pengolahan air adalah aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), yang efektif dalam membentuk flok awal dari partikel koloid. Selain koagulan, bahan kimia lain seperti kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) juga dapat ditambahkan untuk mengendalikan tingkat kesadahan air. Penambahan bahan-bahan tersebut bertujuan untuk mengendapkan ion-ion kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}) yang terdapat dalam air baku melalui reaksi kimia tertentu, sehingga kadar kesadahan dapat diturunkan. Dengan berkurangnya kesadahan, kualitas air menjadi lebih baik dan lebih sesuai untuk diproses pada unit pengolahan selanjutnya, serta dapat mencegah terbentuknya endapan pada peralatan dan jaringan distribusi.

3. *Clarifier*

Pada unit *clarifier* berlangsung proses flokulasi, yaitu suatu tahapan pengolahan air di mana partikel-partikel halus tersuspensi yang sulit mengendap secara alami mengalami proses penggabungan membentuk flok yang berukuran lebih besar dan memiliki berat jenis lebih tinggi. Pembentukan flok tersebut menyebabkan partikel menjadi lebih mudah mengendap ke dasar tangki akibat pengaruh gaya gravitasi.

Proses flokulasi diawali dengan masuknya air baku ke dalam tangki pencampur, di mana air tersebut mengalami pengadukan secara cepat menggunakan agitator untuk menciptakan kondisi pencampuran yang homogen. Pada saat pengadukan berlangsung, bahan kimia tertentu ditambahkan ke dalam air untuk membantu mempercepat proses pembentukan flok dan meningkatkan efektivitas penggabungan partikel-partikel koloid. Flok-flok yang telah terbentuk selanjutnya akan bergerak menuju bagian dasar *clarifier* dan terakumulasi sebagai endapan lumpur. Sementara itu, air yang telah mengalami penurunan kekeruhan dan menjadi lebih jernih akan mengalir keluar dari unit *clarifier* melalui bagian samping atau atas tangki secara limpasan (*overflow*). Endapan lumpur yang terkumpul di dasar tangki kemudian dikeluarkan secara berkala sesuai dengan jadwal operasi yang telah ditetapkan, guna menjaga kinerja *clarifier* tetap optimal serta mencegah terjadinya penurunan efisiensi akibat penumpukan endapan.

4. *Sand Filter*

Air hasil olahan yang keluar dari unit *clarifier* selanjutnya dialirkan menuju sand filter untuk menjalani proses penyaringan lanjutan terhadap partikel-partikel pengotor yang masih tersisa dari tahap pengolahan sebelumnya. Sand filter berfungsi sebagai media filtrasi yang efektif dalam menahan partikel tersuspensi halus, sehingga mampu menurunkan tingkat kekeruhan air secara signifikan. Melalui proses penyaringan ini, kualitas air yang dihasilkan menjadi lebih jernih dan diharapkan dapat memenuhi standar mutu air yang dipersyaratkan, baik untuk keperluan konsumsi

maupun untuk kebutuhan industri. Air yang telah melalui proses filtrasi kemudian dialirkan ke bak penampungan air bersih sebelum didistribusikan lebih lanjut ke menara air serta menuju unit demineralisasi untuk proses pengolahan lanjutan. Seiring dengan waktu operasi, kemampuan sand filter dalam menyaring partikel pengotor akan mengalami penurunan akibat terjadinya akumulasi endapan pada media filter. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pemeliharaan secara berkala berupa proses pencucian balik (*backwashing*) untuk membersihkan media filter dari partikel-partikel yang terperangkap, sehingga kinerja sand filter dapat tetap optimal dan beroperasi sesuai dengan kondisi yang diharapkan.

5. *Cooling tower*

Cooling tower merupakan salah satu peralatan utilitas yang berfungsi untuk menurunkan suhu air panas hasil proses produksi dengan memanfaatkan udara sebagai media pendingin. Proses pendinginan pada *cooling tower* terjadi terutama melalui mekanisme penguapan sebagian air ketika air panas tersebut berkontak langsung dengan aliran udara.

Pada saat proses penguapan berlangsung, sebagian kecil air akan berubah fase menjadi uap dan terlepas ke atmosfer, sehingga menyebabkan penurunan suhu air yang tersisa. Kehilangan volume air akibat penguapan ini kemudian diimbangi dengan penambahan air *make-up* dalam jumlah yang sesuai untuk menjaga keseimbangan massa serta memastikan kestabilan laju perpindahan panas antara air dan udara. Selain itu, dalam sistem *cooling tower* diperlukan penambahan bahan kimia tertentu untuk menjaga kualitas air pendingin agar tetap berada dalam kondisi yang baik selama operasi. Penambahan bahan kimia tersebut bertujuan untuk mencegah terjadinya korosi pada peralatan, mengurangi pembentukan kerak akibat pengendapan mineral, serta menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menyebabkan terbentuknya lumut atau biofouling. Dengan pengendalian kualitas air pendingin yang baik, kinerja *cooling tower* dapat dipertahankan secara optimal dan umur peralatan dapat diperpanjang.

6. Demineralisasi

Air yang digunakan sebagai air umpan boiler harus memenuhi persyaratan kualitas yang ketat, terutama terkait dengan tingkat kemurnian yang tinggi serta minimnya kandungan zat terlarut, khususnya garam-garam mineral. Keberadaan ion-ion terlarut dalam air umpan *boiler* dapat menyebabkan berbagai permasalahan operasional, seperti pembentukan kerak, korosi pada pipa dan peralatan, serta penurunan efisiensi perpindahan panas.

Oleh karena itu, diperlukan suatu tahapan pengolahan lanjutan berupa proses demineralisasi. Proses demineralisasi merupakan metode pengolahan air yang bertujuan untuk menghilangkan zat-zat terlarut, termasuk ion-ion mineral dan garam, dari air baku dengan memanfaatkan media penukar ion.

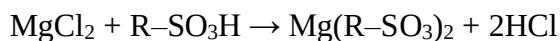
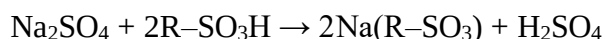
Melalui mekanisme pertukaran ion, kation dan anion yang terdapat dalam air akan ditukar dengan ion lain yang tidak menimbulkan dampak negatif terhadap sistem *boiler*, sehingga dihasilkan air dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Dengan diterapkannya proses demineralisasi ini, kualitas air umpan boiler dapat terjaga sesuai dengan standar operasional yang ditetapkan, sehingga kinerja boiler menjadi lebih optimal dan umur peralatan dapat diperpanjang. Berikut tahapan-tahapan dalam proses pengolahan air untuk umpan *boiler*, diantaranya :

a. *Cation Exchanger*

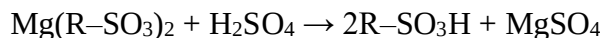
Cation exchanger merupakan salah satu unit dalam sistem demineralisasi air yang berisi resin penukar ion, yang berfungsi untuk menghilangkan ion-ion bermuatan positif (kation) yang terlarut dalam air. Resin yang digunakan pada unit ini umumnya berada dalam bentuk hidrogen (H^+), sehingga memungkinkan terjadinya proses pertukaran ion antara kation yang terdapat dalam air dengan ion H^+ yang terikat pada resin. Kation-kation yang umum dijumpai dalam air, seperti kalsium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), dan natrium (Na^+), akan ditahan oleh resin, sementara ion hidrogen dilepaskan ke dalam larutan.

Akibat proses ini, air yang keluar dari *cation exchanger* tidak lagi mengandung kation mineral, namun masih mengandung anion serta ion

H⁺ yang belum mengalami pemisahan lebih lanjut. Reaksi kimia yang terjadi pada pertukaran ion dalam *cation exchanger* adalah sebagai berikut :



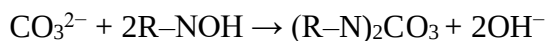
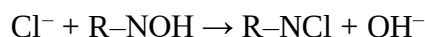
Proses pertukaran ion yang terjadi di dalam *cation exchanger* berlangsung melalui reaksi kimia antara senyawa-senyawa terlarut dalam air dengan gugus aktif resin. Reaksi-reaksi tersebut menggambarkan bagaimana kation digantikan oleh ion hidrogen dari resin penukar ion. Dengan berlangsungnya proses ini, kandungan kesadahan dan kation lain dalam air dapat dikurangi secara signifikan, sehingga kualitas air menjadi lebih baik untuk digunakan sebagai air umpan boiler atau untuk proses lanjutan. Namun demikian, kemampuan resin dalam menyerap kation akan menurun seiring waktu akibat terjadinya kejenuhan, yaitu kondisi ketika sebagian besar gugus aktif resin telah terikat oleh kation. Oleh karena itu, diperlukan proses regenerasi resin agar kemampuan penukar ion dapat dikembalikan. Regenerasi dilakukan dengan mengalirkan larutan asam, seperti asam sulfat, ke dalam unit *cation exchanger*. Proses ini bertujuan untuk melepaskan kembali kation yang terikat pada resin dan mengembalikan resin ke bentuk ion hidrogen, sehingga unit dapat beroperasi kembali secara optimal. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



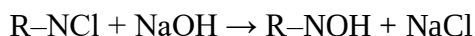
b. *Anion Exchanger*

Anion exchanger merupakan salah satu unit dalam sistem demineralisasi air yang mengandung resin penukar ion, yang berfungsi untuk menghilangkan ion-ion bermuatan negatif (anion) yang terlarut di dalam air. Resin pada unit ini umumnya berada dalam bentuk hidroksida (OH⁻), sehingga memungkinkan terjadinya proses pertukaran ion antara

anion yang terdapat dalam air dengan ion OH^- yang terikat pada resin. Anion-anion yang umum dijumpai dalam air, seperti karbonat (CO_3^{2-}), klorida (Cl^-), dan sulfat (SO_4^{2-}), akan ditahan oleh resin, sementara ion hidroksida dilepaskan ke dalam larutan. Proses ini menyebabkan air yang keluar dari anion exchanger menjadi bebas dari anion mineral terlarut dan mengandung ion OH^- hasil pertukaran. Reaksi yang terjadi pada penukaran ion dalam *anion exchanger* adalah sebagai berikut :



Mekanisme pertukaran ion dalam anion exchanger berlangsung melalui reaksi kimia antara anion terlarut dengan gugus aktif pada resin. Reaksi-reaksi tersebut menggambarkan proses penyerapan anion oleh resin penukar ion dan pelepasan ion hidroksida ke dalam air. Dengan berjalannya proses ini, kandungan garam terlarut dalam air dapat dikurangi secara signifikan, sehingga dihasilkan air dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi dan sesuai untuk digunakan sebagai air umpan boiler. Namun demikian, seiring dengan waktu operasi, kemampuan resin dalam menyerap anion akan mengalami penurunan akibat terjadinya kejenuhan, yaitu kondisi ketika sebagian besar gugus aktif resin telah terikat oleh anion. Untuk mengembalikan kapasitas penukar ion, diperlukan proses regenerasi resin menggunakan larutan basa, seperti natrium hidroksida. Proses regenerasi ini bertujuan untuk melepaskan anion yang terikat pada resin dan mengembalikan resin ke bentuk hidroksida, sehingga unit anion exchanger dapat digunakan kembali secara optimal. Reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



c. Dearasi

Air umpan boiler yang telah melalui proses demineralisasi menggunakan unit penukar kation dan anion selanjutnya dialirkan menuju tahap deaerasi di dalam deaerator. Proses deaerasi bertujuan

untuk menghilangkan gas-gas terlarut yang masih terdapat dalam air, seperti oksigen (O_2), karbon dioksida (CO_2), dan hidrogen sulfida (H_2S). Keberadaan gas-gas tersebut dalam air umpan boiler harus diminimalkan karena dapat menimbulkan berbagai permasalahan operasional, terutama terjadinya korosi pada pipa, drum boiler, serta peralatan pendukung lainnya. Air hasil demineralisasi dipompa ke dalam deaerator, di mana dilakukan pemanasan dan kontak dengan uap untuk membantu pelepasan gas-gas terlarut dari fase cair. Selain itu, ke dalam sistem deaerator juga dilakukan injeksi bahan kimia berupa hidrazin (N_2H_4) yang berfungsi sebagai oxygen scavenger, yaitu zat yang mampu mengikat sisa oksigen terlarut yang tidak sepenuhnya terlepas selama proses deaerasi. Pengikatan oksigen oleh hidrazin menghasilkan senyawa yang tidak bersifat korosif, sehingga dapat membantu mencegah terjadinya korosi pada sistem boiler. Setelah proses deaerasi selesai, air yang telah memenuhi persyaratan kualitas sebagai air umpan boiler kemudian dialirkan keluar dari deaerator menggunakan pompa dan selanjutnya disuplai ke boiler untuk mendukung proses pembangkitan uap secara optimal dan berkelanjutan.

5.1.3 Penyediaan *Dowtherm A*

Dowtherm A digunakan sebagai media pendingin di dalam pabrik karena mampu beroperasi secara efektif pada kondisi suhu tinggi yang umumnya terjadi pada unit reaktor. Pada proses produksi, reaktor sering bekerja pada temperatur yang cukup tinggi akibat berlangsungnya reaksi kimia, sehingga diperlukan media pendingin yang memiliki stabilitas termal baik dan tidak mudah terdegradasi. *Dowtherm A* dipilih karena memiliki titik didih yang tinggi, tekanan uap rendah, serta kemampuan perpindahan panas yang baik, sehingga mampu menyerap dan mengendalikan panas reaksi secara optimal. Penggunaan *Dowtherm A* sebagai media pendingin bertujuan untuk menjaga kestabilan suhu operasi reaktor, meningkatkan keselamatan proses, serta mencegah terjadinya

penurunan kinerja peralatan akibat suhu yang berlebihan. Kebutuhan pendingin untuk peralatan pada pabrik ini terlampir berikut:

Tabel 5. 6 Kebutuhan Dowtherm A

Alat Proses	Air yang dibutuhkan (kg/jam)
<i>Reaktor</i>	10350,525
Total	10350,525

5.1.4 Penyediaan Steam

Dalam sistem utilitas pabrik, air dan uap (steam) memegang peranan penting sebagai media pemanas yang menunjang keberlangsungan proses produksi. Uap dihasilkan dari air umpan boiler yang telah melalui tahapan pengolahan untuk memenuhi standar kualitas tertentu. Kualitas air umpan boiler harus dikendalikan secara ketat guna mencegah terjadinya korosi, pembentukan kerak (scaling), serta gangguan operasional lainnya pada sistem boiler dan peralatan perpindahan panas. Air pemanas yang berkualitas baik memungkinkan proses pembangkitan uap berjalan secara efisien dan aman. Uap yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan dalam berbagai proses industri, antara lain untuk pemanasan bahan baku, proses pemurnian, pembangkitan energi, serta sebagai media penghantaran panas pada unit-unit proses, sehingga berkontribusi secara signifikan terhadap efisiensi dan keandalan operasi pabrik secara keseluruhan. Kebutuhan air steam untuk keseluruhan proses disajikan secara rinci dalam table berikut :

Tabel 5. 7 Kebutuhan Air Steam

Alat Proses	Air yang dibutuhkan (kg/jam)
<i>Heat Exchanger 1 (HE-01)</i>	853,3181135
<i>Heat Exchanger 2 (HE-02)</i>	86,4749728
<i>Reboiler 1 (R-01)</i>	614,7817706
Total	1554,575

5.1.5 Total Kebutuhan Air

a. Air Untuk kantor dan Perumahan

Air untuk kebutuhan kantor dan perumahan merupakan bagian dari sistem utilitas pabrik yang digunakan untuk menunjang aktivitas non-produksi, seperti kebutuhan domestik dan operasional administrasi. Di lingkungan pabrik direncanakan terdapat lima unit rumah dinas, dengan jumlah penghuni masing-masing rumah sebanyak enam orang. Kebutuhan air untuk perumahan ditetapkan sebesar 300 liter per orang per hari, sesuai dengan standar kebutuhan air domestik. Dengan demikian, total kebutuhan air untuk perumahan dapat dihitung sebesar $5 \text{ rumah} \times 6 \text{ orang} \times 300 \text{ liter/orang}\cdot\text{hari}$, sehingga diperoleh kebutuhan air sebesar 9.000 liter per hari. Apabila dikonversikan ke dalam satuan laju alir massa dengan asumsi rapat massa air sebesar 1 kg/jam dan waktu operasi 24 jam per hari, maka kebutuhan air untuk perumahan adalah sebesar 375 kg/jam.

Selain untuk perumahan, air juga dibutuhkan untuk keperluan perkantoran yang digunakan oleh tenaga kerja pabrik. Jumlah pekerja yang direncanakan sebanyak 150 orang, dengan kebutuhan air sebesar 150 liter per orang per hari. Berdasarkan perhitungan tersebut, total kebutuhan air untuk perkantoran adalah $150 \text{ orang} \times 150 \text{ liter/orang}\cdot\text{hari}$, sehingga diperoleh kebutuhan air sebesar 22.500 liter per hari. Dengan asumsi rapat massa air sebesar 1 kg/jam dan dikonversikan ke satuan jam, maka kebutuhan air untuk perkantoran adalah sebesar 937,5 kg/jam. Penyediaan air untuk perumahan

dan perkantoran ini dirancang untuk menjamin kenyamanan, kesehatan, serta kelancaran aktivitas penghuni dan pekerja di lingkungan pabrik.

b. Air untuk layanan umum dan hidran

Air pada lingkungan pabrik dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan operasional serta berfungsi sebagai sarana pendukung dalam sistem penanggulangan keadaan darurat, khususnya untuk pencegahan dan penanganan kebakaran di area pabrik. Selain itu, air yang digunakan untuk keperluan perumahan dan perkantoran bersifat sekali pakai, sehingga setelah digunakan tidak didaur ulang, melainkan langsung dialirkan ke unit pengolahan limbah untuk diproses lebih lanjut sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Berdasarkan perancangan sistem utilitas, jumlah kebutuhan air yang dialokasikan untuk layanan umum serta sistem hidran pada lingkungan pabrik anilin ditetapkan sebesar 1.468,75 kg/jam, guna memastikan ketersediaan air yang mencukupi bagi operasional pabrik sekaligus menjamin aspek keselamatan dan perlindungan terhadap risiko kebakaran.

5.1.6 Air untuk media pendingin

Sistem pendingin pada pabrik allyl chloride dirancang menggunakan menara pendingin tertutup (closed cooling tower) yang berfungsi untuk menurunkan temperatur air pendingin setelah digunakan dalam proses. Air pendingin yang keluar dari unit proses memiliki suhu maksimum sekitar 50 °C, kemudian dialirkan ke dalam menara pendingin untuk mengalami proses pendinginan melalui kontak langsung dengan aliran udara di dalam menara. Pada proses ini terjadi perpindahan panas dari air ke udara serta perpindahan massa akibat penguapan sebagian air pendingin. Setelah melalui proses pendinginan di dalam menara, temperatur air pendingin turun hingga sekitar 30 °C sehingga dapat digunakan kembali dalam sistem pendinginan. Namun, proses penguapan yang terjadi selama pendinginan menyebabkan berkurangnya massa air pendingin. Oleh karena itu, diperlukan penambahan air makeup untuk menggantikan kehilangan air tersebut. Berdasarkan acuan Process Equipment Handbook Volume III oleh Evan, kebutuhan air makeup untuk sistem pendingin

diperkirakan sebesar 12,5% dari total massa air pendingin yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah air makeup yang diperlukan pada sistem pendingin pabrik allyl chloride adalah sebesar 13.176,64 kg/jam, guna menjamin kontinuitas dan efisiensi operasi sistem pendinginan.

5.1.7 Air untuk umpan boiler

Air berperan sebagai umpan utama pada sistem boiler untuk menghasilkan uap yang digunakan dalam berbagai kebutuhan proses industri. Dalam pengoperasian boiler, sebagian besar air dan uap akan mengalami proses sirkulasi ulang di dalam sistem. Namun demikian, sebagian uap perlu dikeluarkan dari sistem, yaitu sekitar 10%, sebagai upaya untuk mencegah terjadinya pembentukan kerak dan penumpukan zat terlarut di dalam boiler yang dapat menurunkan efisiensi perpindahan panas serta mempercepat kerusakan peralatan. Akibat adanya kehilangan uap tersebut, diperlukan penambahan air makeup untuk menggantikan air yang hilang agar keseimbangan massa dan kontinuitas operasi boiler tetap terjaga. Berdasarkan hasil perhitungan perancangan, massa air makeup yang dibutuhkan untuk sistem boiler adalah sebesar 158,8525 kg/jam.

5.2 Unit Pembangkit Steam

Unit pembangkit steam merupakan bagian penting dalam sistem utilitas pabrik yang berfungsi menyediakan uap untuk memenuhi berbagai kebutuhan pada proses industri. Uap dihasilkan melalui ketel uap (boiler), di mana air umpan dipanaskan menggunakan sumber panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar hingga suhunya meningkat secara bertahap dan mencapai titik didih sehingga mengalami perubahan fase menjadi uap. Steam yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan sebagai media pemanas pada berbagai peralatan proses, seperti heat exchanger dan reboiler, guna menjaga kondisi operasi agar tetap sesuai dengan kebutuhan proses produksi. Pada pabrik allyl chloride, jenis uap yang digunakan adalah saturated steam dengan suhu operasi sebesar 407,76°C, karena mampu memberikan perpindahan panas yang efektif dan stabil serta sesuai untuk menunjang efisiensi dan keandalan sistem pemanasan dalam proses produksi. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh steam yang dihasilkan sebesar 33,951.131 kg/jam.

5.3 Unit Pembangkit Listrik

Unit pembangkit listrik merupakan salah satu bagian penting dalam sistem utilitas pabrik yang berfungsi menyediakan energi listrik untuk menunjang seluruh aktivitas operasional. Energi listrik digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan industri, sistem utilitas, serta fasilitas penunjang lainnya, seperti sistem penerangan dan peralatan pendukung proses produksi. Pada pabrik *allyl chloride*, penyediaan tenaga listrik berasal dari dua sumber utama, yaitu pasokan listrik dari PT Perusahaan Listrik Negara (PT PLN) sebagai sumber listrik utama dan generator sebagai sumber listrik cadangan. Generator yang digunakan berupa generator diesel dengan keluaran arus bolak-balik dan kapasitas daya sebesar 7711,409 kW, dengan bahan bakar solar. Generator diesel ini berfungsi sebagai sumber listrik alternatif yang akan beroperasi ketika terjadi gangguan atau pemadaman pada pasokan listrik dari PLN. Keberadaan generator cadangan sangat penting untuk menjaga kontinuitas operasi pabrik, mencegah terjadinya gangguan proses, serta memastikan bahwa kegiatan produksi dapat tetap berjalan secara aman dan stabil meskipun terjadi gangguan pada sumber listrik utama. Kebutuhan listrik untuk berbagai unit didalam pabrik disajikan secara rinci dalam table berikut :

Tabel 5. 8 Kebutuhan Listrik

No	Alat	hp	kW
1	Pompa P01	2	1,491
2	Pompa P02	2	1,491
3	Pompa P03	10	7,457
4	Pompa P04	15	11,186
5	Pompa P05	3	2,237
6	Pompa P06	2	1,491
7	Pompa P07	125	93,214
8	Pompa P08	5	3,729
9	PompaPU01	15	11,186
10	PompaPU02	20	14,914

No	Alat	hp	kW
11	PompaPU03	1	0,746
12	PompaPU04	1	0,746
13	PompaPU05	15	11,186
14	PompaPU06	20	14,914
15	PompaPU07	15	11,186
16	Kompresor K-01	0,5	0,373
17	Pengaduk CT (Fan)	30	22,371
18	Pengaduk BPC	0,5	0,373
19	Pengaduk Clarifier (Rake)	1,5	1,119
Total		284	211,409

Kebutuhan listrik alat control, kantor, penerangan dan bengkel dirancang sebesar 7.500 kW. Maka diperoleh daya total sebesar 7711,409 kW.

5.4 Unit Penyedia Udara Tekan

Unit Penyediaan Udara Tekan merupakan bagian dari sistem utilitas pabrik yang berfungsi menyediakan udara tekan untuk memenuhi kebutuhan peralatan yang bekerja berdasarkan prinsip pneumatik, khususnya peralatan instrumentasi dan sistem kontrol. Udara tekan digunakan sebagai sumber energi untuk mengoperasikan valve pneumatik, aktuator, serta berbagai alat kontrol lainnya yang berperan penting dalam pengendalian proses. Pada unit ini, udara lingkungan terlebih dahulu dikompresi oleh kompresor hingga mencapai tekanan operasi yang ditetapkan, kemudian dialirkan melalui rangkaian peralatan pengkondisian udara. Proses pengkondisian tersebut bertujuan untuk menurunkan kandungan kondensat dan kelembaban di dalam udara tekan melalui pemisahan air dan pengeringan, sehingga kualitas udara yang masuk ke unit instrumen memenuhi persyaratan operasional dan tidak menimbulkan gangguan seperti korosi atau kerusakan peralatan. Berdasarkan hasil perancangan, kebutuhan udara tekan pada pabrik diperkirakan sebesar 2 m³/jam dengan tekanan operasi sebesar 4 bar, yang dinilai cukup untuk menunjang kinerja peralatan pneumatik dan sistem kontrol secara andal dan berkelanjutan.

5.5 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit penyedia bahan bakar merupakan bagian dari sistem utilitas pabrik yang berfungsi untuk menjamin ketersediaan energi panas dan energi listrik yang dibutuhkan selama proses operasi berlangsung. Bahan bakar yang disuplai oleh unit ini digunakan terutama untuk menunjang proses pembakaran pada boiler dalam rangka menghasilkan uap, serta untuk mengoperasikan generator sebagai sumber tenaga listrik cadangan apabila terjadi gangguan pada pasokan listrik utama. Pada pabrik allyl chloride, boiler dirancang menggunakan bahan bakar berupa fuel oil dengan kebutuhan konsumsi sebesar 2,369849741 liter/jam. Selain itu, generator diesel yang berkapasitas 8.000 kW menggunakan bahan bakar solar dengan total kebutuhan tahunan sebesar 262.187,628 liter/tahun. Penyediaan bahan bakar yang memadai dan berkelanjutan sangat penting untuk menjaga kontinuitas operasi pabrik, meningkatkan keandalan sistem utilitas, serta memastikan proses produksi tetap berjalan secara aman dan efisien.

5.6 Unit Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah merupakan salah satu bagian penting dalam sistem utilitas pabrik yang berfungsi untuk mengolah seluruh limbah yang dihasilkan selama proses produksi agar memenuhi persyaratan keselamatan dan kelestarian lingkungan sebelum dibuang ke lingkungan sekitar. Pada pabrik allyl chloride, jenis limbah yang dihasilkan meliputi limbah cair dan limbah padat, sehingga diperlukan sistem pengelolaan limbah yang terintegrasi dan efektif untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Limbah-limbah tersebut harus ditangani secara tepat sesuai dengan karakteristiknya agar dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan. Pengolahan limbah cair diawali dengan proses penyaringan (screening) yang bertujuan untuk memisahkan padatan berukuran besar yang terbawa dalam aliran limbah. Selanjutnya, limbah cair dialirkan ke unit koagulasi dan flokulasi untuk menghilangkan partikel-partikel halus yang tersuspensi, sehingga kejernihan air dapat ditingkatkan. Setelah melalui tahap tersebut, limbah cair diproses lebih lanjut dalam tangki aerasi, di mana senyawa-senyawa organik diuraikan oleh mikroorganisme melalui proses biologis. Limbah cair yang telah melewati seluruh rangkaian pengolahan kemudian dilakukan pengujian kualitas terlebih dahulu guna memastikan bahwa parameter mutu

air telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan sebelum dimanfaatkan kembali untuk keperluan tertentu atau dibuang ke lingkungan.

Sementara itu, limbah padat yang dihasilkan dari kegiatan utilitas masih mengandung lumpur dengan kadar air yang cukup tinggi. Oleh karena itu, limbah padat tersebut dikumpulkan dan mengalami proses pengeringan untuk menurunkan kadar air dan meningkatkan stabilitasnya. Proses ini dilakukan agar limbah padat memenuhi standar lingkungan yang berlaku sebelum dilakukan pembuangan akhir. Dengan adanya unit pengolahan limbah yang dirancang secara baik, operasional pabrik allyl chloride diharapkan dapat berjalan secara berkelanjutan serta sesuai dengan prinsip industri ramah lingkungan.

5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

Tabel 5. 9 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
Fungsi	Memompa air sungai sebanyak 20765,32 kg/jam ke bak pengendap awal.	Memompa air sebanyak 19776,49 kg/jam dari pengendap awal ke bak klarifikasi	Memompa air sebanyak 18834,75 kg/jam dari bak klarifikasi ke saringan pasir	Memompa air sebanyak 17366,00728 kg/jam dari saringan pasir ke bak air bersih
Jumlah	1	1	1	1
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Bahan	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
Kapasitas	0,00579 m ³ /s	0,00552 m ³ /s	0,00523 m ³ /s	0,00482 m ³ /s
Efisiensi Pompa	85 %	78%	70%	70%
Daya Motor (hp)	15	20	1	1

Kode Alat	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04
IPS	5	6	6	6
<i>Schedule Number</i>	20	40	40	40
OD (in)	0,143 m	0,1689 m	0,1682 m	0,1682 m
ID (in)	0,1286 m	0,1540 m	0,1540 m	0,1540 m

Lanjutan Tabel Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode Alat	PU-05	PU-06	PU-07
Fungsi	Memompa air sebanyak 1736,00728 kg/jam dari bak air bersih ke bak air minum, tangki umpan boiler dan cooling tower	Memompa air sebanyak 105413,0804 kg/jam dari pengendap awal ke bak klarifikasi	Memompa air sebanyak kg/jam dari umpan boiler ke WHB
Jumlah	1	1	1
Tipe	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal	Pompa sentrifugal
Bahan	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>	<i>Carbon steel</i>
Kapasitas	0,00484 m ³ /s	0,02942 m ³ /s	0,00001037 m ³ /s
Efisiensi Pompa	80%	80%	70%
Daya Motor (hp)	15	20	15
IPS	8	10	2,5
<i>Schedule Number</i>	40	40	40
OD (in)	0,1682 m	0,2730 m	0,1143 m
ID (in)	0,1540 m	0,2545 m	0,1022 m

Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Utilitas

Kode Alat	BPA (Bak Pengendap Awal)	BPC (Bak Pencampur Cepat)	Clarifier
Fungsi	Mengendapkan kotoran kasar yang terbawa oleh air Sungai	Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurang kesadahan	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran koloid yang terbawa oleh air
Jumlah	1	1	1
Tipe	Bak persegi panjang	Bak silinder tegak dilengkapi pengaduk	Bak silinder tegak dengan bentuk kerucut
Bahan	Beton bertulang	Baja karbon	Baja karbon
Volume	601, 0464 m ³	0,3975 m ³	119,2552 m ³
Panjang	21,2316 m		
Lebar	7,08 m		
Tinggi		1 m	5,4943 m
Diameter		1 m	10,9887 m

Lanjutan Tabel Spesifikasi Bak Utilitas

Kode Alat	BAB (Bak Air Bersih)	BAM (Bak Air Minum)
Fungsi	Menampung air bersih untuk kantor pelayanan dan rumah tangga	Menampung air bersih untuk kantor pelayanan dan rumah tangga
Jumlah	1	1
Tipe	Bak persegi panjang	Bak persegi panjang

Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang
Volume	167,5514 m ³	74,1708 m ³
Panjang	11,2099	7,4584 m
Lebar	3,74 m	2,49 m

Tabel 5.11 Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode Alat	TK (Tangki Penukar Kation)	TA (Tangki Penukar Anion)	TNaCl
Fungsi	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air	Menghilangkan mineral yang masih terkandung dalam air	Melarutkan NaCl untuk regenerasi penukar kation
Jumlah	2	2	1
Tipe	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak	Tangki silinder tegak
Bahan	Baja Karbon	Baja Karbon	Baja Karbon
Volume	0,2368 m ³	0,0757 m ³	0,1830 m ³
Tangki	0,8047 m	0,5504 m	0,5791 m
Diameter	0,6708 m	0,4586 m	0,5791 m

Lanjutan Tabel Spesifikasi Tangki Utilitas

Kode Alat	TNaOH	Tangki Umpan Boiler	Tangki Kondensat
Fungsi	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar kation	Menyimpan air umpan boiler selama 8 jam	Menyimpan air umpan boiler selama 1 jam
Jumlah	1	1	1
Tipe	Tangki silinder tegak	Tangki silinder horizontal dilengkapi dengan deaerator	Tangki silinder horizontal
Bahan	Baja karbon	Baja karbon	Baja karbon
Volume	0,0585 m ³	15,6868 m ³	0,0409 m ³
Panjang		5,6437 m	0,7771 m
Tinggi	0,3961 m		
Diameter	0,3961 m	1,8812 m	0,259 m

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Pada tahap pra-rancangan pabrik *Allyl Chloride*, dilakukan analisis dan evaluasi investasi untuk menilai kelayakan pendirian pabrik, terutama dalam meninjau kemampuan pabrik yang dirancang dalam menghasilkan keuntungan secara ekonomi. Analisis ekonomi dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai kelayakan investasi modal pada kegiatan produksi *Allyl Chloride*, dengan mempertimbangkan kebutuhan modal investasi, besarnya keuntungan yang dapat dihasilkan, waktu pengembalian modal, serta kondisi titik impas (break even point). Melalui analisis ini dapat diketahui apakah pendirian pabrik *Allyl Chloride* layak secara ekonomi dan mampu memberikan keuntungan apabila direalisasikan.

Perhitungan evaluasi ekonomi meliputi:

1. Return On Investment (ROI)
2. Pay Out Time (POT)
3. Break Even Point (BEP)
4. Shut Down Point (SDP)
5. Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

Sebelum dilakukan analisis ekonomi berdasarkan parameter-parameter tersebut, terdapat beberapa aspek yang perlu dihitung terlebih dahulu, antara lain:

1. Modal Industri (Capital Investment)
 - a. Modal Tetap (Fixed Capital Investment)
 - b. Modal Kerja (Working Capital)
2. Biaya Produksi Total (Total Production Cost)
 - a. Biaya Produksi Langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 - b. Biaya Produksi Tak Langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 - c. Biaya Tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)

3. Pendapatan Modal

- a. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)
- b. Biaya Variabel (*Variable Cost*)
- c. Biaya Mengambang (*Regulated Cost*)

6.1 Penentuan Harga Alat

Harga peralatan proses sangat dipengaruhi oleh kondisi ekonomi yang berlaku pada suatu periode tertentu. Oleh karena itu penentuan harga peralatan secara pasti untuk setiap tahun menjadi sulit dilakukan. Diperlukan suatu metode pendekatan untuk memperkirakan harga peralatan pada tahun yang ditinjau, dengan terlebih dahulu mengetahui nilai indeks biaya peralatan pada tahun tersebut.

Pabrik *Allyl Chloride* direncanakan beroperasi selama satu tahun produksi yaitu selama 330 hari dan didirikan pada tahun 2032. Dalam analisis ekonomi seluruh komponen biaya termasuk biaya peralatan dan biaya lainnya, dihitung berdasarkan tahun analisis yang ditetapkan. Untuk menentukan harga peralatan pada tahun tersebut, diperlukan data indeks biaya pada tahun yang bersangkutan. Nilai indeks biaya peralatan pada tahun 2032 diperkirakan secara pendekatan menggunakan data indeks dari tahun 2016 hingga 2032 yang selanjutnya dianalisis dengan metode regresi linear. Data indeks biaya peralatan diperoleh dari *Chemical Engineering Plants Cost Index (CEPCI)* yang dipublikasikan oleh Chemical Engineering Magazine melalui situs resmi (www.chemengonline.com/pci).

Tabel 6. 1 Harga Indeks Tahunan

Tahun	Indeks (Yi)	Tahun	Indeks (Yi)
2016	541,7	2021	708,8
2017	567,5	2022	816
2018	603,1	2023	797,9
2019	607,5	2024	833,857
2020	569,2	2025	873,639

Berdasarkan data yang telah dianalisis, diperoleh persamaan regresi linear yang digunakan untuk memperkirakan kondisi pendirian pabrik *Allyl chloride* pada tahun 2032 dengan nilai indeks biaya peralatan sebesar 1075,096. Nilai indeks tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan estimasi biaya peralatan pada tahun pendirian pabrik. Dalam memperkirakan harga peralatan proses, terdapat dua persamaan pendekatan yang umum digunakan, harga peralatan pada tahun pendirian pabrik dapat dihitung berdasarkan harga peralatan pada tahun referensi yang dikalikan dengan perbandingan indeks harga antara tahun analisis dan tahun referensi sebagaimana dikemukakan oleh (Aries dan Newton, 1955).

$$Ex = Ey \frac{Nx}{Ny}$$

Dimana:

- Ex : Harga pembelian pada tahun 2031
 Ey : Harga pembelian pada tahun refrensi
 Nx : Index harga pada tahun 2028
 Ny : Index harga pada tahun refrensi 2019

Tabel 6. 2 Daftar Harga Alat Proses

No	Nama Alat	Kode	Harga Satuan (\$)	Jumlah	Harga Total (\$)
1	Absorber	AB-01	503.844	1	503.844
2	Akumulator	ACC-01	262.876	1	262.876
3	Condensor Partial	CDP-01	2.847.816	1	2.847.816
4	Condensor Total	CD-01	591.469	1	591.469
5	Cooler	CL-01	43.812	1	43.812
6	Cooler	CL-02	39.470	1	39.470
7	Heat Exchanger	HE-01	140.200	1	140.200
8	Heat Exchanger	HE- 02/HE-03	56.956	2	113.912
9	Menara Distilasi	MD-01	1.051.051	1	1.051.051

No	Nama Alat	Kode	Harga Satuan (\$)	Jumlah	Harga Total (\$)
10	Pompa	P-01 s.d. P-04	54.765	4	219.062
11	Pompa	P-05	12.267	1	12.267
12	Pompa	P-06	17.526	1	17.526
13	Pompa	P-07	14.020	1	14.020
14	Pompa	P-08	11.390	1	11.390
15	Reaktor	R-01	26.287	1	26.287
16	Reboiler	RB-01	30.669	1	30.669
17	Flash Drum	SP-01	657.188	1	657.188
18	Flash Drum	SP-02	306.688	1	306.688
19	Separator	SP-03	788.627	1	788.627
20	WHB	WHB-01	1.621.064	1	1.621.064

Tabel 6. 3 Daftar Harga Alat Utilitas

No	Nama Alat	Kode	Jumlah	Harga	
				USD (\$)	Rp
1	Bak Pengendapan	BU-01	1		563.784.000
2	Bak Pencampuran Cepat	BU-02	1		3.205.000
3	Clarifier	Clarifier	1		2.500.000.000
4	Bak Air Bersih	BU-03	1		96.656.000
5	Bak Saringan Pasir	BU-04	1		13.840.000
6	Bak Air Rumah Tangga	BU-05	1		58.860.000
7	Pompa	PU-01	1		299.632.000
8	Pompa	PU-02	1		293.118.000
9	Pompa	PU-03	1		286.605.000
10	Pompa	PU-04	1		273.577.000
11	Pompa	PU-05	1		274.446.000
12	Pompa	PU-06	1		686.114.000

No	Nama Alat	Kode	Jumlah	Harga	
				USD (\$)	Rp
13	Pompa	PU-07	1		434.249.000
14	Kompresor Udara	KU	2		264.892.000
15	Tangki Silika	TU-07	2		1.000.000.000
16	Tangki Udara	TU-08	1		500.000.000
17	Tangki Kation	TU-01	2	25.544	
18	Tangki Anion	TU-02	2	25.544	
19	Tangki Umpan Boiler	TU-03	1	71.523	
20	Tangki Kondensat	TU-04	1	25.544	
21	Cooling Tower	CT-01	1		5.950.000.000
22	Tangki NaCl	TU-05	1		500.000.000
23	Tangki NaOH	TU-06	1		500.000.000

6.2 Analisis Perhitungan Biaya

Tabel 6. 4 Daftar Analisis Harga Alat Utilitas

No	Nama Alat	Kode	Jumlah	Harga	
				USD (\$)	Rp
1	Bak Pengendapan	BU-01	1	56.882	563.784.000
2	Bak Pencampuran Cepat	BU-02	1	323	3.205.000
3	Clarifier	Clarifier	1	252.231	2.500.000.000
4	Bak Air Bersih	BU-03	1	9.752	96.656.000
5	Bak Saringan Pasir	BU-04	1	1.396	13.840.000
6	Bak Air Rumah Tangga	BU-05	1	5.939	58.860.000
7	Pompa	PU-01	1	30.230	299.625.000
8	Pompa	PU-02	1	29.573	293.114.000
9	Pompa	PU-03	1	28.916	286.603.000
10	Pompa	PU-04	1	27.602	273.581.000
11	Pompa	PU-05	1	27.690	274.448.000

No	Nama Alat	Kode	Jumlah	Harga	
				USD (\$)	Rp
12	Pompa	PU-06	1	69.224	686.120.000
13	Pompa	PU-07	1	43.812	434.248.000
14	Kompresor Udara	KU	2	26.726	529.788.000
15	Tangki Silika	TU-07	2	50.446	1.000.000.000
16	Tangki Udara	TU-08	1	50.446	500.000.000
17	Tangki Kation	TU-01	2	43.812	868.498.000
18	Tangki Anion	TU-02	2	43.812	868.498.000
19	Tangki Umpan Boiler	TU-03	1	122.675	1.215.899.000
20	Tangki Kondensat	TU-04	1	43.812	434.249.000
21	Cooling Tower	CT-01	1	600.311	5.950.000.000
22	Tangki NaCl	TU-05	1	50.446	500.000.000
23	Tangki NaOH	TU-06	1	50.446	500.000.000

Untuk menentukan besarnya biaya yang dibutuhkan dalam pendirian suatu pabrik, diperlukan beberapa tahapan perhitungan agar pabrik yang dirancang dapat dinyatakan layak secara ekonomi. tahap perhitungan tersebut meliputi:

1. Dasar Perhitungan

Kapasitas Produksi : 15.000 Ton/Tahun

Satu tahun operasi : 330 Hari

Tahun pendirian pabrik : 2032

Kurs Mata Uang : 1 US \$ = Rp. 16.777

Harga Bahan baku

1. Propylene : 845.434.176.218/Tahun

2. Chlorine : 111.495.903.381/Tahun

2. Perhitungan Biaya

a. Capital investment

Capital Investment merupakan total dana yang dibutuhkan untuk membangun fasilitas-fasilitas pabrik serta mempersiapkan pabrik agar dapat beroperasi. Capital investment terdiri atas:

- Fixed Capital investment

Merupakan biaya yang diperlukan untuk pembangunan dan pengadaan seluruh fasilitas pabrik termasuk peralatan proses dan sarana penunjang lainnya.

- Working Capital investment

Merupakan modal yang dibutuhkan untuk menjalankan kegiatan operasional pabrik dalam jangka waktu tertentu seperti pembelian bahan baku biaya utilitas, dan kebutuhan operasional lainnya.

b. Manufacturing cost

Manufacturing cost adalah total biaya yang terdiri dari biaya langsung, biaya tidak langsung, serta biaya manufaktur tetap yang dikeluarkan dalam proses produksi. menurut (Aris dan Newton, 1955) Manufacturing cost meliputi:

- Direct cost

Direct cost merupakan biaya yang secara langsung berhubungan dengan proses pembuatan produk .

- Indirect cost

Indirect cost adalah biaya yang timbul sebagai akibat tidak langsung dari kegiatan operasi pabrik.

- Fixed cost

Fixed cost Merupakan biaya-biaya yang tetap dikeluarkan baik pada saat pabrik beroperasi maupun tidak beroperasi, serta tidak bergantung pada tingkat produksi maupun waktu operasi.

- General expense

General expense merupakan biaya umum yang mencakup pengeluaran-pengeluaran yang berkaitan dengan fungsi manajemen dan

administrasi perusahaan, yang tidak termasuk ke dalam Manufacturing cost.

6.3 Analisa Kelayakan

Analisis kelayakan ekonomi digunakan untuk menilai besarnya keuntungan yang dapat diperoleh dari suatu pabrik sehingga dapat ditentukan, apakah pabrik tersebut layak dan berpotensi secara ekonomi untuk didirikan. Melalui analisis ini dapat diketahui tingkat profitabilitas dari rancangan pabrik yang direncanakan. Adapun beberapa metode perhitungan yang digunakan dalam analisis kelayakan ekonomi suatu pabrik adalah sebagai berikut:

1. Persen Return On Investment (ROI)

Persen return on investment (ROI) menunjukkan tingkat pengembalian modal investasi yang dinyatakan dalam bentuk persentase (%) terhadap modal tetap yang ditanamkan. nilai ROI digunakan untuk menilai seberapa cepat dan besar keuntungan yang diperoleh dari investasi yang dilakukan.

$$ROI = \frac{\text{Profit}}{\text{Fixed Capital Investment}} \times 100\%$$

Batas minimum nilai sebelum pajak untuk industri kimia adalah sebesar 11% untuk industri dengan risiko rendah atau Low risk dan sebesar 44% untuk industri dengan risiko tinggi high risk. Pabrik Allyl Chloride termasuk ke dalam industri beresiko tinggi sehingga batas minimum ROI yang harus dipenuhi adalah sebesar 44%.

2. Pay Out Time (POT)

Pay out Time merupakan waktu yang dibutuhkan hingga total penerimaan yang diperoleh mampu menutupi investasi awal yang telah dikeluarkan. Dengan kata lain, POT menyatakan jumlah tahun yang diperlukan untuk mengembalikan Capital investment berdasarkan keuntungan sebelum dikurangi depresiasi. Perhitungan POT bertujuan untuk mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan agar modal tetap yang ditanamkan dapat kembali melalui keuntungan yang dihasilkan setiap tahun. Nilai POT menjadi indikator penting dalam menilai kelayakan suatu investasi.

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Profit} + \text{Depresiasi})} \times 100\%$$

Batas maksimum setelah pajak untuk industri kimia adalah 5 tahun untuk industri beresiko rendah dan 2 tahun untuk industri beresiko tinggi.

- Break Event Point (BEP)

Break even point merupakan kondisi titik impas, yaitu keadaan di mana pabrik tidak mengalami keuntungan maupun kerugian. BEP terjadi ketika nilai penjualan sama dengan total biaya produksi. Apabila pabrik beroperasi di bawah kapasitas BEP, maka pabrik akan mengalami kerugian sedangkan jika beroperasi di atas BEP pabrik akan memperoleh keuntungan. Secara umum nilai BEP berada pada kisaran 40-60% dari kapasitas produksi maksimum pabrik.

$$BEP = \frac{Fa + (0.3 \times Ra)}{(Sa - Va - (0.7 \times))} \times 100\%$$

Keterangan:

- Fa : Annual Fixed Manufacturing Cost pada produksi maksimum
- Ra : Annual Regulated Expenses pada produksi maksimum
- Va : Annual Variable Value pada produksi maksimum
- Sa : Annual Sales Value pada produksi maksimum

- Shut Down Point (SDP)

Shutdown Point SDP adalah kondisi di mana kegiatan produksi harus dihentikan karena biaya operasi yang dikeluarkan lebih besar dibandingkan Keuntungan yang diperoleh. Hal ini dapat disebabkan oleh tingginya biaya variabel atau keputusan manajemen karena operasi pabrik dinilai tidak lagi ekonomis. SDP juga dapat diartikan sebagai tingkat produksi minimum di mana biaya untuk melanjutkan operasi pabrik lebih besar dibandingkan biaya untuk menghentikan operasi dan tetap membayar biaya tetap. Apabila pabrik tidak mampu mencapai kapasitas

minimum tersebut dalam satu tahun operasi, maka pabrik harus menghentikan kegiatan produksinya.

$$SDP = \frac{0.3 \times Ra}{(Sa - Va - (0.7 \times Ra))} \times 100\%$$

- Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)

Discounted cash flow rate of return merupakan metode analisis kelayakan ekonomi yang didasarkan pada konsep discounted cash flow, yaitu dengan memperhitungkan nilai uang terhadap waktu (time value of money), metode ini digunakan untuk memperkirakan tingkat keuntungan tahunan yang diperoleh dari investasi dengan mempertimbangkan arus kas yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(FC + WC)(1 + i)^n = CF[(1 + i)^{n-1}(1 + i)^{n-2} + \dots + (1 + i) + 1] + SV + WC$$

Keterangan:

FC	=	Fixed Capital
WC	=	Workong Capital
SV	=	Salvage Value
CF	=	Annual Cash Flow (After Profit + taxes + depreciation + finance)
I	=	Discounted Cash Flow Rate
n	=	Umur pabrik (10 tahun)
R	=	S

6.4 Hasil Perhitungan

Tabel 6. 5 Physical Plant Cost

No	Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Purchased Equipment Cost	269.279.679.647	15.839.981
2	Delivered Equipment Cost	67.319.919.912	3.959.995
3	Installation Cost	29.620.764.761	1.742.398
4	Pipping Cost	136.929.636.481	8.054.684
5	Instrumentasi	32.717.555.622	1.924.562
6	Insulation	8.751.713.829	514.807
7	Listrik	26.927.967.965	1.583.998
8	Bangunan	40.330.290.000	2.372.370
9	Land & Yard Improvement	59.807.319.000	3.518.078
	Physical Plant Cost (PPC)	671.684.847.217	39.510.873

Tabel 6. 6 Direct Plant Cost

No	Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Teknik dan Konstruksi	135.198.823.446	7.952.872
2	PPC	675.994.117.231	39.764.360
	Direct Plant Cost (DPC)	811.192.940.678	47.717.232

Tabel 6. 7 Fixed Capital Investment

No	Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Total DPC	811.192.940.678	47.717.232
2	Kontraktor	24.335.788.220	1.431.517
3	Biaya tak terduga	81.119.294.068	4.771.723
	Fixed Capital Investment (FCI)	916.648.022.966	53.920.472

Tabel 6. 8 Direct Manufacturing Cost (DMC)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Raw material	956.930.079.600	56.290.005
2	Labor	12.027.600.000	707.506
3	Supervision	1.202.760.000	70.751
4	Maintenance	36.665.920.919	2.156.819
5	Plant supplies	5.499.888.138	323.523
6	Royalty and patents	19.253.462.282	1.132.557
7	Utilities	91.611.543.624	5.388.914
	Direct Manufacturing Cost (DMC)	1.123.191.254.562	66.070.074

Tabel 6. 9 Indirect Manufacturing Cost (IMC)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Payroll Overhead	1.804.140.000	106.126
2	Laboratory	1.202.760.000	70.751
3	Plant Overhead	6.013.800.000	353.753
4	Packing and Shipping	96.267.311.411	5.662.783
	Indirect Manufacturing Cost (IMC)	105.288.011.411	6.193.412

Tabel 6. 10 Fixed Manufacturing Cost (FMC)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Depreciation	73.331.841.837	4.313.638
2	Property taxes	9.166.480.230	539.205
3	Insurance	9.166.480.230	539.205
	Fixed Manufacturing Cost (FMC)	91.664.802.297	5.392.047

Tabel 6. 11 Manufacturing Cost (MC)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Direct Manufacturing Cost (DMC)	1.123.191.254.562	66.070.074
2	Indirect Manufacturing Cost (IMC)	105.288.011.411	6.193.412
3	Fixed Manufacturing Cost (FMC)	91.664.802.297	5.392.047
	Manufacturing Cost (MC)	1.320.144.068.270	77.655.533

Tabel 6. 12 Working Capital (WC)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Raw material inventory	86.993.643.600	5.117.273
2	In process inventory	60.006.548.558	3.529.797
3	Product inventory	120.013.097.115	7.059.594
4	Extended credit	175.031.475.293	10.295.969
5	Available cash	120.013.097.115	7.059.594
	Working Capital (WC)	562.057.861.682	33.062.227

Tabel 6. 13 General Expenses (GE)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Administration	39.604.322.048	2.329.666
2	Sales expense	198.021.610.241	11.648.330
3	Research	105.611.525.462	6.212.443
	General Expense (GE)	343.237.457.750	20.190.439

Tabel 6. 14 Total Production Cost (TPC)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Manufacturing Cost (MC)	1.320.144.068.270	77.655.533
2	General Expense (GE)	343.237.457.750	20.190.439
	Total Production Cost (TPC)	1.663.381.526.020	97.845.972

Tabel 6. 15 Fixed Cost (Fa)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Depreciation	73.331.841.837	4.313.638
2	Property taxes	9.166.480.230	539.205
3	Insurance	9.166.480.230	539.205
	Fixed Cost (Fa)	91.664.802.297	5.392.047

Tabel 6. 16 Variabel Cost (Va)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Raw material	956.930.079.600	56.290.005
2	Packaging and Shipping	96.267.311.411	5.662.783
3	Utilities	91.611.543.624	5.388.914
4	Royalties and Patents	19.253.462.282	1.132.557
	Variable Cost (Va)	1.164.062.396.917	68.474.259

Tabel 6. 17 Regulated Cost (Ra)

No	Type of Expense	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Labor cost	12.027.600.000	707.506
2	Plant overhead	1.804.140.000	106.126
3	Payroll overhead	1.202.760.000	70.751
4	Supervision	6.013.800.000	353.753
5	Laboratory	1.202.760.000	70.751
6	General expenses	343.237.457.750	20.190.439
7	Maintenance	36.665.920.919	2.156.819
8	Plant supplies	5.499.888.138	323.523
	Regulated Cost (Ra)	407.654.326.807	23.979.666

6.5 Hasil Analisis Keuntungan

Annulus sales (Sa)	=	Rp 1.925.346.228.222
Total production cost	=	Rp 1.663.381.526.020,250 /Tahun
Keuntungan sebelum pajak	=	Rp 261.964.702.202
Pajak pendapatan	=	22% × Laba Kena Pajak (Pasal 17 UU PPh, berlaku tahun 2026)
	=	Rp 57.632.234.484
Keuntungan setelah pajak	=	Rp 204.332.467.717

6.6 Hasil Kelayakan Ekonomi

a. Return On Investment (ROI)

$$ROI = \frac{Keuntungan}{Fixed Capital} \times 100\%$$

ROI sebelum pajak = 28,58 %

ROI sesudah pajak = 22,29 %

b. Pay Out Time (POT)

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital Investment}}{(\text{Profit} + \text{Depresiasi})} \times 100\%$$

POT sebelum pajak = 2,7 Tahun

POT sesudah pajak = 3,3 Tahun

c. Break Event Point (BEP)

$$BEP = \frac{(Fa + 0.3Ra)}{(Sa - Va - 0.7Ra)} \times 100\%$$

BEP = 44,96%

d. Shut Down Point (SDP)

$$SDP = \frac{0.3 \times Ra}{(Sa - Va - (0.7 \times Ra))} \times 100\%$$

SDP = 25,70%

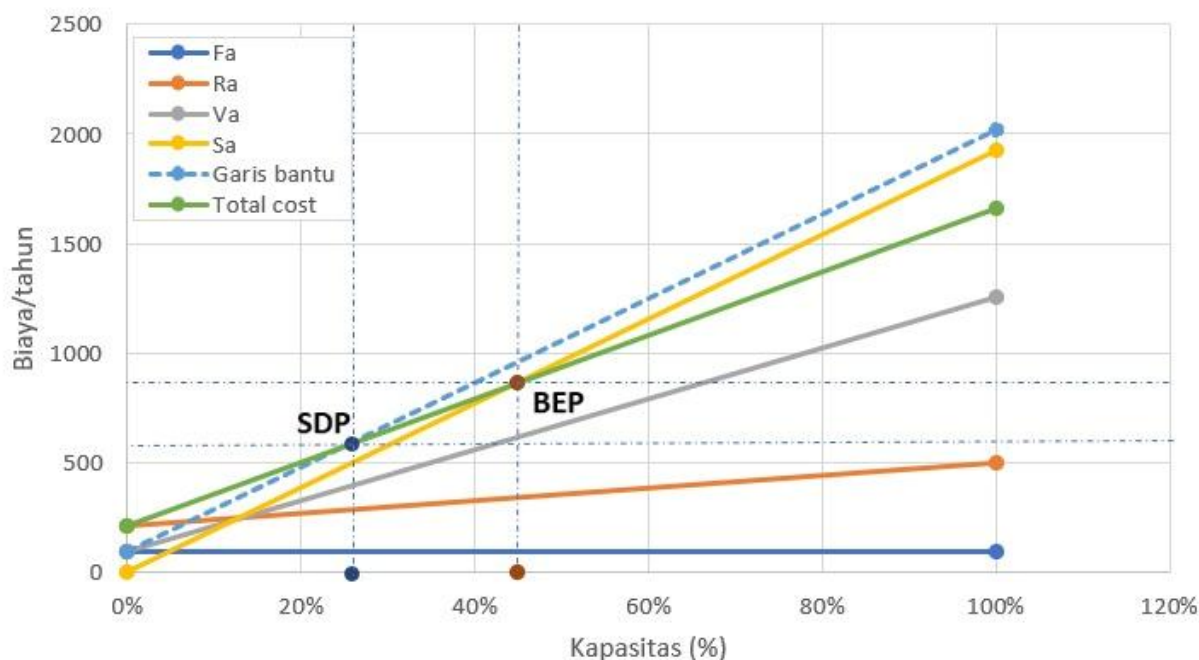
e. Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFR)

$$(FC + WC)(1 + i)^n = CF[(1 + i)^{n-1}(1 + i)^{n-2} + \dots + (1 + i) + 1] + SV + WC$$

Umur Pabrik	=	10 tahun
Fixed Capital Investment	=	Rp 916.648.022.966
Working Capital	=	Rp 562.057.861.681,51
Salvage Value (SV)	=	Rp 73.331.841.837
Cash Flow (CF)	=	Rp 307.238.427.248

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan metode trial and error, diperoleh nilai discounted cash flow rate of return (DCFR) sebesar 20,35% .

Selanjutnya, hasil analisis ekonomi tersebut disajikan dalam bentuk grafik evaluasi sebagai berikut:



Gambar 6. 1 Grafik Evaluasi Ekonomi

Hasil akhir perhitungan diperoleh nilai ROI sesudah pajak sebesar 22,29 %, POT sesudah pajak 3,3 tahun, BEP 44,96 %, SDP 25,70 %, serta DCFR 20,35 %. Secara keseluruhan, parameter tersebut menunjukkan bahwa pabrik tersebut layak dibangun karena memenuhi syarat kelayakan ekonomi di bidang industri kimia.

Namun, mengingat tingkat risiko pabrik yang cukup tinggi, analisis kelayakan ekonominya perlu dilakukan dengan lebih hati-hati. Risiko yang besar seperti penggunaan bahan yang berbahaya, kondisi kerja dengan suhu dan tekanan yang tinggi, serta kemungkinan terjadi kebakaran atau ledakan, membuat biaya untuk investasi, operasional, asuransi, dan keamanan kerja meningkat.

Nilai ROI sebesar 22,29 persen masih memenuhi batas minimum investasi untuk industri berisiko tinggi, tetapi belum memberi keuntungan yang sangat besar. Selain itu, nilai BEP sebesar 44,96% menunjukkan bahwa pabrik harus beroperasi hampir setengah dari kapasitas maksimalnya agar bisa mencapai titik impas, sehingga kondisi ini cukup rentan terhadap penurunan produksi atau hambatan dalam operasi.

Dengan demikian, meskipun secara hitung-hitungan ekonomi pabrik dianggap layak, risiko yang tinggi membuat proyek ini memiliki ruang aman yang tidak terlalu besar, sehingga diperlukan pengelolaan risiko, sistem keamanan, dan jaminan pasar yang baik agar investasi tetap beruntung.

PENUTUPAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan pada Pra Rancangan Pabrik Allyl Chloride menggunakan bahan baku propilena dan klorin, dapat disimpulkan bahwa proses produksi yang telah dirancang secara teknis dapat berjalan dengan baik. Proses produksi mencakup beberapa tahap seperti persiapan bahan baku, reaksi klorinasi, pemisahan produk, dan pengelolaan produk samping serta limbah. Semua tahap tersebut telah disusun sesuai dengan prinsip ilmu kimia, kebutuhan operasi pabrik, serta aspek keselamatan dalam proses produksi.

Reaksi berlangsung dalam bentuk gas menggunakan metode klorinasi termal tanpa katalis di dalam Reaktor Alir Pipa, sehingga dibutuhkan pengendalian suhu yang sangat ketat karena reaksi tersebut bersifat eksotermik dan berlangsung pada suhu yang tinggi. Secara teknis, sistem peralatan, fasilitas pendukung, serta pengelolaan proses yang sudah dirancang mampu memastikan berjalannya operasi pabrik secara lancar.

Hasil penilaian ekonomi menunjukkan bahwa pabrik Allyl Chloride yang direncanakan memiliki kelayakan ekonomi yang cukup baik. Tingkat return on investment (ROI) setelah pajak mencapai 22,29%, periode payback (POT) setelah pajak sekitar 3,3 tahun, break even point (BEP) sebesar 44,96%, surplus dasar produksi (SDP) sebesar 25,70%, serta discount cash flow return rate (DCFRR) sebesar 20,35%. Parameter tersebut secara umum masih memenuhi syarat untuk dianggap layak dalam hal investasi industri kimia.

Namun, bila dilihat dari tingkat risiko yang tinggi di pabrik, seperti penggunaan bahan berbahaya, suhu operasi yang tinggi, serta kemungkinan terjadinya kebakaran, ledakan, dan paparan gas beracun, maka keuntungan ekonomi proyek ini memiliki tingkat keamanan yang terbatas. Nilai ROI yang berada di bawah batas kelayakan dan BEP yang hampir mencapai 50% kapasitas menunjukkan bahwa proyek ini cukup rentan terhadap kenaikan biaya atau penurunan produksi.

Dengan demikian, Pra Rancangan Pabrik Allyl Chloride ini dianggap layak untuk dilanjutkan ke tahap perancangan lebih lanjut, asal saja ada peningkatan pada bidang keselamatan proses, pengelolaan risiko, dan efisiensi ekonomi agar investasi tetap kompetitif dan berkelanjutan.

Saran

Untuk langkah selanjutnya dalam pengembangan Pra Rancangan Pabrik Allyl Chloride ini, beberapa rekomendasi yang dapat dipertimbangkan meliputi:

3. **Pengoptimalan Kondisi Operasi Reaktor**

Sebuah analisis perlu dilakukan untuk mengatur temperatur, waktu tinggal, dan rasio umpan reaktan agar dapat meningkatkan selektivitas produk Allyl Chloride dan mengurangi pembentukan produk samping seperti dichloropropene, yang dapat merugikan nilai ekonomi proses.

4. **Analisis Keselamatan Proses yang Mendalam**

Karena adanya risiko yang tinggi di pabrik, diperlukan studi keselamatan yang lebih lanjut, seperti HAZOP, analisis tentang konsekuensi kebocoran gas klorin dan HCl, serta desain sistem untuk perlindungan dari kebakaran dan ledakan secara lebih menyeluruh.

5. **Penilaian dan Pengurangan Risiko Ekonomi**

Disarankan untuk melakukan analisis sensitivitas terhadap perubahan harga bahan baku, utilitas, dan produk, karena margin kelayakan ekonomi cenderung terbatas di tengah kondisi risiko pabrik yang cukup tinggi.

6. **Penguatan Sistem Pengelolaan Limbah**

Studi tentang pengolahan limbah gas dan cair perlu diperluas untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dan mengurangi dampak pencemaran yang disebabkan oleh senyawa klorinasi.

7. **Studi Skala dan Integrasi Energi**

Pengembangan desain harus diarahkan pada integrasi penggunaan panas atau memanfaatkan energi dari reaksi untuk meningkatkan efisiensi utilitas dan menekan pengeluaran operasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Austin, G. T. 1984. *Shreve's Chemical Process Industries*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons, New York.
- Blank, L. T., & Tarquin, A. J. (2012). *Engineering economy* (7th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Çengel, Y. A. (2001). *Heat Transfer: A Practical Approach*. McGraw-Hill, New York.
- ChemicalBook. (2023). *2,3-Dichloropropane Material Safety Data Sheet (MSDS)*. ChemicalBook.
- Chemical Engineering Magazine. (2024). *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*. Chemical Engineering Magazine.
- ChemAnalyst. 2024. *Global Propylene Price Trend and Forecast*. Delaware: ChemAnalyst Research.
- Chlorine Institute. (2024). *Chlorine – Chemical Properties*. The Chlorine Institute.
- Fogler, H. S. 2016. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 5th ed. Boston: Prentice Hall.
- Fortune Business Insights. (2024). *Allyl chloride market size, share & industry analysis, 2026–2034*. <https://www.fortunebusinessinsights.com/allyl-chloride-market-112014>
- ICIS. 2024. *Chemical Pricing Database – Propylene and Chlorine Market Prices*. London: Independent Commodity Intelligence Services.
- Karrassik, I. J., et al. (2001). *Pumps Handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill, New York.
- Kern, D. Q. (1950). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill, New York.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1998). *Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, New York.

- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons.
- Ludwig, E. E. (1995). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants* (Vol. 4). Gulf Publishing Company, Houston.
- McKetta, J. J. 1993. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. New York: Marcel Dekker.
- Megyesy, E. F. (1999). *Pressure Vessel Handbook*. Butterworth-Heinemann, London.
- Mordor Intelligence. 2024. *Allyl Chloride Market – Growth, Trends and Forecast*. Hyderabad: Mordor Intelligence.
- Olin Corporation. (2016). *Allyl Chloride Product Information*. Olin Corporation.
- Perry, R. H., Green, D. W., & Maloney, J. O. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). McGraw-Hill, New York.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (4th ed.). McGraw-Hill, New York.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2018). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). McGraw-Hill, New York.
- Powell, S. T. (1954). *Water Conditioning for Industry*. McGraw-Hill, New York.
- Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Nomor 36 Tahun 2008 tentang Pajak Penghasilan (PPh)*. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Smith, J. M. (1981). *Chemical Engineering Kinetics* (3rd ed.). McGraw-Hill, New York.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. 2005. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.
- Statista. 2024. *Average Price of Chlorine and Derivatives in Global Market*. Hamburg: Statista GmbH.
- Thermopedia. (2022). *Propylene*. Thermopedia.

- Towler, G., & Sinnott, R. K. (2008). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Elsevier, Oxford.
- Turja, J. (2011). *Industrial Chemical Process Data*. Elsevier, Amsterdam.
- Türkdoğan, E. T., et al. (2009). *Chemical Reaction Engineering Data*. Academic Press, London.
- Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., & Shaeiwitz, J. A. (2018). *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes* (5th ed.). Boston: Prentice Hall.
- Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 2012. *Allyl Compounds*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Ulrich, G. D., & Vasudevan, P. T. (2004). *Chemical Engineering Process Design and Economics: A Practical Guide* (2nd ed.). New Hampshire: Process Publishing.
- UN Comtrade. (2024). *UN Comtrade Database*. United Nations Statistics Division.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *Technical Fact Sheet – Allyl Chloride*. EPA.
- Van Winkle, M. (1967). *Distillation*. McGraw-Hill, New York.
- Wallace, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. McGraw-Hill, New York.
- Weast, R. C. (1983). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press, Boca Raton.
- White, F. M. (2003). *Fluid Mechanics* (4th ed.). McGraw-Hill, New York.
- World Health Organization & OECD. (2023). *High Production Volume (HPV) Chemicals Programme*. OECD.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill, New York.

LAMPIRAN A

PERANCANGAN REAKTOR

Lampiran A Perancangan Reaktor

Jenis	:	Reaktor Alir Pipa
Fungsi	:	Tempat berlangsungnya reaksi klorinasi propilene
Kondisi Operasi	:	Suhu : 400 °C
	:	Tekanan : 3 bar
	:	Konversi : 90%
	:	Sifat reaksi : Eksotermis
	:	Fase reaksi : Gas
	:	Kondisi : Non- isothermal, Non- Adiabatis

Alasan Pemilihan :

1. Reaktor alir pipa dipilih karena sangat sesuai untuk reaksi fase gas maupun cair yang berlangsung cepat, sehingga konversi dapat dicapai dengan lebih efisien dibandingkan tipe reaktor lainnya.
2. Reaktor alir pipa mampu beroperasi pada tekanan dan temperature tinggi, sehingga sangat cocok digunakan untuk proses kimia yang memerlukan kondisi operasi ekstrim.
3. Reaktor ini sangat sesuai untuk operasi kontinu jangka Panjang, karena mampu memberikan aliran yang stabil, control suhu yang baik, dan kualitas produk yang konsisten.

1. Pemodelan Matematis Reaktor Alir Pipa

Pemodelan matematis reaktor alir pipa (Plug Flow Reactor, PFR) non-isothermal melibatkan penurunan neraca massa, neraca energi, dan neraca momentum pada kondisi tunak (steady state). Variabel bebas yang digunakan adalah panjang aksial reaktor, yang disebut sebagai z . Dari model ini, diperoleh sekumpulan persamaan diferensial biasa orde satu yang saling terkait.

a. Neraca massa reaksi utama

$$\frac{dX_1}{dz} = \frac{-r_1(\pi D^2/4)}{F_{A0}}$$

b. Neraca massa reaksi samping

$$\frac{dX_2}{dz} = \frac{-r_2(\pi D^2/4)}{F_{A0}}$$

c. Neraca energi fluida pemanas reaktor

$$\frac{dT_g}{dz} = \frac{[(-r_1)\Delta H_{r1} + (-r_2)\Delta H_{r2}](\pi D^2/4) - U\pi D(T_g - T_p)}{\sum F_i C_{p,i}}$$

d. Neraca energi fluida pendingin

$$\frac{dT_p}{dz} = \frac{U\pi D(T_g - T_p)}{\dot{m}_p C_{p,p}}$$

e. Neraca penurunan tekanan

$$\frac{dP}{dz} = \left[150 \left(\frac{1 - \varepsilon}{Re_p} \right) + 4.2 \left(\frac{(1 - \varepsilon)^{1/6}}{Re_p} \right) \right] \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \frac{G_p^2}{\rho D_p}$$

Sistem persamaan diferensial tersebut diselesaikan dengan kondisi batas pada inlet reaktor ($z=0$) sebagai berikut:

$$X_1(0) = 0$$

$$X_2(0) = 0$$

$$T_g(0) = T_{g,in}$$

$$T_p(0) = T_{p,in}$$

$$P(0) = P_{in}$$

2. Panas Reaksi dari Panas Pembentukan

Panas reaksi pada reaktor alir pipa dihitung berdasarkan data panas pembentukan standar (ΔH_f°). Panas reaksi standar didefinisikan sebagai selisih antara jumlah panas pembentukan produk dan reaktan sesuai koefisien stokiometri reaksi. Secara umum, panas reaksi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta H_r^\circ = \sum v_p \Delta H_f^\circ(\text{produk}) - \sum v_r \Delta H_f^\circ(\text{reaktan})$$

Dengan:

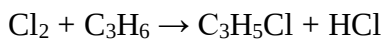
V_p = Koefisien stokiometri produk

V_r = Koefisien stokiometri reaktan

ΔH_f° = Panas pembentukan standar (kJ/kmol)

Perhitungan ΔH_r Tiap Reaksi

1) Reaksi Utama



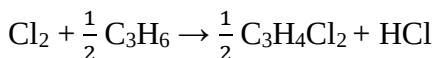
Maka:

$$\Delta H_{r1}^\circ = [\Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_5\text{Cl}) + \Delta H_f^\circ(\text{HCl})] - [\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2) + \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_6)]$$

Dari data literatur diperoleh (Smith, Van Ness, & Abbot):

$$\Delta H_{r1}^\circ = -48.000 \text{ kJ/kmol}$$

2) Reaksi Samping



Maka:

$$\Delta H_{r2}^\circ = \left[\frac{1}{2} \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_2) + \Delta H_f^\circ(\text{HCl}) \right] - \left[\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2) + \frac{1}{2} \Delta H_f^\circ(\text{C}_3\text{H}_6) \right]$$

Dari data literatur diperoleh (Smith, Van Ness, & Abbot):

$$\Delta H_{r2}^\circ = -79.200 \text{ kJ/kmol}$$

3. Menentukan Konstanta Kecepatan Reaksi dan Optimasi Reaktor

Neraca massa bahan masuk reaktor

Komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
HCl	36,51	0	0
CO ₂	44	22,71	0,52
C ₃ H ₆	42,06	6671,671	158,62
C ₃ H ₈	44,08	741,30	16,82
Cl ₂	71	2815,55	39,67
C ₃ H ₅ Cl	76,55	0	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	111,04	0	0
H ₂ O	18,02	0	0
Total		10251,22	215,61

3.1 Konstanta kecepatan reaksi

Penentuan nilai dari konstanta kecepatan reaksi dilakukan untuk memahami kecepatan reaksi pembentukan allyl chloride di dalam sebuah reaktor. Informasi kinetika dari reaksi ini diperoleh dari buku Chemical Engineering Kinetics, edisi ketiga oleh J.M Smith, di mana rumus Arrhenius diterapkan dalam satuan suhu Rankine (°R).

Reaksi yang diteliti meliputi:

1. Reaksi utama memiliki konstanta laju k_1
2. Reaksi samping dengan konstanta laju k_2

Karena suhu operasional reaktor adalah 400 °C, maka suhu tersebut perlu dikonversikan terlebih dahulu ke dalam satuan Rankine, sebagai berikut:

$$T(^{\circ}\text{R}) = (T(^{\circ}\text{C}) + 273,15) \times 1,8$$

$$T = (400 + 273,15) \times 1,8$$

$$T = 1211,67^{\circ}\text{R}$$

- a. Konstanta laju reaksi utama k_1

Persamaan Arrhenius untuk reaksi utama adalah:

$$K_1 = 206 e^{-27200/T}$$

Dengan mensubstitusikan nilai $T = 1211,67^\circ\text{R}$, diperoleh :

$$\frac{27\,200}{1211,67} = 22,45$$

$$k_1 = 206 e^{-22,45}$$

$$k_1 = 206 \times 1,78 \times 10^{-10}$$

$$k_1 = 3,67 \times 10^{-8}$$

- b. Konstanta laju reaksi samping k_2

Persamaan Arrhenius untuk reaksi samping adalah:

$$K_2 = 11,7 e^{-6860/T}$$

Dengan $T = 1211,67^\circ\text{R}$, diperoleh :

$$\frac{6860}{1211,67} = 5,66$$

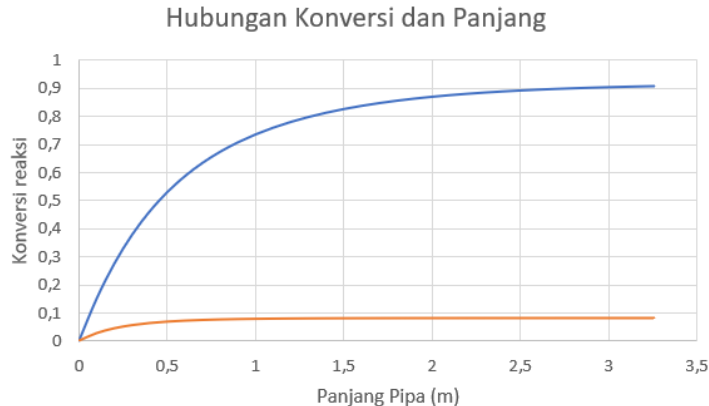
$$k_2 = 11,7 e^{-5,66}$$

$$k_2 = 11,7 \times 0,00347$$

$$k_2 = 0,004068$$

Nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh pada suhu 400°C merupakan hasil evaluasi kinetika pada satu kondisi temperature, namun berdasarkan hasil perhitungan, konstanta laju reaksi utama (k_1) telah berada pada kondisi yang optimal untuk pembentukan allyl chloride

c. Grafik hubungan konversi reaksi dan Panjang pipa



Grafik hubungan konversi terhadap Panjang pipa reaktor menunjukkan bahwa konversi reaksi utama meningkat signifikan pada Panjang reaktor awal, kemudian mengalami penurunan laju peningkatan hingga mencapai titik belok. Kondisi ini menunjukkan Panjang pipa optimum, di mana penambahan Panjang pipa selanjutnya tidak memberikan peningkatan konversi yang berarti. Optimasi reaktor alir pipa dalam perancangan ini ditentukan oleh hubungan konversi dan Panjang pipa serta penggunaan rasio mol umpan ($\text{Cl}_2 : \text{C}_3\text{H}_6$) sebesar 4:1, yang berperan dalam meningkatkan selektivitas terhadap allyl chloride.

3.2 Penentuan jumlah tube

Jumlah tube pada reaktor alir pipa ditentukan berdasarkan laju alir massa fluida, diameter dalam pipa, viskositas campuran, serta bilangan Reynolds desain. Secara umum, jumlah tube dapat dihitung berdasarkan hubungan laju alir massa dengan definisi bilangan Reynolds, yaitu:

$$N_{tube} = \frac{\dot{m}_{total} D_i}{A_p Re_p \mu_g}$$

dengan:

- $\dot{m}$ = laju alir massa total (kg/jam)
- A_p = luas penampang pipa (m^2)
- Re_p = bilangan Reynolds desain
- D_i = diameter dalam pipa (m)
- μ = viskositas fluida ($\text{kg/m} \cdot \text{jam}$)

Persamaan tersebut merupakan turunan dari definisi bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu}$$

Yang dikombinasikan dengan persamaan laju alir massa fluida dalam pipa (Perry, 2008; Kern, 1950). Perhitungan jumlah tube dilakukan menggunakan bantuan program perhitungan (coding) dengan parameter desain sebagai berikut:

- Laju alir massa total = 10251,2272 kg/jam
- Bilangan Reynolds desain = 2000
- Diameter dalam pipa = 52,5018 mm

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan tersebut diperoleh:

$$N_{tube} = 170 \text{ pipa}$$

Jumlah tube ini selanjutnya digunakan dalam penentuan dimensi reaktor dan volume total reaktor.

3.3 Penentuan volume reaktor

a. Volume total reaktor (V)

Reaktor yang digunakan adalah reaktor alir pipa, dengan spesifikasi diketahui:

Diameter dalam tube = 52,5018 mm = 0,0525018 m

Jumlah tube = 170

Panjang tube = 3,260 m

b. Luas penampang 1 tube

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi (0,0525018)^2}{4}$$

$$A = 0,002165 \text{ m}^2$$

c. Volume 1 tube

$$V_{tube} = A \times L = 0,002165 \times 3,260$$

$$V_{tube} = 0,0070576 \text{ m}^3$$

d. Volume total 170 tube

$$V_{total} = 170 \times 0,0070576 = 1,19979 \text{ m}^3$$

$$V_{total} \approx 1,200 \text{ m}^3$$

Untuk mengantisipasi fluktuasi operasi, fouling, dan ketidakpastian proses, diterapkan faktor keamanan sebesar 20% terhadap volume reaktor hasil perhitungan.

Angka keamanan = 20%

$$V_{over} = 1,2 \times 1,200 \text{ m}^3$$

$$V_{over} = 1,44 \text{ m}^3 = 380,408 \text{ gallon}$$

V (m ³)	1,200
Voverdesain (gall)	380,408
Harga (\$)	± USD 1.440

4. Neraca Massa

Konversi = 91%

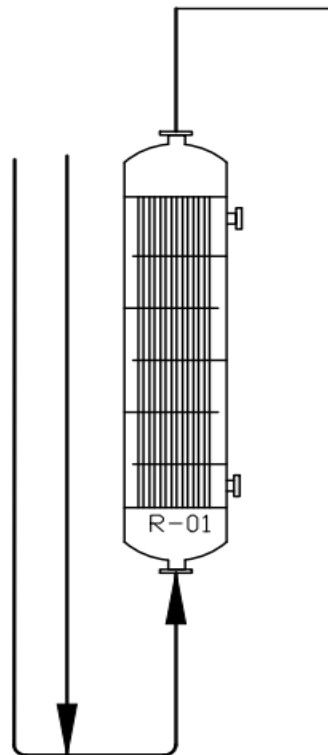
	C_3H_6	+	Cl_2	$\rightarrow$	$\text{C}_3\text{H}_5\text{Cl}$	+	HCl
Mula-mula :	6671,67		2815,55		0		0
Reaksi :	-1331,83		-2767,69		1863,88		1423,22
Sisa :	5339,84		47,86		1863,88		1423,22

Konversi = 8%

	$\frac{1}{2} \text{C}_3\text{H}_6$	+	Cl_2	$\rightarrow$	$\frac{1}{2} \text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_2$	+	HCl
Mula-mula :	6671,67		2815,55		0		0
Reaksi :	-1331,83		-2767,69		812,42		1423,22
Sisa :	5339,84		47,86		812,42		1423,22

Komponen	R-01		
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
HCl	0	1423,22	1423,22
CO ₂	22,71	0	22,71
C ₃ H ₆	6671,67	-1331,83	5339,84
C ₃ H ₈	741,30	0	741,30
Cl ₂	2815,55	-2767,69	47,86
C ₃ H ₅ Cl	0	1863,88	1863,88
C ₃ H ₄ Cl ₂	0	812,42	812,42
H ₂ O	0	0	0
Total	10251,22	-4,55E-13	10251,22

PERANCANGAN REAKTOR 1



Perencanaan Dimensi Reaktor

Komponen Masuk Reaktor :

Komponen	BM	Kg/jam	Kmol/jam
HCl	36,51	0	0
CO ₂	44	22,71	00,52
C ₃ H ₆	42,06	6671,67	158,62
C ₃ H ₈	44,08	741,30	16,82
Cl ₂	71	2815,55	39,66
C ₃ H ₅ Cl	76,55	0	0
C ₃ H ₄ Cl ₂	111,04	0	0
H ₂ O	18,02	0	0
Total		10251,22	215,61

Volume reactor ini sebesar:

$$V_{\text{shell}} = 1,200 \text{ m}^3 = 316,75 \text{ gallon}$$

$$V_{\text{overdesain}} = 0,693 \text{ m}^3 = \text{gallon}$$

$$\text{Diameter shell} = 39,61 \text{ in} = 1,006 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi shell} = 59,42 \text{ in} = 1,509 \text{ m}$$

Menentukan Bahan Konstruksi

Berdasarkan referensi Chemical Engineering Design: Principles, Practice, and Economics of Plant and Process Design karya R. Sinnott, bahan konstruksi yang dipilih adalah baja karbon A 285.

Allowable stress, fall = 12900 psi

$$f_{\text{all}} = 12900 \text{ psi} \times \frac{\text{atm}}{14,7 \text{ psi}} \times \frac{101325 \text{ Pa}}{\text{atm}}$$

$$\text{Fall} = 88917857 \text{ Pa} = 8,9\text{E}+07 \text{ Pa}$$

Menentukan Tekanan Desain

Selongsong dirancang mampu menahan tekanan sebesar 50% lebih tinggi dari tekanan operasi media pendingin (1 atm)

$$P_{\text{design}} = 150\% \times 1 \text{ atm} \times \frac{101325 \text{ pa}}{\text{atm}} = 151988 \text{ pa}$$

$$p_{\text{gauge}} = 151988 \text{ pa} - 101325 \text{ pa} = 50662,5 \text{ pa}$$

Menentukan Faktor Korosi

$$C'' = 0,125 \text{ in} \times 0,0254 \text{ m/in} = 0,003175 \text{ m}$$

Menentukan Jari-jari luar (Ro)

$$R_o = \frac{\text{Diameter shell}}{2}$$

$$R_o = \frac{1,006 \text{ m}}{2}$$

$$R_o = 0,503 \text{ m}$$

Efisiensi Sambungan

$$E = 90\% \quad (\text{Brownell and Young})$$

Menentukan Tebal Shell Reaktor

$$ts = \frac{P \times Ids}{2 \times S \times \varepsilon - 1 \times P} + C''$$

Keterangan:

P = Tekanan desain (Pa)

Ids = Diameter selongsong (m)

S = Allowable stress (Pa)

ε = Efisiensi sambungan

C'' = Factor korosi (m)

$$ts = \frac{50662,5 \text{ pa} \times 1 \text{ m}}{2 \times 8,9 \text{ pa} \times 0,9 - 1 \times 50662,5 \text{ pa}} + 0,003175 \text{ m}$$

$$ts = 0,00352 \text{ m}$$

Menentukan Tebal Head

Tekanan operasi: 1 atm

Tekanan perancangan: $120\% \times 1 \text{ atm} = 1,2 \text{ atm}$

Tekanan alat ukur = $1,2 \text{ atm} \times 1,01325 \text{ atm} = 0,19 \text{ atm}$

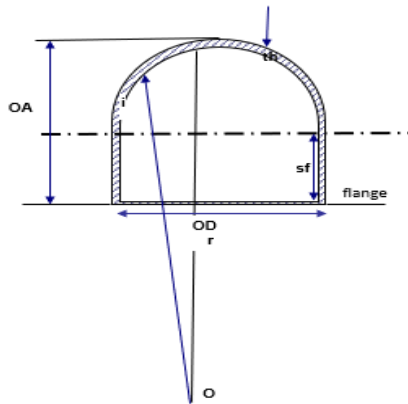
$P_{\text{gauge}} = 0,19 \text{ atm} \times [101325 \text{ Pa/atm}] = 18922,4 \text{ Pa}$

$$th = \frac{P_{\text{gauge}} Ids}{4 f_{\text{all}} - 0,4 P_{\text{gauge}}} + C''$$

$$th = \frac{18922,4 \text{ Pa} \times 1,09 \text{ m}}{4 \times 8,9E + 07 \text{ Pa} - 0,4 \times 1,8922,4 \text{ Pa}} + 0,00318 \text{ m}$$

$$th = 0,00323$$

Menentukan Tinggi Head



Nilai sf diperoleh dari tabel 5.6 Brownell dan Young, Process Equipment Design, (1959), John Willey and son, New York. Nilai sf berkisar antara $1\frac{1}{2}$ in sampai $3\frac{1}{2}$ in.

Dipilih $sf = 3,5 \text{ in} \times 0,03 \text{ m/in} = 0,09 \text{ m}$

$r = ids = 1,09 \text{ m}$

$icr = 7,25 \text{ in} \times 0,003 \text{ m/in} = 0,18 \text{ m}$

$$BC = r - icr$$

$$BC = 1,09 \text{ m} - 0,18 \text{ m} = 0,91 \text{ m}$$

$$AB = Ids/2 - icr$$

$$AB = \frac{1,09}{2} - 0,18 \text{ m} = 0,36 \text{ m}$$

$$OA = 1,09 \text{ m} - [(0,91 \text{ m})^2 - (0,36 \text{ m})^2]^{0,5}$$

$$OA = 0,25964 \text{ m}$$

Volume Head

$$VH = \frac{\pi}{24} \times D^3$$

$$VH = 0,13327 \text{ m}^3$$

Luas Penampang Tangki (At)

$$A_t = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$A_t = 0,7949 \text{ m}^2$$

Tinggi Reaktor

$$H_{\text{total}} = \text{Tinggi pipa} + 2 \times \text{tinggi head}$$

$$H_{\text{total}} = 3,260 \text{ m} + 2 \times 0,25964 \text{ m}$$

$$H_{\text{total}} = 3,78$$

PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN REAKTOR

Neraca Panas Reaktor:

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q1	6621447,08	
Q2		6895948,02
Q Reaksi	274734	
Q Pendingin	10350,53	10613,98
Total	6906562	6906562

Media Pendingin

Untuk Media Pendingin pada reactor ini yaitu Dowhterm

Suhu masuk, $T_1 = 643,150 \text{ K}$

Suhu keluar, $T_2 = 679,604 \text{ K}$

Sifat fisis dowtherm A pada suhu rerata:

Kapasitas panas, $c_p = 2,070 \text{ kJ/kg.K}$

Viskositas, $\mu = 0,000383 \text{ cp}$

Densitas, $\rho = 911,88 \text{ kg/m}^3$

Menghitung massa pendingin

$$M_{\text{dowtherm}} = \frac{Q_t}{c_{p,\text{dowtherm}} \times (t_2 - t_1)}$$

$$M_{\text{dowtherm}} = \frac{5000}{2,070 \times (679,604 - 643,150)}$$

$$M_{\text{dowtherm}} = 66,206 \text{ kg/jam}$$

Menghitung ΔT LMTD

Inisial	Fluida panas (K)		Fluida dingin (K)	Δt (K)
Δt_1	673,150	Suhu atas	643,150	30
Δt_2	681	Suhu bawah	679,604	1,307

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}}$$

$$LMTD = \frac{1,307 - 30}{\ln \frac{1,307}{30}}$$

$$LMTD = 9,16 \text{ K}$$

Menghitung Koefisien Transfer panas

Luas perpindahan panas yang diperlukan:

$$A = \pi \times OD \times Z \times N_{\text{pipa}}$$

$$A = 3,1416 \times 60,452 \text{ m} \times 3,260 \text{ m} \times 170$$

$$A = 105,08 \text{ m}^2$$

Berdasarkan hasil neraca panas reaktor alir pipa, diperoleh laju perpindahan panas sebesar 690.652 kJ/jam dan nilai LMTD terhitung sebesar 9,16 K. Dengan menggunakan persamaan perpindahan panas menyeluruh, diperoleh koefisien perpindahan panas sebesar:

$$U = \frac{Q}{A \times \Delta T_{LMTD}} = 717,4 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}} \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Atau setara dengan $199,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Perancangan Isolator

Suhu udara, $T_u = 303,15 \text{ K}$

Suhu dinding isolator, $T_i = 313,15 \text{ K}$

$K_{th} = 0,043 \text{ W/m.K}$

$K_{ths} = 80,2 \text{ W/m.K}$

Cengel, Y. A. (2001). Heat Transfer: A Practical Approach. New York: McGraw-Hill.

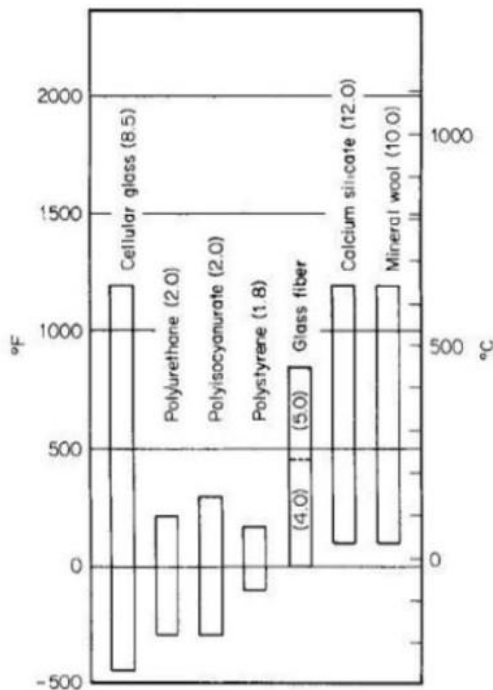


FIG. 11-68 Insulating materials and applicable temperature ranges.

Gambar 1. pemilihan bahan isolator

Berdasarkan suhu operasi yang tinggi dan konduktivitas thermal yang rendah dipilih bahan isolator Glass Fiber.

Asumsi:

Suhu permukaan bagian dalam selongsong sama dengan suhu media pendingin dan proses transfer panas berlangsung pada keadaan tunak.

Perpindahan panas yang terjadi:

1. Transfer panas melalui konduksi dari bagian dalam selongsong menuju bagian luar selongsong

2. Transfer panas melalui konduksi dari bagian dalam isolator ke bagian luar isolator
3. Transfer panas melalui konveksi dan radiasi dari permukaan isolator ke udara di sekitarnya.

Perpindahan kalor secara konveksi dan radiasi dari permukaan isolator ke udara lingkungan:

a. Koefisien perpindahan panas

$$hc = 0,52 \frac{Btu}{jam} \cdot ft^2 \cdot F \text{ (Kern D.Q)}$$

t_i = suhu isolator dalam F = 104 F

T_u = suhu udara lingkungan = 95 F

$$hc = 0,3 (t_i - T_u)^{0,25}$$

$$hc = 0,3 (104 - 95)^{0,25}$$

$$hc = 0,00295 \frac{kJ}{m^2 s K}$$

$$Q_c = 0,00295 \frac{kJ}{m^2 s K} \times (313,15 K - 303,15 K)$$

$$Q_c = 0,02947 \text{ kJ/m}^2 \text{sK}$$

Diketahui :

X_s : tebal dinding selongsong = 0,00352 m

K_{ths} : konduktivitas termal baja = 0,08 kJ/m.sK

K_{thi} : konduktivitas thermal isolator = 4,3E-05 kJ/m.sK

$$Q_c = \frac{T_p - T_i}{k_{ths}/x_s - k_{thi}/x_i}$$

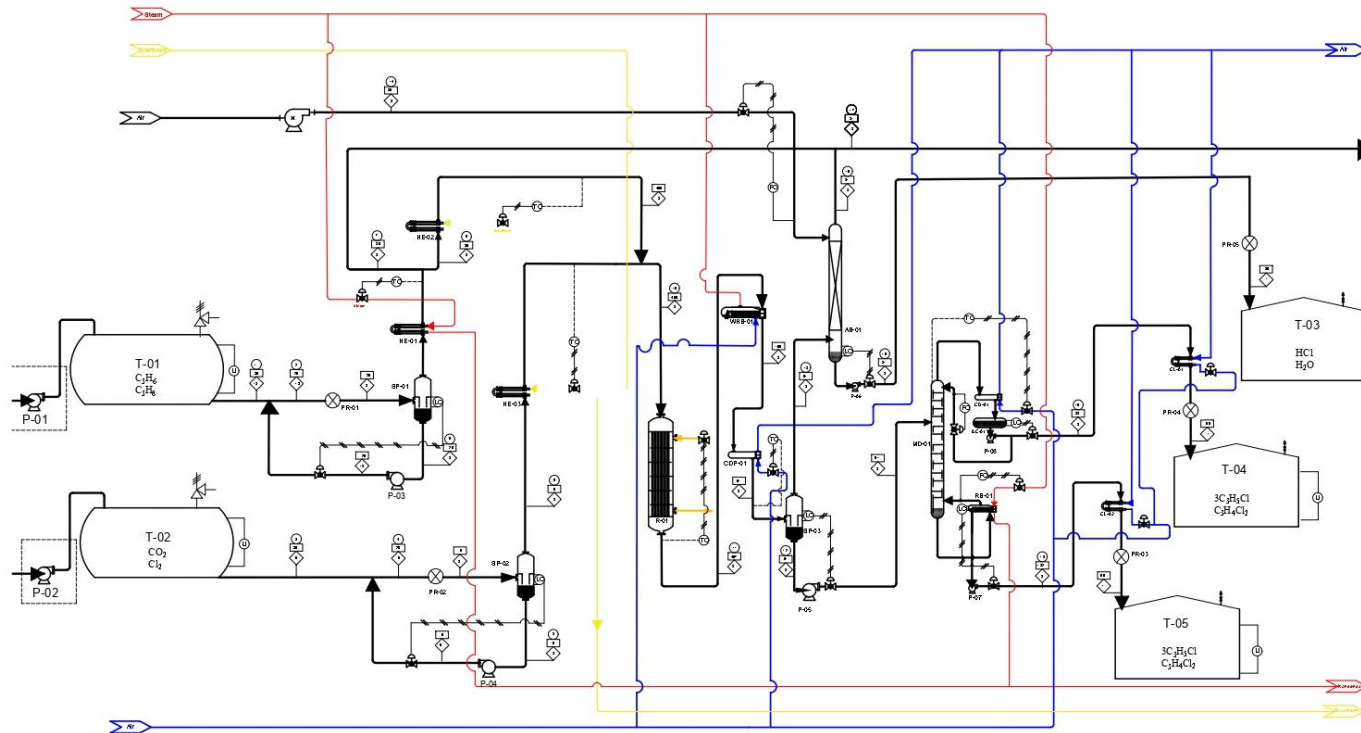
Didapatkan $x_i = 0,08296$ m

Diperoleh ketebalan isolator x_i sebesar 3,27 in. ketebalan ini tergolong lazim digunakan pada peralatan proses dengan suhu operasi tinggi. Dan dipastikan bahwa laju kehilangan panas dari reaktor ke lingkungan tetap berada pada batas yang diizinkan.

IDENTIFIKASI		
Nama Alat	:	Reaktor Alir Pipa (RAP)
Kode Alat	:	R-01
Fungsi	:	Tempat berlangsungnya reaksi klorinasi propilene
Jenis Alat	:	Plug Flow Reactor (PFR)
Mode Operasi	:	Continu
Bahan Konstruksi	:	Baja karbon A 285
DATA DESAIN		
Tekanan (atm)	:	3
Suhu (°C)	:	400
Kapasitas (ton/tahun)	:	15.000
Kondisi Operasi	:	Non-isothermal dan Non-Adiabatis
Volume (m ³)	:	1,200
DIMENSI RAKTOR		
Shell	:	Diameter (m) : 1,006
	:	Tinggi (m) : 1,509
	:	Tebal (in) : 0,00352
Head	:	Tinggi (m) : 0,25964
	:	Tebal (in) : 0,00323
	:	Volume (m ³) : 0,13327
PENDINGIN		
Media Pendingin	:	Dowtherm A
Luas Transfer Panas (m ²)	:	$3,77 \times 10^6$
Kebutuhan Pendingin (kg/jam)	:	66,206
ISOLATOR		
Tebal (in)	:	3,27

LAMPIRAN B
PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM (PEFD)

Lampiran B Process Engineering Flow Diagram (PEFD)

[illegible]

Keterangan	
6B	Galiopteris
6C	Glomoloma
6F	Griffiths
6b	Groenland
6D	Grassland
6E	Grassland
6F	Grassland
6G	Grassland
6H	Grassland
6I	Grassland
6J	Grassland
6K	Grassland
6L	Grassland
6M	Grassland
6N	Grassland
6O	Grassland
6P	Grassland
6Q	Grassland
6R	Grassland
6S	Grassland
6T	Grassland
6U	Grassland
6V	Grassland
6W	Grassland
6X	Grassland
6Y	Grassland
6Z	Grassland

Pengendali	
PC	Pengawal jalan
LC	Pengawal keselamatan
LI	Pengawal keselamatan
PC	Pengawal keselamatan
TC	Pengawal keselamatan
MA	Pengawal keselamatan

SIMPOL	
	Notasi ars
	Simbol Suh
	relasi at
	Pipa
	Udar tekan
	Ust
	Air
	Bow
	Se

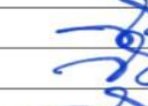
	<p>JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA</p>	
	<p><i>PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM</i></p>	
	<p>PRARANCANGAN PABRIK ALLEL KHLORIDA DARI PROPYLENE DAN CHLORINE</p>	
	<p>KAPASITAS PRODUKSI : 15 000 TONTAHUN</p>	
	<p>Dikerjakan Oleh : No Induk Mahasiswa</p>	
<p>NAMA : 1. BENING SALSABILA MUHAMMIL 2. LUTTIYAH KAMILA SARFI</p>		<p>203 210 39 203 212 19</p>
<p>PEMENGEMBANG : 1. DI. DWANA S.T. M.Sc.</p>		

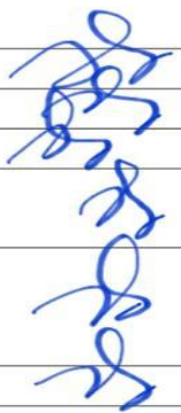
LAMPIRAN C
KARTU KONSULTASI BIMBINGAN

Lampiran C Kartu Konsultasi Bimbingan

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRA RANCANGAN PABRIK

Nama Mahasiswa 1 : Bening Salsabila Mahanani
 No. Mahasiswa 1 : 205212059
 Nama Mahasiswa 2 : Lutfi Komala Sari
 No. Mahasiswa 2 : 20521215
 Judul Pra rancangan Pabrik : Pra Rancangan Pabrik Allyl Chloride dari Propilen dan Klorin
 Mulai Masa Bimbingan : 7 April 2025
 Selesai Masa Bimbingan : 9 Januari 2026

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	3 Mei 2025	Diskusi mengenai nilai Kinetika dan data yang perlu dicari untuk penentuan kapasitas pabrik.	
2	20 Mei 2025	Konsultasi data untuk menentukan kapasitas	
3	12 Juni 2025	Persetujuan luaran 1	
4	30 Juni 2025	Konsultasi tinjauan kinetika dan termodinamika	
5	19 September 2025	Persetujuan luaran 2 dan 3	
6	23 September 2025	Konsultasi neraca massa	
7	25 September 2025	Persetujuan neraca massa dan konsultasi diagram alir	
8	20 november 2025	Persetujuan luaran 4 dan luaran 5	
9	25 November 2025	Konsultasi perancangan reaktor dan Konsultais PEFD	
10	9 Desember 2025	Perancangan reaktor dan alat besar	

11	23 Desember 2025	Perancangan reaktor dan alat besar	
12	6 Januari 2026	Persetujuan luaran 5 sampai 8	
13	7 Januari 2026	Perancangan alat pendukung	
14	8 Januari 2026	Perancangan alat pendukung dan neraca panas	
15	9 Januari 2026	Persetujuan luaran 9 samapai 12, Konsultasi utilitas dan evaluasi ekonomi	
16	9 Januari 2026	Persetujuan luaran 13 sampai 15	