

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kimia di Indonesia menunjukkan tren peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan sektor manufaktur, petrokimia, dan industri hilir. Salah satu produk kimia penting yang berperan sebagai bahan antara (*intermediate*) adalah *allyl chloride*, yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan *epichlorohydrin*, *allyl alcohol*, resin, pestisida, herbisida, serta bahan pendukung industri farmasi dan polimer (Amaury Pérez Sánchez, 2025).

Hingga saat ini, kebutuhan *allyl chloride* di Indonesia sebagian besar masih dipenuhi melalui impor. Seiring meningkatnya kebutuhan industri pengguna, ketergantungan terhadap produk impor berpotensi menimbulkan masalah ketersediaan pasokan serta meningkatkan devisa yang keluar dari dalam negeri. Oleh karena itu, pendirian pabrik *allyl chloride* di dalam negeri menjadi salah satu alternatif strategis untuk mendukung kemandirian industri kimia nasional.

Menurut (Armstrong, 2001), dalam menentukan kapasitas pabrik yang akan dirancang, diperlukan analisis terhadap kebutuhan *allyl chloride* di masa mendatang. Berdasarkan data impor *allyl chloride* di Indonesia yang didapat dengan pendekatan menggunakan metode ekstrapolasi linier untuk memprediksi kebutuhan di tahun-tahun berikutnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kebutuhan *allyl chloride* mengalami peningkatan setiap tahunnya dan diperkirakan mencapai 161,954 ton/tahun pada tahun 2029.

Selain kebutuhan dalam negeri, analisis terhadap data impor beberapa negara seperti Australia, Vietnam, Turki, dan Afrika Selatan juga menunjukkan tren peningkatan kebutuhan *allyl chloride* secara global. Hal ini mengindikasikan bahwa peluang pasar *allyl chloride* tidak hanya terbatas pada kebutuhan domestik, tetapi juga memiliki potensi ekspor yang cukup besar. Oleh karena itu, penentuan kapasitas pabrik sebesar 18.000 ton/tahun dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan dalam negeri serta peluang pasar internasional.

Allyl chloride secara komersial umumnya diproduksi melalui dari beberapa

proses antara lain *chlorination propylene* pada suhu tinggi, dan *oxychlorination*. Di antara kedua proses tersebut, proses *chlorination propylene* dipilih karena memiliki konversi dan selektivitas yang tinggi, proses yang relatif sederhana, serta didukung oleh ketersediaan bahan baku *propylene* dan *chlorine* yang melimpah di Indonesia.

Selain pemilihan proses dan kapasitas, penentuan lokasi pabrik juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan operasional pabrik baik dari segi teknis maupun ekonomis. Lokasi pabrik harus mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, akses transportasi, utilitas, tenaga kerja, serta kedekatan dengan pasar. Berdasarkan pertimbangan tersebut, kawasan industri Cilegon, Banten dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik karena memiliki akses yang baik terhadap sumber bahan baku dari industri petrokimia, infrastruktur transportasi yang memadai, serta ketersediaan utilitas yang mendukung operasional pabrik.

Dengan mempertimbangkan aspek kebutuhan pasar melalui metode ekstrapolasi, pemilihan proses yang efisien, serta lokasi pabrik yang strategis, maka dilakukan pra-rancangan pabrik *allyl chloride* dengan kapasitas 18.000 ton/tahun. Diharapkan dengan berdirinya pabrik ini dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri, mengurangi ketergantungan impor, serta meningkatkan daya saing industri kimia nasional.

1.2 Rumusan Masalah

1. Meningkatnya kebutuhan *allyl chloride* di Indonesia yang masih bergantung pada impor
2. Belum optimalnya pemanfaatan bahan baku *propylene* dan *chlorine* dalam negeri.
3. Perlunya kajian teknis dan ekonomis pendirian pabrik.

1.3 Tujuan Pra-Rancangan Pabrik

1. Merancang pabrik *allyl chloride* kapasitas 18.000 ton/tahun.
2. Mengoptimalkan efisiensi energi pada proses *chlorination propylene*
3. Menganalisis kelayakan teknis dan ekonomi awal.

1.4 Manfaat Prarancangan

Mengurangi impor, meningkatkan industri kimia nasional, membuka lapangan kerja, dan menjadi referensi akademik.

1.5 Batasan Masalah

Pembahasan dalam pra-rancangan pabrik *allyl chloride* ini dibatasi pada penggunaan proses *chlorination propylene* sebagai metode produksi utama. Analisis yang dilakukan mencakup aspek teknis dan ekonomi awal, yang meliputi penentuan kondisi operasi, perhitungan neraca massa, serta estimasi biaya produksi berdasarkan harga bahan baku dan produk.

1.6 Penentuan Kapasitas Pra-rancangan Pabrik

Kapasitas dipilih berdasarkan kebutuhan pasar, skala ekonomis, dan fleksibilitas ekspor. Kapasitas produksi dapat diartikan sebagai jumlah produk yang diproduksi dalam satuan waktu tertentu. Pabrik yang didirikan harus mempunyai kapasitas produksi optimal yaitu jumlah dan jenis produk yang dihasilkan harus dapat menghasilkan laba yang maksimal dengan biaya minimal.

Faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas rancangan pabrik *allyl chloride* antara lain:

1. Kebutuhan *allyl chloride* di Indonesia
2. Kapasitas rancangan minimum
3. Kebutuhan *allyl chloride* di luar negeri
4. Pemilihan lokasi pabrik

1.6.1 Kebutuhan *Allyl Chloride* di Indonesia

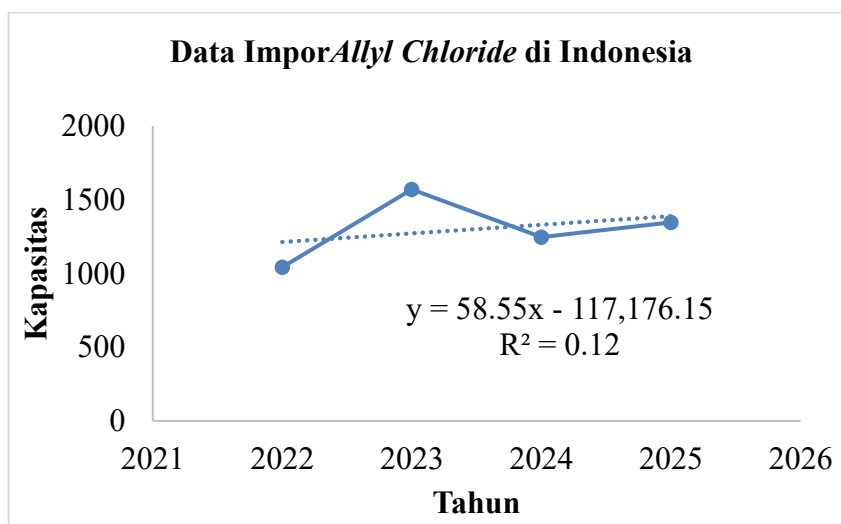
Dalam pemilihan kapasitas pabrik *allyl chloride* ada beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan yaitu jumlah konsumsi produk, pasokan bahan baku yang akan digunakan, dan kapasitas produksi maka dilakukan analisa untuk mendapatkan kapasitas produksi perancangan. Kebutuhan data impor diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) berdasarkan kode HS yang mencakup kelompok senyawa klorin organik. Data ini digunakan sebagai pendekatan untuk menggambarkan tren kebutuhan *allyl chloride* di Indonesia. Perkembangan jumlah impor *allyl chloride* Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Kebutuhan Impor *Allyl Chloride* di Indonesia

Tahun	Impor (Ton/Tahun)
2022	1.042,49
2023	1.569,85
2024	1.246,02
2025	1.345,60

Sumber: (BPS 2022-2025)

Berdasarkan Tabel 1.1 maka dapat dibuat suatu persamaan linier agar dapat memperkirakan kebutuhan *allyl chloride* pada tahun 2029 seperti pada Gambar 1.1



Gambar 1.1 Data Kebutuhan *Allyl Chloride* di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.1, dapat dilihat bahwa data impor *allyl chloride* di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Kenaikan ini mengindikasikan bahwa kebutuhan *allyl chloride* dalam negeri semakin bertambah, yang kemungkinan disebabkan oleh meningkatnya aktivitas industri hilir, seperti produksi epiklorohidrin, resin, dan bahan kimia lainnya yang menggunakan *allyl chloride* sebagai bahan baku. Selain itu, peningkatan ini juga dapat dipengaruhi oleh pertumbuhan sektor industri kimia serta belum tersedianya produksi domestik yang mencukupi kebutuhan nasional. Untuk memperkirakan kebutuhan *allyl chloride* pada tahun-tahun mendatang, digunakan metode ekstrapolasi dengan persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y &= a(x) + b \dots\dots\dots(1.1) \\
 &= 58.55(x) - 117,176.15 \\
 &= 58.55(2029) - 117,176.15 \\
 &= 1.621,8 \text{ ton/tahun.}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat diperkirakan kebutuhan *allyl chloride* di Indonesia pada tahun 2029 adalah 1.621,8 ton/tahun, sehingga hasil ekstrapolasi dapat dilihat pada Tabel 1.2 berikut.

Tabel 1.2 Data Ekstrapolasi Impor *Allyl Chloride* di Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2026	1.446,15
2027	1.504,7
2028	1.563,25
2029	1.621,8

Sumber: (Data Ekstrapolasi, 2025)

Hasil ekstrapolasi menunjukkan bahwa kebutuhan *allyl chloride* ditahun 2029 sebanyak 1.621,8 ton/tahun, cenderung meningkat di tahun yang akan mendatang. Secara matematis, hasil ini menggambarkan adanya tren pertumbuhan permintaan yang cukup signifikan dan sejalan dengan perkembangan industri yang menggunakan *allyl chloride* sebagai bahan baku. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pasar *allyl chloride* di Indonesia memiliki potensi yang terus berkembang. Dengan adanya tren tersebut, kebutuhan di masa depan diperkirakan akan tetap meningkat, sehingga diperlukan perencanaan yang matang agar ketersediaan *allyl chloride* dapat terpenuhi secara optimal.

1.6.2 Kebutuhan Impor *Allyl Chloride* di Beberapa Negara

Analisa terhadap data impor *allyl chloride* di beberapa negara dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini sangat penting untuk menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor *allyl chloride* selama periode 2022-2025 dapat dilihat pada tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Impor *Allyl Chloride* di Beberapa Negara

Tahun	Negara (Ton/Tahun)			
	Australia	Vietnam	Turki	South Afrika
2022	4.112	1.450	1.324	2.347
2023	4.208	1.657	1.532	2.757
2024	4.500	1.763	1.691	3.092
2025	4.800	1.800	1.890	3.427

Sumber: (UN Comtrade, 2025)

Data kebutuhan beberapa negara berdasarkan persamaan garis linear hingga tahun 2029 dapat dilihat pada tabel 1.4

Tabel 1.4 Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan *Allyl Chloride* di Beberapa Negara

Tahun	Negara (Ton/Tahun)				Total
	Australia	Vietnam	Turki	South Afrika	
2026	4.993	1.956	2.033	3.799	12.781
2027	5.229	2.072	2.206	4.156	13.663
2028	5.464	2.187	2.380	4.514	14.545
2029	5.700	2.303	2.554	4.871	15.428

Sumber : (Data Ekstrapolasi, 2026)

Dari Tabel 1.4 diperoleh total kebutuhan impor *allyl choride* dari keempat negara tersebut pada tahun 2029 semakin meningkat. Dengan mengekstrapolasi kebutuhan tersebut, diperkirakan pada tahun 2029 kebutuhan akan meningkat hingga 15.428 ton/tahun.

Selain itu ada beberapa pabrik yang memproduksi *allyl chloride* didunia. Pabrik tersebut ialah yaitu *Solvay S.A* di Belgia, *Befar Group Co. LTD*, *Kashima Chemical Co. LTD*, *DOW*, *OSAKA SODA*. Data kapasitas pabrik yang telah berdiri di beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 1.5

Tabel 1.5 Daftar Pabrik *Allyl Chloride*

No.	Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
1.	Solvay S.A	20.000
2.	Befar Group Co.LTD	60.000
3.	Kashima Chemical Co., LTD	25.000
4.	OSAKA SODA	40.000
5.	DOW	360.000

Sumber: (*Grand View Research, 2024*)

1.6.3 Kapasitas Perancangan

Pabrik yang akan didirikan harus memiliki kapasitas minimal atau sama dengan kapasitas pabrik acuan yang sedang berjalan. Berdasarkan kapasitas pabrik *allyl chloride* yang telah ditetapkan dan disesuaikan dengan data pabrik acuan.

Berdasarkan data konsumsi dan produksi dari beberapa negara, maka pabrik *allyl chloride* direncanakan akan beroperasi dengan kapasitas 18.000 ton/tahun. Dimana produk ini sebanyak 10% akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia sedangkan 90% lagi akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan luar negeri. Kapasitas perancangan pabrik *allyl chloride* ini sengaja ditetapkan sebesar itu dengan harapan:

1. Dapat memenuhi kebutuhan *allyl chloride* dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun, serta mengurangi ketergantungan pada negara lain.
2. Dapat memberikan kesempatan bagi berdirinya industri-industri lain yang menggunakan *allyl chloride* sebagai bahan baku. Dan dampak positif dari berkembangnya industri-industri baru tersebut adalah dapat menyerap banyak tenaga kerja dan mengurangi angka pengangguran di Indonesia.

Apabila terpenuhi kebutuhan dalam negeri, sisa produk dapat diekspor keluar negeri diantaranya sehingga dapat menambah devisa negara.

1.7 Seleksi Pemilihan Proses

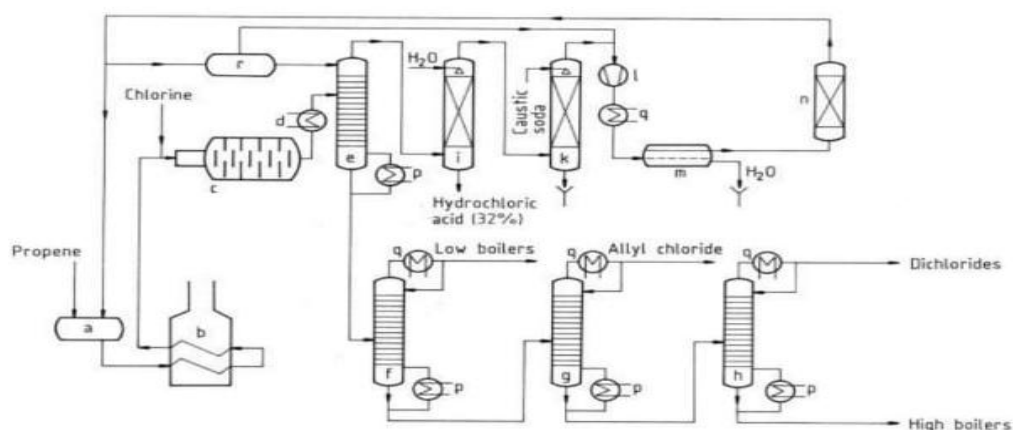
Macam-macam proses pembuatan *allyl chloride*

1. Proses *Chlorination Propylene*

2. Proses *Oxychlorination*

1.7.1 Proses *Chlorination Propylene*

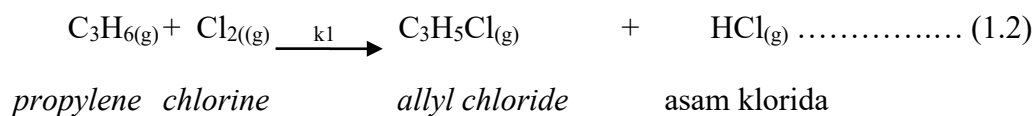
Proses *chlorination propylene* merupakan reaksi kimia fase gas antara hidrokarbon tak jenuh seperti *Propylene* dengan *Chlorine* pada suhu tinggi untuk menghasilkan senyawa organoklorin, terutama *Allyl chloride*, melalui mekanisme substitusi radikal bebas. Reaksi ini berlangsung dengan cara penggantian atom hidrogen pada gugus alilik oleh atom klorin, sehingga menghasilkan *allyl chloride* dan hidrogen klorida (HCl) sebagai produk samping. Menurut (Pérez Sánchez, 2025), *chlorination of propylene* merupakan metode utama dalam produksi *allyl chloride* secara industri karena memiliki efisiensi tinggi dan proses yang relatif sederhana. Selain itu, studi oleh (Wang, 2022) menyatakan bahwa reaksi ini dipengaruhi oleh kondisi operasi seperti suhu, waktu tinggal, dan rasio reaktan, yang berperan penting dalam menentukan selektivitas terhadap produk yang diinginkan. Dengan demikian, *chlorination of propylene* dapat didefinisikan sebagai proses reaksi klorinasi hidrokarbon tak jenuh pada fase gas melalui mekanisme radikal bebas untuk menghasilkan senyawa klorinasi secara efisien dalam skala industri. *Chlorine* dan *propylene* yang telah diuapkan kemudian dipanaskan hingga suhu 300°C. Kemudian dialirkan menuju reaktor.



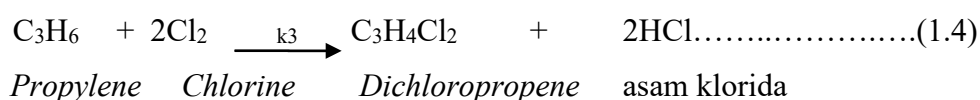
Gambar 1.2 Diagram Alir Proses *Chlorination*, *Ulmans Encyclopedia Of Industrial Chemistry*

Dimana terjadi proses *chlorination propylene* menjadi *allyl chloride*, reaksi yang terjadi:

Reaksi Utama:



Reaksi Samping:



Selanjutnya hasil keluaran dari alat sebelumnya dipompakan ke dalam menara distilasi untuk proses pemurnian produk. *Allyl chloride* yang terbentuk selama proses reaksi dialirkan ke tangki penyimpanan produk. Diagram alir proses *chlorination* dapat dilihat pada Gambar 1.2 Cara ini merupakan yang sering digunakan pada pembuatan *allyl chloride* secara komersial. Berikut uraian proses *chlorination propylene*:

1. Uraian Proses *Chlorination Propylene*

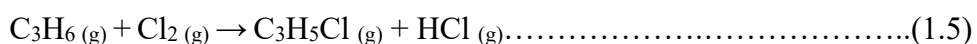
Bahan baku utama pada proses pembuatan *Allyl Chloride* adalah *propylene* (C_3H_6) dan *chlorine* (Cl_2). *Propylene* disimpan dalam bentuk cair di dalam tangki penyimpanan T-100 pada suhu 30°C dan tekanan 14 atm untuk menjaga stabilitas fase dan efisiensi penyimpanan. Komposisi *propylene* diasumsikan sebesar 99,5% wt dengan pengotor berupa propane. *Chlorine* disimpan secara terpisah dalam bentuk cair di dalam tangki T-101 pada suhu 30°C dan tekanan 14 atm. Penyimpanan *chlorine* dilakukan pada kondisi ini untuk mengurangi reaktivitas serta meningkatkan aspek keselamatan operasi.

Propylene dari tangki dipompa menggunakan pompa P-100 menuju *Vaporizer* VAP-100, dimana *propylene* diuapkan hingga fase gas pada suhu sekitar 150°C dan tekanan 14 atm menggunakan media pemanas dari utilitas. Selanjutnya, tekanan aliran gas *propylene* diturunkan menggunakan *expander* EKS-100 hingga mencapai tekanan operasi reaktor, yaitu 3 atm, dengan suhu sekitar 97°C . Proses yang sama dilakukan pada *chlorine*. *Chlorine* cair dari tangki dipompa menggunakan pompa P-101 menuju *Vaporizer* VAP-101 untuk diuapkan hingga

fase gas pada suhu $\pm 140^{\circ}\text{C}$. Tekanan *chlorine* kemudian diturunkan menggunakan *expander* EXS-101 hingga mencapai tekanan 3 atm dengan suhu sekitar 45°C .

Selanjutnya, aliran gas *propylene* dan *chlorine* dipanaskan secara bertahap di dalam *heat exchanger preheater* (HE-100) hingga mencapai suhu 300°C sebelum masuk ke reaktor. Pemanasan awal ini bertujuan untuk mengurangi beban pemanasan di dalam reaktor dan meningkatkan efisiensi energi proses.

Aliran gas *propylene* dan *chlorine* yang telah mencapai kondisi operasi dicampurkan dan diumpankan ke dalam reaktor PFR-100. Reaktor yang digunakan adalah reaktor *fixed bed multitube* yang beroperasi secara non-isotermal dan non-adiabatik. Di dalam reaktor terjadi reaksi klorinasi *propylene* menurut reaksi:



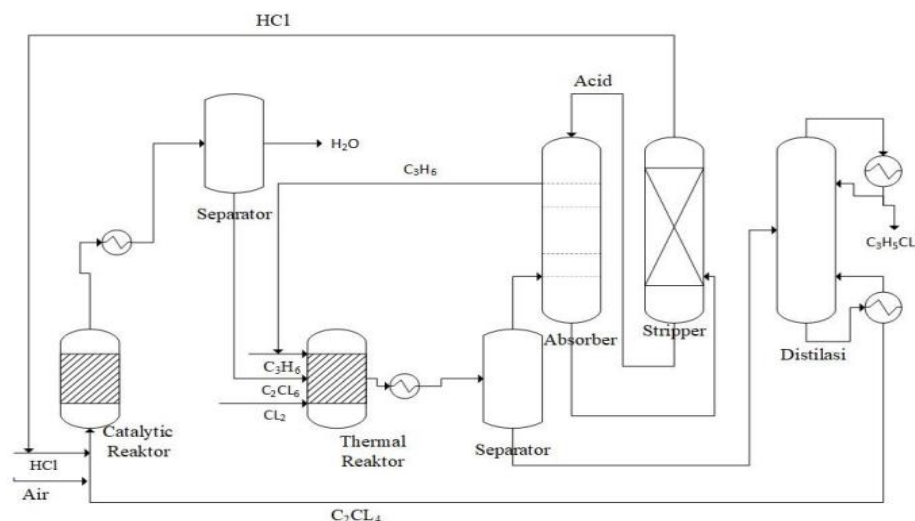
Reaktor dioperasikan pada suhu optimum 500°C dan tekanan 3 atm dengan konversi 99%. Produk keluar reaktor berupa campuran gas *Allyl Chloride*, HCl, serta sisa *propylene* yang tidak bereaksi. Produk keluar reaktor dialirkan ke *Heat Exchanger* (HE-100 dan *Heat Exchanger* (HE-101) untuk memanfaatkan panas keluaran reaktor sebagai *pre-heater* ke reaktan yang mengalir pada bagian *shell*. Kemudian produk akan didinginkan bertahap hingga suhu 30°C untuk dilakukan pemisahan menggunakan Menara destilasi MD-100.

Pada destilasi terjadi pemisahan berdasarkan titik didih, dimana produk atas berupa HCl, *propylene*, dan *chlorine* yang tidak bereaksi. Kemudian produk atas akan di pompa (P-102) dan disimpan didalam tangki T-102. Sedangkan untuk produk bawah berupa *allyl chloride* di turunkan suhu nya menggunakan *cooler* (C-100) sebelum di alirkan menggunakan pompa (P-104) menuju ke tangki penyimpanan (T-103).

1.7.2 Proses *Oxychlorination*

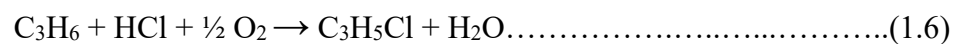
Proses *oxychlorination* merupakan reaksi kimia fase gas yang melibatkan hidrokarbon seperti *Propylene*, sumber klorin seperti *Hydrogen chloride*, serta oksigen (O_2) dengan bantuan katalis logam klorida untuk menghasilkan senyawa organoklorin dan air. Proses ini dikenal sebagai metode penting dalam industri karena mampu memanfaatkan kembali HCl sebagai sumber klorin dan meningkatkan efisiensi produksi. Menurut (Ma *et al.*, 2020), *oxychlorination*

merupakan teknologi kunci dalam industri kimia yang digunakan untuk menghasilkan senyawa klorinasi melalui mekanisme reaksi katalitik dengan efisiensi tinggi. Selain itu, (El Bazi *et al.*, 2024) menyatakan bahwa proses *oxychlorination* berlangsung dalam reaktor fase gas seperti *fluidized bed* dengan kondisi operasi tertentu untuk mengoptimalkan konversi dan selektivitas produk. Dengan demikian, *oxychlorination* dapat didefinisikan sebagai proses reaksi katalitik antara hidrokarbon, oksigen, dan senyawa klorin yang berlangsung pada fase gas untuk menghasilkan produk organoklorin secara efisien dalam skala industri.



Gambar 1.3 Diagram Alir Proses *Oxychlorination*, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*

Pada proses *oxychlorination* antara *propylene* dengan HCl dan O₂ direaksikan dalam *fluidize* reaktor dengan menggunakan katalis litium klorida pada temperatur reaksi 300°C - 400°C (Treger *et al.*, 1988) reaksi proses *oxychlorination* antara *propylene* dengan HCl dan O₂ sebagai berikut :



Gas hasil reaksi yang keluar dari reaktor akan masuk ke dalam separator untuk memisahkan katalis yang terbawa. Pemurnian reaktan yang tidak bereaksi dengan *allyl chloride* pada proses ini digunakan distilasi, dimana *yield* yang dihasilkan yaitu 4-6% (Kirk and Othmer, 1968).

Katalis yang digunakan pada proses *oxychlorination* adalah Palladium (Pd) yang didukung pada Al_2O_3 dan bekerja sebagai katalis heterogen. Katalis ini berfungsi mempercepat reaksi antara propilena, HCl, dan O_2 . Dalam operasi, katalis tidak habis tetapi mengalami deaktivasi akibat sintering dan *fouling*, sehingga diperlukan *make-up catalyst*. Umur pakai katalis palladium umumnya berkisar 2–4 tahun dengan kemungkinan regenerasi selama operasi. Pada kapasitas produksi 18.000 ton/tahun dengan 330 hari operasi, diasumsikan kebutuhan katalis sebesar 0,2% dari produksi harian dan *make-up* sebesar 0,05%.

1. Uraian Proses *Oxychlorination*

Proses *oxychlorination* merupakan salah satu metode produksi *allyl chloride* yang melibatkan reaksi antara propilen (C_3H_6), hidrogen klorida (HCl), dan oksigen (O_2) dengan bantuan katalis. Reaksi berlangsung dalam fase gas di dalam reaktor katalitik pada suhu sekitar 200–300°C dan tekanan 1–5 atm dengan menggunakan katalis berbasis CuCl_2 , seperti CuCl_2 atau Al_2O_3 . Reaksi ini bersifat eksotermis sehingga memerlukan pengendalian temperatur untuk menjaga selektivitas terhadap produk *allyl chloride*. Produk dari reaktor katalitik kemudian dialirkan ke reaktor termal yang beroperasi pada suhu lebih tinggi, yaitu sekitar 350–500°C dan tekanan 1–3 atm, dengan tujuan meningkatkan konversi reaksi yang belum sempurna pada tahap sebelumnya.

Campuran produk yang keluar dari reaktor selanjutnya didinginkan menggunakan penukar panas hingga mencapai suhu sekitar 40–80°C sebelum dipisahkan dalam unit separator menjadi fase gas dan fase cair. Fase gas yang masih mengandung HCl, oksigen dan propilen yang tidak bereaksi dialirkan ke unit absorber yang beroperasi pada suhu 30–50°C dan tekanan mendekati atmosfer, di mana HCl diserap menggunakan air membentuk larutan asam klorida dengan konsentrasi sekitar 30–35%. Larutan tersebut kemudian diproses dalam unit *stripper* pada suhu 80–120°C dan tekanan 1–2 atm untuk melepaskan kembali HCl terlarut sehingga dapat digunakan kembali sebagai umpan proses.

Sementara itu, fase cair yang mengandung *allyl chloride* dan senyawa organik lainnya dialirkan ke unit distilasi untuk pemurnian. Distilasi dilakukan pada tekanan sekitar 1–2 atm dengan suhu bagian atas kolom berkisar 40–60°C dan suhu

bagian bawah sekitar 90–130°C. Pada tahap ini diperoleh *allyl chloride* sebagai produk utama, sedangkan senyawa klorinasi lain seperti di *chlorides* dan komponen berat dipisahkan sebagai produk samping. Secara umum, proses *oxychlorination* memiliki karakteristik berupa penggunaan HCl dan oksigen sebagai reaktan serta melibatkan sistem pemisahan dan *recycle*, dengan kompleksitas proses yang relatif lebih tinggi dibandingkan klorinasi langsung.

1.7.3 Uji Ekonomi Awal

Uji Ekonomi Awal proses pembuatan *Allyl Chloride* dapat dilihat dalam Tabel 1.6, Tabel 1.7

Tabel 1.6 Analisa Ekonomi Awal Proses *Chlorination Propylene*

Komponen	BM (g/mol)	Kebutuhan (kg)	Harga (Rp/kg)	Harga Total
Bahan Baku				
<i>propylene</i>	42,08	$(1\text{mol} \times 42,08 \text{ g})/1000$ = 0,042	19.000	Rp. 798,00
<i>Chlorine</i>	70,9	$(1\text{mol} \times 70,9)/1000$ = 0,070	10.000	Rp. 700,00
Total Biaya Bahan Baku				Rp. 1.498,00
Produk				
<i>Allyl Chloride</i>	76,5	$(1\text{mol} \times 76,5)/1000$ = 0,076	28.000	Rp. 2.128,00
HCl	36,5	$(1 \text{ mol} \times 36,5) /1000$ = 0,036	4.000	Rp. 146,00
Total Nilai Produk				Rp. 2.274,00
Analisa Ekonomi Awal		(Harga Produk) – (Harga Total Bahan Baku) $= (2.274,00) - (1.498,00)$ $= \text{Rp.} 776,00$		

Sumber: (Imarc, 2024)

Dari hasil Analisa ekonomi awal pada tabel 1.13 *Net Profit Margin* diperoleh:

$$\text{Net Profit Margin} = \frac{\text{Analisa Ekonomi}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$= \frac{776}{1.498} \times 100\% = 51\%$$

Tabel 1.7 Analisa Ekonomi Awal Proses *Oxychlorination*

Komponen	BM (g/mol)	Kebutuhan (kg)	Harga (Rp/kg)	Harga Total
Bahan Baku				
<i>Propylene</i>	42	(1 mol x 42 g)/1000 = 0,042	19.000	Rp. 798,00
HCl	36,5	(1 mol x 36,5 g)/1000 = 0,0365	4000	Rp. 146,00
O ₂	32	(0,5 mol x 32 g)/1000 = 0,016	0	Rp.0
Total Biaya Bahan Baku				Rp. 944,00
Produk				
<i>Allyl Chloride</i>	76,5	(1 mol x 76,5 g)/1000 = 0,0765	28.000	Rp. 2.128,00
Air (H ₂ O)	18	(1 mol x 18 g)/ 1000 = 0,018	0	Rp. 0
Total Nilai Produk				Rp. 2.128,00
Analisa Ekonomi Awal		(Harga Produk) - (Harga Total Bahan Baku) = (Rp.2.128,00) - (Rp. 944,00) = Rp. 1.184,00		

Sumber: (Imarc, 2024)

Bedasarkan hasil Analisa ekonomi awal pada tabel 1.7 maka *Net Profit Margin* diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \text{Net Profit Margin} &= \frac{\text{Analisa Ekonomi}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{\text{Rp.1.184,00}}{\text{Rp.944}} \times 100\% \\
 &= 125\%
 \end{aligned}$$

1.7.4 Perbandingan Proses

Perbandingan proses pembuatan *Allyl Chloride* dapat dilihat dalam Tabel

Tabel 1.8 Perbandingan Proses Pembuatan *Allyl Chloride*

Parameter	<i>Chlorination Propylene</i>	<i>Oxychlorination</i>
Bahan baku	- <i>Propylene</i> - <i>Chlorine</i>	- <i>Propylene</i> - HCl - O ₂
Katalis	FeCl ₃	Palladium
Suhu	500°C	300-400°C
Tekanan	3 atm	5 atm
Reaktor	<i>Fixed bed</i>	<i>Fluidized bed</i>
Konversi	99%	85%
Hasil samping	- HCl - C ₃ H ₄ Cl ₂ - 2 <i>chloropropene</i>	- H ₂ O
Kekurangan	Perlu perhatian lebih pada temperatur	Konversi rendah aktivitas katalis cepat memburuk . Alat yang digunakan kompleks
Kelebihan	Proses sederhana, selektivitas tinggi, konversi tinggi	Memanfaatkan HCl (efisien bahan baku)
Ekonomi Awal	Rp. 776 = 51%	Rp.1.184 = 125%

Sumber : *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*

Tabel 1.9 Daftar Perusahaan Pemasok Bahan Baku *Propylene*

No.	Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
1.	Chandra Asi Group	237.000
2.	Exxon Mobil Corporation	592.000
3.	Lotte Chemical Indonesia	1.697.000
4.	PT. Polytama Propindo	300.000

Sumer: (Mondor Interlegence, 2026)

Tabel 1.10 Daftar Perusahaan Pemasok Bahan Baku *Chlorine*

No.	Perusahaan	Kapasitas (Ton/tahun)
1.	PT. Sulfindo Adiusaha	320.000
2.	PT. Asahimas Chemical	700.000
3.	PT. Chandra Asri Alkali	400.000

Sumber: (PT Sulfindo Adiusaha, 2026; PT Asahimas Chemical, 2026; Chandra Asri Group, 2026)

Dari perbandingan kedua proses pembuatan *allyl chloride*, yaitu *chlorination propylene*, *oxychlorination*, proses *chlorination propylene* dipilih sebagai proses yang paling layak. Pemilihan ini didasarkan pada aspek konversi, selektivitas, kompleksitas proses, kondisi operasi, dan ekonomi.

Dari sisi konversi, *chlorination propylene* memiliki nilai paling tinggi yaitu sekitar 99%, dibandingkan *oxychlorination* sebesar $\pm 85\%$. Hal ini menunjukkan bahwa *chlorination* lebih efisien dalam mengubah bahan baku menjadi produk.

Dari segi selektivitas, *chlorination propylene* lebih unggul karena menghasilkan produk samping yang relatif lebih sedikit. *Oxychlorination* juga memiliki selektivitas lebih rendah karena reaksi yang lebih kompleks, sedangkan *allyl alcohol* memiliki selektivitas tinggi tetapi bergantung pada kemurnian bahan antara.

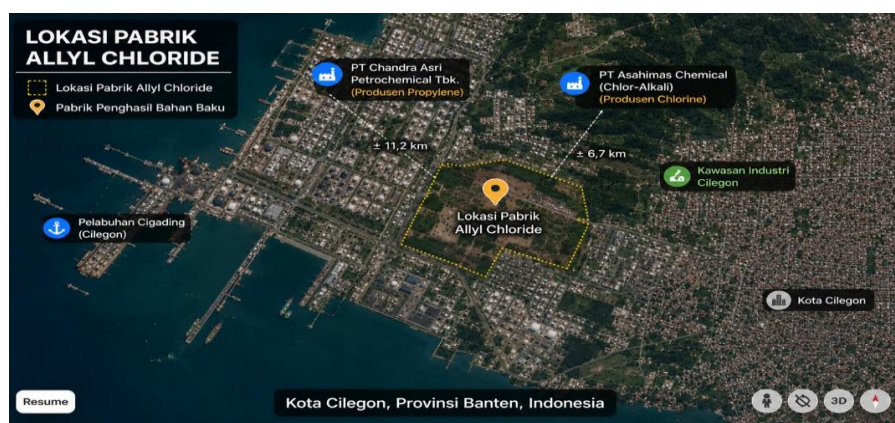
Dari kompleksitas proses, *chlorination propylene* lebih sederhana karena menggunakan reaktor *fixed bed*, sedangkan *oxychlorination* menggunakan *fluidized bed* dengan tambahan unit seperti *absorber* dan *recycle*. Dari kondisi operasi,

chlorination beroperasi pada suhu tinggi sekitar 500–510°C, sedangkan *oxychlorination* (200–300°C) beroperasi pada kondisi lebih rendah namun dengan sistem yang lebih kompleks.

Dari sisi ekonomi awal, *chlorination* menunjukkan keuntungan sekitar 51%, *oxychlorination* sekitar 125%. Meskipun *oxychlorination* memiliki nilai lebih tinggi, namun dipengaruhi oleh biaya katalis yang mahal dan kompleksitas proses. Berdasarkan pertimbangan konversi yang tinggi (~99%), selektivitas yang baik, proses yang lebih sederhana, serta ekonomi yang cukup menguntungkan (~60%), maka proses *chlorination propylene* dipilih sebagai proses yang paling layak untuk perancangan pabrik *allyl chloride*.

1.8 Pemilihan Lokasi Pabrik

Keberhasilan operasional pabrik *allyl chloride*, baik dari sisi teknis maupun ekonomi, sangat bergantung pada penentuan lokasi yang strategis. Oleh karena itu, Cilegon dipilih sebagai lokasi pembangunan pabrik dengan mempertimbangkan aspek ketersediaan bahan baku, kemudahan transportasi, jangkauan pemasaran, akses tenaga kerja, kondisi lingkungan, serta ketersediaan utilitas yang memadai. Gambar 1.4 berikut merupakan kawasan yang dipilih sebagai lokasi pendirian pabrik *allyl chloride* yang didapatkan dari *Google Earth* (2026).



Gambar 1.4 Lokasi Pendirian Pabrik *Allyl Chloride*

Penentuan lokasi pabrik yang berada Kawasan Cilegon yang ditunjukkan pada Gambar 1.4 dipilih sebagai lokasi berdirinya pabrik *allyl chloride* didasarkan pada pertimbangan aspek produksi dan distribusi yang berpengaruh langsung terhadap keberlangsungan operasional, yaitu sebagai berikut:

1. Ketersediaan bahan baku Lokasi pemilihan pabrik harus berdekatan dengan lokasi sumber bahan baku. Bahan baku yang digunakan merupakan *propylene* dari Chandra Asri Pacific Tbk dengan kapasitas produksi 490.000 ton/tahun dan *chlorine* yang didapatkan dari Asahimas Chemical dengan kapasitas produksi 620.000 ton/tahun.

2. Pemasaran produk

Lokasi pabrik harus mendekati dengan keberadaan konsumen. Pemasaran produk merupakan salah satu yang mempengaruhi kelayakan proses dan menjamin kelangsungan pabrik. *Allyl chloride* merupakan produk *intermediate* dan banyak dibutuhkan pada kawasan industri.

3. Sarana transportasi

Penetapan lokasi pendirian pabrik *allyl chloride* di Cilegon, Banten memenuhi kriteria lokasi dengan pertimbangan beberapa infrastruktur berikut:

a. Transportasi Darat

Jarak antara lokasi bahan baku *propylene* yang didapatkan dari Chandara Asri Pacific Tbk dengan kawasan pendirian pabrik di Cilegon dapat ditempuh dengan menggunakan transportasi darat dengan jarak kurang lebih 2-5 km. Sementara itu bahan baku *chlorine* dari Asahimas Chemical dapat ditempuh dengan jarak kurang lebih 2-4 km.

b. Transportasi Udara

Selanjutnya transportasi udara dapat dilakukan pada Bandar Udara Soekarno-Hatta International Airport yang berada di Kota Tangerang, Banten. Dimana jarak dari lokasi pendirian pabrik ke bandara berada sejauh kurang lebih 95 km

c. Transportasi Laut

Jarak antara lokasi pendirian pabrik *allyl chloride* berdekatan dengan Pelabuhan Cigading dengan jarak kurang lebih 5-8 Km.

4. Ketersediaan tenaga kerja

Lokasi pabrik di Kota Cilegon didukung oleh keberadaan beberapa perguruan tinggi, terutama *Engineering Faculty of Sultan Ageng Tirtayasa University* yang memiliki program studi Teknik Kimia, Teknik Mesin, Teknik

Elektro, dan Teknik Industri sehingga dapat menjadi sumber tenaga kerja terdidik bagi pabrik. Selain itu, terdapat Sekolah Tinggi Analis Kimia Cilegon dan Universitas Al-Khairiyah yang turut mendukung ketersediaan sumber daya manusia di wilayah Cilegon. Kebutuhan air dan listrik

Dalam pendirian pabrik, perlu diperhatikan terkait kebutuhan tenaga listrik dan air yang digunakan. Kebutuhan air yang diperlukan pabrik diperoleh dari sumber pasokan air yang terletak dekat dengan lokasi pendirian pabrik yaitu dari air Sungai Cidanau. Sementara itu, kebutuhan listrik didapatkan dari PT PLN (Persero) yang terhubung dalam sistem interkoneksi Jawa-Bali dan tersedia di Kawasan tersebut dengan dukungan pembangkit listrik seperti PLTU Paiton. Untuk menjamin kontinuitas operasional, pabrik juga dilengkapi dengan generator sebagai sumber listrik cadangan.

Faktor lain yang berpengaruh tidak secara langsung berperan dalam proses operasional pabrik, akan tetapi berpengaruh dalam kelancaran operasional pabrik. diantaranya adalah:

a. Perluasan pabrik

Faktor perluasan pabrik berkaitan dengan pertimbangan adanya ekspansi pabrik dalam kurun waktu 10 hingga 20 tahun kedepan. Hal ini penting untuk dipertimbangkan agar tidak kesulitan dalam mencari lahan perluasan.

b. Perizinan Pemerintah setempat telah menetapkan Cilegon sebagai kawasan industri yang sangat terbuka terhadap investor. Sebagai fasilitator, pemerintah akan memberikan kemudahan dalam proses pengembangan industri diantaranya adalah hal perizinan, pajak dan hal-hal lain terkait teknis pendirian pabrik.

c. Masyarakat

Masyarakat sudah terbiasa dengan lingkungan industri sehingga dapat beradaptasi dengan mudah. Hal ini karena dengan berdirinya pabrik maka akan tersedia pula lapangan pekerjaan bagi masyarakat. Selain itu pendirian pabrik juga akan mempertimbangkan keselamatan dan keamanan masyarakat sehingga tidak perlu khawatir akan dampak yang di peroleh.

d. Iklim

Dalam pendirian pabrik perlu ditinjau beberapa hal yang dapat mempengaruhi kondisi operasi yaitu iklim berupa kelembaban udara, panas matahari, dan lain-lain. Dimana hal ini mempunyai pengaruh terhadap pengolahan, penyimpanan bahan baku maupun produk