

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kimia merupakan salah satu industri manufaktur terbesar di seluruh negara maju maupun negara berkembang termasuk Indonesia dan salah satunya sektor industri. Sektor industri merupakan faktor penggerak pembangunan yang dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Khususnya pengembangan dalam industri kimia yang menghasilkan bahan jadi maupun *intermediate* sehingga dapat memenuhi kebutuhan impor dan ekspor. Indonesia sebagai salah satu negara yang mempunyai sumber daya alam maupun sumber daya manusia yang berlimpah sangat berpotensi untuk mengembangkan industri dalam negeri terutama industri-industri yang bersifat padat modal maupun padat teknologi dan mempunyai prospek pemasaran yang menguntungkan. Salah satu industri yang mempunyai persyaratan diatas adalah industri pembuatan akrolein.

Pemerintah perlu memberikan perhatian khusus terhadap pengembangan industri kimia dasar. Kemajuan industri ini dapat menciptakan peluang kerja baru bagi masyarakat Indonesia, yang pada akhirnya akan meningkatkan kesejahteraan mereka. Seiring dengan meningkatnya permintaan, sektor industri juga harus berkembang. Oleh karena itu, pemerintah terus mendorong pembangunan di sektor industri, khususnya dalam bidang industri kimia dasar. Salah satu upaya yang dilakukan adalah pembangunan pabrik akrolein.

Akrolein dengan nama IUPAC *Acraldehyde*, *Acrylic Aldehyde*, *Allyl Aldehyde*, *Ethylene Aldehyde* merupakan aldehida tak jenuh yang paling sederhana. Akrolein adalah perantara penting dalam proses produksi berbagai zat. Penggunaan utama akrolein terisolasi adalah dalam produksi D,L –metionin, tetapi dalam produksi yang jauh lebih banyak proses. Akrolein adalah bahan kimia yang sangat efektif dan dalam konsentrasi yang sangat rendah, bertindak sebagai biosida berspektrum luas yang sangat efektif (Fernandes, 2023).

Akrolein umumnya diproduksi oleh negara-negara di Amerika, Eropa, dan Jepang. Mengingat masih sedikitnya produsen akrolein di kawasan Asia,

pembangunan pabrik akrolein di Indonesia berpotensi memberikan keuntungan yang signifikan. Konsumsi akrolein di dalam negeri relatif rendah, sehingga pendirian pabrik ini lebih difokuskan pada pasar ekspor, khususnya ke negara-negara di Asia, terutama kawasan Asia Tenggara (Fadilah, dkk, 2021).

Saat ini akrolein diproduksi secara komersial terutama menggunakan metode oksidasi propilen. Namun, memproduksi akrolein menggunakan gliserol sebagai bahan baku lebih menjanjikan dalam hal biaya keterbaruan. Selain itu, Indonesia merupakan salah satu negara produsen gliserol. Pendirian pabrik akrolein di Indonesia diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan kimia, khususnya akrolein, sekaligus menjadikannya sebagai produk ekspor yang bernilai tinggi. Langkah ini tidak hanya berpotensi menghemat devisa negara, tetapi juga berkontribusi dalam menambah pemasukan negara dari sektor ekspor.. Hal ini juga tentunya akan berimbas terhadap penghematan devisa negara dan juga dapat menambah devisa negara (Tjahayani, 2020).

Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2019 menyatakan bahwa konsumsi akrolein rata-rata sebanyak 8.784,57 ton/tahun dan terus meningkat setiap tahunnya. Kebutuhan bahan kimia dasar yang mendorong Indonesia memproduksi bahan-bahan kimia yang sangat diperlukan pemakainya di dalam negeri, karena selama ini Indonesia masih mendatangkan bahan-bahan tersebut dari luar negeri. Untuk mengurangi ketergantungan dari luar negeri maka dipandang perlu untuk mendirikan Industri kimia dasar khususnya akrolein. Seperti kita ketahui, akrolein dengan rumus C_3H_4O , merupakan produk *intermediet* untuk memproduksi produk lain seperti asam akrilat, *methionine*, *methionine hidroxy* dan asam amino sintesis. Lebih dari 80% akrolein yang telah diolah digunakan sebagai bahan baku dalam produksi *methionine*. *Crude* akrolein digunakan sebagai bahan baku untuk produksi asam akrilat. Akrolein juga dapat digunakan untuk herbisida dan algasida dalam aliran irigasi. Sebagai *biocide* pada *cooling tower*, untuk mengontrol alga, rumput dan sebagai *slimicide* dalam industri kertas (Kirk Othmer, 2003).

1.2 Rumusan Masalah

Akrolein memiliki banyak manfaat dan digunakan dalam berbagai sektor industri, seperti produksi *methionine*, asam akrilat, herbisida, serta bahan tambahan dalam pembuatan plastik dan parfum. Saat ini, produksi Akrolein secara komersial umumnya menggunakan metode oksidasi propilena, namun alternatif produksi dari gliserol dianggap lebih menjanjikan karena lebih ekonomis dan berbasis sumber daya yang tersedia di dalam negeri. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis bagaimana pendirian pabrik Akrolein di Indonesia dapat mengurangi ketergantungan impor, menghemat devisa, serta mendorong pertumbuhan industri terkait. Selain itu, perlu dikaji pula dampak ekonomi dan sosial dari pendirian pabrik ini, terutama dalam membuka lapangan kerja baru dan memperluas kesempatan kerja bagi masyarakat.

1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik

Prarancangan pabrik akrolein ini bertujuan untuk merancang proses produksi akrolein melalui metode dehidrasi gliserol, sekaligus menerapkan prinsip-prinsip Teknik Kimia dalam perancangan, proses, dan operasi industri kimia. Perancangan ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kelayakan pendirian pabrik akrolein.

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Pendirian pabrik akrolein akan sangat tepat dan banyak memberikan dampak positif dalam segala bidang, antara lain:

1. Memenuhi kebutuhan akrolein dalam negeri yang terus meningkat serta mengurangi ketergantungan impor dengan membatasi jumlah akrolein yang masuk tiap tahun.
2. Mendorong perkembangan industri baru yang memanfaatkan akrolein sebagai bahan baku maupun bahan pendukung, seperti industri plastik, tekstil, dan petrokimia, sehingga dapat memperkuat sektor manufaktur nasional.
3. Dibukanya lapangan kerja baru, mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia, dan meningkatkan devisa negara.

1.5 Batasan Masalah

Prarancangan pabrik akrolein, penyusun membatasi pada pemilihan bahan baku utama yaitu gliserol menggunakan proses dehidrasi dengan katalis *aluminium oxide*, neraca massa, neraca energi, spesifikasi peralatan, tugas khusus, unit utilitas, kapasitas prarancangan pabrik, analisa ekonomi, super pro, *autodesk P&ID*.

1.6 Kapasitas Prarancangan Pabrik

Kapasitas pabrik merupakan aspek penting dalam pendiriannya karena memengaruhi perhitungan produksi serta faktor keekonomian. Semakin besar kapasitas pabrik, semakin besar pula potensi keuntungan yang dapat diperoleh. Namun, dalam menentukan kapasitas, perlu mempertimbangkan berbagai faktor lainnya. Pada prarancangan pabrik akrolein, kapasitas harus ditetapkan dengan memperhatikan data kebutuhan akrolein di Indonesia maupun di dunia.

1.6.1 Kebutuhan Akrolein di Indonesia

Kapasitas pabrik akrolein ditentukan berdasarkan data impor dan pabrik akrolein yang telah berdiri di Indonesia, dengan pertimbangan untuk memenuhi kebutuhan akrolein di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik di Indonesia dari tahun 2019-2024, kebutuhan akrolein di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1

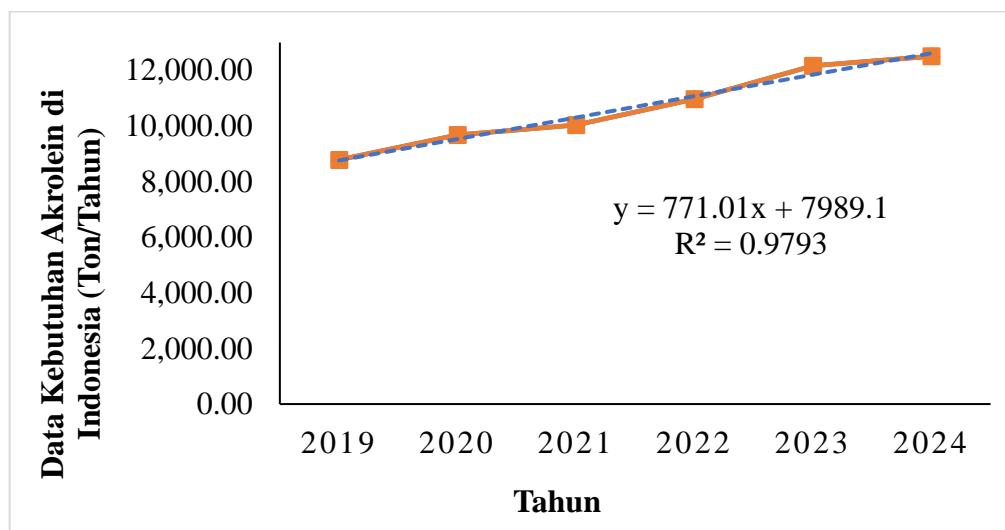
Tabel 1.1 Data Kebutuhan Akrolein di Indonesia

Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
2019	8.784,57
2020	9.678,97
2021	10.029,39
2022	10.967,46
2023	12.160,17
2024	12.505,32

(Sumber: Badan Pusat Statistik, 2025).

Dari data kebutuhan akrolein dari tahun 2019 sampai 2024 terus meningkat, untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor, serta diharapkan

Indonesia menjadi negara pengekspor akrolein khususnya untuk wilayah Asia, ditargetkan dapat menenuhi kebutuhan akrolein khususnya wilayah ASEAN, maka perlu didirikan pabrik akrolein agar meningkatkan akrolein pada tahun-tahun yang akan mendatang. Berdasarkan data tersebut maka dapat dilihat kebutuhan pada akrolein tahun 2030 dengan cara ekstrapolasi data. Hasil ekstrapolasi kebutuhan akrolein di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.1. Adapun grafik kebutuhan akrolein di Indonesia setiap tahunnya berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2024 dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Grafik Kebutuhan Akrolein di Indonesia Tahun 2019-2024

Berdasarkan Gambar 1.1 dapat dilihat bahwa persamaan yang diperoleh adalah $y = 771,01x + 7989,1$ dengan $R^2 = 0,9793$. Kebutuhan asam akrolein di Indonesia tiap tahunnya mengalami kenaikan sesuai dengan persamaan garis lurus: $y = 771,01x + 7989,1$ dimana y adalah kebutuhan akrolein pada tahun tertentu dalam ton, sedangkan x adalah tahun ke yang akan dihitung. Kebutuhan impor akrolein di Indonesia pada tahun 2030 adalah sebagai berikut:

$$y = 771,01x + 7989,1$$

$$y = 771,01 (2030) + 7989,1$$

$$y = 19.870,94$$

Sehingga kebutuhan impor akrolein di Indonesia pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 19.870,94 ton/tahun. Prediksi data kebutuhan impor pada

tahun 2025 sampai 2030 menggunakan cara ekstrapolasi juga dapat dilihat pada Tabel 1.2

Tabel 1.2 Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan Akrolein Dalam Negeri

No.	Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
1.	2025	19.820,44
2.	2026	19.820,54
3.	2027	19.830,64
4.	2028	19.840,74
5.	2029	19.860,84
6.	2030	19.870,94

(Sumber : Data Ekstrapolasi, 2025).

Kebutuhan akrolein di dalam negeri untuk tahun 2030 dapat diperkirakan dengan cara ekstrapolasi hasilnya 19.870,94 ton/tahun. Untuk membantu memenuhi kebutuhan akrolein dalam negeri dan luar negeri, maka diambil 40.000 ton/tahun. Hal ini didasarkan pada kapasitas pabrik-pabrik yang sudah beroperasi maupun yang sedang dalam tahap pembangunan di berbagai negara juga kebutuhan pasar akan produk akrolein yang semakin meningkat. Selain dari data impor dan kebutuhan akrolein di dunia, pertimbangan dalam penentuan kapasitas produksi akrolein juga dapat dilihat dari kapasitas produksi pabrik yang sudah ada. Hal tersebut dikarenakan pabrik yang telah didirikan memiliki analisis ekonomi yang memberikan keuntungan sesuai dengan kapasitas produksi yang dihasilkan.

1.6.2 Kebutuhan Akrolein di Beberapa Negara

Kebutuhan dibeberapa negara terhadap akrolein dapat dijadikan parameter untuk memperkirakan prospek ekspor akrolein. Kebutuhan akrolein dapat dihitung berdasarkan kapasitas pabrik yang membutuhkan akrolein sebagai bahan baku. Karena akrolein bukan satu-satunya bahan baku yang bisa digunakan, maka diasumsikan hanya 25% dari kapasitas yang menggunakan akrolein sebagai bahan baku industrinya. Tabel 1.3 menunjukkan perkiraan kebutuhan akrolein tiap tahun. Kebutuhan akrolein dihitung dengan perhitungan secara stoikiometris.

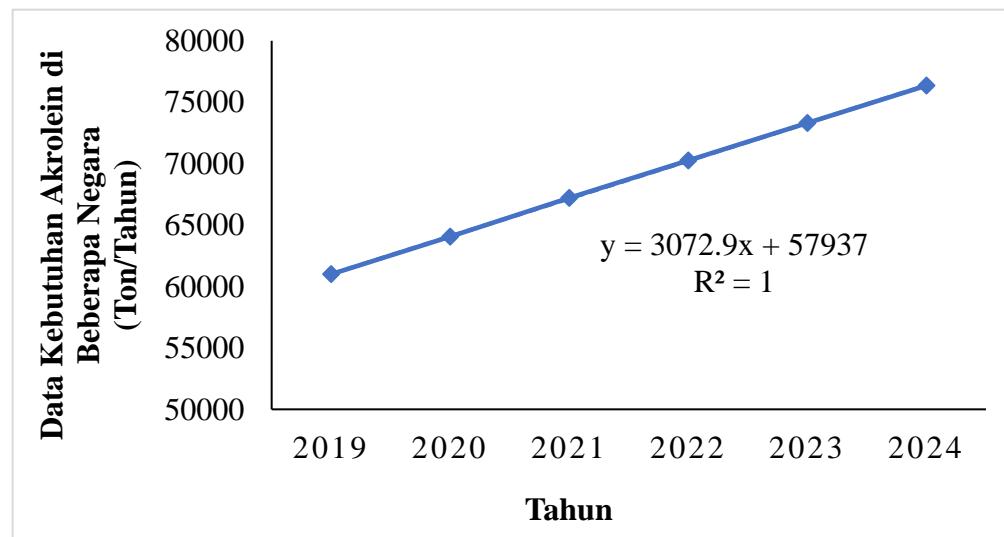
Adapun kebutuhan akrolein di beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 1.3 berikut.

Tabel 1.3 Kebutuhan Akrolein di Beberapa Negara

Negara	Jumlah Ekspor (Ton/Tahun)
2019	61.000
2020	64.050
2021	67.200
2022	70.250
2023	73.300
2024	76.350

(Sumber: IHS Markit, 2025)

Dari data di atas dapat dibuat grafik kebutuhan akrolein di beberapa negara yang dapat dilihat pada Gambar 1.2 berikut:



Gambar 1.2 Grafik Kebutuhan Akrolein di Dunia Tahun 2019-2024

Berdasarkan Gambar 1.2 dapat dilihat bahwa persamaan yang diperoleh adalah $y = 3072,9x + 57937$ dengan $R^2 = 1$. Kebutuhan asam akrolein di beberapa negara setiap tahunnya mengalami kenaikan sesuai dengan persamaan garis lurus:

$y = 3072,9x + 57937$ dengan $R^2 = 1$ dimana y adalah kebutuhan akrolein pada tahun tertentu dalam ton, sedangkan x adalah tahun ke yang akan dihitung. Kebutuhan impor akrolein di beberapa negara pada tahun 2030 adalah sebagai berikut:

$$y = 3072,9x + 57937$$

$$y = 3072,9 (2030) + 57937$$

$$y = 629.592,4$$

Sehingga kebutuhan impor akrolein di beberapa negara pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 629.592,4 ton/tahun. Prediksi data kebutuhan eksport pada tahun 2025 sampai 2030 menggunakan cara ekstrapolasi juga dapat dilihat pada Tabel 1.4

Tabel 1.4 Data Hasil Ekstrapolasi Kebutuhan Akrolein di Beberapa Negara

No.	Tahun	Konsumsi (Ton/Tahun)
1.	2025	628.055,95
2.	2026	628.363,24
3.	2027	628.670,53
4.	2028	628.977,82
5.	2029	629.285,11
6.	2030	629.592,4

(Sumber : Data Ekstrapolasi, 2025).

Berdasarkan data dalam Tabel 1.4, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan akrolein di beberapa negara mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Ekstrapolasi data menunjukkan bahwa pada tahun 2025, kebutuhan akrolein diperkirakan mencapai 628.055,95 ton/tahun dan terus meningkat secara bertahap setiap tahunnya. Pada tahun 2030, hasil ekstrapolasi menunjukkan bahwa kebutuhan akrolein di beberapa negara diperkirakan mencapai 629.592,4 ton/tahun. Peningkatan kebutuhan akrolein ini dapat dikaitkan dengan meningkatnya permintaan di industri yang menggunakan akrolein sebagai bahan baku, seperti produksi asam akrilat, metionin, dan berbagai polimer.

Pada prarancangan pabrik akrolein ini direncanakan berdiri pada tahun 2030 dengan kapasitas 40.000 ton/tahun melalui pertimbangan diantaranya sebagai berikut:

1. Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada diatas kapasitas minimal atau sama dengan kapasitas pabrik yang sedang berjalan dan kapasitas pabrik baru yang menguntungkan (Mc. Ketta, 2019).
2. Kapasitas produksi pabrik akrolein yang sudah beroperasi di dunia berkisar 4.000 ton/tahun sampai 110.000 ton/tahun.
3. Total kebutuhan impor dalam negeri pada saat pabrik beroperasi tahun 2030 adalah sebesar 19.870,94 ton/tahun dan kemungkinan akan terus meningkat.
4. Kapasitas prarancangan pabrik akrolein ini sebesar 40.000 ton/tahun mengacu pada Kebutuhan di Indonesia.
5. Produk akrolein yang dihasilkan direncanakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sebanyak 60% dari kapasitas prarancangan pabrik ini dan 40% akan di ekspor ke negara-negara lain.

1.6.3 Kapasitas Pabrik Akrolein di Dunia

Data ekstrapolasi tersebut telah diperoleh untuk kapasitas industri yang menghasilkan akrolein. Jika dilihat dari data ekstrapolasi kebutuhan akrolein ada peningkatan dari tahun ketahun. Adapun pabrik yang sudah mendirikan produk akrolein dapat dilihat pada Tabel 1.5

Tabel 1.5 Data Produksi Pabrik Akrolein di Beberapa Negara

Negara	Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
Amerika Serikat	Dow Chemical	72.000
Jerman	Degussa	110.000
Prancis	Elf Atochem	30.000
Jepang	Daical	9.000
China	Xing Jinng	4.000

(Sumber: Kirk-Othmer, 2005).

1.6.4 Ketersediaan Bahan Baku

Sehubungan dengan rencana pendirian pabrik di Indonesia, diperlukan informasi ketersediaan bahan baku untuk produksi akrolein. Persediaan bahan baku utama pembuatan akrolein yaitu gliserol diperoleh dari pabrik gliserol yang ada di Indonesia. Saat ini, produsen gliserol terbesar di Indonesia antara lain PT. Wilmar Bioenergi Indonesia dengan kapasitas 268.000 ton/tahun dan PT. Louis Drefus Company yang memiliki kapasitas 50.000 ton/tahun. Dari kapasitas produksi tersebut, sebagian besar gliserol digunakan dalam industri oleokimia dan farmasi, namun masih tersedia gliserol yang dapat dimanfaatkan untuk produksi akrolein.

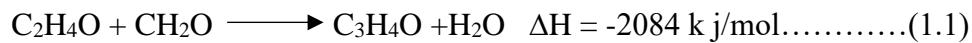
Untuk memproduksi akrolein dengan kapasitas 40.000 ton/tahun diperlukan gliserol kira-kira 48.000 ton/tahun. Sehingga dengan kapasitas rancangan 40.000 ton/tahun diperkirakan bahan baku akan dapat terpenuhi dari PT. Wilmar Bioenergi Indonesia, Dumai, Riau yang memiliki Kapasitas 268.000 ton/tahun. Selain itu, katalis *aluminium oxide* diperoleh dari PT. Well Harvest Winning aluminium oxide Refinery. Dengan tersedianya bahan baku di Indonesia, harga pembelian bahan baku akan jauh lebih murah daripada bahan baku yang diimpor dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan gliserol dalam negeri. Dekatnya bahan baku dengan lokasi pembangunan pabrik menjadi faktor utama pemilihan lokasi ini.

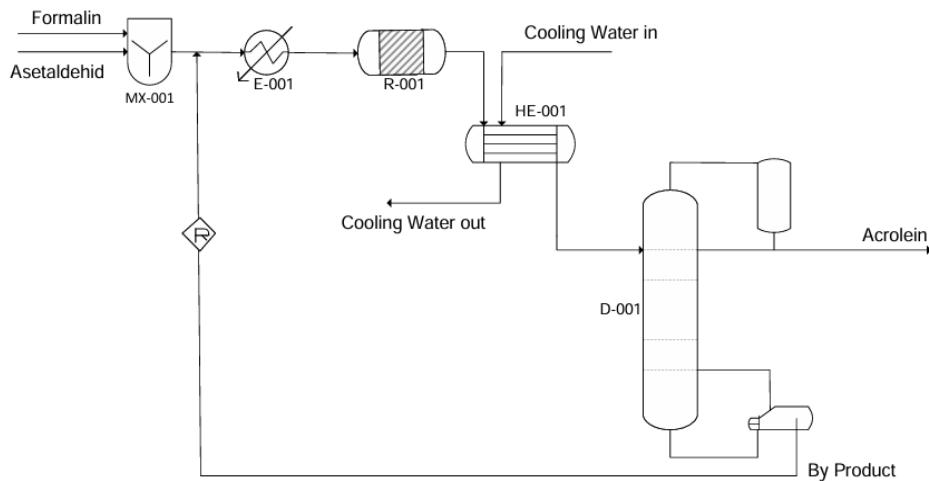
1.7 Seleksi Pemilihan Proses

Proses produksi pembuatan akrolein terdapat beberapa jenis dengan menggunakan berbagai bahan baku. Ada 3 proses pembuatan akrolein, yaitu proses kondensasi, proses *shell*, dan proses dehidrasi gliserol. Berikut beberapa metode yang bisa digunakan dalam memproduksi akrolein antara lain sebagai berikut:

1.7.1 Proses Kondensasi

Pada proses ini terjadi kondensasi antara asetaldehid dan formaldehid yang dilakukan pada fase uap. Reaksi katalitik ini berjalan menurut persamaan :





Gambar 1.3 Flowsheet Dasar Akrolein dengan Proses Kondensasi (Chemical and Process Design Handbook, 2002)

Proses ini dikembangkan sejak tahun 1942, katalis yang digunakan pada proses kondensasi yaitu campuran *aluminium oxide*, litium fosfat atau silika, dan silika gel. Secara garis besar, tahapan proses kondensasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

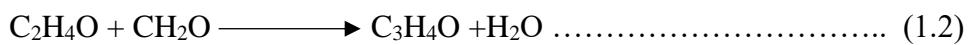
1. Formalin 30% dan asetaldehid berlebihan diuapkan dan dipanaskan sampai suhu 300-320 °C, umpan ini kemudian dimasukkan ke dalam reaktor katalitik.
2. Hasil kondensasi keluar reaktor didinginkan dengan alat penukar panas kemudian dipisahkan dalam Distilasi adapun reaktan yang tidak bereaksi di-*recycle* masuk kembali ke dalam reaktor.

Dari proses ini diperoleh *yield* 65% berdasar formaldehid dan 75% berdasar asetaldehid. Dengan *fresh catalyst*, konversi dari proses kondensasi mencapai 60%, namun setelah 6 jam waktu operasi, konversinya akan menurun menjadi 40% akibat akumulasi karbon pada katalis dalam reaktor. Untuk mengatasi masalah ini, setiap hari pabrik harus *shut down* untuk meregenerasi katalis. Regenerasi katalis dilakukan dengan membakar katalis dalam reaktor dengan udara dan *steam*. Udara dan *steam* disemburkan secara berlawanan dengan arus umpan. Pembakaran dilakukan pada suhu 400 °C, di luar suhu tersebut akan terjadi pembakaran tidak sempurna. Hasil samping dari proses

kondensasi adalah terbentuknya akrotonaldehid akibat reaksi kondensasi dimerasetaldehid (Ginting & Yeni Arti, 2023).

1.7.1.1 Analisa Ekonomi Awal Proses Kondensasi

Reaksi pembuatan akrolein :



Tabel 1.6 Uji Ekonomi Awal Proses Kondensasi

	Bahan Baku			Produk	
	Etilen	Formaldehid	Silika Gel	Akrolein	Air
Berat Molekul	4,02 gr/mol	30,02 gr/mol	60,09 gr/mol	56,06 gr/mol	18,02 gr/mol
Harga Per Kg	Rp. 15.000	Rp. 10.000	Rp. 20.000	Rp. 56.000	Rp. 0
Kebutuhan	1 mol × 4,02 gr/mol = 4,02 gr = 0,042 kg	1 mol × 30,02 gr/mol = 30,02 gr = 0,030 kg	1 mol × 60,09 gr/mol = 60,09 gr = 0,060 kg	1 mol × 56,06 gr/mol = 56,06 gr = 0,056 kg	1 mol × 18,02 gr/mol = 18,02 gr = 0,018 kg
Harga Total	0,042 kg × Rp.15.000 = Rp. 660	0,030 kg × Rp.10.000 = Rp. 300	0,060 kg × Rp.20.000 = Rp. 1.200	0,056kg × Rp 56.000 = Rp 3.136	0,018 kg × Rp. 0 = Rp. 0
Analisa Ekonomi	$ \begin{aligned} &= \text{Produk} - \text{Reaktan} \\ &= (\text{Rp } 3.136 + \text{Rp. } 0) - (\text{Rp. } 660 + \text{Rp. } 300 + \text{Rp. } 1.200) \\ &= \text{Rp. } 3.136 - \text{Rp. } 2.160 \\ &= \text{Rp. } 976,00 / \text{kg} \end{aligned} $				

	= Rp. 976.000 / Ton
--	---------------------

Berdasarkan Analisa ekonomi awal maka persentase keuntungan diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 976,00 / \text{kg}}{\text{Rp. } 2.160} \\ &= 0,451\% \end{aligned}$$

Maka persen keuntungan yang didapat dari analisa ekonomi awal sebesar 0,451% dari produksi.

1.7.2 Proses *Shell* (Propena Oksidasi)

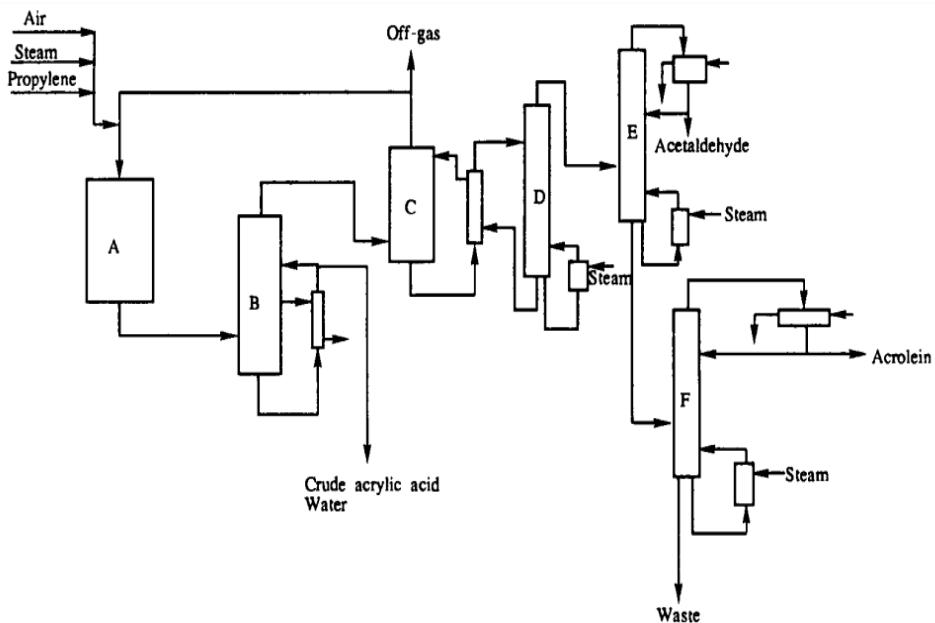
Proses *Shell* juga sering disebut sebagai proses *Clark and Shult* yang dikembangkan oleh *Battelle Institute*. Inti dari proses ini adalah oksidasi propilen dalam reaktor katalitik. Katalis yang digunakan umumnya adalah CuO. Proses yang terjadi secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Propilen dan udara dipanaskan dalam heater atau *furnace* hingga suhunya mencapai 350 °C.
2. Keluaran heater atau *furnace* diumpulkan dalam reaktor katalitik.

Reaksi yang terjadi adalah:



3. Arus keluar reaktor suhunya didinginkan secara mendadak dalam *quenching cooler*.
4. Arus kemudian dilewatkan absorber untuk mendapatkan akrolein.

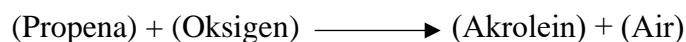


**Gambar 1.4 Flowsheet Dasar Akrolein dengan Proses Oksidasi Propena
(Chemical and Process Design Handbook, 2002)**

Dari proses *Shell* dihasilkan produk akrolein, propionaldehid, asetaldehid, dan air. Konversi pada proses ini cukup rendah, yaitu 15% untuk sekali arus. Untuk itu, diperlukan *recycle* propilen meningkatkan konversi reaksi. Dengan penerapan *recycle* ini, konversi reaksi dapat ditingkatkan secara signifikan, menjadikan proses lebih ekonomis dalam skala industri. Selain itu, optimalisasi kondisi reaksi, seperti pengaturan suhu dan penggunaan katalis yang lebih efektif, juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi produksi akrolein (Ginting & Yeni Arti, 2023).

1.7.2.1 Analisa Ekonomi Awal Proses *Shell* (Propena Oksidasi)

Reaksi pembuatan akrolein :



Tabel 1.7 Uji Ekonomi Awal Proses *Shell* (Propena Oksidasi)

	Bahan Baku			Produk	
	Propena	Oksigen	Bismut Molibdat	Akrolein	Air
Berat	42,08	32 gr/mol	28,98	56,06	18,02

Molekul	gr/mol		gr/mol	gr/mol	gr/mol
Harga Per Kg	Rp. 5.390	Rp. 3.742	Rp. 21.000	Rp. 56.000	Rp. 0
Kebutuhan	1 mol × 42,08 gr/mol = 42,08 gr = 0,042 kg	1 mol × 30,02 gr/mol = 32 gr = 0,032 kg	1 mol × 28,98 gr/mol = 28,92 gr = 0,028 kg	1 mol × 56,06 gr/mol = 56,06 gr = 0,056 kg	1 mol × 18,02 gr/mol = 18,02 gr = 0,018 kg
Harga Total	0,042 kg × Rp.6.390 = Rp. 268,38	0,030 kg × Rp.3.742 = Rp. 119,74	0,060 kg × Rp.21.000 = Rp. 608,58	0,056kg × Rp 56.000 = Rp 3.136	0,018 kg × Rp. 0 = Rp. 0
Analisa Ekonomi	$ \begin{aligned} &= \text{Produk} - \text{Reaktan} \\ &= (\text{Rp } 3.136 + \text{Rp. } 0) - (\text{Rp. } 268,38 + \text{Rp. } 119,74 + \text{Rp. } 608,58) \\ &= \text{Rp. } 3.136 - \text{Rp. } 995,700 \\ &= \text{Rp. } 2.140,300 / \text{kg} \\ &= \text{Rp. } 2.140.300 / \text{Ton} \end{aligned} $				

Berdasarkan Analisa ekonomi awal maka persentase keuntungan diperoleh sebagai berikut:

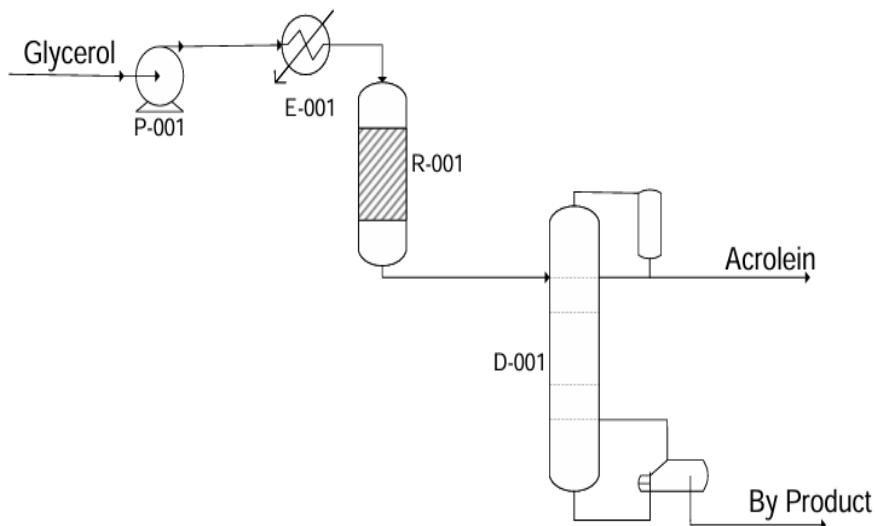
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 2.140,300 / \text{kg}}{\text{Rp. } 995,700} \\
 &= 2,149\%
 \end{aligned}$$

Maka persen keuntungan yang didapat dari analisa ekonomi awal sebesar 2,149% dari produksi.

1.7.3 Proses Dehidrasi Gliserol

Proses dehidrasi gliserol adalah proses pelepasan gugus air pada gliserol sehingga terbentuk akrolein. Proses ini berlangsung pada fase gas dalam reaktor *fixed bed* dengan katalis *aluminium oxide*. Proses yang terjadi secara endotermis pada suhu 240-330°C dengan tekanan 1-2 atm. Reaksi yang berjalan dalam reaktor adalah sebagai berikut:





**Gambar 1.5 Flowsheet Dasar Akrolein dengan Proses Dehidrasi Gliserol
(Chemical and Process Design Handbook, 2002).**

Proses pembuatan akrolein dari gliserol dilakukan dengan dehidrasi gliserol pada suhu 240-330°C dengan tekanan 1-2 atm dalam reaktor *plug flow reactor*. Sebelum masuk reaktor, gliserol cair diuapkan dan dipanaskan dalam *furnace* hingga suhu 310°C. Umpan gliserol masuk reaktor dari bagian bawah reaktor dan produk akan keluar melalui bagian atas reaktor. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi endotermis, Gas akrolein hasil reaksi selanjutnya dialirkan ke alat pemisahan. Setelah itu, akrolein dikondensasikan sehingga akrolein berubah ke dalam fase cair. Produk atas berupa akrolein cair. Sementara itu, produk hasil bawah berupa H₂O dan sisa gliserol (Kiakalaieh, 2015).

1.7.4 Perbandingan Proses

Proses pembuatan akrolein secara umum terbagi menjadi tiga, yaitu Proses kondensasi, Proses *shell* (oksidasi propena), dan Proses dehidrasi gliserol. Dalam perancangan pabrik akrolein ini proses yang dipilih adalah proses dehidrasi gliserol dengan katalis *aluminium oxide*. Untuk Perbandingan dari macam-macam proses pembuatan akrolein dapat dilihat pada Tabel 1.8.

Tabel 1.8 Perbandingan Beberapa Proses Pembuatan Akrolein

Parameter	Kondensasi	Oksidasi Propilen	Dehidrasi Gliserol
-----------	------------	-------------------	--------------------

Bahan Baku	C ₂ H ₄ O dan CH ₂ O	C ₃ H ₆ dan Udara	C ₃ H ₈ O ₃
Katalis	Silika gel	CuO	Al ₂ O
Produk samping	C ₄ H ₆ O, H ₂ O	CO ₂ , H ₂ O	H ₂ O
Kondisi Operasi	Tekanan : 1-2 atm Temperatur : 400-500°C	Tekanan : 1-2 atm Temperatur : 350°C	Tekanan : 1-2 atm Temperatur : 240-350°C
Konversi	60%	15%	80-99%
Jenis Reaktor	Plug Flow Reactor	Plug Flow Reactor	Fix Bad Multitube Reactor
Analisa Ekonomi	0,451 %	2,149 %	2,531%
Kelebihan	Katalis pada proses ini mudah didapatkan dan harganya murah	Biaya relatif rendah karena menggunakan oksidator berupa udara	Bahan baku murah, dan temperature operasi rendah
Kekurangan	Umur katalis pendek karena mudah terdeaktivasi	Konversi reaksi sangat rendah	Sifat gliserol yang larut dalam air akan mempersulit tahapan reaksi

Berdasarkan pertimbangan di atas maka dipilih proses produksi akrolein menggunakan dehidrasi gliserol dikarenakan:

1. Bahan baku berupa gliserol yang murah dan mudah didapatkan dan lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan kimia lainnya seperti propilen dan formaldehid
2. Alur proses dan peralatan yang digunakan sederhana
3. Produk samping yang bermanfaat atau tidak bereaksi dengan lingkungan
4. Konversi reaksi besar serta temperatur dan tekanan operasi yang rendah, sehingga akan mudah dalam pengendalian proses produksi.

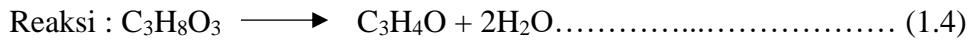
1.8 Sifat Reaksi

1.8.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika berfungsi untuk penentuan sifat reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis. Secara termodinamika, reaksi dehidrasi

glicerol menjadi akrolein ditentukan oleh perubahan entalpi, energi *Gibbs*, dan konstanta kesetimbangan yang mempengaruhi spontanitas dan kesetimbangan reaksi

Pada Keadaan Setimbang



Tabel 1.9 Harga ΔH°_f dan ΔG°_f masing-masing komponen

Komponen	ΔH°_f (Kj/mol)	ΔG°_f (Kj/mol)
$C_3H_8O_3$	-582,8	-448,49
C_3H_4O	-84	-54
$2H_2O$	-241,80	-228,60

Panas reaksi standar (ΔH° 623,155K)

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = \Delta H^\circ_{\text{produk}} - \Delta H^\circ_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = (\Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = (-84 - (2 \times 241,80) \text{ kJ/kmol} - (-582,8) \text{ kJ/kmol}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = 15,2 \text{ kJ/kmol}$$

Reaksi yang terjadi merupakan reaksi endotermis karena harga entalpi reaksi bernilai positif, yaitu sebesar 15,2 kJ/mol

Perubahan energi Gibbs dapat dihitung dengan persamaan:

(Smith Van Ncss, 2022).

Dimana :

ΔG° = Energi bebas Gibbs standar suatu reaksi pada 298 K (kJ/mol)

R = Konstanta gas (R = 8,314 J/mol.K)

T = Temperatur (K)

K = Konstanta kesetimbangan

$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}}(298 \text{ K})$$

Energi gibbs standar (ΔG_f°)

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_{298K} &= \Delta G^\circ_{\text{produkt}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta G^\circ f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta G^\circ f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ f \text{ C}_3\text{H}_8\text{O}_3) \\ &= (-54 - (2 \times 228,60)) - (-448,49) \text{ kJ/mol} \\ &= -62,71 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{In K}_{298} &= - \frac{\Delta G^\circ}{RT} \\
 &= - \frac{-(62710)}{8,314 \text{ J/mol} \cdot 298 \text{ K}} \\
 &= 25,31
 \end{aligned}$$

Pada suhu 300 °C (573 K) besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\ln \frac{K_{573\text{K}}}{K_{298\text{K}}} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln K_{573\text{K}} - \ln 25,31 = -\frac{15200}{573} \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln K_{573\text{K}} = 6,176$$

$$K_{573\text{K}} = 480,87$$

1.8.2 Tinjauan Kinetika

Menurut Kiakalaich (2015), reaksi dehidrasi gliserol termasuk reaksi orde

1. Dari segi kinetika, kecepatan reaksi dehidrasi gliserol akan bertambah cepat dengan naiknya temperatur.



Persamaan kecepatan reaksi : $R_A = K_A C_A$

Menentukan K_A menggunakan persamaan Arrhenius:

Dari jurnal hasil penelitian Kiakalaich (2015), didapatkan :

$$\ln k = -3306 \times \frac{1}{T} + 13,19$$

Dengan : $E_a = 27,5 \text{ kJ/mol}$

$$A = 5,35 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$$

Maka;

$$k = 5,35 \times 10^5 \exp [-3306/T(K)]$$

1.9 Uraian Proses

Pembuatan akrolein di bagi menjadi empat tahap yaitu:

1. Tahap Penyimpanan dan persiapan bahan baku
 2. Tahap reaksi
 3. Tahap pemurnian produk
 4. Tahap penyimpanan produk

1.9.1 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Bahan baku untuk memproduksi akrolein adalah gliserol, di mana gliserol dengan kemurnian 99% disimpan dalam Tangki Penyimpanan (T-101) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm dalam fase cair. Penyimpanan ini bertujuan untuk menjaga kualitas dan stabilitas bahan baku sebelum digunakan dalam proses produksi. Dari tangki penyimpanan, gliserol kemudian dialirkan dengan pompa (P-101) ke *heat exchanger* (HE-101), untuk proses pemanasan awal. Suhu gliserol dinaikkan bertahap menggunakan *heat exchanger* (HE-101) dan *Vaporizer* (V-101) yang memungkinkan gliserol mencapai kondisi optimal untuk memasuki tahap reaksi, sehingga mencapai suhu optimal sekitar 330°C sebelum memasuki reaktor. Pemanasan ini bertujuan untuk mengubah gliserol menjadi fase gas agar lebih mudah bereaksi dalam tahap proses dehidrasi yang akan terjadi di reaktor.

1.9.2 Tahap Reaksi

Setelah mengalami pemanasan, gliserol dalam fase gas dialirkan menuju Reaktor *fixed bed multitube* untuk menjalani reaksi dehidrasi dengan katalis.

Reaksi yang terjadi di reaktor *fixed bed multitube* yaitu :



Reaksi yang terjadi merupakan reaksi endotermis. Setelah mengalami pemanasan dan penguapan, uap gliserol dialirkan menuju reaktor (PFR-101) yang berupa *fixed bed multitube reactor*, dengan suhu operasi 330°C dan tekanan 2 atm. Dalam reaktor ini, terjadi proses dehidrasi gliserol, yaitu reaksi kimia yang menghilangkan molekul air dari gliserol sehingga terbentuk akrolein dalam fase gas. Proses ini berlangsung dengan sangat efisien, mencapai tingkat konversi hingga 99,80%, yang berarti hampir seluruh gliserol yang masuk ke dalam reaktor berhasil dikonversi menjadi akrolein. Pemilihan jenis reaktor ini sangat penting karena *fixed bed multitube reactor* memungkinkan distribusi panas yang lebih merata dan meningkatkan efisiensi reaksi.

1.9.3 Tahap Pemurnian Produk

Akrolein dalam fase gas memasuki tahap pemurnian produk agar diperoleh akrolein dengan tingkat kemurnian sebesar 86,131%. Produk keluaran dari reaktor berupa campuran akrolein, air, dan sejumlah kecil gliserol yang tidak bereaksi. Campuran ini pertama-tama didinginkan dalam *heat exchanger* (HE-101) untuk menurunkan suhu awal dan *cooler* menurunkan suhu lebih optimal menjadi 80°C sebelum memasuki tahap pemurnian. Selanjutnya, campuran ini dialirkan ke Distilasi (D-101), di dalam kolom distilasi ini, pemisahan akrolein dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didih antara dari H₂O, dan sisa gliserol yang masih terbawa dari tahap reaksi. Setelah pemisahan, produk utama akrolein kemudian dikondensasikan sehingga akrolein berubah ke dalam fase cair. Hasil pemisahan berupa produk atas yaitu akrolein dengan kemurnian 86,131%. Pada produk bawah berupa H₂O dan sisa gliserol.

1.9.4 Tahap Penyimpanan Produk

Keluaran dari produk atas kolom distilasi yaitu berupa akrolein dalam fase cair kemudian dipompa dan disalurkan ke tangki penyimpanan produk (TK-102) sebelum didistribusikan ke berbagai industri yang membutuhkannya. Sementara itu, keluaran bawah berupa limbah hasil pemisahan dari Distilasi (D-101), yang terdiri dari H₂O dan sisa gliserol, dialirkan ke utilitas (IPAL) untuk pengolahan lebih lanjut. Proses pengolahan limbah ini sangat penting untuk memastikan bahwa tidak ada senyawa berbahaya yang dibuang ke lingkungan tanpa penanganan yang tepat.

1.10 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting dalam proses perancangan, karena berpengaruh langsung terhadap kelangsungan operasional, baik dalam hal produksi maupun distribusi produk. Keputusan mengenai lokasi pabrik harus mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat memaksimalkan keuntungan, termasuk efisiensi biaya produksi dan distribusi. Selain itu, lokasi yang dipilih sebaiknya memungkinkan ekspansi di masa depan serta menjamin keamanan operasional pabrik (Peter & Timmerhaus, 2003).



Gambar 1.6 Lokasi Pendirian Pabrik

Berdasarkan pertimbangan yang dilakukan, pendirian pabrik direncanakan akan didirikan di Bengkalis Kecamatan Medang Kampai Kota Dumai Provinsi Riau. Dimana untuk Perencanaan Dan Pembangunan Pabrik Di Kawasan Industri Dumai Di Atur Dalam Peraturan Daerah Kabupaten Bengkalis No. 4 Tahun 2022 Tentang Rencana Pembangunan Industri Kabupaten Bengkalis Tahun 2022-2042. Adapun pertimbangan – petimbangannya adalah sebagai berikut:

1.10.1 Faktor Primer

A. Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku yang dipakai dapat mengalami penyusutan berat dan volume, bahan baku mudah rusak dan berubah kualitas, resiko kekurangan bahan baku tinggi, dan biaya transportasi yang tinggi apabila dipasok dari lokasi yang jauh dari pabrik. Berdasarkan hal tersebut, lokasi pabrik dipilih agar berada dekat dengan sumber bahan baku untuk membantu mengurangi biaya transportasi bahan baku tersebut dan pengurangan kualitas atau kuantitas.

Bahan baku pembuatan akrolein dapat diperoleh di Indonesia, antara lain Gliserol atau gliserin diperoleh dari PT. Wilmar Group, Pelitung Dumai yang memiliki kapasitas produksi 268.000 Ton/Tahun dan konsentrasi sebesar 99,7% dalam fase cair, yang berjarak 90 km dari lokasi pabrik. Katalis Aluminium Oksida (Al_2O_3) didapatkan dari PT Well Harvest Winning *Aluminium Oxide*

Refinery. Mengingat ketersediaan bahan baku yang melimpah dan kebutuhan akan akrolein yang sangat besar, maka dapat dipertimbangkan lebih lanjut untuk mendirikan pabrik tersebut.

Tabel 1.10 Daftar Pabrik Penghasil Gliserol di Indonesia

No	Nama Pabrik	Lokasi Pabrik	Produksi Pabrik
1.	PT. Wilmar Bioenergi Indonesia	Dumai	268.000
2.	PT. Louis Drefus Company	Lampung	50.000
3.	PT. Sinar Oleochemical Int	Medan	15.000
4.	PT. Eterindo Wahanatama Tbk	Sidoarjo	16.800
5.	PT. Cisudane Raya Chemical	Tangerang	5.500

(Sumber : Direktorat Jendral Industri Agro dan Kimia, 2025).

B. Utilitas

Kebutuhan sarana penunjang diantara lain seperti air dapat didapatkan dari sungai Rokan Hilir yang mana jarak lokasi pabrik dengan sungai rokan hilir 95,6 Km, dengan debit air 7.884 m³/menit. Kebutuhan bahan bakar dapat dari unit utilitas dan sebagai cadangannya diperoleh dari generator pembangkit tenaga listrik untuk digunakan pada saat suplai listrik dari kedua sumber diatas terhenti. Selain itu untuk membantu memenuhi kebutuhan listrik juga diperoleh dari PLN (Perusahaan Listrik Negara) dengan aliran arus listrik sebesar 100 KV . Kebutuhan bahan bakarnya diperoleh dari unit pemasaran PT. Pertamina RU-II Dumai dan PLTU Tanayan Pekan Baru, Riau.

C. Transportasi

Sarana transportasi yang strategis sangat mendukung bagi kelancaran pemasaran produk. Berdasarkan letaknya, pendirian pabrik akrolein tepat berada di lokasi strategis. Berdasarkan letaknya, kawasan industri di Kota Dumai, Provinsi Riau strategis dalam hal transportasi. Hal ini dikarenakan dari segi transportasi, yang sudah terdapat jalur tol dan perencanaan sejumlah jalur tol lainnya di kawasan Provinsi Riau, khususnya di Dumai, sehingga jalur transportasi darat dan laut tidak menjadi penghambat distribusi dan pemasaran.

Kawasan Dumai berada di dekat Laut selat malaka yang mana terdapat pelabuhan di sekitarnya serta pada area lokasi pabrik juga terhubung dengan pelabuhan Dumai Industrial, Pelabuhan Indonesia I Dumai (PELINDO I) sehingga jalur transportasi laut juga tidak menjadi penghambat distribusi dan pemasaran.

D. Pemasaran Produk

Kota Dumai, Provinsi Riau, merupakan kawasan industri dengan berbagai sektor, sehingga distribusi dan pemasaran akrolein lebih efisien. Produk utama, akrolein, serta produk samping akan dipasarkan ke industri dalam negeri dan diekspor. Banyak industri di sekitar lokasi yang membutuhkan akrolein, sehingga biaya pemasaran dan transportasi dapat ditekan (Kementerian Perindustrian, 2015).

E. Sumber Daya Manusia

Pabrik ini membutuhkan tenaga kerja terdidik, terampil, dan tenaga kasar yang dapat direkrut dari sekitar lokasi maupun luar daerah. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, terdapat 199.485 jiwa usia produktif, dengan 30.096 jiwa pencari kerja. Tenaga kerja terdidik direkrut melalui kerja sama dengan perguruan tinggi dan industri, sementara tenaga kerja lapangan dipilih dari penduduk sekitar yang memenuhi kriteria.

1.10.2 Faktor Sekunder

A. Kondisi Tanah dan Daerah

Kondisi tanah di Kabupaten Bengkalis, Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, yang relatif masih luas dengan struktur tanah yang kuat dan datar. Keadaan iklim Provinsi Riau termasuk iklim tropis. Temperatur udara rata-rata maksimum mencapai 37,4°C dan suhu udara minimum 25,6°C. Dengan suhu rata-rata di Kabupaten Bengkalis, Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, juga cenderung konstan pada temperatur 33 °C. Lokasi yang dipilih merupakan lokasi yang cukup stabil karena memiliki iklim rata -rata yang cukup baik.

B. Karakteristik Lokasi

Lokasi yang dipilih memiliki aksesibilitas yang baik, dengan kedekatan terhadap jalur transportasi utama seperti pelabuhan dan jalan raya, sehingga memudahkan distribusi bahan baku dan hasil produksi. Selain itu, wilayah ini

memiliki sumber daya air yang cukup serta infrastruktur yang mendukung, seperti jaringan listrik dan gas industri, yang penting untuk operasional pabrik.

C. Kebijakan Pemerintah

Pemerintah Kabupaten Bengkalis merencanakan pengembangan dan perizinan industri melalui perda kabupaten Bengkalis No.15 tahun 2004, tentang kebijakan izin usaha industri dan pendirian pabrik akrolein di kecamatan medang kampai, dumai akan menjadi lapangan pekerjaan bagi non-insinyur dan pemerintah untuk memfasilitasi penerbitan izin. Hal-hal lain yang berkaitan dengan pendirian pabrik yaitu, pajak dan proyek pelaksanaan.

D. Kemasyarakatan

Masyarakat sekitar memiliki keterampilan yang dapat dimanfaatkan dalam proses produksi dan operasional pabrik, sehingga dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja dari luar daerah. Kehadiran pabrik juga dapat meningkatkan perekonomian lokal dengan membuka peluang usaha baru, seperti penyediaan bahan pendukung dan jasa transportasi. Selain itu, keberadaan pabrik harus mempertimbangkan aspek sosial dan lingkungan guna menjaga hubungan yang harmonis dengan masyarakat sekitar.

Berdasarkan faktor-faktor diatas maka lokasi pendirian pabrik akrolein akan didirikan di Kabupaten Bengkalis, Kecamatan Medang Kampai, Kota Dumai, Provinsi Riau.

1.11 Analisa Ekonomi Awal

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknik dan ekonomi. Meskipun secara teori semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lain yaitu seperti diperlihatkan pada Tabel 1.11



Analisa ekonomi awal berdasarkan reaksi dapat dilihat pada Tabel 1.11

Tabel 1.11 Analisa Ekonomi Awal

	Bahan Baku	Produk
--	-------------------	---------------

	Gliserol	Aluminium Oksida	Akrolein	Air
Berat Molekul	92,09 gr/mol	101,96 gr/mol	56,06 gr/mol	18,02 gr/mol
Harga Per Kg	Rp. 20.000	Rp. 24.575	Rp. 57.067	Rp. 0
Kebutuhan	1 mol × 92,09 gr/mol = 92,09 gr = 0,092 kg	1 mol × 101,96 gr/mol = 101,96 gr = 0,101 kg	1 mol × 56,06 gr/mol = 56,06 gr = 0,056 kg	1 mol × 18,02 gr/mol = 18,02 gr = 0,018 kg
Harga Total	0,092 kg × Rp. 20.000 = Rp. 1.840	0,101 kg × Rp. 24.575 = Rp. 245,75	0,056kg × Rp. 57.67 = Rp 3.195	0,018 kg × Rp. 0 = Rp. 0
Analisa Ekonomi	$ \begin{aligned} &= \text{Produk} - \text{Reaktan} \\ &= (\text{Rp } 3.195 + \text{Rp. } 0) - (\text{Rp. } 1.840 + \text{Rp. } 245,75) \\ &= \text{Rp. } 3.195 - \text{Rp. } 2.085,75 \\ &= \text{Rp. } 5.280,75 / \text{kg} \\ &= \text{Rp. } 5.280,750 / \text{Ton} \end{aligned} $			

Berdasarkan Analisa ekonomi awal maka persentase keuntungan diproleh berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 5.280,75 / \text{kg}}{\text{Rp. } 2.085,75} \\
 &= 2,531 \%
 \end{aligned}$$

Maka persen keuntungan yang didapat dari analisa ekonomi awal sebesar 2,531% dari produksi.