

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Langkah untuk mendorong kemajuan dan memperkuat perekonomian nasional diantara lain adalah dengan mendorong pembangunan dan perkembangan industri pabrik kimia. Saat ini masihbanyak sekali bahan baku ataupun bahan penunjang pada industri-industri kimia dalam negeri yang masih mengandalkan impor dari luar negeri, salah satunya *Cumene*, *Cumene* merupakan bahan baku utama pembuatan fenol dan aseton. *Cumene* juga merupakan produk menengah yang mempunyai peranan penting dalam menghasilkan produk industri lain seperti : nylon, polycarbonate, epoxy, dan lainnya. Kebutuhan *Cumene* di Indonesia dari tahun ke tahunnya terus mengalami peningkatan.

Produksi *Cumene* di wilayah Asia Tenggara pada tahun 2030 diperkirakan dapat meningkat mencapai 78.551.684 Kg/Tahun atau 78.600 Ton/Tahun. Berdasarkan data impor dan permintaan *Cumene* di Indonesia serta permintaan di Asia Tenggara, dapat disimpulkan bahwa kapasitas produksi pabrik *Cumene* ini mencapai 30.000 Ton/Tahun. Dari jumlah kapasitas tersebut, sekitar 27.000 Ton/Tahun akan dialokasikan untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia, sedangkan 3.000 Ton/Tahun digunakan untuk memenuhi kebutuhan di kawasan Asia Tenggara dan sekitarnya. Saat ini, kebutuhan *Cumene* di dalam negeri masih bergantung pada impor, sehingga pendirian pabrik *Cumene* menjadi peluang strategis untuk meningkatkan kemandirian industri nasional (BPS, 2024).

Cumene yang memiliki rumus kimia C_9H_{12} , adalah senyawa aromatik dengan struktur cincin tunggal, berbentuk cairan transparan yang berbau khas. Senyawa ini digunakan sebagai bahan dasar utama dalam proses pembuatan fenol dan aseton. Selain itu, *Cumene* juga berfungsi sebagai aditif bahan bakar gasoline, yang membantu meningkatkan angka oktan pada kendaraan (Ulmann's, 2005).

Cumene merupakan salah satu produk industri kimia yang memiliki potensi besar, mengingat kebutuhan bahan kimia ini masih bergantung pada impor dari luar negeri. Sebagai bahan kimia yang penting dalam industri di Indonesia, *Cumene* diproduksi melalui reaksi antara propilena dan benzena

Beberapa pertimbangan dalam pendirian pabrik *Cumene* ini meliputi:

1. Ketersediaan bahan baku propilena dan benzena harus cukup dan terjangkau.
2. Permintaan pasar terhadap kebutuhan dalam negeri dan peluang ekspor.
3. Teknologi produksi proses alkilasi yang efisien dan ramah lingkungan.
4. Lokasi & infrastruktur dekat dengan bahan baku, pasar, serta memiliki akses listrik dan transportasi.
5. Aspek ekonomi dengan biaya investasi, operasional, dan potensi keuntungan.
6. Regulasi & lingkungan mematuhi AMDAL dan standar industri.
7. Ketersediaan tenaga kerja SDM terampil dan pelatihan yang memadai.

Dengan mempertimbangkan aspek ketersediaan bahan baku, teknologi yang digunakan, serta prospek pasar *Cumene*, maka prarancangan pabrik ini dilakukan guna mengkaji aspek teknis dan ekonomisnya. Diharapkan, pendirian pabrik ini dapat menghasilkan produk sejenis di mana terdapat kesamaan dalam bahan baku yang digunakan, proses, bentuk produk akhir, dan konsumen akhir. Dalam arti yang lebih luas, industri dapat didefinisikan kumpulan perusahaan yang memproduksi barang dan jasa dengan elastisitas silang yang positif dan tinggi (Kuncoro, 2007).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada prarancangan pabrik *Cumene* meliputi:

1. Bagaimana proses produksi *Cumene* dari propilena dan benzena dilakukan, faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kualitas serta efisiensi produksinya.
2. Apa saja parameter yang harus diperhatikan dalam melakukan analisis ekonomi pabrik *Cumene*, dan bagaimana menganalisis keuntungan serta biaya produksi yang dihasilkan.
3. Bagaimana melakukan evaluasi lingkungan terhadap pabrik *Cumene* yang dihasilkan, serta mengurangi dampak negatif yang mungkin ditimbulkan terhadap lingkungan.
4. Apakah pendirian pabrik *Cumene* dengan kapasitas produksi 30.000 Ton/Tahun menggunakan proses *Friedel-Crafts Alkilation* berbasis katalis asam klorida padat layak untuk didirikan?

1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik

Tujuan prarancangan pabrik pembuatan *Cumene* meliputi:

1. Merancang proses produksi *Cumene* yang efisien dan berkualitas tinggi dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi produksi seperti suhu, tekanan, katalis serta rasio propilena dan benzena.
2. Menganalisis aspek ekonomi dari perancangan pabrik *Cumene* termasuk investasi modal, biaya produksi, dan pengembangan investasi, sehingga dapat menghasilkan keuntungan yang optimal.
3. Mengevaluasi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh pabrik *Cumene* yang dihasilkan dan merancang solusi untuk mengurangi dampak negatif tersebut, sehingga pabrik yang dihasilkan dapat beroprasi secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.
4. Untuk mengkaji kelayakan pabrik *Cumene* dengan bahan baku propilena dan benzena melalui proses *Friedel-Crafts Alkilation* menggunakan katalis aluminium klorida ($AlCl_3$) pada kapasitas 30.000 Ton/Tahun

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Berdasarkan dari tujuan prarancangan pabrik *Cumene* maka manfaat dari prarancangan pabrik yang diperoleh sebagai berikut:

1. Menyajikan bentuk gambar rancangan pabrik *Cumene* yang diproduksi dari propilena dan benzena menggunakan proses *Friedel-Crafts Alkilation* dengan katalis asam klorida padat berkapasitas 30.000 Ton/Tahun.
2. Menyediakan pasokan produksi *Cumene* bagi kebutuhan domestik dan pasar Asia Tenggara sekaligus mendukung industri lain yang menggunakan produk tersebut.
3. Dengan adanya perancangan pabrik yang efisien dan berkelanjutan, maka dapat menghasilkan keuntungan yang optimal bagi perusahaan.
4. Membuktikan bahwa lulusan sarjana perguruan tinggi Indonesia memiliki kapabilitas untuk mengikuti perkembangan teknologi modern dan bersaing secara global.

1.5 Batasan Masalah

Pada penyusunan pabrik *Cumene* ini, penyusun membatasi masalah sebagai berikut:

1. Perhitungan neraca massa dan energi
2. Penentuan spesifikasi peralatan yang diperlukan untuk proses produksi.
3. Penentuan utilitas.
4. Penentuan estimasi ekonomi dan pembiayaan.
5. *Flowsheet* atau blok diagram akan dikembangkan menggunakan aplikasi *Aspen Hysys, P&ID*, dan *Autodesk Plant 3D*

1.6 Penentuan Kapasitas Pabrik

Dalam mendirikan pabrik, kapasitas menjadi faktor utama karena berpengaruh terhadap efisiensi ekonomi dan perhitungan produksi. Kapasitas yang lebih besar berpotensi meningkatkan keuntungan, tetapi penentuan kapasitas harus mempertimbangkan berbagai faktor lainnya. Salah satu aspek penting yang perlu dikaji adalah tingkat permintaan Hidrogen Peroksida, baik di Indonesia maupun secara global.

1.6.1 Penentuan Kapasitas Pra-rancangan Pabrik *Cumene*

Kebutuhan *Cumene* di Indonesia dari tahun ke tahun diperkirakan akan terus meningkat, berdasarkan data diperoleh dari Badan Pusat Statistik mengenai impor *Cumene* di Indonesia dari tahun 2021-2024 ada pada **Tabel 1.1**

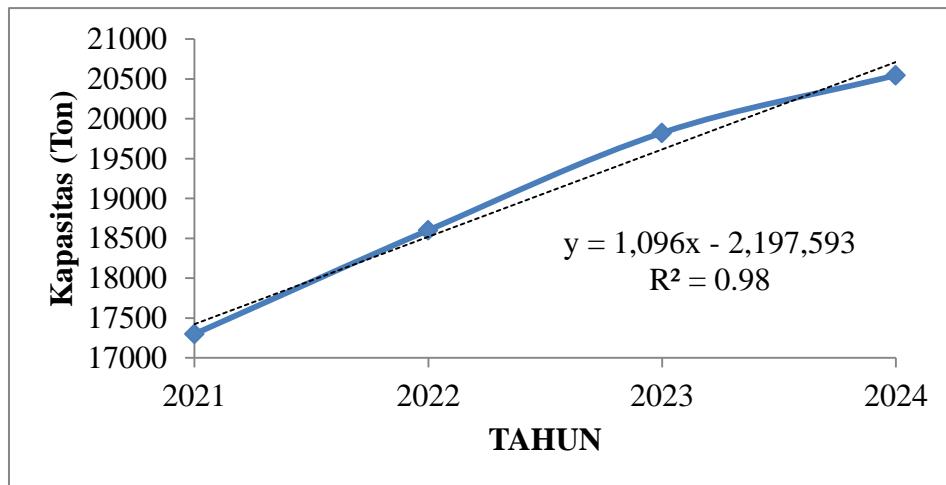
Tabel 1.1 Data Impor *Cumene* Di Indonesia

Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
2021	19.500
2022	18.061
2023	19.823
2024	20.545

(Sumber : BPS, 2024)

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas impor *Cumene* mengalami peningkatan setiap tahunnya. Oleh karena itu direncanakan dibangun pabrik *Cumene* di Indonesia agar memenuhi kebutuhan dalam negeri serta diharapkan Indonesia menjadi negara pengekspor *Cumene* ke negara yang membutuhkan.

Maka dari itu mengurangi ketergantungan impor, pembuatan pabrik *Cumene* di Indonesia semestinya diperhitungkan. Adapun Data impor kebutuhan *Cumene* di Indonesia 2021-2024 terdapat pada **Gambar 1.1**



Gambar 1.1 Data Impor Kebutuhan *Cumene* di Indonesia 2021-2024

Dari grafik diatas dapat diperoleh persamaan sehingga persamaan tersebut dapat digunakan untuk ekstrapolasi pada tahun selanjutnya. Hasil ekstrapolasi dapat dilihat pada **Tabel 1.2**

Dari **Gambar 1.1** di atas didapatkan persamaan garis lurus $y = 1.096x - 2.197.593$ dengan x sebagai fungsi tahun dan nilai $R^2 = 1$. Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan *Cumene* dalam negeri pada tahun 2030 mendatang sebagai berikut.

$$y = 1.096x - 2.197.593$$

$$y = 1.096 (2030) - 2.197.593$$

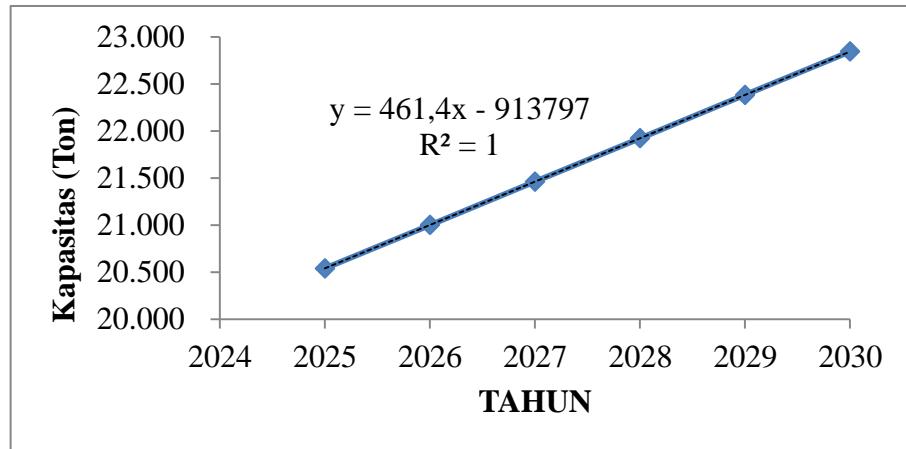
$$y = 27.287 \text{ Ton/Tahun}$$

Tabel 1.2 Prediksi kebutuhan *Cumene* tahun 2025-2030

Tahun Ke	Tahun	Prediksi Kebutuhan Dalam (Ton/Tahun)
1	2025	21.807
2	2026	22.907
3	2027	23.999
4	2028	25.095
5	2029	26.191

6	2030	27.287
---	------	--------

Kemudian dibuat data grafik prediksi kebutuhan dari hasil ekstrapolasi atau menggunakan perkiraan dari rumus *excel*. Berikut data-data prediksi setiap tahun untuk kebutuhan di masa yang akan datang dinyatakan pada **Gambar 1.2**



Gambar 1.2 Prediksi Kebutuhan *Cumene* di Indonesia 2025-2030

Maka impor *Cumene* di Indonesia pada tahun 2030 meningkat menjadi sebesar 27.287 Ton/Tahun. Kebutuhan *Cumene* di Asia Tenggara. Berdasarkan data dari <https://data.un.org/> kebutuhan akan *Cumene* dari tahun 2018-2022 di Asia Tenggara dapat dilihat pada **Tabel 1.3**

Tabel 1.3 Data kebutuhan *Cumene* di Asia Tenggara tahun 2018-2022

Tahun ke	Tahun	Jumlah kebutuhan Asia Tenggara (Ton/Tahun)
1.	2018	3.918.097
2.	2019	3.173.345
3.	2020	2.930.043
4.	2021	3.725.327
5.	2022	2.816.988

(Sumber: <https://data.un.org/>)

Berdasarkan data **Tabel 1.3** di atas, dapat dilihat bahwa kebutuhan *Cumene* di Asia Tenggara mengalami peningkatan setiap tahunnya. Oleh karena itu perencanaan pembangunan pabrik *Cumene* di Indonesia sangat perlu dan penting untuk didirikan guna meningkatkan devisa negara dari hasil *Cumene*.

Dengan prediksi kebutuhan *Cumene* dan kapasitas pabrik yang sudah ada, maka dalam prarancangan pabrik ini dipilih kapasitas 30.000 ton/tahun dengan pertimbangan yaitu:

1. Dapat mencukupi kebutuhan *Cumene* dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun .
2. Dapat membuka peluang berdirinya industri-industri baru dengan menggunakan *Cumene* sebagai bahan baku atau bahan antara.
3. Menghemat devisa negara dengan mengurangi impor sekaligus meningkatkan PDB (Produk Domestik Bruto) dalam negeri.
4. Mengimpor *Cumene* ke Asia Tenggara untuk memenuhi kebutuhan luar negeri.

1.6.2 Kapasitas *Cumene* di Dunia

Data tabel dibawah ini merupakan data kapasitas produksi *Cumene* terbesar berada dibeberapa negara dapat dilihat pada **Tabel 1.4**

Tabel 1.4 Kapasitas *Cumene* di dunia

Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
<i>Cepsa Chemical Shanghai</i>	Shanghai, China	360.000
<i>INEOS</i>	Marl, Germany	260.000
<i>Dow Chemical</i>	Netherlands	400.000
<i>Kumho Shell</i>	Yeochoon, Korea	280.000
<i>Koch</i>	Corpus Christi, Texas	672.000
<i>Severodonetsk</i>	Severodonetsk, Ukraine	30.000
<i>Slovnaft</i>	Bratislava, Slovakia	55.000
<i>Mitsui Chemicals</i>	Osaka, Japan	140.000
<i>Taiwan Property</i>	Kaohsiung, Taiwan	130.000
<i>Chevron</i>	Port Arthur, Texas	450.000
<i>Borealis</i>	Porvoo, Finland	180.000

(Sumber: ICIS, 2023)

1.6.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan *Cumene* yaitu berupa benzena dan propilena, yang

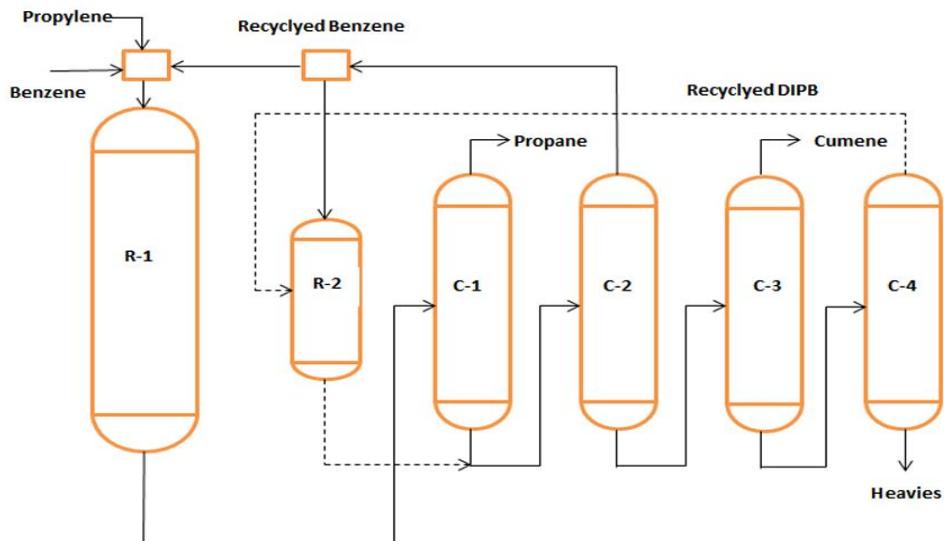
dapat diperoleh dari dalam negeri sendiri, sehingga tidak tergantung dari negara lain. Bahan baku propilena disediakan oleh PT. Chandra Asri *Petrochemical* di Cilegon dengan kapasitas 240.000 ton/tahun. Sedangkan bahan baku benzena disediakan oleh Kilang Pertamina *Paraxylene* di Cilegon dengan kapasitas 120.000 ton/tahun.

1.7 Pemilihan Proses

Proses pembuatan *Cumene* terdapat beberapa proses yang digunakan, beberapa diantara proses tersebut adalah:

1.7.1 Proses Alkilasi

Proses ini menggunakan katalis asam fosfat dalam bentuk padat. Reaksi alkilasi berlangsung dalam reaktor *fixed bed* dengan kondisi operasi pada suhu 278,5°C dan tekanan 18 atm, serta tingkat konversi mencapai 95%. Produk yang dihasilkan kemudian diarahkan ke *flash drum* untuk memisahkan sebagian besar gas propilena dan propana, yang selanjutnya dikeluarkan sebagai gas buang melalui menara distilasi. Pada tahap ini, gas akan keluar melalui bagian atas, sedangkan cairan yang terbentuk dialirkan melalui bagian bawah sebagai produk. Cairan hasil pemisahan dari *flash drum* kemudian diteruskan ke menara distilasi. Hasil fraksi atas dari menara distilasi kemudian dikirim ke kolom pemisahan benzena, dengan kondisi operasi pada suhu 63,5°C dan tekanan 1 atm. Pada tahap ini, benzena dan propana dipisahkan dalam bentuk uap jenuh di bagian atas kolom. Uap tersebut kemudian diarahkan ke menara distilasi untuk dikondensasikan menjadi benzena cair dengan tekanan 9,5 atm dan suhu 177,7°C (Ullmann's, 2005). Adapun *Flowsheet* dasar untuk proses alkilasi dapat dilihat pada **Gambar 1.3**



Gambar 1.3 *Flowsheet* Dasar dengan Proses Alkilasi.

Proses alkilasi melibatkan penggunaan katalis asam cair, seperti asam fosfat (H_3PO_4) untuk mengkatalisis reaksi antara benzena dan propilena. Proses ini cukup luas digunakan secara industri karena teknologinya yang telah mapan. Reaksi dapat berlangsung pada suhu dan tekanan tinggi, sehingga mudah dikendalikan dalam skala besar. Dibandingkan katalis zeolit, asam fosfat lebih tahan terhadap pengotor ringan seperti air atau senyawa sulfur dalam bahan baku. Namun, kekurangan utama dari proses ini adalah penggunaan katalis asam cair yang bersifat korosif, yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan dan memerlukan bahan tahan asam khusus. Selain itu, proses ini menghasilkan limbah berbahaya yang memerlukan penanganan dan pengolahan khusus juga harga katalis yang mahal.

Analisa ekonomi awal merupakan perhitungan jumlah dari harga bahan baku dan harga produk yang akan dijual sebagai penentu apakah pabrik yang akan dirancang dapat memberikan keuntungan atau kerugian. Reaksi pembentukan *Cumene* dari propilena dan benzena dengan katalis asam fosfat yaitu:



Berikut merupakan data harga bahan baku dan produk serta berat molekul melalui situs www.Chemanalyst.com pada tahun 2025 berdasarkan nilai kurs US\$

1 = Rp 16.290,00 tertera pada **Tabel 1.5** berikut.

Tabel 1.5 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Alkilasi

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (kg/mol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Propilena	0,04208	18.411
2.	Benzena	0,07811	19.978
3	Asam Fosfat Padat	0,09799	20.939
4	<i>Cumene</i>	0,12091	162.900

(Sumber: *Chemanalyst*, 2025)

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku dan produk maka harus dikonversikan terlebih dahulu.

$$PE = \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$$

$$\begin{aligned}
 PE &= (\text{BM } Cumene \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) - [(\text{BM Propilena} \times \\
 &\quad \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) + (\text{BM Benzene} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah} \\
 &\quad \text{Mol}) + (\text{BM Asam fosfat} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol})] \\
 &= (0,12091 \times 162.900 \times 1) - [(0,04208 \times 18,411 \times 1) + (0,07811 \times \\
 &\quad 19,978 \times 1) + (0,09799 \times 20.939 \times 1)] \\
 &= \text{Rp } 21.748
 \end{aligned}$$

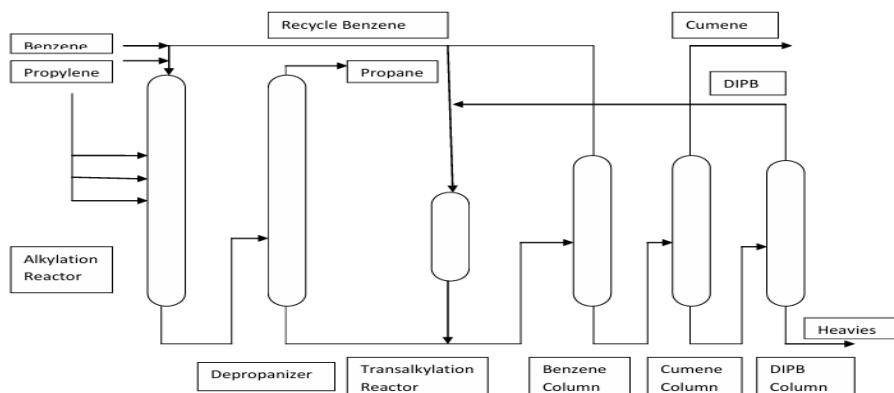
$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{\text{Harga Produk}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Rp } 21.748}{\text{Rp. } 4.387} \times 100\% \\
 &= 4,9 \%
 \end{aligned}$$

1.7.2 Proses Monsanto

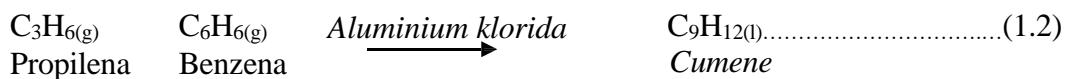
Produksi *Cumene* menggunakan proses AlCl_3 dari Monsanto terdiri dari tiga unit utama, yaitu unit alkilasi, unit pengolahan katalis bekas, dan unit pemurnian, yang bekerja secara terpadu untuk menghasilkan *Cumene* dengan kemurnian tinggi. Pada tahap awal, bahan baku berupa benzene murni, benzene hasil daur ulang, propilena, serta katalis aluminium klorida (AlCl_3) dimasukkan ke dalam reaktor alkilasi, di mana benzene bereaksi dengan propilena melalui

reaksi *Friedel-Crafts* dengan bantuan katalis AlCl_3 . Reaksi ini bersifat eksotermis, sehingga panas yang dihasilkan dikendalikan menggunakan sirkulasi air pendingin agar suhu tetap stabil pada 135°C , dengan tekanan 3,94 atm, sehingga mencapai konversi reaksi sebesar 91%. Produk reaksi yang keluar dari reaktor berupa campuran *Cumene*, propilena yang tidak bereaksi, dan benzena sisa, yang kemudian dialirkan ke unit pemurnian untuk dipisahkan melalui distilasi bertingkat. Kolom depropanisasi digunakan untuk memisahkan propilena yang tidak bereaksi, yang kemudian didaur ulang kembali ke reaktor, sedangkan kolom pemisahan benzena bertugas untuk memisahkan benzena sisa, yang juga dikembalikan sebagai umpan ulang. Selanjutnya, kolom pemurnian *Cumene* berfungsi untuk memastikan produk *Cumene* memiliki kemurnian tinggi sebelum digunakan dalam industri lanjutan, seperti produksi fenol dan aseton. Sementara itu, katalis AlCl_3 yang telah habis pakai dialirkan ke unit pengolahan katalis, di mana dilakukan proses hidrolisis untuk mengubahnya menjadi aluminium hidroksida (Al(OH)_3) dan asam klorida (HCl) yang dapat digunakan kembali atau diolah lebih lanjut untuk mengurangi dampak lingkungan. Dengan sistem integrasi ini, proses produksi *Cumene* menjadi lebih efisien, memaksimalkan pemanfaatan bahan baku, serta mengurangi limbah dan emisi, sehingga lebih ramah lingkungan. Adapun *Flowsheet* lengkap proses Monsanto dapat dilihat pada **Gambar 1.4**, yang menunjukkan aliran material dan tahapan utama dalam produksi *Cumene* dengan metode ini.



Gambar 1.4 *Flowsheet* Dasar dengan Proses Monsanto

Salah satu keunggulan metode ini adalah kemampuannya untuk beroperasi pada tekanan standar. Namun, kelemahannya terletak pada kebutuhan akan peralatan yang tahan terhadap korosi, yang memiliki biaya tinggi. Selain itu, proses pengolahan limbah yang bersifat korosif juga memerlukan biaya yang signifikan. Studi ekonomi awal dilakukan dengan menghitung total biaya bahan baku serta perkiraan harga jual produk untuk menentukan apakah pabrik yang dirancang dapat menghasilkan keuntungan atau justru mengalami kerugian. Pembentukan *Cumene* terjadi melalui reaksi antara propilena dan benzene dengan katalis aluminium klorida. Adapun bentuk reaksi kimia yang terjadi pada proses Monsanto ini ialah:



Berikut merupakan data harga bahan baku dan produk serta berat molekul melalui situs www.Chemanalyst.com pada tahun 2025 berdasarkan nilai kurs US\$ 1 = Rp 16.290,00 tertera pada **Tabel 1.6** berikut.

Tabel 1.6 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Monsanto

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (kg/mol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Propilena	0,04208	18.411
2.	Benzena	0,07811	19.978
3	Aluminium Klorida	0,13334	19.029
4	<i>Cumene</i>	0,12091	162.900

(Sumber: *Chemanalyst*, 2025)

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku dan produk maka harus dikonversikan terlebih dahulu.

PE = Harga Produk - Harga Bahan Baku

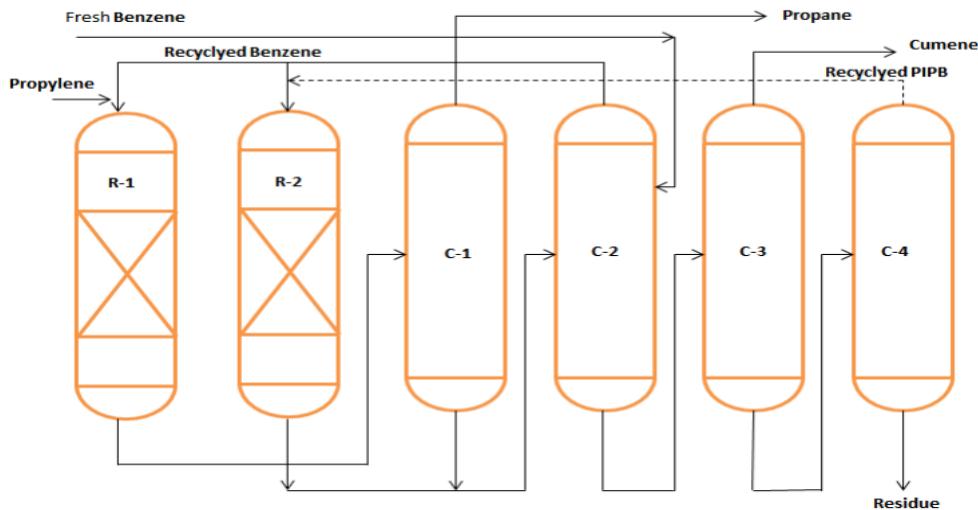
$$\begin{aligned}
 \text{PE} = & (\text{BM Cumene} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) - [(\text{BM Propilena} \times \\
 & \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) + (\text{BM Benzena} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah} \\
 & \text{Mol}) + (\text{BM Aluminium Klorida} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol})]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (0,12091 \times 162.900 \times 1) - [(0,04208 \times 18,411 \times 1) + (0,07811 \times \\
 &\quad 19,978 \times 1) + (0,13334 \times 19,029 \times 1)] \\
 &= \text{Rp } 19.699
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Harga Produk}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{19.699}{4.873} \times 100\% \\
 &= 4,04\%
 \end{aligned}$$

1.7.3 Proses Mobil / Badger

Dalam metode ini, *Cumene* diperoleh melalui reaksi antara benzena dan propilena dengan bantuan katalis zeolit (berasal dari komponen otomotif). Proses ini melibatkan penggunaan reaktor alkilasi tipe *fixed bed*, reaktor transalkilasi, serta unit pemisahan berbasis destilasi. Reaksi berlangsung pada kisaran suhu 300-500°C dengan tekanan antara 1-10 atm, dan tingkat konversi yang dicapai mencapai 90%. Propilena dicampurkan dengan benzena baru serta benzena hasil daur ulang sebelum dimasukkan ke dalam reaktor alkilasi, di mana propilena bereaksi secara maksimal. Sementara itu, campuran benzena hasil sirkulasi kembali dialirkan ke reaktor transalkilasi, memungkinkan terjadinya reaksi lanjutan yang menghasilkan tambahan *Cumene*. Produk dari reaktor alkilasi kemudian dialirkan ke kolom depropanisasi, sedangkan hasil dari reaktor transalkilasi bersama dengan keluaran bagian bawah kolom depropanisasi diteruskan ke kolom pemisahan benzena. Dalam unit ini, benzena daur ulang serta *crude benzene* dipisahkan, di mana bagian atas mengandung benzena murni, (Ullmann's, 2005). Adapun *Flowsheet* dasar dengan proses Mobil/Badger pada **Gambar 1.5**



Gambar 1.5 Flowsheet Dasar dengan Proses Mobil/Badger.

Proses Mobil/Badger menggunakan zeolit sebagai katalis padat, untuk mengalkilasi benzena dengan propilena menghasilkan *Cumene*. Proses ini memiliki banyak keunggulan, di antara nya adalah penggunaan katalis padat yang mudah dipisahkan dari campuran reaksi, sehingga mengurangi kebutuhan pemisahan kimia yang kompleks. Proses ini juga lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah asam berbahaya dan memiliki selektivitas tinggi terhadap *Cumene*. Selain itu, katalis zeolit dapat diregenerasi secara berkala sehingga lebih tahan lama dalam operasi berkelanjutan. Namun, proses ini juga memiliki beberapa kelemahan, seperti biaya awal investasi yang cukup tinggi karena dibutuhkan reaktor khusus dan pengoperasian pada suhu yang lebih tinggi (sekitar 200–300 °C).

Studi kelayakan ekonomi awal mencakup perhitungan biaya bahan baku serta estimasi harga jual produk guna menentukan apakah pabrik yang akan dibangun mampu menghasilkan keuntungan atau justru mengalami kerugian. Proses produksi *Cumene* melalui reaksi antara propilena dan benzena dengan katalis zeolit. Adapun reaksi yang terjadi di proses Mobil/Badger sebagai berikut.



Berikut merupakan data harga bahan baku dan produk serta berat molekul melalui situs www.Chemanalyst.com pada tahun 2025 berdasarkan nilai kurs US\$

1 = Rp 16.290,00 tertera pada **Tabel 1.7** berikut.

Tabel 1. 7 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Mobil/*Badger*

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (kg/mol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Propilena	0,04208	18.411
2.	Benzena	0,07811	19.978
3	Zeolit	0,06008	16.059
4	<i>Cumene</i>	0,12091	162.900

(Sumber: *Chemanalyst*, 2025)

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku dan produk maka harus dikonversikan terlebih dahulu.

$$PE = \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$$

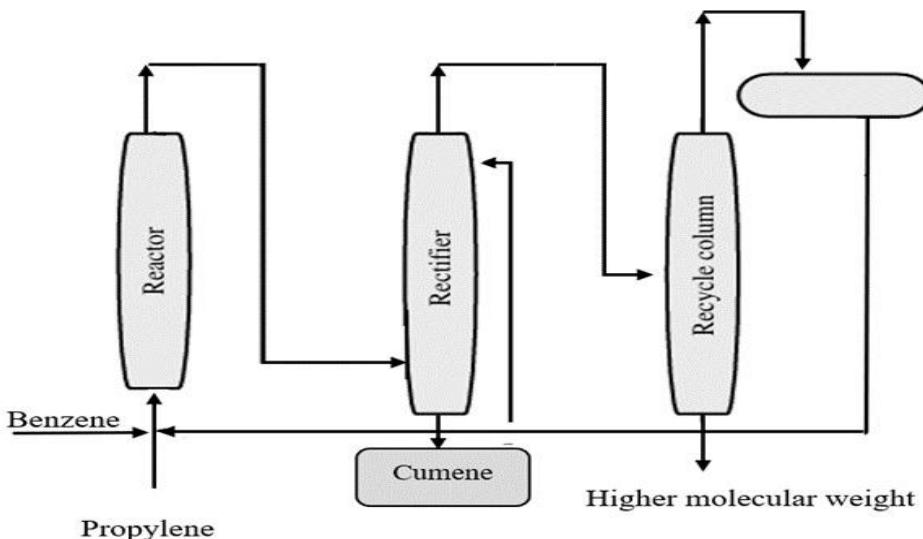
$$\begin{aligned}
 PE &= (\text{BM } Cumene \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) - [(\text{BM Propilena} \times \\
 &\quad \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) + (\text{BM Benzena} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah} \\
 &\quad \text{Mol}) + (\text{BM Zeolit} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol})] \\
 &= (0,12091 \times 162.900 \times 1) - [(0,04208 \times 18.411 \times 1) + (0,07811 \times \\
 &\quad 19.978 \times 1) + (0,06008 \times 19.029 \times 1)] \\
 &= \text{Rp } 25.915
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Harga Produk}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{19.698}{3.300} \times 100\% \\
 &= 5,96\%
 \end{aligned}$$

1.7.4 Proses Alkilasi *Friedel-Crafts*

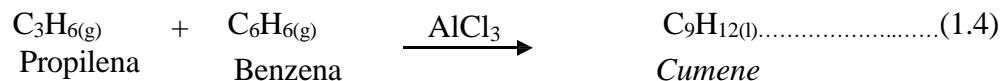
Pembuatan *Cumene* dengan benzena dan propilena sebagai bahan baku dan AlCl_3 sebagai katalis dari proses Alkilasi *Friedel-Crafts*. Reaktor yang digunakan pada proses ini adalah reaktor dengan kondisi operasi pada suhu 175°C . Benzene dan propilena dipanaskan menggunakan HE. Sebelum di panaskan di HE benzene dan propilena di pompa agar menaikkan tekanan untuk di alirkan ke HE untuk di lakukan peningkatan suhu sebelum di umpan kan kedalam reaktor *fixed bed*. Umpan yang terdiri dari benzene, propilena dan katalis

AlCl_3 masuk ke dalam reaktor. Kemudian hasil reaksi di alirkan ke dalam distilasi untuk dilakukan pemurnian dan menghasilkan produk utama yaitu *Cumene*. Produk utama dilakukan pemurnian lagi pada distilasi yang kedua menghasilkan pemurnian *Cumene* dan impuritis. Reaksi berjalan pada kondisi operasi dengan suhu 205°C tekanan 3,8 atm dengan konversi reaksi sebesar 99% (Ullmann's, 2005). Adapun *Flowsheet* dasar proses alkilasi *Friedel-Crafts* pada **Gambar 1.6**



Gambar 1.6 *Flowsheet* Dasar dengan Proses Alkilasi *Friedel-Crafts*

Proses *Friedel-Crafts* merupakan metode klasik dalam kimia organik yang menggunakan katalis asam Lewis, seperti aluminium klorida (AlCl_3), untuk mengkatalisis reaksi antara benzena dan propilena. Proses ini dikenal karena reaktivitasnya yang tinggi dan mampu menghasilkan rendemen *Cumene* yang besar. Meskipun demikian, penerapan proses ini dalam industri berskala besar memiliki banyak tantangan. Salah satunya adalah katalis AlCl_3 tidak dapat digunakan ulang karena bersifat sangat reaktif dan membentuk kompleks yang sukar dipecah. Analisa ekonomi awal merupakan perhitungan jumlah dari harga bahan baku dan harga produk yang akan dijual sebagai penentu apakah pabrik yang akan dirancang dapat memberikan keuntungan atau memberikan kerugian. Reaksi pembentukan *Cumene* dari propilena dan benzena dengan katalis *Alumunium Cloride* yaitu:



Berikut merupakan data harga bahan baku dan produk serta berat molekul melalui situs www.Chemanalyst.com pada tahun 2025 berdasarkan nilai kurs US\$ 1 = Rp 16.290,00 tertera pada **Tabel 1.8**

Tabel 1.8 Harga Bahan Baku dan Produk Proses Alkilasi Friedel-Crafts

No.	Bahan baku dan Produk	Berat molekul (kg/mol)	Harga (Rp/Kg)
1.	Propilena	0,04208	18.411
2.	Benzena	0,07811	19.978
3	Aluminium Klorida	0,13334	19.029
4	<i>Cumene</i>	0,12091	162.900

(Sumber: *Chemanalyst*, 2025)

Untuk menghitung kebutuhan bahan baku dan produk maka harus dikonversikan terlebih dahulu.

$$\begin{aligned}
 PE &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\
 PE &= (\text{BM Cumene} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) - [(\text{BM Propilena} \times \\
 &\quad \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol}) + (\text{BM Benzene} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah} \\
 &\quad \text{Mol}) + (\text{BM Aluminium Klorida} \times \text{Harga} \times \text{Jumlah Mol})] \\
 &= (0,12091x 162.900x 1) - [(0,04208 x 18,411 x 1) + (0,07811 x \\
 &\quad 19,978x 1) + (0,13334 x 19,029 x 1)] \\
 &= \text{Rp. } 29.215,-
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Harga Produk}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{19.699}{4.873} \times 100\% \\
 &= 4,04\%
 \end{aligned}$$

1.7.5 Perbandingan Proses

Setiap proses yang dapat digunakan dalam pra-rancangan pabrik *Cumene* memiliki kelebihan dan kekurangannya. Kelebihan dan kekurangan setiap proses dapat dilihat pada **Tabel 1.9**

Tabel 1.9 Perbandingan Proses Pembuatan *Cumene*

No	Pertimbangan	Proses			
		Monsanto	Mobil/Badger	Alkilasi	Alkilasi Friedel-Crafts
1.	Bahan Baku	Benzena + Propilena	Benzena + Propilena	Benzena + Propilena	Benzena + Propilena
2.	Suhu Operasi	135 °C	300°C-500 °C	278°C	150°C-250°C
3.	Konversi	91 %	90 %	95 %	99%
4.	Tekanan Operasi	3,94 atm	1°C-10 atm	18 atm	3,8 atm
5.	Katalis	<i>Alumunium Chloride</i>	Asam Zeolit	Asam fosfat padat	<i>Alumunium Chloride</i>
6.	Harga Katalis	Rp. 19.029/kg	Rp. 16.059/Kg	Rp.20.939/Kg	Rp. 19.029/Kg
6.	Produk Utama	<i>Cumene</i>	<i>Cumene</i>	<i>Cumene</i>	<i>Cumene</i>

Berdasarkan **Tabel 1.9** dapat diketahui bahwa proses produksi *Cumene* yang digunakan yaitu proses alkilasi *Friedel-Crafts* dengan katalis aluminium klorida padat dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Suhu operasi pada proses alkilasi *Friedel-Crafts* yang relatif normal dan cukup yaitu 150 °C - 250 °C dibandingkan dengan proses monsanto dengan suhu operasi yang terlalu rendah yaitu 135 °C dan pada proses Mobil/Badger yaitu 300 - 500 °C dan alkilasi yaitu 278 °C dengan suhu operasi yang terlalu tinggi. Suhu operasi pada 150 °C-250 °C
2. Konversi yang diperoleh pada proses alkilasi *Friedel-Crafts* dengan nilai yang paling tinggi yaitu 99% dibandingkan proses monsanto dengan konversi yaitu 91%, proses Mobil/Badger yaitu 90%, dan proses alkilasi yaitu 95%.
3. Tekanan operasi yang dibutuhkan untuk menjalankan proses alkilasi *Friedel-Crafts* yaitu 3,8 atm

Crafts relatif rendah yaitu 3,8 atm dibandingkan dengan tekanan operasi pada proses Mobil /*Badger* yaitu 1-10 atm, proses monsanto 3,94 atm serta proses alkilasi yaitu 18 atm yang menunjukkan nilai rentang tekanan operasi yang cukup tinggi.

4. Penggunaan katalis pada proses alkilasi *Friedel-Crafts* menggunakan katalis aluminium klorida dengan keunggulan mampu beroperasi pada tekanan dalam kondisi standar dibandingkan penggunaan katalis pada proses lain seperti Mobil/*Badger* dengan katalis asam zeolit juga proses alkilasi dengan penggunaan katalis yaitu asam fosfat yang dapat menghasilkan limbah asam berlebih.

1.8 Uraian Proses

Pabrik *Cumene* (C_9H_{12}) yang akan didirikan ini merupakan pabrik berbahan baku propilena dan benzena yang dimana propilena diperoleh dari PT. Chandra Asri *Petrochemical* di Cilegon dan benzena diperoleh dari Kilang Pertamina *Paraxylene* RU IV di Cilegon. Pabrik dirancang dengan kapasitas 30.000 ton/tahun yang beroperasi selama 24 jam dan 330 hari dalam setahun.

Secara garis besar, proses pembuatan *Cumene* terdiri dari beberapa tahap yaitu :

1. Tahap Penyimpanan dan Preparasi Bahan Baku.
2. Tahap Reaksi.
3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk.

1. Tahap Penyimpanan dan Preparasi Bahan Baku

a. Penyimpanan Bahan

Benzena dalam fase cair disimpan dalam tangki (V-101), pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Sedangkan propilena dalam fase cair, disimpan dalam tangki (V-102) pada suhu 30°C dan tekanan 3 atm.

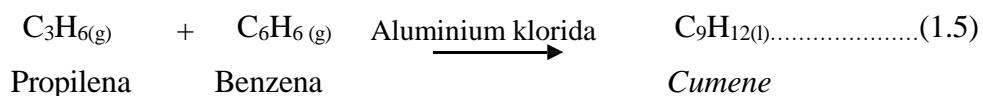
b. Preparasi Bahan Baku

Pada proses ini bahan baku diubah secara fisik agar sesuai dengan kondisi reaktor (R-201). Benzena dari tangki (V-101) yang bekerja pada tekanan 1 atm dan suhu 30°C, dialirkan menggunakan pompa sentrifugal dan dinaikkan tekanan pada 4 atm (P-101). Keluarannya diperoleh benzena dengan kondisi jenuh pada

suhu 30°C lalu diumpan kedalam *heat exchanger* (HE-201) untuk dinaikkan suhunya sesuai dengan kondisi operasi reaktor yaitu 180°C, lalu benzena diumpan melalui *heater* (E-101) untuk dinaikkan tekanannya menjadi 3,8 atm kedalam reaktor (R-201). Sedangkan umpan propilena dari tangki (V-102) dialirkan menggunakan pompa (P-102) dengan kondisi operasi 30°C dan dinaikkan tekanan menjadi 4 atm. Diperoleh propilena dengan kondisi suhu 102°C. Selanjutnya cairan propilena diumpulkan kedalam *heat exchanger* (HE-202) untuk dinaikkan suhu menjadi 180°C sesuai dengan kondisi operasi reaktor, selanjutnya uap propilena diumpan kedalam reaktor (R-201) pada tekanan hingga 3,8 atm.

2. Tahap Reaksi

Benzena dan propilena dicampur dalam reaktor untuk menghasilkan konversi produk yang tinggi dan menekan sekecil mungkin dalam reaktor. Reaksi pembentukan *Cumene* dilakukan dalam reaktor *fixed bed* (R-201) yang di dalam pipa-pipanya diisi katalisator aluminium klorida padat. Reaksi berlangsung pada tekanan 3,8 atm dan suhu 180°C. Didalam *tube-tube* reaktor ini terjadi reaksi alkilasi benzene dengan propilena menjadi *Cumene*. Menurut reaksi:



Reaksi benzena dengan propilena membentuk *Cumene* berlangsung secara eksotermis. Untuk tujuan pendinginan dengan menyerap panas hasil reaksi ini digunakan air bertekanan yang disirkulasikan pada bagian *shell* reaktor sehingga memberikan transfer panas yang baik. Produk keluar dari reaktor pada suhu 240°C dan tekanan 3,8 atm.

3. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

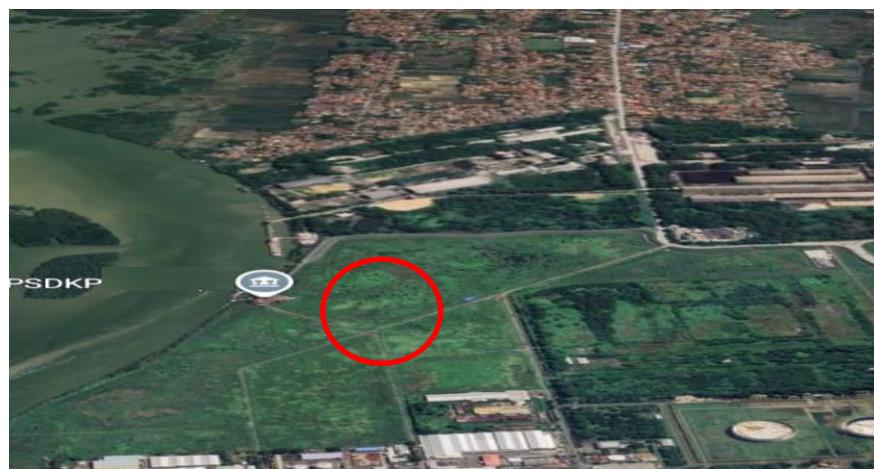
Produk keluar dari reaktor pada suhu 240°C dan tekanan 3,8 atm. Produk hasil reaktor diumpulkan ke destilasi (T-100) untuk memisahkan sebagian besar gas propana dan benzene yang keluar sebagai *flue* gas menggunakan menara destilasi (T-301). Selanjutnya campuran gas ini akan keluar pada bagian atas sedangkan pada bagian bawah yang berupa cairan keluar produk utama dilakukan

pemurnian lagi pada distilasi yang kedua menghasilkan pemurnian *Cumene* dan impuritis. Reaksi berjalan pada kondisi operasi dengan suhu 153°C dengan tekanan 1 atm.

Pemisahan antara produk utama dengan bahan baku yang tidak ikut bereaksi dari destilasi (T-301). Untuk produk utamanya berupa *Cumene* akan dialirkan menggunakan pompa dan disesuaikan dengan suhu 30 °C dan tekanan 2 atm. Keluaran atas (T-301) dinaikkan tekanannya menjadi 2 atm dan suhunya 111 °C dialirkan menuju distilasi (T-302) untuk dipisahkan antara sisa impuritis dan bahan baku yang tidak bereaksi. Keluaran atas dari (T-302) akan dialirkan menuju ke unit utilitas bawah dari (T-302) berupa baan baku yang tidak bereaksi akan direcycle kembali menuju reaktor.

1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik *Cumene* di Cilegon, Jawa Tengah, merupakan keputusan strategis yang diambil setelah melalui analisis komprehensif terhadap berbagai faktor penting, termasuk keunggulan geografis dengan akses ke jalur transportasi laut dan lahan luas, keunggulan ekonomis dengan pasokan bahan baku dari Kilang Pertamina dan dukungan pemerintah daerah, infrastruktur yang memadai, ketersediaan tenaga kerja, serta pertimbangan lingkungan yang matang, yang semuanya menjadikan Cilegon sebagai lokasi optimal untuk investasi industri ini, sebagaimana divisualisasikan dalam **Gambar 1.7**



Gambar 1. 7 Lokasi pabrik *Cumene*

Daerah Cilegon dipilih sebagai lokasi pabrik berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1.9.1 Sumber Bahan Baku

Bahan baku merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan operasi pabrik. Bahan baku benzena diperoleh dari Pertamina di Cilegon dengan kapasitas 120.000 ton/tahun (Pertamina, 2023). Sedangkan bahan baku propilena disediakan oleh PT. Chandra Asri Petrochemical Tbk di Cilegon dengan kapasitas 470.000 ton/tahun (Kemenperin, 2023), maka dengan demikian bahan baku cukup tersedia dan mudah diperoleh dikarenakan lokasi pemasok bahan baku cukup dekat dengan Pelabuhan maka dapat mempermudah penyediaan juga mengurangi biaya produksi.

Aluminium klorida (AlCl_3) adalah katalis yang akan digunakan dalam produksi *Cumene* melalui proses alkilasi *Friedel-Crafts* dari benzena dengan propilena. Untuk memperoleh aluminium klorida dapat diperoleh dari PT. Anugrah Putra Kencana, perusahaan ini menawarkan produk aluminium klorida yang dapat digunakan sebagai katalis dalam berbagai proses kimia, termasuk produksi *Cumene* (Anugrahputrakencana.co.id). Beberapa distributor bahan kimia di wilayah Banten menyediakan aluminium klorida, seperti produk aluminium klorida tersedia dalam e-katalog LKPP (E-katalog.lkpp.go.id).

1.9.2 Pemasaran Produk

Cilegon termasuk wilayah yang ideal untuk pemasaran produksi *Cumene* karena memiliki banyak industri kimia yang memanfaatkan *Cumene* sebagai bahan baku utama. Beberapa perusahaan, seperti PT Buana Spring Foam, PT Primaraya PT KBS International, dan Safana Plastik, serta berbagai pabrik plastik lainnya, menggunakan *Cumene* dalam proses produksi plastik. Selain itu, industri cat seperti PT Indaco Warna Dunia, PT Nippon Paint, dan PT Grammar Paint juga memanfaatkan *Cumene* sebagai pelarut dalam pembuatan cat tembok. Tidak hanya industri plastik dan cat, *Cumene* juga banyak digunakan di berbagai sektor lainnya, termasuk pabrik phenol dan aseton, pabrik resin, pabrik asetofenon, dll.

1.9.3 Transportasi

Pendirian pabrik *Cumene* di Cilegon memiliki keuntungan strategis dari segi transportasi, baik dalam pengadaan bahan baku maupun distribusi produk jadi. Dengan infrastruktur yang memadai, proses logistik dapat berjalan lebih efisien, mendukung operasional pabrik secara optimal. Bahan baku utama dalam produksi *Cumene*, yaitu benzena dan propilena, dapat diperoleh dengan mudah. Benzena tersedia dari Pertamina Refinery Unit IV Cilegon, yang dapat disalurkan langsung ke pabrik melalui jaringan pipa atau diangkut menggunakan truk tangki. Sementara itu, propilena bisa didatangkan dari industri petrokimia seperti PT Chandra Asri Petrochemical di Cilegon. Pengiriman propilena dilakukan menggunakan kapal tanker melalui Pelabuhan Tanjung Intan Cilegon, yang memiliki fasilitas untuk menangani bahan kimia cair dalam jumlah besar. Selain itu, aluminium klorida, yang berfungsi sebagai katalis dalam proses produksi, dapat diperoleh dari berbagai distributor kimia di Banten atau Jakarta dan diangkut melalui jalur darat menggunakan truk kontainer.

Setelah produksi *Cumene* selesai, distribusi produk ke berbagai industri lain dapat dilakukan melalui beberapa jalur transportasi. Untuk wilayah Cilegon dan sekitarnya, pengiriman menggunakan truk tangki menjadi pilihan utama. Sementara itu, untuk distribusi ke daerah yang lebih jauh, Pelabuhan Tanjung Intan memainkan peran penting dalam ekspor dan pengiriman antar pulau. Jalur kereta api juga dapat dimanfaatkan untuk distribusi dalam jumlah besar ke berbagai kota di Pulau Jawa, mengingat Cilegon memiliki jaringan kereta yang terhubung dengan kota-kota industri lainnya.

Selain itu, kehadiran jalan nasional dan akses ke Tol Trans Jawa mempermudah transportasi bahan baku maupun hasil produksi ke berbagai daerah di Indonesia. Infrastruktur energi juga mendukung operasional pabrik, terutama dengan keberadaan Terminal BBM Pertamina Cilegon, yang menjamin pasokan bahan bakar bagi kendaraan transportasi dan operasional pabrik.

1.9.4 Tenaga Kerja

Pendirian pabrik *Cumene* membutuhkan tenaga kerja yang terampil di berbagai bidang agar operasional berjalan efisien. Dalam sektor teknis,

dibutuhkan insinyur kimia, mekanik, dan listrik, serta operator produksi, teknisi perawatan, dan petugas laboratorium untuk memastikan proses manufaktur berjalan optimal dan kualitas produk tetap terjaga. Di tingkat manajerial, peran manajer pabrik, supervisor produksi, serta tim keselamatan dan kesehatan kerja (K3) sangat penting dalam pengelolaan operasional dan penerapan standar keamanan industri. Selain itu, staf keuangan, HRD, logistik, serta petugas keamanan dan kebersihan berperan dalam mendukung kelancaran bisnis dan operasional pabrik. Rekrutmen tenaga kerja dapat dilakukan dari berbagai daerah industri seperti Cilegon, Cilegon, Surabaya, dan kawasan industri lainnya yang memiliki sumber daya manusia kompeten, terutama lulusan perguruan tinggi dan sekolah kejuruan (SMK) di bidang teknik dan manufaktur. Dengan tenaga kerja yang terampil serta infrastruktur pendukung memadai, pabrik *Cumene* dapat beroperasi optimal dan mendukung pertumbuhan industri petrokimia di Indonesia.

1.9.5 Utilitas

Pendirian pabrik *Cumene* di Cilegon membutuhkan sistem utilitas yang handal untuk mendukung kelancaran operasional. Salah satu kebutuhan utama adalah pasokan air industri yang dapat diperoleh dari Sungai Serayu dengan debit air 15.017,7885 kg/jam (15,0177885 m³/jam), kemudian diolah melalui Water Treatment Plant (WTP) agar memenuhi standar industri. Selain air, pasokan listrik dan energi menjadi faktor krusial dalam operasional pabrik. Listrik utama dapat diperoleh dari PLTU Cilegon, sementara sebagai cadangan, pabrik memerlukan genset mandiri agar tetap beroperasi dalam kondisi darurat. Untuk bahan bakar, pabrik dapat memanfaatkan gas alam dari jaringan PGN atau solar (HSD) guna mendukung proses pemanasan reaktor.