

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang, yang sedang giat melakukan pembangunan di berbagai bidang industri. Peningkatan pembangunan pada sektor ini diharapkan dapat memberikan devisa bagi negara, menambah lapangan pekerjaan dan mengurangi ketergantungan terhadap produk negara lain. Pengembangan industri nasional diarahkan guna meningkatkan daya saing agar mampu masuk dalam pasar Internasional dan dapat mempertahankan pasar dalam negeri.

Dalam perkembangannya sejak tahun 1990, kebutuhan akan *phenyl ethyl alcohol* terus meningkat, seiring dengan bertambahnya kebutuhan tersebut maka perlu dilakukan pengembangan-pengembangan dalam proses pembuatan *phenyl ethyl alcohol* guna meningkatkan hasil dan mutu produk yang lebih baik. Pendirian pabrik *phenyl ethyl alcohol* akan sangatlah tepat, karena dapat memberikan dampak positif dalam segala bidang, antara lain dibukanya lapangan kerja baru, sehingga dapat menyerap tenaga kerja dan mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia (Fessenden, 1986).

Di samping itu untuk memenuhi kebutuhan pasar di dalam negeri yang diharapkan dapat meningkatkan devisa negara. Di dalam negeri *phenyl ethyl alcohol* digunakan sebagai bahan baku pembuatan parfum yang cukup potensial. Disamping itu *phenyl ethyl alcohol* juga dapat digunakan sebagai bahan kosmetik, sabun, bahan pengawet, anti bakteri dan lain sebagainya. *Phenyl ethyl alcohol* adalah salah satu produk kimia hasil produksi antara (*intermediate*) yang sangat komersial untuk bahan baku industri.

1.2 Rumusan Masalah

Phenyl ethyl alcohol ($C_8H_{10}O$) merupakan salah satu produk kimia hasil produksi antara (*intermediate*) yang sangat komersial untuk bahan baku industri pembuatan parfum yang cukup potensial. Di samping itu *phenyl ethyl alcohol* juga

dapat digunakan sebagai bahan kosmetik, sabun, bahan pengawet, anti bakteri dan lain sebagainya. Dalam perkembangannya kebutuhan akan *phenyl ethyl alcohol* terus meningkat, seiring dengan bertambahnya kebutuhan tersebut maka perlu dilakukan produksi guna mencukupi kebutuhan dalam negeri.

1.3 Tujuan Prarancangan

Tujuan dari prarancangan pabrik *phenyl ethyl alcohol* dengan proses reaksi *friedel-crafts*, untuk menerapkan disiplin ilmu Teknik Kimia, khususnya bidang perancangan, dan proses operasi teknik kimia sehingga akan memberikan gambaran kelayakan perancangan pendirian pabrik *phenyl ethyl alcohol*.

1.4 Manfaat Prarancangan

Pendirian pabrik *phenyl ethyl alcohol* akan sangatlah tepat, karena dapat memberikan dampak positif dalam segala bidang, antara lain:

1. Mengurangi ketergantungan Indonesia pada negara lain dengan membatasi jumlah impor setiap tahunnya.
2. Mencukupi jumlah kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* dalam negeri yang diperkirakan akan terus meningkat.
3. Memacu pertumbuhan industri-industri baru yang menggunakan bahan baku maupun bahan penunjang *phenyl ethyl alcohol*.
4. Dibukanya lapangan kerja baru, sehingga dapat menyerap tenaga kerja dan mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia.
5. Meningkatkan devisa negara.

1.5 Batasan Masalah

Prarancangan pabrik *phenyl ethyl alcohol* ini dibatasi dengan bahan baku utama yaitu *ethylene oxide* dan *benzene* menggunakan proses *friedel crafts*. Adapun pembuatan *flowsheet* prarancangan pabrik ini dibatasi dengan menggunakan *software* Aspen Hysys V14 dan P&ID.

1.6 Pemilihan Proses

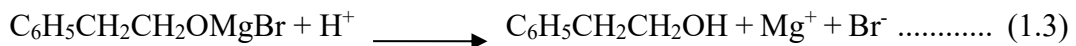
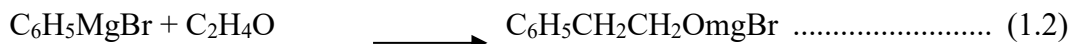
Phenyl ethyl alcohol (PEA) adalah suatu senyawa aromatis yang mempunyai sifat berbau harum seperti bunga mawar. Secara alami PEA terkandung dalam minyak yang mudah menguap (*volatile*), misalnya pada bunga mawar, bunga jeruk manis, dan daun teh. PEA merupakan senyawa aromatis paling sederhana dan memiliki berbagai karakteristik kimia seperti alkohol primer. Ada beberapa proses pembuatan *phenyl ethyl alcohol* adalah sebagai berikut:

1.6.1 Proses Reaksi *Grignard*

Selama 25 tahun terakhir setelah tahun 1990, reaksi *grignard* digunakan untuk membuat *phenyl ethyl alcohol* dengan bahan baku utama berupa *bromo benzene* (C_6H_5Br) dan magnesium (Mg). Proses sintesis *phenyl ethyl alcohol* menggunakan reaksi *grignard* merupakan metode yang efektif dan banyak digunakan dalam kimia organik untuk menghasilkan alkohol aromatik dengan struktur yang kompleks. Proses ini dimulai dengan reaksi antara *bromo benzene* (C_6H_5Br) dan magnesium (Mg). Magnesium berperan sebagai logam aktif yang bereaksi dengan *bromo benzene* membentuk senyawa organo magnesium yang dikenal sebagai fenil magnesium bromida (C_6H_5MgBr). Senyawa ini merupakan reagen *grignard* yang sangat reaktif dan berperan sebagai katalis dalam reaksi lanjutan.

Selanjutnya, fenil magnesium bromida direaksikan dengan *ethylene oxide* (C_2H_4O), yang merupakan senyawa epoksida, sehingga terjadi penambahan gugus etil pada cincin aromatik. Reaksi ini menghasilkan senyawa antara berupa kompleks magnesium alkoksida ($C_6H_5CH_2CH_2OMgBr$). Tahap terakhir adalah proses hidrolisis, yaitu penambahan air atau asam encer untuk menguraikan senyawa kompleks tersebut menjadi *phenyl ethyl alcohol* ($C_6H_5CH_2CH_2OH$) dan magnesium bromida sebagai produk. Reaksi ini berlangsung pada suhu rendah, sekitar $10^{\circ}C$, dan tekanan atmosfer (1 atm) untuk menjaga kestabilan reagen dan mencegah reaksi samping yang tidak diinginkan. Penggunaan katalis fenil magnesium bromida sangat penting karena meningkatkan laju reaksi dan selektivitas pembentukan produk akhir. Namun, perlu diperhatikan bahwa konversi reaksi ini biasanya berada di kisaran 50%, sehingga dalam rancangan pabrik perlu

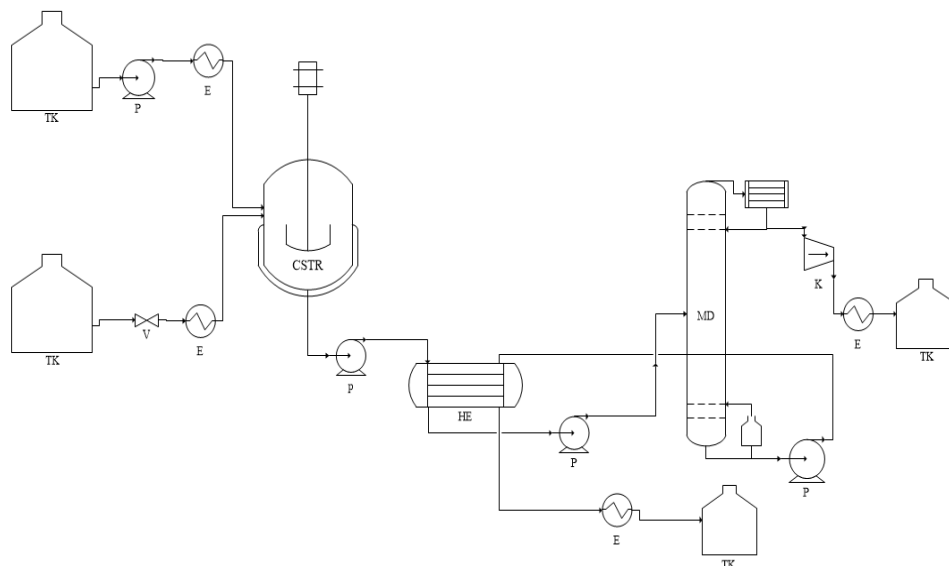
dilakukan optimasi kondisi reaksi untuk meningkatkan efisiensi dan hasil produksi. Proses *grignard* yang digunakan untuk menghasilkan *phenyl ethyl alcohol* mengikuti tahap-tahap reaksi sebagai berikut :



Kondisi operasi :

P = 1 atm

T = 10°C



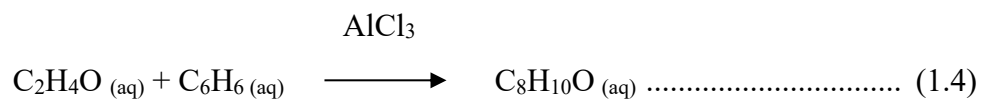
Gambar 1.1 *Flow Sheet* Dasar Proses *Grignard*

1.6.2 Proses Reaksi *Friedel-Crafts*

Ketika *ethylene oxide* ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) secara komersial ditemukan, maka teknik *friedel-crafts* menggeser penggunaan reaksi yang lain. Reaksi *friedel-crafts* pertama kali digunakan oleh Schaarschmidt pada tahun 1925. Bahan baku utama yang digunakan adalah *benzene* (C_6H_6) sebagai senyawa aromatik dan *ethylene oxide* ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) sebagai sumber gugus alkil, dengan *aluminium chloride* (AlCl_3) sebagai katalis proses ini berlangsung dalam fasa cair.

Reaktan berupa *benzene*, *ethylene oxide*, dan larutan AlCl_3 dimasukkan secara kontinyu ke dalam reaktor CSTR yang dioperasikan pada tekanan atmosferik (1 atm) dan suhu rendah berkisar 10°C, untuk menjaga kestabilan senyawa reaktif

dan mencegah terbentuknya produk samping yang tidak diinginkan. Di dalam reaktor, AlCl_3 membentuk kompleks dengan *ethylene oxide* yang kemudian menghasilkan suatu spesies elektrofilik kuat, yang dapat menyerang cincin aromatik *benzene* melalui mekanisme substitusi elektrofilik. Reaktor CSTR dirancang dengan pengaduk mekanik dan sistem pendingin terintegrasi, guna memastikan homogenitas campuran reaktan serta pengontrolan suhu reaksi secara konstan. Hasil konversi reaksi yang dihasilkan pada proses ini adalah sebesar 95% serta menghasilkan *yield* 75-80% dan kemurnian 98-100%. Penggunaan *benzene* berlebih dapat memberi pengaruh pada agitasi yang baik selama proses reaksi (Kirk & Othmer, 1991). Reaksi *friedel-crafts* dalam pembuatan *phenyl ethyl alcohol* (PEA) adalah sebagai berikut :

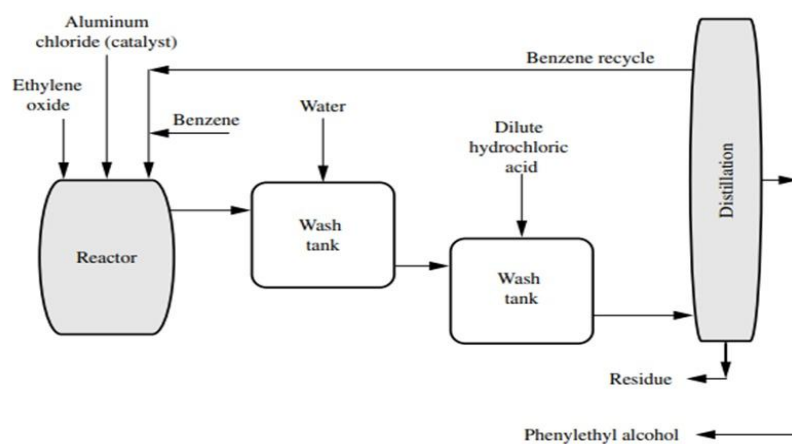


Penggunaan *benzene* berlebih dapat memberi pengaruh pada agitasi yang baik selama proses reaksi.

Kondisi operasi :

$P = 1 \text{ atm}$

$T = 10^\circ\text{C}$



Gambar 1.2 *Flow Sheet Dasar Proses Friedel-Crafts*

1.7 Perbandingan Proses

Adapun perbandingan proses pembuatan *phenyl ethyl alcohol* dari proses reaksi *grignard* dengan proses reaksi *friedel-crafts* ditunjukkan dalam Tabel 1.1 sebagai berikut.

Tabel 1.1 Perbandingan Proses Pembuatan *Phenyl Ethyl Alcohol*

No	Variabel	Proses Reaksi <i>Grignard</i>	Proses Reaksi <i>Friedel-Crafts</i>
1.	Bahan Baku	C_6H_5Br	C_2H_4O
		Mg	C_6H_6
2.	Kondisi Operasi		
	Suhu	$10^{\circ}C$	$10^{\circ}C$
	Tekanan	1 atm	1 atm
3.	Katalis	C_6H_5MgBr	$AlCl_3$
4.	Konversi reaksi	50%	95%
5.	Fase Reaksi	gas-cair	cair-cair
6.	Reaktor	<i>Fixed Bed</i>	CSTR

Sumber: Enggo dkk, 2018

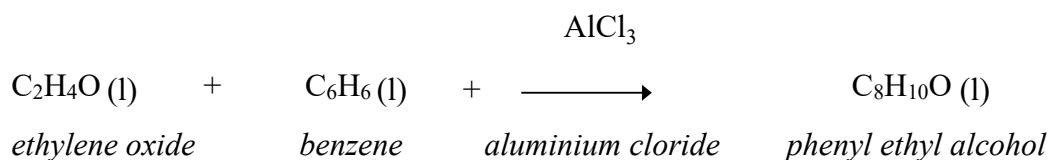
Dengan melihat kedua macam proses diatas maka dalam perancangan pabrik *phenyl ethyl alcohol* dipilih proses reaksi *friedel-crafts* dengan katalis $AlCl_3$ dikarenakan konversi reaksi yang dihasilkan lebih besar yaitu 95%, nilai kemurnian 99% dan bahan baku yang mudah didapatkan.

1.8 Uraian Proses

Proses dimulai dengan tiga tangki penyimpanan (TK) yang berfungsi untuk menyimpan bahan baku utama, yaitu *benzene* (C_6H_6) dan *ethylene oxide* (C_2H_4O) serta katalis *aluminium chloride* ($AlCl_3$). *Benzene* yang merupakan reaktan utama, disimpan dalam tangki penyimpanan pertama (TK-1), sementara *ethylene oxide* disimpan dalam tangki penyimpanan kedua (TK-2) dan katalis *aluminium chloride* disimpan dalam tangki penyimpanan ketiga (TK-3). Bahan baku berupa *ethylene oxide* di simpan pada fase cair pada suhu $30^{\circ}C$ dengan tekanan 2,1 atm dalam tangki silinder tegak (TK-2). Bahan baku berupa *ethylene oxide* akan dialirkan menuju

reaktor namun harus dikondisikan dengan temperatur operasi. Lalu kemudian di dinginkan menggunakan *cooler* (F-8) sampai suhu mencapai 10°C. Bersamaan dengan itu dialirkan *benzene* yang disimpan pada fase cair, suhu dan tekanan lingkungan dalam tangki silinder tegak (TK-1) yaitu 30°C dan 1 atm, dimana *benzene* akan dialirkan dengan pompa kemudian disesuaikan suhu oprasinya 10°C pada 1 atm dengan menggunakan *cooler* (F-4). Katalis berupa *alumunium chloride* yang di simpan dalam fase cair, suhu dan tekanan lingkungan dalam tangki silinder tegak (TK-3) yaitu 30°C dan 1 atm, dimana *alumunium chloride* akan di alirkan dengan pompa kemudian disesuaikan suhu operasinya 10°C pada 1 atm dengan menggunakan *cooler* (F-10). Reaktor difungsikan untuk mereaksikan *ethylene oxide* dan *benzene* dengan menggunakan katalis *alumunium chloride* untuk memperoleh produk *phenyl ethyl alcohol*. Selain itu, sebelum memasuki reaktor, *benzene* dan *ethylene oxide* diturunkan suhunya. Hal ini penting karena reaksi *friedel-crafts* bersifat eksotermik, dan menjaga suhu reaktor pada tingkat yang optimal sangat penting untuk mengendalikan reaksi.

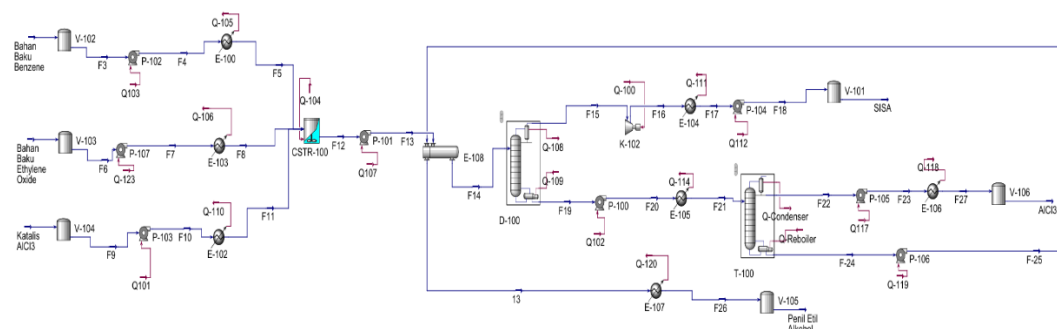
Reaksi :



Setelah konversi yang diinginkan tercapai sampai 95% produk keluaran reaktor pada suhu 10°C dan 1 atm, kemudian dipompakan menuju *heat exchanger* (E-101). Masuk melalui *tube* sedangkan yang masuk di *shell* adalah keluaran bawah destilasi. Suhu keluaran E-101 105°C sebelum menuju ke destilasi. Destilasi adalah alat pemisahan yang berdasarkan titik didih. Pemisahan kali ini antara produk (*phenyl ethyl alcohol*) dengan air. Titik didih *phenyl ethyl alcohol* 204°C sedangkan air titik didihnya 100°C, maka kami mengambil suhu operasi 105°C diantara titik didih air dengan PEA. Sehingga keluaran atas destilasi (F-15) air dengan bahan baku seperti *benzene* dan *ethylene oxide* pada temperatur 60,73°C. Sedangkan keluaran bawah destilasi D-100 (F-19) adalah *phenyl ethyl alcohol* dan *alumunium chloride* dengan temperatur 203,7°C berfase cair, kemudian dipisahkan lagi didestilasi (T-101) dengan temperatur 195°C. Keluaran atas destilasi (F-22) yaitu

katalis *aluminium chloride* dengan temperatur $144,8^{\circ}\text{C}$, kemudian diturunkan kembali menggunakan *cooler* menjadi 30°C lalu disimpan pada tangki katalis sisa. Pada keluaran bawah destilasi (F-24) yaitu *phenyl ethyl alcohol* dengan temperatur $189,8^{\circ}\text{C}$ yang kemudian dipompakan menuju *heat exchanger* (E-108) untuk mentransfer panas ke keluaran reaktor. Karna temperatur *phenyl ethyl alcohol* $104,5^{\circ}\text{C}$ setelah keluaran *heat exchanger* (E-108), jadi diturunkan kembali menggunakan *cooler* menjadi 30°C lalu disimpan pada tangki produk sedangkan keluaran atas destilasi (F-15) dialirkan menggunakan kompresor. Kemudian didinginkan sebelum dimasukkan kedalam tangki sementara.

Pada keluaran atas destilasi (D-100) yang disimpan pada tangki sementara dengan komposisi *benzene*, *ethylene oxide* dan air. Kemudian akan dimurnikan kembali yang akan dilaksanakan nantinya setelah pabrik beroperasi dan mempunyai pemasukan untuk membangun alat pemurnian terhadap bahan baku sisa yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan *phenyl ethyl alcohol* kembali.



Gambar 1.3 Diagram Alir Proses

1.9 Penentuan Kapasitas

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknis dan ekonomis. Meskipun secara teori semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lain yaitu:

1. Prediksi kebutuhan dalam negeri

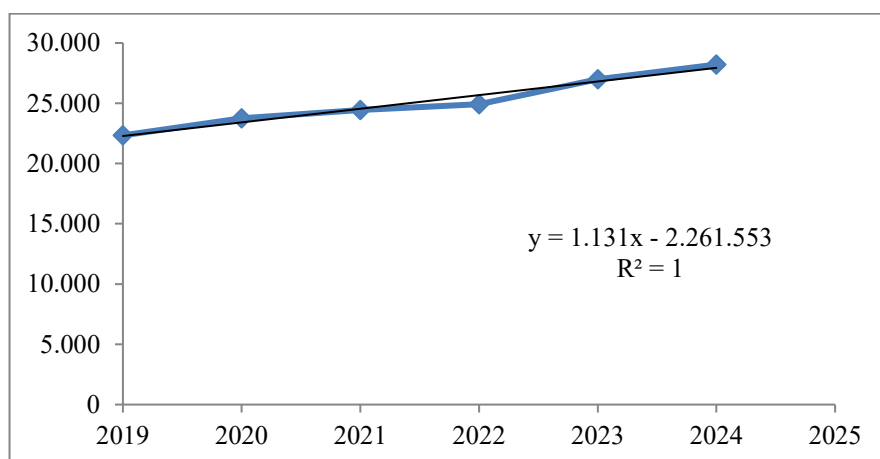
Berdasarkan data impor dari Badan Pusat Statistik di Indonesia dari tahun 2019-2024, kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* adalah sebagai berikut.

Tabel 1.2 Data Impor *Phenyl Ethyl Alcohol*

No	Tahun	Kapasitas Impor (Ton/Tahun)
1.	2019	22.337
2.	2020	23.745
3.	2021	24.452
4.	2022	24.925
5.	2023	26.991
6.	2024	28.213

Sumber: BPS (2024)

Berdasarkan Tabel 1.2 didapat suatu persamaan linier untuk memperkirakan kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* pada tahun 2030. Analisis ini bertujuan untuk memprediksi kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* di masa mendatang dengan mempertimbangkan data pada tahun sebelumnya yang tersedia. Hasil perhitungan tersebut kemudian divisualisasikan dalam Gambar 1.4 untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai proyeksi kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* di tahun mendatang.

**Gambar 1.4** Data Kebutuhan *Phenyl Ethyl Alcohol*

Pada Gambar 1.4 dapat disimpulkan bahwa grafik kebutuhan konsumen akan *phenyl ethyl alcohol* akan terus meningkat setiap tahunnya. Hal ini tentunya akan menyebabkan kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* di masa mendatang juga terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan industri yang menggunakan *ethylene oxide* dan *benzene* sebagai bahan bakunya. Untuk menghitung kebutuhan *phenyl*

ethyl alcohol pada tahun berikutnya, metode ekstrapolasi kebutuhan *phenyl ethyl alcohol* dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$y = a(x) + b$$

$$y = 1.131x - 2.261.553$$

$$y = 1.131(2030) - 2.261.553$$

$$y = 34.377$$

Berdasarkan hasil ekstrapolasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.3 berikut:

Tabel 1.3 Data Ekstrapolasi Kebutuhan *Phenyl Ethyl Alcohol*

No	Tahun	Prediksi Impor
1.	2025	28.722
2.	2026	29.853
3.	2027	30.984
4.	2028	32.115
5.	2029	33.246
6.	2030	34.377

Kebutuhan PEA untuk tahun 2030 dapat diperkirakan dengan cara ekstrapolasi hasilnya 34.377 ton/tahun. Untuk membantu memenuhi kebutuhan *phenyl ethyl alkohol* dalam negeri, maka diambil 35.000 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 *phenyl ethyl alkohol* yang semakin meningkat.

1.9.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan *phenyl ethyl alcohol* adalah *ethylene oxide* dan *benzene*. Bahan baku *benzene* diperoleh dari PT Pertamina Cilacap, sedangkan bahan baku *ethylene oxide* dari PT. Prima Ethycolindo Merak Banten, dan katalis $AlCl_3$ dari PT. Lumbung Sumber Rezeki Cirebon Jawa Barat.

Tabel 1.4 Pabrik *Phenyl Ethyl Alcohol* Diluar Negeri

Pabrik	Negara	Kapasitas (Ton/Tahun)
Silverline Chemical	India	1.200
Xi'an Taima Biological Engineering Co., Ltd	China	54.570
Hunan Suncheng Enterprises Corp	China	1.800
Jinan Yudong Trading Co. Ltd	China	100
Toyotama	Jepang	1.100
International Petrochem Limited	India	4.000
Asiaron Chemical Ltd	China	5.000
Fuzhou farwell import dan export Co.,Ltd dan Fujian Daquan Group	China	20.000 dan 24.000

(Sumber: *Chemichal Technology*, 2023).

1.10 Analisa Ekonomi Awal

Berdasarkan pemilihan proses, harga bahan baku dan produk pada proses *friedel-crafts* ditunjukkan pada Table 1.3 sebagai berikut :

**Tabel 1.5** Harga Bahan Baku

Bahan	BM (g/mol)	Harga/Kg
C ₂ H ₄ O	44,05	40.000
C ₆ H ₆	78,11	32.000
C ₈ H ₁₀	122,2	90.000
AlCl ₃	133,34	27.000
H ₂ O	18,02	0

(Sumber : www.ICIS.Princing.com)

- $\text{C}_2\text{H}_4\text{O} = 1 \text{ mol}$
 $= 1 \text{ mol} \times 44,05 \text{ g/mol}$
 $= 44,05 \text{ gr}$

$$\begin{aligned}
 &= 0,04405 \text{ kg} \\
 &= 0,04405 \text{ kg} \times \text{Rp. } 40.000 \\
 &= \text{Rp. } 1.762
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{C}_6\text{H}_6 &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 78,11 \text{ g/mol} \\
 &= 78,11 \text{ gr} \\
 &= 0,07811 \text{ kg} \\
 &= 0,07811 \text{ kg} \times \text{Rp. } 32.000 \\
 &= \text{Rp. } 2.499,52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad \text{AlCl}_3 &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 133,34 \text{ g/mol} \\
 &= 0,13334 \text{ kg} \times 27.000 \\
 &= \text{Rp. } 3.600,18
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Harga Bahan Baku} &= \text{Rp. } 1.762 + \text{Rp. } 2.499,52 + \text{Rp. } 3.600,18 \\
 &= \text{Rp. } 7.862,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Produk Samping :} \quad \text{H}_2\text{O} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 18,02 \text{ g/mol} \\
 &= 18,02 \text{ gr} \\
 &= 0,01802 \text{ kg} \\
 &= 0,01802 \text{ kg} \times \text{Rp. } 0 \\
 &= \text{Rp. } 0
 \end{aligned}$$

Konversi Produk:

$$\begin{aligned}
 \text{Phenyl ethyl alcohol} &= 1 \text{ mol} \\
 &= 1 \text{ mol} \times 122,2 \text{ gr/mol} \\
 &= 122,2 \text{ gr} \\
 &= 0,1222 \text{ kg} \\
 &= 0,1222 \text{ kg} \times \text{Rp. } 90.000/\text{kg} \\
 &= \text{Rp. } 10.998
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Analisa Ekonomi} &= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku} \\ &= \text{Rp. 10.998} - \text{Rp. 7.861,18} \\ &= \text{Rp. 3.126,82}\end{aligned}$$

Dari uji ekonomi awal yang telah dibuat, terlihat bahwa harga beli bahan baku lebih murah dibandingkan dengan harga jual produk. Maka dari itu, uji ekonomi awal dapat disimpulkan bahwa pabrik *phenyl ethyl alcohol* ini layak untuk didirikan.

