

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia cukup berkembang, khususnya industri kimia. Industri kimia terus mengalami peningkatan, baik industri yang menghasilkan bahan jadi, bahan setengah jadi, bahkan bahan baku untuk industri lain. Dalam industri kimia biphenyl merupakan salah satu produk intermediat yang potensial untuk dikembangkan karena memiliki kegunaan yang cukup luas, diantaranya yaitu sebagai bahan baku pembuatan polimer, emulsifiers, sebagai pendingin (*dowtherm*).

*Biphenyl* juga dikenal sebagai *difenil* atau *fenilbenzena*, adalah senyawa hidrokarbon aromatik dengan rumus kimia  $C_{12}H_{10}$ . Senyawa ini memiliki berbagai aplikasi dalam industri kimia dan merupakan bahan perantara yang penting. *Biphenyl* juga memiliki berbagai aplikasi industri, seperti sebagai penghantar panas, zat antara dalam produksi pewarna, dan bahan pengawet. Permintaan *biphenyl* terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri kimia dan manufaktur. *Biphenyl* juga digunakan dalam produksi PCB (*polychlorinated biphenyls*) yang walaupun penggunaannya sudah dibatasi, tetapi produk turunan dari bifenil masih banyak dibutuhkan. Benzena merupakan bahan baku utama dalam produksi *biphenyl*. Benzena adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang memiliki rumus kimia  $C_6H_6$ . Senyawa ini dikenal karena struktur uniknya yang berbentuk cincin heksagonal, di mana enam atom karbon terikat satu sama lain dengan ikatan tunggal dan ganda yang bergantian, menciptakan sistem delokalisasi elektron yang memberikan stabilitas tinggi. Benzena tersedia dalam jumlah yang cukup melimpah sebagai produk samping dari industri petrokimia. Pasar *biphenyl* memiliki potensi yang besar, baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Hal ini menjadi peluang untuk mendirikan pabrik *biphenyl* dengan kapasitas yang sesuai.

Mengingat banyaknya kebutuhan akan bahan kimia tersebut, sementara negara kita masih mengimpor, maka pendirian pabrik *biphenyl* ini akan dapat menguntungkan dan memberi manfaat bagi industri lainnya. Selain itu diharapkan kebutuhan dalam negeri akan kebutuhan *biphenyl* tercukupi, menambah devisa

negara, dan dapat membuka lapangan pekerjaan sehingga dapat mengurangi pengangguran.

Kapasitas pabrik di pilih berdasarkan kapasitas produktif pabrik *biphenyl* minimum yaitu sebesar 100.000 ton/tahun dengan harapan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga dapat menekan angka impor dan menambah devisa negara dengan mengekspor produk *biphenyl* ke luar negeri.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada perancangan pabrik *biphenyl* dari benzena dengan proses dehidrogenasi adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang pabrik *biphenyl* dari benzena dengan kapasitas 100.000 ton/tahun yang efisien dan ekonomis?
2. Proses kimia mana yang paling tepat untuk menghasilkan *biphenyl* dari benzena?
3. Bagaimana merancang unit-unit operasi dalam pabrik, seperti reaktor, pemisah, dan penukar panas?
4. Bagaimana menganalisis kelayakan ekonomi dan teknis dari pabrik *biphenyl*?
5. Bagaimana menentukan lokasi pabrik yang paling strategis?
6. Bagaimana cara menangani limbah hasil dari proses produksi *biphenyl*?

## 1.3 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan pada perancangan pabrik *biphenyl* dari benzena dengan proses dehidrogenasi adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan rancangan pabrik *biphenyl* dari benzena dengan kapasitas 100.000 ton/tahun.
2. Memilih proses kimia yang paling sesuai untuk produksi *biphenyl*.
3. Merancang unit-unit operasi dalam pabrik sesuai dengan kebutuhan proses.
4. Menganalisis kelayakan ekonomi dan teknis dari pabrik *biphenyl*
5. Menentukan lokasi pabrik yang strategis.
6. Meminimalkan dampak lingkungan dari pabrik.

#### 1.4 Manfaat Perancangan

Adapun mamfaat prarancangan pabrik *biphenyl* dari benzena dengan proses dehidrogenasi adalah sebagai berikut :

1. Mendorong pertumbuhan industri kimia dalam negeri dan mengurangi ketergantungan pada impor.
2. Menciptakan lapangan kerja yang berkualitas dan meningkatkan keterampilan tenaga kerja.
3. Meningkatkan daya saing industri nasional di pasar global.
4. Mendukung pengembangan teknologi hijau dan berkelanjutan.
5. Memberikan efek pengganda bagi perekonomian sekitar.

#### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada perancangan pabrik *biphenyl* dari benzena dengan proses dehidrogenasi adalah sebagai berikut :

1. Perancangan pabrik dibatasi pada kapasitas 100.000 ton/tahun.
2. Proses kimia yang dipertimbangkan adalah proses dehidrogenasi benzena.
3. Analisis ekonomi dibatasi pada perhitungan biaya produksi, investasi, dan profitabilitas.
4. Perancangan lokasi pabrik dibatasi pada ketersediaan bahan baku, utilitas, dan infrastruktur.
5. Analisa dampak lingkungan dibatasi pada penanganan limbah cair dan gas.

#### 1.6 Kapasitas Prarancangan Pabrik

Penentuan kapasitas produksi suatu industri senantiasa diupayakan dengan memperhatikan segi teknis, finansial, ekonomis, dan kapasitas minimal. Dari segi teknis, industri *Biphenyl* yang direncanakan memperhatikan peluang pasar, segi ketersediaan dan kontinuitas bahan baku. Penentuan kapasitas pabrik *Biphenyl* dilakukan dengan pertimbangan pertimbangan sebagai berikut :

##### 1.6.1 Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Agar dapat menentukan kapasitas desain diperlukan data berupa kapasitas pabrik yang telah dibangun di dunia. Data disajikan pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1** Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

| No. | Nama Produsen                         | Negara          | Kapasitas Ton/Tahun |
|-----|---------------------------------------|-----------------|---------------------|
| 1.  | Jiangsu Zhongneng Chemical Technology | China           | 27.200              |
| 2.  | Eastman Chemical Company              | Amerika Serikat | 16.000              |

**Sumber :** (Hyprowira, 2021)

Penentuan kapasitas pabrik Biphenyl dilakukan dengan membandingkan kapasitas pabrik yang telah beroperasi. Berdasarkan data, kapasitas pabrik Jiangsu Zhongneng di Tiongkok sebesar 27.200 ton/tahun dan Eastman Chemical di Amerika Serikat sebesar 16.000 ton/tahun. Dibandingkan dengan kapasitas pabrik yang dirancang sebesar 100.000 ton/tahun, kapasitas ini tergolong besar. Skala produksi yang tinggi dipilih untuk memenuhi permintaan pasar yang luas serta memanfaatkan keuntungan ekonomi skala.

#### 1.6.2 Data Impor *Biphenyl* di Indonesia

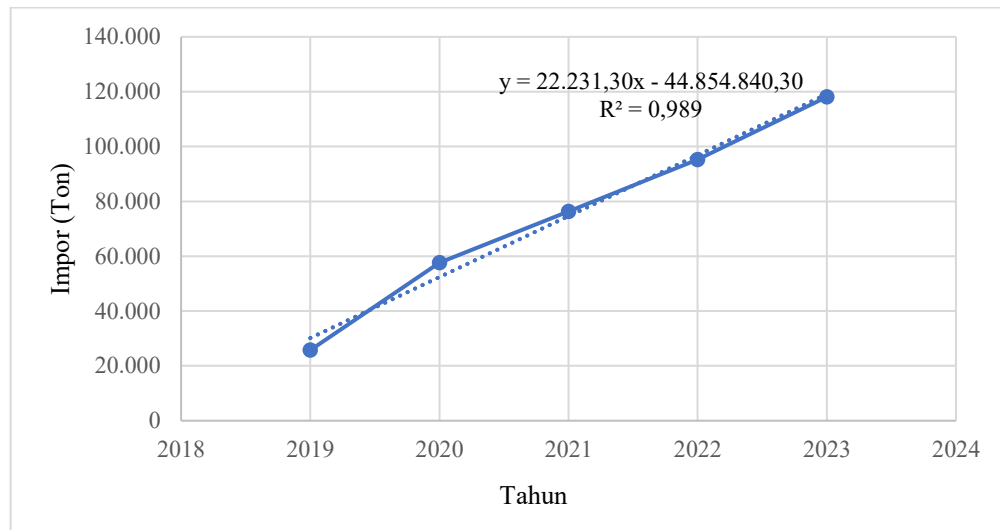
Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik terkait dengan kebutuhan impor Biphenyl di Indonesia dari tahun 2019 - 2022 dapat dilihat pada Tabel 1.4 dibawah ini.

**Tabel 1.2** Data Impor *Biphenyl* di Indonesia

| Tahun | Impor (Ton) |
|-------|-------------|
| 2019  | 25.732      |
| 2020  | 57.642      |
| 2021  | 76.381      |
| 2022  | 95.241      |
| 2023  | 118.089     |

**(Sumber :** BPS 2025)

Dapat dilihat pada Tabel 1.4 data kebutuhan impor *Biphenyl* di Indonesia dari tahun 2019 - 2023 terus mengalami peningkatan tiap tahun nya, dengan itu dapat disimpulkan bahwa kebutuhan *Biphenyl* di Indonesia masih banyak bergantung pada *Biphenyl* impor, kenaikan kebutuhan impor *Biphenyl* pada tahun 2019-2023 dapat dilihat pada Gambar 1.1



**Gambar 1.1** Grafik Produksi *Bipheryl* Di Indonesia

Berdasarkan Gambar 1.2 dapat dilihat bahwa kebutuhan impor *Bipheryl* di Indonesia tiap tahunnya mengalami kenaikan sesuai dengan persamaan garis lurus:  $y = 22.231,30x - 44.854.840,30$  dimana  $y$  adalah kebutuhan impor *Bipheryl* pada tahun tertentu dalam ton, sedangkan  $x$  adalah tahun ke yang akan diperkirakan. Kebutuhan impor *Bipheryl* di Indonesia pada tahun 2029 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 y &= 22.231,30x - 44.854.840,30 \\
 y &= 22.231,30 (2029) - 44.854.840,30 \\
 y &= 252.467 \text{ Ton/Tahun}
 \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan impor *Bipheryl* di Indonesia pada tahun 2029 diperkirakan sebesar 252.467 ton/tahun. Prediksi data kebutuhan impor pada tahun 2025 - 2029 menggunakan cara ekstrapolasi dapat dilihat pada Tabel 1.3

**Tabel 1.3** Data Hasil Ekstraporasi Impor *Bipheryl* di Indonesia

| Tahun | Impor (Ton) |
|-------|-------------|
| 2024  | 141.178     |
| 2025  | 164.267     |
| 2026  | 187.356     |
| 2027  | 210.445     |
| 2028  | 233.534     |
| 2029  | 252.467     |

**Sumber :** (Data Ekstrapolasi, 2025)

Dapat dilihat pada Tabel 1.3 bahwa dari data hasil ekstrapolasi kebutuhan impor *Biphenyl* di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat. Diperkirakan kebutuhan impor *Biphenyl* di Indonesia pada tahun 2029 mencapai 252.467 Ton/Tahun, untuk mengetahui peluang mengekspor *Biphenyl* dengan asumsi impor pada tahun 2029 dengan data impor yaitu 252.467 Ton/Tahun.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan maka pemilihan kapasitas prarancangan pabrik *biphenyl* sebesar 100.000 ton/tahun didasarkan pada keseimbangan antara kebutuhan pasar, ketersediaan bahan baku, kemampuan investasi, dan pertimbangan teknis operasional. Berdasarkan data ekstrapolasi, kebutuhan biphenyl nasional pada tahun 2029 diperkirakan mencapai 252.467 ton per tahun. Jumlah tersebut cukup signifikan untuk mengurangi ketergantungan impor. Selain itu, kapasitas 100.000 ton/tahun termasuk dalam kategori skala menengah-besar yang masih ekonomis dari segi investasi dan biaya operasi per ton produk, sekaligus memungkinkan penerapan teknologi dehidrogenasi dengan efisiensi tinggi. Pertimbangan teknis juga menunjukkan bahwa kapasitas ini mempermudah pengendalian proses, manajemen panas, serta pemanfaatan produk samping hidrogen tanpa memerlukan infrastruktur pendukung yang terlalu kompleks. Dengan demikian, kapasitas ini dinilai optimal untuk tahap awal pengembangan industri *biphenyl* dalam negeri, dengan peluang ekspansi di masa mendatang.

## 1.7 Pemilihan Proses

*Biphenyl* adalah senyawa hidrogen aromatik dengan rumus molekul  $C_{12}H_{10}$ . *Biphenyl* adalah komponen organik yang berbentuk kristal. *Biphenyl* merupakan salah satu bahan penunjang yang sangat penting dan dibutuhkan dalam industri kimia, antara lain adalah sebagai bahan intermediat. *Biphenyl* pertama kali ditemukan pada tahun 1862, kemudian diidentifikasi pada tahun 1867. (*Kirk Othmer – Encyclopedia of Chemical Technology*).

Proses pembuatan *biphenyl* dapat dilakukan melalui beberapa cara, yaitu :

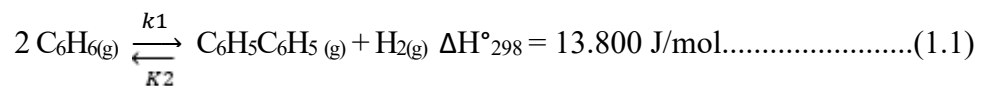
### 1.7.1 Proses Dehidrogenasi *Benzene*

Proses dehidrogenasi benzena menjadi *biphenyl* merupakan salah satu metode utama dalam produksi *biphenyl* secara komersial. Penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses ini dan mengurangi dampak lingkungan, seperti emisi gas hidrogen atau penggunaan katalis berbasis logam berat yang berpotensi mencemari lingkungan. Dengan perkembangan teknologi, diharapkan proses ini dapat menjadi lebih ramah lingkungan dan ekonomis di masa depan. Dehidrogenasi benzena adalah proses kimia yang menghilangkan hidrogen dari benzena untuk menghasilkan senyawa yang lebih tak jenuh, seperti karbon. Proses ini jarang dilakukan secara langsung pada *benzene* itu sendiri karena benzena sudah merupakan senyawa aromatik yang sangat stabil. Namun, dalam kimia industri, dehidrogenasi sering dilakukan pada turunan benzena, seperti sikloheksana, untuk menghasilkan *benzene*.

Proses produksi *biphenyl* secara industri umumnya dilakukan melalui reaksi dehidrogenasi benzena. Reaksi ini melibatkan penggabungan dua molekul benzena ( $C_6H_6$ ) menjadi satu molekul *Biphenyl* ( $C_{12}H_{10}$ ) dengan melepaskan gas hidrogen ( $H_2$ ). Reaksi ini bersifat endotermik dijalankan pada reaktor *fixed bed multi tube* dengan tekanan 5,5 atm dan suhu  $650^\circ C$ . Katalisator yang digunakan adalah alumina. Katalis Alumina ( $Al_2O_3$ ) digunakan untuk mempercepat laju reaksi. Efisiensi proses sangat dipengaruhi oleh suhu, tekanan, waktu tinggal, serta pemisahan produk dan gas samping secara efektif. Setelah reaksi berlangsung, campuran produk mengandung bifenil, benzena yang tidak bereaksi, serta gas-gas ringan seperti hidrogen dan metana. Untuk memperoleh bifenil murni, dilakukan serangkaian tahap pemisahan, yaitu: kondensasi, pemisahan fasa gas-cair, serta distilasi bertingkat. Distilasi digunakan untuk memisahkan bifenil berdasarkan titik didihnya yang tinggi. Proses purifikasi terakhir dilakukan untuk menghilangkan uap air, gas terlarut, dan senyawa pengotor agar didapatkan produk akhir dengan kemurnian tinggi. . Studi oleh Zhang et al. (2018) menunjukkan bahwa konversi benzena menjadi bifenil dapat ditingkatkan hingga 67,67 % dengan penggunaan katalis Alumina . Sementara itu, penelitian oleh Lee dan Kim (2020) menganalisis efisiensi sistem pemisahan menggunakan distilasi multistage, yang dapat

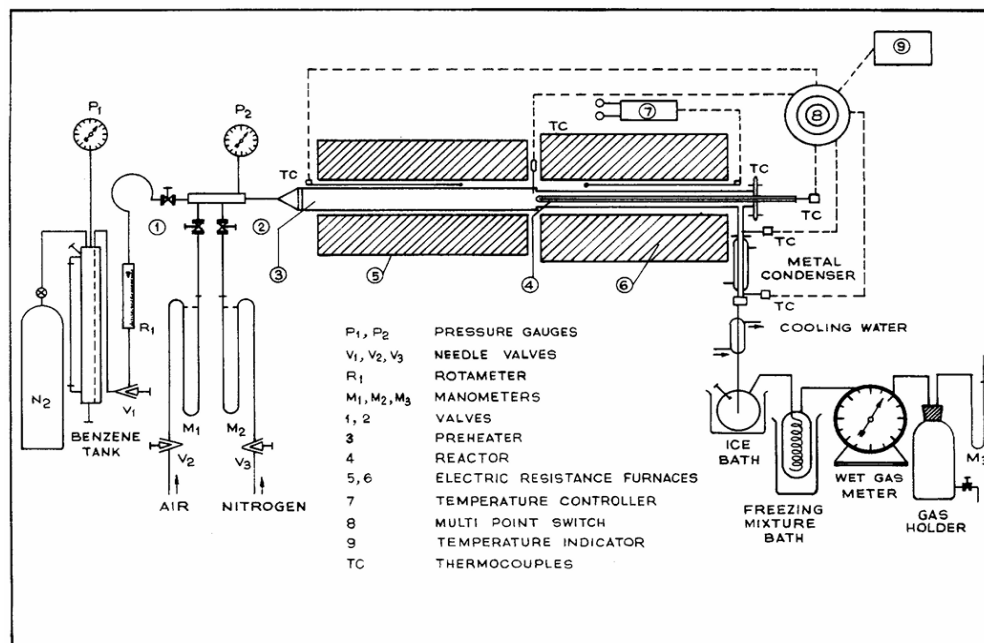
menghasilkan bifenil dengan kemurnian lebih dari 95%. Studi-studi ini menjadi dasar dalam merancang proses industri yang optimal, baik dari sisi konversi, energi, maupun efisiensi pemisahan (Brown, 1975). Berikut reaksi pembentukan *biphenyl* dari *benzene*.

Reaksi :



Reaksi beroperasi pada kondisi nonisothermal dengan nilai  $K_1$  dan  $K$  pada reaksi di atas berturut-turut sebesar  $7,05 \times 10^{-5} \text{ kmol/m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{kPa}$  dan 1,0956. Konversi benzene yang dicapai dengan proses ini adalah 67,67%. (Dasgupta, 1986).

Diagram proses dehidrogenasi pada pembuatan *biphenyl* yang dimana dapat dilihat pada gambar 1.2 berikut.



**Gambar 1.2** Diagram proses Dehidrogenasi *Benzene*

Adapun harga bahan baku dan harga produk dapat dilihat pada Tabel 1.4 berikut:

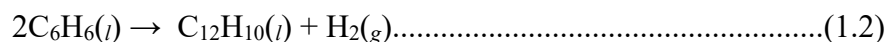
**Tabel 1.4** Analisa Ekonomi Awal Pada Proses Dehidrogenasi *Benzene*.

| Parameter     | Bahan Baku                                                                                                                                                                                                                           | Katalis                                                                                                             | Produk                                                                                                              |                                                                                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | <i>Benzene</i>                                                                                                                                                                                                                       | Alumina                                                                                                             | Biphenyl                                                                                                            | Hidrogen                                                                                                            |
| Rumus kimia   | $C_6H_6$                                                                                                                                                                                                                             | $Al_2O_3$                                                                                                           | $C_{12}H_{10}$                                                                                                      | $H_2$                                                                                                               |
| Berat Molekul | 78,11 gr/mol                                                                                                                                                                                                                         | 101,96 gr/mol                                                                                                       | 154,20 gr/mol                                                                                                       | 2,02 gr/mol                                                                                                         |
| Harga per kg  | Rp.12.000                                                                                                                                                                                                                            | Rp.10.000                                                                                                           | Rp.45.000                                                                                                           | Rp.56.000                                                                                                           |
| Kebutuhan     | $= 2 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 2 \text{ mol} \times 0,07811 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,15622 \text{ Kg/mol}$                                                                                                                  | $= 1 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 1 \text{ mol} \times 0,10196 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,10196 \text{ Kg/mol}$ | $= 1 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 1 \text{ mol} \times 0,15420 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,15420 \text{ Kg/mol}$ | $= 1 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 1 \text{ mol} \times 0,00202 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,00202 \text{ Kg/mol}$ |
| Harga Total   | Rp. 1.874,64                                                                                                                                                                                                                         | Rp.1.019,6                                                                                                          | Rp. 6.939,4                                                                                                         | Rp. 113,12                                                                                                          |
| Harga Jual    | $= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$<br>$= (\text{Rp } 6.939,4 + \text{Rp } 113,12) - (\text{Rp } 1.874,64 + \text{Rp } 1.019,6)/\text{kg}$<br>$= \text{Rp } 7.052,52 - \text{Rp } 2.894,24$<br>$= \text{Rp } 4.158,28$ |                                                                                                                     |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| Profit Margin | $= \frac{\text{Harga Jual}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\%$<br>$= \frac{4.158,28}{2.894,24} \times 100\%$<br>$= 143 \%$                                                                                                             |                                                                                                                     |                                                                                                                     |                                                                                                                     |

Berdasarkan hasil Analisa ekonomi awal pada Tabel 1.6 maka persentase keuntungan diperoleh yaitu sebesar 148%.

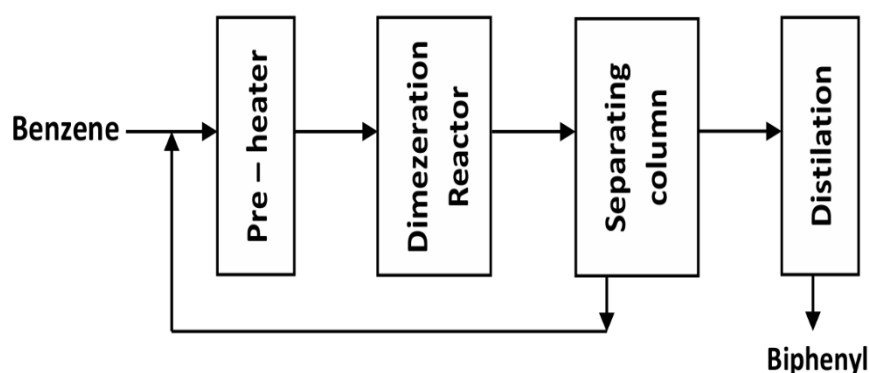
### 1.7.2 Proses Dimerisasi *Benzene*

Proses dimerisasi benzene dalam pembuatan biphenyl melibatkan penggabungan dua molekul benzene ( $C_6H_6$ ) menjadi biphenyl ( $C_{12}H_{10}$ ) dengan bantuan katalis paladium klorida ( $PdCl_2$ ). Reaksi yang digunakan pada saat pembuatan biphenyl dengan metode ini adalah sebagai berikut :



(Ullmans Encyclopedia of Chemical Technology)

Proses dimerisasi benzene dalam pembuatan *biphenyl* melibatkan beberapa tahapan utama. Pertama, bahan baku berupa benzene disiapkan dan diumpankan ke dalam Reaktor jenis *Continuous Stirred Tank* (CSTR) bersama dengan katalis Palladium(II) *Chloride* ( $\text{PdCl}_2$ ). Reaksi berlangsung pada suhu 165–185°C dan tekanan 10 atm dalam fase cair-cair. Di dalam reaktor, dua molekul benzene bereaksi membentuk biphenyl ( $\text{C}_{12}\text{H}_{10}$ ) sebagai produk utama dan hidrogen ( $\text{H}_2$ ) sebagai produk samping. Setelah reaksi selesai, campuran produk dialirkan ke unit pemisahan, seperti separator atau menara distilasi, untuk memisahkan biphenyl dari sisa benzene dan hidrogen. Biphenyl yang telah dimurnikan disimpan sebagai produk akhir, sementara sisa benzene dapat didaur ulang kembali ke reaktor. Katalis  $\text{PdCl}_2$  juga dapat diregenerasi untuk digunakan kembali dalam proses berikutnya. Konversi benzene yang dicapai dengan proses ini hanya 45%. Tekanan tinggi dan biaya katalis yang mahal menjadi tantangan utama, sehingga proses ini umumnya digunakan hanya dalam skala kecil atau penelitian.



**Gambar 1.3** Diagram proses Dimerisasi *Benzene*

(Ullmann's Industrial Chemistry)

Adapun harga bahan baku dan harga produk dapat dilihat pada Tabel 1.5 berikut:

**Tabel 1.5** Analisa Ekonomi Awal Pada Proses Dimeserasi *Benzene*.

| Parameter     | Bahan Baku                                                                                                                                                                                                                        | Katalis                                                                                                             | Produk                                                                                                              |                                                                                                                     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|               | <i>Benzene</i>                                                                                                                                                                                                                    | Palladium chloride                                                                                                  | Biphenyl                                                                                                            | Hidrogen                                                                                                            |
| Rumus kimia   | C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>                                                                                                                                                                                                     | PdCl <sub>2</sub>                                                                                                   | C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>                                                                                     | H <sub>2</sub>                                                                                                      |
| Berat Molekul | 78,11 gr/mol                                                                                                                                                                                                                      | 177,32 gr/mol                                                                                                       | 154,20 gr/mol                                                                                                       | 2,02 gr/mol                                                                                                         |
| Harga per kg  | Rp.12.000                                                                                                                                                                                                                         | Rp.240.000                                                                                                          | Rp.45.000                                                                                                           | Rp.56.000                                                                                                           |
| Kebutuhan     | $= 2 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 2 \text{ mol} \times 0,07811 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,15622 \text{ Kg/mol}$                                                                                                               | $= 1 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 1 \text{ mol} \times 0,17732 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,17732 \text{ Kg/mol}$ | $= 1 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 1 \text{ mol} \times 0,15420 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,15420 \text{ Kg/mol}$ | $= 1 \text{ mol} \times \text{BM}$<br>$= 1 \text{ mol} \times 0,00202 \text{ kg/mol}$<br>$= 0,00202 \text{ Kg/mol}$ |
| Harga Total   | Rp. 1.874,64                                                                                                                                                                                                                      | Rp. 42.556                                                                                                          | Rp. 6.939,4                                                                                                         | Rp. 113,12                                                                                                          |
| Harga Jual    | $= \text{Harga Produk} - \text{Harga Bahan Baku}$<br>$= (\text{Rp } 6.939,4 + \text{Rp } 113,12) - (\text{Rp } 1.874,64 + \text{Rp } 42.556)/\text{kg}$<br>$= \text{Rp } 7.052,52 - \text{Rp } 44.431$<br>$= \text{Rp } 37.378,8$ |                                                                                                                     |                                                                                                                     |                                                                                                                     |
| Profit Margin | $= \frac{\text{Harga Jual}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\%$<br>$= \frac{37.378,8}{44.431} \times 100\%$<br>$= 84 \%$                                                                                                             |                                                                                                                     |                                                                                                                     |                                                                                                                     |

### 1.7.3 Perbandingan Proses

Perbandingan Proses didapatkan hasil bahwa proses dehidrogenasi *benzene* dan proses dimerisasi *benzene* memiliki nilai potensial ekonomi yang bernilai positif. Hal ini menandakan bahwa kedua proses tersebut sama-sama menguntungkan. Namun pada perhitungan potensial ekonomi di atas, diperoleh nilai potensial ekonomi proses dehidrogenasi *benzene* lebih besar dari proses dimeserasi *benzene*. Hal ini dikarenakan pada proses dimerisasi *benzene* diperoleh

produk samping yang lebih beragam yaitu karbon padat, *toluene*, dan *cyclohexana* yang dianggap sebagai limbah.

Dari proses yang telah diuraikan sebelumnya dapat dibuat tabel perbandingan dari ke dua macam proses tersebut.

**Tabel 1.6** Perbandingan proses Pembuatan *Biphenyl*

| No | Parameter     | Proses Dehidrogenasi <i>Benzene</i> | Proses Dimeserasi <i>Benzene</i> |
|----|---------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1. | Fase reaksi   | Cair                                | Cair                             |
| 2. | Jenis Reaktor | <i>Fixed Bed</i>                    | CSTR                             |
| 3. | Konversi      | 67,67 %                             | 45%                              |
| 4. | Katalis       | $\text{Al}_2\text{O}_3$             | $\text{PdCl}_2$                  |
| 5. | Tekanan       | 5,5 atm                             | 10 atm                           |
| 6. | Ekonomi Awal  | 143 %                               | 83%                              |

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa perancangan pabrik *biphenyl* yang paling unggul adalah proses dehidrogenasi *benzene*. Selain itu, proses dehidrogenasi dipilih karena proses dehidrogenasi adalah proses yang paling sederhana dan paling banyak dipakai secara komersial.

### 1.8 Proses pembuatan *Biphenyl* Dengan Proses Dehidrogenasi

Langkah proses pembuatan *biphenyl* dapat dikelompokkan dalam 3 tahapan proses, yaitu :

1. Tahap Persiapan Bahan Baku
2. Tahap Pemanasan Awal
3. Tahap Reaksi Dehidrogenasi
4. Tahap Pendinginan dan Penurunan Tekanan
5. Tahap Pemurnian Produk Akhir

#### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *biphenyl* berupa *benzene* dengan kemurnian 80%, dimana mengandung impuritis 3% *n-hexane*, dan 17% *toluene*. Proses dimulai dengan masuknya *Benzene* ke dalam tangki pada suhu sekitar 30°C dan tekanan 1 atm, dari tangki kemudian tekanan alirannya dinaikkan oleh pompa. Pompa ini berperan penting dalam menyediakan tekanan yang cukup bagi *benzene*

cair untuk dapat mengalir melalui sistem perpipaan dan bergabung dengan aliran lain di tahapan selanjutnya.

## 2. Tahap Pemanasan Awal

Aliran *benzene* cair dari pompa selanjutnya masuk ke *vaporizer*. *Benzene* yang masuk ke *vaporizer* akan diuapkan dengan suhu masuk 85,46°C dan tekanan 1 atm. Setelah diuapkan, aliran masuk ke dalam separator untuk proses pemisahan kedua fasa tersebut. Uap hasil pemisahan kemudian dialirkan ke *furnace* untuk dipanaskan suhu 661,6°C hingga mencapai suhu reaksi, sedangkan cairan akan terkumpul dibagian bawah. Selanjutnya, uap yang masuk ke *furnace* (F-100) dipanaskan lebih lanjut hingga mencapai temperatur operasi yang dibutuhkan sebelum dialirkan ke reaktor, tahap ini penting untuk memastikan bahwa uap berada pada kondisi termodinamika yang sesuai. Kemudian uap yang sudah mencapai suhu operasi diinjeksikan ke reaktor jenis PFR (*Plug Flow Reactor*).

## 3. Tahap Reaksi Dehidrogenasi

Di dalam reaktor (*Plug Flow Reactor*), uap yang telah dipanaskan akan mengalami reaksi dehidrogenasi katalitik, reaksi ini bersifat endotermik dan memerlukan suhu serta tekanan yang tinggi. Kondisi operasi reaktor dijaga pada suhu tinggi, yaitu 613 °C dan tekanan 5,5 atm, sehingga terbentuk produk yang diinginkan. Katalisator yang digunakan adalah alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Berikut reaksi pembentukan *biphenyl* dari *benzene*. (Brown,1975).



Efisiensi konversi pada reaktor ini sangat baik, dengan **67,67% keluaran** dari reaktan berhasil diubah menjadi produk.

## 4. Tahap Pendinginan dan Penurunan Tekanan

Aliran yang keluar dari reaktor yang masih berada pada suhu tinggi dialirkan kembali ke *vaporizer* untuk mengurangi suhunya sehingga menjadi 480°C, suhu tersebut masih tergolong tinggi sehingga keluaran dari *vaporizer* dialirkan lebih lanjut ke cooler. Pendinginan ini bertujuan untuk menurunkan suhu

agar sesuai dengan kondisi operasi unit pemisahan berikutnya. Setelah itu aliran masuk kembali ke heat exchanger (HE-100) dimana panasnya dimanfaatkan untuk menukar energi dengan aliran yang lain sehingga suhu keluaran dari heat exchanger menjadi 70°C. Setelah melewati proses pendinginan produk kemudian dialirkan ke separator (SP-101).

## 5. Tahap Pemurnian Produk Akhir

Di separator *biphenyl* dan hidrogen yang tidak bereaksi akan dipisahkan, sehingga gas yang memiliki densitas lebih rendah akan keluar dari bagian atas separator sedangkan *biphenyl* dan *benzene* keluar dari bagian bawah. Pemisahan ini sangat penting karena gas hidrogen yang terbentuk akan dikeluarkan dari bagian atas sedangkan untuk fasa cair akan diteruskan ke unit distilasi untuk tahap pemurnian. selanjutnya dialirkan ke kolom Distilasi (MD-100). Kolom distilasi ini adalah unit pemurnian utama yang memisahkan *biphenyl* (produk akhir) dari *benzene* yang tidak bereaksi berdasarkan perbedaan titik didih. *Benzene* yang lebih ringan akan menguap dan terkumpul sebagai produk atas kolom, sementara *biphenyl* yang lebih berat akan terkumpul sebagai produk bawah.

Produk bawah dari T-100, yang merupakan *biphenyl* murni, dipompakan kembali ke heat exchanger untuk penyesuaian suhu dengan memanfaatkan pertukaran panas aliran lain. Setelah itu, produk dialirkan ke cooler untuk menurunkan temperaturnya sehingga mencapai suhu stabil dan aman. Setelah didinginkan, *biphenyl* dipompa oleh P-101 (Pompa Produk Akhir) menuju T-101 (Tangki penyimpanan) yang berfungsi sebagai wadah penampung produk sebelum dipasarkan atau dimanfaatkan lebih lanjut. Tangki penyimpanan dilengkapi dengan sistem pengendali tekanan, serta pengaman untuk mencegah terjadinya kebocoran atau bahaya ledakan. Dengan adanya tangki penyimpanan, produk dapat dijaga kualitasnya, disimpan dalam kondisi stabil dan didistribusi sesuai kebutuhan.

## 1.9 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam perancangan suatu pabrik. Hal ini dikarenakan lokasi pabrik sangat mempengaruhi dan menentukan keberhasilan serta kelangsungan hidup suatu

pabrik. Pemilihan lokasi yang tepat, ekonomis dan menguntungkan dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sebelum pabrik didirikan perlu dilakukan pertimbangan-pertimbangan. Berdasarkan pertimbangan pabrik *Biphenyl* ini akan didirikan di pinggiran sungai Donan, kawasan industri Cilacap, Cilacap, Jawa Tengah. Peta lokasinya dapat dilihat pada Gambar 1.4



**Gambar 1.4** Lokasi Pendirian Pabrik

Pertimbangan-pertimbangan pemilihan lokasi pabrik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti, penyediaan bahan baku, pemasaran, utilitas, tenaga kerja dan transportasi.

### **1. Penyediaan Bahan Baku**

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *Biphenyl* adalah benzene dengan kemurnian 80% yang diimpor dari Singapore, karena harganya lebih murah jika dibandingkan dengan harga bahan baku benzene 99,9% yang ada di Indonesia. Kapasitas produksi benzene concentrate di Shell Chemicals Pte Ltd, Singapore sebesar 230.000 ton/tahun. Untuk memperoleh bahan baku maka perusahaan harus mengangkut bahan baku lewat jalur laut. Selain itu, produk ditargetkan dapat bersaing dengan pasar global. Sehingga berdasarkan pertimbangan transportasi dan lainnya, maka dipilih lokasi pabrik *Biphenyl* yang terletak di daerah pinggiran sungai Donan, Kawasan Industri Cilacap, Jawa Tengah.

### **2. Sarana Transportasi**

Transportasi di Cilacap, Jawa Tengah melalui darat dan laut dimana tersedia jalan raya yang memadai dan dekat dengan pelabuhan Tanjung Intan Cilacap ( $\pm 7$

km). Lokasi pabrik di Cilacap, Jawa Tengah sangat strategis karena dekat dengan Bandara Tunggul Wulung ( $\pm 8$  km), Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap ( $\pm 7$  km), dan jalur kereta api Kroya yang merupakan jalur kereta api terbesar jalur selatan Jawa, sehingga memudahkan pendistribusian bahan baku dan produk dari dalam dan luar negeri.

### **3. Penyediaan Tenaga Kerja**

Cilacap memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi sehingga tenaga kerja diperoleh dari daerah tersebut. Penyediaan tenaga kerja yang berkualitas dipenuhi dari alumni perguruan tinggi seluruh Indonesia dan luar negeri (bila diperlukan), sedangkan yang kurang terdidik dapat dipenuhi dari penduduk daerah sekitar, serta transmigran yang dapat mengurangi pengangguran.

### **4. Penyediaan Utilitas**

Lokasi pabrik berdekatan dengan PLN sehingga sumber listrik dapat diperoleh dari listrik PLN maupun pembangkit listrik swasta yang sudah ada di kawasan industri Cilacap. Pertamina merupakan penyuplai bahan bakar yang berada dekat sekali dengan pabrik sehingga persediaan bahan bakar untuk operasional pabrik amat terjamin. Sumber air di Cilacap juga melimpah dan terjamin di kawasan industri Cilacap karena dekat dengan sumber air yaitu sungai Donan.

### **5. Penyediaan bahan bakar dan energi**

Di Cilacap, Jawa Tengah terdapat kawasan industri, di mana terdapat beberapa industri besar sehingga penyediaan bahan bakar dapat terpenuhi. Iklim Keadaan iklim dan cuaca di daerah Cilacap, Jawa Tengah umumnya baik. Undang-undang dan peraturan Faktor perundang-undangan setempat tidak menjadi persoalan karena letak pabrik ini berada di kawasan industri dan dekat dengan pabrik besar sehingga telah mendapat izin dari pemerintah daerah dan masyarakat sekitar dapat menerima dengan baik.