

**LAPORAN TUGAS PRARANCANGAN PABRIK  
PRARANCANGAN PABRIK  
SIKLOHEKSANA DENGAN PROSES HIDROGENASI  
BENZENA KAPASITAS 91.509 TON PER TAHUN**



**Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Kesarjanaan Strata 1 Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta**

**Oleh :**

**Guntur Nurcahyanto**

**D 500 040 035**

**Dosen pembimbing :**

- 1. Tri Widayatno, ST, MSc**
- 2. Farida Nur Cahyani, ST, MSc**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
SURAKARTA**

**2009**



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Sikloheksana merupakan senyawa organik yang termasuk dalam senyawa turunan dari benzena. Sikloheksana yang mempunyai rumus molekul  $C_6H_{12}$  berwujud cair pada temperatur kamar dan tekanan atmosferis. Konsumen utama sikloheksana adalah industri *adipic acid* untuk *nylon-66*, 54 %; *caprolactam* untuk *nylon-6*, 39 %; lain-lain, meliputi bahan pelarut, bahan insektisida dan *plasticizers*, 7 %.

Proyeksi kebutuhan sikloheksana global semakin meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 1999 kebutuhan dibutuhkan sekitar 1.514.558,9 ton, tahun 2000 sekitar 1.546.185,52 ton, tahun 2004 sekitar 1.672.691,608 ton.

(Sumber: [www.the-innovation-group.com/ChemProfiles](http://www.the-innovation-group.com/ChemProfiles)).

Sedangkan di Asia saja diproyeksikan bahwa kebutuhan akan sikloheksana mencapai 372.000 ton pada tahun 2012, meliputi China, Thailand, Indonesia, Singapura, Korea, Taiwan, dan India. Sehingga pendirian pabrik ini, utamanya adalah untuk memenuhi kebutuhan ekspor selain kebutuhan dalam negeri sendiri (Sumber : [www.research.uobkayhian.com](http://www.research.uobkayhian.com)).

Selain pertimbangan di atas, pendirian pabrik ini juga didasarkan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Menciptakan lapangan kerja baru, yang berarti turut mengurangi jumlah pengangguran.
2. Memacu pertumbuhan industri-industri baru yang menggunakan bahan baku sikloheksana.
3. Mengurangi ketergantungan pada negara asing.
4. Meningkatkan pendapatan negara dari sektor industri, serta menghemat devisa negara.



5. Meningkatkan kualitas sumber daya manusia Indonesia lewat alih teknologi.

## 1.2. Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas <sup>1</sup> < sikloheksana yang akan didirikan mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

### 1. Kebutuhan Produk Sikloheksana.

Dari perkembangan akan kebutuhan bahan baku sikloheksana, proyeksi kebutuhan Asia beberapa tahun mendatang, diperkirakan akan mengalami peningkatan. Hal ini bisa dilihat pada tabel data *Net Balance* sikloheksana di Asia berikut ini:

Tabel 1. Data kebutuhan Sikloheksana di Asia

Kton	2002	2003	2007	2012F
Thailand	-91	-89	-124	-124
China	-21	-34	-70	-11
Net 5 Negara*	134	58	-32	-237
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>-65</b>	<b>-226</b>	<b>-372</b>

\* Singapura, Indonesia, Korea, Taiwan, India

(Sumber : [www.research.uobkayhian.com](http://www.research.uobkayhian.com))

Untuk saat ini di Indonesia masih mengimpor sikloheksana dari negara seperti Jepang, Taiwan, Philipina, Malaysia, India, Jerman Singapura, Cina, Australia, Korea Selatan, dan Amerika Serikat. Jumlah impor untuk sikloheksana dari tahun 2000-2006 terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan Impor Sikloheksana

Tahun	Jumlah (Ton)
2000	555
2001	136
2002	63
2003	62
2004	50



2005	57
2006	32

(Sumber: BPS Impor tahun 2000-2006)

## 2. Kapasitas Pabrik Yang Telah Ada

Dari produksi pabrik Sikloheksana yang telah ada kapasitas terkecil pabrik sikloheksana adalah 87.851,45 ton/tahun (diproduksi oleh Koch, Corpus Christi, TX) dan kapasitas terbesar pabrik sikloheksana adalah 474.397,83 ton/tahun (diproduksi oleh Chevron Phillips, Guayama, PR), (Sumber: [www.the-innovation-group.com/ChemProfiles](http://www.the-innovation-group.com/ChemProfiles)).

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka direncanakan pendirian pabrik sikloheksana dengan kapasitas 91.509 ton/tahun.

### 1.3. Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu masalah pokok yang menunjang keberhasilan suatu pabrik, terutama pada aspek-aspek ekonomisnya. Setelah mempelajari dan menimbang beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik, maka ditetapkan lokasi pabrik sikloheksana tersebut di kawasan Industri Jababeka Cikarang, Jawa Barat.

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi pabrik ini, antara lain :

#### 1. Faktor Primer

##### a. Bahan Baku

Bahan Baku memegang peranan penting, dimana dalam proses produksi pabrik sangat bergantung pada ketersediaan bahan baku ini. Lokasi pabrik yang dekat dengan bahan baku akan lebih menguntungkan. Untuk bahan baku tersebut tidak perlu didatangkan dari luar negeri, tetapi dapat dipenuhi dari dalam negeri, yaitu dari PT. *Air Products* Indonesia yang berlokasi di Cikarang untuk hidrogen dan PT. Pertamina Cilacap untuk benzena.

##### b. Pemasaran



Sikloheksana merupakan produk intermediate yang memiliki penggunaan cukup luas. Sikloheksana banyak digunakan untuk bahan baku pembuatan *adipic acid* yang nantinya diproses menjadi *nylon 66*, *caprolactam* yang diproses menjadi *nylon 6*, sikloheksana yang diproses menjadi *nylon 12*. Selain itu sikloheksana dapat digunakan sebagai solven bahan insektisida, dan *plasticizer*.

c. Utilitas

Cikarang merupakan kawasan industri yang telah dilengkapi dengan sarana air dan listrik. Sehingga kebutuhan air dan listrik dapat diperoleh dari PT. Kawasan Industri Jababeka, tbk.

d. Tenaga Kerja

Tenaga kerja dapat dipenuhi dengan mudah dari daerah sekitar lokasi pabrik maupun dari luar lokasi pabrik, mengingat Pulau Jawa merupakan wilayah yang banyak terdapat lembaga pendidikan yang menghasilkan tenaga ahli. Kepadatan penduduk yang tinggi akan memudahkan pencarian tenaga bukan ahli.

e. Transportasi

Cikarang yang ditetapkan sebagai kawasan industri terpadu telah dilengkapi dengan sarana transportasi yang sangat memadai.

2. Faktor Sekunder

a. Kebijakan Pemerintah

Cikarang merupakan kawasan industri terpadu sehingga pajak, karakter tanah, pengolahan limbah, perlindungan terhadap banjir dan pengadaan energi telah diperhitungkan dan tersedia. Di samping itu dengan diterapkannya otonomi daerah maka investasi akan sangat mendapat dukungan dari pemerintah daerah setempat.

b. Tanah dan Iklim

Tanahnya cukup datar dan stabil serta iklim yang stabil pula, sehingga kecil kemungkinan menimbulkan masalah. Selain itu tanah Cikarang masih memungkinkan pendirian pabrik baru.

c. Keadaan Lingkungan Masyarakat



Keadaan masyarakat di lingkungan lokasi pabrik akan sangat mempengaruhi pendirian suatu pabrik. Berdasarkan pengamatan di sekitar lokasi pabrik sudah terdapat fasilitas-fasilitas yang memungkinkan karyawan untuk hidup dengan layak, antara lain yaitu sarana pendidikan, sarana ibadah dan sarana kesehatan. Lokasi ini juga relatif dekat dengan Jakarta yang mempunyai fasilitas lengkap, sehingga kehidupan karyawannya lebih tenang dalam menjamin masa depan keluarganya. Sedangkan keadaan masyarakat sudah terbiasa dengan lingkungan industri, sehingga pendirian pabrik sudah bisa diterima dan tidak ada kesulitan dalam beradaptasi.

## 1.4. Tinjauan Pustaka

### 1.4.1. Pembuatan Sikloheksana

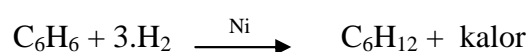
Ada beberapa macam proses dalam pembuatan sikloheksana, yaitu:

#### 1. *Petroleum Fractionation Process*

Pada proses ini digunakan *crude oil* sebagai bahan baku sikloheksana yang terkandung di dalamnya berkisar antara 0,1–1,0% dipisahkan dari komponen lainnya dengan menggunakan kolom distilasi. Dengan cara ini maka produk yang dihasilkan sedikit dan impuritasnya juga lebih tinggi, sehingga proses jenis ini tidak digunakan pada skala industri (sumber: Kirk Othmer, 1994).

#### 2. Proses Hidrogenasi Benzena

Pada proses hidrogenasi, benzena direaksikan dengan H<sub>2</sub> untuk menghasilkan sikloheksana dalam suatu Reaktor *fixed bed*. Suhu reaksi antara 150-200 °C dengan tekanan 20-30 atm. Katalis yang digunakan adalah Ni (*Nickel-Iron 66*) dengan penyangga (*carrier*) *iron* dan aluminium. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:





$$R = (P_{H_2} \cdot k \cdot K) \exp \left[ \frac{-E}{RT} \right] P_B$$

Dimana:

$P_{H_2}$  = Tekanan  $H_2$  (Torr)

$k$  = 4,22 mol (g katalis)<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>Torr<sup>-1</sup>

$K$  = 4,22 x 10<sup>-11</sup> Torr<sup>-1</sup>

$E$  = -2,7 kcal/mol

$P_B$  = Tekanan Benzena (Torr)

(Sumber: <http://docs.ksu.edu.sa>)

Produk sikloheksana yang dihasilkan mempunyai kemurnian 99,99%.

Beberapa kelebihan dari proses ini :

- Efisiensi yang tinggi, adanya *recovery*  $H_2$ .
- Kemurnian produk tinggi.
- Gas buang yang lebih rendah.
- Cocok untuk produksi dengan kapasitas besar.

Dari uraian macam-macam proses di atas maka proses yang akan di gunakan adalah proses hidrogenasi benzena.

#### 1.4.2. Kegunaan produk

Konsumen utama sikloheksana adalah industri *adipic acid* (54%), selain itu sikloheksana juga digunakan untuk:

- Caprolactam*
- Cyclohexanone*
- Solven
- Insektisida
- plasticizer*

(Sumber: [www.the-innovation-group.com](http://www.the-innovation-group.com))

#### 1.4.3. Sifat fisis dan kimia bahan baku dan produk

##### 1. Bahan Baku

##### A. Benzena



## 1. Sifat fisis

-berat molekul	: 78,115 g/gmol
-titik didih, 1 atm	: 80,09°C
-panas pembakaran	: 3267,6 kJ/kmol
-panas pembentukan	: 82,93 g,kJ/kmol
-temperatur kritis	: 289,01°C
-tekanan kritis	: 4898 kPa
- <i>specific volume</i>	: 0,00147 m <sup>3</sup> /kg
-densitas liquid, 25°C, 1 atm	: 0.8736 g/cm <sup>3</sup>
-C <sub>p</sub> , 25°C, 1 atm	: 137,87 j/mol.K
-Viskositas gas, 25°C, 1 atm	: 0,606 cP
-Fase	: cair ( 30 °C; 1atm )
-Warna	: bening
-Kemurnian	: 99,98 % berat
-Impuritas	: C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> max 0,02 % berat

## 2. Sifat kimia

### - *Oxidation*

agen pengoksidasi kuat seperti permanganat atau dikromat dapat mengoksidasi benzena menjadi karbon dioksida dan air pada kondisi tertentu.

### - *Reduction*

Benzena dapat tereduksi menjadi sikloheksana (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>), atau *cycloolefin*.

### - *Halogenation*

Tergantung kondisinya, produk substitusi atau adisi dapat diperoleh dengan menghalogenasi benzena. Klorin atau bromin bereaksi dengan benzena membentuk *chlorobenzene* atau *bromobenzene*.

### - *Sulfonation*

Benzena dapat terkonversi menjadi *Benzenesulfonic acid* dengan *oleum* atau *Chlorosulfonic acid*.





- *Alkylation*

Alkilasi Friedel-Craft benzena dengan *ethylene* atau *propylene* menghasilkan *ethylbenzene*.

## B. Hidrogen

### 1. Sifat fisis

-berat molekul	: 2,02 g/gmol
-titik didih, 1 atm	: -252,60°C
-panas pembakaran	: -241942 kJ/kmol
-panas pembentukan	: 0 kJ/kmol
-temperatur kritis	: -231,08°C
-tekanan kritis	: 1906,56 kPa
- <i>specific volume</i>	: 0,0143 m <sup>3</sup> /kg
-densitas liquid, 25 °C, 1 atm	: 69,86 kg/m <sup>3</sup>
-C <sub>p</sub> , 25 °C, 1 atm	: 14,1030 kJ/kg <sup>0</sup> C
-Viskositas gas, 25 °C, 1 atm	: 0,0088 cP
-Fase	: gas (-152 °C, 2 atm)
-Kemurnian	: 100 % berat.

### 2. Sifat kimia

- *Hydrogen-Production Reaction*

Cara utama untuk memproduksi hidrogen dalam skala industri adalah dengan *mereforming* hidrokarbon. Sedang dalam skala laboratorium, hidrogen dihasilkan oleh reaksi asam klorida dengan logam alkali pada medium air.

- *Bonding of Hydrogen to Other Atoms*

Atom hidrogen dapat kehilangan 1s elektron valensinya ketika berikatan dengan atom lainnya, membentuk ion H<sup>+</sup> atau sebaliknya dia mendapatkan elektron valensi untuk membentuk ion hidrida.

- *Reaction of Synthesis Gas*



Proses pembuatan hidrogen yang utama menghasilkan gas sintesis, yakni campuran  $H_2$  dan  $CO$ .

## 2. Produk

### A. Sikloheksana

#### 1. Sifat fisis

-berat molekul	: 84,17 g/gmol
-titik didih, 1 atm	: 80,73 °C
-panas pembakaran	: -3690650 kJ/kmol
-panas pembentukan	: -123,140 kJ/mol
-temperatur kritis	: 280,39 °C
-tekanan kritis	: 4075,00 kPa
- <i>specific volume</i>	: 0,00334 m <sup>3</sup> /kg
-densitas liquid, 25 °C, 1 atm	: 0.773 g/ml
-Cp, 25 °C, 1 atm	: 162,07 J/mol.K
-Viskositas gas, 25 °C, 1 atm	: 0.901 cP
-Fase	: cair
-Warna	: bening
-Kemurnian	: min 99,9% berat
-Impuritas	: $C_6H_6$ dan $C_7H_8$ max 0.1 % berat.

#### 2. Sifat kimia

##### - Oxidation

Oksidasi fase cair dengan udara menggunakan katalis cobalt atau asam borak menghasilkan *cyclohexanol* dan *cyclohexanone*.

### B. Benzena

#### 1. Sifat fisis

-berat molekul	: 78,115 g/gmol
-titik didih, 1 atm	: 80,09 °C
-panas pembakaran	: 3267,6 kJ/kmol
-panas pembentukan	: 82,93 g,kJ/kmol



-temperatur kritis		: 289,01 °C
-tekanan kritis		: 4898 kPa
- <i>specific volume</i>		: 0,00147 m <sup>3</sup> /kg
-densitas liquid, 25 °C, 1 atm		: 0.8736 g/cm <sup>3</sup>
-C <sub>p</sub> , 25 °C, 1 atm		: 137,87 j/mol.K
-Viskositas gas, 25 °C, 1 atm		: 0,606 cP
-Fase		: cair ( 30 °C; 1atm )
-Warna		: bening
-Kemurnian		: 88,57 % mol
-Impuritas	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	: 6,87 % mol
	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	: 4,56 % mol

## 2. Sifat kimia

### - *Oxidation*

agen pengoksidasi kuat seperti permanganat atau dikromat dapat mengoksidasi benzena menjadi karbon dioksida dan air pada kondisi tertentu.

### - *Reduction*

Benzena dapat tereduksi menjadi sikloheksana (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>), atau *cycloolefin*.

### - *Halogenation*

Tergantung kondisinya, produk substitusi atau adisi dapat diperoleh dengan menghalogenasi benzena. Klorin atau bromin bereaksi dengan benzena membentuk *chlorobenzene* atau *bromobenzene*.

### - *Sulfonation*

Benzena dapat terkonversi menjadi *Benzenesulfonic acid* dengan *oleum* atau *Chlorosulfonic acid*.

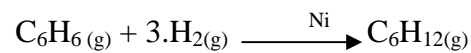
### - *Alkylation*

Alkilasi Friedel-Craft benzena dengan *ethylene* atau *propylene* menghasilkan *ethylbenzene*.



#### 1.4.4. Tinjauan Proses Secara Umum

Dalam pembentukan sikloheksana dengan proses hidrogenasi, terjadi reaksi sebagai berikut :



Benzena bersama-sama dengan H<sub>2</sub> diumpankan ke dalam Reaktor *fixe bed multitube* dalam fasa gas. Suhu operasi reaktor 150-200 °C dengan tekanan 20-30 atm. Reaksi yang terjadi sangat eksotermik sehingga perlu adanya pendinginan untuk menjaga kondisi operasi. Pada katalisator logam mulia reaksi berjalan terus bahkan pada suhu lingkungan dan pada tekanan rendah, sedangkan untuk katalisator nikel digunakan pada tekanan yang tinggi dan suhu di atas 150°C.

(Sumber: [www.200.13.98.241/~antonio/aspen/curso/aspencurso.pdf](http://www.200.13.98.241/~antonio/aspen/curso/aspencurso.pdf))

Suhu reaktor harus dipertahankan dalam batas yang telah ditetapkan hal ini untuk menghindari *thermal cracking*, reaksi samping yang lain dan tetapan kesetimbangan yang tidak diinginkan yang dapat membatasi konversi benzena.

Pemisahan fasa gas dan cair dari produk reaktor setelah melalui condenser sub cooler (Cd-01) dilakukan dengan separator terutama untuk pemisahan gas hidrogen yang tidak bereaksi untuk di *recycle* ke reaktor. Konversi yang diperoleh dari reaktor sebesar 99,8 %, untuk menambah kemurnian sikloheksana menjadi sebesar 99,99 % maka produk keluar separator diumpankan ke dalam menara destilasi guna menghilangkan impuritas yang berupa benzena dan toluena.

