

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia khususnya industri kimia terus mengalami peningkatan. Untuk perkembangan dan pertumbuhan industri merupakan bagian dari usaha pembangunan ekonomi jangka panjang yang ditunjukkan untuk menciptakan struktur ekonomi yang seimbang dan kokoh. Hal ini didukung oleh sumber daya alam dan sumber daya manusia yang sangat berlimpah di Indonesia. Perkembangan industri ini akan meningkatkan kebutuhan bahan kimia yang digunakan sebagai pendukung proses produksi. Industri kimia merupakan salah satu industri yang bernilai tinggi dan padat teknologi.

Berdasarkan proses produksinya, industri diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu industri hulu dan industri hilir. Dimana dalam pengolahannya menjadi produk industri yang saling berkaitan. Sebagian produk dari industri hulu merupakan bahan baku dalam industri hilir. Salah satu contoh produk dari industri hulu adalah resin fenol formaldehid. Resin fenol formaldehid ( $C_7H_8O_2$ ) adalah resin yang terbentuk dari reaksi fenol dengan formaldehid dengan penambahan katalis asam atau basa. Dalam dunia industri, resin fenol formaldehid dapat digunakan sebagai lak, bahan laminating, bahan perekat kayu, pernis serta panel dinding dekorasi. Kelebihan dari resin fenol formaldehid itu sendiri adalah mudah dicetak, dibentuk, mudah diwarnai dan yang paling penting adalah tidak menimbulkan efek racun yang berbahaya bagi tubuh. Dengan sifat-sifat tersebut resin fenol formaldehid dapat diolah kedalam berbagai bentuk seperti, lembaran, plat, batang dan lain-lain (Tobianson, 1990).

Kebutuhan akan resin fenol formaldehid di Indonesia semakin meningkat seiring dengan penggunaannya di industri seperti industri mobil, industri plastik, industri perekat, industri cat dan industri-industri lainnya yang mengakibatkan kebutuhan resin fenol formaldehid semakin meningkat. Biasanya digunakan sebagai bahan baku maupun bahan tambahan (Prasetyanigrum, 2008). Oleh karena itu pabrik resin fenol formaldehid dengan proses resol layak dirancang

karena termasuk minim dalam pencemaran lingkungan. Hal ini disebabkan dalam produksinya tidak ada bahan samping atau limbah yang secara langsung dihasilkan dan dibuang. Ada beberapa metode yang digunakan dalam pembuatan resin fenol formaldehid yaitu yang pertama dengan melibatkan katalis asam dengan menggunakan fenol yang berlebih terhadap formaldehid dan produknya disebut novolak resin, dan yang kedua dengan melibatkan katalis basa dengan formaldehid yang berlebih terhadap fenol. Produk yang dibentuk disebut dengan resol (Hesse,1991). Pada perancangan pabrik resin fenol formaldehid dipilih proses resol dengan kemurnian produk yang dihasilkan sampai 92%.

Sebenarnya di Indonesia sendiri sudah ada yang memproduksi resin fenol formaldehid, akan tetapi tidak sebanding dengan kebutuhan resin fenol formaldehid. Oleh karena itu, pendirian pabrik resin fenol formaldehid di Indonesia sangat penting guna memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pendirian pabrik resin fenol formaldehid dapat membuka lapangan kerja baru dan menekan angka impor, sehingga mengurangi jumlah pengangguran di Indonesia serta meningkatkan pertumbuhan ekonomi negara. Selain itu juga untuk memenuhi pasar di luar negeri yang di harapkan dapat meningkatkan devisa negara.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah di dalam penyusunan dan penyelesaian tugas pra rancangan pabrik resin fenol formaldehid ini yaitu :

1. Apakah pembangunan pabrik resin fenol formaldehid dapat memenuhi kebutuhan di Indonesia?
2. Apakah pembangunan pabrik resin fenol formaldehid dengan kapasitas 42.000 Ton/Tahun layak didirikan di Indonesia ?

## **1.3 Tujuan Prarancangan Pabrik**

Tujuan yang mendasari dalam pembuatan pabrik resin fenol formaldehid yaitu :

1. Menghemat sumber devisa negara karena dapat mengurangi ketergantungan impor.

2. Dapat memacu pertumbuhan industri yang berbahan baku resin fenol formaldehid di Indonesia.
3. Dapat meningkatkan devisa negara bila produk resin fenol formaldehid diekspor.

#### **1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik**

Manfaat prarancangan pabrik resin fenol formaldehid dari proses resol adalah sebagai berikut :

1. Memenuhi kebutuhan resin fenol formaldehid di Indonesia.
2. Memajukan ekonomi negara dan membuka lapangan kerja baru sehingga mengurangi jumlah pengangguran.
3. Membuktikan bahwa sarjana-sarjana Indonesia mampu menyerap teknologi modern sehingga tidak bergantung kepada negara lain.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah di dalam penyusunan dan penyelesaian tugas prarancangan pabrik resin fenol formaldehid ini yaitu :

1. Prarancangan secara teknik difokuskan pada pabrik resin fenol formaldehid dengan penambahan fenol dan formaldehid dengan menggunakan proses resol.
2. Analisis yang dilakukan hanya sampai analisis kelangsungan ekonomi.

#### **1.6 Kapasitas Pabrik**

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam pendirian pabrik karena akan mempengaruhi perhitungan teknik dan ekonomis. Semakin besar kapasitas pabrik kemungkinan keuntungan yang diperoleh akan semakin besar, tetapi dalam penentuan kapasitas perlu juga dipertimbangkan faktor lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas pabrik yaitu data kebutuhan *resin fenol formaldehid* di Indonesia yang akan diuraikan berikut ini.

##### **1.6.1 Data Kebutuhan Resin Fenol Formaldehid di Indonesia**

Produksi resin fenol formaldehid di Indonesia tidak sepenuhnya untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia, namun di produksi juga untuk meningkatkan

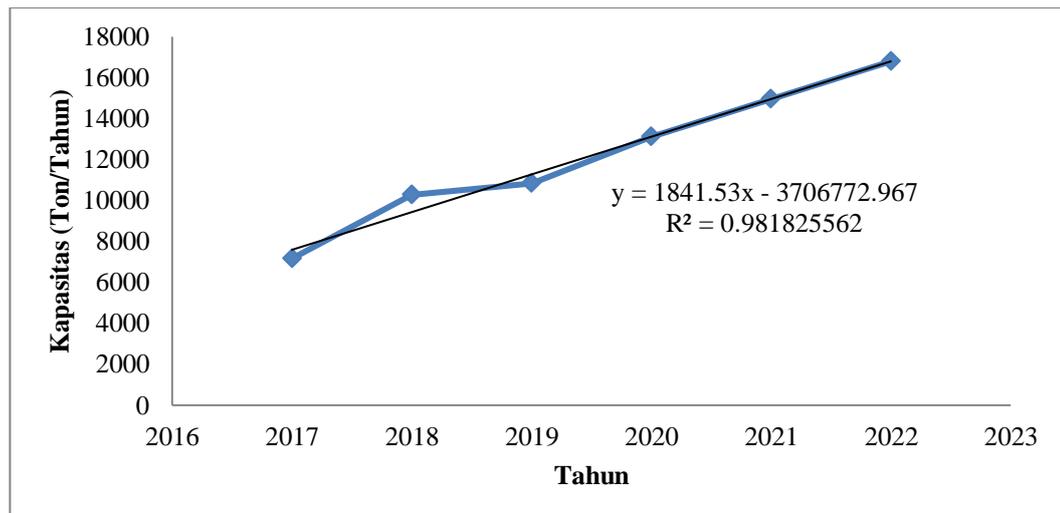
nilai ekspor. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Indonesia, kebutuhan akan *resin fenol formaldehid* dari tahun 2017-2022 seperti terlihat pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1** Kebutuhan Resin Fenol Formaldehid di Indonesia

Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
2017	7.165,15
2018	10.290,36
2019	10.848,21
2020	13.117,63
2021	14.959,16
2022	16.800,69

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2022

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kapasitas impor *resin fenol formaldehid* mengalami trend yang meningkat setiap tahunnya, Oleh karena itu direncanakan dibangun pabrik *resin fenol formaldehid* di Indonesia guna memenuhi kebutuhan dalam negeri serta diharapkan Indonesia menjadi negara pengekspor *resin fenol formaldehid* khususnya untuk wilayah Asia. Maka dari itu untuk mengurangi ketergantungan impor, pembuatan pabrik *resin fenol formaldehid* di Indonesia semestinya di perhitungkan.



**Gambar 1.1** Grafik Data Impor Resin Fenol Formaldehid Di Indonesia

Dari kurva di atas didapatkan persamaan garis lurus  $y = 1841,53x - 3706772,967$  dengan  $x$  sebagai fungsi tahun dan nilai  $R^2 = 0.981825562$ . Maka dari persamaan tersebut dapat dihitung kebutuhan resin fenol formaldehid dalam negeri pada tahun 2028 mendatang sebagai berikut.

$$y = 1841,53x - 3706772,967$$

$$y = 1841,53(2028) - 3706772,967$$

$$y = 27.849,873 \text{ Ton/Tahun}$$

Hasil ekstrapolasi kebutuhan resin fenol formaldehid di Indonesia tahun 2023-2028 dapat dilihat pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2** Data Kebutuhan Resin Fenol Formaldehid 2023-2028 di Indonesia

Tahun	Kebutuhan (Ton/Tahun)
2023	18.642,22
2024	20.483,75
2025	22.325,28
2026	24.166,81
2027	26.008,34
2028	27.849,87

Pada prarancangan pabrik resin fenol formaldehida ini direncanakan berdiri pada tahun 2028 dengan kapasitas 42.000 ton/tahun melalui pertimbangan diantaranya sebagai berikut:

1. Kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada diatas kapasitas minimal atau sama dengan kapasitas pabrik yang sedang berjalan dan kapasitas pabrik baru yang menguntungkan (Mc. Ketta,1976).
2. Kapasitas produksi pabrik resin fenol formaldehida yang sudah beroperasi di dunia berkisar 14.000 ton/tahun sampai 102.000 ton/tahun.
3. Total kebutuhan dalam negeri pada saat pabrik beroperasi tahun 2028 adalah sebesar 27.948,87 ton/tahun dan kemungkinan akan terus meningkat.
4. Kapasitas prarancangan pabrik resin fenol formaldehida ini sebesar 42.000 ton/tahun mengacu pada kapasitas pabrik yang ada di indonesia.

5. Produk resin fenol formaldehida yang dihasilkan direncanakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sebanyak 60% dari kapasitas prarancangan pabrik ini dan 40% akan di ekspor ke negara-negara lain

### 1.6.2 Data Produksi Resin Fenol Formaldehid di Indonesia

Di Jawa Timur banyak sekali industri yang menggunakan bahan baku resin fenol formaldehid sebagai bahan baku. Beberapa industri tersebut antara lain dapat dilihat pada Tabel 1.3.

**Tabel 1.3** Industri Pengguna *Resin Fenol Formaldehid* di Indonesia

No	Nama Industri	Lokasi	Komoditi
1	PT. Aneka Rimba Indonusa	Gresik, Jawa Timur	<i>Laminating Board</i>
2	PT. Wood Jatim Karyajaya	Sidoharjo, Jawa Timur	<i>Laminating Board and Furniture</i>
3	PT. Klaseman	Porbolonggo, Jawa Timur	<i>Laminating Kayu</i>
4	CV. Mustika Bahana Jaya	Lumajang, Jawa Timur	<i>Laminating Board</i>
5	CV. Palapa	Lumajang, Jawa Timur	<i>Laminating Board</i>
6	PT. Sehat Mandiri	Sidoharjo, Jawa Timur	<i>Laminating Board</i>
7	PT. Surabaya Laminating	Gresik, Jawa Timur	<i>Triplek Melamin</i>

Sumber: Kemenprin.go.id

### 1.6.3 Data Kapasitas Pabrik *Phenolic Resin* yang Berdiri di Indonesia

Di Indonesia industri yang memproduksi *phenolic resin* yaitu:

Nama Pabrik : PT. Binajaya Rodakarya

Status : PMDN

Lokasi : Desa Jelapat, Kabupaten Barito, Kalimantan

Kapasitas : 12.000 Ton/Tahun

#### 1.6.4 Kebutuhan Resin Fenol Formaldehid di Dunia

Menurut data komoditi impor dan ekspor UN data, kebutuhan Resin Fenol Formaldehid menunjukkan nilai yang meningkat dari tahun ke tahun. Adapun kebutuhan resin fenol formaldehid di beberapa Negara dapat dilihat pada Tabel 1.4.

**Tabel 1.4.** Kebutuhan Resin Fenol Formaldehid di Beberapa Negara

No	Negara	Tahun/Ton				
		2017	2018	2019	2020	2021
1	Kanada	173.171,144	148.882,92	172.177,952	182.926,814	234.514,049
2	Cina	183.303,77	195.532,94	193.400,32	195.930,03	199.714,27
3	Francis	36.701,27	70.762,58	61.415,6	75.048,8	69.967,46
4	German	166.288,2	194.391,1	186.796,3	182.534,6	179.347,6
5	USA	114.692,2	109.784,4	117.477,8	96.964,41	117.865,6

#### 1.6.5 Kapasitas Pabrik Resin Fenol Formaldehida di Dunia

Berikut ini adalah data-data kapasitas pabrik yang telah beroperasi sebagai penghasil resin fenol formaldehida di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.5

**Tabel 1.5** Data Produksi Pabrik Resin Fenol Formaldehida Beserta Kapasitas di Dunia

No	Produsen	Negara	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	PT. Indoperin Jaya	Indonesia	12.000
2.	PT. Binajaya Rodakarya	Indonesia	12.000
3.	PT. Arjuna Utama Kimia	Indonesia	36.000
4.	PT. Duta Pertiwi Nusantara	Indonesia	14.000
5.	PT. Lakosta Indah	Indonesia	40.000
6.	Leuna-Harze Chemical GmbH	Jerman	40.000

7.	Dynea Chemicals	Rusia	50.000
8.	Shandong Shenquan Chemical.Co.Ltd	Cina	45.000
9.	Nanjing Chemical Industry Park	Cina	30.000
10.	Haiyan Huaqiang Resin.Co.Ltd	Cina	8.000
11.	Chang Chun Plastics.Co	Cina	30.000
12.	Georgia Pacific Corporation	Amerika	43.000
13.	Japan's Suitomo Chemical	Jepang	35.000

Sumber : UN Data, Comtrade

Produk resin fenol formaldehid telah diproduksi dalam negeri oleh PT. Indoperin Jaya dengan kapasitas produksi 12.000 ton/tahun, PT. Binajaya Rodakarya 12.000 ton/tahun, PT. Arjuna Utama Kimia dengan kapasitas 36.000 ton/tahun, dan PT. Duta Pertiwi Nusantara dengan kapasitas 14.000 ton/tahun.

#### 1.6.6 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan produksi suatu pabrik sehingga penyediaan bahan baku sangat di prioritaskan. Bahan baku utama pembuatan resin fenol formaldehida yaitu fenol yang diperoleh dari PT. Intan Wijaya Internasional Tbk. Semarang, Jawa Tengah dengan kemurnian fenol 99 %. Formaldehid dapat diperoleh dari PT. Arjuna Kimia Utama yang berada di Surabaya dengan kemurnian formaldehid 37%. Sedangkan untuk kebutuhan katalis *Hexamethylenetetramine* dapat diperoleh dengan cara mengimpor dari Shandong Baovi Energy Technology co., ltd, Tiongkok dengan melalui jalur laut.

Mengingat ketersediaan bahan baku dan kebutuhan akan resin fenol formaldehida yang besar, maka dapat dipertimbangkan lebih lanjut untuk mendirikan pabrik tersebut. Pemilihan bahan baku merupakan hal yang penting dalam produksi resin fenol formaldehida, karena kemurnian produk yang dihasilkan dan desain pabrik tergantung dari kualitas bahan bakunya. Bahan baku yang digunakan adalah fenol, formaldehida dan *Hexamethylenetetramine*. Beberapa hal yang mendasari pemilihan bahan baku tersebut adalah:

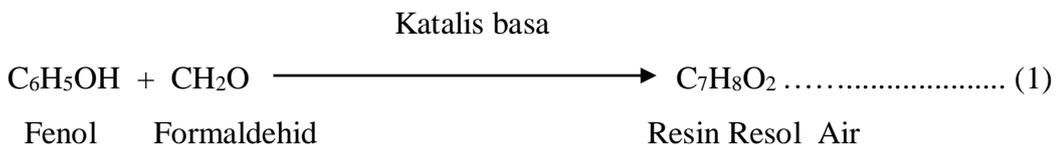
1. Bahan baku yang relatif lebih murah.
2. Bahan baku yang mudah didapat karena telah diproduksi di Indonesia.
3. Bahan baku tersedia cukup banyak sehingga kelangsungan pabrik serta kontinuitasnya dapat terjamin.

## 1.7 Pemilihan Proses

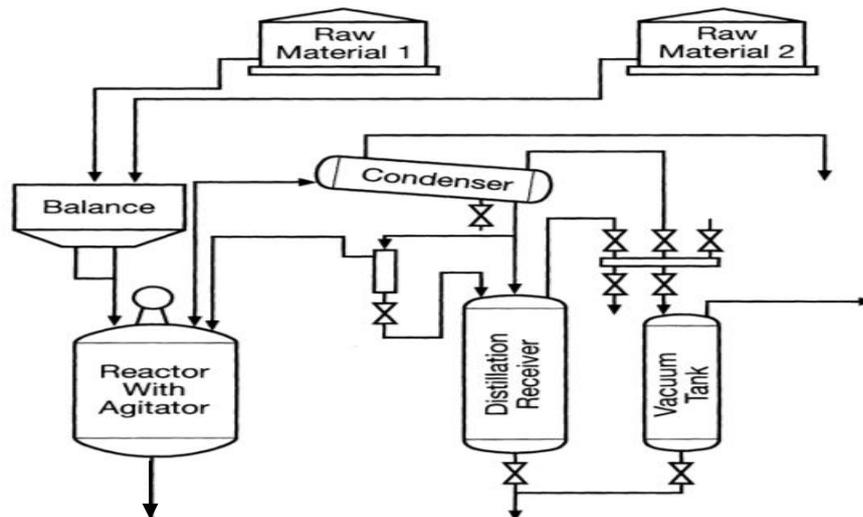
Resin fenol formaldehid biasanya dipreparasi melalui dua metode yang berbeda. Pertama melibatkan katalis asam dengan menggunakan fenol yang berlebih terhadap formaldehid. Produknya disebut dengan novolak resin, dan yang kedua melibatkan katalis basa dengan formaldehid yang berlebih terhadap fenol. Produk yang dibentuk disebut dengan resol (Hesse, 1991).

### 1.7.1 Proses Resol

Resin fenol formaldehid jenis resol dibuat dari reaksi polimerisasi fenol dan formaldehid dengan bantuan katalis basa. Pada pembuatan resin resol, rasio formaldehid dan fenol yang digunakan yaitu 1,2 : 1 sampai 3,0 : 1 (Kirk & Othmer, 1999). Reaksi polimerisasi kondensasi antara fenol dan formaldehid dengan bantuan katalis basa digambarkan sebagai berikut.



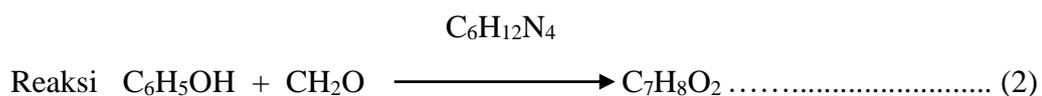
Katalis basa yang umum digunakan dalam reaksi yaitu NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Ba(OH)<sub>2</sub>, dan *hexamethylenetetramine* atau hexa. Rentang konsentrasi (%w/v) katalis yang digunakan biasanya sekitar 1-5% untuk NaOH dan Ca(OH)<sub>2</sub>, 3-6% untuk Ba(OH)<sub>2</sub>, dan 6-12% untuk hexa. Suhu reaksi yang terjadi pada 100°C dan pada tekanan 1 atm dengan konversi reaksi antara 80-92%. Konsentrasi air dan entalpi yang lebih rendah dibandingkan dengan novolak memungkinkan kontrol eksoterm yang lebih baik (Kirk & Othmer, 1999).



**Gambar 1.2** Proses Resol (Sumber : Pilato, L. 2010)

Resol memiliki sifat larut dalam air dan tidak larut dalam air. Hal ini dipengaruhi oleh jenis katalis basa yang digunakan. Kekurangan dari resin jenis ini adalah tingginya pH dan banyaknya reaktan, sehingga waktu kering dalam penggunaan produknya semakin lama. Warna yang dihasilkan dari produk resol adalah merah kecoklatan. Pada proses industri bahan jadi, proses ikatan silang dilakukan dengan menambahkan para-fomaldehida atau hexametilen, suatu zat padat bertitik lebur tinggi ( $230^{\circ}\text{C}$ ) yang didapatkan melalui reaksi formaldehid dengan ammonia (Kirk, Othmer, 1996).

Pemasaran produk resin fenol formaldehid untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri di seluruh Indonesia. Jika kebutuhan dalam negeri dapat dipenuhi maka pemasaran diarahkan ke luar Indonesia. Untuk mengetahui analisa pasar perlu untuk mengetahui potensi produk berdasarkan persamaan reaksi.



Untuk analisa ekonomi awal pra rancangan pabrik resin fenol formaldehida berdasarkan reaksi dapat dilihat pada Tabel 1.6.

**Tabel 1.6** Analisa Ekonomi Awal Proses Resol

	Bahan Baku		Katalis	Produk
	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>2</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> N <sub>4</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
Berat Molekul	94.11 gr/mol	30.03 gr/mol	140,186 gr/mol	124,34 gr/mol
Harga per Kg	Rp. 38.000	Rp. 24.990	Rp. 123	Rp. 70.000
Harga total	Rp. 3.576.180	Rp. 750.449,7	Rp. 17.242,88	Rp. 8.703.800

Analisa Ekonomi = Produk – Bahan Baku

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp. } 8.703.800 - (\text{Rp. } 3.576.180 + \text{Rp. } 750.449,7 + \\
 &\quad \text{Rp. } 17.242,88) \\
 &= \text{Rp. } 8.703.800 - \text{Rp. } 4.343.872,58 \\
 &= \text{Rp. } 4.359.927,42/\text{kg}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Analisa ekonomi awal maka persentase keuntungan diperoleh sebagai berikut:

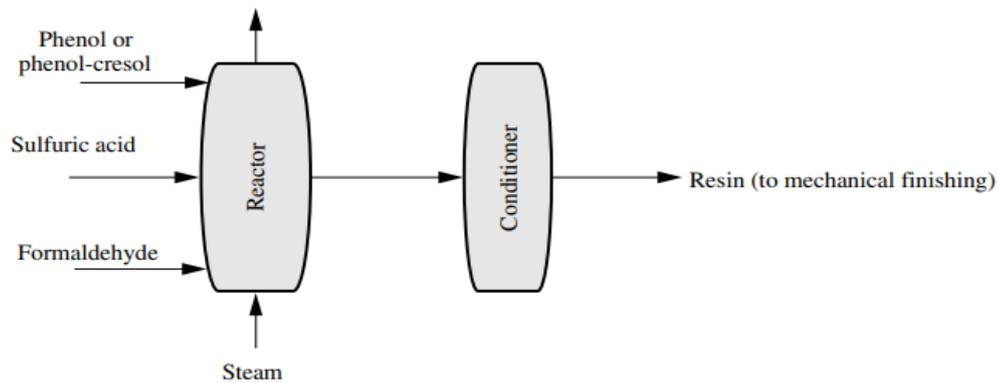
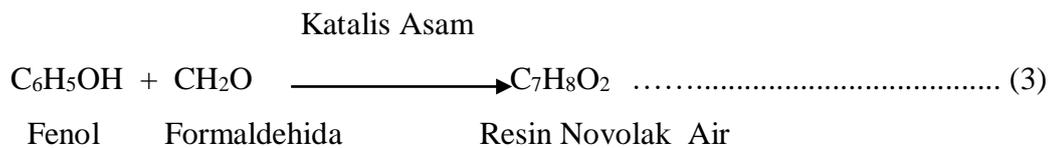
$$\begin{aligned}
 \% \text{ Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 8.703.800 / \text{kg}}{\text{Rp. } 4.359.927,42} \times 100\% \\
 &= 299,63\%
 \end{aligned}$$

Maka persen keuntungan yang didapat dari analisa ekonomi awal sebesar 299,63% dari produksi.

### 1.7.2 Proses Novolak

Novolak merupakan produk dari reaksi antara fenol berlebih dan formaldehida dengan menggunakan katalis asam. Katalis asam dengan fenol berlebih menghasilkan suatu produk yang diperoleh dengan katalis basa. Jika menggunakan fenol berlebih, reaksi kondensasi berlangsung hingga resin mempunyai berat molekul yang tinggi, sehingga dalam prakteknya jumlah

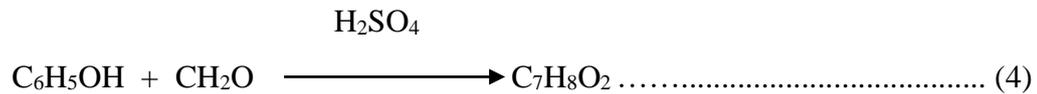
formaldehida yang direaksikan dengan fenol kurang dari jumlah equivalen. Produk akhir novolak yang dapat larut dan memiliki berat molekul rata-rata yang tergantung pada rasio fenol dibandingkan formaldehida. Novolak biasanya dibuat dalam kondisi asam, akan tetapi reaksinya dirumitkan dengan kecenderungan percabangan rantai dan proses gelasi (Kirk Othmer,1989). Seperti ditunjukkan oleh persamaan reaksi.



**Gambar 1.3** Proses Novolak (Sumber : Kirk, Othmer, 1996)

Proses pembuatan novolak resin dengan bahan baku fenol dan formaldehid dengan suasana asam disebut novolak resin. Perbandingan mol fenol dan formaldehid yang biasanya dipakai 1: 0.85. Katalis yang digunakan dalam proses pembuatan novolak resin adalah Asam Sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) atau Asam Oksalat ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_2$ ). Reaksi yang dijalankan dalam fase cair. Fenol direaksikan bersama formaldehid dalam fase cair dan ditambahkan katalis asam sulfat dengan komposisi 0,01 dari berat fenol. Reaksi yang dijalankan dalam proses pembuatan novolak resin pada suhu  $95^\circ\text{C}$  dan pada tekanan konstan 1 atm dengan konversi reaksi 80%-96%. Reaksi berjalan secara eksotermis yang berarti reaksi menghasilkan panas dan membutuhkan pendingin dalam menjaga suatu reaksi. Kondisi operasi harus dijaga dengan baik untuk menekan terbentuknya novolak dengan berat molekul yang rendah (Kirk, Othmer, 1996).

Pemasaran produk resin fenol formaldehid untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri di seluruh Indonesia. Jika kebutuhan dalam negeri dapat dipenuhi maka pemasaran diarahkan ke luar Indonesia. Untuk mengetahui analisa pasar perlu untuk mengetahui potensi produk berdasarkan persamaan reaksi.



Untuk analisa ekonomi awal prarancangan pabrik resin fenol formaldehida berdasarkan reaksi dapat dilihat pada Tabel 1.7.

**Tabel 1.7** Analisa Ekonomi Awal Proses Novolak

	Bahan Baku		Katalis	Produk
	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	CH <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
Berat Molekul	94,11 gr/mol	30,03 gr/mol	98,079 gr/mol	124,34 gr/mol
Harga per Kg	Rp. 38.000	Rp. 24.990	Rp. 123	Rp. 70.000
Harga total	Rp. 3.576.180	Rp. 750.449,7	Rp. 12.063	Rp. 8.703.800

Analisa Ekonomi = Produk – Bahan Baku

$$\begin{aligned} &= \text{Rp. } 8.703.800 - (\text{Rp. } 3.576.180 + \text{Rp. } 750.449,7 + \\ &\quad \text{Rp. } 12.063) \\ &= \text{Rp. } 8.703.800 - \text{Rp. } 4.338.692,7 \\ &= \text{Rp. } 4.365.107,3/\text{kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan Analisa ekonomi awal maka persentase keuntungan diperoleh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{Keuntungan} &= \frac{\text{Rp. } 8.703.800 / \text{kg}}{\text{Rp. } 4.365.107,3} \times 100\% \\ &= 296,39\% \end{aligned}$$

Maka persen keuntungan yang didapat dari analisa ekonomi awal sebesar 298,39% dari produksi.

### 1.8 Alasan Pemilihan Proses

Adapun perbandingan proses-proses pembuatan resin fenol formaldehid dapat dilihat pada Tabel 1.8 .

**Tabel 1.8** Perbandingan Proses Pembuatan Resin Fenol Formaldehid

	<b>Resol</b>	<b>Novolak Resin</b>
Bahan Baku	Fenol dan Formaldehid	Fenol dan Formaldehid
Katalis	NaOH , Ba(OH)atau Hexa	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> atau H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Perbandingan Mol	1 : 1,2-3,0	1 : 0.85
Konversi	92%	96%
Suhu Reaksi	100°C	95 °C
Tekanan	1 atm	1 atm
Fase	Cair-Cair	Cair-Cair
Warna Produk	Coklat Kemerahan	Putih Bening

Sumber: Hesse, 1991 dan Kirk, Orthmer, 1996

Dari dua jenis proses pembuatan resin fenol formaldehid yang ada, maka dipilih proses resol. Resin resol dibuat dengan mereaksikan fenol dan formaldehid dengan menggunakan katalis basa. Resin resol biasanya dibuat dengan rasio molar formaldehid dan fenol 1,2 : 1 sampai 3,0 : 1. Jika bahan baku yang digunakan adalah fenol substitusi, maka rasio biasanya 1,2 : 1 sampai 1,8 : 1. Fenol substitusi digunakan untuk menghasilkan produk dengan aplikasi tertentu.

**Tabel 1.9** Fenol Substitusi dan Aplikasi Resin

<b>No</b>	<b>Fenol Substitusi</b>	<b>Aplikasi Resin</b>
1	<i>Cresol ( o-, m-, p-)</i>	Pelapis, pengeras epoksi
2	<i>p-t-butylphenol</i>	Pelapis , perekat
3	<i>p-octylphenol</i>	Kertas <i>carbonless</i> , pelapis
4	<i>p-nonylphenol</i>	Kertas <i>carbonless</i> , pelapis
5	<i>p-phenylphenol</i>	Kertas <i>carbonless</i>
6	<i>Bisphenol A</i>	Komponen molding, pelapis
7	<i>resorcinol</i>	Perekat
8	<i>Cashew nutshell liquid</i>	Partikel friksi

Sumber : Kirk & Othmer, 1999

Ada beberapa jenis formaldehid yang dapat digunakan dalam pembuatan resin fenol. Pada Tabel 1.10 dapat dilihat kelebihan dan kekurangan masing-masing jenis formaldehid yang dapat digunakan.

**Tabel 1.10** Jenis Formaldehid Beserta Kelebihan dan Kekurangan

<b>Bentuk Formaldehyde</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
Gas		Tidak stabil
Formalin 37%	Mudah diproses, reaktif, stabil pada suhu ruangan	Kandungan air tinggi
Formalin 50%	Meningkatkan kapasitas	Terbentuk asam formiat dan meningkatkan temperature penyimpanan
<i>Para-Formaldehyde</i>	Meningkatkan kapasitas, tanpa air	Reaktifitas tinggi dan berbahaya
<i>Trioxane</i>	Tanpa air	Biaya tinggi karena butuh banyak katalis
<i>Hexamethylenetetramine</i>	Autokatalitik	Inkorporasi amina

Sumber : Kirk & Othmer, 1999

Dari tabel di atas maka formaldehid yang dipilih adalah formalin 37% karena lebih mudah diproses, serta dapat disimpan pada suhu ruangan. Katalis basa yang dapat digunakan yaitu *Hexamethylenetetramine*.

## 1.9 Uraian Proses

Proses pembuatan resin fenol formaldehid dari proses resol dapat dibagi menjadi 3 tahap yaitu:

### 1.9.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Fenol disimpan kedalam tanki penyimpanan (TK-100) dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm dijaga agar tetap dalam kondisi cair. Sedangkan bahan baku formaldehid disimpan kedalam tanki penyimpanan (TK-101) dengan kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm agar tetap dalam kondisi cair. Kemudian bahan baku fenol dan formaldehid dialirkan menggunakan pompa (P-100) dan pompa (P-101) menuju mixer (MIX-101) yang bertujuan untuk lebih mencampurkan bahan baku secara merata sebelum akhirnya dialirkan ke dalam heater (E-100) untuk.

dinaikkan suhunya menjadi 100°C sesuai dengan kondisi operasi reaktor (CSTR-200).

### 1.9.2 Tahap Pembentukan Produk

Bahan baku dan katalis berupa *Hexamethylenetetramine* yang sudah dimasukkan ke dalam reaktor CSTR (R-200) dengan kondisi operasi 100°C pada tekanan 1 atm dengan konversi yang didapat sebesar 92% tetap terjaga kemurnian bahan baku dan katalis. Adapun rasio perbandingan mol bahan baku yang masuk antara fenol dan formaldehid yaitu 1: 1,5 dan proses reaksi yang terjadi di dalam reaktor yaitu secara eksotermis dan kegunaan dari katalis di dalam reaktor yaitu untuk mempercepat laju reaksi sebab *hexamethylenetetramine* berfungsi sebagai katalis dalam pembuatan produk. Keluaran bawah reaktor yang berupa produk dan sisa-sisa bahan baku didinginkan terlebih dahulu didalam cooler (E-200) dengan menurunkan suhunya menjadi 30°C untuk selanjutnya dialirkan menggunakan pompa (P-200) kedalam distilasi (D-300) untuk memisahkan sisa bahan baku dan produk yang dihasilkan.

### 1.9.3 Tahap Pemurnian

Tahap pemurnian terjadi didalam 2 distilasi, dimana distilasi (D-300) berfungsi untuk memisahkan antara bahan baku fenol dengan air dimana air yang memiliki titik didih yang lebih rendah dari fenol akan menguap keatas distilasi untuk selanjutnya dialirkan menuju ke *water treatment plant* (WTP) sedangkan keluaran bawah distilasi (D-300) yang berupa produk dan sisa bahan baku akan dipompakan (P-300) kedalam distilasi (D-301) untuk menghilangkan sisa-sisa fenol yang masih terbawa aliran produk. Keluaran atas distilasi (D-301) yang berupa fenol selanjutnya di *recycle* kembali kedalam reaktor (CSTR-200) sedangkan keluaran bawah dari distilasi (MD-302) berupa produk dengan kemurnian 99% dialirkan kedalam cooler (C-300) untuk menurunkan suhunya menjadi 30°C menggunakan pompa (P-301) untuk selanjutnya dimasukkan kedalam tanki produk (TK-300).

### 1.10 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang penting dalam tahap perancangan pabrik. Hal ini dikarenakan mempengaruhi kelangsungan operasi pabrik, baik produksi produk maupun distribusi produk. Pertimbangan dalam memilih lokasi pabrik diharapkan dapat memberikan keuntungan yang optimum. Lokasi yang dipilih harus memberikan biaya produksi dan distribusi yang minimum dengan tetap memperhatikan ketersediaan tempat untuk pengembangan pabrik dan kondisi yang aman untuk operasi pabrik (Peter and Timmerhaus,2004).



**Gambar 1.4** Lokasi Pendirian Pabrik (Google Earth, 2023)

Lokasi pabrik resin fenol formaldehida dengan kapasitas 42.000 Ton/Tahun direncanakan akan didirikan di Desa Tambakoso, Waru, Sidoarjo, Jawa Timur. Adapun pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik adalah sebagai berikut:

#### 1.10.1 Faktor Primer Penentuan Lokasi Pabrik

Faktor primer adalah faktor yang mempengaruhi produksi dan distribusi dari pabrik. Faktor ini berpengaruh terhadap kelancaran dan kelangsungan produk. Faktor primer meliputi:

A. Penyedia Bahan Baku

Lokasi pabrik didirikan sebaiknya berada dekat dengan pabrik penyuplai bahan baku. Hal ini dikarenakan supaya dalam pengiriman bahan baku berjalan

lancar dengan waktu yang efisien serta biaya yang minimum. Bahan baku dikirim melalui darat dengan via jalan tol Juanda. Bahan baku utama yaitu fenol yang didapat dari PT. Intan Wijaya Internasional Tbk. Semarang, Jawa Tengah. Formaldehid dari PT. Arjuna Utama, Surabaya, Jawa Timur, Sedangkan untuk kebutuhan katalis *Hexamethylenetetramine* dapat diperoleh dengan cara mengimpor dari Shandong Baovi Energy Technology co., ltd, Tiongkok dengan melalui jalur laut.

#### B. Pemasaran Produk

Produk novolak resin banyak dibutuhkan oleh industri kayu. Lokasi pabrik di Sidoarjo, Jawa Timur cukup strategis karena banyak di sekitar daerah Sidoarjo terdapat banyak sekali industri-industri kayu dan dekat dengan pelabuhan dan kawasan industri. Sehingga mempermudah pemasaran dalam negeri, dan juga luar negeri. Dalam pemasarannya, pengemasan produk dikemas dalam drum.

#### C. Utilitas

Utilitas sebagai unit pendukung mempunyai peranan penting dalam kelangsungan pabrik. Unit utilitas meliputi kebutuhan air dan listrik. Air merupakan kebutuhan yang penting dalam industri kimia. Air banyak digunakan sebagai media pendingin, sanitasi, steam, serta kebutuhan lainnya. Kebutuhan air dapat dipenuhi dengan baik dan ekonomis karena kawasan pabrik dekat dengan sumber aliran sungai, yaitu Sungai Kali Gunung Anyar. Sedangkan Listrik sebagai penunjang operasional kegiatan pabrik disuplai dari perusahaan listrik Negara (PLN), namun untuk menjamin operasional pabrik maka pabrik memiliki generator pembangkit listrik dengan bahan bakar solar. Bahan bakar solar diperoleh dari PT. Pertamina.

#### D. Tenaga Kerja

Kebutuhan tenaga kerja sangat mudah dipenuhi. Hal ini mengingat bahwa jumlah penduduk yang banyak di Indonesia. Kawasan industri merupakan tujuan para pencari kerja. Sebagian tenaga kerja diambil dari yang berpendidikan kejuruan atau menengah serta sebagian dari sarjana dan kalangan profesional.

Kemampuan dan kecakapan dalam bekerja menjadi prioritas dalam perekrutan sehingga akan mendapatkan tenaga kerja yang berkualitas dan berkomitmen dengan baik.

#### E. Transportasi

Sarana transportasi berhubungan dengan distribusi produk serta penyediaan bahan baku. Pemilihan transportasi didasarkan pada biaya operasi yang ekonomis mungkin. Lokasi pabrik berdekatan dengan jalan tol Juanda sehingga distribusi produk dan penyediaan bahan baku menjadi efisien dan cepat. Untuk pemasaran produk di daerah Jawa, bisa melalui jalan tol Juanda. Sedangkan untuk wilayah luar Jawa atau luar negeri bisa melalui pelabuhan terdekat dengan lokasi pabrik, yaitu pelabuhan Teluk Lamong. Berdasarkan pertimbangan di atas, lokasi pendirian pabrik yang tepat adalah di Desa Tambakoso, Waru, Sidoarjo, Jawa Timur.

### **1.10.2 Faktor Sekunder Penentuan Lokasi Pabrik**

Pertimbangan lain yang merupakan faktor sekunder untuk menguatkan alasan pendirian di lokasi tersebut antara lain:

#### A. Kondisi Iklim

Kondisi iklim di wilayah Sidoarjo dapat dikatakan cukup baik untuk dijadikan sebagai tempat pembangunan pabrik. Seperti daerah lainnya di Indonesia, Sidoarjo memiliki iklim tropis. Bencana alam seperti gempa bumi dan tanah longsor jarang terjadi sehingga dapat memungkinkan pelaksanaan operasional pabrik dapat berjalan dengan baik.

#### B. Peluasan Area Unit

Sidoarjo masih memiliki banyak tanah yang kosong, karena tergolong daerah metropolitan, sehingga kesediaan tanah untuk perluasan pabrik masih tersedia dengan baik.

### C. Peraturan Pemerintah

Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 75 Tahun 2017, UMR wilayah Sidoarjo sebesar Rp.3.865.000,00. UMR ini lebih terjangkau dibandingkan kawasan industry di Jawa Timur Lainnya sehingga lebih ekonomis. Menurut Perda pemerintah kabupaten sidoarjo nomor 6/2009 tentang tata ruang, dimana sidoarjo membagi wilayahnya untuk kepentingan pengembangan investasi. Hal ini menunjukkan bahwa pemerintah Kabupaten Sidoarjo mendukung adanya investasi dalam bidang indsutri kimia.

### D. Keadaan Masyarakat

Masyarakat diperkirakan akan mendukung pendirian pabrik. Hal ini karena pendirian pabrik akan membawa dampak positif bagi mereka terutama dalam bidang ekonomi. Lapangan kerja tersedia bagi masyarakat sekitar. Potensi ekonomi yang lain adalah masyarakat bisa membuka sewa rumah kos bagi karyawan serta membuka usaha kuliner di sekitar pabrik. Disamping itu, pendirian pabrik tidak akan mengganggu keamanan dan keselamatan masyarakat sekitar lokasi pabrik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Resin

*Synthetic plastic* atau resin sintetis adalah suatu campuran bahan non metalik buatan biasanya dari senyawa organik, yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk kebutuhan komersial, misalnya bahan pakaian, bahan bangunan, peralatan rumah tangga dan elektronik, dan berbagai keperluan manusia lainnya. Istilah *plastic* mencakup substansi yang *fibrous* (berserat) seperti karet dan *resinous* (keras atau kaku). Semua bahan tadi secara kimiawi mempunyai kesamaan dan tersusun dari polimer dan molekul-molekul kompleks dengan berat molekul (BM) yang tinggi.

Morfologi dan bentuk khusus dari molekul menentukan tingkatan apakah plastik ini berupa fiber, seperti karet atau resin. Resin sintetis biasanya dibentuk dengan beberapa cara dengan pemanasan dan tekanan menjadi suatu benda yang berguna. Bila resin dibentuk tanpa reaksi kimia, misalnya pelunakan dengan pemanasan dan tekanan dan didinginkan kembali setelah terbentuk, maka resin diklasifikasikan sebagai termoplastik (*thermoplastic*). Resin termoplastik dapat dilebur didalam pelarut organik. Sebaliknya jika terjadi reaksi kimia selama pembentukan, sehingga hasil akhirnya secara kimiawi berbeda dengan substansinya aslinya maka resin tersebut diklasifikasikan sebagai termoset. Resin termoset umumnya tidak larut dan melebur.

Resin termoset (thermoset) adalah saat molekul inisiator menjadi aktif dan mulai mentransfer energinya kepada molekul monomer. Periode ini tergantung pada kemutnian monomer. Ketidakmurnian monomer dapat bereaksi dengan grup aktif dan akan menyebabkan perpanjangan periode ini. Lebih tinggi suhu lebih pendek periode induksi. Energi yang berasal dari inisiator yang ditransfer ke monomer untuk membentuk monomer yang aktif adalah 16.000-29.000 kal/mol.

Proses polimerisasi yang berguna untuk resin dental biasanya dipicu oleh salah satu dari 3 sistem induksi:

1. Aktivasi panas. Banyak resin berbasis gigi tiruan berpolimerisasi dengan *heat activated polymerization*. Contoh pada resin akrilik polimerisasi panas (*heat activated polymerization*).
2. Aktivasi kimia. Sistem induksi yang kedua ini adalah dengan aktivasi kimia pada suhu mulut/kamar. Sebagai contoh dari sistem ini ialah penggunaan *benzoyl peroxide* dan *aromatic amine*, dalam *selfcured dental restorative* (bahan tumpahan swapolimerisasi).
3. Aktivasi sinar. Pada sistem ini *photon* dari energi sinar mengaktifkan *initiator* untuk menghasilkan tangan-tangan bebas yang pada gilirannya akan memulai proses polimerisasi. Jadi bahan tumpahan polimerisasi cahaya (*light cured dental restorative*), *camphorquinone* dan *amine*, akan bereaksi bila disinari dengan sinar tampak (*visible light*). Untuk menghasilkan tangan-tangan bebas.

### 2.1.1 Modifikasi Polimer

Polimer akrilik dapat dimodifikasikan dengan penambahan senyawa yang tidak ikut serta dalam reaksi polimerisasi, seperti *oily organic ester*, *rubber*, *inorganic fillers*. Penambahan dari oil seperti *dihutyl phthalate soften (plasticizer)* pada polimer, dan bila penambahannya cukup polimer akan menjadi seperti karet. *Plasticized* ini digunakan sebagai *soft liners* sementara untuk gigi tiruan. Bahan ini secara berangsur-angsur akan menjadi keras setelah *oily plasticizer* ini dilepas oleh saliva. Rubber (butadiene styrene) dapat ditambahkan pada resin akrilik untuk memperbaiki daya tahan terhadap fraktur akibat benturan. Bahan basis gigi tiruan jenis ini mempunyai kekuatan impak (*impac strength*) dua kali lebih besar dari polimer akrilik yang biasanya digunakan untuk pembuatan gigi tiruan. Bahan ini baik sekali digunakan bagi pasien yang gigi tiruannya seringkali patah terutana pada waktu dibersihkan atau dicuci.

Dua seri reaksi kimia yang dapat terjadi sewaktu proses polimerisasi yaitu reaksi kondensasi (*condensation reaction*) dan reaksi adisi (*addition reaction*). Bila polimerisasi terjadi oleh reaksi kondensasi (*condensation polymerization*) maka disebut polimerisasi kondensasi (*condensation polymerization*) sedangkan

bila terjadi oleh reaksi adisi maka disebut polimerisasi adisi (*addition reaction*).

### **2.1.2 Polimerisasi Kondensi**

Reaksi yang menghasilkan polimerisasi kondensi ini berkembang dari mekanisme yang sama seperti reaksi kimia antara dua atau lebih molekul, dengan pemisahan sebuah molekul lebih kecil, seperti air, asam halogen, dan ammonia. Proses ini dapat berulang sendiri dengan struktur molekul yang demikian dan menghasilkan molekul makro. Ketidakhakmuran monomer dapat menghambat atau menghalangi reaksi polimerisasi. Bahan yang berada dalam monomer ini dapat bereaksi dengan molekul yang aktif yang mempunyai tangan bebas, ia dapat bereaksi dengan salah satu inisiator aktif atau dengan rantai aktif yang sedang tumbuh untuk selanjutnya menghambat pertumbuhan.

Sebagai contoh penambahan *hydroquinone* dalam jumlah sedikit pada monomer akan menghambat polimerisasi bila ada inisiator, oksigen ( $O_2$ ) juga akan menyebabkan perlambatan polimerisasi. Oleh karena itu  $O_2$  dapat bereaksi dengan tangan yang bebas. Oleh karena itu sebaiknya pencampuran polimer dan monomer dilakukan pada suatu wadah yang ditutup. Pada monomer yang umum diperdagangkan, biasanya ditambahkan *hydroquinone (methyl ether)* dalam jumlah yang sedikit kira-kira 0,006% dengan maksud untuk mencegah terjadinya polimerisasi selama penyimpanan. Cairan monomer juga harus disimpan di dalam kaleng atau botol yang berwarna gelap misalnya coklat tua yang tidak tembus oleh cahaya, sebab sinar ultraviolet atau panas dapat menyebabkan monomer berpolimerisasi sendiri.

### **2.1.3 Polimerisasi Adisi**

Resin yang digunakan secara luas untuk prosedur dental saat ini dihasilkan dari polimerisasi adisi. Pada kenyataannya jenis polimerisasi ini sangat umum diistilahkan dengan polimerisasi. Bila digunakan sendiri, umumnya dipahami bahwa ini menunjukkan suatu polimerisasi adisi. Tidak seperti polimerisasi kondensi, disini tidak ada perubahan komposisi selama polimerisasi adisi berlangsung. Molekul makro terbentuk dari unit-unit kecil atau monomer tanpa perubahan dalam komposisi. Oleh karena polimer dan monomer mempunyai

rumus empiris yang sama. Dengan kata lain struktur dari monomer berulang beberapa kali pada polimer.

Polimerisasi jaringan lunak mulut lazimnya terbuat dari resin, seringkali gigi buatan juga terbuat dari bahan ini. Warna dan sifat-sifat optikal dari resin yang digunakan ini sangat baik sehingga restorasi dapat lolos dari pengamatan. Resin sintesis yang utama banyak digunakan sekarang ini di bidang kedokteran gigi adalah resin akrilik (*acrylic resin*), polimer metakrilat (*polymethyl methacrylate*) = PMMA.

Persyaratan-persyaratan ideal untuk resin dental adalah:

1. Translusensi/transparansi sehingga dapat membuat duplikat yang estetik dari jaringan mukosa mulut yang digantikan/ditempati, atau dapat diwarnai sesuai dengan jaringan mulut/gigi.
2. Tidak berubah-ubah dalam warna maupun penampilan.
3. Dimensi yang stabil pada semua kondisi.
4. Tidak dapat ditembus oleh cairan mulut sehingga tidak menyebabkan bau/rasa yang tidak enak.
5. Tidak dapat larut di dalam cairan mulut atau substansi yang masuk di dalam mulut.
6. Resin hendaknya tidak berbau, tidak berasa, tidak toksik, dan tidak mengiritasi jaringan mulut.
7. Mempunyai gaya berat yang rendah.
8. Memungkinkan untuk disipasi.
9. Pengolahan resin untuk menjadi suatu piranti dental, cukup mudah dan dengan peralatan yang sederhana.

## **2.2 Resin Fenol Formaldehid**

Resin Fenol formaldehid merupakan resin sintesis yang pertama kali digunakan secara komersial baik dalam industri plastik maupun cat (*surface coating*). Fenol formaldehid dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara phenol dan formaldehid. Reaksi terjadi antara fenol pada posisi ortho maupun para dengan formaldehid untuk membentuk rantai crosslinking dan pada akhirnya akan

Membentuk tiga dimensi (Hesse,1991). Salah satu aplikasi dari resin fenol formaldehid adalah untuk vernis. Vernis adalah bahan pelapis akhir yang tidak berwarna (*clear unpigmented coating*). Istilah vernis digunakan untuk kelompok cairan jernih yang memiliki viskositas 2-3 poise, yang bila dipaliskasikan akan membentuk lapisan film tipis yang kering dan bersifat gloss (*glossy film*). Proses pengeringan pada vernis dapat melalui penguapan (evaporasi) dari solvent, oksidasi dengan udara, dan polimerisasi sejumlah unsur yang terkandung dalam vernis. Hasil akhir dari vernis adalah lapisan film transparan yang memperlihatkan tekstur bahan yang dilapisi.

Perkembangan fenol formaldehid untuk aplikasi vernis dan lacquer telah mampu menyaingi produk melamin formaldehid karena harganya yang lebih murah. Selain itu, hasil aplikasinya dapat memunculkan jenis vernis dan lacquer yang berwarna sedangkan melamin formaldehid tidak berwarna sehingga bila diinginkan hasil aplikasi yang berwarna tidak perlu penambahan zat warna. Produk fenol formaldehid ada yang memberikan warna jernih kekuning-kuningan tetapi ada juga yang kecoklatan sampai kemerah-merahan. Berdasarkan perbandingan mol reaktan dan jenis katalis yang digunakan, resin fenol formaldehid deibagi menjadi 2 jenis yaitu novolak dan resol. Resol merupakan hasil reaksi antara fenol dengan formaldehid ekse oleh adanya katalis basa. Jenis katalis basa yang sering digunakan adalah natrium hidroksida dan ammonium hidroksida pada pH = 8-11. Produk fenol formaldehid yang dihasilkan dengan katalis natrium hidroksida akan mempunyai sifat larut dalam air dan apabila katalis yang digunakan ammonium hidroksida akan memberikan sifat tidak larut dalam air yang dikarenakan terbentuk bis dan trishydroksylbenzylamin .

Novolak merupakan hasil reaksi antara fenol ekes dengan formaldehid oleh adanya katalis asam. Jenis asam yang sering digunakan adalah asam sulfat, asam klorida, dan asam oksalat dengan konsentrasi rendah. Hasil reaksi akan membentuk produk yang termoplast dengan berat molekul 500-900. Agar novolak menjadi bersifat termoset maka membutuhkan pemansan dan penambahan crosslinking agent (Frisch, 1967). Pada novolak, reaksi polikondensasi dapat

berlangsung sempurna sampai membentuk rantai dengan struktur *methylene link* dan *phenol terminate* tanpa adanya gugus fungsional dan tidak dapat *cure* dengan sendirinya. Pada suasana asam, reaksi kondensasi (pembentukan jembatan methylene) berjalan cepat dibanding pembentukan gugus methylool (Hesse,1991).

### 2.3 Sifat Fisika Kimia Bahan Baku dan Produk

Bahan baku yang digunakan untuk membuat resin fenol formaldehid ada 3 yaitu Fenol, Formaldehid dan *Hexamethylenetetramine*.

#### 2.3.1 Fenol

Fenol merupakan bahan kimia yang diperkenalkan pertama kalinya oleh ahli beda berkebangsaan Inggris bernama Joseph Lister sebagai antiseptik rumah sakit. Kemudian perkembangan fenol berlanjut hingga tahun 1834 di mana F.Runge berhasil menemukan fenol sebagai senyawa aromatik yaitu senyawa yang memiliki bau atau aroma yang khas.

Adapun sifat fisika dan kimia bahan baku pembuatan resin fenol formaldehid adalah sebagai berikut.

#### 1. Fenol

Sifat Fisik dari fenol dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Fenol

Nama IUPAC	Fenol
Rumus molekul	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O
Berat molekul, kg/kgmol	94,108
Bentuk	Cair
Titik beku, °C	4,9
Titik didih, °C	181,4
Titik lebur, °C	42-43
Densitas, kg/l	1,07
Tekanan kritis, psia	889,08
Suhu kritis, °C	421,1
Volume, ft <sup>3</sup> /lbmol	3,6682
Panas pembentukan, Btu/lbmol	-41443,95
Panas penguapan, Btu/lbmol	19607,2
<i>Spesific gravity</i>	1,0801

(Perry,1998)

2. Sifat Kimia Fenol
  - a. Reaksi antara dimetil eter/dietil sulfat dalam keadaan netral atau alkali lemah akan membentuk sulfat eter yaitu Anisol ( $C_6C_5OCH_3$ ).
  - b. Nitration fenol dengan  $HNO_3$  encer menghasilkan isomer ortho para.
  - c. Direaksikan dengan broom menghasilkan derivat tri broom fenol.

### 2.3.2 Formaldehid

Formaldehid adalah gas tidak berwarna dengan bau yang tajam. Gas atau cair yang sering disebut formalin, formaldehid larut dalam air, alkohol dan pelarut polar lainnya. Sebagai hasil dari struktur yang unik, formaldehid memiliki tingkat reaktivitas kimia yang tinggi dan stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan senyawa karbonil lainnya. Bentuk-bentuk komersial formalin termasuk formaldehida, larutan air, polimer, dan turunannya (Syafriet,1991).

#### 1. Sifat Fisik Formaldehid

Sifat fisik formaldehid dapat dilihat pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Sifat fisik formaldehid (37%)

Nama IUPAC	Formaldehid
Rumus molekul	$CH_2O$
Wujud	Cair
Kelarutan pada $25^\circ C$	106 ppm (mol maupun wt)
Berat molekul	30,026 g/mol
Titik didih ( 1 atm )	$96,7^\circ C$
Viskositas pada $25^\circ C$	2,6 Cp
Kapasitas panas pada $25^\circ C$	0,8 cal/g.C
Titik nyala	$83^\circ C$
Densitas pada $25^\circ C$	$1,09\text{ g/cm}^3$
Kelarutan	Mudah larut dalam air dan alkohol

(Kirk and Othmer, 1994)

2. Sifat Kimia Formaldehid
  - a. Dapat terdekomposisi menjadi CO dan  $H_2$ .
  - b. Dapat membentuk  $CH_3OH$  melalui proses hidrogenasi.
  - c. Pada temperatur  $80-100^\circ C$  relatif stabil tetapi perlahan-lahan akan terjadi polimerisasi pada temperatur rendah.

- d. Dapat teroksidasi membentuk  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan asam formiat. Dapat terkondensasi dengan macam-macam senyawa membentuk turunan methylol dan methylen (Kirk and Othmer, 1994).

### 2.3.3 Resin Fenol Formaldehid

Resin Fenol formaldehid merupakan resin sintetis yang pertama kali digunakan secara komersial baik dalam industri plastik maupun cat (surface coating). Fenol formaldehid dihasilkan dari reaksi polimerisasi antara phenol dan formaldehid.

#### 1. Sifat Fisik Resin Fenol Formaldehid

Sifat Fisik dari resin fenol formaldehid dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Sifat Fisik Resin Fenol Formaldehid

Nama IUPAC	Resin Fenol Formaldehid
Rumus molekul	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}_2$
Titik didih $^{\circ}\text{C}$	350,1
Titik lebur $^{\circ}\text{C}$	55,5
Densitas, kg/l	0,75
Tekanan kritis, psia	720,83
Suhu kritis $^{\circ}\text{C}$	487,85
Volume, $\text{ft}^3/\text{lbmol}$	3,6682
Panas pembentukan, Btu/lbmol	-107050,3
<i>Spesific gravity</i>	1,1587

(Perry and Chilton, 1984)

#### 2. Sifat Kimia Resin Fenol Formaldehid

- a. Tahan terhadap zat kimia
- b. Terurai terhadap asam kuat

## 2.4 Bahan Pembantu

### 2.4.1 Hexamethylenetetramine

*Hexamethylenetetramine* merupakan senyawa organik heterosiklik dengan rumus molekul  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ . Senyawa ini berbentuk Kristal putih yang mudah larut dalam air dan pelarut organik polar.

1. Sifat fisik *Hexamethylenetetramine*

Sifat fisik *Hexamethylenetetramine* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Sifat fisik *Hexamethylenetetramine*

Nama IUPAC	<i>Hexamethylenetetramine</i>
Rumus molekul	$C_6H_{12}N_4$
Kemurnian	48% dan 52% $H_2O$
Bentuk	Kristal putih
Wujud	Padatan
Fase	Solid
Berat molekul	140,186 g/mol
Densitas	1,331 g/cm <sup>3</sup>
Titik didih	280 °C
Flash point	250 °C
Entropy	163,38 Jmol.K
Solubility in water	85,3/100 g/l
Kelarutan dalam ether	Tidak larut

(Sumber: PubChem,2005)

2. Sifat kimia *Hexamethylenetetramine*

- a. Pada 12°C, 81,3 gram *hexa* larut dalam 100 g air, kelarutan berkurang sedikit dengan meningkatnya suhu.
- b. Larut dalam kloroform, methanol, etanol dan sukar larut dalam ether, aseton, benzene dan xilena.
- c. Pada reaksi nitrasi *hexamine* akan dihasilkan *cyclonite* dan *trimethylolamine*.

**2.5 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk**

Bahan baku pembuatan resin fenol formaldehid adalah fenol dan formaldehida. Fenol memiliki komposisi 99% dan 1%  $H_2O$  yang merupakan spesifikasi produksi dari PT.Intan Wijaya Internasional Tbk. Serta formaldehid memiliki komposisi 37% formaldehid dan 63%  $H_2O$  yang merupakan spesifikasi produksi dari PT.Arjuna Kimia Utama.

### 2.5.1 Spesifikasi Fenol

Adapun spesifikasi fenol dalam pembuatan fenol formaldehid dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5** Spesifikasi Bahan Baku Fenol

Nama IUPAC	Fenol
Rumus molekul	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Berat molekul	94,108 kg/kmol
Bentuk	Cair
Kemurnian	99%
Impurities	1% H <sub>2</sub> O
Titik beku	4,9 °C
Titik didih	181,4 °C
Titik lebur	42-43 °C
Densitas , kg/L	1,07
Tekanan kritis, psia	889,081
Suhu kritis, °C	421,1
Volume, ft <sup>3</sup> /lbmol	3,6682
Panas pembentukan, Btu/lb mol	-41443,95
Panas penguapan, Btu/lb mol	19607,2
Specific gravity	1,0801

(Sumber : PT. Intan Wijaya Internasional Tbk)

### 2.5.2 Spesifikasi Fomaldehida

Adapun spesifikasi formaldehida dalam pembuatan resin fonal formaldehida dapat dilihat pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6** Spesifikasi Bahan Baku Formaldehida

Nama IUPAC	Formaldehid
Rumus Molekul	CH <sub>2</sub> O
Kemurnian	37%
Impurities	63% H <sub>2</sub> O
Wujud	Cair
Kelarutan pada 25°C	106 ppm (mol maupun wt)
Berat molekul	30,026 g/gmol
Titik didih (1 atm)	96,7°C
Viskositas pada 25°C	2,6 Cp
Kapasitas panas pada 25°C	0,8 cal.g.C
Titik nyala	83C
Densitas pada 25°C	1,09 g/cm <sup>3</sup>
Kelarutan	Mudah larut dalam air dan alkohol

(Sumber: PT.Arjuna Kimia Utama)

### 2.5.3 Spesifikasi Produk Resin Fenol Formaldehid

Adapun spesifikasi fenol formaldehid sebagai produk utama dapat dilihat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7** Spesifikasi Resin fenol formaldehida

Nama IUPAC	Resin Fenol Formaldehida
Rumus molekul	$C_7H_8O_2$
Kemurnian	98%
Impurities	2% $C_6H_5OH$
Titik didih, °C	350,1
Titik lebur, °C	55,5
Densitas, kg/L	0,75
Tekanan kritis, psia	720,83
Suhu kritis, °C	487,85
Volume, $ft^3/lbmol$	3,6682
Panas pembentukan, Btu/lb mol	-107050,3
Specific gravty	1,1587

### 2.5.4 Spesifikasi *Hexamethylenetetramine*

Adapun spesifikasi *Hexamethylenetetramine* dalam pembuatan resin fenol formaldehida dapat dilihat pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.8** Spesifikasi *Hexamethylenetetramine*

Nama IUPAC	<i>Hexamethylenetetramine</i>
Rumus molekul	$C_6H_{12}N_4$
Kemurnian	48% dan 52% $H_2O$
Bentuk	Kristal putih
Wujud	Padatan
Fase	Solid
Berat molekul	140,186 g/mol
Densitas	1,331 $g/cm^3$
Titik didih	280 °C
Flash point	250 °C
Entropy	163,38 Jmol.K
Solubility in water	85,3/100 g/l
Kelarutan dalam ether	Tidak larut
Entropy	64,4 Jmol.K
Solubility in water	418 g/l
Kelarutan dalam ether	Tidak larut

## 2.6 Kegunaan Produk Resin Fenol Formaldehid

Adapun kegunaan produl resin fenol formaldehid yaitu sebagai berikut:

1. Sebagai solven industri cat, lak, vernis dan industri plastik.
2. Sebagai bahan tambahan senyawa solven pada cetakan.
3. Sebagai bahan laminating untuk panel dinding dekorasi.
4. Sebagai bahan perekat khususnya untuk kayu lapis dan *particle board*.
5. Sebagai bahan onderdil pada mesin sebagai pengganti logam.
6. Sebagai bahan serat kaca atau *fiber glass*.
7. Sebagai serat aramid *honeycomb*.

## 2.7 Tinjauan Thermodinamika

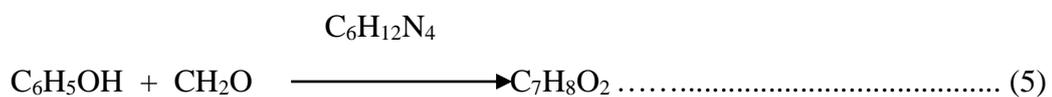
Tinjauan secara thermodinamika ditunjukkan untuk mengetahui sifat reaksi yaitu eksotermis atau endotermis dan arah reaksi reversible atau irreversible. Data energi bebas Gibbs pembentukan standar resin resol dan entalpi pembentukan resol dapat dihitung dengan menggunakan metode Joback/Reid. Data energi bebas Gibbs dapat dilihat pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9** Data Energi Bebas Gibbs dan Entalpi Standar

Komponen	$\Delta G_f^\circ$	$\Delta H_f^\circ$
Fenol	-32,9400 kJ/mol	-96,3600 kJ/mol
Formaldehid	-292,4500 kJ/mol	-362,0300 kJ/mol
Air	-237,1290 kJ/mol	-285,8300 kJ/mol

(Sumber : Yaws,1999)

Reaksi :



Untuk pembentukan resin resol:

$$\begin{aligned}\Delta G_f^\circ &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (-179,4400 + (-237,1290)) - (-32,9400 + (-292,4500)) \text{ kJ/mol} \\ &= -91,1790 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Maka entalpi pembentukan standar ( $\Delta H^\circ$ ) resin resol :

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= (-294,4400 + (-285,8300)) - (-96,3600) + (-362,0300)) \\ &= -121,88 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai negatif menandakan reaksi bersifat eksotermis.

Energi bebas Gibbs pada suhu reaksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta G^\circ = \left( -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left[ \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right] \right) RT - \frac{\Delta G_f^\circ}{RT}$$

(Smith *et.al.*, 2001)

Dengan :

$$\begin{aligned}R &= 8,3145 \text{ J/mol K} \\ T_0 &= 25^\circ\text{C} (298,15 \text{ K}) \\ T &= 80^\circ\text{C} (353,15 \text{ K})\end{aligned}$$

Maka didapat :

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= -22514,4 \text{ J/mol K} \\ &= -22,514 \text{ kJ/mol K}\end{aligned}$$

Nilai negatif yang didapat menunjukkan bahwa energi bebas Gibbs pada suhu reaksi berlangsung secara spontan dan menggunakan energi yang sedikit sehingga menunjukkan reaksi layak dilakukan.