

**PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI *CUMENE HYDROPEROXIDE*  
DENGAN KATALIS *SULFURIC ACID* KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN**

**(Skripsi)**

**Oleh:**

**MUHAMMAD NIKI WIJAYA**

**1955041002**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2023**

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI *CUMENE HYDROPEROXIDE* DENGAN KATALIS *SULFURIC ACID* KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN Tugas Khusus Perancangan Reaktor - 201 (RE-201)

Oleh

MUHAMMAD NIKI WIJAYA

Fenol merupakan salah satu produk industri kimia yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan Bisphenol-A, Resin Fenolic, Anillin, Karpolaktam, dan Alkil Fenol. Fenol dapat di produksi dengan beberapa proses yaitu 1) proses dekomposisi *Cumene Hydroperoxide*, 2) Proses dari Toluena-Asam Benzoat, dan 3) Proses *Raschig*. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem penyediaan *steam*, *cooling water*, sistem penyediaan udara tekan, dan sistem pembangkit tenaga listrik.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 20.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Cilegon, Banten. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 148 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 423.369.047.571
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 74.712.184.865
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 498.081.232.436
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 48,71%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 20,50%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub>	= 2,42 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 2,85 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 26,51%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 21,21%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 21,72%

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Fenol ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

## ABSTRACT

### **DESIGN OF PHENOL FACTORY FROM CUMENE HYDROPEROXIDE WITH SULFURIC ACID CATALYST CAPACITY 20,000 TON/YEAR Reactor Design Special Task - 201 (RE-201)**

By

**MUHAMMAD NIKI WIJAYA**

*Phenol is one of the chemical industry products that is used as raw material for the manufacture of Bisphenol-A, Phenolic Resin, Anillin, Carpolactam, and Alkyl Phenol. Phenol can be produced by several processes, namely 1) Cumene Hydroperoxide decomposition process, 2) Toluene-Benzoic Acid process, and 3) Raschig process. Provision of factory utility needs in the form of water treatment and supply systems, steam supply systems, cooling water, compressed air supply systems, and power generation systems.*

*The planned production capacity of the factory is 20,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in the Cilegon area, Banten. The workforce needed is 148 people in the form of a Limited Liability Company (PT) led by a President Director who is assisted by a Production Director and a Finance Director with a line and staff organizational structure.*

*From the economic analysis obtained:*

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 423.369.047.571
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 74.712.184.865
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 498.081.232.436
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 48,71%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 20,50%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub>	= 2,42 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 2,85 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 26,51%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 21,21%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 21,72%

*Considering the above summary, it is appropriate that the establishment of this phenol plant should be studied further, because it is a profitable factory and has good prospects.*

**PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI *CUMENE*  
*HYDROPEROXIDE* DENGAN KATALIS *SULFURIC ACID*  
KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN  
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE - 201))**

Oleh  
**MUHAMMAD NIKI WIJAYA**  
**1955041002**

**Skripsi**  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada  
**Jurusan Teknik Kimia**  
**Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG**  
**BANDAR LAMPUNG**  
**2023**



Judul Skripsi

**: PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI  
CUMENE HYDROPEROXIDE DENGAN ASAM  
SULFAT KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN  
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor 201  
(RE-201))**

Nama Mahasiswa

**: Muhammad Niki Wijaya**

No. Pokok Mahasiswa

**: 1955041002**

Program Studi

**: Teknik Kimia**

Fakultas

**: Teknik**



**Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**  
NIP. 197112192000032001

**Lia Lismeri, S.T., M.T.**  
NIP. 198503122008122004

**2. Ketua Jurusan Teknik Kimia**

**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
NIP. 197407122000032001




**MENGESAHKAN**

**Tim Penguji**

**Ketua**

**: Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**



**Sekretaris**

**: Lia Lismeri, S.T., M.T.**

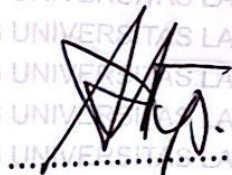


**Penguji**

**Bukan Pembimbing : Simparmin Br Ginting, S.T., M.T.**



**Ir. Azhar, M.T.**



**Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197509282001121002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Desember 2023**



## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku

Bandar Lampung, 9 Januari 2024



Muhammad Niki Wijaya  
NPM. 1955041002

## RIWAYAT HIDUP



**Muhammad Niki Wijaya**, penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung, Lampung pada tanggal 04 Maret 2001, sebagai anak kedua dari dua bersaudara pasangan bapak Basuki Rahman dan ibu Lina Sartika. Penulis menyelesaikan pendidikan pertamanya di Taman Kanak - Kanak Setia Kawan, pada tahun 2007, Sekolah Dasar di SD Negei 2 Panjang Utara diselesaikan pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 16 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Kejuruan di SMK SMTI Bandar Lampung pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SMMPTN). Pada tahun 2022, penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Madubaru PG Madukismo, Yogyakarta dengan Tugas Khusus “Evaluasi Perolehan Nira Pada Stasiun Gilingan”. Di tahun yang sama penulis juga melakukan penelitian dengan judul "Pemanfaatan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa sebagai Adsorben pada Proses Adsorpsi  $\beta$ -Karoten yang Terkandung Dalam Minyak Kelapa Sawit" di Laboratorium Teknik Reaksi dan Separasi Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan antara lain sebagai Staff dan Kepala Divisi CEEC Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) Fakultas Teknik Universitas Lampung periode 2020 dan 2021, Staff Dinas Eksternal Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM-FT) periode 2020.



## *Motto dan Persembahan*

*"Cukuplah Allah Menjadi Penolong Kami dan Allah adalah sebaik-baik pelindung..."*

*(QS. Ali Imran: 173)*

*"Jadilah baik. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.."*

*(QS. Al-Baqarah: 195)*

*"The greatest glory in living lies not in never falling, but in rising every time we fall"*

*(Nelson Mandela)*

## *Sebuah Karyaku....*

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini  
kepada:*

*Allah SWT,*

*Karena izin-Nya, semua ini dapat terwujud.  
Atas nikmat dan karunia-Nya yang aku dapatkan Atas  
kekuatan dari-Nya, aku bisa tetap tegar.*

*Bapak, Mama, dan Kakakku Tercinta*

*Terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang,  
pengorbanan dan keikhlasannya. Ini hanyalah setitik  
balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan  
pengorbanan dan kasih sayang kalian selama ini. Thank  
you so much*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,  
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini  
baik ilmu tentang pelajaran amupun kehidupan*

*Diri Sendiri,*

*Terima kasih karena memutuskan tidak menyerah dan tetap berjuang sampai akhir, sesulit apapun cobaan dalam proses penyusunan tugas akhir ini tetap dihadapi dan telah menyelesaikannya sebaik dan semaksimal mungkin.*

*Sahabat-sahabatku,*

*Terima kasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta, semoga kelak berguna dikemudian hari*



## SANWACANA

Bismillahirrohmanirrohim...

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul **“PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI CUMENE HYDROPEROXIDE DENGAN KATALIS SULFURIC ACID KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN”** sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Tugas akhir ini merupakan salah satu dari mata kuliah wajib sebagai syarat untuk memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis menyadari banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak selama pelaksanaan dan pengerjaan laporan tugas akhir ini. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena atas berkat, Rahmat, hidayah, serta ketentuan-Nya lah tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari betul bahwa manusia hanya bisa merencanakan dan hasil akhirnya tetap Allah SWT yang menentukan.

2. Kedua orang tua, Bapak Alm. Basuki Rahman dan Ibu Lina Sartika, kakakku tercinta dan keluargaku yang telah memberi dukungan, restu, dan doa. Semoga setelah perjalanan panjang ini penulis bisa memberi balasan dengan memberikan kebahagiaan, kejayaan serta kesuksesan didalam keluarga dan senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung yang telah memberikan saya arahan.
4. Ibu Dr. Herti Utami, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan wawasan sehingga mengajarkan untuk memiliki pola pikir yang lebih logis bukan hanya berdasarkan teori dan rumus saja, semoga ilmunya dapat bermanfaat di kemudian hari dan memberikan motivasi agar penulis selalu semangat dalam mengerjakan laporan tugas akhir ini hingga akhir.
5. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik serta selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saya arahan, ilmu dan motivasinya yang sangat berguna dalam penyelesaian tugas akhir ini, semoga ilmunya bermanfaat dan berguna dikemudian hari.
6. Ibu Simparmin Br. Ginting, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang memberikan arahan, solusi, dan masukkan dalam penyempurnaan tugas akhir ini serta memberikan ilmu dan motivasi selama masa perkuliahan semoga bermanfaat dan berguna di kemudian hari.
7. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen Penguji II yang memberikan arahan, solusi, dan masukkan dalam penyempurnaan tugas akhir serta memberikan ilmu dan

motivasi selama masa perkuliahan semoga bermanfaat dan berguna di kemudian hari.

8. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang bermanfaat.
9. Seluruh Civitas Akademik Teknik Kimia Universitas Lampung, yaitu Mba Ning yang selalu membantu urusan administrasi, Mba Yun yang senantiasa menghibur, dan Mas Adi yang membantu menyiapkan perlengkapan keperluan di kampus.
10. Desra Nursaputri, partner seperjuangan dalam pengerjaan Tugas Akhir yang sangat baik hati dan sangat istimewa, terimakasih banyak atas waktu, dedikasi dan pengorbanannya, juga selalu jadi penenang dan penyemangat diriku dikala sedang terpukur, alhamdulillah kita bisa menyelesaikan tugas akhir ini selama kurang lebih 5 bulan ya, kita keren banget, terimakasih udah mau direpotin, digupekin, ditanya-tanyain terus, semoga dapet balesan dari Allah SWT lebih besar ya, aamiin. TBH, gue banyak belajar banget dari lo, tentang apapun, contohnya kehidupan, “gapapa nik, terbentur – terbentur, TERBENTUK, itu bagian dari pendewasaan, biar lu makin kua”. Kata- kata yang bikin gue mikir banget! Thank you ya des, semoga selalu menjadi orang baik, jangan pernah berubah ya. Semoga selalu dilancarkan apa yang sudah direncanakan.
11. BFC. Halo teman, sahabat rasa keluarga, Makasih banyak ya atas support systemnya, hiburannya, waktu berharganya yang udah kita lewatin bareng-bareng, semoga kita sampe udah punya keluarga masih temanan begini ya,



sampe anak-anak kita juga ikut temanan, pasti seru! Thank you buat semuanya, semoga kalian dipermudah jalan kedepannya, aamiin.. Love you guys..

12. LABBERS. Thanks ya udah saling bantu satu sama lain, terimakasih juga atas candaan-candaan kalian yang menghibur, semangat pasti bisa.
13. KATING. Ferin, Fida, Bunga, Chindy, Alfred Makasi banyak atas pengalaman-pengalaman berharganya selama kuliah di tekim, tips and trick nya juga, pokoknya thank you ya.
14. TEMAN SMP KU. Karlina, Anggita, Nabila, Rizka, Vio, Gege, Annisa, Piwa, Dea, Ncik, Dine, Thank you ya untuk semua canda tawanya, yang udah selalu bikin happy semoga awet terus temenannya sampe tua.
15. *Partner* Penelitian Sona Erlangga, terimakasih untuk bantuannya.
16. *Last but not least*, Matahariku, *thank you for your love and support*.
17. Teman-teman tekkim 2019 yang tidak bisa disebutkan satu persatu namum telah memberikan cukup andil yang berarti untuk selesainya masa kuliah penulis, support yang selalu diberikan terimakasih banyak.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik lagi dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin..

Bandar Lampung, 9 Januari 2024  
Penulis

Muhammad Niki Wijaya

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>COVER</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>INSIDE COVER</b> .....	iv
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>SURAT PERNYATAAN</b> .....	vii
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	viii
<b>SANWACANA</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xxvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Kegunaan Produk</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Ketersediaan Bahan Baku</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4. Kapasitas Rancangan</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5. Lokasi Pabrik</b> .....	<b>8</b>
<b>BAB II DESKRIPSI PROSES</b>	
<b>2.1. Jenis-jenis Proses Pembuatan Fenol</b> .....	<b>11</b>

<b>2.2. Pemilihan Proses .....</b>	<b>14</b>
2.2.1. Pembuatan Fenol dari <i>Cumene Hydroperoxide</i> .....	14
2.2.2. Pembuatan Fenol dari Toluena-Asam Benzoat .....	20
2.2.3. Pembuatan Fenol melalui Proses <i>Raschig</i> .....	26



<b>2.3. Uraian Proses <i>Cumyl Hydroperoxide</i></b> .....	<b>32</b>
2.3.1. Dekomposisi <i>Cumene Hidroperoxide</i> .....	32
2.3.2. Pemurnian Produk .....	33

### **BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK**

<b>3.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang</b> .....	<b>37</b>
<b>3.3. Spesifikasi Produk Utama</b> .....	<b>41</b>
<b>3.4. Spesifikasi Produk Sampung</b> .....	<b>43</b>

### **BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS**

<b>4.1. Neraca Massa</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2. Neraca Panas</b> .....	<b>49</b>

### **BAB V SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS**

<b>5.1. Peralatan Proses</b> .....	<b>53</b>
<b>5.2. Peralatan Utilitas</b> .....	<b>70</b>

### **BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH**

<b>6.1. Unit Pendukung Proses</b> .....	<b>96</b>
<b>6.2. Unit Penyediaan Air</b> .....	<b>96</b>
<b>6.3. Unit Penyediaan <i>Steam</i></b> .....	<b>108</b>
<b>6.4. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik</b> .....	<b>108</b>
<b>6.5. Sistem Penyediaan Bahan Bakar</b> .....	<b>109</b>
<b>6.6. Unit Penyediaan Udara Tekan</b> .....	<b>109</b>
<b>6.7. Pengolahan Limbah</b> .....	<b>109</b>
<b>6.8. Laboratorium</b> .....	<b>112</b>

<b>6.9. Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....</b>	<b>115</b>
---	------------

## **BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK**

<b>7.1. Lokasi Pabrik .....</b>	<b>117</b>
---------------------------------	------------

7.1.1. Bahan Baku .....	117
-------------------------	-----

7.1.2. Tenaga Kerja .....	118
---------------------------	-----

7.1.3. Utilitas .....	118
-----------------------	-----

7.1.4. Pemasaran .....	118
------------------------	-----

7.1.5. Transportasi .....	119
---------------------------	-----

7.1.6. Keadaan Iklim dan Tanah .....	119
--------------------------------------	-----

7.1.7. Perizinan .....	119
------------------------	-----

<b>7.2. Tata Letak Pabrik .....</b>	<b>119</b>
-------------------------------------	------------

7.2.1. Area Proses .....	120
--------------------------	-----

7.2.2. Area Penyimpanan .....	120
-------------------------------	-----

7.2.3. Area Laboratorium .....	121
--------------------------------	-----

7.2.4. Area Utilitas .....	121
----------------------------	-----

7.2.5. Area Perkantoran .....	121
-------------------------------	-----

7.2.6. Area Fasilitas Umum .....	121
----------------------------------	-----

7.2.7. Area Pengembangan .....	121
--------------------------------	-----

7.2.8. Pos Keamanan .....	121
---------------------------	-----

<b>7.3. Estimasi Area Pabrik .....</b>	<b>122</b>
--	------------

## **BAB VIII MANAGEMEN DAN ORGANISASI**

<b>8.1. Bentuk Perusahaan .....</b>	<b>125</b>
-------------------------------------	------------

8.1.1. Perusahaan Perseorangan .....	125
--------------------------------------	-----

8.1.2. Perusahaan Firma .....	125
-------------------------------	-----

8.1.3. Perusahaan Komanditer .....	126
8.1.4. Perseroan Terbatas (PT) .....	126
<b>8.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....</b>	<b>127</b>
<b>8.3. Tugas dan Wewenang .....</b>	<b>130</b>
8.3.1. Pemegang Saham .....	130
8.3.2. Board of Commissioners .....	130
8.3.3. Presiden Director .....	130
8.3.4. Kepala Bagian .....	132
8.3.5. Kepala Seksi .....	132
<b>8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....</b>	<b>133</b>
8.4.1. Status Karyawan .....	133
8.4.2. Penggolongan Gaji .....	133
<b>8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan .....</b>	<b>134</b>
8.5.1. Karyawan <i>Reguler</i> .....	134
8.5.2. Karyawan <i>Shift</i> .....	134
<b>8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karywan .....</b>	<b>135</b>
8.6.1. Penggolongan Jabatan .....	135
8.6.2. Perincian Jumlah Karyawan .....	136
<b>8.7. Kesejahteraan Karyawan .....</b>	<b>138</b>
8.7.1. Gaji Pokok .....	138
8.7.2. Tunjangan .....	138
8.7.3. Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	139



## **BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI**

<b>9.1. Investasi .....</b>	<b>142</b>
9.1.1. <i>Fixed Capital Investment</i> .....	142
9.1.2. <i>Working Capital Investment</i> (Modal Kerja) .....	143
9.1.3. <i>Total Production Cost</i> (TPC) .....	143
<b>9.2. Evaluasi Ekonomi .....</b>	<b>146</b>
9.2.1. <i>Return On Investment</i> (ROI) .....	146
9.2.2. <i>Pay Out Time</i> (POT) .....	147
9.2.3. <i>Break Even Point</i> (BEP) .....	147
9.2.4. <i>Shut Down Point</i> (SDP) .....	148
<b>9.4. Angsuran Pinjaman .....</b>	<b>148</b>
<b>9.5. Discounted Cash Flow (DCF) .....</b>	<b>149</b>

## **BAB X SIMPULAN DAN SARAN**

<b>10.1. Simpulan .....</b>	<b>150</b>
<b>10.2. Saran .....</b>	<b>150</b>

## **DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN A**

**LAMPIRAN B**

**LAMPIRAN C**

**LAMPIRAN D**

**LAMPIRAN E**

**LAMPIRAN F**

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1. Data Fenol di Indonesia .....	4
1.2. Data Konsumsi Fenol di Indonesia.....	6
2.1. Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa.....	15
2.2. Data Konstanta Masing-masing Komponen.....	15
2.3. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen.....	17
2.4. Mol dan harga bahan baku dan produk proses <i>Cumene Hydroperoxide</i> .....	19
2.5. Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa.....	21
2.6. Data Konstanta Masing-masing Komponen.....	21
2.7. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen.....	23
2.8. Mol dan harga bahan baku dan produk proses Toluena-Asam Benzoat .....	25
2.9. Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa.....	27
2.10. Data Konstanta Masing-masing Komponen.....	27
2.11. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen.....	29
2.12. Mol dan harga bahan baku dan produk proses <i>Raschig</i> .....	31
2.13. Perbandingan Proses .....	31
4.1. Neraca Massa Reaktor (RE-201) .....	46
4.2. Neraca Massa <i>Neutralizer</i> (NE-201) .....	46
4.3. Neraca Massa <i>Decanter</i> (DC-301).....	47
4.4. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-301).....	47
4.5. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301).....	47
4.6. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301).....	48
4.7. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-302).....	48
4.8. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-302).....	48
4.9. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-302).....	49
4.10. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-101) .....	49

4.11. Neraca Panas Reaktor (RE-201).....	49
4.12. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-201).....	50
4.13. Neraca Panas Neutralizer (NE-201).....	50
4.14. Neraca Panas <i>Decanter</i> (DC-301).....	50
4.15. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-301).....	51
4.16. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-301).....	51
4.17. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-302).....	51
4.18. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-301).....	52
4.19. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-302).....	52
5.1. Spesifikasi Tangki C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub> (ST-101).....	53
5.2. Spesifikasi Tangki H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ST-102).....	54
5.3. Spesifikasi Tangki NH <sub>4</sub> OH (ST-103).....	54
5.4. Spesifikasi Tangki C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH (ST-301).....	55
5.5. Spesifikasi Tangki C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O (ST-302).....	55
5.6. Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	56
5.7. Spesifikasi Netralizer (NE-201).....	57
5.8. Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-301).....	57
5.9. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301).....	58
5.10. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-302).....	58
5.11. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301).....	59
5.12. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-302).....	59
5.13. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301).....	60
5.14. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302).....	61
5.15. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101).....	61
5.16. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-301).....	62
5.17. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201).....	62
5.18. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301).....	63
5.19. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302).....	64
5.20. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	64
5.21. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102).....	65
5.22. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201).....	65
5.23. Spesifikasi Pompa Proses (PP-202).....	66

5.24. Spesifikasi Pompa Proses (PP-203).....	66
5.25. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301).....	67
5.26. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302).....	68
5.27. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303).....	68
5.28. Spesifikasi Pompa Proses (PP-304).....	69
5.29. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	70
5.30. Spesifikasi Tangki Alum (ST-401).....	70
5.31. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST-402).....	71
5.32. Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST-403) .....	71
5.33. Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CF-401).....	72
5.34. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401) .....	72
5.35. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404).....	73
5.36. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-401) .....	73
5.37. Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-405).....	74
5.38. Spesifikasi Tangki Dispersan (ST-406).....	74
5.39. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-407).....	75
5.40. Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401) .....	76
5.41. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401) .....	76
5.42. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401) .....	77
5.43. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401) .....	77
5.44. Spesifikasi <i>Demin Water Tank</i> (ST-408).....	78
5.45. Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DE-401).....	78
5.46. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-409).....	79
5.47. Spesifikasi <i>Boiler</i> (B-401) .....	80
5.48. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-410).....	80
5.49. Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BS-401).....	81
5.50. Spesifikasi Generator Listrik (GS-401) .....	81
5.51. Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-401) .....	81
5.52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	82
5.53. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	82
5.54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	83
5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	83



5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	84
5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	84
5.58. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	85
5.59. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	85
5.60. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	86
5.61. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	86
5.62. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	87
5.63. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	87
5.64. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	88
5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	88
5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	89
5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	89
5.68. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	90
5.69. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	90
5.70. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419).....	91
5.71. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420).....	91
5.72. Spesifikasi Tangki Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (ST-501).....	92
5.73. Spesifikasi Bak Penampung (BU-501).....	92
5.74. Spesifikasi Bak Pengendapan Awal (BU-502).....	93
5.75. Spesifikasi Bak Netralisasi (BN-501).....	93
5.76. Spesifikasi Bak Aerasi (BA-501) .....	94
5.77. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-501).....	94
5.78. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501).....	95
6.1. Kebutuhan Air Pendingin .....	98
6.2. Kebutuhan Air Umpan Boiler.....	101
6.3. Kebutuhan Air Pabrik .....	103
6.4. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	116
6.5. Pengendalian Variabel Utama Proses .....	116
7.1. Perincian luas area Pabrik Fenol.....	122
8.1. Jadwal Kerja Masing-masing Regu.....	135
8.2. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat.....	136
8.3. Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan .....	137

9.1. <i>Fixed Capital Investment</i> .....	143
9.2. <i>Manufacturing Cost</i> .....	144
9.3. <i>General Expenses</i> .....	145
9.4. Biaya Administrasi .....	145
9.5. <i>Minimum Acceptable Percent Return on Investment</i> .....	147
9.6. <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik .....	147
9.7. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi .....	149

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Grafik Impor Fenol di Indonesia .....	4
1.2. Lokasi Pabrik.....	9
2.1. Diagram Alir Proses .....	34
6.1. <i>Cooling Tower</i> .....	100
6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i> .....	101
6.3. <i>Deaerator</i> .....	102
6.4. Diagram Alir Pengolahan Air.....	103
6.5. Diagram Alir Unit Pengolahan Limbah.....	112
7.1. Peta Provinsi Banten.....	123
7.2. Area Sungai Cidanau – Banten.....	123
7.3. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	124
7.4. Tata Letak Peralatan Proses.....	124
8.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	129
9.1. Grafik Analisa Ekonomi .....	148
9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i> .....	149

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pabrik berfungsi sebagai fasilitas pengolahan untuk mengubah bahan mentah menjadi barang jadi dengan nilai ekonomi yang meningkat. Tujuan pembangunan pabrik adalah untuk meningkatkan nilai ekonomis bahan baku sehingga harga bahan baku yang sudah jadi atau setengah jadi akan lebih mahal. Selain itu, pembangunan perusahaan industri dapat meningkatkan *output* dalam negeri, menyeimbangkan struktur ekonomi Indonesia, menghasilkan lebih banyak uang asing, dan menyediakan lapangan kerja bagi orang Indonesia.

Fenol atau asam karbolat atau benzenol yaitu zat tidak berwarna dengan aroma yang khas. Rumus kimianya adalah  $C_6H_5OH$ , dan strukturnya memiliki gugus hidroksil (-OH) yang berikatan pada cincin fenil. Nama lain dari fenol adalah karbolik atau asam *phenic*. Aromanya yang khas menandakan bahwa fenol merupakan senyawa aromatik. (Kirk & Othmer, 1996).

Pada awalnya, sulfonasi benzena dan hidrolisis sulfonat digunakan untuk membuat fenol sintetik. Sejak itu, lebih banyak strategi untuk memproduksi fenol telah dirancang, seperti mengklorinasi benzena dalam bentuk cairnya sebelum menghidrolisisnya pada suhu tinggi dalam bentuk uapnya. Namun, tidak satu pun dari mereka yang sangat menarik karena tingginya biaya bahan baku kimia, potensi korosi, dan fakta bahwa mereka seringkali tidak menguntungkan untuk produksi skala besar (Mc Ketta, 1987).

Pada tahun 1949, Dr. Heinrich Hock dan rekannya Shon Lang membuat penemuan fenol sintetik yang tersedia secara komersial. Studi tersebut menunjukkan bahwa dalam keadaan tertentu, cumene akan teroksidasi menjadi cumene hidroperoksida sebelum terurai menjadi fenol dan aseton (1987, McKetta).

Bahan kimia fenolik menawarkan kemungkinan pertumbuhan yang menjanjikan di Indonesia. Hal ini ditunjukkan dari kebutuhan prospektif bahan kimia ini di berbagai sektor. Namun, meskipun permintaan secara umum meningkat, permintaan fenol di dalam negeri belum sepenuhnya dipenuhi oleh industri penghasil fenol. Pelaku di industri yang membutuhkan fenol masih mengimpornya dari luar negeri untuk memenuhi kebutuhan Indonesia. Untuk memenuhi permintaan fenol dalam negeri, pabrik fenol harus didirikan.

## 1.2. Kegunaan Produk

Menurut Kirk & Othmer (1996) dan Mc. Ketta & Cunningham (1987), kegunaan produk fenol antara lain:

### 1. Pembuatan Bisphenol-A



Bisphenol-A banyak digunakan dalam industri plastik.

### 2. Pembuatan Fenolat Resin

Fenolat resin yaitu hasil reaksi antara fenol dan formaldehid. Fenolat resin banyak digunakan pada bahan isolasi atap, dinding (*fiberglass*) dan pelapis pipa. Ini digunakan untuk menahan pecahan amplas di tempatnya dalam bisnis amplas. Ini digunakan sebagai perekat dalam produksi kayu lapis.

### 3. Pembuatan Kaprolaktam

Hidrogenasi fenol dengan katalis palladium dapat menghasilkan kaprolaktam sebagai bahan baku nilon.

#### 4. Pembuatan Anilin

Anilin sering digunakan untuk membuat warna diazo, bahan peledak, obat-obatan, dan propelan roket. Fenol adalah bahan kimia mentah yang digunakan dalam industri farmasi untuk membuat obat-obatan seperti asam salisilat dan asam pikrat. sebagai antiseptik juga. Hal ini disebabkan oleh sifat fenol yang menyebabkan koagulasi protein.

#### 5. Pembuatan Alkil Fenol

Fenol juga diubah menjadi alkil fenol, yang digunakan sebagai pengemulsi zat aktif permukaan, antioksidan dan adiktif minyak pelumas (nonilfenol) dan untuk membuat peliat, resin dan pelumas sintetik (dengan konversi menjadi asam adipat).

### 1.3. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku dapat dibeli dari produsen internasional dalam bentuk isopropil benzena hidroperoksida (*cumene hydroperoxide*). PT. Haihang Industry Company mengimpor pabrik kimia yang menghasilkan isopropil benzena hidroperoksida (*cumene hydroperoxide*) dari China.

### 1.4. Kapasitas Rancangan

Industri yang memproduksi fenol sudah ada di Indonesia, namun masih belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhannya. Diharapkan dengan membangun pabrik fenol di Indonesia, impor akan berkurang dan bisnis lain akan berkembang, terutama yang menggunakan fenol sebagai bahan baku. Oleh karena itu, sangat penting untuk membangun pabrik fenol di Indonesia yang memiliki kapasitas tertentu. Unsur-unsur berikut harus diperhitungkan saat menghitung kapasitas pabrik fenol:

#### 1. Data Impor

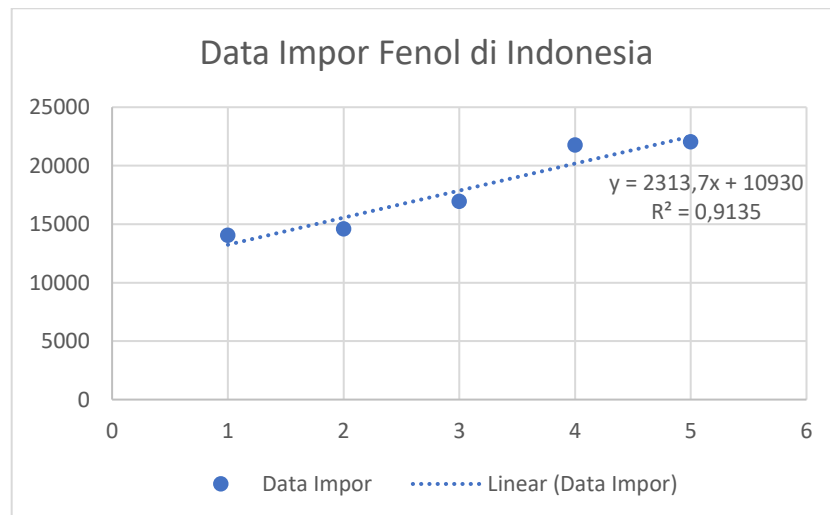


Berikut ini data impor fenol di Indonesia pada beberapa tahun terakhir. Disajikan dalam Tabel 1.1.

**Tabel 1.1.** Data Fenol di Indonesia

Tahun ke-	Tahun	Jumlah (Ton)
1	2018	14.037,581
2	2019	14.539,113
3	2020	16.948,27
4	2021	21.746,089
5	2022	22.029,652

Sumber : BPS (Badan Pusat Statistik)



**Gambar 1.1.** Grafik Impor Fenol di Indonesia

Pada Gambar 1.1. grafik sumbu-x merupakan tahun. Berdasarkan data-data yang sudah diplotkan pada Gambar 1.1. dilakukan pendekatan berupa garis lurus,  $y = mx + C$ .

dimana :  $y$  = kebutuhan impor fenol (ton/tahun)

$x$  = tahun ke

$$m = \text{slope}$$

$$C = \text{intercept } y$$

didapatkan nilai *slope* sebesar :

$$m = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = 2.313,7$$

dan didapatkan nilai *intercept* sebesar :

$$m = \frac{n \sum x^2 \cdot \sum y - \sum xy \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = 10.930$$

Melalui perhitungan persamaan garis lurus di atas diperoleh persamaan  $y = 2.313,7x + 10.930$ , yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan impor fenol di Indonesia pada tahun 2028. Dengan persamaan garis lurus tersebut didapatkan prediksi jumlah kebutuhan fenol di Indonesia sebesar 36.380,7 ton/tahun.

## 2. Data Konsumsi

Fenol digunakan untuk pembuatan Bisphenol-A sebanyak 30%, Resin Fenolik 43%, Kaprolaktam 15%, Anilin 7% dan Alkil Fenol 5% (Kirk & Othmer, 1996). Namun di Indonesia konsumsi fenol hanya digunakan untuk pembuatan Bisphenol-A, Fenolik Resin, dan Anilin. Kemudian data konsumsi fenol ditunjukkan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2.** Data Konsumsi Fenol di Indonesia

No.	Nama Pabrik	Produk	Alamat	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
1	PT. Indopherin Jaya	Resin Fenolic	Jln. Brantas Km. 1, Kademangan, Probolinggo, Jawa Timur	10.428
2	PT. Dynea Mugi Indonesia	Resin Fenolic	Kawasan Industri Medan (KIM), Jln. Yos Sudarso Km. 10.5, Mabar, Medan, Sumatera Utara	10.000
3	PT. Intan Wijaya Internasional	Resin Fenolic	Jln. Yos Sudarso, Banjarmasin, Kalimantan Selatan	71.600
4	PT. Binajaya Rodakarya	Resin Fenolic	Jln. Letjen. S. Parman Kav. 62-63, Slipi, Jakarta Barat	12.000
5	PT. Perawang Perkasa Industri	Resin Fenolic	Jln. Raya Perawang, Desa Perawang, Siak, Bengkalis, Pekanbaru, Riau	21.000
6	PT. Lakosta Indah	Resin Fenolic	Mangkujenang, Palaran, Samarinda, Kalimantan Timur	40.000
7	PT. Korindo Abadi	Resin Fenolic	Jln. Sungai Lekop Km. 23 Kijang, Tanjung Pinang, Riau	40.000
8	PT. Meranti Mustika	Resin Fenolic	Jln. Ade Irma Suryani (AIS) Nasution No. 33, Sampit, Kalimantan Tengah	22.200
9	PT. Duta Pertiwi Nusantara	Resin Fenolic	Jln. Laksda Adi Sucipto Km. 10.06, Pontianak, Kalimantan Barat	18.000
10	PT. Arjuna Utama Kimia	Resin Fenolic	Jln. Rungkut Industri I No. 18-22, Surabaya, Jawa Timur	43.000
11	PT. Sabak Indah	Resin Fenolic	Jln. Kol. Abunjani No. 168, Jambi	60.000
Total				348.228
Total Kebutuhan Resin Fenolic 43% dari Fenol				<b>149.738</b>

**Tabel 1.2.** (Lanjutan)

No.	Nama Pabrik	Produk	Alamat	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
-----	-------------	--------	--------	-----------------------------------

1	PT. Inti Everspring Indonesia	Anilin	Jln. Raya Selira Km. 12, Banten	1.700
2	PT. Clariant Indonesia	Anilin	Jln. Gatot Subroto Km. 4 Kali Sabi No. 1, Kec. Jati Uwung, Tangerang, Banten	21.927
3	PT. Dystar Colour Indonesia	Anilin	Krakatau Industrial Estate Cilegon, Cilegon, Banten	3.000
4	PT. Multikimia Intipelangi	Anilin	Desa Ganda Mekar, Kec. Cibitung, Bekasi, Jawa Barat	500
Total				27.127
Total Kebutuhan Anilin 7% dari Fenol				<b>1.899</b>
1	PT. Indo Nan Pao Resin Chemical	Bisphenol-A	Desa Gandasari, Jati Uwung, Tangerang, Banten	12.000
2	PT. Phodia	Bisphenol-A		20.000
Total				32.000
Total Kebutuhan Bisphenol-A 30% Fenol				<b>9.600</b>

Sumber : <http://daftarperusahaanindonesia.com/>

Jadi, jumlah kebutuhan fenol di Indonesia berjumlah 149.738 ton/tahun + 1.899 ton/tahun + 9.600 ton/tahun = 161.237 ton/tahun.

Berdasarkan data di atas, Indonesia pada tahun 2028 diprediksi perlu mengimpor 36.380,7 ton fenol setiap tahunnya. Untuk mengurangi 50% ketergantungan impor fenol di Indonesia, maka pabrik fenol berkapasitas 20.000 ton/tahun akan dibangun, dengan itu kebutuhan fenol dalam negeri dapat tercukupi.

### **1.5. Lokasi Pabrik**

Untuk menentukan lokasi pabrik, perlu mempertimbangkan beberapa faktor yang menentukan keberhasilan dan kelangsungan kegiatan industri pabrik (termasuk produksi dan distribusi). Oleh karena itu dalam memilih lokasi pabrik harus diperhatikan biaya distribusi dan biaya produksi yang minimum agar pabrik dapat tetap beroperasi dengan keuntungan yang maksimal. Selain biaya yang perlu diperhatikan saat menentukan lokasi pabrik, faktor lainnya antara lain ketersediaan bahan baku, transportasi, utilitas, lahan dan tenaga kerja. Berdasarkan pertimbangan di atas, maka dipilih lokasi pabrik fenol di Cilegon, Provinsi Banten.

Untuk prarancangan pabrik fenol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3, dipilih lokasi Jl Raya Bojonegara Kav 162, Cilegon, 42454, Indonesia (Provinsi Banten). Kawasan ini merupakan kawasan yang biasa digunakan sebagai lokasi pabrik, dan banyak pabrik industri telah didirikan di kawasan ini. Selain dekat dengan bahan baku yang diperoleh dari pabrik, alamat pemasok bahan baku sebagian besar berasal dari Provinsi Banten dan sekitar Jakarta. Oleh karena itu, Jl Raya Bojonegara Kav 162, Cilegon, 42454, Indonesia (Provinsi Banten) merupakan lokasi yang strategis untuk pendirian pabrik fenol. Selain itu, akan dibahas pada sub bab selanjutnya bahwa lokasi ini memiliki potensi pasar yang besar untuk penggunaan fenol.



**Gambar 1.2.** Lokasi Pabrik

Google Maps – ©2023 Google

Lokasi ini dipilih dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

1. Penyediaan Bahan Baku

Jika bahan baku yang dikonsumsi banyak, sumber bahan baku merupakan salah satu faktor terpenting dalam memilih lokasi pabrik, karena sumber bahan baku yang dekat dengan lokasi pabrik dapat memperkecil biaya transportasi atau pengangkutan bahan. Bahan baku utama pabrik fenol berupa *cumene hydroperoxide* diimpor PT. Haihang Industry Company dari China. Bahan-bahan seperti  $H_2SO_4$  dapat diperoleh dari PT. *Indonesian Acid Industry* yang memproduksi  $H_2SO_4$  hingga 82.500 ton/tahun.

2. Fasilitas Transportasi

Pengaruh faktor transportasi terhadap lokasi pabrik meliputi pengangkutan bahan baku, bahan bakar, bahan pendukung, dan penjualan produk yang dihasilkan. Untuk memudahkan pengangkutan bahan baku, bahan pendukung dan produk, lokasi pabrik harus terletak di daerah yang mudah dijangkau oleh kendaraan besar, seperti dekat dengan badan jalan utama yang menghubungkan kota-kota besar dan



pelabuhan, sehingga ada tidak perlu membuat jalan khusus. Di Provinsi Banten dilalui jalur darat berupa jalan raya untuk keperluan pemasaran produk fenol.

3. Unit Pendukung

Karena kawasan Merak – Banten merupakan kawasan industri maka fasilitas penunjang berupa air, listrik dan bahan bakar tersedia cukup memadai. Sumber air diperoleh dari DAS Cidanau dengan debit aliran 2.000 liter per detik.

4. Tenaga kerja mudah diperoleh

Tenaga kerja baik yang berpendidikan tinggi, menengah maupun tenaga terampil tersedia cukup di lokasi ini.

5. Keadaan lingkungan masyarakat yang mudah beradaptasi

Pemerintah telah menetapkan lokasi Merak (Banten) sebagai kawasan industri. Oleh karena itu, pendirian pabrik di kawasan ini tidak akan menimbulkan masalah lingkungan, juga tidak sulit bagi masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi pabrik untuk beradaptasi.

## BAB II

### DESKRIPSI PROSES

Fenol adalah zat beracun transparan dengan bau khusus. Nama lain dari *hydroxybenzene*, *carbolic* atau *phenic acid* dengan rumus kimianya adalah  $C_6H_5OH$  dan memiliki struktur hidroksil (-OH) yang terikat dengan cincin phenyl: yang juga merupakan senyawa aromatik. Fenol dapat dibuat dengan oksidasi parsial benzena atau asam benzoat dengan metode *Cumene* atau metode *raschig*. Dapat juga ditemukan sebagai produk oksidasi batuan.

Fenol adalah bahan kimia yang awalnya diperkenalkan sebagai antiseptik rumah sakit oleh ahli bedah berkebangsaan Inggris bernama Joseph Lister. Kemudian perkembangan fenol berlanjut hingga tahun 1834, ketika F. Runge berhasil menemukan bahwa fenol adalah senyawa aromatik, yaitu senyawa dengan bau atau aroma yang khas.

Fenol pertama kali diproduksi secara komersial oleh Bayer dan Monsanto pada tahun 1900 dengan mereaksikan benzenesulfonat dengan NaOH. Namun, karena mahalnya harga bahan baku dan sedikitnya produk fenol yang diproduksi, metode ini sudah lama ditinggalkan. Sekarang produksi fenol komersial didominasi oleh proses dekomposisi *Cumene hydroperoxide*.

#### 2.1. Jenis-jenis Proses Pembuatan Fenol

Secara umum, proses pembuatan fenol dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain :

### 2.1.1. Pembuatan Fenol dari *Cumene Hydroperoxide*

Saat ini proses produksi fenol dengan bahan baku *Cumene* merupakan proses produksi fenol yang paling banyak digunakan. Menurut data yang diperoleh dari buku “*Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 14, ed 4<sup>th</sup>*” dari Kirk & Othmer, proses ini menghasilkan lebih dari 95% fenol di dunia. Dalam metode ini, katalis asam kuat digunakan untuk mempercepat penguraian *Cumene hydroperoxide* yang terbentuk menjadi fenol dan aseton. Proses ini menghasilkan aseton sebagai produk samping sekitar 60% dari produksi fenol atau dalam 10 ton fenol maka akan ada 6 ton aseton yang terbentuk (Mc Ketta, 1990). Reaksi pembentukan fenol dari *Cumene hydroperoxide* adalah sebagai berikut:



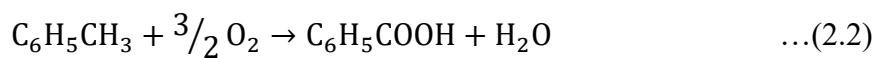
Cumene                      Fenol                      Aseton  
Hydroperoxide

Pada proses ini, *Cumene hydroperoxide* mengalami reaksi dekomposisi menjadi fenol dan aseton dengan *yield* sebesar 98% mol pada kondisi suhu optimum 78 °C dan tekanan 1 atm. Reaksi ini dilakukan dalam suasana asam dengan menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 98% sebagai katalis. (Kirk & Othmer, 1996; Walas, 1988)

### 2.1.2. Pembuatan Fenol dari Toluena-Asam Benzoat

Proses ini pertama kali dikenalkan oleh *Dow Canada, Ltd* pada tahun 1961. Proses ini memenuhi sekitar 4% produksi fenol dunia. Proses ini mencakup tiga tahap. Pertama, oksidasi toluene dengan udara dan digunakan katalisator *cobalt benzoat* yang akan menghasilkan asam benzoat. Pada tahap ini, reaktor dioperasikan pada suhu 121 – 177 °C, tekanan 2 atm, dan konsentrasi katalis 0,1 – 0,3% berat. Tahap kedua adalah oksidasi asam benzoat menggunakan oksigen yang terdapat di dalam udara dengan menggunakan katalisator *copper benzoate* dan

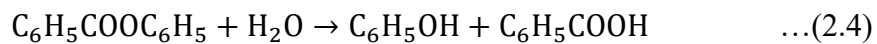
dengan adanya *steam* menghasilkan fenol. Pada reaksi tahap kedua, reaksi dilakukan pada suhu 234 °C dan tekanan 1,5 atm. Pada tahap ketiga dari proses toluene-asam benzoat, fenil benzoat menggunakan *steam* untuk menghasilkan fenol. Prosesnya dilakukan pada suhu 200 °C dan tekanan atmosfer. Hasil total fenol yang diperoleh terhadap asam benzoat adalah 88% mol (Kirk & Othmer, 1996). Persamaan reaksi untuk oksidasi toluene- asam benzoat menjadi fenol adalah sebagai berikut:



Toluena      Udara      Asam Benzoat      Air



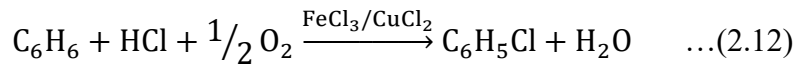
Asam Benzoat      Udara      Fenil Benzoat      Air      Karbon Dioksida



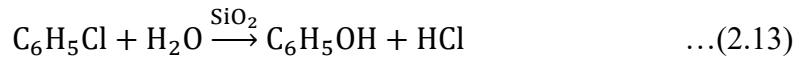
Fenil Benzoat      Steam      Fenol      Asam Benzoat

### 2.1.3. Pembuatan Fenol dari Oksiklorinasi Benzen (Proses *Raschig*)

Proses ini pertama kali dilakukan oleh Khoene-Poulenc pada tahun 1932. Benzen diklorinasi menggunakan asam klorida dan udara dengan besi dan tembaga klorida sebagai katalis pada suhu 200 – 260 °C untuk menghasilkan klorobenzen. Klorobenzen dihidrolisis dengan katalis SiO<sub>2</sub> dalam *furnace* bersuhu 480 °C untuk membentuk fenol. HCl yang terbentuk dalam proses ini kemudian di-*recycle*. Hasil fenol terhadap benzen yang diperoleh adalah 90% mol (Kirk & Othmer, 1996). Reaksi keseluruhan yang terjadi adalah sebagai berikut:



Benzena      Asam      Udara                      Kloro  
                   Klorid    Benzen      Air



Kloro                      Air                      Fenol      Asam  
 Benzen    Klorida

## 2.2. Pemilihan Proses

### 2.2.1. Pembuatan Fenol dari *Cumene Hydroperoxide*

#### a. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan membandingkan nilai entalpi reaksi ( $\Delta H_r$ ) dan energi bebas Gibbs reaksi ( $\Delta G$ ). Nilai  $\Delta H_r$  menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi.  $\Delta H$  positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari  $\Delta H$  menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai  $\Delta H_r$ , digunakan hubungan antara panas reaksi dan suhu (Smith, Van Ness dan Abbott, 2001):

$$\Delta H_r = \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT$$

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left( \frac{\tau-1}{\tau} \right)$$

$$\text{dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

Sedangkan untuk  $\Delta G$  digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T\Delta S_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

$$\text{dengan } \Delta S_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

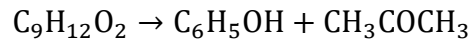
maka,

$$\Delta G = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau+1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Reaksi yang terjadi adalah:



Data  $\Delta H_f^0$  standar untuk masing-masing senyawa diberikan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1.** Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta H_f^0$ 298,15 K (kJ/mol)
CHP	$C_9H_{12}O_2$	-78,40
Fenol	$C_6H_5OH$	-96,36
Aseton	$CH_3COCH_3$	-217,57

Sumber : Yaws, Carl L.

Berdasarkan data  $\Delta H_f^0$  standar tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar ( $\Delta H_r^0$ ) pembentukan Fenol:

$$\Delta H_r^0 = \Delta H_f^0 \text{ produk} - \Delta H_f^0 \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r^0 &= (\Delta H_f^0 C_6H_5OH + \Delta H_f^0 CH_3COCH_3) - \Delta H_f^0 C_9H_{12}O_2 \\ &= (-96,36 + (-217,57)) - (-78,40) \\ &= -235,53 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

**Tabel 2.2.** Data Konstanta Masing-masing Komponen

Komponen	A	B	C	D
$C_9H_{12}O_2$	30,201	1,2367	-0,0032853	0,0000034917
$C_6H_5OH$	38,622	1,0983	-0,0024897	0,0000022802
$CH_3COCH_3$	46,878	0,6265	-0,0020761	0,0000029583

Sumber : Yaws, Carl L.

$$\begin{aligned} \Delta A &= \sum A_{\text{produk}} - \sum A_{\text{reaktan}} \\ &= (38,622 + 46,878) - 30,201 \\ &= 55,299 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta B &= \sum B_{\text{produk}} - \sum B_{\text{reaktan}} \\ &= (1,0983 + 0,6265) - 1,2367 \\ &= 0,4881\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta C &= \sum C_{\text{produk}} - \sum C_{\text{reaktan}} \\ &= (-0,0024897 + (-0,0020761)) - (-0,0032853) \\ &= -0,0012805\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta D &= \sum D_{\text{produk}} - \sum D_{\text{reaktan}} \\ &= (0,0000022802 + 0,0000029583) - 0,0000034917 \\ &= 0,0000017468\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT &= (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0}\left(\frac{\tau-1}{\tau}\right) \\ &= \left((55,299)(298,15)\left(\frac{351,15}{298,15} - 1\right)\right) + \\ &\quad \left(\left(\frac{0,4881}{2}\right)(298,15^2)\left(\left(\frac{351,15}{298,15}\right)^2 - 1\right)\right) + \\ &\quad \left(\left(\frac{-0,0012805}{3}\right)(298,15^3)\left(\left(\frac{351,15}{298,15}\right)^3 - 1\right)\right) + \\ &\quad \left(\left(\frac{0,0000017468}{298,15}\right)\left(\frac{\frac{351,15}{298,15} - 1}{\frac{351,15}{298,15}}\right)\right) \\ &= 4.160,8052\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta H_r$  adalah:

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT \\ &= -235,53 + ((8,314 \times 10^{-3}) \times (4.160,8052)) \\ &= -200,9371 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Karena harga  $\Delta H_r$  bernilai negatif, maka reaksi pembentukan Fenol tersebut bersifat eksoterm.



**Tabel 2.3.** Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta G^0$ 298,15 K (kJ/mol)
CHP	$C_9H_{12}O_2$	96,00
Fenol	$C_6H_5OH$	-32,89
Aseton	$CH_3COCH_3$	-153,05

Sumber : Yaws, Carl L.

Berdasarkan data  $\Delta G^0$  di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar  $\Delta G^0$ :

$$\Delta G^0 = \Delta G^0 \text{ produk} - \Delta G^0 \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= (\Delta G^0 C_6H_5OH + \Delta G^0 CH_3COCH_3) - \Delta G^0 C_9H_{12}O_2 \\ &= (-32,89 + (-153,05)) - 96,00 \\ &= -281,94 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} &= \Delta A \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau+1}{2} \right) \right] (\tau - 1) \\ &= \left( 55,299 \times \ln \frac{351,15}{298,15} \right) + \left[ (0,4881 \times 298,15) + \left( \left( -0,0012805 \times \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. (298,15^2) + \left( \frac{0,0000017468}{\left( \left( \frac{351,15}{298,15} \right)^2 \times (298,15^2) \right) \right) \right) \times \left( \frac{351,15+1}{2} \right) \right) \right] \times \left( \frac{351,15}{298,15} - 1 \right) \\ &= 12,8853 \end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta G$  adalah:

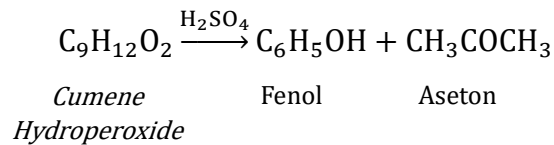
$$\Delta G = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

$$\begin{aligned}
&= (-235,53) - \left( \frac{351,15}{298,15} \times (-235,53 - (-281,94)) \right) + \left( (8,314 \times 10^{-3}) \times \right. \\
&\quad \left. (4.160,8052) \right) - \left( (8,314 \times 10^{-3}) \times (351,15) \times (12,8853) \right) \\
&= -293,2153 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

b. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomi berdasarkan perhitungan ekonomi kasar dari pembelian bahan baku dan penjualan produk.

Reaksi yang terjadi pada proses *Cumene* adalah sebagai berikut:



Menurut data yang diperoleh dari buku “*Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 14, ed 4<sup>th</sup>*” dari Kirk & Othmer, pada proses ini dihasilkan *yield* fenol terhadap *Cumene hydroperoxide* sebesar 98%. Meskipun konversi dan *yield* memiliki pengertian yang berbeda, tetapi pada kondisi ini nilai konversi sama dengan nilai *yield* dikarenakan data yang diketahui adalah *yield* produk terhadap umpan, dan juga koefisien reaksi umpan dengan produk adalah 1:1 yang artinya mol produk yang terbentuk sama dengan mol umpan yang bereaksi.

Berdasarkan reaksi stoikiometri, maka dapat ditentukan mol dan massa dari masing-masing produk maupun reaktan.

$$\text{Konversi} = 98\%$$

$$\text{Basis} = 1 \text{ kg C}_6\text{H}_5\text{OH terbentuk}$$

**Produk :**

$$1) \quad \text{Mol C}_6\text{H}_5\text{OH} = \frac{1 \text{ kg}}{94,11 \text{ kg/kmol}} = \mathbf{0,0106 \text{ kmol}}$$

$$\begin{aligned}
2) \quad \text{Mol C}_3\text{H}_6\text{O} &= \frac{1}{1} \times \text{mol fenol} = \frac{1}{1} \times 0,0106 \text{ kmol} \\
&= \mathbf{0,0106 \text{ kmol}}
\end{aligned}$$

$$3) \quad \text{Massa } C_3H_6O = \text{mol} \times \text{BM} = 0,0106 \times 58,08 \\ = \mathbf{0,6156 \text{ kg}}$$

**Reaktan :**

$$1) \quad \text{Mol } C_9H_{12}O_2 = \frac{\frac{1}{1} \times \text{mol fenol}}{\text{konversi}} = \frac{\frac{1}{1} \times 0,0106}{0,98} = \mathbf{0,0108 \text{ kmol}}$$

$$2) \quad \text{Massa } C_9H_{12}O_2 = \text{mol} \times \text{BM} = 0,0108 \times 152,2 \\ = \mathbf{1,6438 \text{ kg}}$$

(Kirk & Othmer, 1996; Mc Ketta, 1987; Walas, 1988; Faith Keyes, 1970)

**Tabel 2.4.** Mol dan harga bahan baku dan produk proses *Cumene Hydroperoxide*

Material	Rumus Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Massa		Harga (\$/kg)
			kmol	kg	
CHP	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	152,2	0,0108	1,6438	1,1900
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94,11	0,0106	1,0000	1,9840
Aseton	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58,08	0,0106	0,6156	1,8080

1) Harga penjualan produk utama dan produk samping:

$$C_6H_5OH = 1 \text{ kg} \times \$1,9840 = \$1,9840$$

$$C_3H_6O = 0,6156 \text{ kg} \times \$1,8080 = \$1,1130$$

$$\text{Total harga penjualan} = \$3,0970$$

2) Biaya pembelian bahan baku:

$$C_9H_{12}O_2 = 1,6438 \text{ kg} \times \$1,1900 = \$1,9561$$

$$\text{Total harga pembelian} = \$1,9561$$

3) Profit = harga penjualan produk – biaya pembelian bahan baku

$$= \$3,0970 - \$1,9561$$

$$= \$1,1409/\text{kg fenol}$$

## 2.2.2. Pembuatan Fenol dari Toluena-Asam Benzoat

### a. Tinjauan Temodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan membandingkan nilai entalpi reaksi ( $\Delta H_r$ ) dan energi bebas Gibbs reaksi ( $\Delta G$ ). Nilai  $\Delta H_r$  menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi.  $\Delta H$  positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari  $\Delta H$  menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai  $\Delta H_r$ , digunakan hubungan antara panas reaksi dan suhu (Smith, Van Ness dan Abbott, 2001):

$$\Delta H_r = \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT$$

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left( \frac{\tau - 1}{\tau} \right)$$

$$\text{dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

Sedangkan untuk  $\Delta G$  digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T\Delta S_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

$$\text{dengan } \Delta S_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

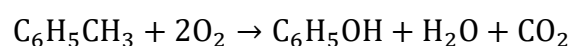
maka,

$$\Delta G = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau + 1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Reaksi yang terjadi adalah:



Data  $\Delta H_f^0$  standar untuk masing-masing senyawa diberikan pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta H_f^0$ 298,15 K (kJ/mol)
Toluena	$C_6H_5CH_3$	50,00
Oksigen	$O_2$	0,00
Fenol	$C_6H_5OH$	-96,36
Air	$H_2O$	-285,83
Karbon Dioksida	$CO_2$	-393,51

Sumber : Yaws, Carl L.

Berdasarkan data  $\Delta H_f^0$  standar tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar ( $\Delta H_r^0$ ) pembentukan Fenol:

$$\Delta H_r^0 = \Delta H_f^0 \text{ produk} - \Delta H_f^0 \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_r^0 &= (\Delta H_f^0 C_6H_5OH + \Delta H_f^0 H_2O + \Delta H_f^0 CO_2) - (\Delta H_f^0 C_6H_5CH_3 + \\ &\quad (2 \times \Delta H_f^0 O_2)) \\ &= (-96,36 + (-285,83) + (-393,51)) - (50,00 + (2 \times 0,00)) \\ &= -825,70 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

**Tabel 2.6.** Data Konstanta Masing-masing Komponen

Komponen	A	B	C	D
$C_6H_5CH_3$	83,703	0,5167	-0,001491	0,0000019725
$O_2$	29,526	-0,0089	0,000038	-0,0000000326
$C_6H_5OH$	38,622	1,0983	-0,002490	0,0000022802
$H_2O$	92,053	-0,0400	-0,000211	0,0000005347
$CO_2$	27,437	0,0423	-0,000020	0,0000000040

Sumber : Yaws, Carl L.

$$\begin{aligned}
\Delta A &= \sum A_{\text{produk}} - \sum A_{\text{reaktan}} \\
&= [38,622 + 92,053 + 27,437] - [83,703 + (2 \times 29,526)] \\
&= 15,357
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta B &= \sum B_{\text{produk}} - \sum B_{\text{reaktan}} \\
&= [1,0983 + (-0,0400) + 0,0423] - [0,5167 + (2 \times (-0,0089))] \\
&= 0,6017
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta C &= \sum C_{\text{produk}} - \sum C_{\text{reaktan}} \\
&= [-0,002490 + (-0,000211) + (-0,000020)] - \\
&\quad [-0,001491 + (2 \times 0,000038)] \\
&= -0,001306
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta D &= \sum D_{\text{produk}} - \sum D_{\text{reaktan}} \\
&= [0,0000022802 + 0,0000005347 + 0,0000000040] - \\
&\quad [0,0000019725 + (2 \times (-0,0000000326))] \\
&= 0,0000009116
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT &= (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0}\left(\frac{\tau-1}{\tau}\right) \\
&= \left( (15,357)(298,15) \left( \frac{473,15}{298,15} - 1 \right) \right) + \\
&\quad \left( \left( \frac{0,6017}{2} \right) (298,15^2) \left( \left( \frac{473,15}{298,15} \right)^2 - 1 \right) \right) + \\
&\quad \left( \left( \frac{-0,001306}{3} \right) (298,15^3) \left( \left( \frac{473,15}{298,15} \right)^3 - 1 \right) \right) + \\
&\quad \left( \left( \frac{0,0000009116}{298,15} \right) \left( \frac{\frac{473,15}{298,15} - 1}{\frac{473,15}{298,15}} \right) \right) \\
&= 8.720,8676
\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta H_r$  adalah:

$$\Delta H_r = \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT$$

$$= -825,70 + ((8,314 \times 10^{-3}) \times (8.720,8676))$$

$$= -753,1947 \text{ kJ/mol}$$

Karena harga  $\Delta H_r$  bernilai negatif, maka reaksi pembentukan Fenol tersebut bersifat eksoterm.

**Tabel 2.7.** Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta G^0$ 298,15 K (kJ/mol)
Toluena	$C_6H_5CH_3$	122,01
Oksigen	$O_2$	0,00
Fenol	$C_6H_5OH$	-32,89
Air	$H_2O$	-228,60
Karbon Dioksida	$CO_2$	-394,38

Sumber : Yaws, Carl L.

Berdasarkan data  $\Delta G^0$  di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar  $\Delta G^0$ :

$$\Delta G^0 = \Delta G^0 \text{ produk} - \Delta G^0 \text{ reaktan}$$

$$\Delta G^0 = (\Delta G^0 C_6H_5OH + \Delta G^0 H_2O + \Delta G^0 CO_2) - (\Delta G^0 C_6H_5CH_3 + (2 \times \Delta G^0 O_2))$$

$$= (-32,89 + (-228,60) + (-394,38)) - (122,01 + (2 \times 0,00))$$

$$= -777,88 \text{ kJ/mol}$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau+1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

$$\begin{aligned}
&= \left(15,357 \times \ln \frac{473,15}{298,15}\right) + \left[ (0,6017 \times 298,15) + \left( \left( (-0,001306 \times \right. \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \left. (298,15^2) \right) + \left( \frac{0,0000009116}{\left( \left( \frac{473,15}{298,15} \right)^2 \times (298,15^2) \right) \right) \right) \times \left( \frac{\left( \frac{473,15}{298,15} + 1 \right)}{2} \right) \right] \times \left( \frac{473,15}{298,15} - \right. \\
&\quad \left. 1 \right) \\
&= 24,2493
\end{aligned}$$

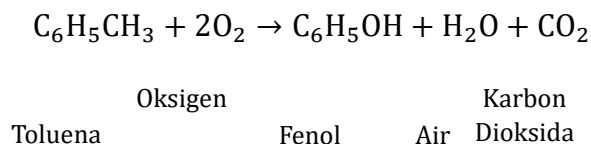
Sehingga nilai  $\Delta G$  adalah:

$$\begin{aligned}
\Delta G &= \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} \\
&= (-825,70) - \left( \frac{473,15}{298,15} \times (-825,70 - (-777,88)) \right) + \left( (8,314 \times 10^{-3}) \times \right. \\
&\quad \left. (8.720,8676) \right) - \left( (8,314 \times 10^{-3}) \times (473,15) \times (24,2493) \right) \\
&= -772,6978 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

#### b. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomi berdasarkan perhitungan ekonomi kasar dari pembelian bahan baku dan penjualan produk.

Reaksi yang terjadi pada proses oksidasi toluena adalah sebagai berikut:



Menurut data yang diperoleh dari buku “*Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 14, ed 4<sup>th</sup>*” dari Kirk & Othmer, pada proses ini dihasilkan *yield* fenol terhadap toluena sebesar 88%. Meskipun konversi



dan *yield* memiliki pengertian yang berbeda, tetapi pada kondisi ini nilai konversi sama dengan nilai *yield* dikarenakan data yang diketahui adalah *yield* produk terhadap umpan, dan juga koefisien reaksi umpan dengan produk adalah 1:1 yang artinya mol produk yang terbentuk sama dengan mol umpan yang bereaksi.

Berdasarkan reaksi stoikiometri, maka dapat ditentukan mol dan massa dari masing-masing produk maupun reaktan.

$$\text{Konversi} = 88\%$$

$$\text{Basis} = 1 \text{ kg C}_6\text{H}_5\text{OH terbentuk}$$

**Produk :**

$$1) \quad \text{Mol C}_6\text{H}_5\text{OH} = \frac{1 \text{ kg}}{94,11 \text{ kg/kmol}} = \mathbf{0,0106 \text{ kmol}}$$

**Reaktan :**

$$1) \quad \text{Mol C}_7\text{H}_8 = \frac{\frac{1}{1} \times \text{mol fenol}}{\text{konversi}} = \frac{\frac{1}{1} \times 0,0106}{0,88} = \mathbf{0,0120 \text{ kmol}}$$

$$2) \quad \text{Massa C}_7\text{H}_8 = \text{mol} \times \text{BM} = 0,0121 \times 92,14 \\ = \mathbf{1,1057 \text{ kg}}$$

(Kirk & Othmer, 1996; Mc Ketta, 1987; Walas, 1988; Faith Keyes, 1970)

**Tabel 2.8.** Mol dan harga bahan baku dan produk proses Toluena-Asam Benzoat

Material	Rumus Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Massa		Harga (\$/kg)
			kmol	kg	
Toluena	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92,14	0,0120	1,1057	1,2000
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94,11	0,0106	1,0000	1,9840

1) Harga penjualan produk utama dan produk samping:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} = 1 \text{ kg} \times \$1,9840 = \$1,9840$$

$$\text{Total harga penjualan} = \$1,9840$$

2) Biaya pembelian bahan baku:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 = 1,1057 \text{ kg} \times \$1,2000 = \$1,3268$$

$$\text{Total harga pembelian} = \$1,3268$$

$$\begin{aligned} 3) \quad \text{Profit} &= \text{harga penjualan produk} - \text{biaya pembelian bahan baku} \\ &= \$1,9840 - \$1,3268 \\ &= \$0,6572/\text{kg fenol} \end{aligned}$$

### 2.2.3. Pembuatan Fenol dari Oksiklorinasi Benzen (Proses *Raschig*)

#### a. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan membandingkan nilai entalpi reaksi ( $\Delta H_r$ ) dan energi bebas Gibbs reaksi ( $\Delta G$ ). Nilai  $\Delta H_r$  menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi.  $\Delta H$  positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari  $\Delta H$  menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai  $\Delta H_r$ , digunakan hubungan antara panas reaksi dan suhu (Smith, Van Ness dan Abbott, 2001):

$$\Delta H_r = \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT$$

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT = (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2} T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3} T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0} \left( \frac{\tau - 1}{\tau} \right)$$

$$\text{dan } \tau \equiv \frac{T}{T_0}$$

Sedangkan untuk  $\Delta G$  digunakan persamaan berikut:

$$\Delta G = \Delta H_0 + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - T\Delta S_0 - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

$$\text{dengan } \Delta S_0 = \frac{\Delta H_0 - \Delta G_0}{T_0}$$

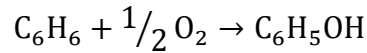
maka,

$$\Delta G = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

dimana:

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau+1}{2} \right) \right] (\tau - 1)$$

Reaksi yang terjadi adalah:



Data  $\Delta H_f^0$  standar untuk masing-masing senyawa diberikan pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9.** Data Entalpi Pembentukan Standar Masing-masing Senyawa

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta H_f^0$ 298,15 K (kJ/mol)
Benzena	$C_6H_6$	82,93
Oksigen	$O_2$	0,00
Fenol	$C_6H_5OH$	-96,36

Sumber : Yaws, Carl L.

Berdasarkan data  $\Delta H_f^0$  standar tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar ( $\Delta H_r^0$ ) pembentukan Fenol:

$$\Delta H_r^0 = \Delta H_f^0 \text{ produk} - \Delta H_f^0 \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_r^0 = \Delta H_f^0 C_6H_5OH - \left( \Delta H_f^0 C_6H_6 + \left( 1/2 \times \Delta H_f^0 O_2 \right) \right)$$

$$= (-96,36) - \left( 82,93 + \left( 1/2 \times 0,00 \right) \right)$$

$$= -179,29 \text{ kJ/mol}$$

**Tabel 2.10.** Data Konstanta Masing-masing Komponen

Komponen	A	B	C	D
$C_6H_6$	-31,662	1,3043	-0,003608	0,0000038243
$O_2$	29,526	-0,0089	0,000038	-0,0000000326
$C_6H_5OH$	38,622	1,0983	-0,002490	0,0000022802

Sumber : Yaws, Carl L.

$$\Delta A = \sum A_{\text{produk}} - \sum A_{\text{reaktan}}$$

$$= [38,622] - \left[ -31,662 + \left( 1/2 \times 29,526 \right) \right]$$

$$= 55,521$$

$$\begin{aligned}\Delta B &= \sum B_{\text{produk}} - \sum B_{\text{reaktan}} \\ &= [1,0983] - [1,3043 + (1/2 \times (-0,0089))] \\ &= -0,20155\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta C &= \sum C_{\text{produk}} - \sum C_{\text{reaktan}} \\ &= [-0,002490] - [-0,003608 + (1/2 \times 0,000038)] \\ &= 0,001099\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta D &= \sum D_{\text{produk}} - \sum D_{\text{reaktan}} \\ &= [0,0000022802] - [0,0000038243 + (1/2 \times (-0,0000000326))] \\ &= -0,0000015278\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^0}{R} dT &= (\Delta A)T_0(\tau - 1) + \frac{\Delta B}{2}T_0^2(\tau^2 - 1) + \frac{\Delta C}{3}T_0^3(\tau^3 - 1) + \frac{\Delta D}{T_0}\left(\frac{\tau-1}{\tau}\right) \\ &= \left((55,521)(298,15)\left(\frac{753,15}{298,15} - 1\right)\right) + \\ &\quad \left(\left(\frac{-0,20155}{2}\right)(298,15^2)\left(\left(\frac{753,15}{298,15}\right)^2 - 1\right)\right) + \\ &\quad \left(\left(\frac{0,001099}{3}\right)(298,15^3)\left(\left(\frac{753,15}{298,15}\right)^3 - 1\right)\right) + \\ &\quad \left(\left(\frac{-0,0000015278}{298,15}\right)\left(\frac{\frac{753,15}{298,15}-1}{\frac{753,15}{298,15}}\right)\right) \\ &= 123.850,4035\end{aligned}$$

Sehingga nilai  $\Delta H_r$  adalah:

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT \\ &= -179,29 + ((8,314 \times 10^{-3}) \times (123.850,4035)) \\ &= 850,4023 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Karena harga  $\Delta H_r$  bernilai positif, maka reaksi pembentukan Fenol tersebut bersifat endoterm.

**Tabel 2.11.** Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta G^0$ 298,15 K (kJ/mol)
Benzena	$C_6H_6$	129,66
Oksigen	$O_2$	0,00
Fenol	$C_6H_5OH$	-32,89

Sumber : Yaws, Carl L.

Berdasarkan data  $\Delta G^0$  di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar  $\Delta G^0$ :

$$\Delta G^0 = \Delta G^0 \text{ produk} - \Delta G^0 \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= \Delta G^0 C_6H_5OH - \left( \Delta G^0 C_6H_6 + \left( \frac{1}{2} \times \Delta G^0 O_2 \right) \right) \\ &= (-32,89) - \left( 129,66 + \left( \frac{1}{2} \times 0,00 \right) \right) \\ &= -162,55 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} &= \Delta A \ln \tau + \left[ \Delta B T_0 + \left( \Delta C T_0^2 + \frac{\Delta D}{\tau^2 T_0^2} \right) \left( \frac{\tau+1}{2} \right) \right] (\tau - 1) \\ &= \left( 55,521 \times \ln \frac{753,15}{298,15} \right) + \left[ (-0,20155 \times 298,15) + \left( \left( 0,001099 \times \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \left. (298,15^2) \right) + \left( \frac{-0,0000015278}{\left( \frac{753,15}{298,15} \right)^2 \times (298,15^2)} \right) \right) \times \left( \frac{753,15}{298,15} + 1 \right) \right] \times \left( \frac{753,15}{298,15} - 1 \right) \\ &= 222,5929 \end{aligned}$$

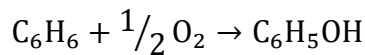
Sehingga nilai  $\Delta G$  adalah:

$$\begin{aligned}
\Delta G &= \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T} \\
&= (-179,29) - \left( \frac{7533,15}{298,15} \times (-179,29 - 222.5929) \right) + \left( (8,314 \times 10^{-3}) \times \right. \\
&\quad \left. (123.850,4035) \right) - \left( (8,314 \times 10^{-3}) \times (753,15) \times (222,5929) \right) \\
&= -501,1189 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

#### b. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensi ekonomi berdasarkan perhitungan ekonomi kasar dari pembelian bahan baku dan penjualan produk.

Reaksi yang terjadi pada proses klorobenzena adalah sebagai berikut:



Benzena      Oksigen      Fenol

Menurut data yang diperoleh dari buku “*Encyclopedia of Chemical Technology, Vol 14, ed 4<sup>th</sup>*” dari Kirk & Othmer, pada proses ini dihasilkan *yield* fenol terhadap benzena sebesar 90%. Meskipun konversi dan *yield* memiliki pengertian yang berbeda, tetapi pada kondisi ini nilai konversi sama dengan nilai *yield* dikarenakan data yang diketahui adalah *yield* produk terhadap umpan, dan juga koefisien reaksi umpan dengan produk adalah 1:1 yang artinya mol produk yang terbentuk sama dengan mol umpan yang bereaksi.

Berdasarkan reaksi stoikiometri, maka dapat ditentukan mol dan massa dari masing-masing produk maupun reaktan.

Konversi = 90%

Basis = 1 kg C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>OH terbentuk

**Produk :**

$$1) \quad \text{Mol } C_6H_5OH = \frac{1 \text{ kg}}{94,11 \text{ kg/kmol}} = \mathbf{0,0106 \text{ kmol}}$$

**Reaktan :**

$$1) \quad \text{Mol } C_6H_6 = \frac{\frac{1}{1} \times \text{mol fenol}}{\text{konversi}} = \frac{\frac{1}{1} \times 0,0106}{0,90} = \mathbf{0,0118 \text{ kmol}}$$

$$2) \quad \text{Massa } C_6H_6 = \text{mol} \times \text{BM} = 0,0118 \times 78,11 = \mathbf{0,9217 \text{ kg}}$$

(Kirk & Othmer, 1996; Mc Ketta, 1987; Walas, 1988; Faith Keyes, 1970)

**Tabel 2.12.** Mol dan harga bahan baku dan produk proses *Raschig*

Komponen	Rumus Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Massa		Harga (\$/kg)
			kmol	kg	
Benzena	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,11	0,0118	0,9217	1,3500
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	94,11	0,0106	1,0000	1,9840

- 1) Harga penjualan produk utama dan produk samping:  
 $C_6H_5OH = 1 \text{ kg} \times \$1,9840 = \$1,9840$   
 Total harga penjualan = \$1,9840
- 2) Biaya pembelian bahan baku:  
 $C_6H_6 = 0,9217 \text{ kg} \times \$1,3500 = \$1,2443$   
 Total harga pembelian = \$1,2443
- 3) Profit = harga penjualan produk – biaya pembelian bahan baku  
 $= \$1,9840 - \$1,2443$   
 $= \$0,7397/\text{kg fenol}$

**Tabel 2.13.** Perbandingan Proses

No.	Kondisi	Dekomposisi <i>Cumene Hydroperoxide</i>	Oksidasi Toluena-Asam Benzoat	Oksiklorinasi Benzen ( <i>Raschig</i> )
1	Temperatur Reaktor (°C)	78	Reaktor 1 = 121 - 177 Reaktor 2 = 234 Reaktor 3 = 200	Reaktor 1 = 200 - 260 Reaktor 2 : 480
2	Tekanan (Atm)	1	Reaktor 1 = 2 Reaktor 2 = 1,5 Reaktor 3 = 1	Reaktor 1 = 1 Reaktor 2 = 1
3	Jenis Reaksi	Eksotermis	Eksotermis	Endotermis

4	Jumlah Reaktor	1	3	2
5	<i>Yield</i> Proses	98%	88%	90%
6	Konversi	98%	10% - 68%	10% - 15%
			-	90%
			88%	
7	Katalis	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<i>Cobalt Benzoic</i>	FeCl <sub>3</sub> /CuCl <sub>2</sub>
8	$\Delta H_r$	-200,9371 kJ/mol	-753,1947 kJ/mol	850,4023 kJ/mol
9	$\Delta G$	-293,2153 kJ/mol	-772,6978 kJ/mol	-501,1189 kJ/mol
10	Profit penjualan 1 kg produk	\$ 1,1409	\$ 0,6572	\$ 0,7397

Oleh karena itu, berdasarkan Tabel 2.13 dan membandingkan tiga metode produksi fenol, yaitu metode Dekomposisi *Cumene Hydroperoxide*, Oksidasi Toluena-Asam Benzoat, dan metode Oksiklorinasi Benzen (*Raschig*), penulis memilih untuk menggunakan metode Dekomposisi *Cumene Hydroperoxide* dalam Prarancangan Pabrik Fenol dikarenakan:

1. Memiliki profit penjualan yang lebih besar dibanding proses yang lain karena terdapat produk samping berupa aseton.
2. Tidak membutuhkan temperatur dan tekanan tinggi, hanya menggunakan temperatur reaksi 78,06 °C dan tekanan operasi 1 atm.
3. Jumlah reaktor yang dibutuhkan hanya 1 unit.
4. *Yield* proses yang diperoleh adalah 98%, lebih besar dibandingkan dengan proses yang lain.

### 2.3. Uraian Proses *Cumene Hydroperoxide*

Produksi fenol meliputi dua tahap, yaitu proses Dekomposisi *Cumene Hydroperoxide*, dan Pemurnian.

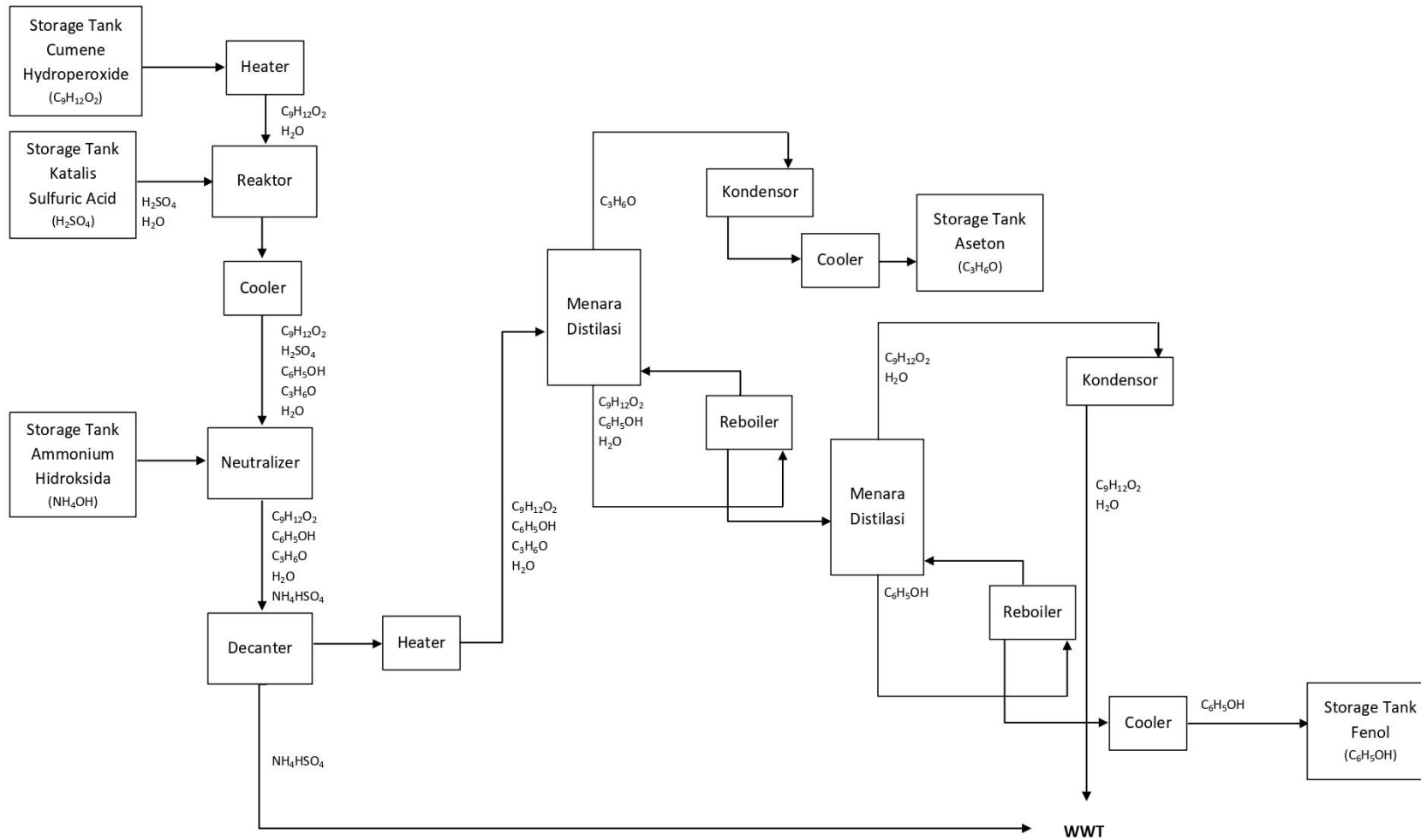
#### 2.3.1. Dekomposisi *Cumene Hydroperoxide*



Pada proses ini, larutan *Cumene Hydroperoxide* dari *Storage Tank* (ST-101) masuk ke Reaktor (RE-201) melalui *Heater* (HE-101) dan dipanaskan sampai kondisi operasi reaktor. Kemudian ditambahkan larutan  $H_2SO_4$  (98%) dari *Storage Tank* (ST-102) sebagai katalis untuk mempercepat dekomposisi *Cumene Hydroperoxide* menjadi Fenol dan Aseton. Reaksi dilakukan pada suhu optimal  $78,06\text{ }^{\circ}C$  dan tekanan 1 atmosfer, dengan *yield* 98%. Reaksi dekomposisi ini terjadi dalam fase cair-cair, *irreversible* dan eksotermis.

### 2.3.2. Pemurnian Produk

Keluaran Reaktor (RE-201) masuk ke *Neutralizer* (NE-201) melalui *Cooler* (CO-201), untuk diturunkan suhunya menjadi  $32,22\text{ }^{\circ}C$ . Kemudian, dalam *Neutralizer* (NE-201), senyawa  $H_2SO_4$  dinetralkan menjadi  $NH_4HSO_4$  dan  $H_2O$  dengan menambahkan  $NH_4OH$ . Reaksi terjadi pada suhu  $32,22\text{ }^{\circ}C$ . Keluaran dari *Neutralizer* (NE-201) kemudian masuk ke dalam *Decanter* (DC-301) untuk memisahkan  $NH_4HSO_4$  dan  $H_2O$  dari Fenol, Aseton, dan *Cumene Hydroperoxide*. Keluaran dari *Decanter* (DC-301) masuk ke Menara Distilasi (MD-301) melalui *Heater* (HE-301), sehingga suhu umpan sesuai dengan kondisi operasi umpan ke Menara Distilasi (MD-301). Kemudian di Menara Distilasi (MD-301), Aseton dipisahkan dari *Cumene Hydroperoxide*, Air dan Fenol. Hasil atas keluaran berupa uap aseton masuk ke *Condensor* (CD-301) untuk merubah fasa menjadi cair. Output bawah Menara Distilasi (MD-301) adalah *Cumene Hydroperoxide*, Air dan Fenol. Kemudian dialirkan ke Menara Distilasi (MD-302) untuk memisahkan Fenol dari *Cumene Hydroperoxide* dan Air. Hasil atas keluaran berupa uap *Cumene Hydroperoxide* dan air masuk ke *Condensor* (CD-302) untuk mengubah fasa menjadi cair. Keluaran fenol dari bagian bawah Menara Distilasi (MD-302) masuk ke Reboiler (RB-302) untuk mendapatkan produk fenol dengan kemurnian 99,99%.



Gambar 2.1. Diagram Alir Proses

## BAB III

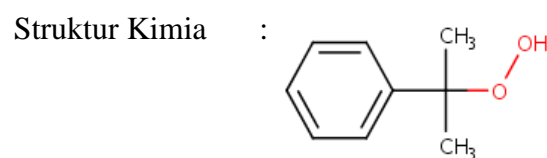
### SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

#### 3.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama

##### 1. *Cumene Hydroperoxide (CHP)*

Nama Lain : *Isopropyl Benzene Hydroperoxide, Cumyl Hydroperoxide, alpha-Dimethylbenzyl Hydroperoxide, Cumenyl Hydroperoxide*

Rumus Molekul :  $C_9H_{12}O_2$



Berat Molekul : 152,2 g/mol

Bentuk : Cairan Bening



Kemurnian : 95% volume

Impurities

Air : 5% volume

Titik Didih : 153 °C

Titik Beku : -96,9 °C

Densitas : 0,862 kg/m<sup>3</sup> (pada suhu 20 °C)

Viskositas : 0,319 cP (pada suhu 20 °C)

MSDS : 

*Hazard Statement* : H 226 : Cairan dan uap mudah menyala.

H 331 : Toksik jika terhirup.

H 335 : Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan.

H 441 : Toksik pada kehidupan perairan dengan efek jangka panjang.

*Precautionary* : P 210 : Jauhkan dari panas/percikan api/api terbuka. Dilarang merokok.

P 273 : Hindarkan pelepasan ke lingkungan.

P 280 : Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/pelindung wajah.

P 301 + P 330 + P 331

JIKA TERTELAN : Basuh mulut.

JANGAN merangsang muntah.

P 302 + P 352

JIKA TERKENA KULIT : Cuci dengan banyak sabun dan air.

P 304 + P 340

JIKA TERHIRUP : Pindahkan korban ke tempat berudara segar dan jaga tetap relaks pada posisi yang nyaman untuk bernafas.

P 305 + P 351 + P 338

JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan

seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya. Lanjutkan membilas.

P 308 + P 310

Jika terpapar atau dikuatirkan : Segera hubungi SENTRA INFORMASI KERACUNAN atau dokter/tenaga medis.

(Sumber : *Perry's Chemical Engineers's Handbook, 1999*; *Kirk Othmer, 1969*; dan MSDS)

### 3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang

#### 1. Air

Nama Lain : *Water, Dihydrogen Oxide*

Rumus Molekul : H<sub>2</sub>O

Berat Molekul : 18,01 g/mol

Bentuk Fisik : Cair tidak berwarna

Titik Didih : 100 °C

Temperatur Kritik : 374,2 °C

Tekanan Kritik : 218 atm

Densitas : 1000 kg/m<sup>3</sup>

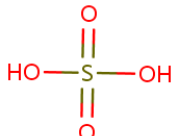
(Sumber : *Perry's Chemical Engineers's Handbook, 1999*)

#### 2. *Sulfuric Acid*

Nama Lain : Asam Sulfat, *Oil of Vitriol; Dihydrogen Sulfate*

Rumus Molekul : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Struktur Kimia :



The diagram shows the chemical structure of sulfuric acid. A central sulfur atom (S) is double-bonded to two oxygen atoms (O) above and below it. It is also single-bonded to two hydroxyl groups (OH) on the left and right sides.

Berat Molekul : 98,08 g/mol

Bentuk : Cairan Bening



Kemurnian : 98% volume

Impurities

Air : 2% volume

Densitas : 1,8144 g/cm<sup>3</sup>

Titik Lebur : 10,49 °C (pada tekanan 1 atm)

Titik Didih : 340 °C (pada tekanan 1 atm)

*Specific Gravity* : 1,824 (pada 60 °F)

MSDS :



*Hazard Statement* : H 290 : Dapat korosif terhadap logam.

H 314 : Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata.

H 335 : Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan.

*Precautionary* : P 280 : Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/pelindung wajah.

P 301 + P 330 + P 331

JIKA TERTELAN : Basuh mulut.

JANGAN merangsang muntah.

P 305 + P 351 + P 338

JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya. Lanjutkan membilas.

P 308 + P 310

Jika terpapar atau dikuatirkan : Segera hubungi SENTRA INFORMASI KERACUNAN atau dokter/tenaga medis.

(Sumber : *Perry's Chemical Engineers's Handbook, 1999 & Kirk Othmer, 1969 & MSDS*).

### 3. Amonium Hidroksida

Nama Lain : *Ammonium Hydroxide, Ammonia Water, Aqueous Ammonia, Ammonical Liquor*

Rumus Molekul :  $\text{NH}_4\text{OH}$

Struktur Kimia :  $\left[ \begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array} \right]^+$

Berat Molekul : 35,05 g/mol

Kemurnian : 25%

Bentuk : Cairan Bening



Densitas :  $0,90 \text{ g/cm}^3$  (pada suhu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Titik Lebur :  $-58 \text{ }^\circ\text{C}$  (pada tekanan 1 atm)

Titik Didih : 38 °C (pada tekanan 1 atm)

pH : 11,6 (1,0 N *Solution*)

Kelarutan : Larut dalam air

MSDS : 

*Hazard* : H 290 : Dapat korosif terhadap logam.

H 314 : Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata.

H 335 : Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan.

H 400 : Sangat toksik pada kehidupan perairan.

*Precautionary* : P 273 : Hindarkan pelepasan ke lingkungan.

P 280 : Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/wajah.

P 301 + P 330 + P 331

JIKA TERTELAN : Basuh mulut.

JANGAN merangsang muntah.

P 305 + P 351 + P 338

JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya. Lanjutkan membilas.

P 308 + P 310

Jika terpapar atau dikuatirkan : Segera hubungi SENTRA INFORMASI KERACUNAN atau dokter/tenaga medis.

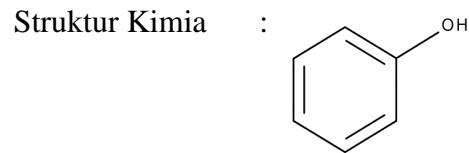


### 3.3. Spesifikasi Produk Utama

#### 1. Fenol

Nama Lain : *Phenol, Hydroxybenzene, Benzenol, Phenyl Alcohol, Phenylic Acid, Carbohic Acid*

Rumus Molekul :  $C_6H_5OH$



Berat Molekul : 94,11 g/mol

Bentuk : Cairan bening kekuningan



Kemurnian : Minimum 99,9%

*Impurities*

CHP : Maksimum 0,1 % berat

Densitas : 1,071 g/cm<sup>3</sup> (pada suhu 50 °C)

Titik Didih : 182 °C

Titik Leleh : 40,5 °C

Kelarutan dala air : 0,87 g/L H<sub>2</sub>O

Viskositas : 3,49 [pada 50 °C (cP)]

2,03 [pada 70 °C (cP)]

1,26 [pada 90 °C (cP)]

*Specific Heat* : 1,24 (solid) pada 4 °C

1,41 (solid) pada 227 °C

2,22 (liquid) pada 227 °C

MSDS :



*Hazard Statement* : H 301 + H 311 + H 331

Toksik bila tertelan, terkena kulit atau bila terhirup.

H 314 : Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata.

H 341 : Diduga menyebabkan kerusakan genetik.

H 373 : Dapat menyebabkan kerusakan pada organ melalui perpanjangan atau paparan berulang.

*Precautionary* : P 280 : Pakai sarung tangan pelindung/pakaian pelindung/pelindung mata/wajah.

P 301 + P 330 + P 331

JIKA TERTELAN : Basuh mulut.

JANGAN merangsang muntah.

P 302 + P 352

JIKA TERKENA KULIT : Cuci dengan banyak sabun dan air.

P 304 + P 340

JIKA TERHIRUP : Pindahkan korban ke tempat berudara segar dan jaga tetap relaks pada posisi yang nyaman untuk bernafas.

P 305 + P 351 + P 338

JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan seksama dengan air untuk beberapa menit. Lepaskan lensa kontak jika memakainya dan mudah melakukannya. Lanjutkan membilas.

P 308 + P 310

Jika terpapar atau dikuatirkan : Segera hubungi SENTRA INFORMASI KERACUNAN atau dokter/tenaga medis.

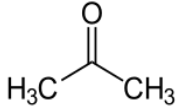
(Sumber : Kick and Othmer, 1969 & MSDS)

### 3.4. Spesifikasi Produk Samping

#### 1. Aseton

Nama Lain : Propanon, Dimetil Keton, Dimetilformaldehida

Rumus Molekul :  $C_3H_6O$

Struktur Kimia : 

Berat Molekul : 58,08 g/mol

Bentuk : Cairan Bening



Kemurnian : Minimum 99,9 % berat

#### *Impurities*

Air : Maksimum 0,1 % berat

Titik Didih : 56 °C

Titik Leleh : -94,6 °C

Densitas : 790 kg/m<sup>3</sup>

MSDS : 

*Hazard Statement* : H 225 : Cairan dan uap amat mudah menyala.

H 319 : Menyebabkan iritasi mata yang serius.

H 336 : Dapat menyebabkan mengantuk dan pusing.

EUH 006 : Pendedahan berulang-kali dapat  
menyebabkan kulit kering/ pecah-  
pecah.

*Precautionary* : P 210 : Jauhkan dari panas/percikan/api  
terbuka/permukaan yang panas. Dilarang  
merokok.

P 240 : Tanam/Bond wadah dan peralatan  
penerima.

P 305 + P 351 + P 338

JIKA TERKENA MATA : Bilas dengan  
seksama dengan air untuk beberapa  
menit. Lepaskan lensa kontak jika  
memakainya dan mudah melakukannya.  
Lanjutkan membilas.

P 403 + P 233

Simpan di tempat berventilasi baik. Jaga  
wadah tertutup kedap/rapat.

(Sumber : Kick and Othmer, 1969 dan MSDS)

## **BAB X**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1. Simpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Fenol dari *Cumene Hydroperoxide* dengan Katalis *Sulfuric Acid* Kapasitas 20.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak adalah 21,21%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak adalah 2,85 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 48,71% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30 – 60% kapasitas produksi. *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20,50%, yakni batasan kapasitas produksi 20 – 30% sehingga pabrik masih dapat berproduksi karena mendapat keuntungan.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 21,72%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

#### **10.2. Saran**

Prarancangan Pabrik Fenol dari *Cumene Hydroperoxide* dengan Katalis *Sulfuric Acid* Kapasitas 20.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut lagi baik dari segi proses maupun ekonominya sebelum pabrik didirikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2023. Peta Provinsi Banten. <https://www.google.co.id/maps,2016>.  
Diakses pada 11 Oktober 2023.
- Anonim. 2023. Data Hidrologi, DAS Aliran Sungai Cidanau dan Ciujung.  
<https://www.dsdap.bantenprov.go.id>. Diakses pada 11 Oktober 2023.
- Bachus, L and Custodio, A. 2003. *Know and Understand Centrifugal Pumps*.  
Bachus Company, Inc. Oxford: UK.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill : New York.
- Bank Indonesia. 2022. *Nilai Kurs*. [www.bi.go.id](http://www.bi.go.id). Diakses 27 Oktober 2023
- Brown. G. George., 1950, *Unit Operation 6<sup>ed</sup>*, Wiley&Sons, USA.
- Brownell. L. E. and Young. E. H., 1959, *Process Equipment Design 3<sup>ed</sup>*, John Wiley & Sons, New York.
- Coulson. J. M. and Ricardson. J. F., 1983, *Chemical Engineering vol 6*, Pergamon Press Inc, New York.
- Coulson J.M., and J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering 4<sup>th</sup> edition*.  
Butterworth-Heinemann : Washington.

Duh, Y.S., Hsu, C.C., Kao, C.S. and Yu, S.W., 1996, *Applications of reaction calorimetry in reaction kinetics and assessment of thermal hazards*, *Thermochim Acta*, 285: 67±79.

Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering 4<sup>th</sup> edition*. Prentice Hall International Inc. : United States of America.

Geankoplis. Christie. J., 1993, *Transport Processes and unit Operation 3<sup>th</sup> ed*, Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Google Map. 2023. Area Sungai Cidanau – Banten. Diakses pada 11 Oktober 2023.

Himmeblau. David., 1996, *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, Prentice Hall Inc, New Jersey.

Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. New York: Elsevier Science Publishing Company INC.

Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mcgraw-Hill Co.: New York.

Kirk, R.E and Othmer, D.F., 2006, “Encyclopedia of Chemical Technologi”, 4<sup>nd</sup> ed., vol. 17., John Wiley and Sons Inc., New York.

Levenspiel. O., 1972, *Chemical Reaction Engineering 2<sup>nd</sup> edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.

McCabe. W. L. and Smith. J. C., 1985, *Operasi Teknik Kimia*, Erlangga, Jakarta.

Megyesy. E. F., 1983, *Pressure Vessel Handbook*, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.

Metcalf and Eddy, 1991, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw-Hill Book Company, New York.

MSDS Cumene Hydroperoxide.Science Lab.com, Diakses pada 21 September 2021

MSDS Phenol.Science Lab.com, Diakses pada 1 Agustus 2023

MSDS Acetone.Science Lab.com, Diakses pada 1 Agustus 2023

MSDS Amonium Bisulfate.Science Lab.com, Diakses pada 1 Agustus 2023

Perry, Robert H., and Don W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill : New York.

Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill : New York.

Peter. M. S. and Timmerhause. K. D., 1991, *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3<sup>ed</sup>*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Powell, S. T., 1954, "Water Conditioning for Industry", McGraw Hill Book Company, New York.

Rase.1977.*Chemical Reactor Design for Process Plant, Vol. 1<sup>st</sup>, Principles and Techniques*.John Wiley and Sons : New York

Smith. J. M. and Van Ness. H. C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 3<sup>ed</sup>*, McGraw-Hill Inc, New York.



Smith, J.M., H.C. Van Ness, and M.M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> edition*. McGraw Hill : New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3<sup>th</sup> edition*. McGraww-Hill Book Company: New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5<sup>th</sup> edition*. McGraw-Hill : New York.

Treyball. R. E., 1983, *Mass Transfer Operation 3<sup>ed</sup>*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Ulrich. G. D., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.

US Patent Office, No. 4.870.217 “ *Method Production of Phenol/Acetone from Cumene Hydorperoxide*”

Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann : Washington.

Wallas. S. M., 1988, *Chemical Process Equipment*, Butterworth Publishers, Stoneham USA.

Wang, L, K.2008. *Gravity Thickener, Handbook of Enviromental Engineering, Vol. 6<sup>th</sup>*. The Humana Press Inc. : New Jersey

Waryono. 2014. *DAS Cidanau*. <https://staff.blog.ui.ac.id/tarsoen.waryono>, diakses pada 20 Agustus 2016

Wilson, E. T. 2005. *Clarifier Design*. Mc Graw Hill Book Company : London

Yaws, C. L., 1999, *Chemical Properties Handbook*, Mc Graw Hill Book Co., New York

[www.indoacid.com/asam\\_sulfat.htm](http://www.indoacid.com/asam_sulfat.htm), Diakses pada 11 Oktober 2023.

[www.daftarperusahaanindonesia.com](http://www.daftarperusahaanindonesia.com), Diakses pada 21 Juli 2023.

[www.insoclay.com/ammonium\\_hidroksida.htm](http://www.insoclay.com/ammonium_hidroksida.htm), Diakses pada 11 Oktober 2023.

[www.water.me.vccs.edu](http://www.water.me.vccs.edu). Diakses pada 25 September 2023.