

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

(Skripsi)

Oleh:

DESRA NURSAPUTRI

1915041052



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI *CUMENE HYDROPEROXIDE* DENGAN KATALIS *SULFURIC ACID* KAPASITAS 20.000 TON/TAHUN Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi - 302 (MD-302)

Oleh

DESRA NURSAPUTRI

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 proses dekomposisi *Cumene Hydroperoxide*, proses dari Toluena-Asam Benzoat, dan proses *Raschig*. Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, system pengolahan limbah, 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) _b	= 2,42 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,85 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 26,51%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 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 SULPHIC ACID CATALYST CAPACITY 20,000 TON/YEAR Design of Distillation Column - 302 (MD-302)

By

DESRA NURSAPUTRI

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 Cumene Hydroperoxide decomposition process, Toluene-Benzoic Acid process, and Raschig process. Provision of factory utility needs in the form of water treatment and supply systems, waste treatment 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) _b	= 2,42 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a	= 2,85 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b	= 26,51%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a	= 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 Menara Distilasi (MD - 302))**

Oleh
DESRA NURSAPUTRI
1915041052

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

2024

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI CUMENE HYDROPEROXIDE DENGAN KATALIS SULFURIC ACID KAPASITAS PRODUKSI 20.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi (MD-302))**

Nama Mahasiswa : **Desra Nursaputri**

No. Pokok Mahasiswa : 1915041052

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



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

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

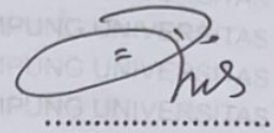
2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

Yuli Dami, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

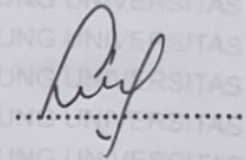
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

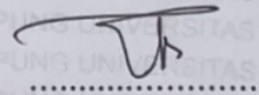
Ketua : Dr. Herti Utami, S.T., M.T.



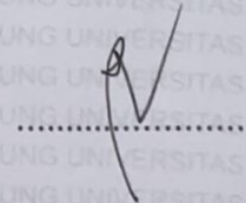
Sekretaris : Lia Lismeri, S.T., M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.**



: Panca Nugrahini F., S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

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

NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 Februari 2024

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, 19 Februari 2024



Desra Nursaputri
NPM. 1915041052

RIWAYAT HIDUP



Desra Nursaputri, penulis dilahirkan di Jakarta, pada tanggal 3 Desember 2001, sebagai putri bungsu dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Hari Rahman Johan dan Ibu Andriyani. Penulis menyelesaikan pendidikan di Taman Kanak – Kanak At-Taqwa pada tahun 2009, Sekolah Dasar di SD Negeri Beji 7 diselesaikan pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Depok diselesaikan pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 6 Depok diselesaikan pada tahun 2019.

Pada tahun 2019, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) tahun 2019. Pada tahun 2022, penulis melakukan Kerja Praktek di PT Madubaru PG Madukismo dengan Tugas Khusus “Evaluasi Kinerja Gilingan pada Stasiun Gilingan PG Madukismo”. Selain itu, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pembuatan Pupuk Organik Granul (POG) dari Kompos Berbahan Baku *Sludge* Luaran Digester Biogas – Kulit Kopi dengan Perekat *Sludge* IPAL Industri Karet” di Biogas *Square*, Desa Kediri, Kabupaten Pringsewu Provinsi Lampung dan di Laboratorium Teknik Reaksi dan Separasi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan antara lain sebagai Staff Departemen Media Informasi HIMATEMIA FT UNILA periode 2020 dan menjadi Sekretaris Departemen Edukasi HIMATEMIA FT UNILA periode 2021.

Motto dan Persembahan

Whatever you are, Be the good one!

Terbentur, terbentur, terbentuk.

“ Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuatu kesanggupannya...”

(QS. AL-Baqarah; 286)

“Jika Allah menghendaki, cukup Ku berkata ‘Jadi’, maka jadilah.”

(QS. Yasin; 82)

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.*

Ayah, Ibu, dan Seluruh Keluargaku

*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.*

Guru-guruku

*sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan*

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 serta waktu bersama 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.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas karunia-Nya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Keluarga tercinta, Ayah dan Ibu, atas pengorbanan, doa, cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi disetiap langkahku. Ndo Ijal, Mba Dini dan keluargaku lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu atas kasih sayang, doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan, bantuan dan semangat.
3. Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan selaku Dosen Pembimbing Akademik.
4. Lia Lismeri, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan ilmu, saran dan masukan dalam penyelesaian tugas akhir.

5. Dr. Herti Utami, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I, yang telah memberikan pengarahan, bantuan, masukan, bimbingan, kritik dan saran selama penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna dikemudian hari.
6. Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran dan kritik, juga selaku dosen atas semua ilmu yang telah penulis dapatkan.
7. Panca Nugrahini F., S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritik, juga selaku dosen atas semua ilmu yang telah penulis dapatkan.
8. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
9. *Partner* Tugas Akhir, Muhammad Niki Wijaya yang telah berjuang dengan keras dan semangat untuk bekerja bersama dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Terimakasih telah menjadi *partner* yang baik dan siap sedia selama 6 bulan ini yang penuh suka dan duka. Terimakasih untuk waktu segala yang sudah dikorbankan. Semoga apa yang kita kerjakan dapat bermanfaat bagi kita dan juga orang lain. Sukses selalu dimanapun berada.
10. Iqbal Tri Adhi Wicaksana yang selalu ada memberikan semangat, dukungan dan bantuan penuh selama penyelesaian tugas akhir ini dan juga selalu memberikan keceriaan di saat penat mengerjakan tugas akhir.

Terimakasih sudah mau direpotkan untuk berdiskusi terkait pengerjaan tugas akhir ini.

11. BFC (Yobel, Khansa, Faleh, Niki, Fadhil, Ikhsan) yang selalu memberi motivasi, semangat dan kasih sayang kepada penulis. Semoga kalian sukses dimanapun berada.
12. Teman – teman SMP yang masih akrab berhubungan Mulyo, Sekar, Ncun, Nabilla, Angela, Ninit, dan teman – teman SMA Rizka dan Devi yang telah memberi semangat dan menghibur penulis selama penyelesaian tugas akhir ini.
13. Teman-teman seperjuangan 2019 di Teknik Kimia yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terimakasih atas bantuannya selama penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
14. Kakak – kakak tingkat dan adik – adik tingkat di Teknik Kimia yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.
15. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Semoga Allah membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 19 Februari 2024
Penulis

Desra Nursaputri
1915041052

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
ABSTRAK	ii
INSIDE COVER	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR GAMBAR	xxv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kegunaan Produk	2
1.3. Ketersediaan Bahan Baku	3
1.4. Kapasitas Rancangan	3
1.5. Lokasi Pabrik	8
BAB II DESKRIPSI PROSES	
2.1. Jenis-jenis Proses Pembuatan Fenol	11
2.2. Pemilihan Proses	14

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
2.3. Uraian Proses <i>Cumyl Hydroperoxide</i>	33
2.3.1. Dekomposisi <i>Cumene Hidroperoxide</i>	33
2.3.2. Pemurnian Produk	33
 BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK	
3.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama	36
3.2. Spesifikasi Bahan Baku Penunjang	38
3.3. Spesifikasi Produk Utama	42
3.4. Spesifikasi Produk Samping	44
 BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa	47
4.2. Neraca Panas	50
 BAB V SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS	
5.1. Peralatan Proses	54
5.2. Peralatan Utilitas	71
 BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	
6.1. Unit Pendukung Proses	97
6.2. Unit Penyediaan Air	97
6.3. Unit Penyediaan <i>Steam</i>	109
6.4. Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	109
6.5. Sistem Penyediaan Bahan Bakar	110
6.6. Unit Penyediaan Udara Tekan	110

6.7. Pengolahan Limbah	110
6.8. Laboratorium	113
6.9. Instrumentasi dan Pengendalian Proses	116

BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK

7.1. Lokasi Pabrik	118
7.1.1. Bahan Baku	118
7.1.2. Tenaga Kerja	119
7.1.3. Utilitas	119
7.1.4. Pemasaran	119
7.1.5. Transportasi	120
7.1.6. Keadaan Iklim dan Tanah	120
7.1.7. Perizinan	120
7.2. Tata Letak Pabrik	120
7.2.1. Area Proses	121
7.2.2. Area Penyimpanan	121
7.2.3. Area Laboratorium	122
7.2.4. Area Utilitas	122
7.2.5. Area Perkantoran	122
7.2.6. Area Fasilitas Umum	122
7.2.7. Area Pengembangan	122
7.2.8. Pos Keamanan	122
7.3. Estimasi Area Pabrik	123

BAB VIII MANAGEMEN DAN ORGANISASI

8.1. Bentuk Perusahaan	126
-------------------------------------	------------

8.1.1. Perusahaan Perseorangan	126
8.1.2. Perusahaan Firma	126
8.1.3. Perusahaan Komanditer	127
8.1.4. Perseroan Terbatas (PT)	127
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan	128
8.3. Tugas dan Wewenang	131
8.3.1. Pemegang Saham	131
8.3.2. Board of Commissioners	131
8.3.3. Presiden Director	131
8.3.4. Kepala Bagian	133
8.3.5. Kepala Seksi	133
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	134
8.4.1. Status Karyawan	134
8.4.2. Penggolongan Gaji	134
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan	135
8.5.1. Karyawan <i>Reguler</i>	135
8.5.2. Karyawan <i>Shift</i>	135
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karywan	136
8.6.1. Penggolongan Jabatan	136
8.6.2. Perincian Jumlah Karyawan	137
8.7. Kesejahteraan Karyawan	139
8.7.1. Gaji Pokok	139
8.7.2. Tunjangan	139
8.7.3. Kesehatan dan Keselamatan Kerja	140

BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI

9.1. Investasi	143
9.1.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	143
9.1.2. <i>Working Capital Investment</i> (Modal Kerja)	144
9.1.3. <i>Total Production Cost</i> (TPC)	144
9.2. Evaluasi Ekonomi	147
9.2.1. <i>Return On Investment</i> (ROI)	147
9.2.2. <i>Pay Out Time</i> (POT)	148
9.2.3. <i>Break Even Point</i> (BEP)	148
9.2.4. <i>Shut Down Point</i> (SDP)	149
9.4. Angsuran Pinjaman	149
9.5. Discounted Cash Flow (DCF)	150

BAB X SIMPULAN DAN SARAN

10.1. Simpulan	151
10.2. Saran	151

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	32
4.1. Neraca Massa Reaktor (RE-201).....	47
4.2. Neraca Massa <i>Neutralizer</i> (NE-201)	47
4.3. Neraca Massa <i>Decanter</i> (DC-301).....	48
4.4. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-301).....	48
4.5. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-301).....	48
4.6. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-301).....	49
4.7. Neraca Massa Menara Distilasi (MD-302).....	49
4.8. Neraca Massa <i>Condensor</i> (CD-302).....	49
4.9. Neraca Massa <i>Reboiler</i> (RB-302).....	50
4.10. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-101)	50

4.11. Neraca Panas Reaktor (RE-201).....	50
4.12. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-201).....	51
4.13. Neraca Panas Neutralizer (NE-201).....	51
4.14. Neraca Panas <i>Decanter</i> (DC-301).....	51
4.15. Neraca Panas <i>Heater</i> (HE-301).....	52
4.16. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-301).....	52
4.17. Neraca Panas Menara Distilasi (MD-302).....	52
4.18. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-301).....	53
4.19. Neraca Panas <i>Cooler</i> (CO-302).....	53
5.1. Spesifikasi Tangki $C_9H_{12}O_2$ (ST-101).....	54
5.2. Spesifikasi Tangki H_2SO_4 (ST-102).....	55
5.3. Spesifikasi Tangki NH_4OH (ST-103).....	55
5.4. Spesifikasi Tangki C_6H_5OH (ST-301).....	56
5.5. Spesifikasi Tangki C_3H_6O (ST-302).....	56
5.6. Spesifikasi Reaktor (RE-201).....	57
5.7. Spesifikasi Netralizer (NE-201).....	58
5.8. Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-301).....	58
5.9. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-301).....	59
5.10. Spesifikasi Menara Distilasi (MD-302).....	59
5.11. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-301).....	60
5.12. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-302).....	61
5.13. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-301).....	61
5.14. Spesifikasi <i>Reboiler</i> (RB-302).....	62
5.15. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-101).....	62
5.16. Spesifikasi <i>Heater</i> (HE-301).....	63
5.17. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201).....	63
5.18. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301).....	64
5.19. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-302).....	65
5.20. Spesifikasi Pompa Proses (PP-101).....	65
5.21. Spesifikasi Pompa Proses (PP-102).....	66
5.22. Spesifikasi Pompa Proses (PP-201).....	66
5.23. Spesifikasi Pompa Proses (PP-202).....	67

5.24. Spesifikasi Pompa Proses (PP-203).....	67
5.25. Spesifikasi Pompa Proses (PP-301).....	68
5.26. Spesifikasi Pompa Proses (PP-302).....	69
5.27. Spesifikasi Pompa Proses (PP-303).....	69
5.28. Spesifikasi Pompa Proses (PP-304).....	70
5.29. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401).....	71
5.30. Spesifikasi Tangki Alum (ST-401).....	71
5.31. Spesifikasi Tangki Kaporit (ST-402).....	72
5.32. Spesifikasi Tangki Soda Kaustik (ST-403)	72
5.33. Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CF-401).....	73
5.34. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401)	73
5.35. Spesifikasi Tangki Air Filter (ST-404).....	74
5.36. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-401)	74
5.37. Spesifikasi Tangki Asam Sulfat (ST-405).....	75
5.38. Spesifikasi Tangki Dispersan (ST-406).....	75
5.39. Spesifikasi Tangki Inhibitor (ST-407).....	76
5.40. Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-401)	77
5.41. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-401)	77
5.42. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401)	78
5.43. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401)	78
5.44. Spesifikasi <i>Demin Water Tank</i> (ST-408).....	79
5.45. Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DE-401).....	79
5.46. Spesifikasi Tangki Hidrazin (ST-409).....	80
5.47. Spesifikasi <i>Boiler</i> (B-401)	81
5.48. Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-410).....	81
5.49. Spesifikasi <i>Blower Steam</i> (BS-401).....	82
5.50. Spesifikasi Generator Listrik (GS-401)	82
5.51. Spesifikasi <i>Air Compressor</i> (AC-401)	82
5.52. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401).....	83
5.53. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402).....	83
5.54. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403).....	84
5.55. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404).....	84

5.56. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405).....	85
5.57. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406).....	85
5.58. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407).....	86
5.59. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408).....	86
5.60. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409).....	87
5.61. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410).....	87
5.62. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411).....	88
5.63. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412).....	88
5.64. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413).....	89
5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414).....	89
5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415).....	90
5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-416).....	90
5.68. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-417).....	91
5.69. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-418).....	91
5.70. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-419).....	92
5.71. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-420).....	92
5.72. Spesifikasi Tangki Na ₂ CO ₃ (ST-501).....	93
5.73. Spesifikasi Bak Penampung (BU-501).....	93
5.74. Spesifikasi Bak Pengendapan Awal (BU-502).....	94
5.75. Spesifikasi Bak Netralisasi (BN-501).....	94
5.76. Spesifikasi Bak Aerasi (BA-501)	95
5.77. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-501).....	95
5.78. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-501).....	96
6.1. Kebutuhan Air Pendingin	99
6.2. Kebutuhan Air Umpan Boiler.....	102
6.3. Kebutuhan Air Pabrik	104
6.4. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian.....	117
6.5. Pengendalian Variabel Utama Proses	117
7.1. Perincian luas area Pabrik Fenol.....	123
8.1. Jadwal Kerja Masing-masing Regu	136
8.2. Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat.....	137
8.3. Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	138

9.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	144
9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	145
9.3. <i>General Expenses</i>	146
9.4. Biaya Administrasi	146
9.5. <i>Minimum Acceptable Percent Return on Investment</i>	148
9.6. <i>Acceptable Payout Time</i> untuk Tingkat Resiko Pabrik	148
9.7. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	150

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Grafik Impor Fenol di Indonesia	4
1.2. Lokasi Pabrik	9
2.1. Diagram Alir Proses	35
6.1. <i>Cooling Tower</i>	101
6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i>	102
6.3. <i>Deaerator</i>	103
6.4. Diagram Alir Pengolahan Air	104
6.5. Diagram Alir Unit Pengolahan Limbah	113
7.1. Peta Provinsi Banten	124
7.2. Area Sungai Cidanau – Banten	124
7.3. Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung	125
7.4. Tata Letak Peralatan Proses	125
8.1. Struktur Organisasi Perusahaan	130
9.1. Grafik Analisa Ekonomi	149
9.2. Kurva <i>Cummulative Cash Flow</i>	150

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:

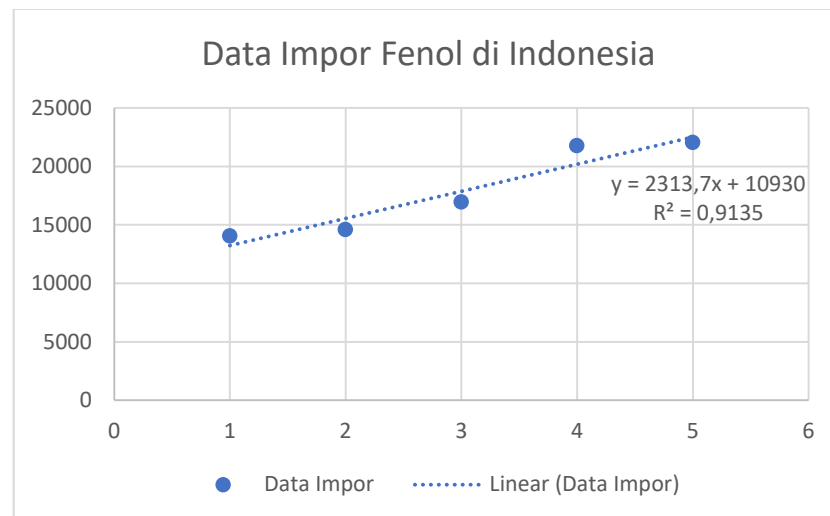
1. Data Impor

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 = *slope*

C = *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				149.738

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				1.899
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				9.600

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.

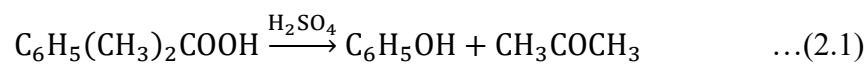
Fenol pertama kali diproduksi secara komersial oleh Bayer dan Monsanto pada tahun 1900 dengan mereaksikan benzenesulfonat dengan NaOH. Namun, karena mahalnya harga bahan baku dan sedikitnya produk fenol yang diproduksi, metode ini sudah lama ditinggalkan. Sekarang produksi fenol komersial didominasi 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 4th*” 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:



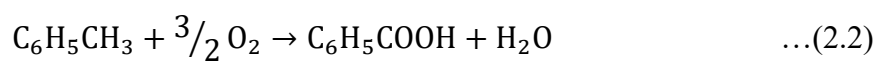
Cumene
Fenol
Aseton
Hydroperoxide

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

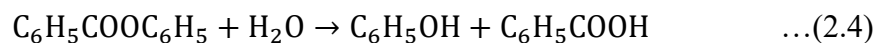
dengan adanya *steam* menghasilkan fenol. Pada reaksi tahap kedua, reaksi dilakukan pada suhu 234 °C dan tekanan 1,5 atm. Pada tahap ketiga dari proses toluene-asam benzoat, fenil benzoat menggunakan *steam* untuk menghasilkan fenol. Prosesnya dilakukan pada suhu 200 °C dan tekanan atmosfer. Hasil total 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



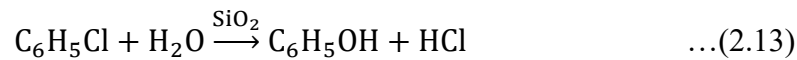
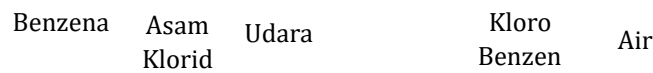
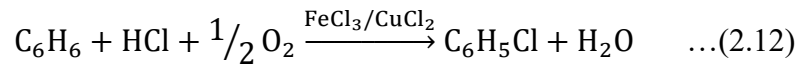
Asam Benzoat Udara Fenil Benzoat Air Karbon Dioksida



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 SiO₂ 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:



2.2. Pemilihan Proses

2.2.1. Pembuatan Fenol dari *Cumene Hydroperoxide*

a. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan membandingkan nilai entalpi reaksi (ΔH_r) dan energi bebas Gibbs reaksi (ΔG). Nilai ΔH_r menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi. ΔH positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari ΔH menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai ΔH_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 ΔG digunakan persamaan berikut:

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

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

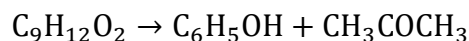
maka,

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

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 ΔH_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	ΔH_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 ΔH_f^0 standar tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar (ΔH_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.

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

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

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

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

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

Sehingga nilai ΔH_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 ΔH_r bernilai negatif, maka reaksi pembentukan Fenol tersebut bersifat eksoterm.

Tabel 2.3. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen

Komponen	Rumus Molekul	ΔG^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 ΔG^0 di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar ΔG^0 :

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

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

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

Sehingga nilai ΔG adalah:

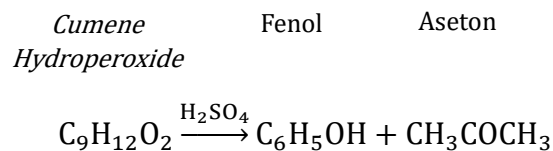
$$\Delta G = \Delta H_0 - \frac{T}{T_0} (\Delta H_0 - \Delta G_0) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \times \frac{dT}{T}$$

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

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 4th*” 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.

Konversi = 98%

Basis = 1 kg C₆H₅OH terbentuk

Produk :

- 1) Mol $C_6H_5OH = \frac{1 \text{ kg}}{94,11 \text{ kg/kmol}} = \mathbf{0,0106 \text{ kmol}}$
- 2) Mol $C_3H_6O = \frac{1}{1} \times \text{mol fenol} = \frac{1}{1} \times 0,0106 \text{ kmol}$
 $= \mathbf{0,0106 \text{ kmol}}$
- 3) Massa $C_3H_6O = \text{mol} \times \text{BM} = 0,0106 \times 58,08$
 $= \mathbf{0,6156 \text{ kg}}$

Reaktan :

- 1) 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) 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	$C_9H_{12}O_2$	152,2	0,0108	1,6438	1,900
Fenol	C_6H_5OH	94,11	0,0106	1,0000	1,9840
Aseton	C_3H_6O	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
 $= \$3,0970 - \$1,9561$
 $= \mathbf{\$1,1409/kg \text{ fenol}}$

2.2.2. Pembuatan Fenol dari Toluena-Asam Benzoat

a. Tinjauan Temodinamika

Tinjauan termodinamika reaksi dilakukan dengan membandingkan nilai entalpi reaksi (ΔH_r) dan energi bebas Gibbs reaksi (ΔG). Nilai ΔH_r menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi. ΔH positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari ΔH menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai ΔH_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 ΔG digunakan persamaan berikut:

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

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

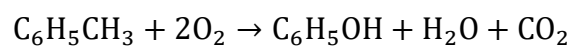
maka,

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

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 ΔH_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	ΔH_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 ΔH_f^0 standar tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar (ΔH_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.

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

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

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

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

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

Sehingga nilai ΔH_r adalah:

$$\begin{aligned}\Delta H_r &= \Delta H_r^0 + R \int_{T_0}^T \frac{C_p^0}{R} dT \\ &= -825,70 + ((8,314 \times 10^{-3}) \times (8.720,8676)) \\ &= -753,1947 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Karena harga ΔH_r bernilai negatif, maka reaksi pembentukan Fenol tersebut bersifat eksoterm.

Tabel 2.7. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen

Komponen	Rumus Molekul	ΔG^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 ΔG^0 di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar ΔG^0 :

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

$$\begin{aligned}\Delta G^0 &= (\Delta G^0 C_6H_5OH + \Delta G^0 H_2O + \Delta G^0 CO_2) - (\Delta G^0 C_6H_5CH_3 + \\ &\quad (2 \times \Delta G^0 O_2)) \\ &= (-32,89 + (-228,60) + (-394,38)) - (122,01 + (2 \times 0,00)) \\ &= -777,88 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

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

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

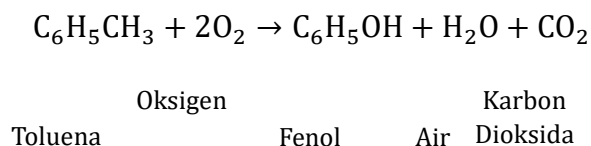
Sehingga nilai ΔG adalah:

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

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 4th*” 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 ₇ H ₈	92,14	0,0120	1,1057	1,2000
Fenol	C ₆ H ₅ 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 (ΔH_r) dan energi bebas Gibbs reaksi (ΔG). Nilai ΔH_r menunjukkan energi yang dibutuhkan atau dihasilkan selama reaksi. ΔH positif (+) berarti reaksi memerlukan panas (endoterm). Nilai negatif (-) dari ΔH menunjukkan bahwa panas akan dihasilkan selama reaksi (eksoterm). Untuk menghitung nilai ΔH_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 ΔG digunakan persamaan berikut:

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

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

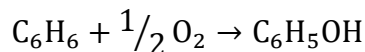
maka,

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

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 ΔH_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	ΔH_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 ΔH_f^0 standar tersebut dapat dihitung besarnya panas reaksi standar (ΔH_r^0) pembentukan Fenol:

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

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

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

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

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.

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

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

$$= 55,521$$

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

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

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

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

Sehingga nilai ΔH_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 ΔH_r bernilai positif, maka reaksi pembentukan Fenol tersebut bersifat endoterm.

Tabel 2.11. Data Energi Bebas Gibbs Standar tiap Komponen

Komponen	Rumus Molekul	ΔG^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 ΔG^0 di atas, dapat dihitung besarnya energi bebas Gibbs standar ΔG^0 :

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

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

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

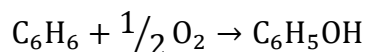
Sehingga nilai ΔG adalah:

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

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 4th*” 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 C₆H₅OH 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_6H_6	78,11	0,0118	0,9217	1,3500
Fenol	C_6H_5OH	94,11	0,0106	1,0000	1,9840

- 1) Harga penjualan produk utama dan produk samping:

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

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

- 2) Biaya pembelian bahan baku:

$$C_6H_6 = 0,9217 \text{ kg} \times \$1,3500 = \$1,2443$$

$$\text{Total harga pembelian} = \$1,2443$$

- 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	Konversi	98%	10% - 68% - 88%	10% - 15% 90%
5	Katalis	H ₂ SO ₄	<i>Cobalt Benzoic</i>	FeCl ₃ /CuCl ₂
6	ΔH_r	-200,9371 kJ/mol	-753,1947 kJ/mol	850,4023 kJ/mol
7	ΔG	-293,2153 kJ/mol	-772,6978 kJ/mol	-501,1189 kJ/mol
8	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. Konversi 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.

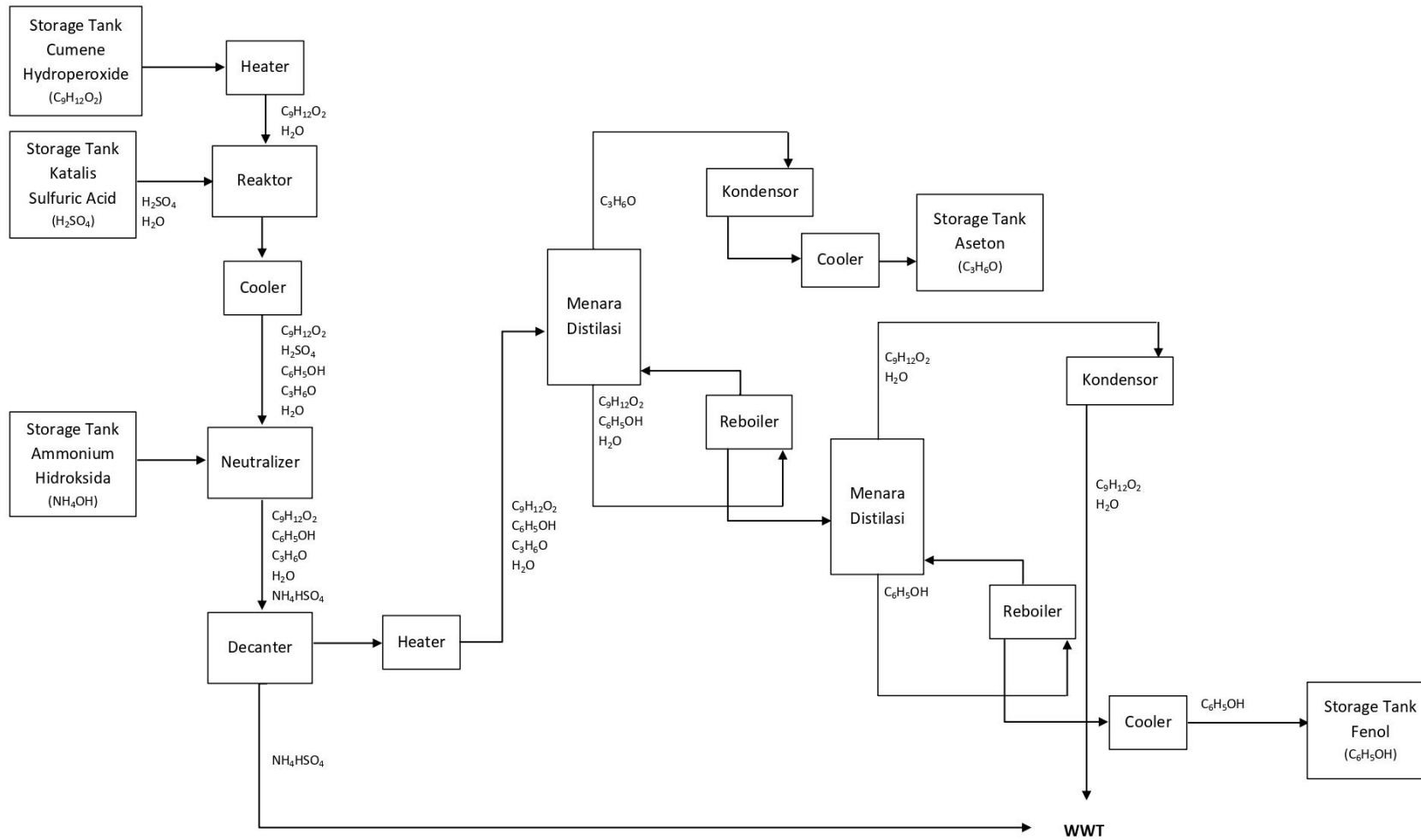
2.3.1. Dekomposisi *Cumene Hydroperoxide*

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 $78,06\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 1 atmosfer, dengan konversi 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 $32,22\text{ }^\circ\text{C}$. 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 $32,22\text{ }^\circ\text{C}$. 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

SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

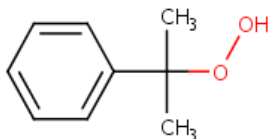
3.1. Spesifikasi Bahan Baku Utama

1. *Cumene Hydroperoxide* (CHP)

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

Rumus Molekul : $C_9H_{12}O_2$

Struktur Kimia :



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/m³ (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

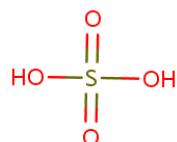
1. Air

Nama Lain : *Water, Dihydrogen Oxide*
 Rumus Molekul : H_2O
 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/m³

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

2. *Sulfuric Acid*

Nama Lain : Asam Sulfat, *Oil of Vitriol; Dihydrogen Sulfate*
 Rumus Molekul : H_2SO_4
 Struktur Kimia :



Berat Molekul : 98,08 g/mol
 Bentuk : Cairan Bening



Kemurnian : 98% volume
 Impurities
 Air : 2% volume
 Densitas : 1,8144 g/cm³
 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 : NH_4OH

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)

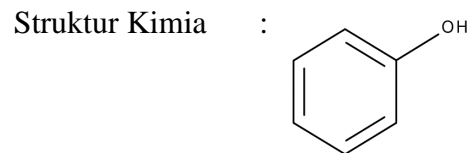
Titik Didih	: 38 °C (pada tekanan 1 atm)
pH	: 11,6 (1,0 N <i>Solution</i>)
Kelarutan	: Larut dalam air
MSDS	: 
<i>Hazard</i>	: H 290 : Dapat korosif terhadap logam. H 314 : Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata. H 335 : Dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernafasan. H 400 : Sangat toksik pada kehidupan perairan.
<i>Precautionary</i>	: 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/cm³ (pada suhu 50 °C)

Titik Didih : 182 °C

Titik Leleh : 40,5 °C

Kelarutan dala air : 0,87 g/L H₂O

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.

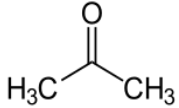
(Sumber : Kick and Othmer, 1969 & MSDS)

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/m³

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 memproduksi 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. Diakses 27 Oktober 2023
- Brown. G. George., 1950, *Unit Operation 6^{ed}*, Wiley&Sons, USA.
- Brownell. L. E. and Young. E. H., 1959, *Process Equipment Design 3^{ed}*, 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 4th 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 4th edition*. Prentice Hall International Inc. : United States of America.
- Geankoplis. Christie. J., 1993, *Transport Processes and unit Operation 3th 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 Technology”, 4nd ed., vol. 17., John Wiley and Sons Inc., New York.
- Levenspiel. O., 1972, *Chemical Reaction Engineering 2nd 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*, Mc Graw-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 7th edition*. McGraw Hill : New York.

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

Peter. M. S. and Timmerhause. K. D., 1991, *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3^{ed}*, Mc Graww-Hill Book Company, New York.

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

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

- Smith. J. M. and Van Ness. H. C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 3^{ed}*, McGraww-Hill Inc, New York.
- Smith, J.M., H.C. Van Ness, and M.M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition*. McGraw Hill : New York.
- Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3th 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 5th edition*. McGraw-Hill : New York.
- Treyball. R. E., 1983, *Mass Transfer Operation 3^{ed}*, 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 Environmental Engineering*, Vol. 6th. 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, Diakses pada 11 Oktober 2023.

www.daftarperusahaanindonesia.com, Diakses pada 21 Juli 2023.

www.insoclay.com/ammonium_hidroksida.htm, Diakses pada 11 Oktober 2023.

www.water.me.vccs.edu. Diakses pada 25 September 2023.