

**PRA RENCANA
PABRIK PEMBUATAN FENOL
KAPASITAS PRODUKSI 89.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti
Ujian Sarjana pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

OLEH :

MUHAMMAD FARIS NAUFAL	03031281419092
LISA ZULMAYETI	03031281419154

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2018

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN FENOL
KAPASITAS PRODUKSI 89.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

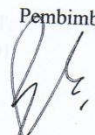
Duplikasi untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:

Muhammad Faris Naufal 03031281419092
Lisa Zulmayeti 03031281419154

Indralaya, Maret 2018

Pembimbing


Budi Santoso, S.T., M.T.
NIP. 197707242003121004

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Fenol Kapasitas Produksi 89.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan **Muhammad Faris Naufal** dan **Lisa Zulmayeti** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Maret 2018.

Indralaya, Maret 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. H. Abdullah Saleh, M.S., M.Eng.
NIP. 195304261984031001
2. Ir. Hj. Farida Ali, DEA.
NIP. 195511081984032001
3. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.
NIP. 197808222002122001

(*Abdullah*)

(*Farida*)

(*Fitri*)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



[Signature]
Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir yang berjudul *Pra Rencana Pabrik Pembuatan Fenol Kapasitas Produksi 89.000 Ton/Tahun* dapat diselesaikan. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu:

- 1) Bapak Budi Santoso, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan, masukan, waktu dan ilmu.
- 2) Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan moril maupun materil.
- 3) Seluruh dosen Jurusan Teknik Kimia dan teman-teman yang memberikan masukan dalam penulisan tugas akhir.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Inderalaya, Maret 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR NOTASI	vii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan.....	2
1.3. Macam-macam Sintesis Fenol.....	4
1.4. Sifat Fisika dan Kimia.....	8
BAB II PERENCANAAN PABRIK	12
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	12
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi.....	14
2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	19
2.4. Pemilihan Proses.....	20
2.5. Uraian Proses.....	22
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	24
3.1. Pemilihan Lokasi Pabrik.....	24
3.2. Lokasi Pabrik.....	25
3.2. Tata Letak Pabrik.....	28
3.3. Perkiraan Luas Pabrik.....	30
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	33
4.1. Neraca Massa.....	33
4.2. Neraca Panas.....	38

BAB V UTILITAS.....	43
5.1. Unit Penyediaan Steam.....	43
5.2. Unit Penyediaan Air.....	45
5.3. Unit Penyediaan Tenaga Listrik.....	48
5.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	50
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN.....	52
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN.....	77
7.1. Struktur Organisasi.....	77
7.2. Manajemen Perusahaan.....	77
7.3. Kepegawaian.....	78
7.4. Penentuan Jumlah Pekerja.....	80
BAB VIII ANALISA EKONOMI.....	84
8.1. Keuntungan (Profitability).....	84
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal.....	86
8.3. Total Modal Akhir.....	87
8.4. Laju Pengembalian Modal (Return On Investment).....	89
8.5. Titik Impas (Break Even Point / BEP).....	90
BAB IX KESIMPULAN.....	93

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Data Impor Fenol ke Indonesia.....	14
Tabel 2.2. Data Ekspor Fenol dari Indonesia.....	15
Tabel 2.3. Data Konsumsi Fenol di Indonesia.....	16
Tabel 2.4. Pabrik Fenol di Indonesia.....	18
Tabel 2.5. Faktor Pemilihan Bahan Baku.....	19
Tabel 2.6. Faktor Pemilihan Proses Produksi.....	20
Tabel 3.1. Faktor Pemilihan Lokasi Pendirian Pabrik Fenol.....	24
Tabel 5.1. Perbedaan dan Pertimbangan Pemilihan <i>Steam</i>	43
Tabel 7.1. Pembagaian Jam Kerja Karyawan <i>Shift</i>	79
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan.....	81
Tabel 8.1. Angsuran Pengembalian Modal TCI.....	86
Tabel 8.2. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	92

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Konsumsi Fenol Dunia Tahun 2015.....	12
Gambar 2.2. Tren Impor Fenol dan Prediksi Tahun 2023.....	14
Gambar 2.3. Tren Ekspor Fenol dan Prediksi Tahun 2023.....	15
Gambar 2.4. Proporsi Konsumsi Fenol dalam Produksi Bahan Kimia.....	16
Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik.....	26
Gambar 3.2. Lokasi Pabrik Berdasarkan <i>Google Maps</i>	26
Gambar 3.3. Tata Letak Peralatan.....	32
Gambar 3.4. Tata Letak Pabrik.....	33
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	83
Gambar 8.1. Penentuan <i>Break Even Point</i> dengan Metode Grafik.....	92

DAFTAR NOTASI

1. ACCUMULATOR

C_c	: Tebal korosi maksimum, in
E_j	: Efisiensi pengelasan
ID, OD	: Diameter dalam, diameter luar, m
L	: Panjang accumulator, m
P	: Tekanan desain, psi
S	: Tegangan kerja yang diizinkan, psi
T	: Temperatur operasi, °C
t	: Tebal dinding accumulator, cm
V	: Volume total, m ³
V_s	: Volume silinder, m ³
ρ	: Densitas, kg/m ³

2. CONDENSER, COOLER, HEATER, REBOILER, DAN VAPORIZER

W, w	: Laju alir massa di shell, tube, kg/jam
T_1, t_1	: Temperatur masuk shell, tube, °C
T_2, t_2	: Temperatur keluar shell, tube, °C
Q	: Beban panas, kW
U_o	: Koefisien overall perpindahan panas, W/m ² .°C
ΔT_{lm}	: Selisih log mean temperatur, °C
A	: Luas area perpindahan panas, m ²
ID	: Diameter dalam tube, m
OD	: Diameter luar tube, m
L	: Panjang tube, m
p_t	: Tube pitch, m
A_o	: Luas satu buah tube, m ²
N_t	: Jumlah tube, buah
V, v	: Laju alir volumetrik shell, tube, m ³ /jam

u_t, U_s	: Kelajuan fluida shell, tube, m/s
D_b	: Diameter bundel, m
D_s	: Diameter shell, m
N_{RE}	: Bilangan Reynold
N_{PR}	: Bilangan Prandtl
N_{NU}	: Bilangan Nusselt
h_i, h_o	: Koefisien perpindahan panas shell, tube, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
I_b	: Jarak baffle, m
D_e	: Diameter ekivalen, m
k_f	: Konduktivitas termal, $W/m \cdot ^\circ C$
ρ	: Densitas, kg/m^3
μ	: Viskositas, cP
C_p	: Panas spesifik, $kJ/kg \cdot ^\circ C$
h_{id}, h_{od}	: Koefisien dirt factor shell, tube, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
k_w	: Konduktivitas bahan, $W/m \cdot ^\circ C$
ΔP	: Pressure drop, psi

3. DECANTER

W_c	: Laju alir masa light liquid
W_d	: Laju alir masa heavy liquid
ρ_c	: density light liquid
ρ_d	: density heavy liquid
μ_c	: viscosity light liquid
μ_d	: viscosity heavy liquid
θ	: fase disperse
U_d	: settling velocity m/s
L_c	: Volumetric continues phase m^3/s
A_i	: Interphase of area m^2
D_{dec}	: Diameter Decanter m
H	: Tinggi Decanter m
I	: Dispersi Band m

t_r	: residence time of droplet menit
Q_r	: Laju alir m^3/s
A_p	: Luas area pipa m^2
D_p	: Diameter Pipa m
ID,OD	: Diamter dalam, Diameter Luar pipa in
Z_t	: Kedalaman zat cair m
Z_i	: Tinggi interface m
Z_n	: Kedalaman aliran limpa m
t	: Tebal dinding decanter m
s	: working stress allowable/ besar tegangan yang dibolehkan atm
E	: Efisiensi
C	: tebal korosi

4. KOLOM DISTILASI

A_a	: Active area, m^2
A_d	: Downcomer area, m^2
A_{da}	: Luas aerasi, m^2
A_h	: Hole area, m^2
A_n	: Net area, m^2
A_t	: Tower area, m^2
C_c	: Tebal korosi maksimum, in
D	: Diameter kolom, m
d_h	: Diameter hole, mm
E	: Total entrainment, kg/s
E_j	: Efisiensi pengelasan
F_{iv}	: Parameter aliran
H	: Tinggi kolom, m
h_a	: Aerated liquid drop, m
h_f	: Froth height. m
h_q	: Weep point, cm
h_w	: Weir height, m

L_w	:	Weir height, m
N_m	:	Jumlah tray minimum, stage
Q_p	:	Faktor aerasi
R	:	Rasio refluks
R_m	:	Rasio refluks minimum
U_f	:	Kecepatan massa aerasi, m/s
V_d	:	Kelajuan downcomer
ΔP	:	Pressure drop, psi
Ψ	:	Fractional entrainment

5. POMPA

A	:	Area alir pipa, in ²
BHP	:	Brake Horse Power, HP
D_{opt}	:	Diameter optimum pipa, in
f	:	Faktor friksi
g	:	Percepatan gravitasi ft/s ²
g_c	:	Konstanta percepatan gravitas, ft/s ²
H_d, H_s	:	Head discharge, suction, ft
H_f	:	Total friksi, ft
H_{fc}	:	Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H_{fe}	:	Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H_{ff}	:	Friksi karena fitting dan valve, ft
H_{fs}	:	Friksi pada permukaan pipa, ft
ID	:	Diameter dalam, in
K_C, K_E	:	Konstanta kompresi, ekspansi, ft
L	:	Panjang pipa, m
L_e	:	Panjang ekivalen pipa, m
MHP	:	Motor Horse Power, HP
NPSH	:	Net positive suction head, ft.lbf/lb
N_{RE}	:	Bilangan Reynold
OD	:	Diameter luar, in

P_{uap}	: Tekanan uap, psi
Q_f	: Laju alir volumetrik, ft ³ /s
V_d	: Discharge velocity, ft/s
V_s	: Suction velocity, ft/s
ε	: Equivalent roughness, ft
η	: Efisiensi pompa
μ	: Viskositas, kg/ms
ρ	: Densitas, kg/m ³

6. REAKTOR

C_c	: Tebal korosi maksimum, in
C_{AO}	: Konsentrasi awal umpan, kmol/m ³
D_p	: Diameter katalis, m
D_s	: Diameter shell, m
D_T	: Diameter tube, in
F_{AO}	: Laju alir umpan, kmol/jam
H_R	: Tinggi shell reaktor, m
H_T	: Tinggi tube, m
k	: Konstanta kecepatan reaksi, m ³ /kmol.s
N_t	: Jumlah tube, buah
P	: Tekanan operasi, bar
τ	: Waktu tinggal, jam
p_t	: Tube pitch, in
S	: Tegangan kerja yang diizinkan, psi
t	: Tebal dinding reaktor, cm
V_k	: Volume katalis, m ³
V_T	: Volume reaktor, m ³
ρ, ρ_k	: Densitas fluida, katalis, kg/m ³
R	: Konstanta gas ideal, 8,314 kJ/kmol.K
σ_A	: Diameter molekul, cm

M	:	Berat molekul, kg/kmol
E_A	:	Energi aktivasi, kJ/kmol
V_E	:	Volume ellipsoidal, m ³
H_s	:	Tinggi silinder, m
h	:	Tinggi tutup
H_T	:	Tinggi total tanki, m

7. TANGKI DAN NEUTRALIZER

C_c	:	Tebal korosi maksimum, in
D	:	Diameter tangki, m
E_j	:	Efisiensi pengelasan
P	:	Tekanan desain, psi
S	:	Tegangan kerja diizinkan, psi
t	:	Tebal dinding tangki, cm
V	:	Volume tangki, m ³
W	:	Laju alir massa, kg/jam
ρ	:	Densitas

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Tugas Khusus

Lampiran Patent Utama dan Pendukung

Lampiran Biodata Peserta Sidang

ABSTRAK

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN FENOL KAPASITAS PRODUKSI
89.000 TON/ TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, 15 Maret 2018

Muhammad Faris Naufal dan Lisa Zulmayeti; Dibimbing oleh Budi Santoso, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xiii + 93 halaman, 12 tabel, 10 gambar, 4 lampiran

ABSTRAK

Pabrik Fenol yang direncanakan dibangun pada lahan seluas 4,25 Ha berlokasi di Jl. Raya Mulyosari No. 25, Kalisari, Surabaya, Jawa Timur pada tahun 2023. Pabrik beroperasi secara *continuous* dengan kapasitas produksi 89.000 ton per tahun. Proses pembuatan Fenol melalui dua rangkaian proses mengacu pada US Patent No. 9,663,430 B2, yaitu oksidasi *cyclohexylbenzene* (CHB) pada *Fixed Bed Reactor* oleh oksigen pada temperatur 110°C dan tekanan 1,2 atm, kemudian reaksi dekomposisi *cyclohexyl-1-phenyl-1-hydroperoxide* menjadi fenol dan sikloheksanon didalam CSTR pada temperatur 185°C, tekanan 1 atm, dan konversi 90%..

Pabrik ini akan didirikan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang akan dipimpin oleh Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan adalah *line and staff* dengan total karyawan 153 orang. Pabrik pembuatan Fenol layak didirikan karena telah memenuhi persyaratan parameter analisa ekonomi sebagai berikut:

1) Investasi (TCI)	= US \$ 580,061,989.78
2) Hasil penjualan per tahun	= US \$ 484,228,600,33
3) Biaya produksi per tahun (TPC)	= US \$ 374,252,396.15
4) Laba bersih per tahun	= US \$ 71,484,532.72
5) <i>Pay Out time</i>	= 1,51 tahun
6) <i>Rate of return on investment</i>	= 59,41 %
7) <i>Discounted Cash Flow-ROR</i>	= 65,97 %
8) <i>Break Even Point</i>	= 35,11 %

Kata kunci : Fenol, Oksidasi, Pabrik, Analisa Ekonomi.

Kepustakaan : 48 (1957- 2017)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

Indralaya, Maret 2018
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Budi Santoso, S.T., M.T.
NIP. 197706052003121004

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Produk *bulk chemical* (*comodity chemical*) mengalami peningkatan secara global sebesar 1-2% setiap tahunnya, sehingga bahan baku untuk *bulk chemical* merupakan kunci dalam pemenuhan permintaan pasar dunia. Fenol yang merupakan salah satu produk *bulk chemical* intermediet paling prospektif yang digunakan pada banyak industri *polycarbonate* dan *printing inks*, seperti dalam produksi *phenolic resins*, *bisphenol A*, *ϵ -caprolactum*, *adipic acid*, dan *plasticizers*. Penggunaan fenol yang paling utama adalah dalam industri *fenolic resin*. Permintaan dunia akan fenol semakin lama semakin meningkat. Pada saat ini penjualan fenol di dunia mencapai 10,7 juta ton/tahun. Kawasan Asia pasifik merupakan kawasan dengan konsumsi fenol tertinggi didunia sekitar 35%, terutama pada negara China, Korea, dan Jepang, yang akan mempengaruhi permintaan dan penawaran (*supply and demand*) produk fenol di Indonesia.

Di Indonesia peningkatan permintaan produk kimia berbahan baku fenol tergolong tinggi, namun Indonesia sendiri masih impor fenol dalam jumlah besar. Hal ini menunjukkan Indonesia tidak dapat memanfaatkan peluang untuk menambah devisa negara yang diharapkan dapat memberikan kontribusi yang besar bagi pendapatan negara. Permintaan impor yang besar menunjukkan bahwa industri kimia di Indonesia tidak berkembang, yang juga berarti bahwa teknologi proses manufaktur tidak berkembang, terutama dalam produksi fenol.

Pembuatan fenol konvensional dan telah banyak dikomersialkan adalah oksidasi *cumene* yang menghasilkan produk samping berupa aseton. Namun terdapat masalah dalam proses ini. Sekitar 6 ton aseton diproduksi untuk setiap 10 ton fenol. Berdasarkan efisiensi ekonomi, produsen perlu menjual dua senyawa produksi, namun seringkali fenol lebih banyak dibutuhkan daripada aseton pada waktu bersamaan. Beberapa ujicoba dan penelitian dilakukan untuk mencari alternatif proses yang lebih menguntungkan dan jika pabrik ingin meningkatkan kapasitas produksi. Sebagai contoh, proses yang telah dikembangkan dengan cara

mengoksidasi benzena dengan *nitrous oxide* (N_2O). N_2O merupakan gas produk samping produksi poliamida 6,6 dan tidak diizinkan lolos ke atmosfer karena merupakan komponen gas rumah kaca. Jadi proses ini menggunakan produk samping berbahaya untuk produksi produk yang bernilai ekonomis tinggi, namun demikian belum ada pabrik dibangun karena kondisi operasi yang sulit dicapai dan belum ada proses ekonomis dalam penggunaan *nitrous oxide*.

Berdasarkan permasalahan diatas, pada skripsi *Pra Rencana Pabrik Pembuatan Fenol* ini, pabrik akan dibangun dengan proses lebih ekonomis, yang dikembangkan oleh *ExxonMobil*. Dengan produk samping yang bernilai jual lebih tinggi daripada aseton dan dalam jumlah proporsional terhadap produk utama. Bahkan proses ini dapat menghasilkan fenol tanpa produk samping, yaitu proses oksidasi *cyclohexylbenzene* menjadi *cyclohexylbenzene hydroperoxide* dan selanjutnya terdekomposisi menjadi fenol dan *cyclohexanone* sebagai produk samping. Produksi fenol dari oksidasi *cyclohexylbenzene* dengan produk samping *cyclohexanone* lebih menguntungkan dari pada aseton. Pembuatan melalui proses ini dapat menghasilkan fenol dan *cyclohexanone* dengan kualitas tinggi.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Fenol (fenil alkohol) merupakan penyusun tar batubara dan diisolasi oleh Friedlieb Ferdinand Runge pada tahun 1834 yang diberi nama *carbolic acid* atau asam minyak batubara. Pada tahun 1841 Auguste Laurent membuat fenol murni untuk pertama kalinya. Dalam studinya tentang destilat tar batuabara dan klorin, Laurent mengisolasi diklorofenol dan triklorofenol, yang diduga mengandung fenol (*phenhydrate*). Laurent berhasil mengisolasi dan mengkristalkan fenol untuk pertama kalinya yang diberi nama *hydrate de phenyle* atau *phenic acid*. Fenol saat itu digunakan sebagai antiseptik pada sakit gigi untuk menghilangkan rasa sakit.

Pada tahun 1843, Charles Fredric Gerhardt menyintesis fenol dari pemanasan asam salisilat dengan kapur. Fenol sintetik pertama kali diproduksi dengan cara sulfonasi benzena dan hidrolisa sulfonat. Setelah itu, metode lain telah dikembangkan untuk sintesis fenol, antara lain klorinasi benzena pada fase *liquid* diikuti hidrolisis fase uap pada temperatur tinggi. Namun, proses tersebut tidak

diminati karena proses tersebut melibatkan bahan baku kimia yang mahal, resiko korosi, dan secara umum tidak ekonomis untuk komersialisasi industri.

Secara komersial produksi fenol sintetis ditemukan di Jerman oleh Dr. Heinrich Hock dan koleganya Shon Lang pada tahun 1849 dan dipublikasikan di sebuah koran yang memuat tentang auto oksidasi senyawa organik. Dari laporan tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi-kondisi yang telah ditetapkan, *cumene* akan teroksidasi menjadi *cumene hydroperoxide*, yang selanjutnya akan terdekomposisi menjadi fenol (produk utama) dan aseton sebagai produk samping.

Pada tahun 1924, sintesa fenol dengan proses klorinasi langsung benzena pada klorobenzena yang kemudian dihidrolisis menjadi garam natrium fenol dengan NaOH. Proses ini dikomersialkan oleh *Dow Chemical*. Proses ini kemudian dikembangkan oleh Raschig-Hooker, dimana klorobenzena dihasilkan oleh reaksi oksidatif benzena dengan HCl. Klorobenzena kemudian dihidrolisis dengan *steam* untuk menghasilkan fenol dan meregenerasi asam klorida (HCl).

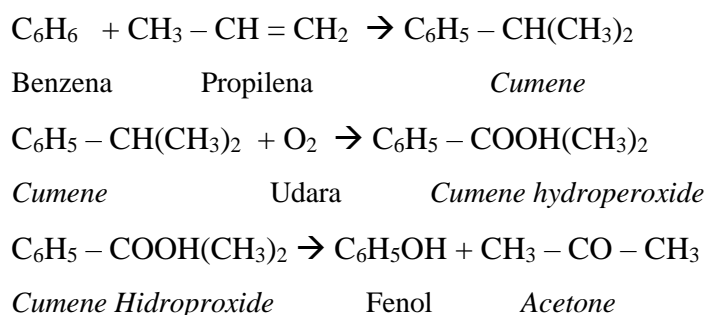
Pada tahun 1960an, *Dutch State Mines* mengembangkan proses sintesis fenol dimana toluena dioksidasi menjadi fenol. Faktor ekonomis proses ini lebih ditentukan dari harga benzaldehid dan asam benzoat dari pada biaya pembuatan fenol. Tiga pabrik kemudian dibangun namun akhirnya ditutup. Kemudian dilakukan pengembangan proses oleh *Solutia* pada 1990an didasarkan pada pengoksidasi benzena dengan N₂O untuk menghasilkan fenol dan nitrogen. Selektivitas proses lebih besar dari 95% namun susah menemukan proses ekonomis untuk N₂O. *Solutia* membangun pabrik percontohan untuk mengembangkan proses ini namun tidak pernah mengkomersialkannya dan akhirnya diakuisisi.

Pada era baru abad 20, *ExxonMobil* mengembangkan proses dengan tiga langkah pembuatan fenol dari benzena dengan produk samping *cyclohexanone* bukan aseton seperti proses Hock. Dimana hidroalkilasi benzena dan hidrogen digabungkan menghasilkan sikloheksilbenzena (*Cyclohexylbenzene*, CHB). Kemudian CHB dioksidasi dengan O₂ menjadi *CHB hydroperoxide* (CHBHP) dengan katalis NHPI. Selanjutnya CHBHP terjadi reaksi dekomposisi dengan katalis asam sulfat menjadi fenol dan *cyclohexanone* (bahan pembuatan nilon 6,6). Proses ini menghasilkan produk samping dengan harga jual yang tinggi pula.

1.3. Macam-Macam Proses Sintesis Fenol

1.3.1. Pembuatan Fenol dari *Cumene*

Pembuatan fenol berbahan baku *cumene* dikembangkan berdasarkan penelitian Hock dan Lang tahun 1949. Pada tahun 1952 industri fenol pertama kali dibangun dengan proses ini dan merupakan proses konvensional yang paling banyak digunakan. Dari data yang diperoleh tahun 2008 lebih dari 97% fenol yang diproduksi dunia menggunakan proses ini. Proses ini dimulai dari alkilasi benzena dengan propilena menjadi *cumene*. Kemudian *cumene* dioksidasi menjadi *cumene hydroperoxide*. *Cumene Hydroperoxide* yang terbentuk dengan cepat akan terdekomposisi menjadi fenol dan aseton dengan katalis asam kuat. Reaksi pembentukan fenol dari *cumene* adalah sebagai berikut:



Pada proses ini reaksi dekomposisi *cumene hydroperoxide* menjadi fenol dan aseton berlangsung pada suhu 70-180°C pada tekanan >1,5 atm dengan *yield* proses 98%. Namun, seiring berkembangnya zaman ditemukan masalah pada proses ini. Permintaan aseton tidak sebanyak fenol pada satu waktu, padahal untuk setiap 10 ton fenol yang dihasilkan terdapat 6 ton aseton sebagai produk samping, Hal ini juga membuat pabrik kesulitan meningkatkan kapasitas pabrik.

1.3.2. Pembentukan fenol dari Oksidasi Toluena

Oksidasi Toluena menjadi fenol dikembangkan secara detail oleh *Amoco, Dow, and SNIA Viscosa*. Proses ini terdiri atas tiga tahap. Pertama, oksidasi toluena dengan udara dan kehadiran *cobalt salt* menghasilkan asam benzoat pada suhu 170°C dan tekanan 2 atm dan konsentrasi katalis sebesar 0,1-0,3% berat dengan waktu tinggal sekitar 2 jam dalam reaktor seri. Tahap kedua adalah oksidasi asam benzoat menggunakan oksigen dari udara dengan menggunakan katalis *copric benzoate* menghasilkan *phenyl benzoate* sebagai intermediet. Pada reaksi tahap

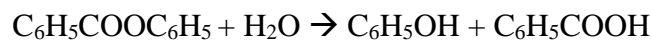
kedua reaksi terjadi pada suhu 234°C dan tekanan 1,5 atm. Tahap terakhir dari proses oksidasi toluena, mereaksikan fenil benzoat dengan *steam* menghasilkan fenol pada suhu 200°C dan tekanan atmosfer. *Yield* proses fenol pada proses ini sebesar 85-90% terhadap asam benzoat (Alain & Gilles, 1989). Persamaan reaksi oksidasi toluena menjadi fenol sebagai berikut:



Toluena Udara Asam Benzoat Air



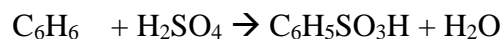
Asam Benzoat Udara Fenil Benzoat Air Karbon Dioksida



Fenil Benzoat *Steam* Fenol Asam Benzoat

1.3.3. Pembuatan Fenol dari Sulfonasi Benzena

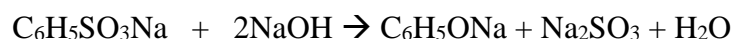
Proses ini dikomersialkan pada tahun 1914 dan hingga sekarang masih digunakan dalam skala industri di Jepang. Pada proses ini, benzena disulfonasi dari oleum pada suhu 150 °C dalam reaktor menggunakan asam sulfat menjadi asam benzena sulfonat. Kemudian asam benzena sulfonat dinetralisasi menggunakan natrium sulfit menjadi natrium benzena sulfonat. Natrium benzena sulfonat direaksikan dengan 40 %wt NaOH untuk menghasilkan natrium fenat pada suhu 300°C. Treatment natrium fenat dengan sulfur dioksida melalui netralisasi asam benzena sulfonik untuk menghasilkan fenol dengan *yield* 85-92% terhadap benzena (Alain & Gilles, 1989). Mekanisme reaksi yang terlibat:



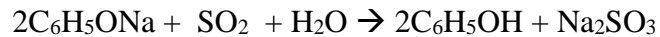
Benzene Asam Benzena Air
Sulfat Sulfonat



Benzen Natrium Natrium Air Sulfur
Sulfonat Sulfit Benzene Dioksida
Sulfonat



Natrium Benzene Natrium Natrium Natrium Air
Sulfonat Hidroksida Fenat Sulfit



Natrium	Sulfur	Air	Fenol	Natrium
Fenat	Dioksida			Sulfit

Proses ini cenderung menggunakan proses *batch* karena reaksi pada fusionator sangat lambat. Proses kontinu tidak mungkin dilakukan karena dapat menyebabkan konsumsi energi dan bahan kimia tinggi. Kelebihan natrium sulfit dapat dijual ke industri *pulp and paper*.

1.3.4. Pembuatan Fenol dari Klorinasi Benzena (Proses Dow)

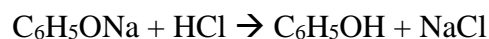
Proses ini dikomersialisasikan untuk pertama kalinya pada tahun 1920, dan masih digunakan skala industri terutama di India. Pada proses ini, klorobenzena di klorinasi dari benzena dan gas klorin pada suhu konstan 35°C dengan katalis fase liquid besi klorida (FeCl_3). Kemudian klorobenzena dihidrolisis menggunakan NaOH menghasilkan natrium fenat dan natrium klorida pada suhu 400°C dan tekanan 2,56 kPa (260 atm). Fenol didapatkan dengan mereaksikan natrium fenat dengan asam klorida pada suhu 140-160°C dan tekanan sekitar 25 atm. Total *yield* fenol terhadap benzena sekitar 75-80% (Alain & Gilles, 1989). Tahapan reaksi keseluruhan yang terlibat:



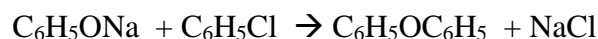
Benzene	Klorin	Kloro	Asam
		Benzene	Klorida



Kloro	Natrium	Natrium	Air	Natrium
Benzene	Hidroksida	Fenat		Klorida



Natrium	Asam	Fenol	Natrium
Fenat	Klorida		Klorida

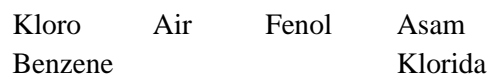
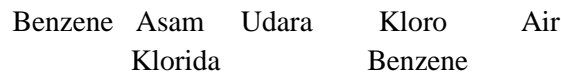
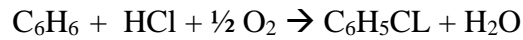


Natrium	Kloro	Fenil	Natrium
Fenat	Benzene	Eter	Klorida

1.3.5. Pembuatan Fenol dari Oksiklorinasi Benzena (Proses Hooker/Rasching)

Pada proses ini benzena diklorinasi dengan asam klorida dan udara dengan kehadiran katalis oksiklorinasi berupa katalis FeCl_3 , kemudian hidrolisis

menggunakan *steam* pada suhu 450-500 °C membentuk fenol dan asam klorida sebagai produk samping. Reaksi secara keseluruhan yang terjadi sebagai berikut:



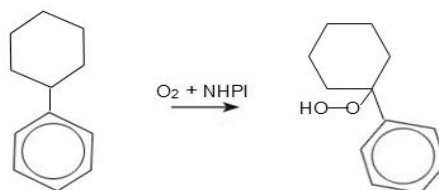
Fenol diperoleh dengan kemurnian mencapai 97 %wt, namun *yield* pada proses ini relatif terbatas (80-90 %mol). Purifikasi fenol dapat menggunakan ekstraksi solven (air dan benzena) ataupun dengan destilasi. Proses ini memiliki masalah korosif pada alat karena melibatkan asam klorida (korosif) sehingga memberikan efek pada biaya perawatan alat dan konsumsi energi.

1.3.6. Pembuatan Fenol dari Oksidasi *Cyclohexane*

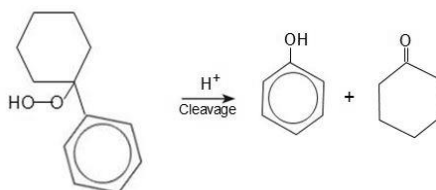
Proses ini menjadi fenol dikembangkan secara detail oleh *DSM, ICI, IFP, Inventa*, dan lain-lain. Benzena dikonversi menjadi *cyclohexane* melalui proses hidrogenasi katalitik dalam fase liquid pada suhu 200 °C dengan katalis nikel atau platinum. Kemudian *cyclohexane* dioksidasi dengan udara pada 145-175 °C dengan katalis berupa *cobalt salt* dan tambahan asam borat. Terakhir campuran *cyclohexanol/cyclohexanone* di dehidrogenasi dari fenol pada 250-350 °C.

1.3.7. Pembuatan Fenol dari Oksidasi *Cyclohexylbenzene Hydroperoxide*

Proses ini memiliki kemiripan dengan proses *cumene*. Namun proses ini menghasilkan produk utama dengan produk samping bernilai jual tinggi. Proses ini sangat menarik karena menghasilkan fenol dari benzena tanpa menghasilkan aseton (propanon). Proses ini diawali dari oksidasi *cyclohexylbenzene* (CHB) dengan udara (O₂) menjadi *cyclohexylbenzene hydroperoxide* (CHB HP), dengan reaksi:



Reaksi diatas dipengaruhi oleh kehadiran katalis NHPI (N-Hydroxyphthalimide) yang membentuk radikal atom hidrogen benzilik dan sikloheksilbenzena, yang menyebabkan pembentukan *hydroperoxide*. Selanjutnya *hidroperkosida* terurai dengan bantuan katalis asam sulfat yang membentuk fenol dan *cyclohexanone* yang dapat digunakan dalam pembuatan poliamida.



Proses ini dikembangkan oleh *ExxonMobil* yang mengatasi masalah pada proses pembuatan fenol dari *cumene*, dimana selektivitas CHB HP yang tinggi sekitar 90% pada konversi yang rendah 30-35%. Produk utama maupun produk samping yang dihasilkan memiliki kemurnian yang tinggi.

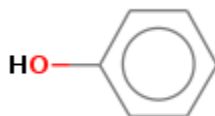
1.4. Sifat-Sifat Fisika dan Kimia

Berikut karakteristik sifat fisika dan kimia dari beberapa senyawa yang terlibat dalam proses pembuatan fenol, diantaranya (NIST):

1.4.1. Sifat Fenol

Nama lain	: <i>Phenyl alcohol, Carboic acid, Hydroxybenzen, Phenylic alcohol (PhOH), Benzenol.</i>
Profil	: Transparan, berbau tar.
Rumus molekul	: C_6H_6O
Berat molekul	: 94,1112 g/mol
Densitas	: 0,95 g/mL (25 °C)
Titik lebur	: 40,5 °C
Titik didih	: 181,7 °C
Temperatur kritis	: 421,15 °C
Tekanan kritis	: 59,30 bar
Kelarutan	: 8,3 g/100 mL (dalam air), <i>Soluble (cyclobenzene), Insoluble (alkali dan turunan hydroperoxide).</i>
$\Delta H^\circ_{\text{liquid}}$: -96.36 ± 0.59 kJ/mol

$\Delta H^{\circ}_{\text{fsolid}}$: -165.0 kJ/mol
$C_{p,\text{solid}}$: 127.21 J/mol*K

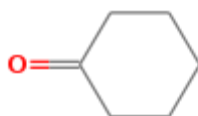


Struktur kimia :

1.4.2. Sifat Sikloheksanon

Nama lain : *Cyclohexanone, Anone, Nadone, Pimelic keton, Sextone, Cyclohexyl ketone.*

Rumus molekul	: $C_6H_{10}O$
Berat molekul	: 98,1430 g/mol
Densitas	: 0,478 gr/mL (25 °C)
Titik lebur	: -47,0 °C
Titik didih	: 155,65 °C
Temperatur kritis	: 379,85 °C
Tekanan kritis	: 46 bar
Kelaruran	: <i>Soluble</i> (dietil eter dan aseton), <i>Insoluble</i> (air dan sikloaromatik)
$\Delta H^{\circ}_{\text{fgas}}$: -231.1 ± 0.88 kJ/mol
$\Delta H^{\circ}_{\text{fliquid}}$: -276.1 ± 0.84 kJ/mol
$C_{p,\text{liquid}}$: 177.20 J/mol*K

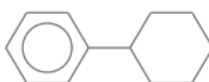


Struktur kimia :

1.4.3. Sifat Sikloheksilbenzena

Nama lain	: <i>Phenylcyclohexane, Cyclohexylbenzene</i>
Profil	: Jernih (liquid tak bewarna)
Rumus molekul	: $C_{12}H_{16}$
Berat molekul	: 160,2554 g/mol
Densitas	: 0,95 g/mL (20 °C)

Titik lebur	: 5-6 °C
Titik didih	: 239 °C
Kelarutan	: <i>Soluble</i> (alkohol dan turunan), <i>Insoluble</i> (dalam air dan <i>cyclohexanone</i>)
Temperatur kritis	: 379,85 °C
Tekanan kritis	: 46 bar
$\Delta H^\circ_{\text{fgas}}$: -16.7 \pm 1.5 Kj/mol
$\Delta H^\circ_{\text{fliquid}}$: -79.1 \pm 5.6 kJ/mol
$C_{p,\text{liquid}}$: 263.2 J/mol K



Struktur kimia :

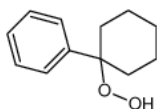
1.4.4. Sifat Oksigen

Nama lain	: <i>Dioxygen, Molecular oxygen</i>
Profil	: Gas tak berwarna, cairan berwarna biru pucat.
Rumus molekul	: O ₂
Berat molekul	: 31,9988 g/mol
Densitas	: 1,429 g/L (gas); 1,141 g/cm ³ (cairan)
Titik lebur	: -218,79 °C
Titik didih	: -182,95 °C
Temperatur kritis	: -118,57 °C
Tekanan kritis	: 50,43 bar
Struktur kimia	:

1.4.5. Sifat Cyclohexylbenzene Hydroperoxide

Nama lain	: <i>1-phenylcyclohexyl hydroperoxide, 1-hydroperoxy cyclohexylbenzene,</i>
Profil	: Gas tak berwarna, cairan berwarna biru pucat.
Rumus molekul	: C ₁₂ H ₁₆ O ₂
Berat molekul	: 192,254 g/mol
Densitas	: 1,1 g/cm ³

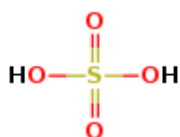
Titik didih	: 324,7 °C
Tekanan Uap	: 0,000009 mmHg (25 °C)
Kelarutan	: <i>Insoluble</i> (dalam air dan turunan alkohol).



Struktur kimia :

1.4.6. Sifat Asam Sulfat

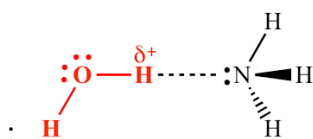
Nama lain	: <i>Dipping acid, Hydrogen sulfate, Sulphuric acid</i>
Profil	: Tak berwarna dan berbau
Rumus molekul	: H ₂ SO ₄
Berat molekul	: 90,079 g/mol
Densitas	: 1,84 g/cm ³
Titik lebur	: 10 °C
Titik didih	: 337 °C
Kelarutan	: <i>Soluble</i> (dalam air)



Struktur kimia :

1.4.5. Sifat Ammonia Hidroksida

Nama lain	: <i>Ammonia water / liquor.</i>
Profil	: Liquid tak berwarna
Rumus molekul	: NH ₄ OH
Berat molekul	: 35,046 g/mol
Densitas	: 0,88 g/cm ³
Titik lebur	: -57,5 °C
Titik didih	: 37,7 °C
Kelarutan	: <i>Soluble</i> (dalam air)



Struktur kimia :

DAFTAR PUSTAKA

- Afrox. 2005. *Material Safety Data Sheet Oxygen MSDS*. [pdf].
http://www.afrox.co.za/internet.global.corp.zaf/en/images/Oxygen%20MS027266_27704266_406781.pdf?v=1.0. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Amalia Zahra. 2016. *Penanganan Limbah Kimia*. [online].
[https://www.academia.edu/16928177/PENANGANAN_LIMBAH_KIMI A](https://www.academia.edu/16928177/PENANGANAN_LIMBAH_KIMI_A). (diakses 12 Februari 2018)
- Anonim. 2018. *Simbol Bahaya*. [pdf]. https://www.oc-praktikum.de/nop/id/articles/pdf/HazardSymbols_id.pdf. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Sciencelab. 2015. *Material Safety Data Sheet Sulfuric Acid MSDS*. [pdf].
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9925146>. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Sciencelab. 2005. *Material Safety Data Sheet Cyclohexanone MSDS*. [pdf].
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927506>. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Sciencelab. 2005. *Material Safety Data Sheet Phenol MSDS*. [pdf].
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9926463>. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Sciencelab. 2005. *Material Safety Data Sheet Ammonium Oksida MSDS*. [pdf].
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9922918>. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Sciencelab. 2013. *Material Safety Data Sheet Natrium Bisulfat MSDS*. [pdf].
<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9922913>. (diakses tanggal 12 Februari 2018).
- Sigma-Aldrich. 2005. *Material Safety Data Sheet N-Hydroxyphthalimide MSDS*. [pdf].

<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/h53704?lang=en®ion=ID>. (diakses tanggal 12 Februari 2018).

Thermo. F. Scientific. 2009. *Safety Data Sheet cyclohexylbenzene*. [pdf].
<https://www.fishersci.com/shop/msdsproxy?productName=AC111295000&productDescription=CYCLOHEXYLBENZENE%2C+96%25+500ML&catNo=AC111295000&vendorId=VN00032119&storeId=10652>.
(diakses tanggal 12 Februari 2018).