

SKRIPSI

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN
BISFENOL-A KAPASITAS PRODUKSI
52.000 TON PER TAHUN**



Raden Ayu Wilda Anggraini

NIM 03031381821009

Ahda Azalia

NIM 03031381821011

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

SKRIPSI

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN BISFENOL-A KAPASITAS PRODUKSI 52.000 TON PER TAHUN

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia
pada
Universitas Sriwijaya



Raden Ayu Wilda Anggraini

NIM 03031381821009

Ahda Azalia

NIM 03031381821011

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2020**

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN BISFENOL-A KAPASITAS PRODUKSI 52.000 TON PER TAHUN

SKRIPSI

Duplikasi untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:

Raden Ayu Wilda Anggraini
NIM 03031381821009
Ahda Azalia
NIM 03031381821011

Palembang, November 2020

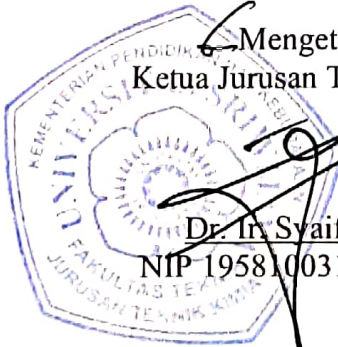
Pembimbing,



17 NOV 2020

Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T.
NIP. 197808222002122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

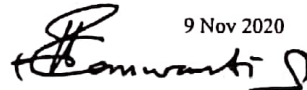
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bisfenol-A Kapasitas 52.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan **Raden Ayu Wilda Anggraini dan Ahda Azalia** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 14 Oktober 2020.

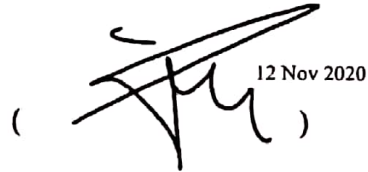
Palembang, November 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

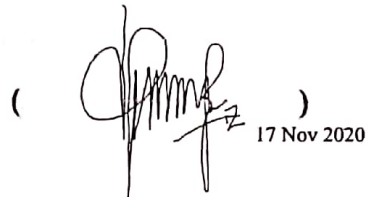
1. Ir. Pamilia Coniwanti, M.T.
NIP. 195512151985032001

9 Nov 2020


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

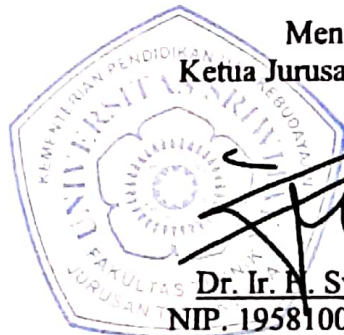
12 Nov 2020


3. Lia Cundari, S.T., M.T.
NIP. 198412182008122002

17 Nov 2020


Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia
17 Nov 2020

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

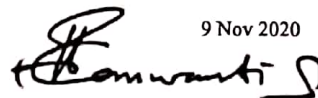


BERITA ACARA PERBAIKAN LAPORAN

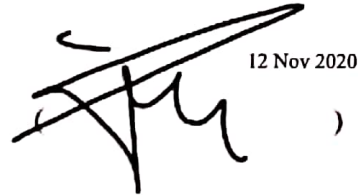
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bisfenol-A Kapasitas Produksi 52.000 ton per tahun" oleh Raden Ayu Wilda Anggraini dan Ahda Azalia telah diperbaiki sesuai arahan/tugas perbaikan dari Dosen Penguji dan Pembimbing.

Palembang, November 2020

1. Ir. Pamilia Coniwanti, M.T.
NIP. 195512151985032001

9 Nov 2020



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

12 Nov 2020


3. Lia Cundari, S.T., M.T.
NIP. 198412182008122002

17 Nov 2020


Mengetahui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir

 17 NOV 2020

Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T.
NIP. 197808222002122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS DAN PLAGIARISME

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Raden Ayu Wilda Anggraini
NIM : 03031381821009
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bisfenol-A
Kapasitas Produksi 52.000 ton per tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan sesungguhnya bahwa Karya ilmiah berbentuk Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Ahda Azalia** didampingi Dosen Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Selain itu semua dokumen yang disertakan dalam Karya ilmiah ini adalah benar dan sesuai dengan kenyataannya. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini atau pemalsuan dokumen, maka saya bersedia menerima konsekuensi hukum dan sanksi dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, November 2020

Raden Ayu Wilda Anggraini
NIM. 03031381821009

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS DAN PLAGIARISME

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahda Azalia
NIM : 03031381821011
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bisfenol-A
Kapasitas Produksi 52.000 ton per tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan sesungguhnya bahwa Karya ilmiah berbentuk Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Raden Ayu Wilda Anggraini** didampingi Dosen Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Selain itu semua dokumen yang disertakan dalam Karya ilmiah ini adalah benar dan sesuai dengan kenyataannya. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini atau pemalsuan dokumen, maka saya bersedia menerima konsekuensi hukum dan sanksi dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, November 2020



Ahda Azalia
NIM. 03031381821011

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat yang diberikan-Nya serta shalawat dan salam yang ditujukan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bisphenol-A Kapasitas 52.000 Ton/Tahun”.

Tugas akhir ini dibuat sebagai syarat akhir mengikuti ujian sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Tugas akhir ini dapat terselesaikan karena bantuan dari banyak pihak yang sangat membantu penulis dalam banyak hal. Oleh sebab itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

- 1) Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- 2) Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir.
- 4) Ibu Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T. selaku koordinator tugas akhir.
- 5) Kedua orang tua kami yang telah memberikan segala dukungannya.
- 6) Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
- 7) Seluruh Karyawan Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
- 8) Teman-teman seperjuangan Alih Jenjang Teknik Kimia 2018 serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis. Akhir kata penulis berharap semoga tugas kahir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak

Palembang, November 2020

Tim Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN BISFENOL-A KAPASITAS 52.000 TON/TAHUN.

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Oktober 2020

Raden Ayu Wilda Anggraini dan Ahda Azalia;

Dibimbing oleh Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxvi + 375 halaman, 9 tabel, 8 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Bisfenol-A Kapasitas 52.000 Ton/Tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Kabupaten Batang, Provinsi Jawa Tengah yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 4,4 Ha. Bahan baku dari pembuatan bisfenol-A ini adalah aseton dan fenol. Proses pembuatan bisfenol-A ini mengacu pada US Patent No. 2019/0315670 A1 yang berlangsung dalam tiga tahap yaitu tahap sintesis bisfenol-A dengan mereaksikan aseton dan fenol, tahap purifikasi dan *recovery*, dan tahap kristalisasi. Reaktor yang digunakan adalah jenis *fixed bed reactor* yang berisikan katalis padat *ion-exchange (Amberlyst-31)* dan beroperasi pada temperatur 90°C dan tekanan 1 atm.

Bentuk perusahaan yang akan digunakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 227 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik bisfenol-A ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US \$ 63.815.838,56
- Total Penjualan = US \$ 155.999.999,50
- *Total Production Cost (TPC)* = US \$ 112.018.956,55
- *Annual Cash Flow* = US \$ 32.976.518,68
- *Pay Out Time* = 4 Tahun
- *Rate Of Return On Investment (ROR)* = 48,24 %
- *Break Even Point (BEP)* = 32%
- *Service Life* = 11 Tahun

Kata Kunci: Bisfenol-A, katalis *ion-exchange*, *Fixed Bed Reactor*, Perseroan Terbatas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
BERITA ACARA PERBAIKAN LAPORAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Bisfenol A	2
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Bisfenol-A.....	3
1.3.1. Dengan Katalis Asam.....	3
1.3.2. Proses Ion Exchange	3
1.3.3. Bisfenol A dari Propine.....	4
1.4. Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku dan Produk.....	4
1.4.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	4
1.4.2. Spesifikasi Produk.....	5
1.4.3. Spesifikasi Katalis	7
BAB II PERENCANAAN PABRIK	8
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	8
2.2. Penentuan Kapasitas	9
2.3. Pemilihan Bahan Baku	10
2.4. Pemilihan Proses	11
2.5. Uraian Proses Pembuatan Bisfenol-A	12
2.5.1. Tahap Persiapan	12

2.5.2.	Tahapan Reaksi Pembentukan Bisfenol A	12
2.5.3.	Tahap Pemurnian Produk	14
2.5.4.	Tahap Pengeringan	14
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK		15
3.1.	Lokasi Pabrik	15
3.1.1.	Transportasi Bahan Baku	17
3.1.2.	Transportasi dan Pemasaran	17
3.1.3.	Utilitas	17
3.1.4.	Tenaga Kerja	18
3.1.5.	Kondisi Geologi	18
3.1.6.	Pembuangan Limbah	18
3.2.	Tata Letak Pabrik	19
3.3.	Perkiraan Luas Area	19
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS		22
4.1	Neraca Massa	24
4.1.1	<i>Mixing Point</i> 1 (MP-01)	24
4.1.2	<i>Mixing Point</i> 2 (MP-02)	25
4.1.3	<i>Mixing Point</i> 3 (MP-03)	25
4.1.4	Reaktor-01 (R-01)	25
4.1.5.	Kolom Distilasi-01 (KD-01)	26
4.1.6.	Kondensor-01 (CD-01)	26
4.1.7.	Accumulator-01 (ACC-01)	27
4.1.8.	<i>Reboiler-01</i> (RB-01)	27
4.1.9.	Kolom Distilasi-02 (KD-02)	28
4.1.10	Kondensor-02 (CD-02)	28
4.1.11	<i>Accumulator-02</i> (ACC-02)	29
4.1.12	<i>Reboiler-02</i> (RB-02)	29
4.1.13	Kolom Distilasi-03 (KD-03)	30
4.1.14.	<i>Kondensor-03</i> (CD-03)	30
4.1.15.	<i>Accumulator-03</i> (ACC-03)	31
4.1.16	<i>Reboiler-03</i> (RB-03)	31

4.1.17 <i>Crystalizer-01</i> (CR-01)	32
4.1.18 <i>Centrifuge-01</i> (CF-01)	32
4.1.19. <i>Rotary Dryer-01</i> (RD-01)	33
4.2 Neraca Panas	33
4.2.1 <i>Mixing Point-01</i> (MP-01)	33
4.2.2. <i>Mixing Point-02</i> (MP-02)	33
4.2.3. <i>Mixing Point-03</i> (MP-03)	34
4.2.4 <i>Heater-01</i> (H-01)	34
4.2.5 Reaktor-01 (R-01).....	34
4.2.6 <i>Heater-02</i> (H-02)	35
4.2.7 Kolom Distilasi-01 (KD-01).....	35
4.2.8 Kondensor-01 (CD-01)	35
4.2.9 <i>Reboiler-01</i> (RB-01).....	36
4.2.10 <i>Cooler-01</i> (C-01)	36
4.2.11 Kolom Distiliasi-02 (KD-02).....	36
4.2.12 Kondensor-02 (CD-02)	37
4.2.13 <i>Reboiler-02</i> (RB-02).....	37
4.2.14 <i>Cooler-02</i> (C-02)	38
4.2.15 <i>Cooler-03</i> (C-03)	38
4.2.16 Kolom Distilasi-03 (KD-03).....	38
4.2.17 Kondensor-03 (CD-03)	39
4.2.18 <i>Reboiler-03</i> (RB-03).....	39
4.2.19 <i>Crystallizer-01</i> (CR-01)	40
4.2.20 <i>Centrifuge-01</i> (CF-010)	40
4.2.21 <i>Heater-03</i> (H-03)	40
4.2.22 <i>Rotary Dryer-01</i> (RD-01)	41
BAB V UTILITAS	42
5.1. Unit Pengadaan Air	42
5.1.1. Air Pendingin	42
5.1.2. Air Umpan Boiler.....	44
5.1.3. Air Domestik.....	44

5.1.4.	Total Kebutuhan Air	46
5.2.	Unit Pengadaan <i>Steam</i>	46
5.2.1	Steam Pemanas.....	46
5.3.	Unit Pengadaan Listrik	47
5.3.1.	Listrik untuk Peralatan	47
5.3.2.	Listrik untuk Penerangan	47
5.3.3.	Total Kebutuhan Listrik	48
5.4.	Unit Pengadaan Bahan Bakar	49
5.4.1.	Bahan bakar Boiler.....	49
5.4.2.	Bahan bakar kebutuhan generator.....	50
5.4.3.	Total Kebutuhan Bahan Bakar	50
BAB VI	SPESIFIKASI PERALATAN	51
6.1.	Tangki-01 (T-01).....	51
6.1.	Tangki-02 (T-02).....	52
6.3.	Reaktor-01 (R-01)	53
6.4.	Kolom Distilasi-01 (KD-01)	54
6.5.	Kolom Distilasi-02 (KD-02)	55
6.6.	Kolom Distilasi-03 (KD-03)	56
6.7.	Kondensor-01 (CD-01).....	58
6.8.	Kondensor-02 (CD-02).....	59
6.9.	Kondensor-03 (CD-03).....	60
6.10.	<i>Accumulator</i> -01 (ACC-01).....	61
6.11.	<i>Accumulator</i> -02 (ACC-02).....	61
6.12.	<i>Accumulator</i> -03 (ACC-03).....	62
6.13.	<i>Reboiler</i> -01 (RB-01).....	63
6.14.	<i>Reboiler</i> -02 (RB-02).....	64
6.15.	<i>Reboiler</i> -03 (RB-03).....	65
6.16.	<i>Crystallizer</i> -01 (CR-01)	66
6.17.	<i>Centrifuge</i> -01 (CF-01).....	66
6.18.	<i>Rotary Dryer</i> -01 (RD-01).....	67
6.19.	<i>Cooler</i> -01 (C-01).....	68

6.20. Cooler-02 (C-02).....	69
6.21. Cooler-03 (C-03).....	70
6.22. Cooler-04 (C-04).....	71
6.23. Heater-01 (H-01).....	72
6.24. Heater-02 (H-02).....	73
6.25. Heater-03 (H-03).....	74
6.26. Pompa-01 (P-01)	75
6.27. Pompa-02 (P-02)	76
6.28. Pompa-03 (P-03)	77
6.29. Pompa-04 (P-04)	78
6.30. Pompa-05 (P-05)	79
6.31. Pompa-06 (P-06)	80
6.32. Pompa-07 (P-07)	81
6.33. Pompa-08 (P-08)	82
6.34. Pompa-09 (P-09)	83
6.35. Fan-01 (F-01)	84
6.36. Screw Conveyor-01 (SC-01)	85
6.37. Belt Conveyor- 01 (BC-01)	86
6.38. Bucket Elevator-01 (BE-01).....	87
6.39. Silo-01 (ST-01).....	88
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	89
7.1. Bentuk Perusahaan	89
7.2. Struktur Organisasi.....	90
7.2.1 Direktur Teknik dan Produksi, membawahi:.....	90
7.2.2 Direktur Keuangan dan Pemasaran, membawahi :.....	90
7.2.3 Direktur Umum, membawahi :	90
7.3. Tugas dan Wewenang	90
7.3.1. Dewan Komisaris	90
7.3.2. Direktur Utama.....	91
7.3.3. Direktur Teknik dan Produksi.....	91
7.3.4. Direktur Keuangan dan Pemasaran	92

7.3.5.	Direktur Umum	92
7.3.6.	Kepala Bagian	93
7.3.7.	Kepala Seksi.....	93
7.3.8.	Operator/Karyawan	93
7.4.	Sistem Kerja	93
7.4.1.	Waktu Kerja Karyawan <i>Non-Shift</i>	94
7.4.2.	Waktu Kerja Karyawan <i>Shift</i>	94
7.5.	Penentuan Jumlah Pekerja.....	95
7.5.1.	Direct Operating Labor	95
7.5.2.	Indirect Operating Labor	96
BAB VIII	ANALISA EKONOMI.....	99
8.1.	Keuntungan (Profitabilitas)	99
8.1.1.	Perhitungan <i>Annual cash flow</i>	100
8.2.	Lama Waktu Pengembalian Modal	100
8.2.1.	Lama Pengangsuran Pengembalian Modal	101
8.2.2.	<i>Pay Out Time (POT)</i>	102
8.3.	Total Modal Akhir.....	102
8.3.1.	<i>Net Profit Over Total Life of Project</i>	102
8.3.2.	<i>Total Capital Sink</i>	103
8.4.	Laju Pengembalian Modal.....	104
8.4.1.	<i>Rate of Return Investment (ROR)</i>	104
8.4.2.	<i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i>	104
8.5.	Break Even Point.....	105
8.5.1.	Metode Rumus	105
8.5.2.	Metode Grafik	105
BAB IX	PENUTUP	107
DAFTAR PUSTAKA	107

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Total Impor Bisfenol-A Wilayah ASEAN.....	9
Tabel 2.2	Perbandingan Beberapa Proses Produksi Bisfenol A.....	11
Tabel 5.1	Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas.....	41
Tabel 5.2	Total Kebutuhan Air.....	45
Tabel 5.3	Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 150°C.....	45
Tabel 5.4	Kebutuhan Listrik Peralatan.....	46
Tabel 7.1	Perincian Jumlah Karyawan.....	95
Tabel 8.1	Angsuran Pengembalian Modal.....	101
Tabel 8.2	Kesimpulan Hasil Analisa Ekonomi.....	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik Data Impor BPA tahun 2013-2017.....	10
Gambar 2.2	Mekanisme Reaksi Pembentukan Bisfenol-A.....	13
Gambar 3.1	Peta Rencana Kawasan Strategis Kabupaten Batang.....	15
Gambar 3.2	Peta Lokasi Pendirian Pabrik.....	15
Gambar 3.3	Layout Pabrik Pembuatan Bisfenol-A.....	19
Gambar 3.4	Tata Letak Peralatan.....	20
Gambar 7.1	Struktur Organisasi Perusahaan.....	98
Gambar 8.1	Grafik <i>Break Event Point</i>	105

DAFTAR NOTASI

1. COOLER, HEATER, REBOILER, KONDENSOR

A_o	: Area perpindahan panas, m^2
a''	: <i>External surface area</i> , m^2
D_b	: Diameter <i>bundle</i> , m
D_{rb}	: Diameter <i>reboiler</i> , m
D_s	: Diameter <i>shell</i> , m
g	: Percepatan gravitasi lokal
G_s	: Laju alir massa <i>shell</i> , $kg/(m^2 \cdot s)$
h_i	: Koefisien perpindahan panas bagian dalam, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
h_o	: Koefisien perpindahan panas bagian luar, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
h_{oc}	: Koefisien perpindahan panas ideal bagian luar, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
j_f	: Faktor friksi
j_H	: Faktor perpindahan panas
k	: Konduktivitas termal, $W/m \cdot ^\circ C$
L	: Panjang <i>tube</i> pipa, m
λ	: Panas laten, kJ/kg
LMTD	: <i>Logaritmik Mean Temperature Difference</i> , $^\circ C$
N_p	: Jumlah <i>pass</i>
N_t	: Jumlah <i>tube</i>
P_T	: <i>Tube pitch</i> , m
ΔP	: Penurunan tekanan total <i>shell</i> , bar
ΔP_t	: Penurunan tekanan pada <i>tube</i> , bar
ID	: <i>Inside</i> diameter, m
OD	: <i>Outside</i> diameter, m
Q	: Beban panas <i>heat exchanger</i> , W
R_D	: <i>Fouling</i> total, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
Re	: Bilangan Reynold, tak berdimensi
S	: Specific gravity
T_1, T_2	: Temperatur fluida panas inlet, outlet, $^\circ C$

t_1, t_2 : Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °C
 U : Overall coefficient, W/m².°C
 U_C, U_o : Clean overall coefficient, Calculated overall coefficient, W/m².°C
 μ : Viskositas, Ns/m²

2. KOLOM DESTILASI

P : Tekanan, atm
 T : Temperatur, °C
 α : Relatif volatilitas
 N_m : Stage minimum
 L/D : Refluks
 N : Stage/tray
 m : Rectifying section
 p : Stripping section
 F_{LV} : Liquid-vapor flow factor
 U_f : Kecepatan flooding, m/s
 U_v : Volumetric flowrate, m³/s
 A_n : Net area, m²
 A_c : Cross section/luas area kolom, m²
 D_c : Diameter kolom, m
 A_d : Downcomer area, m²
 A_a : Active area, m²
 l_w : Weir length, m
 A_h : Hole area, m²
 h_w : Weir height, mm
 d_h : Hole diameter, mm
 L_m : Liquid rate, kg/det
 h_{ow} : Weir liquid crest, mm Liquid
 U_h : Minimum design vapor velocity, m/s
 Co : Orifice coefficient
 h_d : Dry plate drop, mm Liquid
 h_r : Residual Head, mm Liquid

ht	: Total pressure drop, mm Liquid
hap	: Downcomer pressure loss, mm
Aap	: Area under apron, m ²
Hdc	: Head loss in the downcomer, mm
hb	: Backup di Downcomer, m
tr	: Check resident time, s
θ	: Sudut subintended antara pinggir plate dengan unperforated strip
Lm	: Mean length, unperforated edge strips, m
Aup	: Area of unperforated edge strip, m ²
Lcz	: Mean length of calming zone, m
Acz	: Area of calming zone, m ²
Ap	: Total area perforated, Ap
Aoh	: Area untuk 1 hole, m ²
t	: Tebal dinding, cm
D	: Diameter tanki, m
r	: Jari-jari tanki, m
S	: Tekanan kerja yang diizinkan, atm
C _c	: Korosi yang diizinkan, m
E _j	: Efisiensi pengelasan
OD	: Diameter luar, m
ID	: Diameter dalam, m
E _{mV}	: Efisiensi tray, %
ρ	: Densitas, kg/m ³
μ	: Viskositas, N.s/m ²
FA	: Fractional Area
He	: Tinggi tutup elipsoidal, m
Ht	: Tinggi vessel, m

3. POMPA

A	: Area alir pipa, in ²
D _{opt}	: Diameter optimum pipa, in
f	: Faktor friksi
g	: Percepatan gravitasi, ft/s ²

g_c	: Konstanta percepatan gravitasi, ft/s^2
H_f	: Total friksi, ft
H_{fs}	: Friksi pada permukaan pipa, ft
H_{fc}	: Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H_{fe}	: Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H_{ff}	: Friksi karena <i>fitting</i> dan <i>valve</i> , ft
H_d, H_s	: <i>Head Discharge, suction</i> , ft
ID	: <i>Inside</i> diameter, in
OD	: <i>Outside</i> diameter, in
K_c, K_e	: <i>Contaction, ekspansion contraction</i> , ft
L	: Panjang pipa, m
L_e	: Panjang ekuivalen pipa, m
NPSH	: <i>Net Positive Suction Head</i> , ft . lbf/ lb
P uap	: Tekanan uap, psi
Q_f	: Laju alir volumetrik, ft^3/s
Re	: Reynold Number, dimensionless
V_s	: <i>Suction</i> velocity, ft/s
V_d	: <i>Discharge</i> velocity, ft/s
BHP	: <i>Brake Horse Power</i> , HP
MHP	: <i>Motor Horse Power</i> , HP
ΔP	: Differential <i>pressure</i> , psi
ε	: <i>Equivalent roughness</i> , ft
η	: Efisiensi pompa
μ	: Viskositas, kg/m.hr
ρ	: Densitas, kg/m^3

4. REAKTOR

a''	: <i>Flow area</i> , m^2
C	: <i>Corrosion</i> maksimum, m
C_{AO}	: Konsentrasi reaktan mula-mula, kmol/m^3
D_S	: Diameter <i>shell</i> , m
d_p	: Diameter katalis, m
E_J	: <i>Joint</i> efisiensi

F_{AO}	: Jumlah feed mula-mula, kmol/jam
Head	: Tinggi <i>Head</i> , m
ID	: Diameter dalam, m
OD	: Diameter luar, m
k	: Konstanta kecepatan reaksi, m ³ /kmol s
L	: Tinggi reaktor, m
P	: Tekanan desain, bar
Q_f	: Volumetrik <i>flowrate</i> , m ³ /jam
r_i	: Jari-jari <i>Vessel</i> , m
S	: <i>Working stress Allowable</i> , N/m ²
t	: Tebal dinding tanki, m
T	: Temperatur operasi, K
V_k	: Volume katalis, m ³
V_R	: Volume reaktor, m ³
V_t	: Volume tanki, m ³
W	: Laju alir massa, kg/jam
W_k	: Massa katalis, kg
X	: Konversi
μ	: Viskositas, kg/m.hr
ρ	: Densitas, kg/m ³
t	: Waktu tinggal, s
ϕ	: porositas katalis

5. ACCUMULATOR

D	: Diameter
L, L_T	: Panjang Ellipsoidal, total
t_h, t_s	: Ketebalan Dinding Bagian <i>Head</i> , silinder, m
V_e, V_s	: Volume elipsoidal, silinder
V_t	: Kapasitas

6. TANGKI, SILO TANK

C	: <i>Allowable Corrosion</i> , m
D	: Diameter tanki, m

E	: <i>Joint</i> efisiensi
h	: Tinggi <i>Head</i> , m
H	: Tinggi silinder tanki, m
H _t	: Tinggi total tanki, m
P	: Tekanan, atm
S	: <i>Allowable</i> stress, psi
t	: Tebal dinding tanki, m
V _h	: Volume <i>Head</i> , m ³
V _s	: Volume silinder, m ³
V _t	: Volume tanki, m ³
W	: Laju alir massa, kg/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³
σ	: Tegangan Permukaan, N/m
n	: Kecepatan putaran pengaduk, rpm
r _B	: Jarak <i>Baffle</i> , m
H _L	: Tinggi <i>liquid</i> , m
H _i	: Tinggi Impeller, m
D _i	: Diameter Impeller, m
Q	: Lebar daun impeller, m
L	: Panjang Daun Impeller, m
W	: Lebar <i>Baffle</i> , m
N	: Jumlah pengaduk

7. BELT CONVEYOR DAN BUCKET ELEVATOR

f	: Faktor keamanan, %
W _s	: Laju alir massa, kg/jam

8. CRYSTALLIZER

C	: Corrosion maksimum, m
D	: Diameter vessel minimum, m
D _i	: Diameter impeller. M
E	: Joint efisiensi
H _i	: Tinggi impeller, m

H_l	: Tinggi Liquid, m
H_t	: Tinggi vessel, m
h_l	: Koefisien perpindahan panas fluida, Btu/ft. $^{\circ}$ F.hr
LMTD	: Logaritmic Mean Temperature Difference, $^{\circ}$ F
N_o	: Putaran Pengaduk, rps
N_T	: Turbin Impeller
OD	: Outside Diameter, m
P	: Power Pengadukan, Hp
S	: Working stress allowable, psi
t_t	: Tebal Tangki, m
U_c	: Clean overall coefficient, Btu/ft. $^{\circ}$ F.hr
U_D	: Design overall coefficient, Btu/ft. $^{\circ}$ F.hr
V_t	: Volume vessel, m 3
V_e	: Volume Ellipsoidal, m 3
W_b	: Lebar baffle, m
ρ	: Densitas, kg/m 3
μ	: Viskositas, cP
ρ_l	: Densitas liquid, kg/m 3

9. CENTRIFUGE

D_b	: Diameter bowl, in
F_c	: Gaya sentrifugal, lbf
n	: Kecepatan putaran, rpm
P	: Daya motor, Hp
Q_v	: Laju alir volumetric massa, m 3 /jam
ρ	: Densitas, kg/m 3

10. FAN

A	: Inside section area, ft 2
D_{opt}	: Diameter optimum, in
D_i	: Diameter pipa, ft
ID	: Inside diameter, ft
OD	: Outside diameter, ft

P : Power, Hp
Q_f : Volumetric flowrate, ft³/s
V : Kecepatan udara, ft/s
W : Kapasitas, lb/hr

11. ROTARY DRYER

C_p : Kapasitas panas udara, kkal/kg°C
D : Diameter dryer, m
G_s : Jumlah udara yang digunakan, lb/jam
L : Panjang dryer, m
N : Jumlah putaran
P : Power dryer, HP
S_s : Jumlah produk yang dikeringkan, lb/jam
T₁ : Temperatur umpan masuk, °F
T₂ : Temperatur umpan keluar, °F
T_{G1} : Temperatur udara masuk, °F
T_{G2} : Temperatur udara keluar, °F

12. SCREW CONVEYOR

ρ : Densitas bahan, lb/ft³
W_s : Laju alir massa, kg/jam

13. SILO

C : Faktor korosi, in
D : Diameter *shell*, ft
D : Diameter ujung konis, ft
E : *Welded joint efficiency*
f : *Allowance stress*, psi
h : Tinggi silo, ft
G : Laju Alir Massa, kg/s
g : Percepatan Gravitasi, m/s²
P : Tekanan, atm
T : Temperatur, K
V_t : Volume tangki, m³

W_s : Laju alir massa, kg/jam

α : *Angle of repose*

ρ : Densitas, kg/m³

θ : Sudut Silo

14. DIMENSIONLESS NUMBER

N_{Re} : Reynold Number

Sc : Schmidt Number

jH : Faktor perpindahan panas

f : Friction *factor*

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Perhitungan Neraca Massa.....	110
Lampiran 2.	Perhitungan Neraca Panas.....	152
Lampiran 3.	Perhitungan Spesifikasi Peralatan.....	241
Lampiran 4.	Perhitungan Ekonomi.....	369

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan di sektor ekonomi yang sedang giat dikembangkan oleh pemerintah untuk mencapai kemandirian perekonomian nasional adalah pembangunan sektor industri. Industri merupakan elemen penting untuk menggerakkan roda perekonomian dan meningkatkan kemampuan daya saing global. Salah satu sasaran pembangunan ekonomi adalah agar negara Indonesia mempunyai industri yang kuat dan maju sehingga dapat menjamin kelangsungan pembangunan nasional.

Pembangunan industri ini dikembangkan secara bertahap dan terpadu melalui peningkatan keterkaitan antar industri dan sektor ekonomi lainnya. Untuk menunjang pelaksanaan pembangunan industri di dalam negeri dilakukan pengurangan pemakaian bahan-bahan industri yang diproduksi di dalam negeri. Pembangunan ini diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan industri di negara Indonesia.

Pembangunan industri dalam negeri juga dapat mengurangi ketergantungan impor bahan kimia dari negara lain. Dimana pada tahun 2009 Bisfenol-A sudah diimpor sebanyak 291.222 kg (Badan Pusat Statistik, 2009-2013, Jakarta) dan akan terus bertambah jika dilihat tren kenaikan impor pertahunnya. Sementara teknologi pembuatan Bisfenol-A dari bahan baku acetone dan fenol sudah tersedia. Dari pertimbangan tersebut, dibuatlah suatu pra rencana pabrik pembuatan Bisfenol-A.

4,4'-Dihydroxy-2,2-diphenylpropane adalah suatu senyawa organik dengan rumus molekul $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})_2$ atau $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$ dan sering disebut sebagai bisfenol-A atau BPA. Bisfenol-A berupa kristal putih, yang berbau khas yang mirip fenol, beracun, dan stabil. Bisfenol-A memiliki beberapa kegunaan diantaranya adalah bahan baku plastik polikarbonat, epoksi resin, inhibitor dalam polimerisasi PVC, bahan isian, bahan pelapis kabel tahan suhu tinggi dan lain-lain.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Bisfenol A

Bisfenol A (BPA) adalah senyawa sintesis organik dengan rumus kimia $(\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4\text{OH})_2$ yang termasuk dalam kelompok turunan diphenylmethane dan bisfenol, dengan dua gugus hidroksifenil. Ini adalah padatan tak berwarna yang larut dalam pelarut organik, tetapi larut dalam air (0,344% berat pada 83°C). Bisfenol A (BPA) adalah perkusor untuk plastik penting, terutama polikarbonat dan resin epoksi tertentu, serta beberapa polisulfon. Plastik berbasis BPA jelas dan tangguh, dan dibuat menjadi berbagai barang konsumsi umum, seperti botol plastik termasuk botol air, wadah penyimpanan makanan, botol bayi, peralatan olahraga, CD, dan DVD. Resin epoksi yang berasal dari BPA digunakan untuk melapisi pipa air, sebagai pelapis di bagian dalam banyak kaleng makanan dan minuman dan dalam pembuatan kertas termal seperti yang digunakan dalam tanda terima penjualan. Pada tahun 2015 diperkirakan 4 juta ton bahan kimia yang diturunkan dari BPA diproduksi, menjadikannya salah satu bahan kimia dengan volume tertinggi yang diproduksi di seluruh dunia.

Bisfenol A disiapkan pada tahun 1891 oleh ahli kimia Rusia Aleksandr Dianin. Pada tahun 1934 pekerja di IG Farbenindustrie melaporkan penggantian BPA dan epichlorohydrin. Selama dekade berikutnya, pelapis dan resin yang berasal dari bahan serupa dijelaskan oleh para pekerja di perusahaan De Trey Freres di Swiss dan DeVoe dan Reynolds di AS. Pekerjaan awal ini menopang pengembangan resin epoksi, yang pada gilirannya memotivasi produksi BPA. Pemanfaatan BPA semakin diperluas dengan penemuan di Bayer dan General Electric pada plastik polikarbonat. Plastik ini pertama kali muncul pada tahun 1958, diproduksi oleh Mobay dan General Electric, dan Bayer.

Dalam hal kontroversi gangguan endokrin, ahli biokimia Inggris Edward Charles Dodds menguji BPA sebagai estrogen buatan pada awal 1930-an. Dia menemukan BPA 1/3700 sama efektifnya dengan estradiol. Dodds akhirnya mengembangkan senyawa yang serupa secara struktural, diethylstilbestrol (DES) yang digunakan sebagai obat estrogen sintetis pada wanita dan hewan hingga dilarang karena berisiko menyebabkan kanker, larangan penggunaan DES pada manusia terjadi pada tahun 1971 sedangkan pada hewan terjadi pada tahun 1979. BPA tidak pernah digunakan sebagai obat. Kemampuan BPA untuk meniru efek

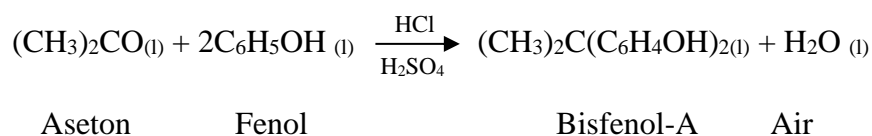
estrogen alami berasal dari kesamaan kelompok fenol pada BPA dan estradiol, yang memungkinkan molekul sintesis ini untuk memicu jalur estrogenik dalam tubuh. Biasanya molekul yang mengandung fenol mirip dengan BPA diketahui mengerahkan aktivitas estrogenik yang lemah, sehingga juga dianggap sebagai endokrin pengganggu (DE) dan kimia estrogenik. Xenoestrogen adalah kategori lain yang sesuai dengan BPA kimia karena kemampuannya untuk mengganggu jaringan yang mengatur sinyal yang mengontrol perkembangan reproduksi pada manusia dan hewan.

1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Bisfenol-A

Proses pembuatan bisfenol-A dengan bahan baku aseton dan fenol ada dua cara yaitu :

1.3.1. Dengan Katalis Asam

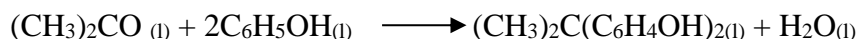
Pembuatan Bisfenol-A dengan bahan baku aseton dan fenol menggunakan katalis asam. Reaksi yang terjadi :



Campuran aseton dan fenol dengan perbandingan 1 : 4 s/d 1 : 12 dikontakkan dengan HCl pekat atau 2H₂SO₄ 70% di dalam reaktor RATB. Energi aktivasi reaksi pembentukan Bisfenol A dengan katalis asam sebesar 19 kkal/mol. Katalis H₂SO₄ jarang digunakan (hanya untuk pabrik skala kecil) karena akan mengalami kesulitan dalam pemisahan dibanding dengan katalis HCl. Kondisi pada pembentukan Bisfenol A dengan katalis asam pada suhu 30-50°C dengan konversi 50%. Proses katalis asam membutuhkan pemurnian produk dan katalis dari produk samping. Katalis asam yang berfase cair sangat korosif sehingga desain alat-alat proses relatif lebih mahal (Mc Ketta, 1982).

1.3.2. Proses Ion Exchange

Proses ini menggunakan katalis padat *polystyrene-divinilbenzene sulfonated* resin yang derajat keaktifannya lebih ditingkatkan dengan grup mercapto (mengandung gugus-SH). Reaksi yang terjadi:

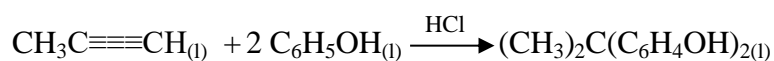


Aseton Fenol Bisfenol-A Air

Campuran aseton dan fenol (berlebih) diumpankan ke dalam reaktor fixed bed yang berisikan katalis padat. Hasil reaktor dipisahkan dari produk samping untuk mendapatkan produk BPA yang murni. Kemurniannya dapat mencapai lebih 90%. Pembentukan Bisfenol A dengan menggunakan ion exchange memiliki kelebihan yaitu tidak menimbulkan korosi pada peralatan proses dan proses pemurnian lebih mudah.

1.3.3. Bisfenol A dari Propine

Pembuatan Bisfenol A dapat pula dengan menggunakan bahan baku selain aseton. Bahan baku tersebut adalah propine (metil asetilin) dan fenol. Reaksi yang terjadi :



Proses pembuatan Bisfenol A dengan cara ini digunakan secara semi komersial di Rusia tetapi konversi yang diperoleh tidak sebaik bila menggunakan aseton sebagai bahan baku (Mc Ketta, 1982).

1.4. Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku dan Produk

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan Bisfenol A adalah aseton dan fenol.

1.4.1. Spesifikasi Bahan Baku

1) Aseton

a) Sifat Fisis (Yaws, 1999)

Rumus Molekul : CH_3COCH_3

Wujud : Cair tidak berwarna

Berat Molekul : 58,08 g/gmol

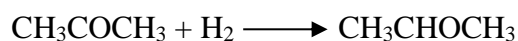
Spesific Gravity : 0,791

Titik Leleh : -94°C

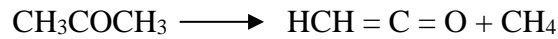
Titik Didih (1 atm) : $56,44^\circ\text{C}$

b) Sifat Kimia (Kirk and Othmer, 1998)

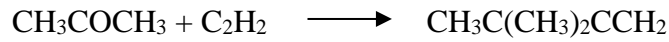
1) Dengan proses dehidrogenasi membentuk isopropil alkohol. Reaksi :



Dengan proses pirolisa akan membentuk metana. Reaksi :



2) Aseton dapat dikondensasi dengan asetilen membentuk 2-metil-3 butinediol, suatu *intermediate* untuk isoprene. Reaksi :



2) Fenol

a) Sifat Fisis (Yaws, 1999)

Rumus Molekul : $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$

Wujud : padat, kristal, putih

Berat Molekul : 94,11 g/gmol

Spesific gravity : 1,057

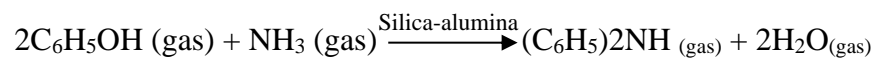
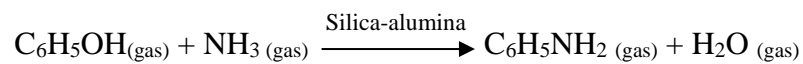
Titik Leleh (1 atm) : 42°C

Titik Didih (1 atm) : 181,99°C

b) Sifat Kimia (Kirk and Othmer, 1998)

1) Reaksi dengan ammonia menghasilkan aniline dan *dyphenilamine*

Reaksi :



2) Disintesis pertama kali dari sulfonasi benzene dan hidrolisis sulfonate.

3) Saat sekarang banyak disintesis dari proses cumene dimana cumene direaksikan dengan oksigen membentuk *cumene hydroperoxide*.



1.4.2. Spesifikasi Produk

1) Bisfenol A

a) Sifat Fisis (Yaws, 1999)

Rumus Molekul : $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$

Wujud : padat, putih

Berat Molekul : 228,29 g/gmol

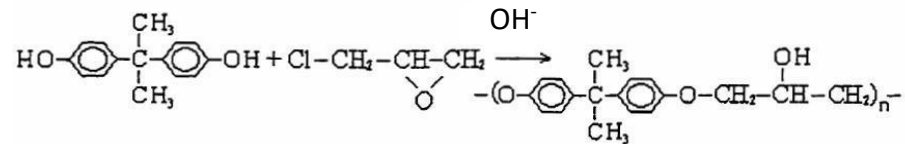
Spesific Gravity : 1,195

Titik Leleh : 156°C

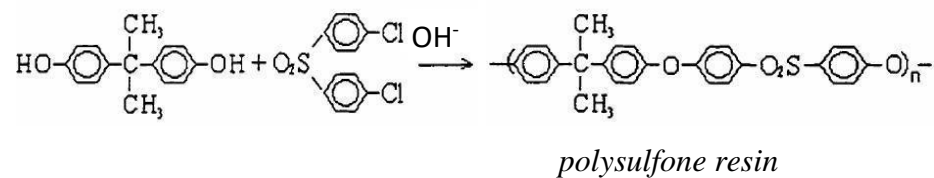
Titik Didih (1 atm) : 360,65°C

b) Sifat Kimia (Perry, 2008)

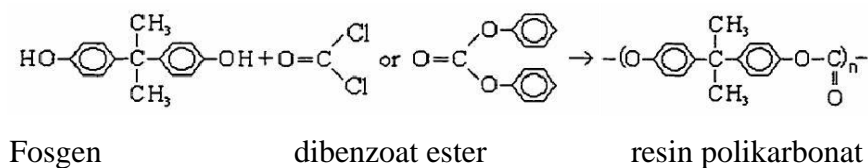
- 1) Reaksi kondensasi antara Bisfenol A dan *epichlorohidrin* dengan rasio 1:1 pada suasana basa akan menghasilkan epoksi resin :



- 2) Bisfenol A bereaksi dengan *bis(4-chlorophenyl) sulfone* membentuk *polysulfone resin* :



- 3) Esterifikasi Bisfenol A dengan fosgen atau dibenzoat ester membentuk polikarbonat :



2) Air

- a) Sifat Fisis (Perry, 1997)

Rumus Molekul : H₂O

Wujud : cair

Berat Molekul : 18 g/gmol

Titik didih (1 atm) : 100°C

b) Sifat Kimia

- 1) Merupakan senyawa kovalen polar
- 2) Merupakan elektrolit lemah dan mampu menghantarkan listrik karena terionisasi $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$
- 3) Bersifat netral
- 4) Dapat menguraikan garam menjadi asam dan basa

5) Pelarut yang baik

6) Bereaksi dengan oksida logam membentuk hidroksida yang bersifat basa dan bila bereaksi dengan oksida non-logam membentuk asam.

3) Isomer Bisphenol-A

Rumus molekul	: C ₁₅ H ₁₆ O ₂
<i>Chemical Name</i>	: o-[1-(4-hydroxyphenyl)-1-methylethyl]phenol
Nama lain	: 2,4'-Bisphenol A
Titik Leleh	: 111 ⁰ C
Titik Didih	: 381.8 ⁰ C
Densitas	: 1,143 gr/cm ³

1.4.3. Spesifikasi Katalis

Amberlyst™ 31 WET Industrial Grade Strongly Acidic Catalyst

<i>Physical form</i>	: Amber spherical beads
<i>Ionic form as shipped</i>	: Hydrogen
<i>Concentration of acid sites</i>	: ≥ 1,35 eq/L ≥ 4,8 eq/kg
Porositas	: 0,36
<i>Bulk density</i>	: 600 g/l

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2019. *Data Ekspor dan Impor Bisphenol-A*. (Online). www.data.un.org. (Diakses pada 30 September 2019).
- _____. 2020. *BKPM: Kawasan Industri Batang Kejar Target Pembangunan Tarik Investor*. (Online). <https://www.antaranews.com/>. (Diakses pada 18 Agustus 2020).
- _____. 2020. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Batang*. (Online). <https://www.portal.batang.go.id/>. (Diakses pada 17 Agustus 2020).
- _____. 2020. *Menperin: Lokasi Kawasan Industri Terpadu Batang Strategis*. (Online). <https://money.kompas.com/>. (Diakses pada 17 Agustus 2020).
- _____. 2020. *Spot and Contract prices for the polymer industry in the CIS countries*. (Online). www.mrcplast.com. (Diakses 18 Agustus 2020).
- Coulson, J.M .1983.“*Chemical Engineering*”, Auckland, Mc. Graw Hill, International Student Edition, Singapore
- Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. United States of America: Prentice-Hall International.
- Hamzah, I. dan Sukadana, G.I. 2010. Pantai Utara Kabupaten Batang Sebagai Alternatif Calon Tapak PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*. 12(1):56-65.
- Holland, F.S., and Chapman, F.S. 1966. *Liquid Mixing and Processing*. New York: Lever Brothers Company
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill: New York.
- Kirk, R.E, and Othmer, D.F., and John Wiley.1998. *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3rd ed. New York
- Ludwig, E.E. 1982. “*Aplied Procees Design For Chemical and Petrochemical Plant*” 2nd Edition, Volume 1: Gulf Publishing Co: Texas.
- McCabe, W. L. 1995. *Unit Operation of Chemical Engineering*. McGraw-Hill: New York.
- Mc Ketta, Jhon J. 1982. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design Volume 14*. New York

- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook 12th Edition*. Oklahoma:University of Tulsa.
- Moran, M.J. dan Shapiro, H.N. 2006. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics Fifth Edition*. John Wiley & Sons, Inc:England.
- Peters, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill: New York.
- Perry, R.H., and Green, D.W. 2008. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 8th ed. New York: McGraw-Hill
- Perry, R.H., and Green, D.W. 1997. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 6th ed. New York: McGraw-Hill
- Perry, R.H., and Green, D.W. 1934. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 1th ed. New York: McGraw-Hill
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. United States of America:The McGraw Hill Companies.
- Prokop, Zdenek. 2004. *Bisphenol A Synthesis-modeling of industrial reactor and catalyst deactivation*, pages 77-83.
- Rohm and Hass Company. 2006. *AMBERLYSTTM 31 WET Industrial Grade Strongly Acidic Catalyst*. (Online). www.lenntech.com. (Diakses pada 18 September 2020).
- Sinnot, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering, Vol. 6 Fourth Edition: Chemical Engineering Design*. Elsevier Butterworth-Heinemann: Oxford.
- Smith, J.M., dan Van Ness, H.C. 1975. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd Ed*. New York: McGraw-Hill Education
- The Engineering Toolbox. 2020. *Engineering ToolBox*. (Online). <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Diakses pada 1 September 2020).
- Treyball, R. E. 1987. *Mass Transfer Operation, Reissue Edition*. McGraw-Hill Book: New York.
- Ulrich, G. G. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Willey and Sons : New York
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth Heinemann: New York.

Yadav, G.D. dan Kirthivasan, N. 1996. Synthesis of bisfenol-A : comparison of efficacy of ion exchange resin catalysts vis-à-vis heteropolyacid supported on clay and kinetic modelling. *Applied Catalysis A: General* 154 (1997): 29-53.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill Book: New York.

Van Winkle, Matthew. 1967. *Distillation*. New York: McGraw-Hill Book Company