

SKRIPSI

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN
NITROBENZENA KAPASITAS PRODUKSI
95.000 TON PER TAHUN**



Devy Putri Utami
NIM 03031181419033

Nur Aida Komala
NIM 03031281419149

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018**

SKRIPSI

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENA KAPASITAS PRODUKSI 95.000 TON PER TAHUN

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



Devy Putri Utami
NIM 03031181419033

Nur Aida Komala
NIM 03031281419149

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018**

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN
NITROBENZENA KAPASITAS
95.000 TON PER TAHUN**

SKRIPSI


Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:


**Devy Putri Utami
NIM. 03031181419033
Nur Aida Kornala
NIM. 03031281419149**

Indralaya, Juli 2018

Pembimbing


Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 195511081984032001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

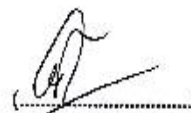
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Nitrobenzena Kapasitas 95.000 ton per tahun" telah dipertahankan **Devy Putri Utami dan Nur Aida Komala** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2018.

Palembang, Juli 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

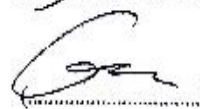
1. Ir. Hj. Rosdiana Mocksin, M.T.

NIP. 195608311984032002



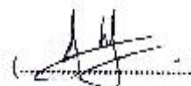
2. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 195511081984032001



3. Elda Melwijs, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197505112000122001




4. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP. 197503261999032002



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful DEA
NIP. 195810031986031003



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:


Nama : Devy Putri Utami
NIM : 03031181419033
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Nitrobenzena
Kapasitas 95.000 ton per tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Nur Aida Komala didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

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

Palembang, Juli 2018




Devy Putri Utami
NIM. 03031181419033

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS



Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Nur Aida Komala
NIM : 03031281419149
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Nitrobenzena
Kapasitas 95.000 ton per tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Devv Putri Utami didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

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

Palembang, Juli 2018




Nur Aida Komala

NIM. 03031281419149

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Nitrobenzena Kapasitas Produksi 95.000 Ton/Tahun”.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam laporan ini mencakup perencanaan pabrik dan perancangan alat-alat proses pra rencana pabrik pembuatan nitrobenzena dengan pertimbangan kelayakan berdasarkan analisa ekonomi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membacanya.

Indralaya, Juli 2018

Penulis

RINGKASAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENA KAPASITAS 95.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, 10 Juli 2018

Devy Putri Utami dan Nur Aida Komala; Dibimbing oleh Elda Melwita

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xv + 325 halaman, 5 tabel, 6 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Pabrik Pembuatan Nitrobenzena berkapasitas 95.000 ton/tahun ini direncanakan didirikan tahun 2022 berlokasi di daerah Lomanis, Cilacap, Jawa Tengah dengan luas area 7 Ha. Proses pembuatan Nitrobenzena ini mengacu pada US Patent No. 9284255 B2. Reaksi berlangsung pada reaktor CSTR, menggunakan katalis asam sulfat pada temperatur 132°C dan tekanan 4,42 atm. Untuk membangun dan mengoperasikan pabrik ini akan didirikan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan yang dipilih adalah *line and staff* dengan total karyawan 112 orang. Pabrik pembuatan nitrobenzena ini layak didirikan karena telah memenuhi persyaratan parameter ekonomi sebagai berikut:

- *Total Capital Investment* (TCI) = US\$ 21.333.218,717
- *Total Production Cost* (TPC) = US\$ 214.148.988,001
- Total Penjualan (SP) = US\$ 242.250.000,000
- *Annual Cash Flow* = US\$ 21.604.224,029
- *Pay Out time* = 1,32 tahun
- *Rate of Return* (ROR) = 84,409 %
- *Break Event Point* (BEP) = 32,360 %
- *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci : Nitrobenzena, Analisa Ekonomi, Pabrik, Spesifikasi Peralatan

Kepustakaan : 40 (1978-2018)

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan, serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun material. Penulis mengucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT dengan segala rahmat dan karunia-Nya yang memberikan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua kami tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, perhatian, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. H. M. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Leily Nurul Komariah, S.T , M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen dan Staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
7. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini turut memberi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Inderalaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	viii
UCAPAN TERIMAKASIH	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I.PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Sejarah dan Perkembangan.....	2
1.3.Proses Pembuatan Nitrobenzene.....	3
1.4.Sifat-sifat Fisika dan Kimia	7
BAB II.PERENCANAAN PABRIK	14..
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	14
2.2. Pemilihan Bahan Baku.....	15
2.3. Penentuan Kapasitas.....	15
2.4. Pemilihan Proses.....	17
2.5. Uraian proses	19
BAB III.LOKASI DAN LETAK PABRIK	21
3.1. Lokasi Pabrik	21
3.2. Tata Letak Pabrik	23
3.3. Luas Area	25

BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	27
4.1. Neraca Massa	27
4.2. Neraca Panas	32
BAB V. UTILITAS	37
5.1. Unit Pengadaan Steam.....	37
5.2. Unit Pengadaan Air.....	37
5.3. Unit Pengadaan Listrik.....	41
5.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	42
5.5. Refrigerant	44
BAB VI. SPESIFIKASI PERALATAN	46
BAB VII. ORGANISASI PERUSAHAAN	76
7.1. Bentuk Perusahaan	76
7.2. Struktur Organisasi.....	77
7.3. Tugas dan Wewenang	78
7.4. Jam Kerja	81
7.5. Penentuan Jumlah Pekerja.....	82
7.5.1. <i>Direct Operating Labor</i>	83
7.5.2. <i>Indirect Operating Labor</i>	84
BAB VIII. ANALISA EKONOMI	88
8.1. Keuntungan.....	89
8.2. Lama waktu pengembalian modal.....	90
8.2.1. Lama Pengembalian modal TCI.....	90
8.2.2. <i>Pay Out Time (POT)</i>	91
8.3. Total Modal Akhir.....	92
8.3.1. <i>Net Profit Over Total Life Of The Project (NPOLTP)</i>	92
8.3.2. <i>Total Capital Sink (TCS)</i>	93
8.4. Laju Pengembalian Modal.....	94
8.4.1. <i>Rate Of Return on Investment (ROR)</i>	94
8.4.2. <i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR)</i>	94
8.5. Break Even Point (BEP).....	95
8.5.1. Menggunakan Rumus.....	95
8.5.2. Menggunakan Grafik	96
8.6. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	98
BAB IX. KESIMPULAN	99

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Data Kebutuhan Nitrobenzena Indonesia.....	16
Tabel 7.1 Pembagian Jam Kerja Pekerja Non Staff.....	82
Tabel 7.2 Perincian Jumlah Karyawan.....	84
Tabel 8.1 Angsuran Pengembalian Modal.....	91
Tabel 8.2 Kesimpulan analiasa Ekonom	98

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Grafik Kebutuhan Nitrobenzena.....	16
Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik.....	25
Gambar 3.2. Tata Letak Peralatan.....	26
Gambar 7.1. <i>Operating Labor Requirements For Chemical Process Industries</i>	83
Gambar 7.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	87
Gambar 8.1. Grafik Break Event Point.....	97

DAFTAR NOTASI

ACCUMULATOR

C	=	Allowable corrosion, m
E	=	Efisiensi pengelasan, dimensionless
ID, OD	=	Diameter dalam, Diameter luar, m
L	=	Panjang accumulator, m
P	=	Tekanan operasi, atm
S	=	Working stress yang diizinkan, atm
T	=	Temperatur operasi, K
t	=	Tebal dinding accumulator, m
V	=	Volume total, m ³
V _s	=	Volume silinder, m ³
ρ	=	Densitas, kg/m ³

COOLER / EVAPORATOR / CONDENSER / REBOILER / HEATER

A	=	Area perpindahan panas, ft ²
a _a , a _p	=	Area pada annulus, inner pipe, ft ²
a _s , a _t	=	Area pada shell, tube, ft ²
a''	=	external surface per 1 in, ft ² /in ft
B	=	Baffle spacing, in
C	=	Clearance antar tube, in

D	=	Diameter dalam tube, in
D_e	=	Diameter ekivalen, in
f	=	faktor friksi, ft^2/in^2
G_a	=	Laju alir massa fluida pada annulus, lb/jam. Ft^2
G_p	=	Laju alir massa fluida pada inner pipe, lb/jam. Ft^2
G_s	=	Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam. Ft^2
G_t	=	Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam. Ft^2
g	=	percepatan gravitasi
h	=	Koefisien perpindahan panas, Btu/jam $\text{ft}^2 \text{ F}$
$h_i h_o$	=	Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube,
j_h	=	Faktor perpindahan panas
k	=	Konduktivitas termal, Btu/jam $\text{ft}^2 \text{ F}$
L	=	Panjang tube, pipa, ft
LMTD	=	Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
N	=	jumlah Baffle
N_t	=	Jumlah tube
P_T	=	Tube pitch, in
ΔP_t	=	Penurunan tekanan pada tube, Psi
ΔP_s	=	Penurunan tekanan pada shell, Psi
ID	=	Inside Diameter, ft
OD	=	Outside Diameter, ft

ΔP_T	=	Penurunan tekanan total pada tube, Psi
Q	=	Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
R_d	=	Dirt factor, Btu/jam ft ² F
Re	=	Bilangan Reynold
s	=	Spesific gravity
$T_1 T_2$	=	Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
$t_1 t_2$	=	Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
T_c	=	Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t_c	=	Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U_c, U_d	=	Clean overall coefisient, design overall coefisient, Btu/jam ft ² F
W	=	Laju alir massa fluida panas, lb/jam
w	=	Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	=	viskositas, cp

DEKANTER

D	=	Diameter dekanter, m
L	=	Panjang dekanter, m
t	=	Waktu pemisahan, detik
Q_a, Q_b	=	Volumetric flowrate lapisan bawah, lapisan atas, m ³ /jam
V_t	=	Volume total dekanter, m ³
V_e	=	Volume ellipsoidal, m ³

W_a, W_b	=	Laju alir massa lapisan bawah, lapisan atas, kg/jam
Z_T	=	Tinggi zat cair, m
Z_{A1}	=	Tinggi zat cair <i>light phase</i> , m
Z_{A2}	=	Tinggi zat cair <i>heavy phase</i> , m
ρ_a, ρ_b	=	Densitas lapisan bawah, lapisan atas, kg/m ³
μ_a, μ_b	=	Viskositas lapisan bawah, lapisan atas, cP

KOLOM DESTILASI

A	=	Vessel area, m ²
A_a	=	Active area, m ²
A_d	=	Area downcomer, m ²
A_h	=	Area, hole, m ²
A_n	=	Area tower, m ²
C	=	Faktor korosi yang diizinkan, m
C_{VO}	=	Dry orifice coefficient, dimensionless
C_{sb}	=	Kapasitas uap, m/det
D	=	Diameter tower, m
D_s	=	Designment space, m
E	=	Joint efisiensi, dimensionless
E_o	=	Overall tray pengelasan, dimensionless
e	=	Total entrainment, kg/det

F	=	Faktor flooding, dimensionless
F_{LV}	=	Parameter aliran, dimensionless
f	=	Faktor friksi
H	=	Tinggi tower, m
HK	=	Heavy Component
h_a	=	Areated liquid drop, cm
h_f	=	Height of froth, cm
h_{ow}	=	Height liquid crast over weir, cm
h_w	=	Tinggi weir, cm
L	=	Tinggi liquid, m
LK	=	Light component
P	=	Tekanan desain, atm
Q	=	Liquid bolumeterik flowrate, m/det
Q_v	=	Vapor bolumeterik flowrate, m/det
R	=	Rasio refluks, dimensionless
R_m	=	Rasio refluks minimum
S	=	Working stress, atm
S	=	Plate teoritis pada aktual refluks
S_m	=	Stage teoritis termasuk reboiler
U_v	=	Vapour velocity, m/det
ρ_g	=	Densitas gas, kg/m^3

ρ_l = Densitas liquid, kg/m³

NEUTRALIZER

C = Clearance (gap antara baffle dengan dinding),m

D = Diameter,in

D_d = Diameter batang penyangga impeller, m

D_t = Diameter tangki, m

D_I = Diameter pengaduk, m

F_v = Laju alir volumetrik, m³/jam

h_D = Tinggi dish, in

h_L = Tinggi liquid, ft

J = Lebar baffle,m

N_{Re} = Bilangan Reynold

t_b = Tebal baffle,m

t_i = Tebal impeller, m

W = Lebar impeller, m

Z_I = Tinggi impeller dari dasar tangki, m

τ = Waktu tinggal, detik

μ_L = Viskositas campuran, cP

Z_I = Tinggi impeller dari dasar tangki, m

POMPA

A	=	Area alir pipa, in ²
ID	=	Diameter optimum dalam pipa baja, in
Di opt	=	Diameter optimum pipa, in
Gc	=	Percepatan grafitasi, ft/
Hf suc	=	Total friksi pada suction, ft
Hf dis	=	Total friksi pada Discharge, ft
Hd	=	Discharge head, ft
Hs	=	Suction head, ft
H _{fs}	=	Friksi pada permukaan pipa, ft
H _{fc}	=	Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
Kc	=	Contraction loss, ft
Ke	=	Expansion loss, ft
L	=	Panjang pipa, m
Le	=	Panjang ekivalen pipa, m
ΔP	=	Total static head, ft
V _L	=	Volume fluida, lb/jam
V	=	Kecepatan alir, ft/det
Ws	=	Work shaft, ft lbf/lbm
f	=	Faktor friksi
ρ	=	Densitas, lb/ft ³

μ	=	Viskositas, cp
ε	=	Ekivalen roughness, dimensionless
η	=	Efisiensi, dimensionless

REAKTOR

A_o	=	Luas area perpindahan panas coil, m ²
C	=	<i>Clearance</i> , m
C_{A0}	=	Konsentrasi awal umpan A masuk, kmol/m ³
C_{B0}	=	Konsentrasi awal umpan B masuk, kmol/m ³
C_p	=	<i>Specific heat capacity</i> , kJ/kg K
D_d	=	Diameter batang penyangga impeller, m
D_I	=	Diameter pengaduk, m
D_T	=	Diameter total reaktor, m
d_o	=	Diameter pipa coil, m
d_i	=	Inside diameter, m
E	=	Energi aktivasi
F_{A0}	=	Laju alir umpan, kmol/jam
g	=	Gravitasi, m/s ²
H_D	=	Tinggi tutup (dish), m
H_S	=	Tinggi shell, ft
H_B	=	Panjang baffle, m
H_L	=	Tinggi Liquid, m
h_I	=	<i>Tube side coefficient</i> , W/m ² °C

h_v	=	Koefisien perpindahan panas untuk dinding tangki/coil, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
J	=	Lebar baffle, m
k	=	Konstanta kecepatan reaksi
K_f	=	Konduktivitas termal, $W/m \text{ } K$
M_A	=	Berat molekul A, $kg/kmol$
M_B	=	Berat molekul B, $kg/kmol$
\dot{m}	=	Laju alir massa air dalam coil , Kg/s
N	=	Kecepatan putaran pengaduk, rps
N_{Re}	=	Reynold number
N_t	=	Jumlah pengaduk
<i>Offset 1</i>	=	Jarak baffle dari dasar tangki, m
<i>Offset 2</i>	=	Jarak baffle dari permukaan cairan, m
P	=	Tenaga Pengaduk, hp
Q	=	Debit aliran masuk reaktor, m^3/jam
R_g	=	Konstanta gas, $kJ/kmol.K$
$-r_a$	=	kecepatan reaksi, $kmol/m^3 \text{ } jam$
sf	=	Straight flange, in
t	=	Tebal dinding reaktor, m
t_b	=	Tebal baffle, m
t_i	=	Tebal impeller, m
U_o	=	<i>Overall heat transfer coefficient</i> , $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

u_t	=	<i>Tube velocity, m/s</i>
V	=	Volume reaktor, m^3
W	=	Lebar impeller, m
$WELH$	=	<i>Water Equivalent Liquid Height, ft</i>
Z_I	=	Tinggi impeller dari dasar tangki, m
ρ_L	=	Densitas campuran, kg/m^3
τ	=	Waktu tinggal, detik
μ_L	=	Viskositas campuran, cP
σ_{AB}	=	Diameter molekul rata-rata reaktan, Å

TANGKI

C	=	Tebal korosi yang diizinkan, m
D_T	=	Diameter tanki, m
E	=	Efisiensi penyambungan, dimensionless
H_s	=	Tinggi silinder, m
H_T	=	Tinggi tanki, m
h	=	Tinggi head, m
P	=	Tekanan operasi, atm
S	=	Working stress yang diizinkan, atm
t	=	Tebal dinding tanki, m
V_s	=	Volume silinder, m^3

V_e = Volume elipsoidal, m³

V_t = Volume tanki, m³

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN 1.PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	102
LAMPIRAN 2.PERHITUNGAN NERACA PANAS.....	131
LAMPIRAN 3.SPESIFIKASI PERALATAN.....	168
LAMPIRAN 4.PERHITUNGAN EKONOMI.....	318

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara yang sedang berkembang, perkembangan industri di Indonesia sangat pesat. Setiap tahunnya berdiri industri-industri baru yang berskala besar. Hal ini juga didukung oleh sumber daya alam dan sumber daya manusia yang sangat berlimpah di Indonesia. Dengan pemanfaatan yang lebih optimal, perkembangan industri tersebut akan semakin pesat lagi.

Salah satu industri yang berkembang pesat di dunia termasuk Indonesia adalah industri petrokimia. Perkembangan industri petrokimia selain akan memberi nilai tambah pada migas sebagai bahan bakunya juga akan mendorong beragamnya produk yang dihasilkan. Salah satu industri yang mempunyai kegunaan penting dan memiliki prospek yang cerah adalah senyawa aromatik seperti nitrobenzen.

Nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$) dengan nama lain nitrobenzide, nitrobenzol, mononitrobenzol, MNB, C.I. *solvent black 6*, *essence of mirbane*, *essence of myrbane*, *mirbane oil*, *oil of mirbane*, *oil of myrbane* atau yang sering dikenal dengan minyak nitrobenzol mirban ialah senyawa hasil nitrasi senyawa aromatik yaitu benzena dengan asam penitrasi baik asam campuran (asam nitrat dan asam sulfat) maupun asam nitrat saja. Senyawa ini mempunyai bentuk fisik berupa cairan berwarna kuning muda (pucat) dan mempunyai aroma seperti buah almond, serta mempunyai sifat sangat beracun bila terhisap dan terkena kulit.

Kebutuhan nitrobenzena di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat dengan berkembangnya industri-industri yang berbahan baku nitrobenzena di Indonesia. Selain itu nitrobenzena belum diproduksi di dalam negeri, sehingga untuk mencukupi kebutuhan di dalam negeri masih didatangkan dari luar negeri. Hal lain yang bisa dijadikan pertimbangan dalam pendirian pabrik nitrobenzen ini adalah dilihat dari aspek ekonominya, dimana banyaknya kebutuhan industri terhadap nitrobenzen, seperti sebagian besar nitrobenzene ($\pm 97\%$) merupakan bahan baku dalam pembuatan anilin dan dapat digunakan dalam industri farmasi

dan industri obat-obatan, pewarna, bahan celup, ataupun sebagai solvent, sehingga jika diproduksi dalam jumlah yang banyak akan mendapatkan keuntungan yang besar pula. Maka dari itu, di Indonesia memungkinkan untuk didirikan pabrik nitrobenzen.

1.2 Sejarah dan Perkembangan

Pembuatan senyawa nitro-aromatik paling awal didapatkan oleh Mitscherlich pada tahun 1834 dengan memperlakukan hidrokarbon yang berasal dari tar batubara dengan uap asam. Pada 1835, Laurent bekerja pada nitrasi naftalena, hidrokarbon aromatik murni yang tersedia pada waktu itu. Pada pertemuan tahunan di Inggris tahun 1838, Dale mengatakan bahwa senyawa nitro campuran berasal dari crude benzen. Tidak sampai 1845, Hofmann dan Muspratt melaporkan kerja yang sistematis pada nitrasi benzen untuk menghasilkan mono dan dinitrobenzen dengan menggunakan campuran asam nitrat dan asam sulfat. (Ullman,2005)

Produksi nitrobenzen skala kecil pertama kali didestilasi secara hati-hati untuk memberikan cairan berwarna kuning dengan bau almond pahit untuk dijual ke produsen sabun dan parfum sebagai essence. Jumlah senyawa alami nitro-aromatik sangat kecil; pertama kali yang diakui adalah kloramfenikol, senyawa yang diekstrak dari jamur tanah *Streptomyces venezuelas* dan diidentifikasi pada tahun 1949. Penemuan ini mendorong penyelidikan peran kelompok nitro di aktivitas farmakologi, setelah sebelumnya (1943) penemuan dari aktivitas antibakteri turunan nitrofurantoin. Banyak obat-obatan sintesis dan agrokimia mengandung gugus aromatik nitro, meskipun fungsi kelompok nitro tidak jelas. Sebagian besar senyawa nitro, atau turunannya, adalah zat perantara untuk pewarna, bahan kimia pertanian, farmasi, atau bahan kimia lainnya untuk bahan sintesis dan bahan peledak.(Ullmann, 2005)

Nitrobenzen, $C_6H_5NO_2$, merupakan cairan berwarna kuning pucat yang memiliki bau menyerupai almond. Tergantung pada kemurniannya, warnanya bervariasi dari kuning pucat sampai coklat kekuningan. Nitrobenzen pertama kali disintesis tahun 1834 dengan memperlakukan benzen dengan uap asam nitrat, dan

pertama kali diproduksi secara komersial di Inggris tahun 1856. Sebagian besar kegunaan nitrobenzen adalah sebagai bahan baku untuk produksi anilin, yang digunakan untuk pembuatan zat warna (pigment). Nitrobenzen digunakan sebagai solvent dalam pengolahan minyak, sebagai solvent dalam pembuatan eter selulosa dan asetat selulosa (sekitar 1.5%), dalam reaksi Friedel-Crafts untuk mempertahankan katalis dalam larutan (melarutkan aluminium klorida anhidrat sebagai hasil pada pembentukan kompleks) dan dalam pembuatan dinitrobenzen dan dinitroanilin (sekitar 0.5%).

Nitrobenzen juga digunakan untuk memproduksi berbagai produk lainnya, seperti para-aminofenol (PAP) dan bahan celup nigrosin. PAP terutama digunakan sebagai bahan pendukung untuk asetaminofen (parasetamol), sedangkan bahan celup nigrosin digunakan secara besar-besaran untuk pewarnaan hitam pada plastik, tinta, tekstil, dan semir sepatu. Dunlap (1981) melaporkan bahwa sebagian besar produksi anilin dan substitusi nitrobenzen lainnya dari nitrobenzen masuk ke pembuatan berbagai plastik monomer dan polimer (50%) dan bahan kimia karet (27%), dengan proporsi yang lebih kecil ke dalam sintesis hydroquinon (5%), pewarna dan zat perantara (6%), obat-obatan (3%), pestisida dan barang-barang khusus lainnya (9%).

Penggunaan nitrobenzen sebagian kecil dulunya digunakan sebagai agen penyedap, sebagai pelarut dalam menandai tinta dan logam, mebel, lantai dan semir sepatu, sebagai parfum, termasuk dalam sabun wangi, sebagai pewarna perantara, sebagai deodoran dan desinfektan, untuk pemurnian minyak pelumas dan sebagai agen penyedap. Hal ini tidak diketahui apakah masih dapat digunakan di beberapa negara sebagai pelarut di beberapa produk konsumen (misalnya, semir sepatu). (Othmer, 1991)

1.3 Macam-macam Pembuatan Nitrobenzen

Nitrobenzen secara komersial dihasilkan dengan cara nitrasi langsung pada benzen menggunakan campuran asam nitrat dan asam sulfat, biasanya disebut dengan asam campuran atau asam penitrasi, karena dua fase ini dibentuk dalam campuran reaksi, dan reaktan disalurkan antar zat tersebut, laju nitrasi

dikendalikan oleh perpindahan massa antar fase tersebut seperti kinetika kimia. Nitrobenzen dapat diproduksi baik secara kontinyu atau *batch*.

Macam –macam proses pembuatan nitrobenzen, diantaranya :

1. Proses Nittrasi Batch

Dengan proses batch, reaktor diisi dengan benzen, kemudian asam penitrasi (56-60% massa H_2SO_4 , 27-32% massa HNO_3 , dan 8-17% massa H_2O) ditambahkan secara perlahan dibawah permukaan benzen. Temperatur campuran dipertahankan 50-55°C dengan mengatur laju feed asam campuran dan sejumlah pendingin. Temperatur dapat dinaikkan kira-kira 90°C hampir akhir reaksi untuk menaikkan penyelesaian reaksi. Campuran reaksi diumpankan ke dalam separator dimana *spent acid* mengendap di dasar dan dikeluarkan.

Crude nitrobenzen dikeluarkan dari bagian atas separator dan dicuci dengan beberapa langkah dengan mengencerkan bahan pencuci, seperti sodium karbonat, sodium hidroksida, magnesium hidroksida, dan lain-lain, kemudian air. Tergantung pada kemurnian nitrobenzen yang diinginkan, produk dapat didestilasi. Biasanya *excess* benzen yang kecil digunakan untuk meyakinkan bahwa sedikit atau tidak asam nitrat yang menetap dalam *spent acid*. Waktu reaksi *batch* umumnya 2-4 jam, dan menghasilkan 95-98% massa berdasarkan pada benzen yang diisi.

Pemisahan nitrobenzene biasanya terjadi dalam dasar tangki timah berbentuk kerucut. Beban nitrator yang diizinkan untuk menetap di sini selama 4-12 jam, ketika *spent acid* diambil dari bagian bawah tangki timah dan dikirim ke tangki *spent acid* untuk pengendapan tambahan atau untuk perlakuan benzen yang selanjutnya untuk dinitrasi, dengan tujuan untuk mengekstrak sisa nitrobenzen. Nitrobenzen tersebut kemudian dikirim ke bagian penetralisir. Bak penetralisir dapat berupa bak timah berbentuk kerucut besarmengandung udara, yang digunakan untuk pengadukan nitrobenzene selama proses pencucian, atau ketel besi standar yang sama untuk nitrator dengan pengadukan *sleeve and propeller*. Vesel penetralisir dipersiapkan dengan air hangat, yang dikirimkan dari tong yang berdekatan, dan nitrobenzene dimasukkan ke dalamnya. Nitrobenzen ini diaduk sepenuhnya dan dihangatkan dengan uap baru selama 30 menit, atau sampai

netral, kemudian dibiarkan mengendap dengan periode yang sama. Air asam kemudian mengalir melalui bagian outlet menuju ke labirin di mana hampir semua nitrobenzen akan mengendap. Temperatur yang diberikan pencucian netalisir adalah 40-50°C dengan larutan natrium karbonat hangat, sampai alkali menjadi fenolftalein. (Othmer,1991)

2. Proses Nitration Kontinyu

Benzen dan asam penitration (56-65% massa H₂SO₄, 20-26 % massa HNO₃, dan 15-18% massa air) yang dimasukkan ke dalam nitrator, dapat dengan diaduk reaktor silinder dengan kumparan pendingin internal dan penukar panas eksternal.

Urutan dasar operasi untuk proses kontinyu adalah sama dengan proses batch; namun untuk tingkat produksi tertentu, ukuran nitrator jauh lebih kecil dalam proses kontinyu. Nitrator kontinyu berukuran 0,114-m³ (30-gal) kira-kira memiliki kapasitas produksi yang sama seperti reaktor batch 5.68-m³ (1500-gal). Nitration dalam proses kontinyu dapat berlangsung dengan penghilangan panas reaksi, seperti secara adiabatik, atau isothermal. (Othmer,1991)

a. Proses Kontinyu Adiabatik

Sebuah proses nitration adiabatik dikembangkan untuk produksi nitrobenzen. Metode ini perlu untuk menghilangkan panas reaksi dengan melakukan pendinginan yang berlebihan. Kelebihan panas dapat digunakan dalam tahap *reconcentration* asam sulfat. Keuntungan tambahan dari metode ini adalah pengurangan waktu reaksi 0,5-7,5 menit. Tahap nitration dilakukan pada suhu lebih tinggi dari suhu biasanya, yaitu 120-160°C. Karena kelebihan benzen digunakan, suhu yang lebih tinggi memungkinkan air yang akan dihilangkan sebagai azeotrop air-benzen. Air dipisahkan dan fase benzen, yang berisi sekitar 8% nitrobenzen, di-*recycle* kembali ke dalam reaktor. Asam sulfat kering kemudian digunakan kembali terus menerus. (Othmer,Vol.17)

Proses adiabatik mengintegrasikan nitration dengan konsentrasi asam sulfat, sehingga menggunakan panas nitration untuk mengonsentrasikan kembali spent asam sulfat. Hal ini dicapai oleh sirkulasi volume besar asam sulfat melalui nitrator, menyerap panas dari nitration tanpa kenaikan suhu yang tidak semestinya.

Spent acid kemudian terkonsentrasi di bawah vakum. Pada satu pengamatan bahwa aliran nitrobenzen dari separator digunakan untuk memanaskan umpan benzen. Namun, perawatan harus dilakukan sehingga suhu tidak pernah melebihi 190°C, di mana reaksi sekunder bisa mengakibatkan ledakan. Salah satu tindakan pencegahan keselamatan adalah pemasangan katup pelepas yang akan pecah sebelum suhu mendekati 190°C, sehingga memungkinkan pendidihan pada air dan benzen, akan menurunkan suhu reaktor.(McKetta,1989)

b. Proses Kontinyu Isotermal

Proses isotermal berbeda dari proses adiabatik hanya di bagian nitrasi. Dalam proses isotermal, biasanya minimal 2 nitrator bersusun seri yang digunakan sampai dengan 4 nitrator di pabrik besar. *Spent acid* dan *crude* nitrobenzen biasanya dipisahkan melalui pengendap gravitasi, tetapi dalam beberapa desain pemisahan sentrifugal digunakan. *Spent acid* dilucuti bebas dari nitrobenzen dan asam nitrat terlarut baik oleh uap *stripping* atau melalui benzen ekstraksi-prenitrasi. Hal ini kemudian di-*reconcentrate* dan di-*recycle* atau dikeluarkan. Pelucutan *spent acid* kadang-kadang diabaikan dalam pabrik-pabrik kecil. (McKetta, 1989)

3. Proses Reaktor Tubular

Reaktor aliran fase gas yang paling homogen adalah tubular. Nitrator juga dapat didesain sebagai reaktor tubular, misalnya, *tube-and-shell heat exchanger* dengan pendinginan yang tepat, melibatkan aliran turbulen. Umumnya, dengan reaktor tubular, campuran reaksi dipompa melalui reaktor dalam putaran *recycle* dan bagian campuran ditarik dan dimasukkan ke separator. Sedikit kelebihan benzen biasanya dimasukkan ke nitrator untuk memastikan bahwa asam nitrat dalam asam penitrasi dikonsumsi semaksimal mungkin dan untuk meminimalkan pembentukan dinitrobenzene. Suhu nitrator dijaga pada 50-100°C dengan memvariasikan jumlah pendinginan. Campuran reaksi mengalir dari nitrator ke separator atau sentrifuge di mana campuran tersebut dipisahkan menjadi dua tahap. Reaktor tubular yaitu, *plug flow reactor* (PFR) relatif mudah untuk mempertahankan (tidak ada bagian yang bergerak), dan biasanya

menghasilkan konversi tertinggi per volume reaktor dari beberapa reaktor aliran. Kerugian dari reaktor adalah *hotspot* dapat terjadi ketika reaksi eksotermis. Reaktor tubular umum ditemukan dalam bentuk satu *tube* panjang.(Othmer,1991)

1.4 Sifat Kimia dan Sifat Fisika

Berikut adalah sifat fisika dan sifat kimia bahan baku dan produk untuk proses pembuatan nitrobenzen. Bahan baku dari pembuatan nitrobenzen terdiri dari benzen, asam sulfat, dan asam nitrat. Adapun sifat fisika dan kimia pada zat yang bahan untuk pencucian, yaitu sodium hidroksida.

1.4.1 Sifat Fisika

Bahan baku :

a. Benzen

(Othmer, 1991)

Rumus Molekul	: C_6H_6
Berat Molekul	: 78 g/mol
Titik beku pada 101.3 kPa	: $5.530^{\circ}C$
Titik didih 101.3 kPa	: $80.094^{\circ}C$
Massa jenis pada $25^{\circ}C$: 0.8736
Tekanan udara, $25^{\circ}C$: 12.6 kPa
Tegangan permukaan, $25^{\circ}C$: 28.2 dyn/cm
Viskositas absolut, $25^{\circ}C$: 0.6010 cP
Temperatur kritis	: $289.1^{\circ}C$
Tekanan kritis	: 4.898×10^3 kPa
Volume kritis	: $259 \text{ cm}^3/\text{mol}$
Panas pembentukan	: 82.9 kJ/mol
Panas pembakaran	: 3.2676×10^3 kJ/mol

b. Asam Nitrat

(Othmer, 1991)

Rumus Molekul	: HNO_3
Berat Molekul	: 63 g/mol

Titik beku	: -41.59°C
Titik didih	: 83°C
Panas pembentukan, 25°C:	-174.10 kJ/mol
Energi bebas, 25°C	: -80.71 kJ/mol
Panas penguapan, 25°C	: 39.04 kJ/mol

c. Asam Sulfat

(*Wikipedia*, 2013)

Rumus Molekul	: H ₂ SO ₄
Berat Molekul	: 98.08 g/mol
Wujud	: cairan bening, tak berwarna, tak berbau
Densitas	: 1,84 g/cm ³ , cair
Titik didih	: 270°C (518°F), terdekomposisi pada 340°C
Kelarutan dalam air	: tercampur penuh
Keasaman (pKa)	: -3
Viskositas	: 26,7 cP (20 °C)

Bahan pencucian :

d. Sodium hidroksida 50%

(*www.dow.com*)

Rumus molekul	: NaOH
Berat molekul	: 40 g/mol
Wujud	: liquid
Warna	: bening
Titik beku	: 14°C (58°F)
Titik didih	: 145 °C (239 °F)
pH	: 14
Specific gravity, 20°C	: 1,52 g/ml
Tekanan uap, 20°C	: 0,20 kPa
Massa jenis uap	: 0,62

Produk :

e. Nitrobenzen

(Othmer, 1991)

Rumus Molekul	:	$C_6H_5NO_2$
Berat Molekul	:	123,11 g/mol
Titik leleh	:	5.85°C
Titik didih pada 101 kPa	:	210.9°C
Densitas (supercooled liquid)	:	1.223 g/cm ³
Viskositas pada 15°C	:	2.17 cP
Tegangan permukaan pada 20°C	:	46.34 dyne/cm
Panas spesifik pada 30°C	:	1.509 J/g
Panas laten pada penguapan	:	331 J/g

1.4.2 Sifat Kimia

Bahan baku :

a. Benzen

(Othmer, 1991)

- 1) Reaksi Substitusi Aromatik Elektrofilik. Benzen mengalami substitusi satu atau lebih pada atom hidrogennya pada berbagai kelompok seperti halogen, nitro, asam sulfat, atau alkil. Reaksi dengan klorin, bromin, atau asam nitrat dikategorikan substitusi aromatik elektrofilik karena melibatkan serangan pada reagen pencarian elektron pada π -elektron terdelokalisasi cincin aromatik.
- 2) Reaksi Substitusi Nukleofilik Aromatik. Reaksi ini membutuhkan kondisi, dimana terjadi penarikan elektron pada cincin aromatik. Contohnya, konversi p-nitroklorobenzen menjadi p-nitrofenol yang terjadi dengan larutan NaOH pada suhu 160°C.
- 3) Reaksi oksidasi. Benzen dapat dioksidasi menjadi sejumlah produk yang berbeda-beda. Pengantar pengoksidasi yang kuat seperti permanganat atau dikromat mengoksidasi benzen menjadi karbon dioksida dan air. Benzen secara selektif dapat dioksidasi dari fase uap menjadi malat anhidrit.

- 4) Nitration. Nitration of benzene becomes nitrobenzene, $C_6H_5NO_2$, often occurs with a yield greater than 95% when mixed with sulfuric acid and nitric acid at 50-55°C.
- 5) Sulfonation. Benzene is converted into benzenesulfonic acid, $C_6H_5SO_3H$, through a reaction with steam sulfuric acid (oleum) or chlorosulfonic acid.
- 6) Alkylation. Friedel-Crafts alkylation of benzene with ethylene to produce ethylbenzene, $C_6H_5CH_2CH_3$, or isopropylbenzene, $C_6H_5CH(CH_3)_2$ (cumene) is easily carried out in the liquid phase or as a vapor with various catalysts such as BF_3 , aluminum chloride, or supported with phosphoric acid.
- 7) Chloromethylation (Blanc-Quelet reaction). Benzene reacts with formaldehyde and hydrochloric acid in zinc chloride to produce chloromethylbenzene, $C_6H_5CH_2Cl$, an intermediate chemical.
- 8) Friedel-Crafts acylation. This reaction procedure is one of the most important in the preparation of aromatic ketones and their derivatives.
- 9) Mercuric-phthalation. Mercuric acetate and thallium trifluoroacetate react with benzene to produce phenylmercury acetate or phenylphthalate trifluoroacetate.
- 10) Metalation. Benzene reacts with alkali metal derivatives such as methyl or ethyl-lithium in hydrocarbon solvents to produce phenyl-lithium, C_6H_5Li , and CH_4 .
- 11) Pyrolysis. Benzene undergoes thermal dehydrocondensation at high temperatures to produce small amounts of biphenyl and triphenyl.

b. Asam Nitrat

(Othmer, 1991)

- 1) Bersifat asam. Karena bersifat asam, asam nitrat dengan mudah bereaksi dengan alkali, oksida, dan karbonat menjadi garam. Aplikasi industri terbesar pada asam nitrat adalah reaksi dengan ammonia untuk menghasilkan ammonium nitrat.

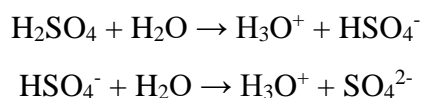
- 2) Bersifat oksidasi. Asam nitrat merupakan agen oksidasi yang sangat kuat (akseptor elektron) yang bereaksi dengan banyak bahan organik (misal terpentin, arang, dan serbuk gergaji).
- 3) Reaksi organik. Asam nitrat digunakan secara luas dalam industri pada alifatik nitrat dan senyawa aromatik. Dalam banyak contoh, nitrasi membutuhkan asam sulfat sebagai agen dehidrasi atau katalis. Tingkat nitrasi yang dicapai tergantung pada konsentrasi asam nitrat dan asam sulfat yang digunakan.

c. Asam Sulfat

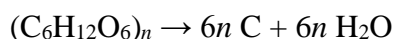
(Othmer, 1991)

1) Reaksi dengan air

Reaksi hidrasi asam sulfat sangatlah eksotermik. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga apabila air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, asam sulfat akan dapat mendidih. Reaksi yang terjadi adalah pembentukan ion hidronium:

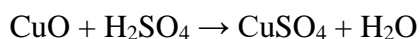


Afinitas asam sulfat terhadap air cukuplah kuat dan akan memisahkan atom hidrogen dan oksigen dari suatu senyawa. Sebagai contoh, ketika pati $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_n$ dicampurkan dengan asam sulfat pekat akan menghasilkan karbon dan air yang terserap dalam asam sulfat (yang akan mengencerkan asam sulfat) :

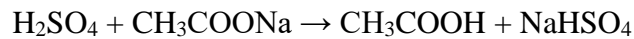


2) Reaksi dengan basa

Sebagai asam, asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan basa, menghasilkan garam sulfat. Sebagai contoh, garam tembaga (II) sulfat dibuat dari reaksi antara tembaga (II) oksida dengan asam sulfat:



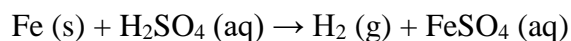
Asam sulfat juga dapat digunakan untuk mengasamkan garam dan menghasilkan asam yang lebih lemah. Reaksi antara natrium asetat dengan asam sulfat akan menghasilkan asam asetat, CH_3COOH , dan natrium bisulfat:



Hal yang sama juga berlaku apabila asam sulfat bereaksi dengan kalium nitrat. Reaksi ini akan menghasilkan asam nitrat dan endapan kalium bisulfat. Ketika dikombinasikan dengan asam nitrat, asam sulfat berperilaku sebagai asam sekaligus zat pendehidrasi, membentuk ion nitronium NO_2^+ , yang penting dalam reaksi nitrasi yang melibatkan substitusi aromatik elektrofilik. Reaksi jenis ini sangatlah penting dalam kimia organik. Asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan logam melalui reaksi penggantian tunggal, menghasilkan gas hidrogen dan logam sulfat. Asam sulfat encer menyerang besi, aluminium, seng, mangan, magnesium, dan nikel.

3) Reaksi dengan logam

Reaksi timah dan tembaga memerlukan asam sulfat yang panas dan pekat. Timbal dan tungsten tidak bereaksi dengan asam sulfat. Reaksi antara asam sulfat dengan logam biasanya akan menghasilkan hidrogen seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini. Namun reaksi dengan timah akan menghasilkan sulfur dioksida.



Hal ini karena asam pekat panas umumnya berperan sebagai oksidator, sedangkan asam encer berperan sebagai asam biasa, sehingga ketika asam pekat panas bereaksi dengan seng, timah, dan tembaga, ia akan menghasilkan garam, air dan sulfur dioksida, sedangkan asam encer yang bereaksi dengan logam seperti seng menghasilkan garam dan

hidrogen. Asam sulfat menjalani reaksi substitusi aromatik elektrofilik dengan senyawa-senyawa aromatik, menghasilkan asam sulfonat.

Bahan baku pencucian :

- d. Natrium hidroksida 50% (www.dow.com)
- 1) Natrium hidroksida merupakan liquid yang bening, memiliki sifat korosif yang tinggi dan reaktif.
 - 2) Larutan NaOH mudah bereaksi dengan logam seperti aluminium, magnesium, zinc, kromium, tembaga, kuningan, perunggu, dan tantalum.
 - 3) Larutan NaOH juga mudah bereaksi dengan logam yang digalvanisasi, senyawa nitro-organik, glikol.
 - 4) Larutan NaOH bereaksi dengan jenis-jenis glukosa seperti fruktosa, galaktosa, dan maltosa untuk menghasilkan karbon monoksida.

Produk :

- f. Nitrobenzen (Othmer, 1991)
- 1) Reaksi nitrobenzen meliputi substitusi pada cincin aromatik dan reaksi yang melibatkan gugus nitro.
 - 2) Di bawah kondisi elektrofilik, substitusi terjadi lebih lambat dibandingkan benzen, dan gugus nitro menaikkan substitusi meta.
 - 3) Nitrobenzen dapat mengalami halogenasi, sulfonasi, dan nitrasi, tetapi tidak dapat mengalami reaksi Friedel-Crafts.
 - 4) Di bawah kondisi nukleofilik, gugus nitro menaikkan substitusi orto dan para.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba.com. (2014). *Nitrobenzene*. www.alibaba.com/product-detail/Nitrobenzene_649169340.html?s=p: diakses tanggal 10 Maret 2018.
- Avantor Performance Material, I. (2011). *Material Safety Data Sheet*. http://avantormaterials.com/documents/MSDS/usa/English/N4530_msds_us_Default.pdf: diakses tanggal 3 April 2018.
- Bird, R. B., Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (1960). *Transport Phenomena*. New York: John Wiley & Sons.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons.
- Darby, R. (2001). *Chemical Engineering Fluid Mechanics 2nd Edition*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Dean, J. A. (1999). *Lange's Handbook of Chemistry 15th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Febriansyah, B. (2014). *Bab i*. <http://www.slideshare.net/xriansyahbenny/bab-i-35632952>: diakses tanggal 13 April 2018.
- Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (1986). *Elementary Principles of Chemical Processes 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operation 3rd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Green, D. W., & Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineer's Handbook 8th Edition*. New York: McGraw Hill.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. New York: McGraw Hill.
- Matter, S., & Hatch, L. F. (2000). *Chemistry of Petrochemical Processes 2nd Edition*. Texas: Gulf Publishing.

- Mccabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Pertamina. (2012). *Benzene (Bensol)*. <http://www.pertamina.com/search/?=benzene>: diakses tanggal 15 Mei 2018.
- Peter, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th Edition*. New York: McGraw Hill.
- Sinnott, R. K. (2005). *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. (1981). *Chemical Engineering Kinetics 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Smith, J. M., Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2003). *Introduction To Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Speight, J. G. (2002). *Chemical and Process Design Handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Treybal, R. E. (1980). *Mass-Transfer Operation 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Ullmann, F., Gerhartz, W., Yamamoto, Y. S., Campbell, F. T., Pfefferkorn, R., & Rounsaville, J. F. (2005). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment*. Boston: Butterworth-Heinemann.