

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENE
KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mengikuti Ujian Sarjana
pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

CLARA SILVANEVIA	03031182025012
KUNTUM KHOIRO UMMAH	03031282025086

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENE
KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

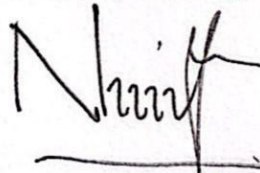
Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh :

CLARA SILVANEVIA 03031182025012
KUNTUM KHOIRO UMMAH 03031282025086

telah disetujui di Indralaya, 2 Desember 2024

Dosen Pembimbing,



Dr. Nina Haryani, S.T., M.T.
NIP. 198311152008122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



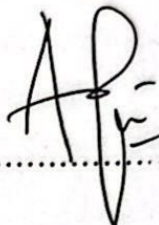


Dr. Tutu Jannah Sari, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Nitrobenzene Kapasitas 63.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan Clara Silvanavia dan Kuntum Khoiro Ummah di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024.

Indralaya, November 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

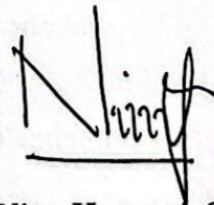
1. Prof. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D, IPM.
NIP. 197209092000032001 : (.....)  29/11/24
2. Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 197503261999032002 : (.....) 
3. Rahmatullah, S.T., M.T.
NIP. 198905172015041002 : (.....)  29/11/24

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuty Indah Sari, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502012000122001

Indralaya, 29 November 2024
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Nina Harvani, S.T., M.T.
NIP. 198311152008122002

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

CLARA SILVANEVIA **03031182025012**

KUNTUM KHOIRO UMMAH **03031282025086**

Judul :

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENE
KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN”**

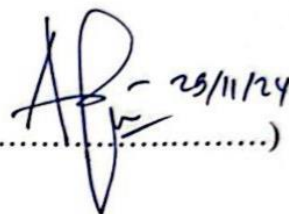
Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada hari Senin, tanggal 18 November 2024 oleh Dosen Penguji :

1. Prof. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D, IPM.

NIP. 197209092000032001

:

(.....)



2. Dr. Ir. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

NIP. 197503261999032002

:

(.....)

3. Rahmatullah, S.T., M.T.

NIP. 198905172015041002

:

(.....)



Indralaya, 29 November 2024

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Nina Harvani, S.T., M.T.

NIP. 198311152008122002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Clara Silvanavia

NIM : 03031182025012

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Nitrobenzene Kapasitas
63.000 Ton/Tahun

Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Kuntum Khoiro Ummah** 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.

Indralaya, 6 Desember 2024



Clara Silvanavia

NIM. 03031182025012




HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kuntum Khoiro Ummah
NIM : 03031282025086
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Nitrobenzene Kapasitas
63.000 Ton/Tahun
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Clara Silvanovia 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.

Indralaya, 6 Desember 2024



Kuntum Khoiro Ummah
NIM. 03031282025086



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Nitrobenzene Kapasitas 63.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dikarenakan penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, yang dalam kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

- 1) Kedua orang tua penulis yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa yang tiada hentihentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 2) Ibu Dr. Nina Haryani, S.T., M.T selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
- 3) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) Bapak/Ibu dosen dan para pegawai yang bekerja di Jurusan Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya angkatan 2020 yang memberikan dukungan dan bantuan selama ini.

Penulis berharap tugas akhir ini agar dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Indralaya, 6 Desember 2024

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENE KAPASITAS 63.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, November 2024

Clara Silvanevia dan Kuntum Khoiro Ummah

Dibimbing oleh Dr. Nina Haryani, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik pembuatan nitrobenzene kapasitas produksi 63.000 ton/tahun direncanakan akan berdiri pada tahun 2030 di Kawasan Industri *Greenland International Industrial Center* (GIIC), Provinsi Jawa Barat. Nitrobenzene pada pabrik ini disintesis melalui proses nitrasi adiabatik dari bahan baku benzena dan asam nitrat dengan katalis asam sulfat melalui reaktor *Plug Flow Reactor* (PFR) berdasarkan Patent WO2024/003050A1. Pabrik ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line and staff* yang dipimpin oleh seorang direktur dengan karyawan sebanyak 151 orang. Pabrik nitrobenzene layak untuk didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi:

❖ <i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= US\$ 38.710.139,16
❖ Total Penjualan Produk	= US\$ 190.696.426,84
❖ <i>Total Production Cost</i> (TPC)	= US\$ 147.234.873,73
❖ <i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	= US\$ 24.287.399,05
❖ <i>Pay Out Time</i> (POT)	= 1,59 Tahun
❖ <i>Rate of Return on Investment</i> (ROR)	= 78,59%
❖ <i>Discounted Cash Flow</i> – ROR	= 159,14%
❖ <i>Break Even Point</i> (BEP)	= 30,06%
❖ <i>Service Life</i>	= 11 Tahun

Kata Kunci : Nitrobenzene, *Plug Flow Reactor*, Perseroan Terbatas.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan Nitrobenzene.....	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik Nitrobenzene	2
1.4. Data-Data Sifat Fisik dan Kimia	3
1.4.1. Bahan Baku	3
1.4.2. Katalis	5
1.4.3. Produk	5
1.5. Proses Pembuatan Nitrobenzene	6
1.5.1. Nitirasi Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses <i>Batch</i>	6
1.5.2. Nitirasi Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses Kontinyu ...	7
1.5.3. Nitirasi Benzene Menggunakan Asam Nitrat.....	7
BAB II PERENCANAAN PABRIK	9
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	9
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi	9
2.3. Pemilihan Bahan Baku	11
2.4. Pemilihan Proses	11
2.5. Uraian Proses.....	17
2.5.1. Tahap Preparasi Bahan Baku	17
2.5.2. Reaksi Nitirasi	17
2.5.3. Tahap Separasi	17

2.5.4. Tahap Purifikasi	18
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK.....	19
3.1. Lokasi Pabrik.....	19
3.1.1. Ketersediaan Bahan Baku	21
3.1.2. Utilitas	22
3.1.3. Transportasi.....	24
3.1.4. Pemasaran	25
3.1.5. Tenaga Kerja	25
3.1.6. Keadaan Iklim	25
3.1.7. Perluasan Area Pabrik.....	25
3.2. Tata Letak Pabrik	26
3.3. Perkiraan Luas Tanah	28
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....	29
4.1. Neraca Massa	29
4.1.1. Mixing Point-01 (MP-01)	29
4.1.2. Mixing Point-02 (MP-02)	29
4.1.3. Reaktor-01 (R-01)	30
4.1.4. Decanter-01(DC-01)	30
4.1.5. Kolom Distilasi-01 (KD-01)	30
4.1.6. Kondensor-01 (CD-01)	31
4.1.7. Accumulator-01 (ACC-01)	31
4.1.8. Reboiler-01 (RB-01)	32
4.1.9. Evaporator-01 (EVP-01)	32
4.2. Neraca Panas	32
4.2.1. Mixing Point-01 (MP-01)	32
4.2.2. Mixing Point-02 (MP-02)	33
4.2.3. Heater-01 (H-01).....	33
4.2.4. Reaktor-01(R-01)	33
4.2.5. Decanter-01 (DC-01)	33
4.2.6. Heater-02 (H-02).....	34
4.2.7. Kolom Distilasi-01 (KD-01)	34
4.2.8. Kondensor-01 (CD-01)	34
4.2.9. Accumulator-01 (ACC-01)	34
4.2.10. Cooler-02 (C-02).....	35
4.2.11. Reboiler-01 (RB-01)	35

4.2.12. Cooler-03 (C-03).....	35
4.2.13. Evaporator-01 (EVP-01).....	35
4.2.14. Cooler-01 (C-01).....	36
BAB V UTILITAS	37
5.1. Unit Pengadaan Air	37
5.1.1. Air Pendingin	40
5.1.2. Air Umpan Boiler dan Penggerak Turbin	42
5.1.3. Air Domestik.....	42
5.1.4. Total Kebutuhan Air - <i>Start Up</i>	44
5.1.5. Total Kebutuhan Air - <i>Running</i>	44
5.2. Unit Pengadaan <i>Steam</i>	44
5.2.1. <i>Steam</i> Pemanas.....	44
5.3. Unit Pengadaan Listrik.....	45
5.3.1. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan.....	45
5.3.2. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan.....	46
5.3.3. Total Kebutuhan Listrik	47
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	47
5.4.1. Bahan Bakar untuk Boiler.....	47
5.4.2. Bahan Bakar untuk Generator.....	48
5.4.3. Total Kebutuhan Bahan Bakar	48
5.5. Unit Pengadaan <i>Refrigerant</i>	49
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	50
6.1. Tangki-01 (T-01).....	50
6.2. Tangki-02 (T-02).....	50
6.3. Tangki-03 (T-03).....	51
6.4. Tangki-04 (T-04).....	52
6.5. Tangki-05 (T-05).....	52
6.6. Heater-01 (H-01)	53
6.7. Heater-02 (H-02)	54
6.8. Reaktor-01 (R-01)	55
6.9. Decanter-01 (DC-01).....	55
6.10. Kolom Distilasi-01 (KD-01)	56
6.11. Kondensor-01 (CD-01).....	57
6.12. Accumulator-01 (ACC-01).....	58

6.13. Reboiler-01 (RB-01).....	58
6.14. Cooler-01 (C-01)	59
6.15. Cooler-02 (C-02)	60
6.16. Cooler-03 (C-03)	61
6.17. Evaporator-01 (EVP-01)	62
6.18. Pompa-01 (P-01)	63
6.19. Pompa-02 (P-02)	64
6.20. Pompa-03 (P-03)	65
6.21. Pompa-04 (P-04)	66
6.22. Pompa-05 (P-05)	67
6.23. Pompa-06 (P-06)	68
6.24. Pompa-07 (P-07)	69
6.25. Pompa-08 (P-08)	70
6.26. Pompa-09 (P-09)	71
6.27. Pompa-10 (P-10)	72
6.28. Pompa-11 (P-11)	73
6.29. Pompa-12 (P-12)	74
6.30. Pompa-13 (P-13)	75
6.31. Pompa-14 (P-14)	75
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	77
7.1. Bentuk Perusahaan	77
7.2. Struktur Organisasi.....	78
7.3. Tugas dan Wewenang	79
7.3.1. Dewan Komisaris	79
7.3.2. Direktur Utama.....	79
7.3.3. Manajer Teknik dan Produksi	80
7.3.4. Manajer Personalia dan Umum	81
7.3.5. Manajer Keuangan dan Pemasaran	81
7.3.6. Kepala Seksi.....	82
7.3.7. Sekretaris.....	83
7.3.8. Staf	83
7.3.9. Operator.....	83
7.4. Sistem Kerja	83

7.4.1. Karyawan Non-Shift	83
7.4.2. Karyawan Shift.....	84
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	85
7.5.1. Direct Operating Labor	85
7.5.2. Indirect Operating Labor.....	86
BAB VIII ANALISA EKONOMI.....	90
8.1. Profitabilitas	91
8.1.1. Total Penjualan Produk.....	91
8.1.2. Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i> (ACF).....	91
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal	91
8.2.1. Perhitungan Depresiasi.....	92
8.2.2. Lama Pengangsuran Pengembalian Pinjaman	92
8.2.3. <i>Pay Out Time</i> (POT)	93
8.3. Total Modal Akhir.....	93
8.3.1. <i>Net Profit Over Total Lifetime of the Project</i> (NPOTLP).....	94
8.3.2. <i>Total Capital Sink</i> (TCS)	94
8.4. Laju Pengembalian Modal.....	95
8.4.1. <i>Rate of Return on Investment</i> (ROR)	95
8.4.2. <i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCF-ROR).....	95
8.5. <i>Break Even Point</i> (BEP).....	96
8.5.1. Metode Matematis.....	96
8.5.2. Metode Grafis.....	96
BAB IX KESIMPULAN.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....	100
LAMPIRAN.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Kelebihan dan Kekurangan Proses Pembuatan Nitrobenzene	8
Tabel 2.1. Impor Nitrobenzene di Indonesia.....	10
Tabel 2.2. Perbandingan Proses Produksi Nitrobenzene.....	11
Tabel 3.1. Luas Area yang Diperlukan.....	28
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Utilitas.....	37
Tabel 5.2. Kebutuhan Air Pendingin.....	40
Tabel 5.3. Total Kebutuhan Air <i>Start Up</i>	44
Tabel 5.4. Total Kebutuhan Air <i>Running</i>	44
Tabel 5.5. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i>	44
Tabel 5.6. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	45
Tabel 5.7. Kebutuhan Listrik Peralatan.....	45
Tabel 5.8. Total Kebutuhan Bahan Bakar	49
Tabel 5.9. Total Kebutuhan <i>Refrigerant</i>	49
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal Kerja Karyawan <i>Shift</i>	84
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan.....	86
Tabel 8.1. Penjualan Produk.....	91
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Modal.....	93
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Impor Nitrobenzene di Indonesia	11
Gambar 3.1. Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bekasi	20
Gambar 3.2. Jarak Lokasi dengan PT Trans Pacific Petrochemichal Indotama..	21
Gambar 3.3. Jarak Lokasi dengan PT Chemindo Multi Indosukses Indotama ...	22
Gambar 3.4. Jarak Lokasi dengan PT Petrokimia Gresik	22
Gambar 3.5. Jarak Lokasi Pabrik dengan Suplai Listrik PLTA Cirata	23
Gambar 3.6. Jarak Lokasi Pabrik dengan Suplai Listrik PLTU Indramayu.....	23
Gambar 3.7. Jarak Lokasi Pabrik dengan Suplai Listrik PLTU Muara Tawar ...	24
Gambar 3.8. Jarak Lokasi Pabrik dengan Suplai <i>Refrigerant</i> (Ammonia).....	24
Gambar 3.9. Perencanaan Tata Letak Pabrik	26
Gambar 3.10. Perencanaan Tata Letak Peralatan Proses.....	27
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	89
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i> Pabrik Nitrobenzene.....	97

DAFTAR NOTASI

1. ACCUMULATOR

Cc	=	Tebal korosi maksimum, in
Ej	=	Efisiensi pengelasan
ID	=	<i>Inside Diameter</i> , m
OD	=	<i>Outside Diameter</i> , 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
P	=	Densitas, kg/m ³

2. COOLER, HEATER, CONDENSER, EVAPORATOR, REBOILER

A	=	Area perpindahan panas, ft ²
C	=	<i>Clearance</i> antar tube, in
D	=	Diameter dalam tube, in
D _e	=	Diameter ekivalen, in
f	=	Faktor friksi, ft ² /in ²
G _s	=	Laju alir massa fluida pada <i>shell</i> , lb/jam.ft ²
G _t	=	Laju alir massa fluida pada <i>tube</i> , lb/jam.ft ²
g	=	Percepatan gravitasi, m/s ²
h	=	Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft ² . °F
h _i , h _o	=	Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar <i>tube</i> , Btu/jam.ft ² . °F
jH	=	Faktor perpindahan panas
k	=	Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² . °F
L	=	Panjang <i>tube</i> , pipa, ft
LMTD	=	<i>Logaritmic Mean Temperature Difference</i> , °F
N _t	=	Jumlah <i>tube</i>
P _T	=	<i>Tube pitch</i> , in

ΔP_s	= Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan <i>tube</i> , Psi
ID	= <i>Inside Diameter</i> , ft
OD	= <i>Outside Diameter</i> , ft
ΔP_T	= Penurunan tekanan total pada <i>tube</i> , Psi
Q	= Beban panas pada <i>heat exchanger</i> , Btu/jam
R_d	= <i>Dirt factor</i> , Btu/jam.ft ² . °F
R_e	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= <i>Specific gravity</i>
T_1, T_2	= Temperatur fluida panas <i>inlet, outlet</i> , °F
t_1, t_2	= Temperatur fluida dingin <i>inlet, outlet</i> , °F
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t_c	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U_c, U_d	= <i>Clean overall coefficient, design overall coefficient</i> , Btu/jam.ft ² . °F
W_1	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
W_2	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viskositas, cP

3. DECANTER

D	= Diameter dekanter, m
L	= Panjang dekanter, m
t	= Waktu pemisahan, detik
Q_a, Q_b	= <i>Volumetric flowrate</i> lapisan bawah, lapisan atas, m ³ /jam
Vt	= Volume total dekanter, m ³
Ve	= 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

4. KOLOM DISTILASI

P	= Tekanan, atm
T	= Temperatur, °C
α	= Volatilitas relatif
N _m	= Stage minimum
L/D	= Refluks
N	= <i>Stage/tray</i>
m	= <i>Rectifying section</i>
p	= <i>Stripping section</i>
F _{LV}	= <i>Liquid-vapor flow factor</i>
U _f	= Kecepatan <i>flooding</i> , m/s
U _v	= Laju volumetrik, m ³ /s
A _n	= <i>Net area</i> , m ²
A _c	= Luas area kolom, m ²
D _c	= Diameter kolom, m
A _d	= <i>Downcomer area</i> , m ²
A _a	= <i>Active area</i> , m ²
l _w	= <i>Weir length</i> , m
A _h	= <i>Hole area</i> , m ²
h _w	= <i>Weir height</i> , mm
d _h	= <i>Hole diameter</i> , mm
L _m	= <i>Liquid rate</i> , kg/s
h _{ow}	= <i>Weir liquid crest</i> , mm Liquid
U _h	= <i>Minimum design vapor velocity</i> , m/s
C _o	= <i>Orifice coefficient</i>
h _d	= <i>Dry plate drop</i> , mm Liquid
h _r	= <i>Residual Head</i> , mm Liquid
h _t	= <i>Total pressure drop</i> , mm Liquid
h _{ap}	= <i>Downcomer pressure loss</i> , mm
A _{ap}	= <i>Area under apron</i> , m ²
H _{dc}	= <i>Head loss in the downcomer</i> , mm
h _b	= <i>Backup Downcomer</i> , m

t_r	= Check resident time, s
θ	= Sudut <i>subintended</i> antara pinggir <i>plate</i> dengan <i>unperforated strip</i>
L_m	= Mean length, <i>unperforated edge strips</i> , m
A_{up}	= Area of <i>unperforated edge strip</i> , m ²
L_{cz}	= Mean length of <i>calming zone</i> , m
A_{cz}	= Area of <i>calming zone</i> , m ²
A_p	= Total area <i>perforated</i> , m ²
A_{oh}	= Area untuk 1 hole, m ²
t	= Tebal dinding, cm
D	= Diameter kolom, m
r	= Jari-jari kolom, 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
ρ	= Densitas, kg/m ³
μ	= Viskositas, N.s/m ²
H_e	= Tinggi tutup elipsoidal, m
H_t	= Tinggi vessel, m

5. POMPA

A	= Area alir pipa, in ²
BHP	= <i>Brake Horse Power</i> , hp
$D_{i\ opt}$	= Diameter optimum pipa, in
E	= <i>Equivalent roughness</i>
f	= Faktor friksi
FK	= Faktor keamanan
g_c	= Percepatan gravitasi, ft/s ²
$H_{f\ suc}$	= Total friksi pada suction, ft
$H_{f\ dis}$	= Total friksi pada discharge, ft
H_{fs}	= <i>Skin friction loss</i>
H_{fsuc}	= <i>Total suction friction loss</i>

H_{fc} = *Sudden contraction friction loss* (ft lbf/lbf)
 H_{fe} = *Sudden expansion friction loss* (ft lbf/lbf)
 ID = *Inside diameter* pipa, in
 K_C, K_S = *Contraction, expansion loss contraction*, ft
 L = Panjang pipa, ft
 L_e = Panjang ekuivalen pipa, ft
 $NPSH$ = *Net Positive Suction Head*, ft
 N_{Re} = *Reynold number*
 P_{uap} = Tekanan uap, Psi
 Q_f = Laju alir volumetrik, gallon/min
 V_f = Kapasitas pompa, lb/jam
 V = Kecepatan alir, ft/s
 ΔP = Beda tekanan, Psi

6. REAKTOR

C_{A0} = Konsentrasi awal umpan A masuk, kmol/m³
 C_{B0} = Konsentrasi awal umpan B masuk, kmol/m³
 C_c = *Corrosion allowance*, in
 C_p = *Specific heat capacity*, kJ/kg K
 D_T = Diameter total reaktor, m
 d_i = *Inside diameter*, m
 E_j = *Joint efficiency*
 F_{A0} = Laju alir umpan, kmol/jam
 g = Gravitasi, m/s²
 H_D = Tinggi tutup (*dish*), m
 H_s = Tinggi *shell*, ft
 h_i = *Tube side coefficient*, W/m²°C
 k = Konstanta kecepatan reaksi
 N_{Re} = *Reynold number*
 OD = *Outside Diameter*, m
 P = *Pressure Drop*, N/m²
 Q = Debit aliran masuk reaktor, m³ /jam
 R_g = Konstanta gas, KJ/kmol.K

$-r_a$	= kecepatan reaksi, kmol/m ³ jam
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, psi
t	= Tebal dinding reaktor, m
V	= Volume reaktor, m ³
\dot{V}	= <i>Volumetrik flowrate</i> , m ³ /s
Z	= Panjang reaktor, m
ρ_L	= Densitas campuran, kg/m ³
τ	= Waktu tinggal, detik
μ_L	= Viskositas campuran, cP

7. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan, mm
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan
He	= Tinggi <i>head</i> , m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Desain, atm
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, psi
T	= Temperatur Operasi, K
V_h	= Volume ellipsoidal head, m ³
V_s	= Volume silinder, m ³
V_t	= Volume tangki, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	PERHITUNGAN NERACA MASSA	105
LAMPIRAN II	PERHITUNGAN NERACA PANAS.....	138
LAMPIRAN III	PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN	170
LAMPIRAN IV	PERHITUNGAN EKONOMI	292
LAMPIRAN V	TUGAS KHUSUS	308

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Indonesia masih memiliki ketergantungan besar pada impor bahan baku dan produk kimia. Hal ini mendorong kebutuhan untuk mengembangkan zona industri kimia di Indonesia, baik yang menghasilkan produk jadi maupun setengah jadi. Pengembangan industri merupakan bagian penting dalam usaha pembangunan ekonomi jangka panjang. Tujuannya adalah untuk menciptakan struktur ekonomi yang seimbang dengan fokus pada industri maju yang didukung oleh pertanian yang kuat. Kondisi ini mendorong industri untuk terus berinovasi dan menghasilkan produk yang memiliki pasar besar, kompetitif, efisien, dan ramah lingkungan.

Perkembangan industri petrokimia yang tinggi akan meningkatkan nilai tambah pada sektor migas sebagai bahan baku dan menghasilkan berbagai produk turunan industri petrokimia. Salah satu produk penting adalah senyawa aromatik seperti Nitrobenzene. Nitrobenzene juga dikenal sebagai nitrobenzide, nitrobenzol, mononitrobenzol (MNB), *essence of mirbane*, atau *oil of mirbane* yang memiliki rumus kimia $C_6H_5NO_2$. Senyawa ini dihasilkan dari proses nitrasi senyawa aromatik yaitu benzene dan asam nitrat dengan adanya asam sulfat. Nitrobenzene memiliki wujud fisik berupa cairan berwarna kuning muda atau kuning pucat, memiliki aroma seperti almond, dan memiliki sifat sangat beracun jika terhirup atau terkena kulit. Senyawa ini sebagian besar digunakan sebagai bahan baku anilin, bahan baku minyak pelumas pada motor dan mesin, bahan peledak, pestisida, pelarut dalam industri cat, sepatu, dan lantai (Pubchem, 2024).

Kebutuhan nitrobenzene di Indonesia diprediksi akan terus meningkat seiring dengan perkembangan industri yang membutuhkan bahan tersebut. Saat ini, nitrobenzene belum diproduksi di Indonesia dan masih diimpor dari luar negeri, terutama dari Cina. Hal ini yang menjadi suatu dasar pertimbangan pendirian pabrik nitrobenzene. Pendirian pabrik nitrobenzene di Indonesia ini diharapkan mampu memberikan dampak positif bagi pertumbuhan industri kimia, dapat mendorong pembangunan pabrik lain yang menggunakan nitrobenzene sebagai bahan baku utama, mengurangi nilai impor, dapat meningkatkan keuntungan finansial dengan mengurangi defisit, dan menciptakan lapangan kerja baru.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan Nitrobenzene

Pada tahun 1834, Mitscherlich berhasil menghasilkan senyawa nitro-aromatik dengan cara mengolah hidrokarbon dari tar batubara menggunakan uap asam. Pada pertemuan di Inggris tahun 1838, Dale menyatakan bahwa senyawa nitro campuran berasal dari *crude* benzene. Tidak sampai tahun 1845, Hoffman dan Muspratt melaporkan penelitian yang terperinci tentang proses nitrasi benzene untuk menghasilkan mono dan dinitrobenzene menggunakan campuran asam nitrat dan asam sulfat (Ullmann, 2005).

Nitrobenzene pertama kali diuji dengan hati-hati melalui proses distilasi dalam skala kecil untuk menghasilkan cairan berwarna kuning dengan aroma almond yang pahit, yang kemudian dijual kepada produsen sabun dan parfum sebagai *essence*. Meskipun senyawa nitro-aromatik awalnya dikenal dalam jumlah kecil, pengenalan senyawa seperti kloramfenikol pada tahun 1949 dari ekstraksi jamur tanah *Streptomyces venezuelas* menunjukkan pentingnya senyawa tersebut. Sebagian besar senyawa nitro atau turunannya digunakan sebagai bahan perantara dalam industri pewarnaan, pertanian, farmasi, serta pembuatan bahan kimia sintesis dan bahan peledak.

Nitrobenzene merupakan cairan berwarna kuning pucat yang memiliki aroma seperti almond. Warna nitrobenzene bervariasi dari kuning pucat hingga coklat kekuningan tergantung pada tingkat kemurniannya. Penggunaan utama nitrobenzene adalah sebagai bahan baku untuk pembuatan anilin yang digunakan dalam produksi zat warna. Nitrobenzene juga digunakan untuk memproduksi minyak pelumas seperti yang digunakan pada motor dan mesin. Senyawa ini juga digunakan untuk memproduksi berbagai produk lainnya, seperti bahan celup nigrosin yang secara luas digunakan dalam pewarnaan hitam pada berbagai produk seperti plastik, tinta, pelapis lantai, dan semir sepatu.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik Nitrobenzene

Permintaan nitrobenzene di Indonesia telah menunjukkan fluktuasi yang tidak stabil setiap tahunnya, yang sering kali dipengaruhi oleh kebutuhan pabrik di Indonesia. Saat ini, kebutuhan nitrobenzene telah terpenuhi melalui impor dari negara-negara maju seperti Taiwan, Cina, Jerman, Amerika Serikat, Jepang, Inggris, Malaysia, serta Rusia. Pendirian pabrik nitrobenzene di Indonesia

diharapkan dapat membantu memenuhi kebutuhan dalam negeri dan memberikan keuntungan finansial serta menambah devisa negara. Pabrik ini juga dapat membantu pemerintah dalam mengatasi masalah tenaga kerja dan mendukung berkembangnya industri-industri di Indonesia. Selain itu, pabrik ini juga dapat memacu tumbuhnya industri baru terutama diversifikasi industri hilir.

1.4. Data-Data Sifat Fisik dan Kimia

Produksi nitrobenzene harus memperhatikan beberapa sifat fisik dan kimia dari bahan baku yang akan dibuat.

1.4.1. Bahan Baku

Bahan baku dalam pembuatan nitrobenzene diantaranya adalah benzene, asam nitrat, dan asam sulfat. Sifat fisika dan kimia masing-masing bahan baku yang dihasilkan dari proses produksi nitrobenzene.

1.4.1.1. Benzene

A. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: C_6H_6
Berat Molekul	: 78.114 g/mol
Titik Didih	: 80.1°C
Titik Lebur	: 5.533°C
Panas Pembentukan	: 82.9 kJ/mol
Panas Pembakaran	: 3.2676×10^3 kJ/mol
Volume Kritis	: 259 cm ³ /mol
Tekanan Kritis	: 4.898×10^3 kPa
Temperatur Kritis	: 289.1°C
Massa Jenis pada 25°C	: 0.8736
Tekanan Udara pada 25°C	: 12.6 kPa
Densitas	: 0,88 g/mL
Viskositas Absolut pada 25°C	: 0.6010 cP
Tegangan Permukaan pada 25°C	: 28.2 dyn/cm

B. Sifat Kimia

1. Reaksi Oksidasi

Benzene dapat dioksidasi menjadi sejumlah produk yang berbeda-beda. Pengantar pengoksidasi kuat seperti permanganat atau dikromat mengoksidasi benzene menjadi karbon dioksida dan air. Benzene secara selektif dapat dioksidasi dari fase uap menjadi malat anhidrit.

2. Nitration

Nitration benzene menjadi nitrobenzene sering terjadi dengan hasil lebih besar dari 95% ketika dicampurkan dengan asam sulfat dan asam nitrat pada kondisi temperatur 50-55°C.

3. Sulfonasi

Benzene dapat dikonversikan ke dalam asam benzenesulfonat, melalui reaksi dengan uap asam sulfat (oleum) atau asam klorosulfonat.

(Othmer, 1991)

1.4.1.2. Asam Nitrat

A. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: HNO_3
Berat Molekul	: 63.02 g/mol
Titik Didih	: 86°C
Titik Beku	: -42°C
Entropy pada 25°C	: 155.60 J/mol.K
Densitas pada 20°C	: 1.502 g/mL
Viskositas pada 25°C	: 0.761 kJ/mol
Energi Bebas pada 25°C	: -80.71 kJ/mol
Panas Penguapan pada 25°C	: 39.04 kJ/mol
Panas Pembentukan pada 25°C	: -174.10 kJ/mol

B. Sifat Kimia

Asam nitrat merupakan asam monobasa yang kuat dimana mudah bereaksi dengan alkali, oksida, serta senyawa basa dalam bentuk garam. Asam nitrat merupakan senyawa yang berperan dalam proses nitration yaitu sebagai *nitration agent*.

(Perry dan Green, 1999)

1.4.2. Katalis

Katalis yang digunakan dalam proses pembuatan nitrobenzene adalah asam sulfat. Sifat fisika dan kimia dari katalis tersebut sebagai berikut.

1.4.2.1. Asam Sulfat

A. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: H_2SO_4
Berat Molekul	: 98.08 g/mol
Titik Didih	: 340°C
Titik Leleh	: 10.49°C
Densitas pada 20°C	: 1.84 g/mL

B. Sifat Kimia

1. Pada proses nitrasi, sifat asam sulfat ini mencegah asam nitrat untuk membentuk ion hidrogen (H^+) dan ion nitrat (NO_3^-) dan hanya membentuk (NO_2^-).
2. Asam sulfat bereaksi dengan asam nitrat membentuk ion nitrit atau nitronium (NO_2^+) yang sangat penting dalam suatu reaksi nitrasi.
3. Asam sulfat memiliki gaya tarik yang besar terhadap air dan membentuk senyawa-senyawa hidrat seperti $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

(Perry dan Green, 1999)

1.4.3. Produk

Berikut penjelasan tentang sifat fisika dan kimia dari produk utama nitrobenzene.

1.4.3.1. Nitrobenzene

A. Sifat Fisika

Rumus Molekul	: $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$
Berat Molekul	: 123 g/mol
Titik Didih	: 210.9°C
Titik Leleh	: 5.7°C
Titik Nyala	: 88°C
Temperatur Kritis	: 438.85°C
Tekanan Kritis	: 3500 kPa
Indek Bias	: 1.553

Densitas pada 25°C	: 1.199 g/mL
Viskositas pada 15°C	: 2.17 cP
Panas Spesifik pada 30°C	: 1.509
Panas Laten Penguapan	: 331 J/g
Panas Peleburan	: 94.2 J/g
Panas Pembakaran	: 739 kkal/mol
Panas Penguapan pada 210°C	: 79.1 kal/g
Panas Pencampuran	: 2.78 kkal/mol
<i>Vapor Density</i> (udara = 1)	: 4.1
Tegangan Permukaan Cairan	: 46.34 N/m

B. Sifat Kimia

1. Reduksi nitrobenzene dengan pereduksi Cu dan SiO₂.
2. Reduksi nitrobenzene dengan Zn dan katalis NH₄Cl.

(Perry dan Green, 1999)

1.5. Proses Pembuatan Nitrobenzene

Nitrobenzene umumnya diproduksi dengan cara nitrasi langsung pada benzene dengan campuran asam nitrat dan asam sulfat atau hanya dengan asam nitrat. Namun, secara komersial, campuran asam nitrat dan asam sulfat lebih umum digunakan karena kedua fase yang berasal dari campuran reaksi dan reaktan terdistribusi antara keduanya (Sholeh, 2020). Proses pembuatan nitrobenzene dapat dilakukan melalui beberapa metode yaitu :

1.5.1. Nitrasi Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses *Batch*

Dalam proses nitrasi *batch*, reaktor diisi dengan benzene sebagai bahan baku, lalu asam campuran (asam nitrat dan asam sulfat) ditambahkan secara perlahan di bawah permukaan benzene. Temperatur reaksi dipertahankan pada 50-55°C dengan tekanan 1 atm, kemudian produk yang keluar dari reaktor dipisahkan menggunakan separator. Produk keluaran dari separator yaitu nitrobenzene mentah yang akan dilanjutkan dengan serangkaian tahap pencucian dengan mengencerkan bahan pencuci, seperti natrium hidroksida, natrium karbonat, magnesium hidroksida, dan air. Produk dapat didistilasi tergantung kemurnian nitrobenzene yang diinginkan. *Excess* benzene yang kecil digunakan untuk menunjukkan bahwa terdapat sedikit atau tidak ada asam nitrat pada *spent acid* yang digunakan. Reaksi

dalam proses batch membutuhkan waktu 2-4 jam dengan yield 95-98% (Kirk dan Othmer, 1996).

1.5.2. Nitration Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses Kontinu

Nitrator kontinu berukuran sekitar $0,114\text{m}^3$ (30 galon) memiliki kapasitas produksi yang sebanding dengan reaktor *batch* 5.68 m^3 (1500 galon). Nitration dalam proses kontinu dapat berlangsung dengan penghilangan panas reaksi, baik secara adiabatik atau isothermal (Othmer,1991).

A. Proses Kontinu Adiabatik

Proses kontinu adiabatik telah dikembangkan untuk menghasilkan nitrobenzene dengan menghilangkan panas reaksi melalui pendinginan yang berlebihan. Panas sisa dapat dimanfaatkan dalam tahap *re-concentration* asam sulfat. Manfaat lain dari metode ini adalah pengurangan waktu reaksi 0,5-7,5 menit. Tahap nitration dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi dari biasanya, yaitu 50-120°C. Katalis asam sulfat yang digunakan dapat di *recycle* kembali menuju reaktor.

B. Proses Kontinu Isothermal

Proses kontinu isothermal berbeda dari proses adiabatik hanya dalam tahap nitration. Dalam proses isothermal, umumnya minimal 2 nitrator secara seri yang digunakan sampai dengan 4 nitrator di pabrik besar. *Spent acid* dan nitrobenzene mentah biasanya dipisahkan melalui pengendapan gravitasi. Proses isothermal membutuhkan jaket beraliran air pendingin untuk menjaga temperatur di dalam sistem secara konstan.

1.5.3. Nitration Benzene Menggunakan Asam Nitrat

Proses nitration ini dilakukan dengan menggunakan asam nitrat dan hidrokarbon yang telah dinitratkan. Untuk menghasilkan reaksi hidrokarbon dan asam nitrat dalam bentuk cair, asam nitrat berada di zona reaksi dalam jumlah yang jauh melebihi yang dibutuhkan untuk reaksi dengan hidrokarbon. Campuran cairan dari air, asam nitrat, dan hidrokarbon nitrat dialirkan dari reaktor ke alat distilasi fraksional untuk memisahkan azeotrop hidrokarbon air nitrat dari asam nitrat. Benzene dinitration secara kontinu, dengan asam nitrat dan benzene dimasukkan secara bersamaan ke dalam reaktor dengan perbandingan berat 1:1,7. Air dialirkan secara terus-menerus dengan kemurnian nitrobenzene yang tinggi selama periode 74 jam. Temperatur nitrator dipertahankan pada rentang 110-120°C dan tekanan 1

atm, dengan penghilangan panas dari kondensor refluks. *Yield* yang diperoleh sebesar 83% (Ross, 1956). Salah satu kerugian utama dari proses ini adalah pembentukan air setelah reaksi nitrasi secara besar yang dapat memperlambat laju reaksi serta membutuhkan bahan baku yang lebih banyak.

Tabel 1.1. Kelebihan dan Kekurangan Beberapa Proses Pembuatan Nitrobenzene

Proses	Kelebihan dan Kekurangan
Nitrasi Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses <i>Batch</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran alat yang lebih besar • Waktu reaksi 2-4 jam • Pengendalian suhu lebih mudah • Tingkat kemurnian produk 95-98%
Nitrasi Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses Kontinyu Adiabatik	<ul style="list-style-type: none"> • Panas reaksi minimal 120-160°C • Pengurangan waktu reaksi hingga 7 menit • Tingkat kemurnian produk tinggi 99%
Nitrasi Benzene dengan Asam Campuran dalam Proses Kontinyu Isotermal	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu reaksi cepat hingga 10 menit • Panas reaksi minimal 120-160°C • Tingkat kemurnian produk <99%
Nitrasi Benzene Menggunakan Asam Nitrat	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan bahan baku yang lebih banyak • Ukuran alat yang lebih besar • Masalah dalam pembuangan dan pengolahan limbah HNO₃ • Tingkat kemurniaan produk mencapai 83%

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, R., dan Supardi. *Manajemen Operasional dan Implementasi dalam Industri*. Magelang: Pustaka Rumah C1nta.
- Asjudiredja, L. dan Permana, K. 1990. *Manajemen Produksi*. Bandung: CV Armico.
- BI. 2024. Kurs Rupiah-USD. (Online). <https://www.bi.go.id>. (Diakses pada 25 September 2024).
- Buasri, A., Chaiyut, N., Loryuenyong, V., Rodklum, C., Chaikwen, T., dan Komphan, N. 2012. Continuous Process for Biodiesel Production in Packed Bed Reactor from Waste Frying Oil using Pottasium Hydroxide Supported on *Jatropha curcas* Fruit Shell as Solid Catalyst. *Applied Sciences*. Vol. 2(3): 641-653.
- Buhiarti, G. I., dan Amelia, S. 2022. *Operasi Perpindahan Massa dan Panas*. Yogyakarta: UAD PRESS.
- CEPCI. 2024. Annual index. (Online) <https://www.chemengonline.com>. (Diakses pada tanggal 27 September 2024).
- Coulson, J. M., dan J. F. Richardson. 1999. *Chemical Engineering Design, 3th Edition*. United State of America: Butterworth-Heinemann.
- Coulson, J. M., dan J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering Design, 4th Edition*. Inggris: Elsevier.
- Couper, J. R., Penney, W. R., Fair, J. R., dan Walas. S. M. 2010. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. United State of America: Elsevier.
- Ding, J., Wang, X., Zhou, X. F., Ren, N. Q., dan Guo, W. Q. 2010. CFD Optimization of Continuous Stirred-Tank (CSTR) Reactor for Biohydrogen Production. *Bioresource Technology*. Vol. 101(18): 7005-7013.
- Ditjen Cipta Karya. 1996. *Kriteria Perencanaan Ditjen Cipta Karya Dinas PU*. Jakarta: Dinas Pekerjaan Umum.
- El Bast, M., Allam, N., Abou Msallem, Y., Awad, S., dan Loubar, K. 2023. A Review on Continuous Biomass Hydrothermal Liquefaction Systems: Process Design and Operating Parameters Effects on Biocrude. *Journal of the Energy Institute*. Vol. 108, 101260.

- Elma, M., dan Nata, I. E. 2008. *Bahan Ajar Reaktor Kimia*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat Press.
- ESDM. 2024. Harga Utilitas Bahan Bakar. (Online). <https://www.migas.esdm.go.id>. (Diakses pada 27 September 2024).
- Essa. 2024. Harga Amoniak. (Online). <https://www.essa.id>. (Diakses pada 27 September 2024).
- Faputri, A. F. 2016. Desain Evaporator dan Pengujian Kondisi Operasi Optimal Pada Desain Peralatan. *Jurnal Teknik Patra Akademika*. Vol. 7(02): 17-22.
- Febrianty, Lie, D., Almubaroq, H. Z., Bagenda, C., Ichdan, D. A., Widowati, D., Wakhyuni, E., Romy, E., Syamil, A. A., Sapinah, Pujiastuti, E. E., Napitupulu, R. M., Soetandio, L. L., Mahardika, B. W., dan Wardhana, A. 2022. Organisasi dan Struktur Organisasi. Manajemen Bisnis: Konsep dan Strateginya. Media Sains Indonesia: Bandung.
- Felder, R. M. 2000. *Elementary Principles of Chemical Process, 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, H. S. 2016. *Elements of Chemical Reaction Engineering, 5th Edition*. New York: Pearson Education, Inc.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations, 3rd Edition*. United State of America: Prentice-Hall International Inc.
- Hidayat, A. 2019. Proses Kimia Dalam Industri. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Indiamart. 2024. Harga Bahan Baku. (Online). <https://www.indiamart.com>. (Diakses pada 29 September 2024).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Kirk, R. E., dan Othmer, D. F. 1991. *Encyclopedia of Chemical Technology, 4th Edition*. New York: Wiley Interscience Publication.
- Kirk, R.E., dan Othmer, D.F. 1996. *Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- KLM Technology Group. 2011. Layout and Spacing (Project Standards and Specifications) In Project Engineering Standard. (Online). <https://www.klmtechgroup.com>. (Diakses pada 20 November 2024).

- Koretsky, M. D. 2004. *Engineering and Chemical Thermodynamics*. United State of America: Wiley.
- Lamudi. 2024. Harga Bangunan. (Online). <https://www.lamudi.co.id>. (Diakses pada 27 September 2024).
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering, 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.
- Ludwig, E. E. 1999. *Applied Process Design For Chemical and Petrochemical Plants*. United State of America: Gulf Publishing Company.
- M. Van Winkle. 1967. *Distillation: Chemical Engineering Series*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Matche. 2024. Data Harga Peralatan. (Online). <https://www.matche.com>. (Diakses 25 September 2024)
- Mayasari, N., Choliso, N., Armunanto, A., Hardika, I. R., Prameswari, Y., Widarnandana, I. G. D., Purwatiningsih, Putra, I. D. A. P., Satar, M., Kurniawan, R., Suhardi, Susanti, L., dan Simarmata, N. 2022. *Perilaku Organisasi*. Tohar Media: Makassar.
- Muhammad, A., Nazaruddin, Y. Y., dan Siregar, P. I. 2020. Pemodelan pada Unit Reaktor Pabrik Urea dengan Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*. Vol. 12(1): 9-18.
- Nahara, A. R., Mustafa, A. A., dan Zuchrillah, D. R. 2021. Pemilihan Jenis Reaktor pada Proses Mixed Acid Route di Pabrik Pupuk NPK. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 10(2): 250-257.
- OLX. 2024. Harga Tanah di Kawasan GIIC. (Online). <https://www.olx.co.id>. (Diakses pada 27 September 2024).
- Pamjaya. 2024. Harga Utilitas Air. (Online). <https://www.pamjaya.co.id>. (Diakses pada 27 September 2024).
- Perry, R. H., dan Green, D. W. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Perry, R. H., dan Green, D.W. 1997. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Co.

- Peters, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering, 4th Edition*. New York: Mc Graw Hill International Book Co.
- PLN. 2024. Harga Utilitas Listrik. (Online). <https://www.web.pln.co.id>. (Diakses pada 27 September 2024).
- PT Pupuk Sriwidjaja. 2024. *Proses Utilitas*. Palembang.
- Pubchem. 2024. Nitrobenzene. (Online). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nitrobenzene>. (Diakses pada tanggal 15 April 2024).
- Ricardo, D. 2001. *On The Principles Of Political Economy And Taxation*. Canada: Batoche Books.
- Ross, D. V. 1956. *Nitrating Aromatic Hydrocarbons with Only Nitric Acid*. In *United State Patent Office*. United State: Eastman Kodak Company.
- Rusman. 2019. *Kinetika Kimia, 1st Edition*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Sarkar, S., Ghosh, S. K., dan Ghosh, P. 2009. Nitration of Benzene at High-Concentrations of Sulfuric Acid. *Asian Journal of Chemistry*. Vol. 21(6): 4533-4542.
- Sholeh, M. M. 2020. *Pra Rancangan Pabrik Nitrobenzen dari Nitrasi Benzen dan Asam Campuran dengan Kapasitas 14.000 Ton/Tahun*. [SKRIPSI]. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbolt, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Suryady, S., dan Sapto, A. D. 2024. Analisis Pembebanan Statis terhadap Rangka Mesin Alat Pengaduk untuk Adonan Donat menggunakan Software FEA. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 13(1): 22-29.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations, 3rd Edition*. New York: McGrawHill Book Co.
- Turek, F., Geike, R., dan Lange, R. 1985. Liquid-Phase Hydrogenation of Nitrobenzene in a Slurry Reactor. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. Vol. 20(4): 213-219.
- Ullmann, F., dan Elvers, B. 2005. *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: University of California.

- UN Comtrade. 2024. UN Comtrade Database. (Online). <https://comtrade.un.org/data>. (Diakses pada tanggal 18 April 2024).
- Wahidah, N. A. 2018. *Pengaruh Perubahan Suhu dan Waktu Dalam Pembuatan Sari Jahe Gajah (Zingiber Officinale Roscoe) dengan Alat Evaporator Vakum (The effect of changes in temperature and time in the manufacture of ginger juice (Zinger Officinale Roscoe) With Vacuum Evaporator)*. Disertasi Program Doktor. Universitas Dipenogoro.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Boston: Butterworths.
- Walas, S. M., Couper, J. R., Penney, W. R., dan Fair, J., R. 2012. *Chemical Process Equipment-Selection and Design, 3rd Edition*. United State of America: Elsevier.
- Winarso, K., 2020. *Perancangan dan Desain Layout Pabrik: Jilid 1*. Media Nusa Creative (MNC Publishing): Malang.
- Winkle, V. 1967. *Distillation*. Mc Graw Hill: New York.
- Wiyanti, W. 2024. *Dasar-Dasar Manajemen: Teori dan Praktek pada Perhotelan*. Sonpedia Publishing Indonesia: Jambi.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Singapura: McGrawn-Hill Co.