

**PRA RANCANGAN
PABRIK NITROBENZENA
KAPASITAS 94.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

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

DISUSUN OLEH :

AAT UTARI (03031382126109)

NADYA NUR KARIMAH (03031382126111)

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN
PRA RANCANGAN
PABRIK NITROBENZENA
KAPASITAS 94.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh :

Aat Utari

NIM 03031382126109

Nadya Nur Karimah

NIM 03031382126111

telah disetujui di Palembang, September 2025

Pembimbing,



Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198204252023212029

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia

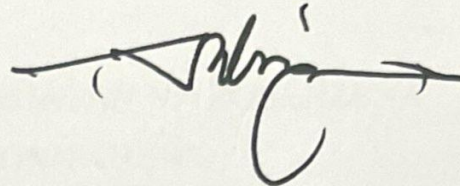


Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.IPM.
NIP. 197502012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Nitrobenzena Kapasitas 94.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh Aat Utari dan Nadya Nur Karimah dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 11 September 2025. Dengan ini menyatakan bahwa:

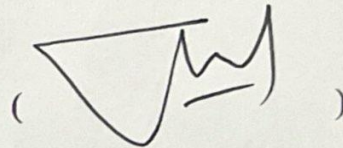
1. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU
NIP. 196009091987031004



2. Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 197706052003121004

(15/9 25 Rizka)

3. Dr. Prahady Susmanto, S.T., M.T.
NIP. 198208042012121001

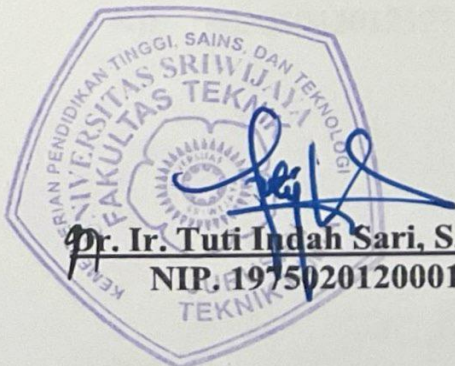


Mengetahui,

Palembang, September 2025

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.IPM
NIP. 197502012000122001



Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198204252023212029

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

AAT UTARI

03031382126109

NADYA NUR KARIMAH

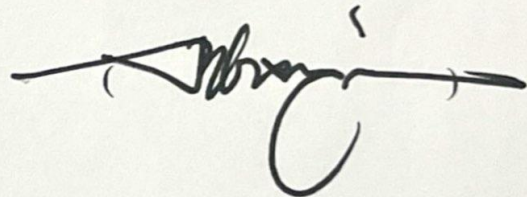
03031382126111

Judul:

“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENA KAPASITAS 94.000 TON/TAHUN”

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 September 2025 oleh Dosen Penguji:

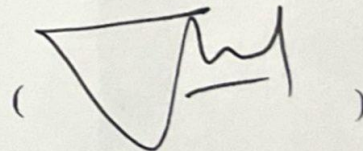
1. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU
NIP. 196009091987031004



2. Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 199007112019032018

(^{15/9-25} Rizka Wulandari Putri)

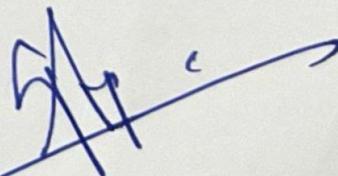
3. Dr. Prahady Susmanto, S.T., M.T.
NIP. 198208042012121001



Palembang, September 2025

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198204252023212029

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aat Utari
NIM : 03031382126109
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Nitrobenzena Kapasitas 94.000
Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Nadya Nur Karimah 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, September 2025



Aat Utari
NIM. 03031382126109



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nadya Nur Karimah

NIM : 03031382126111

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Nitrobenzena Kapasitas 94.000
Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Aat Utari 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, September 2025



Nadya Nur Karimah
NIM. 03031382126111



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Nitrobenzena Kapasitas 94.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan kurikulum akademik 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) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM. Selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 2) Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM. Selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
- 4) Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) Seluruh staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Orang tua, keluarga dan teman-teman yang telah memberikan motivasi, saran serta dukungan yang terbaik.

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

Palembang, September 2025

Penulis

ABSTRAK

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENA KAPASITAS 94.000 TON/TAHUN

Aat Utari dan Nadya Nur Karimah; Dibimbing oleh Ir. Tine Aprianti, S.T., M.T., Ph.D.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik pembuatan Nitrobenzena dengan kapasitas produksi 94.000 ton/tahun direncanakan akan berdiri pada tahun 2031 di Kawasan Industri Cilegon, Kecamatan Purwakarta. Nitrobenzena pada pabrik ini disintesis melalui proses nitrasi dari bahan baku benzena dan asam nitrat dengan katalis asam sulfat melalui reaktor *Plug Flow Reactor* (PFR) berdasarkan Patent WO 2024/001054 A1. Pabrik ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line and staff* yang dipimpin oleh seorang direktur dengan karyawan sebanyak 126 orang. Pabrik Nitrobenzena ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi :

❖ <i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= US\$ 57,611.053.29
❖ Total Penjualan Produk	= US\$ 36,270,518,85
❖ <i>Total Production Cost</i> (TPC)	= US\$ 197.400.000,00
❖ <i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	= US\$ 31.657.337.15
❖ <i>Pay Out Time</i> (POT)	= 2 Tahun
❖ <i>Rate of Return on Investment</i> (ROR)	= 55%
❖ <i>Discounted Cash Flow</i> – ROR	= 45%
❖ <i>Break Even Point</i> (BEP)	= 35%
❖ <i>Service Life</i>	= 11 Tahun

Kata Kunci : Nitrobenzena, *Plug Flow Reactor*, Perseroan Terbatas

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGHANTAR	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik	3
1.4. Macam-macam Pembuatan Nitrobenzena.....	4
1.4.1. Proses Nitration Secara Batch dengan Katalis Asam Sulfat	4
1.4.2. Proses Nitration Kontinyu.....	5
1.4.3. Nitration Benzene Menggunakan Asam Nitrat	6
1.5. Sifat Fisika dan Sifat Kimia	7
BAB II PERENCANAAN PABRIK	14
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	10
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi.....	10
2.3. Pemilihan Bahan Baku	13
2.4. Pemilihan Proses	13
2.5. Uraian Proses	15
2.5.1. Tahap Preparasi Bahan Baku.....	15
2.5.2. Reaksi Nitration	15
2.5.3. Reaksi Separasi.....	16
2.5.4. Tahap Purifikasi.....	16
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	21

3.1. Lokasi Pabrik	19
3.1.1. Ketersediaan Bahan Baku.....	21
3.1.2. Utilitas	21
3.1.3. Transportasi	22
3.1.4. Pemasaran	22
3.1.5. Tenaga Kerja.....	22
3.1.6. Keadaan Iklim.....	23
3.1.7. Perluasan Area Pabrik	23
3.2. Tata Letak Pabrik	23
3.3. Perkiraan Luas Tanah.....	24
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....	28
4.1. Neraca Massa	25
4.1.1. Mixing Tank-01 (MT-01).....	25
4.1.2. Reaktor-01 (R-01)	25
4.1.3. Mixer Settler -01 (MS-01).....	26
4.1.4. Mixer Settler-02 (MS-02).....	26
4.1.5. Mixer Settler-03 (CF-03).....	27
4.1.6. Mixer Settler 04 (CF-04).....	27
4.2. Neraca Panas	28
4.2.1. Neraca Panas Mixing Tank-01 (MT-01)	28
4.2.2. Neraca Panas Heater-01 (H-01).....	28
4.2.3. Neraca Panas Reaktor-01 (R-01).....	28
4.2.4. Neraca Panas Heater-02 (H-02).....	31
4.2.5. Neraca Panas Mixer Settler-01 (MS-01)	29
4.2.6. Neraca Panas Mixer Settler-02 (MS-02)	29
4.2.7. Neraca Panas Mixer Settler-03 (MS-03)	30
4.2.8. Neraca Panas Mixer Settler-04 (MS-04)	30
4.2.9. Neraca Panas Heater-03 (H-03).....	30
4.2.10. Neraca Panas Heater-04 (H-04).....	31
4.2.11. Neraca Panas Heater-05 (H-05).....	31
4.2.12. Neraca Panas Cooler-01 (C-01).....	31
BAB V UTILITAS	35

5.1. Unit Pengadaan Steam	32
5.2. Unit Pengadaan Air	33
5.2.1. Air Pendingin.....	33
5.2.2. Air Umpan Boiler	36
5.2.3. Air Domestik	36
5.2.4. Kebutuhan Air Keseluruhan	37
5.3. Unit Pengadaan Listrik.....	37
5.3.1. Listrik untuk Peralatan	37
5.3.2. Listrik untuk Penerangan.....	38
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	40
5.4.1. Bahan Bakar Keperluan <i>Boiler</i>	40
5.4.2. Bahan Bakar Keperluan Generator.....	41
5.4.3. Kebutuhan Bahan Bakar Keseluruhan.....	41
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	45
6.1. Tangki-01 (T-01).....	43
6.2. Tangki-02 (T-02).....	43
6.3. Tangki-03 (T-03).....	44
6.4. Tangki-04 (T-04).....	45
6.5. Tangki-05 (T-05).....	45
6.6. Tangki-06 (T-06).....	46
6.7. Tangki-07 (T-07).....	47
6.8. Tangki-08 (T-08).....	47
6.9. Heater-01 (H-01).....	48
6.10. Heater-02 (H-02).....	49
6.11. Heater-03 (H-03).....	50
6.12. Heater-04 (H-04).....	50
6.13. Heater-05 (H-05).....	51
6.14. Mixer Settler-01 (MS-01)	52
6.15. Mixer Settler-02 (MS-02)	53
6.16. Mixer Settler-03 (MS-03)	54
6.17. Mixer Settler-04 (MS-04)	55
6.18. Cooler-01 (C-01).....	55

6.19. Pompa-01 (P-01)	56
6.20. Pompa-02 (P-02)	57
6.21. Pompa-03 (P-03)	58
6.22. Pompa-04 (P-04)	59
6.23. Pompa-05 (P-05)	60
6.24. Pompa-06 (P-06)	61
6.25. Pompa-07 (P-07)	62
6.26. Pompa-08 (P-08)	63
6.27. Pompa-09 (P-09)	64
6.28. Pompa-10 (P-10)	65
6.29. Pompa-11 (P-11)	66
6.30. Pompa-12 (P-12)	67
6.31. Pompa-13 (P-13)	68
6.32. Reaktor-01 (R-01)	69
6.33. Mixing Tank-01 (MT-01)	70
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	73
7.1. Bentuk Perusahaan	72
7.2. Struktur Organisasi	73
7.2.1. Organisasi Lini	73
7.2.2. Organisasi Lini dan Staff	73
7.2.3. Organisasi Fungsional	74
7.3. Tugas dan Wewenang	74
7.3.1. Dewan Komisaris	75
7.3.2. Direktur Utama	75
7.3.3. Direktur Teknik dan Produksi	75
7.3.4. Direktur Keuangan dan Pemasaran	76
7.3.5. Direktur Umum	76
7.3.6. Manajer	77
7.3.7. Kepala Divisi	77
7.3.8. Supervisor	77
7.3.9. Operator / Karyawan	78
7.4. Sistem Kerja	78

7.4.1. Karyawan <i>Non-Shift</i>	78
7.4.2. Karyawan <i>Shift</i>	79
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	80
7.5.1. Direct Operating Labor	80
7.5.2. Indirect Operating Labor	81
BAB VIII ANALISA EKONOMI.....	86
8.1. Profitabilitas	87
8.1.1. Total Penjualan Produk	87
8.1.2. Perhitungan Annual Cash Flow	87
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal	88
8.2.1. Perhitungan Depresiasi	88
8.2.2. Lama Pengangsuran Pengembalian Modal	88
8.2.3. Pay Out Time (POT)	89
8.3. Total Modal Akhir.....	90
8.3.1. Net Profit Over Total Life of Project (NPOTLP).....	90
8.3.2. Total Capital Sink.....	92
8.4. Laju Pengembalian Modal	92
8.4.1. Rate of Return Investment (ROR).....	92
8.4.2. Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR)	93
8.5. Break Event Point (BEP)	93
8.5.1. Metode Sistematis	93
8.5.2. Metode Grafis	95
BAB IX KESIMPULAN.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98
LAMPIRAN.....	103

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Sifat Fisik dan Sifat Kimia	6
Tabel 2.1. Data Impor Nitrobenzena di Asia Tenggara	15
Tabel 2.2. Pertumbuhan Rata-Rata per Tahun-	16
Tabel 2.3. Perbandingan Jenis Proses Produksi Nitrobenzena.....	17
Tabel 5.1. Peralatan dengan Kebutuhan Steam 250°	35
Tabel 5.2. Kebutuhan Air Pendingin.....	36
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Domestik	39
Tabel 5.4. Kebutuhan Air dalam Pabrik.....	40
Tabel 5.5. Kebutuhan Listrik Peralatan.....	40
Tabel 5.6. Total Kebutuhan Listrik Pabrik Nitrobenzena	42
Tabel 5.7. Total Kebutuhan Bahan Bakar	44
Tabel 7.1. Pembagian Waktu Shift Kerja Karyawan	80
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Total Karyawan	82
Tabel 8.1. Tabel Penjualan Produk	87
Tabel 8.2. Rincian Anggaran Angsuran Pengembalian Modal	89
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik Impor Nitrobenzena Tahun 2019-2024	15
Gambar 3.1. Peta Kawasan Cilegon	22
Gambar 3.2. Peta Kawasan Industri, Kec Purwakarta, Cilegon	22
Gambar 3.3. Jalal Antar Lokasi Perusahaan dengan Bahan Baku	23
Gambar 3.4. Perancangan Tata Letak Peralatan Proses	43
Gambar 3.5. Perancangan Tata Letak Pabrik	43
Gambar 8.1. Grafik Break Even Point.....	95

DAFTAR NOTASI

1. REAKTOR

C_{A0}	= Konsentrasi awal umpan A masuk, kmol/m^3
C_{B0}	= Konsentrasi awal umpan B masuk, kmol/m^3
C_c	= <i>Corrosion allowance</i> , in
C_p	= <i>Specific heat capacity</i> , kJ/kg K
D_T	= Diameter total reaktor, m
d_i	= <i>Inside diameter</i> , m
E_j	= <i>Joint efficiency</i>
F_{A0}	= Laju alir umpan, kmol/jam
g	= Gravitasi, m/s^2
H_D	= Tinggi tutup (<i>dish</i>), m
H_S	= Tinggi shell, ft
h_i	= <i>Tube side coefficient</i> , $\text{W/m}^2\text{°C}$
k	= Konstanta kecepatan reaksi
N_{Re}	= <i>Reynold number</i>
OD	= <i>Outside Diameter</i> , m
P	= <i>Pressure Drop</i> , N/m^2
Q	= Debit aliran masuk reaktor, m^3/jam
R_g	= Konstanta gas, KJ/kmol.K
$-r_a$	= kecepatan reaksi, $\text{kmol/m}^3 \text{ jam}$
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, psi
t	= Tebal dinding reaktor, m
V	= Volume reaktor, m^3
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

2. COOLER, HEATER, EVAPORATOR

A	= Area perpindahan panas, ft^2
-----	---

C	= Clearance 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> , $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
G_t	= Laju alir massa fluida pada <i>tube</i> , $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
g	= Percepatan gravitasi, m/s^2
h	= Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
h_i, h_o	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar <i>tube</i> , $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
L	= Panjang <i>tube</i> , pipa, ft
LMTD	= Logarithmic Mean Temperature Difference, $^\circ\text{F}$
N_t	= Jumlah <i>tube</i>
P_T	= Tube pitch, in
ΔP_s	= Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan <i>tube</i> , Psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
ΔP_T	= Penurunan tekanan total pada <i>tube</i> , Psi
Q	= Beban panas pada <i>heat exchanger</i> , Btu/jam
R_d	= Dirt factor, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
Re	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= Specific gravity
T_1, T_2	= Temperatur fluida panas <i>inlet, outlet</i> , $^\circ\text{F}$
t_1, t_2	= Temperatur fluida dingin <i>inlet, outlet</i> , $^\circ\text{F}$
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas, $^\circ\text{F}$
t_c	= Temperatur rata-rata fluida dingin, $^\circ\text{F}$
U_c, U_d	= Clean overall coefficient, design overall coefficient, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
W_1	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam

W_2 = Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
 μ = Viskositas, cP

3. POMPA

A = Area alir pipa, in²
 BHP = *Brake Horse Power*, hp
 $D_{i\ opt}$ = Diameter optimum pipa, in
 E = *Equivalent roughness*
 f = Faktor friksi
 FK = Faktor keamanan
 g_c = Percepatan gravitasi, ft/s²
 $H_{f\ suc}$ = Total friksi pada suction, ft
 $H_{f\ dis}$ = Total friksi pada discharge, ft
 H_{fs} = *Skin friction loss*
 H_{fsuc} = *Total suction friction loss*
 H_{fc} = *Sudden contraction friction loss* (ft lbm/lbf)
 H_{fe} = *Sudden expansion friction loss* (ft lbm/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

4. TANGKI

C = Tebal korosi yang diizinkan, mm
 D = Diameter tangki, m
 E = Efisiensi penyambungan
 H_e = Tinggi *head*, m

H_s	= Tinggi silinder, m
H_t	= 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

5. MIXING TANK

C	= Korosi yang diizinkan, m
E	= Effisiensi pengelasan, dimensionless
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, psi
D_t	= Diameter tangki, m
D_i	= Diameter pengaduk, m
H_i	= Tinggi pengaduk dari dasar tangki, m
H_l	= Tinggi pengaduk, m
L	= Panjang impeller, m
V_s	= Volume silinder, m ³
V_e	= Volume ellipsoidal, m ³
t_h	= Tebal tangki, m
N_t	= Jumlah pengaduk
ρ	= Densitas liquid, kg/m ³
μ	= Viskositas, cP
t_m	= waktu pengadukan, menit

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	PERHITUNGAN NERACA MASSA	103
LAMPIRAN II	PERHITUNGAN NERACA PANAS.....	119
LAMPIRAN III	PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN	156
LAMPIRAN IV	PERHITUNGAN EKONOMI.....	294
LAMPIRAN V	TUGAS KHUSUS	309

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Selama era industrialisasi, pertumbuhan industri di Indonesia terutama industri bahan kimia, cenderung meningkat dari tahun ketahun. Dengan Pertumbuhan ini kebutuhan bahan baku industri, bahan kimia dan tenaga kerja akan meningkat. Industri bahan kimia khususnya petrokimia adalah salah satu yang masih membutuhkan pengembangan di Indonesia. Pengembangan industri petrokimia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan menciptakan pasar untuk mengeksport produk bahan kimia, sehingga meningkatkan devisa negara. Industri kimia yang memiliki peranan penting dan memiliki peluang di masa yang akan datang salah satunya adalah nitrobenzena.

Nitrobenzena merupakan salah satu turunan dari benzena yang diperoleh dari reaksi nitrasi dengan penambahan katalisator asam sulfat pekat. 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, nigrosine spirit soluble B atau sering dikenal dengan minyak nitrobenzenol mirban ialah senyawa hasil nitrasi senyawa aromatik yaitu benzena dengan asam penitrasi baik asam campuran (asam nitrat dan asam sulfat) maupun asam nitrat saja. Zat ini banyak terlibat dalam sintesis kimia anilin, bahan kimia yang digunakan untuk membuat busa poliuretan. Nitrobenzena juga digunakan dalam pembuatan beberapa obat, warna dan karet.

Saat ini kebutuhan nitrobenzena di Indonesia masih dipenuhi dengan impor dari negara-negara lain. Untuk memenuhi kebutuhan nitrobenzena yang semakin meningkat maka perlu didirikan industri nitrobenzena di Indonesia. Hal lain yang dapat dijadikan pertimbangan adalah memperluas lapangan kerja sehingga dapat membantu perekonomian negara serta mendorong perkembangan perindustrian di Indonesia. Serta dapat menghemat devisa negara, dengan adanya pabrik nitrobenzena di dalam negeri maka impor dapat dikurangi jika berlebih dapat diekspor. Oleh karena itu, mendirikan pabrik nitrobenzena di Indonesia akan sangat

menguntungkan untuk memenuhi kebutuhan lokal yang semakin meningkat dan mengurangi ketergantungan impor dari negara lain.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Mitscherlich menghasilkan senyawa nitro-aromatik pertama pada tahun 1834 dengan menggabungkan hidrokarbon dari tar batu bara dengan uap asam. Laurent bekerja pada nitrasi naftalena, hidrokarbon aromatik murni yang tersedia pada saat itu yaitu pada tahun 1835. Dale menyatakan pada pertemuan tahunan di Inggris pada tahun 1838 bahwa crude benzena adalah sumber senyawa nitro campuran. Hormann dan Muspratt melakukan penulisan tentang nitrasi benzena secara menyeluruh pada tahun 1845. Proses inilah menghasilkan mono dan dinitrobenzena dilakukan dengan menggunakan campuran asam nitrat dan asam sulfat (Widyaputri, 2022). Nitrobenzena didestilasi pada skala kecil untuk menghasilkan cairan berwarna kuning dengan aroma almond yang digunakan dalam industri sabun dan parfum sebagai *essence of mirbane*.

Senyawa nitroaromatik alami sangat sedikit. Kloramfenikol senyawa pertama yang dikenal, diekstrak dari jamur tanah *Streptomyces venezuelas* dan ditemukan pada tahun 1949. Penemuan ini meningkatkan penelitian tentang fungsi farmakologi kelompok nitro. Penemuan ini datang setelah penemuan sebelumnya (1943) dari aktivitas antibakteri turunan nitrofurantoin. Gugus aromatik nitro terdapat dalam banyak obat sintesis dan agrokimia, meskipun fungsi kelompok nitro belum diketahui. Sebagian besar senyawa nitro dan turunannya berfungsi sebagai zat perantara untuk pewarnaan, bahan kimia pertanian, bahan kimia farmasi, atau bahan kimia lainnya yang digunakan untuk membuat bahan sintesis dan peledak.

Nitrobenzena juga digunakan untuk membuat berbagai produk lainnya, seperti *para-aminofenol* (PAP) dan *nigrosine dyes*. PAP terutama digunakan sebagai bahan pendukung untuk asetaminofen (parasetamol), sedangkan bahan celup nigrosin digunakan secara luas untuk pewarnaan hitam pada tekstil, semir sepatu, tinta, dan plastik (Othmer, 1991). Nitrobenzena sebagian besar digunakan sebagai *raw material* dalam industri pembuatan anilin. Substitusi nitrobenzena lainnya dari nitrobenzena 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%). Pada abad ke-20, perluasan industri karet sintetis, plastik, obat-obatan, dan pestisida meningkatkan peran nitrobenzena sebagai bahan baku industri berat. Produksi berpindah dari operasi batch sederhana ke operasi yang lebih besar dan terintegrasi menggabungkan unit nitrasi, pemisahan, pelucutan, dan rekonsentrasi asam serta pengembangan proses kontinu untuk meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan kualitas produk. Perkembangan teknologi juga mendorong penggunaan metode yang mengurangi pembentukan produk samping, peningkatan pemulihan dan daur ulang asam, serta penerapan sistem pengontrol suhu dan material tahan korosi yang lebih baik.

Seiring meningkatnya produksi industri, perhatian terhadap masalah kesehatan dan lingkungan juga tumbuh. Nitrobenzena diketahui bersifat toksik dan berbahaya jika terhirup atau terpapar kulit, dan proses nitrasi serta penanganan spent acid menghasilkan emisi dan limbah asam yang harus dikendalikan. Oleh karena itu, sejak akhir abad ke-20 hingga kini fokus R&D dan praktik industri banyak diarahkan pada pengendalian emisi, peningkatan efisiensi daur ulang asam, penggunaan teknologi pemrosesan yang lebih “hijau” (pengurangan bahan kimia berbahaya, peningkatan pemulihan pelarut), serta penerapan standar keselamatan kerja dan lingkungan yang lebih ketat.

Secara keseluruhan, perjalanan nitrobenzena dari laboratorium kecil abad ke-19 ke peran strategis dalam rantai pasok kimia modern mencerminkan evolusi teknologi kimia industri dari sintesis dan ekstraksi sederhana ke proses berteknologi tinggi yang menekankan produktivitas, keselamatan, dan keberlanjutan lingkungan sementara aplikasinya juga berevolusi menjadi komponen kunci dalam produksi anilin, pewarna, farmasi, elastomer, dan bahan kimia khusus lainnya. Senyawa ini berbahaya bila terhirup dan terkena kulit karena sangat beracun.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik

Industri Indonesia selalu membutuhkan lebih banyak nitrobenzena setiap tahunnya. Nitrobenzena biasanya dibeli dari negara lain seperti Amerika Serikat, Malaysia, Taiwan, Jepang, Rusia, Cina, dan Inggris. Pabrik nitrobenzena diharapkan dapat memenuhi kebutuhan nitrobenzena nasional, menghasilkan keuntungan moneter dan meningkatkan devisa negara. Diharapkan pendirian pabrik

ini juga dapat membantu pemerintahan mengatasi masalah tenaga kerja dan mendorong pertumbuhan industri lain di Indonesia, terutama industri hilir. Serta pendirian pabrik nitrobenzene bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri dalam negeri, terutama sebagai prekursor utama anilin yang digunakan sebagai produksi MDI, TDI, poliuretan, karet sintesis, serat zat warna, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap impor keberadaan pabrik ini memberikan manfaat besar, baik dari sisi ekonomi dengan menekan biaya impor dan membuka peluang ekspor, maupun sosial dengan menciptakan lapangan kerja serta meningkatkan keterampilan tenaga kerja lokal. Selain itu pendirian pabrik nitrobenzene juga mendorong efisiensi rantai pasok, memperkuat kemandirian industri kimia nasional, serta menghadirkan nilai tambah dari pemanfaatan benzena yang tersedia di dalam negeri, sehingga memiliki peran strategis dalam mendukung perkembangan industri kimia hilir dan pertumbuhan ekonomi regional.

1.4. Macam-macam Pembuatan Nitrobenzena

Secara umum, proses nitrasi langsung benzena menggunakan campuran asam nitrat dan asam sulfat, proses ini disebut sebagai asam campuran atau asam nitrasi, dan asam sulfat berfungsi sebagai katalis yang memudahkan pembentukan nitrobenzena. Proses nitrasi dapat menghasilkan nitrobenzena baik secara batch maupun secara kontinyu. Menurut Ross (1956) menyatakan bahwa proses nitrasi juga dapat menghasilkan nitrobenzena hanya dengan menggabungkan asam nitrat dan benzena tanpa kehadiran katalis.

1.4.1. Proses Nitrasi Secara Batch dengan Katalis Asam Sulfat

Dalam proses nitrasi batch, reaktor diisi dengan benzena sebagai bahan baku kemudian, secara perlahan, asam campuran yang terdiri dari asam nitrat dan asam sulfat ditambahkan ke permukaan reaktor. Setelah produk reaktor dipisahkan menggunakan separator, nitrobenzena mentah dikeluarkan dari reaktor. Selanjutnya bahan pencuci seperti natrium hidroksida, natrium karbonat, magnesium hidroksida dan udara didinginkan dalam beberapa tahap. Suhu reaksi yang dipertahankan adalah 50-55 °C dengan tekanan 1 atm. Kemurnian nitrobenzena yang diinginkan menentukan apakah produk tepat didistilasi atau tidak. Kelebihan benzena kecil menunjukkan bahwa ada sedikit atau tidak ada asam yang digunakan. Proses batch, reaksi memerlukan 2-4 jam dan memiliki rendemen 95-98 (Krik dan Othmer, 1996).

Pemisahan nitrobenzena biasanya terjadi dalam tangki timah berbentuk kerucut. Bahan 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 benzena yang selanjutnya untuk dinitrasi, dengan tujuan untuk mengekstrak sisa nitrobenzena. Nitrobenzena terbuat kemudian dikirim ke bagian penentralisir. Bak penentralisir dapat berupa bak timah berbentuk kerucut besar mengandung udara, yang digunakan untuk pengadukan nitrobenzena selama proses pencucian dengan pengadukan *sleeve* dan *propeller*. Vesel penentralisir dipersiapkan dengan air hangat, yang dikirimkan dari tong yang berdekatan dan nitrobenzena dimasukkan ke dalamnya. Nitrobenzena 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 dimana hampir semua nitrobenzena akan mengendap. Temperatur yang diberikan pencucian netralisir adalah 40-50 °C dengan larutan natrium karbonat hangat, sampai alkali menjadi fenolflein (Othmer, 1991).

1.4.2. Proses Nitrasi Kontinyu

Urutan dasar operasi untuk proses kontinyu adalah sama dengan proses batch, namun tingkat produksi tertentu, ukuran nitrator jauh lebih kecil dalam proses kontinyu. Nitrator kontinyu berukuran 0114-m³ (30-gal) kira-kira memiliki kapasitas produksi yang sama seperti reaktor batch 5.68m³ (1500-gal). Nitrasi dalam proses kontinyu dapat berlangsung dengan penghilangan panas reaksi, seperti secara adiabatik atau isothermal (Othmer, 1991).

a) Proses Kontinyu Adiabatik

Sebuah proses nitrasi adiabatik telah dikembangkan untuk produksi nitrobenzena. Metode ini perlu 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 nitrasi dilakukan pada suhu lebih tinggi dari suhu biasanya yaitu 120-160 °C. Ketika benzena yang digunakan terlalu banyak maka suhu akan lebih tinggi. Suhu yang lebih tinggi memungkinkan air yang akan dihilangkan

sebagai azeotrop air-benzena. Air dipisahkan dan fase benzena, yang berisi sekitar 8% nitrobenzena, di *recycle* kembali dalam reaktor. Asam sulfat kering kemudian digunakan kembali terus menerus. Proses adiabatik mengintegrasikan nitrasi dengan konsentrasi asam sulfat menggunakan panas nitrit untuk mengkonsentrasikan kembali spent asam sulfat.

b) Proses Kontinyu Isotermal

Proses isothermal berbeda dari proses adiabatic hanya dibagian nitrasi. Dalam proses isothermal, biasanya minimal 2 nitrator bersusun seri yang digunakan sampai dengan 4 nitrator di pabrik besar. *Spent acid* dan *crude* nitrobenzena biasanya dipisahkan melalui pengendapan gravitasi, tetapi dalam beberapa desain pemisahan sentrifugal digunakan. *Spent acid* dilucuti bebas dari nitrobenzena dan asam nitrat terlarut oleh uap *stripping* atau melalui benzena ekstrasiprenitrasi. Hal ini kemudian di-*reconcentrate* dan di-*recycle* atau dikeluarkan. Pelucutan *spent acid* kadang-kadang diabaikan dalam pabrik-pabrik kecil (McKetta, 1989). Pada proses kontinyu isothermal, pengendalian suhu reaksi menjadi aspek sangat penting karena reaksi nitrasi bersifat eksotermis sehingga tanpa pengaturan selektivitas produk, Oleh sebab itu, sistem pendingin eksternal biasanya digunakan pada nitrator untuk menjaga suhu tetap konstan, sehingga pembentukan produk samping seperti dinitrobenzene dapat ditekan. Pemakaian beberapa nitrator seri memungkinkan konversi benzena berlangsung terhadap dengan control suhu yang lebih baik, serta memudahkan pemisahan fase antara *crude* nitrobenzene dan *spent acid*.

1.4.3. Nitrasi Benzena Menggunakan Asam Nitrat

Pada proses ini, fungsi campuran asam (asam sulfat dan asam nitrat) sebagai asam penitrasi digantikan dengan asam nitrat dan air. Proses ini kurang menguntungkan karena diperlukan asam nitrat yang berlebihan untuk menghasilkan nitrobenzena dalam jumlah yang sama dan waktu reaksi berlangsung sangat lama. Proses ini juga memerlukan bahan baku yang lebih banyak dengan ukuran alat yang diperlukan jauh lebih besar, sehingga dari segi ekonomi kurang menguntungkan (Ross dkk, 1956). Metode nitrasi menggunakan asam nitrat murni juga kurang efisien secara kimia karena pembentukan ion nitronium spesies

penitrasi aktif sangat tergantung pada keberadaan asam penstabil atau pengikat yang mampu menyerap molekul air dan memindahkan kesetimbangan ke arah pembentukan NO_2^+ . Tanpa penolong tersebut, konsentrasi rendah sehingga laju reaksi melambat dan selektivitas menurun, reaksi Panjang meningkat resiko terbentuk produk samping. Selain itu, operasi dengan asam nitrat pekat saja menuntut material konstruksi yang tahan korosi lebih mahal dan sistem penanganan asam yang lebih besar, factor-faktor ini membuat metode kurang menarik untuk skala industri modern, sehingga pabrikan biasanya memilih rute asam campuran atau teknologi proses continue dengan daur ulang asam untuk meningkat konversi, selektivitas dan keselamatan operasi. Selain itu, teknologi modern lebih banyak mengadsorpsi proses isothermal dibanding adiabatic karena efisiensinya lebih tinggi, resiko operasi lebih rendah, dan kemudahan dalam mengendalikan kualitas produk. Namun, dari segi investasi awal, proses isothermal memerlukan biaya lebih besar karena membutuhkan unit pendingin tambahan, peralatan pemisahan yang lebih kompleks, serta sistem daur ulang asam yang terintegritas agar tetap ekonomis dan ramah lingkungan.

1.5. Sifat Fisik dan Sifat Kimia

Sifat fisik adalah sifat yang dapat diamati atau diukur tanpa mengubah zat menjadi zat baru. Jadi hanya terkait bentuk, warna, bau, wujud dan sifat yang bisa dilihat atau diukur secara langsung. Perubahan yang terjadi pada sifat fisik, seperti es mencair menjadi air atau menguap menjadi uap, tidak menghasilkan zat baru karena identitas kimianya tetap sama. Sifat kimia adalah sifat yang berhubungan dengan kemampuan zat mengalami perubahan kimia sehingga terbentuk zat baru, seperti daya bakar, kereaktifan terhadap asam/basa, kestabilan, kemampuan teroksidasi atau tereduksi, kemampuan terdekomposisi.

Tabel 1.1. Sifat Fisika

H ₂ SO ₄	HNO ₃	Na ₂ CO ₃	C ₆ H ₅ NO ₂	H ₂ O	C ₆ H ₆
1. Berat molekul = 98,08 g/mol	1. Berat molekul (g/mol) = 63,02	1. Berat molekul = 106 g/mol	1. Berat molekul = 106 g/mol	1. Berat molekul = 18,015	1. Berat molekul = 78,114 g/mol
2. Wujud = cair	2. Titik didih, °C = 86	2. Titik didih pada 1 atm, °C = 1600	2. Titik didih, °C = 210,9	2. Titik didih, °C = 100	2. Titik didih 1 atm, °C = 80,094
3. Rumus Molekul = H ₂ SO ₄	3. Titik beku, °C = -42	3. Titik leleh, °C = 851	3. Titik leleh, °C = 5,7	3. Titik beku, °C pada 1 atm = 0	3. Titik leleh, °C = 5,530
4. Titik didih, °C = 340	4. Specific gravity = 1,502	4. Densitas, g/cm ³ = 2,53	4. Titik nyala, °C = 88	4. Kalor jenis, J/kg.K = 4186	4. Densitas (25 °C), g/cm ³ = 0,8736
5. Titik leleh, °C = 10,49	5. Viskositas pada 25 °C, kJ/mol = 0,761	5. Kapasitas Panas, kal/mol = 28,9	5. Temperatur kritis, °C = 438,85	5. Volume molar, mol/L = 55,5	5. Viskositas (25 °C), cp = 0,6010
6. Densitas pada 20 °C, g/mL : 1,84	6. Entropy pada 25 °C, J/mol.K = 155,60	6. Panas pembentuk, kkal/kmol = - 270.300	6. Tekanan kritis, kPa = 3500	6. Tegangan permukaan pada 20°C, dyne/cm = 73	6. Tekanan uap (25 °C), atm = 0,12
7. Viskositas pada 20 °C , cP = 26,7	7. Densitas pada 20 °C, g/mL = 1,502		7. Indek bias = 1.553	7. Tekanan uap pada 20°C, atm = 0.0212	7. Suhu kritis (T _c), °C = 289,01
				8. Tekanan kritis (P _c), atm = 48,35	8. Tekanan kritis (P _c), atm = 48,35

	8. Energi bebas pada 25 °C, kJ/mol = -80,71 9. Panas penguapan pada 25 °C, kJ/mol = 39,04 10. Panas pembentukan pada 25 °C, kJ/mol = 174,10		8. Densitas pada 25°C, g/mL = 1.199 9. Viskositas pada 15°C, cP = 2,17 10. Panas laten penguapan, J/g = 331 11. Panas peleburan, J/g = 94,2 Panas pembakaran, kkal/mol = 739	8. Kalor pembentukan, kJ/mol = 6.013 9. Kalor penguapan, kJ/mol = 40.63 10. Viskositas pada 20°C, cP = 1.002 11. Temperatur kritis, K = 647 Tekanan kritis, Pa = 22.1 x 106	9. Panas pembentukan (H_f), kJ/mol = 82,93 10. Panas pembakaran (H_c), kJ/mol = 3,2676 x 103 11. Panas penguapan (25 °C), kJ/mol = 33,899
--	--	--	---	--	--

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2024. *Badan Pusat Statistik: Ekspor dan Impor*. (Online). <https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada tanggal 15 Desember 2024).Felder, R. M., dan Rousseau, R.W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. John Wiley and Sons: New York.
- Folger, S.H. 2016. *Elements of Chemical Reaction Engineering Fifth Edition*. Michigan : Prentice Hall.
- Ghosh,P., Rahaman, M., dan Mandal, B. 2010. Nitration of Nitrobenzene at HighConcentrations of Sulfuric Acid: Mass Transfer and Kinetic Aspects. *AIChE Journal*. Vol. 56(3) : 737-748.
- Handoko, T. 2016. Pengolahan Limbah Cair Asam Basa PT. Biotech Surindo. *Journal.unpar*.Vol. 2(2015): 1-8.
- Hao, J., dkk. 2022. *Molecular Dynamics Simulation of Thermophysical Properties and the Microstructure of Na₂CO₃ Heat Storage Material*. *Journal energies*. 15, 7080.
- Hefter, G., dkk. 2002. Heat Capacities of Concentrated Aqueous Solutions of Sodium Sulfate, Sodium Carbonate, and Sodium Hydroxide at 25 °C. *Journal of Chemical and Engineering Data*. Vol. 47(3): 590-598.
- Kemendikbud. 2010. Modul 4 Legalitas Bentuk Perusahaan. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan: Jakarta.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw Hill: New York.
- Kirk, R.E., dan Othmer, D.F. 1996. *Encyclopedia od Chemical Technology. 4th Edition*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering third Edition*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Li, S., dkk. 2017. Thermal stability of Na₂CO₃-Li₂CO₃ as a high temperature phase change material for thermal energy storage. *Thermochimica acta*. PII: S0040-6031(17)30002-3.
- Milonjic, S.K., dan Mirjana, M.M. 1995. Heat capacities of sodium carbonate-sodium bicarbonate aqueous solution mixtures. *Thermochimica Acta*. 111-115.

- Othmer, D. F., dan Kirk, R. E. 1991. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Wiley : New York.
- Perry. 2007. *Perry's Chemical Engineer's Handbook 8th Ed*. New York : McGraw Hill Inc.
- Perry, R. H., dan Green, D. W. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. New York: McGraw-Hill Professional.
- 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.
- Pratiwi, N., Jinca, M. Y., dan Sutopo, Y. K. D. 2020. Konsep Pengelolaan Air Limbah Kawasan Industri Makassar (KIMIA). *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*. Vol. 24(1): 1-10.
- P2K STEKOM. 2023. *Sifat Air*. Online. https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Sifat_air. (Diakses pada tanggal 11 Januari 2025).
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Elsevier Butterworth-heinemann: Oxford.
- Smith, J. M. Dan Van Ness, H. C. 2018. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition*. New York : McGraw-Hill.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan (SNI 6197: 2011)*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.
- Subekti, I. 2022. Pengorganisasian dalam Pendidikan. *Journal of Education and Teaching*. Vol. 3(1): 19-29.
- Sumitro. 2014. Keuntungan dan Kelemahan dari Setiap Jenis Struktur Organisasi. *Jurnal Ilmiah AMIK Labuhan Batu*. Vol. 2(2): 35-51.
- Treybal, R. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd*. Singapore : McGraw Hill International.
- Ulrich, G. D. 1976. *A Guide To Chemical Engineering Process Design and Economisc*. New York: John Wiley & Sons.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. *Tentang Ketenagakerjaan*. (Online).

- http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 28 April 2025).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007. *Tentang Perseroan Terbatas*. (Online). <https://www.ojk.go.id/sustainable-finance/id/peraturan/undang-undang/>. (Diakses pada Tanggal 29 April 2025).
- Utami, P. D. Y. 2020. Pengaturan Pendaftaran Badan Usaha Bukan Badan Hukum Melalui Sistem Administrasi Badan Usaha. *Jurnal Komunikasi Hukum*. Vol. 6(1) : 2407-4276.
- Vilbrandt. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. New York : McGraw Hill Book Company, Inc.
- Wells. 1991. *Handbook of Petrochemicals and Process*. New York: Routledge Revivals.
- Widyadhana, A. dan Sururi, M. R. 2024. Evaluasi Sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri PET PT.X. *Jurnal EnviroUS*. Vol.4(2): 11-18.
- Widyaputri, J. 2022. PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN NITROBENZENA DARI BENZENA, ASAM NITRAT DAN KATALIS ASAM SULFAT MENGGUNAKAN PROSES NITRASI DENGAN KAPASITAS 65.000 TON/TAHUN. SKRIPSI. Universitas Jambi.
- Wijaya, K., dkk. 2023. Nanosulfated Silica as a Potential Heterogeneous Catalyst for the Synthesis of Nitrobenzene. *Korean J. Mater.Res*. Vol. 33(7) : 265-272.
- Yan.D., dkk. 2022. Continuous Flow Nitration of Nitrobenzene: Kinetic Modeling and Bayesian Optimization. *Chem.Eng.Commun*. 23 (4-6), 277-289.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill.
- Yi, C., dkk. 2013. An Efficient Hydrogenation Catalyst in Sulfuric Acid for Nitrobenzene to p-Aminophenol: N-doped Carbon with Encapsulated Molybdenum Carbide. *Journal Society of Chemistry*. 1-3.
- Yustika, S., Situmorang, H., Tambunan, M. O., Frastika, W., dan Sihite, Y. 2023. Penentuan Nilai COD sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah Fasilitas Pelayanan Kesehatan Rumah Sakit Putri Bidadari Langkat. *Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknoologi*. Vol. 2(2): 346-348.

Zeinalova, A.B., dkk. 2007. Density, Apparent and Partial Molar Volumes, and Viscosity of Aqueous Na₂CO₃ Solutions at High Temperatures and High Pressures. *Z.Phys.Chem.* 221: 963-1000.