

**PRARANCANGAN PABRIK NITROBENZENA DARI BENZENA DAN
ASAM NITRAT DENGAN KATALIS ASAM SULFAT BERKAPASITAS
75.000 TON/TAHUN (Perancangan Menara Distilasi (MD-302))**

(Skripsi)

Oleh

AYU SAKINAH

1615041039



**JURUSAN TEKNIK KIMA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRACT

DESIGN OF NITROBENZENE FACTORY FROM BENZENE AND NITRIC ACID WITH SULFURIC ACID CATALYST CAPACITY 75,000 TON/YEAR (Distillation Tower Design (MD-302))

By

AYU SAKINAH

Nitrobenzene is a pale yellow liquid with an odor resembling that of almonds, highly toxic by inhalation and in contact with skin, and readily soluble in most organic solvents. Nitrobenzene which has the molecular formula $C_6H_5NO_2$ has several other names such as nitrobenzol, mirbane oil, nitrobenzide, and myrbane oil. This substance is abundant in the chemical synthesis of aniline, which is a chemical used in the manufacture of polyurethane foam. Nitrobenzene is also used industrially in the manufacture of some pharmaceuticals, dyes and rubber.

The planned production capacity of the factory is 75,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in the Cilegon area, Banten. The workforce needed is 123 people in the form of a Limited Liability Company (PT) led by a President Director who is assisted by a Production Director and a Finance Director with a line and staff organizational structure.

From the economic analysis, obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	<i>(FCI)</i>	=Rp 289.674.566.537,-
<i>Working Capital Investment</i>	<i>(WCI)</i>	= Rp51.119.041.154,-
<i>Total Capital Investment</i>	<i>(TCI)</i>	= Rp340.793.607.690,-
<i>Break Even Point</i>	<i>(BEP)</i>	= 46,87%
<i>Shut Down Point</i>	<i>(SDP)</i>	= 25,06%
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	<i>(POT)_a</i>	= 2,4 years
<i>Return on Investment after Taxes</i>	<i>(ROI)_a</i>	= 26,85%
<i>Discounted Cash Flow</i>	<i>(DCF)</i>	= 28,01 %

Considering the above summary, it is appropriate that the establishment of this phenol plant should be studied further, because it is a profitable factory and has good prospects.

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK NITROBENZENA DARI BENZENA DAN ASAM NITRAT DENGAN KATALIS ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN

(Tugas Khusus Perancangan Menara Distilasi (MD-302))

Oleh

AYU SAKINAH

Nitrobenzena adalah cairan kuning pucat yang memiliki bau yang menyerupai seperti bau almond, sangat beracun bila terhisap dan terkena kulit. dan yang mudah larut dalam sebagian besar pelarut organik. Nitrobenzena yang memiliki rumus molekul $C_6H_5NO_2$ memiliki beberapa nama lain seperti *nitrobenzol*, *oil of mirbane*, *nitrobenzide*, dan *myrbane oil*. Zat ini banyak dalam sintesis kimia anilin, yang merupakan bahan kimia yang digunakan dalam pembuatan busa poliuretan. Nitrobenzena juga digunakan secara industri dalam pembuatan beberapa obat-obatan, pewarna dan karet.

Kapasitas produksi pabrik direncanakan 75.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di daerah Gresik, Jawa Timur. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 123 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Produksi dan Direktur Keuangan dengan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi, diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= Rp 289.674.566.537,-
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= Rp 51.119.041.154,-
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= Rp 340.793.607.690,-
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 46,87%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 25,06%
<i>Pay Out Time after Taxes</i>	(POT) _a	= 2,4 years
<i>Return on Investment after Taxes</i>	(ROI) _a	= 26,85%
<i>Discounted Cash Flow</i>	(DCF)	= 28,01 %

Mempertimbangkan rangkuman di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Fenol ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai prospek yang baik.

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK NITROBENZENA DARI
BENZENA DAN ASAM NITRAT DENGAN
KAPASITAS 75.000 TON/TAHUN
(Perancangan Kolom Distilasi (MD-302))**


Nama Mahasiswa : Ayu Sakinah


No. Pokok Mahasiswa : 1615041039

Jurusan : Teknik Kimia


Fakultas : Teknik




Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001


Muhammad Haviz, S.T., M.T.
NIP. 199001282019031015

Ketua Jurusan Teknik Kimia


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : Yuli Darni, S.T., M.T.



Sekretaris : Muhammad Haviz, S.T., M.T.



Penguji
Bukan Pembimbing : Panca Nugrahini F, S.T., M.T

Lia Lismeri, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 21 Juni 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagai mana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Juni 2023

Ayu Sakinah
NPM. 1615041039

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kedondong, 2 April 1998, sebagai anak pertama dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak Firdaus Susanto dan Ibu Latifah.

Penulis menyelesaikan pendidikan TK di TK Al-Azhar 3 Way Halim, Bandar Lampung pada tahun 2003, Sekolah Dasar di SDN 3 Perumnas Way Kandis, Tanjung Senang, Bandar Lampung pada 2010, Sekolah Menengah Pertama di MTsN 2 Bandar Lampung pada tahun 2013, dan Sekolah Menengah Atas di MAN 1 Bandar Lampung pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) 2016. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan, yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai Staf Departemen Dana dan Usaha Periode 2017 dan sebagai Sekretaris Departemen Dana dan Usaha Periode 2018, serta Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai Staf Ahli Dinas Dana dan Usaha Periode 2018.

Pada tahun 2019, penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Tanjung Enim Lestari Banu Ayu, Tanjung Enim dengan Tugas Khusus “Menghitung *Heatloss* Pada *Lime Kiln*”. Selain itu, penulis melakukan KKN di Lampung Barat pada tahun 2020 dan melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan Kitosan Pada Sintesis Cangkang Kapsul Berbasis Karagenan dan Pati Jagung”.

MOTTO

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan) tetaplah bekerja keras untuk urusan yang lain”

-(Qs. Al-Insyirah : 6-7)-

“Sejauh Apapun Jalan Yang Kita Tempuh, Tujuan Akhir Selalu Rumah”

(Fiersa Besari)

“Segala Sesuatu Tergantung Niatnya”

Sebuah Karya

Kupersembahkan Tugas Akhir ini untuk:

Allah SWT, berkat Rahmat dan Karunia-Nya saya dapat menyelesaikan karya ini.

Keluarga, terima kasih atas doa, kasih sayang, dan pengorbanan yang tak terhitung jumlahnya, terima kasih atas kepercayaan dan dukungannya selama ini.

Teknik Kimia Angkatan 2016, terima kasih telah memberikan warna pada perjalanan hidup saya di kampus.

Dosen Teknik Kimia, terima kasih atas segala ilmu yang telah diberikan.

Keluarga Besar Teknik Kimia Universitas Lampung, terima kasih atas kesempatan mengukir cerita di sini, dan juga terima kasih telah diberi kesempatan untuk menjadi bagian dari kalian.

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik Nitrobenzena dari Benzena dan Asam Nitrat dengan Katalis Asam Sulfat dengan Kapasitas 75.000 Ton/Tahun”.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah membantu baik berupa kesempatan, bimbingan, petunjuk, informasi, maupun sarana dan prasarana lainnya. Dalam kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah Yang Maha Esa karena karunia dan rahmat-Nya penulis diberikan kesehatan, kesabaran dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
2. Orang Tua dan Adik- Adik Tercinta yang telah memberikan semangat, dan dorongan materi. Terima kasih atas segala dukungan, doa, cinta, dan kasih sayang yang selalu mengiringi di setiap langkah perjuangan.
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
5. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T.. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, serta saran selama penyelesaian

tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.

6. Bapak Muhammad Haviz, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, bimbingan, serta saran selama penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna dikemudian hari.
7. Ibu Panca Nugrahini F, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik dan saran atas penyelesaian tugas akhir ini.
8. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran atas penyelesaian tugas akhir ini.
9. Seluruh Dosen, Mba Admin dan Civitas Teknik Kimia Universitas Lampung, atas segala ilmu yang diberikan selama menjalani proses perkuliahan.
10. Mettyana Ordevo Demayanti, S.T selaku rekan seperjuangan selama penyelesaian Tugas Akhir ini. Terima kasih banyak atas bantuan dan kesabarannya. Walau terkadang sesuatu tidak seperti yang kita harapkan, tetapi saya bangga atas hasil yang kita kerjakan bersama ini.
11. Amalia, Sali, Nida, Mba Ruruh dan Jeri yang selalu memberikan bantuan, semangat dan motivasi. Semoga kita semua menjadi orang yang sukses.
12. Julpa, Mpit, Tarin, Dinda, Intan, Nuka, dan Mak Nisa yang memberikan doa, semangat dan motivasi.
13. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016, terima kasih atas segala bantuannya selama menyelesaikan studi dan kepengurusan di Teknik Kimia Universitas Lampung

Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga skripsi ini berguna di kemudian hari.

Bandar Lampung, 22 Juni 2023

Ayu Sakinah

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk.....	2
1.3 Penentuan Kapasitas Rancangan.....	3
1.4 Ketersediaan Bahan Baku	5
1.5 Lokasi Pabrik	5
BAB II PEMILIHAN PROSES	8
2.1 Jenis-Jenis Proses	9
2.2 Tinjauan Proses	11
2.3 Pemilihan Proses	30

2.4 Uraian Proses	31
BAB III SPESIFIKASI BAHAN	34
3.1. Spesifikasi Bahan Baku	34
3.2. Bahan Penunjang	35
3.3. Produk.....	36
BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI	37
4.1. Neraca Massa	37
4.2. Neraca Energi.....	47
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....	60
5.1 Spesifikasi Alat Proses.....	60
5.2 Spesifikasi Alat Utilitas	88
BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....	109
6.1. Unit Penyedia dan Pengolahan Air (Water Treatment System)	109
6.2. Unit Penyedia Steam (Steam Intrumen System).....	121
6.3 Unit Penyedia Udara Instrumen (Instrument Air System)	123
6.4. Unit Pembangkit Tenaga Listrik dan Pendistribusian Listrik	124
6.5 Unit Pengadaan Bahan Bakar	124
6.6 Laboratorium	125
6.7 Instrumen dan Pengendalian Proses	127
6.8 Unit Pengolahan Liquid Refrigerant (Refrigerant Cycle System).....	128
BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	134
7.1. Lokasi Pabrik	134
7.2. Tata Letak Pabrik.....	135
7.3. Prakiraan Areal Lingkungan	138
BAB VIII MANAJEMEN DAN ORGANISASI	142
8.1. Bentuk Perusahaan.....	142
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan	144
8.3. Tugas dan Wewenang	147
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	153
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan	154
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan.....	156
8.7. Kesejahteraan Karyawan	161

BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....	164
9.1. Investasi	164
9.2. Evaluasi Ekonomi	168
9.3. Discaounted Cash Flow	171
BAB X SIMPULAN DAN SARAN.....	174
10.1.Simpulan	174
10.2.Saran	174
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Pabrik Nitrobenzena di Dunia.....	2
Tabel 1.2. Data Impor Nitrobenzena.....	3
Tabel 1.3. Data Produsen Bahan Baku Nitrobenzena di Indonesia	5
Tabel 2.1. Nilai <i>Enthalpy</i> dan Energi Gibbs	12
Tabel 2.2. Nilai A,B,C,D Bahan dan Produk	14
Tabel 2.3. Nilai A,B,C,D Bahan dan Produk	18
Tabel 2.4. Data Harga Bahan Baku dan Produk Pembentukan Nitrobenzena	22
Tabel 2,5. Mol Bahan Baku dan Produk Proses Nitrobenzena Tanpa Katalis.....	23
Tabel 2.6. Data Proses Pembentukan Nitrobenzena Tanpa Katalis	24
Tabel 2.7. Mol Bahan Baku dan Produk Proses Nitrobenzena Dengan Katalis	25
Tabel 2.8. Data Proses Pembentukan Nitrobenzena Dengan Katalis	26
Tabel 2.9. Mol Bahan Baku dan Produk Proses Nitrobenzena Dengan Katalis...	27
Tabel 2.10.Data Proses Pembentukkan Nitrobenzena dengan Katalis.....	29
Tabel 2.11. Kriteria Penilaian Pemilihan Proses	30
Tabel 4.1. Neraca Massa Total pada <i>Mixing Point</i> (MP-101)	38
Tabel 4.2. Neraca Massa Total pada <i>Nitration Reactior</i> (RE-201).....	39
Tabel 4.3. Neraca Massa Total pada <i>Decanter</i> (DC-301).....	40
Tabel 4.4. Neraca Massa Total pada <i>Mixing Tank</i> (MT-102).....	41
Tabel 4.5. Neraca Massa Total pada <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	42
Tabel 4.6. Neraca Massa Total pada <i>Centrifuge</i> (CF-301)	43
Tabel 4.7. Neraca Massa Total pada Menara Distilasi (MD-301)	44
Tabel 4.8. Neraca Massa Total pada <i>Condensor</i> (CD-301).....	45
Tabel 4.9. Neraca Massa Total pada <i>Reboiler</i> (RB-301).....	45
Tabel 4.10. Neraca Massa Total pada Menara Distilasi (Md-302)	46
Tabel 4.11. Neraca Massa Total pada <i>Condensor</i> (CD-302).....	47
Tabel 4.12. Neraca Massa Total pada <i>Reboiler</i> (RB-302).....	47
Tabel 4.13. Neraca Energi Total pada <i>Mixing Point</i> (MP-101).....	48
Tabel 4.14. Neraca Energi Total pada <i>Heater</i> (HE-201).....	49

Tabel 4.15. Neraca Energi Total pada <i>Heater</i> (HE-202).....	49
Tabel 4.16. Neraca Energi Total pada <i>Nitration Reactior</i> (RE-201).....	51
Tabel 4.17. Neraca Energi Total pada <i>Decanter</i> (DC-301).....	52
Tabel 4.18. Neraca Energi Total pada <i>Mixing Tank</i> (MT-102).....	53
Tabel 4.19. Neraca Energi Total pada <i>Heater</i> (HE-301).....	54
Tabel 4.20. Neraca Energi Total pada <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	55
Tabel 4.21. Neraca Energi Total pada <i>Centrifuge</i> (CF-301).....	43
Tabel 4.22. Neraca Energi Total pada <i>Heater</i> (HE-302).....	57
Tabel 4.23. Neraca Energi Total pada <i>Menara Distilasi</i> (MD-301).....	57
Tabel 4.24. Neraca Energi Total pada <i>Menara Distilasi</i> (MD-302).....	58
Tabel 4.25. Neraca Energi Total pada <i>Cooler</i> (CO-301).....	59
Tabel 5.1. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-101).....	43
Tabel 5.2. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-102).....	43
Tabel 5.3. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-201).....	44
Tabel 5.4. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-401).....	45
Tabel 5.5. Spesifikasi <i>Process Pump</i> (PP-101).....	45
Tabel 5.6. Spesifikasi <i>Process Pump</i> (PP-102).....	46
Tabel 5.7. Spesifikasi <i>Process Pump</i> (PP-201).....	47
Tabel 5.8. Spesifikasi <i>Process Pump</i> (PP-202).....	47
Tabel 5.9. Spesifikasi <i>Process Pump</i> (PP-301).....	48
Tabel 5.10. Spesifikasi <i>Process Pump</i> (PP-302).....	49
Tabel 5.11. Spesifikasi <i>Mixing Tank</i> (MT-301).....	49
Tabel 5.12. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-201).....	51
Tabel 5.13. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-202).....	52
Tabel 5.14. Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301).....	52
Tabel 5.15. Spesifikasi <i>Nitration Reactor</i> (RE-201).....	53
Tabel 5.16. Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-301).....	55
Tabel 5.17. Spesifikasi <i>Decanter</i> (DC-302).....	55
Tabel 5.18. Spesifikasi <i>Gudang</i> (GD-301).....	56
Tabel 5.19. Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-301).....	57
Tabel 5.20. Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-301).....	57
Tabel 5.21. Spesifikasi <i>Hopper</i> (HP-301).....	58

Tabel 5.22. Spesifikasi <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	58
Tabel 5.23. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-401)	60
Tabel 5.24. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-402)	60
Tabel 5.25. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-403)	61
Tabel 5.26. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-404)	62
Tabel 5.27. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-405)	63
Tabel 5.28. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-406)	63
Tabel 5.29. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-407)	64
Tabel 5.30. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-408)	65
Tabel 5.31. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-409)	65
Tabel 5.32. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-410)	66
Tabel 5.33. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-411)	67
Tabel 5.34. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-412)	67
Tabel 5.35. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-413)	68
Tabel 5.36. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-414)	69
Tabel 5.37. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-415)	70
Tabel 5.38. Spesifikasi Bak Sedimentasi (BS-401)	70
Tabel 5.39. Spesifikasi Gudang (GD-401).....	71
Tabel 5.40. Spesifikasi Gudang (GD-402).....	71
Tabel 5.41. Spesifikasi Gudang (GD-403).....	72
Tabel 5.42. Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-401).....	73
Tabel 5.43. Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-402).....	74
Tabel 5.44. Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-403).....	74
Tabel 5.45. Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-401)	75
Tabel 5.46. Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-402)	76
Tabel 5.47. Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-403)	76
Tabel 5.48. Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-401)	77
Tabel 5.49. Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF-401)	78
Tabel 5.50. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-401)	78
Tabel 5.51. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-402)	79
Tabel 5.52. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-403)	80
Tabel 5.53. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-404)	80

Tabel 5.54. Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-401).....	81
Tabel 5.55. Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-401).....	82
Tabel 5.56. Spesifikasi <i>Mixing Tank</i> (MT-401).....	82
Tabel 5.57. Spesifikasi <i>Air Blower</i> (AB-501).....	83
Tabel 5.58. Spesifikasi <i>Air Blower</i> (AB-502).....	84
Tabel 5.59. Spesifikasi <i>Air Blower</i> (AB-503).....	84
Tabel 5.60. Spesifikasi <i>Air Blower</i> (AB-504).....	84
Tabel 5.61. Spesifikasi <i>Cyclones</i> (CY-501).....	85
Tabel 5.62. Spesifikasi <i>Adsorber</i> (AD-501).....	85
Tabel 5.63. Spesifikasi <i>Compressor</i> (CP-501).....	86
Tabel 5.64. Spesifikasi <i>Receiver</i> (RC-601).....	86
Tabel 5.65. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-601).....	87
Tabel 5.66. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-602).....	87
Tabel 5.67. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-603).....	88
Tabel 5.68. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-604).....	89
Tabel 5.69. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-605).....	90
Tabel 5.70. Spesifikasi Pompa Utilitas (PU-606).....	90
Tabel 5.71. Spesifikasi <i>Heat Exchanger</i> (HE-601).....	91
Tabel 5.72. Spesifikasi <i>Compressor</i> (CP-601).....	92
Tabel 5.73. Spesifikasi <i>Condensor</i> (CD-601).....	92
Tabel 5.74. Spesifikasi <i>Hot Basin</i> (HB-601).....	93
Tabel 5.75. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-601).....	94
Tabel 5.76. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-602).....	94
Tabel 5.77. Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-601).....	95
Tabel 5.78. Spesifikasi <i>Cold Basin</i> (CB-601).....	96
Tabel 5.79. Spesifikasi Generator Listrik (GL-701).....	96
Tabel 5.80. Spesifikasi <i>Storage Tank</i> (ST-801).....	96
Tabel 6.1. Kebutuhan Air untuk Sanitasi dan Sarana Umum.....	99
Tabel 6.2. Kebutuhan Air untuk Pendinginan.....	100
Tabel 6.3. Kebutuhan Air untuk Pengenceran.....	103
Tabel 6.4. Kebutuhan Air untuk Pemadam Kebakaran (<i>Hydrant</i>).....	103
Tabel 6.5. Kebutuhan Air Total.....	104

Tabel 6.6. Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian	115
Tabel 6.7. Alat Ukur Variabel Proses	115
Tabel 7.1. Perincian Luas Area Pabrik.....	122
Tabel 8.1. Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	139
Tabel 8.2. Perincian Tingkat Pendidikan	140
Tabel 8.3. Jumlah Operator Alat Proses	141
Tabel 8.4. Jumlah Operator Alat Utilitas	142
Tabel 8.5. Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	143
Tabel 9.1. <i>Fixed Capital Investment</i>	148
Tabel 9.2. <i>Manufacturing Cost</i>	150
Tabel 9.3. <i>General Expenses</i>	151
Tabel 9.4. Daftar Gaji Karyawan	151
Tabel 9.5. <i>Minimum acceptable percent return on investment</i>	153
Tabel 9.6. <i>Acceptable payout time</i> untuk tingkat risiko pabrik.....	154
Tabel 9.7. <i>Discounted Cash Flow</i> Pabrik Nitrogliserin Kapasitas 10.000 ton/tahun.....	156
Tabel 9.8. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor Nitrobenzena	3
Gambar 4.1 Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Mixing Point</i> (MP-101).....	38
Gambar 4.2 Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Nitration Reactor</i> (RE-201) ...	39
Gambar 4.3 Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Decanter</i> (DC-301)	40
Gambar 4.4 Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Mixing Tank</i> (MT-301)	41
Gambar 4.5 Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Neutralizer</i> (NE-301)	42
Gambar 4.6 Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Centrifuge</i> (CF-301)	43
Gambar 4.7 Blok Diagram Neraca Massa pada Menara Distilasi (MD-301) ...	44
Gambar 4.8 Blok Diagram Neraca Massa pada Menara Distilasi (MD-302) ...	46
Gambar 4.9 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Mixing Point</i> (MP-101)	48
Gambar 4.10 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE-201).....	49
Gambar 4.11 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE-202).....	50
Gambar 4.12 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Nitration Reactor</i> (RE-201).	51
Gambar 4.13 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Decanter</i> (DC-301).....	52
Gambar 4.14 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Mixing Tank</i> (MT-301).....	53
Gambar 4.15 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE-301).....	53
Gambar 4.16 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Neutralizer</i> (NE-301)	54
Gambar 4.17 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Centrifuge</i> (CF-301)	55
Gambar 4.18 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE-302).....	56
Gambar 4.19 Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Cooler</i> (CO-301)	58

Gambar 6.1 Diagram <i>Cooling Water System</i>	119
Gambar 6.2 <i>Deaerator</i>	128
Gambar 7.1 PetaKabupaten Gresik	146
Gambar 7.2 Peta Lokasi Pabrik	146
Gambar 7.3 Tata Letak Pabrik dan Fasilitas Pendukung.....	147
Gambar 7.4 Tata Letak Peralatan Proses	147
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan	152
Gambar 9.1 Grafik Analisa Ekonomi	176
Gambar 9.2 Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i>	177

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini industri menjadi salah satu sektor penyokong terbesar perekonomian nasional, sehingga diharapkan terus berkembang dan berinovasi. Pembangunan pabrik baru menjadi salah satunya, selain memperkuat ekonomi nasional, hal ini juga mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap produk luar negeri serta dapat meningkatkan nilai ekspor negara. Industri kimia yang memiliki peranan penting dan memiliki peluang di masa yang akan datang salah satunya adalah nitrobenzena.

Nitrobenzena adalah cairan kuning pucat yang memiliki bau yang menyerupai seperti bau almond, sangat beracun bila terhisap dan terkena kulit, dan yang mudah larut dalam sebagian besar pelarut organik. Nitrobenzena yang memiliki rumus molekul $C_6H_5NO_2$ memiliki beberapa nama lain seperti *nitrobenzol*, *oil of mirbane*, *nitrobenzide*, dan *myrbane oil*. Zat ini banyak dalam sintesis kimia anilin, yang merupakan bahan kimia yang digunakan dalam pembuatan busa poliuretan. Nitrobenzena juga digunakan secara industri dalam pembuatan beberapa obat-obatan, pewarna dan karet.

Saat ini kebutuhan nitrobenzena di Indonesia masih dipenuhi dengan impor dari negara-negara lain. Hal ini disebabkan karena Indonesia belum memiliki pabrik yang memproduksi nitrobenzena, sehingga kecenderungan untuk mengimpor

nitrobenzena masih akan terus berlangsung pada tahun-tahun mendatang. Oleh karena itu perlu adanya usaha untuk memenuhi kebutuhan akan monopotasium posfat dengan mendirikan pabrik nitrobenzena. Hal lain yang dapat dijadikan pertimbangan adalah memperluas lapangan kerja sehingga dapat membantu perekonomian negara serta mendorong perkembangan perindustrian di Indonesia.

Tabel 1.1 Pabrik Nitrobenzena di Dunia

No.	Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/Tahun)
1.	BASF SE, Germany	400.000
2.	Du Pont, US	380.000
3.	Rubicon, US	1.140.000
4.	Wanhua, China	240.000
5.	First Chemical, US	500.000

Sumber : BASF 2018, Wanhua 2020, ChemBlink.com

1.2 Kegunaan Produk

Nitrobenzena paling banyak digunakan pada produksi pembuatan anilin melalui reduksi gugus nitro nitrobenzena menggunakan hidrogen. Aplikasi utama dari anilin adalah dalam produksi herbisida, pewarna, bahan peledak, pigmen, pestisida, plastik (poliuretan) di mana anilin bertindak sebagai perantara penting. Dalam industri farmasi pada pembuatan parasetamol (*acetaminophen*). Nitrobenzena juga digunakan pada pembuatan benzidin dengan mereduksi nitrobenzena dengan seng dan natrium hidroksida. Kegunaan dari benzidine adalah untuk pembuatan zat pewarna, terutama pewarna pada kulit, industri tekstil, dan kertas.

1.3 Penentuan Kapasitas Rancangan

1. Data Impor

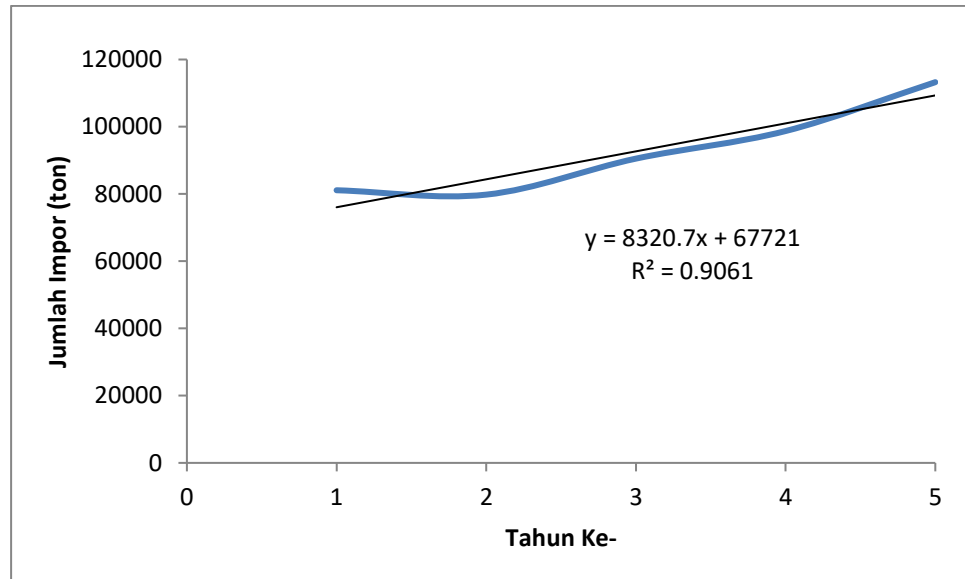
Kebutuhan nitrobenzena di Indonesia dicukupi oleh impor dari negara lain disebabkan belum adanya pabrik nitrobenzena di Indonesia. Berikut merupakan data impor nitrobenzena dari tahun 2017-2021 :

Tabel 1. 2 Data Impor Nitrobenzena

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2017	81.109,492
2018	79.806,804
2019	90.517,923
2020	98.726,157
2021	113.253,332

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2017-2021

Kemudian data impor tersebut dipresentasikan dalam bentuk tabel untuk mendapatkan persamaan regresi yang akan digunakan sebagai rumusan untuk mengetahui kebutuhan nitrobenzena dimasa yang akan datang.



Gambar 1.1 Grafik Data Impor Nitrobenzena

Keterangan :

Tahun ke – 1 : 2017

Tahun ke – 2 : 2018

Tahun ke – 3 : 2019

Tahun ke – 4 : 2020

Tahun ke – 5 : 2021

Berdasarkan grafik diatas didapatkan persamaan garis lurus yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan nitrobenzena pada tahun ke - 10 atau 2026 :

$$y = 8320x + 67721$$

$$y = 8320 (10) + 67721$$

$$y = 150.921 \text{ ton/tahun}$$

2. Kapasitas Rancangan

Kapasitas produksi suatu pabrik ditentukan oleh kebutuhan dalam negeri yang belum terpenuhi. Dalam menentukan data yang belum terpenuhi, didapatkan dari data impor bahan kimia tersebut. Adapun menurut hasil data impor prediksi kebutuhan nitrobenzena pada tahun 2026 sebesar 150.921

ton/tahun. Berdasarkan Undang-Undang no. 5 Tahun 1999 Pasal 25 tentang larangan pabrik monopoli dan persaingan usaha tidak sehat menyatakan bahwa pelaku usaha hanya diperbolehkan menguasai 75% (tujuh puluh lima persen) pangsa pasar satu jenis barang atau jenis tertentu. Maka dari itu kami berencana membangun pabrik nitrobenzena dengan kapasitas 75.000 ton/tahun atau sekitar 50% dari kebutuhan pada tahun 2026, yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan nitrobenzena di dalam negeri.

1.4 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku nitrobenzena terdiri dari benzena, asam nitrat, dan asam sulfat. Bahan – bahan tersebut di Indonesia telah banyak diproduksi, sehingga pendirian pabrik nitrobenzena akan menguntungkan. Berikut pabrik produsen benzena, asam nitrat, dan asam sulfat di Indonesia

Tabel 1.3 Data Produsen Bahan Baku Nitrobenzena di Indonesia

No.	Nama Produsen	Bahan Kimia	Kapasitas (ton/tahun)	Lokasi
1.	PT. Trans Pasific Petrochemical Indotama (TPPI)	Benzena	300.000	Tuban, Jawa Timur
2.	PT. Multi Nitrotama Kimia	Asam Nitrat	55.000	Cikampek, Jawa Barat
3..	PT. Petrokimia Gresik	Asam Sulfat	1.170.000	Gresik, Jawa Timur

Sumber : Website PT. TPPI, PT. MNK, PT. Petrokimia Gresik\

1.5 Lokasi Pabrik

Lokasi suatu pabrik merupakan unsur penting dalam menunjang keberhasilan pembangunan industri. Untuk itu, perlu dipertimbangkan dengan cermat agar didapat keuntungan yang maksimal bagi perusahaan. Secara geografis penentuan letak lokasi pabrik sangat menentukan kemajuan pabrik tersebut saat produksi maupun di masa yang akan datang. Oleh karena itu pemilihan lokasi yang tepat dari pabrik akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang seminimal mungkin, serta dapat menekan biaya produksi dan dapat memberikan keuntungan-keuntungan lain.

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan seperti ketersediaan bahan baku, transportasi, utilitas, maupun tersedianya tenaga kerja. Lokasi yang dipilih untuk pendirian pabrik nitrobenzena adalah di Gresik, Jawa Timur. Berikut ini pertimbangan dalam penentuan lokasi pabrik :

A. Bahan Baku

Bahan baku nitrobenzena terdiri dari benzena, asam nitrat dan asam sulfat. Bahan baku benzena diperoleh dari PT. Trans Pasific Petrochemical Indotama (TPPI) yang berlokasi di Tuban, Jawa timur, Asam Nitrat diperoleh dari PT. Aneka Kimia Inti yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur, dan asam sulfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Sehingga penentuan letak pabrik di daerah industri Gresik, Jawa Timur cukup tepat.

B. Transportasi Telekomunikasi dan Utilitas

Daerah Gresik merupakan daerah yang dikhususkan sebagai tempat untuk kawasan industri. Selain itu daerah tersebut sangatlah strategis dengan adanya pelabuhan laut serta jalan-jalan darat sehingga daerah pemasaran produksi mudah dijangkau. Sebagai daerah kawasan industri yang telah direncanakan dengan baik untuk industri dengan skala besar tentunya

berbagai kebutuhan sudah memadai dalam hal ketersediannya mulai dari air, listrik dan sarana lainnya.

C. Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang dibutuhkan diantaranya adalah para ahli dalam bidangnya masing-masing yang dapat direkrut secara terbuka. Serta tenaga kerja non-ahli yang dapat direkrut dari penduduk sekitar pabrik sehingga dapat membantu perekonomian masyarakat sekitar.

D. Kebijakan Pemerintah

Gresik merupakan daerah kawasan industri terbuka bagi investor asing untuk ikut berinvestasi dalam pendirian pabrik. Oleh karena itu pemerintah sebagai fasilitator kebijakan telah memberikan kemudahan dalam urusan perizinan pendirian, pajak, dan hal lain yang berhubungan dalam hal urusan pendirian pabrik.

II. PEMILIHAN PROSES

Nitrobenzena ($C_6H_5NO_2$) dengan nama lain *Nitrobenzide*, *Nitrobenzol*, *Mononitrobenzol* (MNB), *Essence of Mirbane*, *Oil of Mirbane*, atau yang sering dikenal dengan minyak Nitrobenzol Mirban ialah senyawa hasil nitration senyawa aromatik yaitu benzena dengan asam penitration baik asam campuran (asam nitrat dan asam sulfat) maupun asam nitrat saja. Senyawa ini mempunyai bentuk fisik berupa cairan berwarna kuning muda (kuning pucat) dan mempunyai aroma seperti buah almond, serta mempunyai sifat sangat beracun bila terhisap dan terkena kulit. Sebagian besar nitrobenzena merupakan bahan baku pembuatan Anilin dan bahan baku dalam industri farmasi, bahan peledak, pestisida, obat dan sebagai pelarut dalam industri (cat, sepatu, dan lantai).

Dalam proses pembuatan nitrobenzena penggunaan katalis asam sulfat dibutuhkan karena asam sulfat merupakan asam yang lebih kuat dari pada asam nitrat, sehingga asam sulfat lebih mudah melepaskan ion nitronium (NO_2^+) dari asam nitrat yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi. Reaksi nitration berlangsung dengan penggantian satu atau lebih gugus nitro (NO_2^+) menjadi molekul yang reaktif. Gugus nitro akan menyerang karbon membentuk nitroaromatik atau nitroparafin. Pada proses nitration masuknya gugus (NO_2^+) ke dalam senyawa dapat terjadi dengan menggantikan kedudukan beberapa atom atau gugus yang ada dalam senyawa. Umumnya nitration yang banyak dijumpai adalah nitration (NO_2^+) menggantikan atom H^+ . Mekanisme yang terjadi adalah ion nitronium menyerang atom H pada benzena dan membentuk nitrobenzene.

2.1 Jenis-Jenis Proses

Nitrobenzena secara komersial biasanya dihasilkan dengan asam campuran atau asam penitrasi, yaitu dengan menitrasi benzena secara langsung dengan menggunakan asam nitrat dan asam sulfat, proses ini dapat berproduksi secara *batch* maupun kontinyu (Kirk & Othmer, 1996). Beberapa macam proses pembuatan nitrobenzena adalah sebagai berikut:

2.1.1 Nitirasi Benzena dengan Asam Campuran Secara *Batch*

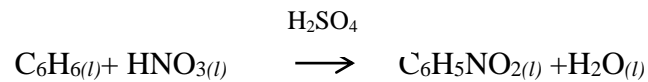
Pada proses ini menggunakan proses *batch*, suhu dari reaksi yang ini adalah 50°C dan tekanan 1 atm dengan menggunakan reaktor yang diisi dengan benzena, kemudian ditambahkan secara perlahan asam penitrasi dengan perbandingan asam campuran terhadap benzena 2,5 : 1. Ukuran reaktor yang biasa digunakan berukuran 1500 *gallon*, sehingga laju reaksi terbilang tinggi, konversi 95% dan waktu reaksi secara *batch* adalah 2-4 jam (Kirk & Othmer, 1996).

2.1.2 Nitirasi Benzena dengan Asam Campuran Secara Kontinyu

Proses ini hampir sama dengan nitirasi benzena yang melalui proses *batch*. Perbedaannya terletak pada ukuran reaktor yang digunakan berukuran lebih kecil, yang membuat laju reaksi lebih tinggi dibandingkan dengan proses *batch*. Oleh karena laju reaksi yang lebih tinggi dan ukuran alat yang lebih kecil membuat pengadukan lebih optimal sehingga waktu yang diperlukan

dalam bereaksi hanya 30 menit. Perbandingan antara asam campuran terhadap benzena yang digunakan adalah 1,05:1. Kandungan HNO₃ yang digunakan dalam asam campuran lebih sedikit dibandingkan dengan kandungan H₂SO₄. Hal ini dikarenakan H₂SO₄ sebagai *nitrating agent*, sehingga membuat korosifitas yang tinggi (Kirk & Othmer, 1996).

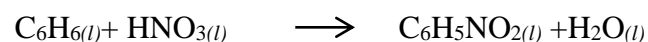
Pada proses ini, asam penitrasi yang digunakan adalah campuran asam nitrat dan asam sulfat dengan perbandingan 55-65% H₂SO₄, 20-30% HNO₃, dan 5-25% H₂O. Reaksi berlangsung pada temperatur 50°C dan tekanan 1 atm, dengan waktu reaksi 15-30 menit. Adapun reaksi yang terjadi adalah:



Campuran hasil reaksi dipisahkan dengan *separator*. Hasil bawah *separator* yaitu *aqueous spent acid* akan dialirkan ke *neutralizer* untuk dipisahkan dengan asam penitrasi dan pemurnian nitrobenzena dilakukan dengan proses distilasi. Konversi Nitrobenzena yang dihasilkan dari proses ini ialah sebesar 95,32% (Kirk & Othmer, 1996 dan Agustriyanto, 2016).

2.1.3 Nitration Benzena dengan Asam Nitrat

Pada proses ini, asam penitrasi yang digunakan adalah asam nitrat saja.. Adapun reaksi yang terjadi adalah:



Proses ini tidak ekonomis karena asam nitrat dapat terlarut dalam air yang terbentuk pada produksi nitrobenzena sehingga dapat mengurangi laju reaksi nitration. asam nitrat akan bereaksi secara lambat dengan benzena dan mempengaruhi kemurnian nitrobenzena karena konversi pada proses ini hanya

sebesar 83% dan akan dibutuhkan proses yang lebih panjang untuk memurnikan nitrobenzena sehingga sesuai dengan standar pemasaran produk (Kirk & Othmer, 1996).

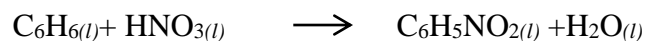
Proses ini membutuhkan asam nitrat dalam jumlah berlebih untuk menghasilkan nitrobenzena dalam jumlah yang sama jika dibandingkan dengan proses nitrasi menggunakan asam campuran. Karena membutuhkan bahan baku yang lebih banyak, maka ukuran alat yang dibutuhkan diproses ini jauh lebih besar.

Dalam prosesnya, benzena dinitrasi secara kontinyu menggunakan asam nitrat dengan perbandingan 1:1,7 ke dalam reaktor selama 2-4 jam untuk mendapatkan kemurnian nitrobenzena yang tinggi. Suhu reaksi pada proses ini adalah 100°C dan tekanan 1 atm. (Ross, 1956).

2.2 Tinjauan Proses

2.2.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika bertujuan untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis. Reaksi pembentukan nitrobenzena proses 1 dan proses 2 terjadi pada suhu 50°C, dan proses 3 terjadi pada suhu 100°C. Untuk menghitung tinjauan termodinamika digunakan temperatur reaksi 50°C dan 100°C. Kemudian dihitung tinjauan termodinamika pada temperatur reaksi tersebut. Penentuan panas reaksi yang berjalan secara endotermis atau eksotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada $p = 1$ atm dan $T = 298,15$ K. Reaksi yang terjadi adalah:



Jika ditinjau dari segi reaksinya, yaitu dengan cara memperhitungkan nilai energi bebas Gibbs pada keadaan standard (ΔG_f°) dan panas reaksi pembentukan standar (ΔH_f°). Nilai ΔH_f° dan ΔG° pada bahan baku utama dan produk dapat dilihat pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Nilai ΔH_f° dan ΔG° C₆H₆NO₂, C₆H₆, HNO₃, H₂SO₄, dan H₂O

Komponen	Rumus Molekul	ΔH_f° (kJ/kmol)	ΔG° (kJ/kmol)
Nitrobenzena	C ₆ H ₅ NO ₂	67,60	158,000
Benzena	C ₆ H ₆	82,93	129,66
Asam Nitrat	HNO ₃	-135,10	-74,700
Asam Sulfat	H ₂ SO ₄	-735,13	-653,4700
Air	H ₂ O	-241,80	-228,360

Sumber: Yaws, Carl L

Nilai panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada T = 298,15 K dan P = 1 atm:

$$\Delta H_f^\circ = \Delta H_f^\circ \text{ Produk} - \Delta H_f^\circ \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H_f^\circ = ((\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) + (\Delta H_f^\circ \text{ H}_2\text{O})) - ((\Delta H_f^\circ \text{ C}_6\text{H}_6) + (\Delta H_f^\circ \text{ HNO}_3))$$

$$\Delta H_f^\circ = ((1 \times (67,60) + (1 \times (-241,80))) - ((1 \times 82,93)) + (1 \times (-135,10)))$$

$$\Delta H_f^\circ = -122,030 \text{ kJ.kmol}$$

Berdasarkan perhitungan, nilai panas pembentukan standar ΔH_f° Nitrobenzena pada temperatur 298,15 K dan tekanan 1 atm adalah sebesar -122,030 kJ/kmol. Menunjukkan bahwa reaksi ini bersifat eksotermis yang berarti melepaskan sejumlah panas di dalam sistem reaksi

Persamaan yang digunakan untuk ΔH_{RX}° menghitung sebagai berikut:

$$\Delta H_{RX}^\circ = \Delta H_{f298}^\circ + \int_{298}^T \Delta C_p^\circ \cdot dT$$

Sedangkan untuk persamaan $\int \Delta C_p^o \cdot dT$ adalah sebagai berikut:

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

$$\int_{T_{ref}}^T \Delta C_p^o \cdot dT = \left\{ A(T - T_{ref}) + \frac{B}{2}(T^2 - T_{ref}^2) + \frac{C}{3}(T^3 - T_{ref}^3) + \frac{D}{4}(T^4 - T_{ref}^4) + \frac{E}{5}(T^5 - T_{ref}^5) \right\}$$

Untuk menentukan ΔG^o_{RX} digunakan persamaan Smith & Van Ness yaitu:

Nilai energi bebas Gibbs pembentukan nitrobenzena pada keadaan standar (ΔG^o_f):

$$\Delta G^o_f = \Delta G^o_{fProduk} - \Delta G^o_{fReaktan}$$

$$\Delta G^o_f = (\Delta G^o_f C_6H_5NO_2 + \Delta G^o_f H_2O) - (\Delta G^o_f C_6H_6 + \Delta G^o_f HNO_3)$$

$$\Delta G^o_f = [(1x(158)) + (1x(-228,360))] - [(1x(129,660)) + (1x(-74,700))]$$

$$\Delta G^o_f = -125,320 \text{ kJ/mol}$$

Nilai energi bebas Gibbs, ΔG^o_f yang telah didapatkan sebesar -125,320 kJ/mol menunjukkan bahwa reaksi pembentukan nitrobenzena dari benzena dan asam nitrat dapat berlangsung tanpa membutuhkan energi yang besar ($\Delta G^o < 0$).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung ΔG^o_{RX} sebagai berikut:

$$\Delta G^o_{RX} = \Delta H^o_{f298} - \frac{T}{T_0} (\Delta H^o_{f298} - \Delta G^o_{f298}) + R \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} dT - RT \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p}{R} \cdot \frac{dT}{T}$$

a. Menghitung Nilai Entalpi dan Energi Gibbs Nitration Benzena dengan Asam Campuran

Berikut adalah nilai A, B, C, dan D masing-masing komponen dalam fasa liquid untuk menghitung nilai kapasitas panas dari $T_1 = 298,15 \text{ K}$ dan $T_2 = 323,15 \text{ K}$

Tabel 2.2 Nilai A, B, C, dan D $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$, C_6H_6 , HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O

Komponen	Molekul	A	B	C	D
Nitrobenzena	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	51,773	0,913	-0,0021	-0,000002
Benzena	C_6H_6	-31,662	1,304	-0,0036	0,000004
Asam Nitrat	HNO_3	214,478	-0,768	0,0014	-0,0000003
Asam Sulfat	H_2SO_4	26,004	0,700	-0,0013	0,000001
Air	H_2O	92,053	-0,0399	-0,00021	0,0000005

Sumber: Yaws, Carl L

Nilai kapasitas panas (C_p) dari komponen nitrobenzena pada suhu 323,15 K yaitu :

$$C_p \text{ C}_6\text{H}_5\text{NO}_2(\text{liquid}) = 1.814,380 \text{ J/mol} = 1,814380 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH_{rx}^o pada $T = 323,150 \text{ K}$, diperoleh:

$$\Delta H_{323,150}^o = \Delta H_{f298}^o + \int_{298}^T \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{323,150}^o = \Delta H_{f \text{ Nitrobenzena}}^o + \int_{298,15}^{323,15} \Delta C_p^o \cdot dTs$$

$$\Delta H_{323,150}^o = [(67,6) + (1,814)] = 69,414 \text{ kJ/molK}$$

Nilai kapasitas panas (C_p) dari komponen benzena pada suhu 323,15 K yaitu :

$$C_p \text{ C}_6\text{H}_6(\text{liquid}) = 3.684,377 \text{ J/mol} = 3,684 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH°_{rx} pada $T = 323,150$ K, diperoleh:

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = \Delta H^{\circ}_{f298} + \int_{298}^T \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = \Delta H^{\circ}_{f\text{Benzena}} + \int_{298,15}^{323,15} \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = [(82,93) + (3,648)] = 86,578 \text{ kJ/molK}$$

Nilai kapasitas panas (C_p) dari komponen asam nitrat pada suhu 323,15 K yaitu :

$$C_p \text{ HNO}_3(\text{liquid}) = 2.551,707 \text{ J/mol} = 2,551707 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH°_{rx} pada $T = 323,150$ K, diperoleh:

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = \Delta H^{\circ}_{f298} + \int_{298}^T \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = \Delta H^{\circ}_{f\text{Asam Nitrat}} + \int_{298,15}^{323,15} \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = [(-135,100) + (2,551)] = -132,548 \text{ kJ/molK}$$

Nilai kapasitas panas (C_p) dari komponen air pada suhu 323,15 K yaitu :

$$C_p \text{ H}_2\text{O}(\text{liquid}) = 1.859,380 \text{ J/mol} = 1,859380 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH°_{rx} pada $T = 323,150$ K, diperoleh:

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = \Delta H^{\circ}_{f298} + \int_{298}^T \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = \Delta H^{\circ}_{f\text{Air}} + \int_{298,15}^{323,15} \Delta C_p^{\circ} \cdot dT$$

$$\Delta H^{\circ}_{323,150} = [(-241,80) + (1,859)] = -239,940 \text{ kJ/molK}$$

Hal yang selanjutnya dilakukan adalah menghitung entalpi pembentukan nitrobenzena pada suhu reaksi $T = 323,150$ K.

$$\Delta H_{rx323,150}^{\circ} = \Delta H_{fProduk}^{\circ} + \Delta H_{fReaktan}^{\circ}$$

$$\Delta H_{rx323,150}^{\circ} = (\Delta H_f^{\circ} C_6H_5NO_2 + \Delta H_f^{\circ} H_2O) - (\Delta H_f^{\circ} C_6H_6 + \Delta H_f^{\circ} HNO_3)$$

$$\Delta H_{rx323,150}^{\circ} = [(1x(69,414)) + (1x(-239,940))] - [(1x(86,578)) + (1x(-132,548))]$$

$$\Delta H_{rx323,150}^{\circ} = -124,555 \text{ kJ/mol}$$

Menghitung ΔG°_{RX} masing-masing komponen pada suhu $T_1 = 298,15$ K hingga $T_2 = 323,150$ K sebagai berikut :

ΔG°_{RX} untuk nitrobenzene pada suhu 323,15 K

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_{RX} 323,15 &= (67,6) - \frac{323,15}{298,15} ((67,6) - (158)) \\ &+ 8,314 \int_{298,15}^{323,15} \frac{(1,814)}{8,314} (323,15 - 298,15) \\ &- 8,314(323,15) \int_{298,15}^{323,15} \frac{(1,814)}{8,314} \cdot \frac{(323,15-298,15)}{323,15} \\ &= 165,580 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

ΔG°_{RX} untuk benzene pada suhu 323,15 K

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_{RX} 323,15 &= (82,93) - \frac{323,15}{298,15} ((82,93) - (129,66)) \\ &+ 8,314 \int_{298,15}^{323,15} \frac{(3,648)}{8,314} (323,15 - 298,15) \\ &- 8,314(323,15) \int_{298,15}^{323,15} \frac{(3,648)}{8,314} \cdot \frac{(323,15-298,15)}{323,15} \\ &= 133,578 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

ΔG°_{RX} untuk asam nitrat pada suhu 323,15 K

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{RX} 323,15 &= (-135,100) - \frac{323,15}{298,15} ((-135,100) - (-74,700)) \\ &+ 8,314 \int_{298,15}^{323,15} \frac{(2,551)}{8,314} (323,15 - 298,15) \\ &- 8,314(323,15) \int_{298,15}^{323,15} \frac{(2,551)}{8,314} \cdot \frac{(323,15 - 298,15)}{323,15} \\ &= -69,635 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

ΔG°_{RX} untuk air pada suhu 323,15 K

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{RX} 323,15 &= (-241,8) - \frac{323,15}{298,15} ((-241,8) - (-228,360)) \\ &+ 8,314 \int_{298,15}^{323,15} \frac{(1,859)}{8,314} (323,15 - 298,15) \\ &- 8,314(323,15) \int_{298,15}^{323,15} \frac{(1,859)}{8,314} \cdot \frac{(323,15 - 298,15)}{323,15} \\ &= -227,233 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai energi bebas Gibbs (ΔG°_f) pembentukan Nitrobenzena pada temperatur operasi $T = 323,15$ K adalah :

$$\Delta G^{\circ}_{rx323,150} = \Delta G^{\circ}_{fProduk} + \Delta G^{\circ}_{fReaktan}$$

$$\Delta G^{\circ}_{rx323,150} = (\Delta G^{\circ}_f C_6H_5NO_2 + \Delta G^{\circ}_f H_2O) - (\Delta G^{\circ}_f C_6H_6 + G_{HNO_3})$$

$$\Delta H^{\circ}_{rx323,150} = [(1x(165,580)) + (1x(-227,233))] - [(1x(133,578)) + (1x(-69,635))]$$

$$\Delta H^{\circ}_{rx323,150} = -125,595 \text{ kJ/mol}$$

b. Menghitung Nilai Entalpi dan Energi Gibbs Nitration Benzena dengan Asam Nitrat

Berikut adalah nilai A, B, C, dan D masing-masing komponen dalam fasa liquid untuk menghitung nilai kapasitas panas dari $T_1 = 298,15 \text{ K}$ dan $T_2 = 373,15 \text{ K}$

Tabel 2.3 Nilai A, B, C, dan D $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$, C_6H_6 , HNO_3 , H_2SO_4 , dan H_2O

Komponen	Molekul	A	B	C	D
Nitrobenzena	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	51,773	0,913	-0,0021	-0,000002
Benzena	C_6H_6	-31,662	1,304	-0,0036	0,000004
Asam Nitrat	HNO_3	214,478	-0,768	0,0014	-0,0000003
Asam Sulfat	H_2SO_4	26,004	0,700	-0,0013	0,000001
Air	H_2O	92,053	-0,0399	-0,00021	0,0000005

Sumber: Yaws, Carl L

Nilai kapasitas panas (C_p) dari komponen nitrobenzena pada suhu 373,15 K yaitu :

$$C_p \text{ C}_6\text{H}_5\text{NO}_2(\text{liquid}) = 3.305,688 \text{ J/mol} = 3,305688 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH_{rx}^o pada $T = 373,150 \text{ K}$, diperoleh:

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f298}^o + \int_{298}^T \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f \text{ Nitrobenzena}}^o + \int_{298,15}^{373,15} \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = [(67,6) + (3,305)] = 70,905 \text{ kJ/molK}$$

Nilai kapasitas panas (C_p) dari komponen benzena pada suhu 373,15 K yaitu :

$$C_p \text{ C}_6\text{H}_6(\text{liquid}) = 11.392,902 \text{ J/mol} = 11,392902 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH_{rx}^o pada $T = 373,150 \text{ K}$, diperoleh:

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f298}^o + \int_{298}^T \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f\text{Benzena}}^o + \int_{298,15}^{373,15} \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = [(82,93) + (5,553)] = 94,322 \text{ kJ/molK}$$

Nilai kapasitas panas (Cp) dari komponen asam nitrat pada suhu 373,15 K yaitu :

$$C_p \text{ HNO}_3(\text{liquid}) = 7.769,576 \text{ J/mol} = 7,769576 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH_{rx}^o pada T = 373,150 K, diperoleh:

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f298}^o + \int_{298}^T \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f\text{Asam Nitrat}}^o + \int_{298,15}^{373,15} \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = [(-135,100) + (7,769)] = -127,330 \text{ kJ/molK}$$

Nilai kapasitas panas (Cp) dari komponen air pada suhu 373,15 K yaitu :

$$C_p \text{ H}_2\text{O}(\text{liquid}) = 5.553,499 \text{ J/mol} = 5,553499 \text{ kJ/mol}$$

Maka nilai ΔH_{rx}^o pada T = 373,150 K, diperoleh:

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f298}^o + \int_{298}^T \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = \Delta H_{f\text{Air}}^o + \int_{298,15}^{373,15} \Delta C_p^o \cdot dT$$

$$\Delta H_{373,150}^o = [(-241,80) + (5,553)] = -236,246 \text{ kJ/molK}$$

Hal yang selanjutnya dilakukan adalah menghitung entalpi pembentukan nitrobenzena pada suhu reaksi T = 373,150 K.

$$\Delta H_{rx373,150}^{\circ} = \Delta H_{fProduk}^{\circ} + \Delta H_{fReaktan}^{\circ}$$

$$\Delta H_{rx373,150}^{\circ} = (\Delta H_{fC_6H_5NO_2}^{\circ} + \Delta H_{fH_2O}^{\circ}) - (\Delta H_{fC_6H_6}^{\circ} + \Delta H_{fHNO_3}^{\circ})$$

$$\Delta H_{rx373,150}^{\circ} = [(1x(70,905)) + (1x(-236,246))] - [(1x(94,322)) + (1x(-127,330))]$$

$$\Delta H_{rx373,150}^{\circ} = -132,333 \text{ kJ/mol}$$

Menghitung ΔG°_{RX} masing-masing komponen pada suhu $T_1 = 298,15 \text{ K}$ hingga $T_2 = 373,150 \text{ K}$ sebagai berikut :

ΔG°_{RX} untuk nitrobenzene pada suhu 373,15 K

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_{RX373,15} &= (67,6) - \frac{373,15}{298,15} ((67,6) - (158)) \\ &\quad + 8,314 \int_{298,15}^{373,15} \frac{(3,305)}{8,314} (373,15 - 298,15) \\ &\quad - 8,314(373,15) \int_{298,15}^{373,15} \frac{(3,305)}{8,314} \cdot \frac{(373,15-298,15)}{373,15} \\ &= 180,740 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

ΔG°_{RX} untuk benzene pada suhu 373,15 K

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ}_{RX373,15} &= (82,93) - \frac{373,15}{298,15} ((82,93) - (129,66)) \\ &\quad + 8,314 \int_{298,15}^{373,15} \frac{(11,392)}{8,314} (373,15 - 298,15) \\ &\quad - 8,314(373,15) \int_{298,15}^{373,15} \frac{(11,392)}{8,314} \cdot \frac{(373,15-298,15)}{373,15} \\ &= 141,414 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

ΔG°_{RX} untuk asam nitrat pada suhu 373,15 K

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{RX}373,15 &= (-135,100) - \frac{373,15}{298,15}((-135,100) - (-74,700)) \\ &+ 8,314 \int_{298,15}^{373,15} \frac{(7,769)}{8,314} (323,15 - 298,15) \\ &- 8,314(373,15) \int_{298,15}^{373,15} \frac{(7,769)}{8,314} \cdot \frac{(373,15-298,15)}{373,15} \\ &= -59,506 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

ΔG°_{RX} untuk air pada suhu 373,15 K

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{RX}373,15 &= (-241,8) - \frac{373,15}{298,15}((-241,8) - (-228,360)) \\ &+ 8,314 \int_{298,15}^{373,15} \frac{(5,553)}{8,314} (373,15 - 298,15) \\ &- 8,314(373,15) \int_{298,15}^{373,15} \frac{(5,553)}{8,314} \cdot \frac{(373,15-298,15)}{373,15} \\ &= -224,979 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Nilai energi bebas Gibbs (ΔG°_f) pembentukan nitrobenzena pada temperatur operasi $T = 373,15$ K adalah :

$$\Delta G^{\circ}_{rx373,150} = \Delta G^{\circ}_{fProduk} + \Delta G^{\circ}_{fReaktan}$$

$$\Delta G^{\circ}_{rx373,150} = (\Delta G^{\circ}_f C_6H_5NO_2 + \Delta G^{\circ}_f H_2O) - (\Delta G^{\circ}_f C_6H_6 + \Delta G^{\circ}_f HNO_3)$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_{rx373,150} &= [(1x(180,740)) + (1x(-24,979))] - [(1x(141,414)) \\ &+ (1x(59,506))]\end{aligned}$$

$$\Delta H^{\circ}_{rx373,150} = -126,147 \text{ kJ/mol}$$

2.2.2 Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui potensial ekonomi (EP) berdasarkan perhitungan ekonomi kasar pembelian bahan baku dan penjualan produk, seperti terlihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.4 Data Harga Bahan Baku dan Produk Pembentukan Nitrobenzena

Komponen	Molekul	Berat Molekul (gr/mol)	Harga (*\$/kg)	Harga (Rp/kg)*
Nitrobenzena	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11	2,000	30.000,-
Benzena	C ₆ H ₆	78,11	1,350	20.250,-
Asam Nitrat	HNO ₃	63,01	0,775	11.625,-

Sumber: www.alibaba.com 2023

*1\$ = Rp 15.000,-

Persamaan untuk mendapatkan ekonomi potensial dari proses ini adalah sebagai berikut:

$$EP = (\text{Total harga produk}) - (\text{Total harga bahan baku})$$

$$EP = (\text{Harga C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) - (\text{Harga C}_6\text{H}_6 + \text{Harga HNO}_3)$$

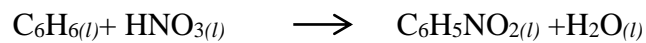
a. Tinjauan Ekonomi untuk Nitrasi Benzena dengan Asam Nitrat

Dari reaksi yang terjadi dalam proses pembentukan nitrobenzena tanpa katalis didapatkan mol masing-masing reaktan dan produk yang dapat dilihat pada tabel 2.5 berikut :

Tabel 2.5 Mol Bahan Baku dan Produk Proses Nitrobenzena Tanpa Katalis

Komponen	Molekul	Berat Molekul (gr/mol)
Nitrobenzena	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11
Benzena	C ₆ H ₆	78,11
Asam Nitrat	HNO ₃	63,01

Reaksi yang terjadi:



$$\text{Basis : 1 kg C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 \text{ terbentuk} = \frac{1000 \text{ gr}}{123,11 \text{ gr/mol}} = 8,1228 \text{ mol}$$

Diketahui, konversi (X) = 0,83 (Ross, 1956)

Jadi, berdasarkan stoikiometri :

	C ₆ H ₆ (l)	HNO ₃ (l)	C ₆ H ₅ NO ₂ (l)	H ₂ O(l)
Mula-mula	x	x		
Bereaksi	8,1228	8,1228	8,1228	8,1228
Sisa	x-8,1228	x-8,1228	8,1228	8,1228

Maka,

Mol mula-mula:

$$x - 0,83 x = x - 8,1228$$

$$0,83 x = 8,1228$$

$$x = 9,7865 \text{ mol}$$

Maka,

Jumlah reaktan yang dibutuhkan:

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 9,7865 \text{ mol} \times \frac{78,11 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,7644 \text{ kg}$$

$$\text{HNO}_3 = 9,7865 \text{ mol} \times \frac{63,01 \text{ gr}}{1,7 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1,0483 \text{ kg}$$

Jumlah produk yang terbentuk:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 9,7865 \text{ mol} \times \frac{123,11 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 9,7865 \text{ mol} \times \frac{18,01 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,1462 \text{ kg}$$

Tabel 2.6 Data Proses Pembentukan Nitrobenzena Tanpa Katalis

Komponen	Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Massa		Harga (\$/kg)
			Mol	Kg	
Nitrobenzena	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11	8,1228	1	2,000
Benzena	C ₆ H ₆	78,11	9,7865	0,7644	1,7024
Asam Nitrat	HNO ₃	63,01	9,7895	1,0483	0,8124

Harga penjualan produk:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 1 \text{ kg} \times \$2,000 = \$2,000$$

$$\text{Total penjualan} = \$2,000$$

Biaya pembelian bahan baku:

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 0,7644 \text{ kg} \times \$1,350 = \$1,0319$$

$$\text{HNO}_3 = 1,0483 \text{ kg} \times \$0,775 = \$0,8124$$

$$\text{Total pembelian} = \$1,8444$$

Profit Keuntungan = Harga Penjualan Produk – Harga

Pembelian Bahan Baku

$$= \$2,000 - \$1,8444$$

$$= \$ 0,1555$$

$$= \$0,1555/\text{kg} \times 1000\text{kg}/\text{ton} \times 75.000 \text{ ton}/\text{tahun}$$

$$= \$11.669.276,81 \text{ ton}/\text{tahun}$$

$$= \text{Rp } 175.039.152.222,57 \text{ ton}/\text{tahun}$$

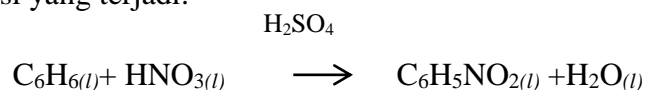
b. Tinjauan Ekonomi untuk Nitration Benzena dengan Asam Campuran secara *Batch*

Dari reaksi yang terjadi dalam proses pembentukan nitrobenzena dengan katalis asam sulfat didapatkan mol masing-masing reaktan dan produk yang dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.7 Mol Bahan Baku dan Produk Proses Nitrobenzena dengan Katalis

Komponen	Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)
Nitrobenzena	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	123,11
Benzena	C_6H_6	78,11
Asam Nitrat	HNO_3	63,01

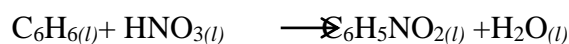
Reaksi yang terjadi:



$$\text{Basis : 1 kg } \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 \text{ terbentuk} = \frac{1000 \text{ gr}}{123,11 \text{ gr/mol}} = 8,1228 \text{ mol}$$

Diketahui, konversi (X) = 0,95 (Kirk & Othmer, 1996)

Jadi, berdasarkan stoikiometri :



Mula-mula x x

Bereaksi	8,1228	8,1228	8,1228	8,1228
Sisa	x-8,1228	x-8,1228	8,1228	8,1228

Maka,

Mol mula-mula:

$$x - 0,95 x = x - 8,1228$$

$$0,95 x = 8,1228$$

$$x = 8,5503 \text{ mol}$$

Maka,

Jumlah reaktan yang dibutuhkan:

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 8,5503 \text{ mol} \times \frac{78,11 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,6678 \text{ kg}$$

$$\text{HNO}_3 = 8,5503 \text{ mol} \times \frac{63,01 \text{ gr}}{2,5 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1,3468 \text{ kg}$$

Jumlah produk yang terbentuk:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 8,1228 \text{ mol} \times \frac{123,11 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 8,1228 \text{ mol} \times \frac{18,01 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,1462 \text{ kg}$$

Tabel 2.8 Data Proses Pembentukan Nitrobenzena dengan Katalis

Komponen	Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Massa		Harga (\$/kg)
			Mol	Kg	
Nitrobenzena	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11	8,1228	1	2,000
Benzena	C ₆ H ₆	78,11	8,5503	0,6678	0,9016
Asam Nitrat	HNO ₃	63,01	8,5503	1,3468	1,0438

Harga penjualan produk:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 1 \text{ kg} \times \$2,000 = \$2,000$$

$$\text{Total penjualan} = \$2,000$$

Biaya pembelian bahan baku:

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 0,6678 \text{ kg} \times \$1,350 = \$0,9016$$

$$\text{HNO}_3 = 1,3468 \text{ kg} \times \$0,775 = \$1,0438$$

$$\text{Total pembelian} = \$1,9454$$

$$\text{Profit Keuntungan} = \text{Harga Penjualan Produk} - \text{Harga}$$

Pembelian Bahan Baku

$$= \$2,000 - \$1,9454$$

$$= \$ 0,0545$$

$$= \$0,0545/\text{kg} \times 1000\text{kg}/\text{ton} \times 75.000$$

ton/tahun

$$= \$4.090.542,911 \text{ ton/tahun}$$

$$= \text{Rp } 61.356.793.667,62 \text{ ton/tahun}$$

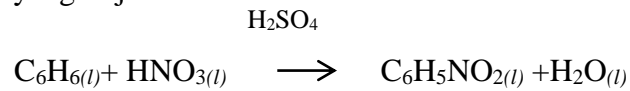
c. Tinjauan Ekonomi untuk Nitration Benzene dengan Asam Campuran secara *Continue*

Dari reaksi yang terjadi dalam proses pembentukan nitrobenzene dengan katalis asam sulfat didapatkan mol masing-masing reaktan dan produk yang dapat dilihat pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.9 Mol Bahan Baku dan Produk Proses Nitrobenzene dengan Katalis

Komponen	Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)
Nitrobenzena	C ₆ H ₅ NO ₂	123,11
Benzena	C ₆ H ₆	78,11
Asam Nitrat	HNO ₃	63,01

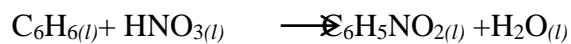
Reaksi yang terjadi:



$$\text{Basis : 1 kg C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 \text{ terbentuk} = \frac{1000 \text{ gr}}{123,11 \text{ gr/mol}} = 8,1228 \text{ mol}$$

Diketahui, konversi (X) = 0,9532 (Kirk & Othmer, 1996)

Jadi, berdasarkan stoikiometri :



Mula-mula	x	x		
Bereaksi	8,1228	8,1228	8,1228	8,1228
Sisa	x-8,1228	x-8,1228	8,1228	8,1228

Maka,

Mol mula-mula:

$$x - 0,9532 x = x - 8,1228$$

$$0,9532 x = 8,1228$$

$$x = 8,5216 \text{ mol}$$

Maka,

Jumlah reaktan yang dibutuhkan:

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 8,5216 \text{ mol} \times \frac{78,11 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,6656 \text{ kg}$$

$$\text{HNO}_3 = 8,5216 \text{ mol} \times \frac{63,01 \text{ gr}}{1,05 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,5637 \text{ kg}$$

Jumlah produk yang terbentuk:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 8,1228 \text{ mol} \times \frac{123,11 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 1 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 8,1228 \text{ mol} \times \frac{18,01 \text{ gr}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} = 0,1462 \text{ kg}$$

Tabel 2.10 Data Proses Pembentukan Nitrobenzena dengan Katalis

Komponen	Molekul	Berat Molekul (kg/kmol)	Massa		Harga (\$/kg)
			Mol	Kg	
Nitrobenzena	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$	123,11	8,1228	1	2,000
Benzena	C_6H_6	78,11	8,5216	0,6656	0,8985
Asam Nitrat	HNO_3	63,01	8,5216	0,5637	0,4369

Harga penjualan produk:

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 = 1 \text{ kg} \times \$2,000 = \$2,000$$

$$\text{Total penjualan} = \$2,000$$

Biaya pembelian bahan baku:

$$\text{C}_6\text{H}_6 = 0,6656 \text{ kg} \times \$1,350 = \$0,8985$$

$$\text{HNO}_3 = 0,5637 \text{ kg} \times \$0,775 = \$0,4369$$

$$\text{Total pembelian} = \$1,3355$$

$$\text{Profit Keuntungan} = \text{Harga Penjualan Produk} - \text{Harga}$$

Pembelian Bahan Baku

$$= \$2,000 - \$1,3355$$

$$= \$0,6644$$

$$= \$0,6644/\text{kg} \times 1000\text{kg}/\text{ton} \times 75.000 \text{ ton}/\text{tahun}$$

$$= \$49.834.924,43 \text{ ton/tahun}$$

$$= \text{Rp } 747.523.866.463,10 \text{ ton/tahun}$$

2.3 Pemilihan Proses

Pemilihan proses dilakukan dengan membandingkan keuntungan dan kerugian proses pembuatan nitrobenzena dengan nitrasi yang hanya menggunakan asam nitrat, nitrasi yang menggunakan asam campuran secara kontinyu dan *batch* seperti uraian diatas sebagai berikut:

Tabel 2.11 Kriteria Penilaian Pemilihan Proses

No	Keterangan	Proses 1 (Asam Campuran <i>Batch</i>)	Proses 2 (Asam Campuran <i>Continue</i>)	Proses 3 (Asam Nitrat)
1.	Kondisi Operasi	1 atm; 50°C	1 atm; 50 °C	1 atm; 100°C
2.	Jenis Reaktor	RATB	RATB	RATB
3.	Waktu Reaksi	2-4 jam	15-30 menit	2-4 jam
4.	ΔH°_{RX}	-124,555 kJ/mol.K	-124,555 kJ/mol.K	-132,333 kJ/mol.K
5.	Ukuran Alat	Besar	Kecil	Besar
6.	Katalis	H ₂ SO ₄ (Cair)	H ₂ SO ₄ (Cair)	-
7.	Konversi	95%	95,32%	83%
8.	Profit Keuntungan	\$0,1555/kg	\$0,6644/kg	\$0,0545/kg

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Konversi tertinggi dihasilkan pada proses nitrasi dengan asam campuran secara *continue* yaitu sebesar 95,32%. Ini menandakan bahwa proses nitrasi menghasilkan produk nitrobenzena lebih banyak dibandingkan proses lainnya.

2. Temperatur reaksi pada proses nitrasi dengan asam campuran lebih rendah jika dibandingkan proses nitrasi dengan asam nitrat, yaitu sebesar 50°C . Sehingga, penggunaan energi lebih sedikit.
3. Keuntungan tertinggi diperoleh pada proses nitrasi dengan asam campuran secara *continue*. Maka berdasarkan perbandingan ketiga proses pembentukan nitrobenzene tersebut, dipilih proses nitrasi dengan asam campuran secara *continue*.

2.4 Uraian Proses

Proses pembuatan nitrobenzena melalui beberapa tahap sebagai berikut:

2.4.1 Tahap Penyiapan Bahan Baku

Bahan baku benzena yang berasal tangki penyimpanan dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heater* sebelum dialirkan oleh pompa menuju reaktor. Asam nitrat dari tangki penyimpanan dialirkan menggunakan pompa menuju *mixer* yang beroperasi pada suhu 30°C . Di dalam *mixer* asam nitrat dicampur dengan asam sulfat yang dialirkan menggunakan pompa dari tangki penyimpanan. *Mixer* digunakan untuk menghasilkan ion nitronium yang berfungsi sebagai *nitrating agent*. Komposisi Asam Campuran yaitu : Komposisi Asam Campuran yaitu : 33% mol HNO_3 , 49% mol H_2SO_4 , 18% mol H_2O . Rasio Asam Nitrat dan Benzena adalah 1,05 : 1.

2.4.2 Tahap Pembentukan Produk

Asam campuran dari *mixer* yang dialirkan oleh pompa menuju reaktor yang sebelumnya dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *heater* sesuai dengan

kondisi reaktor yang akan masuk melalui puncak reaktor pada suhu 50°C. Reaksi nitrasi antara benzena dengan asam nitrat dan asam sulfat berlangsung pada RATB (Reaktor Alir Tangki Berpengaduk). Suhu reaktor tetap terjaga 50°C sehingga reaksi tetap berlangsung pada fase cair. Reaksi nitrasi berlangsung secara eksotermis sehingga diperlukan pendingin agar suhu dalam reaktor tetap. Hasil yang diperoleh dari reaktor adalah nitrobenzena, produk samping berupa air dan sisa reaktan berupa benzena dan asam nitrat serta katalis asam sulfat. Produk yang dihasilkan reaktor akan dialirkan menggunakan pompa dengan suhu 50°C dan tekanan 1 atm menuju dekanter untuk dipisahkan antara nitrobenzena dan sisa reaktan.

2.4.3 Tahap Pemurnian Produk

a. Pemisahan Produk Utama Dengan Asam Nitrat Dan Asam Sulfat

Nitrobenzena dan air hasil reaksi serta sisa reaktan berupa benzena, asam nitrat dan asam sulfat keluar dari reaktor dialirkan menggunakan pompa menuju separator untuk dipisahkan berdasarkan perbedaan densitas. Keluaran atas separator berupa produk nitrobenzene, air, benzene dan sedikit sisa mix acid, sedangkan keluaran bawah separator dialirkan kembali ke reaktor. Keluaran atas separator akan dialirkan menuju neutralizer untuk dinetralisasi menggunakan kaustik cair, Hasil dari neutralizer dialirkan menuju separator untuk dilakukan pemisahan kembali.

b. Pemurnian Dengan Distilasi

Hasil dari *separator* diumpankan ke menara distilasi untuk dimurnikan. Hasil atas kolom distilasi berupa benzena dan air. Hasil bawah kolom distilasi berupa nitrobenzena dilewatkan *cooler* untuk diturunkan

suhunya dan selanjutnya produk nitrobenzena disimpan dalam tangki penyimpanan.

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Spesifikasi Bahan Baku

A. Benzena

Rumus Molekul	: C_6H_6 ²⁾
Wujud	: Cair ¹⁾
Berat molekul	: 78,11 gram/mol ²⁾
Titik lebur	: 5,49°C pada 101,3 kPa ¹⁾
Titik didih	: 80,08°C pada 1 atm ²⁾
Kelarutan dalam air	: 1,79 gram/L pada 25°C ²⁾
Densitas	: 0,879 g/cm ³ pada 20°C ¹⁾
Viskositas	: 0,604 mPa.s pada 25°C ²⁾
Kemurnian	: 99,9% ¹⁾
Impuritas	: 0,1% air ³⁾

Sumber: ¹⁾Pertamina (2017),

²⁾PubChem(2023).

³⁾LobaChemie(2021).

B. Asam Nitrat

Rumus Molekul	: HNO_3 ²⁾
Wujud	: Cair ¹⁾
Berat molekul	: 63,01 gram/mol ¹⁾
Titik lebur	: -41°C ¹⁾
Titik didih	: 82,8°C pada 1 atm ²⁾
Kelarutan dalam air	: Sangat larut dalam air ¹⁾

Densitas	: 1,41 g/cm ³ pada 20°C ¹⁾
Viskositas	: 0,746 mPa.s pada 25°C ²⁾
Kemurnian	: 99,9% ¹⁾
Impuritas	: 0,1% air ³⁾

Sumber: ¹⁾Smartlab (2017),
²⁾PubChem(2023).

C. Asam Sulfat

Rumus Molekul	: H ₂ SO ₄ ¹⁾
Wujud	: Cair ¹⁾
Berat molekul	: 98,08 gram/mol ¹⁾
Titik lebur	: 10°C ²⁾
Titik didih	: 339°C ²⁾
Kelarutan dalam air	: Sangat larut dalam air ³⁾
Densitas	: 1,84 g/cm ³ pada 20°C ¹⁾
Viskositas	: 23,541 cP pada 25°C ⁴⁾

Sumber: ¹⁾Smartlab (2017),
²⁾Muller (2012),
³⁾PubChem(2023),
⁴⁾Yaws(1999).

3.2 Spesifikasi Bahan Penunjang

A. Natrium Karbonat (Na₂CO₃)

Wujud	: Padat ¹⁾
Total alkalinitas	: 99% wt ¹⁾
<i>Impurities</i>	: Na ₂ SO ₄ 0,03% wt, NaCl 0,8% wt, Fe ₂ O ₃ 0,003% wt ¹⁾
Berat molekul	: 106 g/mol ¹⁾
Titik leleh	: 851°C ²⁾

Densitas	: 2,533 g/cm ³ pada 20°C ²⁾
Kelarutan	: 30,7 g/100 g air pada 25°C ³⁾
	¹⁾ (Tata Chemicals Ltd, 2021)
	²⁾ (Thieme, 2012)

B. Spesifikasi Produk

A. Nitrobenzena

Rumus Molekul	: C ₆ H ₅ NO ₂ ¹⁾
Wujud	: Cair ¹⁾
Berat molekul	: 123,1 gram/mol ¹⁾
Titik lebur	: 5,7°C ²⁾
Titik didih	: 210,8°C pada 1,013 hPa ¹⁾
Kelarutan dalam air	: 1,9 g/L pada 20°C ¹⁾
Densitas	: 1,2 g/cm ³ pada 20°C ¹⁾
Viskositas	: 1,863 mPa.s pada 25°C ³⁾

Sumber: ¹⁾Carl Roth (2021),
²⁾Agilent (2019),
³⁾PubChem(2023).

B. Air

Rumus Molekul	: H ₂ O ¹⁾
Wujud	: Cair ¹⁾
Berat molekul	: 18,01 gram/mol ¹⁾
Titik beku	: 0°C ¹⁾
Titik didih	: 100°C ¹⁾
Densitas	: 0,99919 g/cm ³ pada 15°C ²⁾
Viskositas	: 0,911 cP pada 25°C ¹⁾

Sumber: ¹⁾ Yaws(1999),
²⁾ Valves Instruments Plus Ltd (2021)

BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Nitrobenzena dari BenzenadanAsamNitrat dengan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 75.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment (ROI)* sesudah pajak adalah 26,85%.
2. *Pay Out Time (POT)* sesudah pajak adalah 2,40 tahun.
3. *Break Even Point (BEP)* sebesar 46,87% dimana syarat umum pabrik di Indonesia adalah 30 – 60% kapasitas produksi. *Shut Down Point (SDP)* sebesar 25,06%, yakni batas kapasitas produksi 20 – 30% sehingga pabrik masih dapat berproduksi karena mendapat keuntungan.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF)* sebesar 28,01%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini daripada ke bank.

B. Saran

Pabrik Nitrobenzena dari Benzena dan Asam Nitrat dengan Katalis Asam Sulfat Kapasitas Tujuh Puluh Lima Ribu Ton per Tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachus, L and Custodio, A. 2003. *Know and Understand Centrifugal Pumps*. Bachus Company, Inc. Oxford: UK.
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistic Indonesia*, www.bps.go.id, Indonesia. Diakses 10 Agustus 2017.
- Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill : New York.
- Bank Indonesia. 2017. *Nilai Kurs*. www.bi.go.id. Diakses 4 Oktober 2017
- Brown, G. George. 1950. *Unit Operation 6ed*. Wiley&Sons: USA.
- Brownell.L.E. and Young.E.H. 1959. *Process Equipment Design 3ed*. John Wiley & Sons: New York.
- Coulson.J.M. and Ricardson.J.F. 1983. *Chemical Engineering vol 6*. Pergamon Press Inc: New York.
- Coulson J.M., and J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering 4th Edition*. Butterworth- Heinemann: Washington.
- Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Envgineering4th Edition*. Prentice Hall International Inc.: United States of America.
- Geankoplis.Christie.J. 1993 *Transport Processes and unit Operation 3th ed*. Allyn & Bacon Inc: New Jersey.
- Google Map. 2017. Area Sungai Serayu – Cilacap. Diakses pada 20 Desember 2017.
- Himmeblau, David. 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical*

Engineering. Prentice Hall Inc: New Jersey.

- Hugot, E. 1986. *Handbook of Cane Sugar Engineering*. Elsevier Science Publishing Company INCV: New York.
- Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mcgraw-Hill Co.: New York.
- Kirk, R.E and Othmer, D.F. 2006. *Encyclopedia of Chemical Technology 4th Edition, vol. 17*. John Wiley and Sons Inc.: New York.
- Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering 2nd Edition*. John Wiley and Sons Inc.: New York.
- McCabe, W.L. and Smith, J.C. 1985. *Operasi Teknik Kimia*. Erlangga: Jakarta.
- Megyesy, E.F. 1983. *Pressure Vessel Handbook*. Pressure Vessel Handbook Publishing Inc: USA.
- Metcalf and Eddy. 1991. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*. Mc Graw-Hill Book Company: New York.
- Perry, R.H. and Green,D. 1997. *Perry's Chemical Engineer Handbook 7th ed.* =McGraw-Hill Book Company: New York.
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th edition*. McGraw Hill : New York.
- Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition*. McGraw Hill : New York.
- Peter, M.S. and Timmerhause, K.D. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3ed*. McGraww-Hill Book Company: New York.
- Powell, S.T. 1954. *Water Conditioning for Industry*. McGraw Hill Book Company: New York.
- Rase. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plant, Vol. 1st, Principles and Techniques*. John Wiley and Sons: New York.
- Smith, J.M. and Van Ness, H.C. 1975. *Introduction to Chemical Engineering*

Thermodynamics 3ed. McGraww-Hill Inc: New York.

Smith, J.M., Van Ness, H.C. and M.M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition.* McGraw Hill: New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 1991. *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3th Edition.* McGraww-Hill Book Company: New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th Edition.* McGraw-Hill: New York.

Treyball, R.E. 1983. *Mass Transfer Operation 3ed.* McGraw-Hill Book Company: New York.

Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics.* John Wiley & Sons Inc: New York.

US Patent Office, No. 2.370.558 “Nitration of Aromatic Compound”.

US Patent Office, No. 5.334.781 “Process for the Preparation of Nitrobenzene”.

US Patent Office, No. 4.772.2757 “Process for the Production of Nitrobenzene”.

US Patent Office, No. 1.638.045 “Manufacture of Nitrobenzene”.

US Patent Office, No. 4.870.217 “Method Production of Phenol/Acetone from Cumene Hydorperoxide”.

US Patent Office, No. 7.763.759B2 “Continuous Process for the Manufacture of Nitrobenzene”.

US Patent Office, No. 7.326.816B2 “Process for the Production of Nitrobenzene”.

Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment.* Butterworth-Heinemann: Washington.

Wallas, S.M. 1988. *Chemical Process Equipment.* Butterworth Publishers: Stoneham USA.

Wang, L.K. 2008. *Gravity Thickener, Handbook of Environmental Engineering, Vol. 6th.* The Humana Press Inc.: New Jersey.

Wilson, E. T. 2005. *Clarifier Design*. Mc Graw Hill Book Company:
London.

Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co.:
New York.