

**PRARANCANGAN PABRIK NITROGLISERIN  
DARI GLISEROL DAN ASAM NITRAT KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Nitration Reactor (RE-201)*)**

**(Skripsi)**

**Oleh:**  
**MAULANA IKHSAN HASIBUAN**  
**(1615041002)**



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

**PRARANCANGAN PABRIK NITROGLISERIN  
DARI GLISEROL DAN ASAM NITRAT KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN  
(Tugas Khusus Perancangan *Nitration Reactor* (RE-201))**

**Oleh  
MAULANA IKHSAN HASIBUAN  
1615041002**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



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

## ABSTRAK

**PRARANCANGAN PABRIK NITROGLISERIN  
DARI GLISEROL DAN ASAM NITRAT KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN  
(Perancangan *Nitration Reactor (RE-201)*)**

**Oleh**

**MAULANA IKHSAN HASIBUAN**

Nitroglycerin merupakan zat kimia yang biasa digunakan sebagai bahan dasar dari propelan jenis *double base* dan *triple base*. Campuran nitroglycerin dan nitrocelulosa merupakan bahan yang umum digunakan dalam industri bahan peledak. Nitroglycerin dapat dihasilkan dari proses nitrasasi glicerol dengan menggunakan asam campuran yang terdiri dari asam nitrat dan asam sulfat. Penyediaan kebutuhan nitroglycerin dalam negeri masih sepenuhnya diperoleh dari impor, sehingga peluang untuk didirikannya pabrik nitroglycerin memiliki prospek yang bagus. Penyediaan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air, sistem refrigerasi, serta penyedia udara dan instrumentasi. Kapasitas produksi pabrik nitroglycerin direncanakan sebesar 10.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Tangerang, Banten. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 123 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi lini.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i>	= Rp 253.324.652.935
<i>Working Capital Investment</i>	= Rp 44.704.350.518
<i>Total Capital Investment</i>	= Rp 298.029.003.452
<i>Total Production Cost</i>	= Rp 213.075.428.543
<i>Break Even Point</i>	= 39,28%
<i>Shut Down Point</i>	= 17,09%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	= 2,20 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	= 2,61 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	= 29,95%
<i>Return on Investment after taxes</i>	= 23,96%
<i>Discounted cash flow</i>	= 24,50%

Berdasarkan hasil analisis diatas, maka pendirian pabrik nitroglycerin ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif baik.

## ABSTRACT

**NITROGLYCERIN FACTORY PREDESIGN  
FROM GLYCEROL AND NITRIC ACID WITH CAPACITY OF 10,000  
TONS/YEAR  
(Design of Nitration Reactor (RE-201))**

By

**MAULANA IKHSAN HASIBUAN**

Nitroglycerin is a chemical substance commonly used as a base material for double base and triple base propellant. A mixture of nitroglycerin and nitrocellulose is a material commonly used in the explosives industry. Nitroglycerin can be produced from the nitration process of glycerol with an acid mixture consisting of nitric acid and sulfuric acid. Domestic supply of nitroglycerin is still fully obtained from imports, so the opportunity to establish a nitroglycerin factory has good prospects. Provision of plant utilities in the form of water treatment and supply systems, refrigeration systems, as well as air supply and instrumentation. The production capacity of the nitroglycerin plant is planned to be 10,000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in Tangerang, Banten. The required labor are 123 people with a business entity form Limited Liability Company (PT) with a line organizational structure.

From the economic analysis are obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI)	= IDR 253,324,652,935
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI)	= IDR 44,704,350,518
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI)	= IDR 298,029,003,452
<i>Total Production Cost</i>	(TPC)	= IDR 213,075,428,543
<i>Break Even Point</i>	(BEP)	= 39.28%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP)	= 17.09%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) <sub>b</sub>	= 2.20 years
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) <sub>a</sub>	= 2.61 years
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) <sub>b</sub>	= 29.95%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) <sub>a</sub>	= 23.96%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF)	= 24.50%

Based on the results of the analysis above, then establishment of a nitroglycerin factory is worthy of further study, because it is a profitable factory from an economic standpoint and has relatively good prospects.

Judul Skripsi

: PRARANCANGAN PABRIK NITROGLISERIN  
DARI GLISEROL DAN ASAM NITRAT  
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN (Tugas Khusus  
Perancangan Nitration Reactor (RE-201))

Nama Mahasiswa

: Maulana Ikhsan Hasibuan

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1615041002

Program Studi

: Teknik Kimia

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Dr. Sri Ismiyati D., S.T., M.Eng.  
NIP. 197904192006041001

Simparmen Br. Ginting, S.T., M.T.  
NIP. 196611111994022001

2. Ketua Jurusan

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

## MENGESAHKAN

1. Tim Pengaji

Ketua

: Dr. Sri Ismiyati D., S.T., M.Eng.

Sekretaris

: Simparmin Br. Ginting. S.T., M.T.

Pengaji

Bukan pembimbing I

: Ir. Azhar, M.T.

Bukan Pembimbing II

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

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Hemy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 2 Februari 2023

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepenuhnya saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana 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, 25 Februari 2023

Maulana Ikhsan Hasibuan

NPM. 1615041002

## RIWAYAT HIDUP



**Maulana Ikhwan Hasibuan**, penulis laporan ini dilahirkan di Daya Murni pada tanggal 25 Maret 1998, putra pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Muhammad Saudi dan Ibu Ani.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 1 Bandar Sakti pada tahun 2010, pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 2 Tumijajar pada tahun 2013 dan pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 1 Tumijajar pada tahun 2016.

Pada tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Media Informasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2017, Kepala Departemen Media Informasi Himatemia FT Unila Periode 2018, Staf Dinas Komunikasi dan Informasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung (BEM FT Unila) Periode 2017 dan 2018, Kepala Dinas Komunikasi dan Informasi BEM FT Unila Periode 2019, Staf Bidang Publikasi dan Komunikasi Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Indonesia Daerah I (BKKMTKI D-I) Periode 2016-2018 dan Pimpinan Daerah Bidang Publikasi dan Komunikasi BKKMTKI D-I Periode 2018-2020.

Pada tahun 2019, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Banjar Setia, Kecamatan Baradatu, Kabupaten Way Kanan dan melakukan Kerja Praktik (KP) di PT Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan Tugas Khusus “Analisis Kinerja *Low Pressure Absorber* (EA-402) pada Seksi Recovery Unit Urea P-IV”. Pada

tahun 2020, penulis melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Konsentrasi Larutan Hidrogen Peroksida dan Lama Pemaparan *Microwave* pada Proses *Bleaching* Biomassa Lignoselulosa dari Tongkol Jagung” di Laboratorium Riset UPT Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (LTSIT) Universitas Lampung.

Selama aktif kuliah penulis pernah mengikuti kegiatan pengabdian yang diadakan oleh Dosen Teknik Kimia Unila dengan tema “Bimbingan Teknis Penguasaan Perangkat Lunak Aspen Plus kepada Operator Proses untuk Optimasi Proses dan Efisiensi Energi pada *Biodiesel Plant* di PT Tunas Baru Lampung, Tbk. Bandar Lampung” di Hotel Emersia pada Tahun 2019. Selain itu penulis juga berkesempatan untuk berpartisipasi sebagai panitia dalam acara ”*The 5<sup>th</sup> International Conference on Science, Technology and Interdisciplinary Research (IC-STAR) 2019*” yang diadakan di Hotel Emersia.

## ***Motto dan Persembahan***

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan,  
sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah (94): 5-6)

“Belajarlah karena Allah, maka Allah yang akan  
memberikan kesempurnaan pengetahuan kepada kita”

(Ustadz Dr. H. Adi Hidayat, Lc., M.A.)

“Setiap langkah kecil memberikan progres,  
karenanya teruslah bergerak, bila lelah istirahatlah,  
kemudian bangkit kembali”

(Maulana Ikhsan Hasibuan)

*Sebuah Karyaku....*

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:*

*Allah SWT*

*Karenakehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh.  
Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil ini.  
Atas karunia dan anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.*

*Almarhum Papah dan Mamahku,  
terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan dan  
keikhlasannya. Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa  
dibandingkan dengan pengorbanan dan kasih sayang kalian selama  
ini. Terimakasih atas segalanya.*

*Adik-adikku, Ananda Zulham Parlindungan Hasibuan dan  
Muhammad Roihan Hasibuan, terimakasih atas dukungan, doa dan  
keceriannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku,  
terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya  
selama ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,  
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini baik itu berupa  
ilmu keteknikkimiaan maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat  
berguna dan bermanfaat.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,  
semoga kelak berguna dikemudian hari.*

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Nitroglycerin dari Gliserol dan Asam Nitrat Kapasitas 10.000 Ton/Tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga tercinta, Almarhum Papah, Mamah, Nanda, Roihan serta seluruh keluarga besar atas doa, dukungan, kepercayaan, ketulusan dan semangat yang telah diberikan serta cinta dan kasih sayang yang selalu mengiringi setiap saat.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti., S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Terima kasih juga telah mengajarkan untuk menjadi insan yang lebih literatif dan teliti.
4. Ibu Simparmin Br. Ginting. S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Bapak Ir. Azhar, M.T. selaku Dosen Peguji I yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah mengaktifkan logika dan mengarahkan ke jalan yang benar.
6. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah

terus mendorong dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.

7. Ibu Panca Nugrahini F., S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan dan motivasi selama masa kuliah.
8. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T. selaku Dosen Penanggung Jawab Mata Kuliah Tugas Akhir.
9. Seluruh Dosen dan Civitas Akademika Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
10. Heru Ismanto (*The Extraordinary Partner*), teman seperjuangan sehidup setekim selama tujuh tahun, menjadi pelengkap yang selalu kritis dan menghibur, terima kasih atas kerjasamanya selama ini baik dalam penyelesaian kerja praktik, penelitian hingga tugas akhir. Terimakasih karena sudah membantu dan terus berjuang hingga titik darah penghabisan untuk meraih gelar S.T. ini. Semoga kita menjadi orang yang sukses di jalannya masing-masing dan bermanfaat bagi banyak orang.
11. Teman-teman ChemEng '16, Koher, adik-adik dan kakak tingkat yang telah memberikan warna-warni kehidupan dunia kampus dan segala bantuan kepada penulis.
12. Semua pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin.

Bandar Lampung, 25 Februari 2023  
Penulis,

Maulana Ikhsan Hasibuan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>COVER .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>x</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xxii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Kegunaan Produk.....	2
1.3 Analisis Pasar.....	3
1.4 Ketersediaan Bahan Baku .....	7
1.5 Lokasi Pabrik .....	7
<b>BAB II PEMILIHAN PROSES .....</b>	<b>9</b>
2.1 Jenis-Jenis Proses.....	9
2.2 Tinjauan Proses .....	12
<b>BAB III SPESIFIKASI BAHAN .....</b>	<b>25</b>
3.1. Bahan Baku.....	25
3.2. Bahan Penunjang .....	26
3.3. Produk .....	27
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN ENERGI .....</b>	<b>28</b>
4.1. Neraca Massa .....	28

4.2. Neraca Energi.....	34
<b>BAB V SPESIFIKASI ALAT.....</b>	<b>43</b>
5.1 Spesifikasi Alat Proses.....	43
5.2 Spesifikasi Alat Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	60
5.3 Spesifikasi Alat Unit Penyediaan Udara Tekan.....	83
5.4 Spesifikasi Alat Unit Refigerasi.....	86
5.5 Spesifikasi Alat Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	96
5.6 Spesifikasi Alat Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	96
<b>BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....</b>	<b>98</b>
6.1. Unit Utilitas.....	98
6.2. Unit Pengolahan Limbah .....	111
6.3. Laboratorium.....	112
6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses .....	114
<b>BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....</b>	<b>118</b>
7.1. Lokasi Pabrik .....	118
7.2. Tata Letak Pabrik.....	119
7.3. Estimasi Area Pabrik.....	122
7.4. Tata Letak Peralatan Proses .....	123
7.5. Lokasi Pendirian Pabrik.....	125
<b>BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI</b>	
<b>PERUSAHAAN .....</b>	<b>126</b>
8.1. Bentuk Perusahaan.....	126
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....	128
8.3. Tugas dan Wewenang .....	131
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	137
8.5. Pembagian Pukul Kerja Karyawan .....	138
8.6. Pembagian Pukul Kerja Karyawan .....	139
8.7. Kesejahteraan Karyawan .....	145
8.8. Cuti.....	145
8.9. Pakaian Kerja .....	145
8.10. Pengobatan .....	145
8.11. Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Kesehatan (BPJS Kesehatan) .	146

8.12. Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	146
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI .....</b>	<b>148</b>
9.1. Total Capital Investment (TCI).....	148
9.2. Total Production Cost (TPC) .....	149
9.3. Evaluasi Ekonomi .....	152
9.4. Angsuran Pinjaman.....	155
9.5. Discounted Cash Flow (DCF).....	159
<b>BAB X SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>160</b>
10.1. Simpulan .....	160
10.2. Saran .....	160
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA</b>	
<b>LAMPIRAN B PERHITUNGAN NERACA ENERGI</b>	
<b>LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT</b>	
<b>LAMPIRAN D PERHITUNGAN UTILITAS</b>	
<b>LAMPIRAN E PERHITUNGAN EKONOMI DAN EVALUASI EKONOMI</b>	
<b>LAMPIRAN F TUGAS KHUSUS PERANCANGAN NITRATION REACTOR (RE-201)</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Data Impor Nitroglycerin dalam bentuk <i>Propellant Powders</i> .....	3
Tabel 1.2. Data Kebutuhan Nitroglycerin dalam bentuk <i>Propellant Powders</i> di Negara Lain .....	5
Tabel 2.1. Data <i>Enthalpy</i> dan Energi Bebas <i>Gibbs</i> pada $T = 298,15\text{ K}$ ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ...	13
Tabel 2.2. Data <i>heat capacity</i> .....	16
Tabel 2.3. Harga Bahan Baku dan Produk.....	19
Tabel 2.4. Stoikiometri Persamaan .....	20
Tabel 2.5. Perbandingan Proses Pembuatan Nitroglycerin .....	24
Tabel 4.1. Neraca Massa Total pada <i>Mixing Point</i> (MP-101) .....	29
Tabel 4.2. Neraca Massa Total pada <i>Nitration Reactor</i> (RE-201).....	30
Tabel 4.3. Neraca Massa Total pada <i>Decanter</i> (DC-301).....	31
Tabel 4.4. Neraca Massa Total pada <i>Mixing Tank</i> (MT-301).....	31
Tabel 4.5. Neraca Massa Total pada <i>Neutralizer</i> (NE-301).....	32
Tabel 4.6. Neraca Massa Total pada <i>Decanter</i> (DC-302).....	33
Tabel 4.7. Neraca Energi Total pada <i>Mixing Point</i> (MP-101).....	35
Tabel 4.8. Neraca Energi Total pada <i>Cooler</i> (CO-201).....	35
Tabel 4.9. Neraca Energi Total pada <i>Cooler</i> (CO-202).....	36
Tabel 4.10. Neraca Energi Total pada <i>Nitration Reactor</i> (RE-201) .....	37
Tabel 4.11. Neraca Energi Total pada <i>Decanter</i> (DC-301) .....	38
Tabel 4.12. Neraca Energi Total pada <i>Mixing Tank</i> (MT-301) .....	39
Tabel 4.13. Neraca Energi Total pada <i>Cooler</i> (CO-301) .....	39
Tabel 4.14. Neraca Energi Total pada <i>Neutralizer</i> (NE-301) .....	40
Tabel 4.15. Neraca Energi Total pada <i>Decanter</i> (DC-302) .....	41
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 Gudang (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 Nitroglycerin Kapasitas 10.000 ton/tahun.....	156
Tabel 9.8. Hasil Uji Kelayakan Ekonomi .....	159

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Grafik Data Impor Nitroglycerin ke Indonesia .....	4
Gambar 1.2. Grafik Data Kebutuhan Nitroglycerin di Luar Negeri .....	6
Gambar 2.1. Schmid-Meissner <i>continuous method for manufacturing nitroglycerin</i> (Urbanski, 1965) .....	10
Gambar 2.2. <i>Flowsheet</i> berdasarkan dari proses Biaffi .....	12
Gambar 4.1. Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Mixing Point</i> (MP-101) .....	29
Gambar 4.2. Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Nitration Reactor</i> .....	29
Gambar 4.3. Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Decanter</i> (DC-301).....	30
Gambar 4.4. Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Mixing Tank</i> (MT-301).....	31
Gambar 4.5. Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Neutralizer</i> (NE-301) .....	32
Gambar 4.6. Blok Diagram Neraca Massa pada <i>Decanter</i> (DC-302).....	33
Gambar 4.7. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Mixing Point</i> (MP-101).....	34
Gambar 4.8. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Cooler</i> (CO-201).....	35
Gambar 4.9. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Cooler</i> (CO-202).....	36
Gambar 4.10. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Nitration Reactor</i> .....	37
Gambar 4.11. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Decanter</i> (DC-301) .....	38
Gambar 4.12. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Mixing Tank</i> (MT-301) .....	38
Gambar 4.13. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Cooler</i> (CO-301).....	39
Gambar 4.14. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Neutralizer</i> (NE-301) .....	40
Gambar 4.15. Blok Diagram Neraca Energi pada <i>Decanter</i> (DC-302) .....	41
Gambar 6.1. <i>Cooling Tower</i> .....	102
Gambar 6.2. Diagram <i>Cooling Water System</i> .....	103
Gambar 6.3. Diagram Alir Pengolahan Air .....	104
Gambar 7.1. Tata Letak Pabrik .....	122
Gambar 7.2. Tata Letak Peralatan Proses .....	124
Gambar 7.3. Peta Kota Tangerang (Pemerintah Kota Tangerang, 2021) .....	125

Gambar 7.4. Peta Lokasi Pabrik (Google Earth, 2022).....	125
Gambar 8.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	130
Gambar 9.1. <i>Grafik Break Even Point (BEP)</i> .....	155
Gambar 9.2. Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i> .....	159

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Industri pertahanan menjadi salah satu hal krusial dalam rangka mendukung sistem pertahanan negara untuk menjamin kelangsungan hidup maupun eksistensi bangsa dan negara. Industri pertahanan yang kuat mempunyai dua efek utama, yakni efek langsung terhadap pembangunan kemampuan pertahanan dan efek terhadap pembangunan ekonomi dan teknologi nasional (Aida, 2021).

Untuk mewujudkan kemandirian industri pertahanan, pemerintah telah merumuskan *road map* Pembinaan Produk Alpahankam (Alat Peralatan Pertahanan dan Keamanan). Dalam *road map* tersebut memuat tujuh program prioritas industri pertahanan nasional yaitu propelan, roket, rudal, medium tank, radar, kapal selam dan pesawat tempur (Aida, 2021).

Propelan atau disebut juga bahan pendorong atau bubuk mesiu, memiliki nilai strategis yang tinggi, dikarenakan merupakan bahan untuk meluncurkan munisi dan roket dalam sistem persenjataan yang bahan bakunya adalah nitroglycerin (gliseril trinitrat). Nitroglycerin merupakan zat kimia yang mempunyai rumus molekul  $C_3H_5N_3O_9$ , dapat dihasilkan dari proses nitrasi gliserol pada kondisi tertentu dengan menggunakan asam campuran yang terdiri dari asam nitrat dan asam sulfat (Anonymous, 2018); Zaidar, 2003).

Nitroglycerin merupakan salah satu bahan dasar dari propelan jenis *double base* dan *triple base*. Campuran nitroglycerin dan nitrocelulosa merupakan bahan yang umum digunakan dalam industri bahan peledak. Selain itu, nitroglycerin juga juga digunakan dalam bidang kesehatan untuk meredakan rasa sakit dan mengurangi frekuensi serangan *angina pectoris* (angin duduk). Tablet nitroglycerin biasa larut di bawah lidah dalam 20 detik dan meredakan sakit dalam 3 menit (Zaidar, 2003).

Kebutuhan dalam negeri akan nitroglycerin terus meningkat seiring berjalannya waktu mengingat perannya yang sangat penting, dari tahun 2014 hingga 2018 kebutuhan nitroglycerin di Indonesia mencapai 1464,52 ton yang sepenuhnya diimpor dari negara lain seperti Cina, Korea Selatan, Australia, Belgia, Ceko, Afrika Selatan dan Singapura dalam bentuk *propellant powders* (UN Comtrade Database, 2022) sementara pabrik yang memproduksi nitroglycerin di Indonesia sendiri hanya terdapat satu yaitu di PT Dahana (Persero).

Ini merupakan suatu peluang untuk didirikannya pabrik nitroglycerin yang diharapkan memiliki prospek yang cerah di masa depan, disisi lain juga membantu pemerintah dalam mengurangi ketergantungan impor dari luar negeri serta mengantisipasi bila sewaktu-waktu Indonesia terkena embargo (pelarangan perniagaan dan perdagangan) dari negara pengimpor. Nitroglycerin yang diproduksi diutamakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya dapat dieksport untuk menambah devisa negara serta memperluas lapangan pekerjaan sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

## 1.2 Kegunaan Produk

Nitroglycerin dapat digunakan untuk berbagai keperluan berikut:

1. Bahan peledak, nitroglycerin merupakan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan berbagai jenis bahan peledak, seperti peledak *double base* (bahan dasar terdiri dari dua senyawa) untuk senjata ukuran kecil (*small arms*), besar seperti meriam, mortir dan pendorong (*propellant*) roket serta peledak *triple base* (Zaidar, 2003). Bahan peledak yang dibuat dari gliserin juga digunakan pada bidang konstruksi, demolisi dan pertambangan. Komposisi nitroglycerin yang digunakan sebagai bahan baku peledak adalah 50% (Bergman, 2008).
2. Dalam bidang kesehatan, nitroglycerin digunakan sebagai obat untuk mengurangi dan mencegah *angina* (nyeri dada) akibat penyakit jantung koroner. Cara kerjanya yaitu dengan melebarkan pembuluh darah, dan meningkatkan pasokan darah serta oksigen ke otot jantung. Obat ini tersedia dalam bentuk tablet minum, tablet sublingual, dan suntik. Tablet sublingual biasa larut dibawah lidah dalam 20 detik dan meredakan sakit dalam 3 menit. Kemurnian nitroglycerin yang digunakan sebagai bahan baku dalam bidang

kesehatan berkisar antara 2-20% (Nareza, 2020; Copperhead Chemical Company, 2019).

### **1.3 Analisis Pasar**

Analisis pasar merupakan metode untuk mengetahui seberapa besar permintaan kebutuhan suatu produk. Kebutuhan pasar suatu produk dapat dianalisis menggunakan beberapa aspek, salah satunya adalah analisis sistem perekonomian terbuka yang meliputi ekspor dan impor produk (Sugiarto, 2000), sehingga perlu menganalisis data-data berikut:

#### **1.4.1 Data Impor**

Berikut ini adalah data impor nitroglycerin ke Indonesia dalam beberapa tahun terakhir:

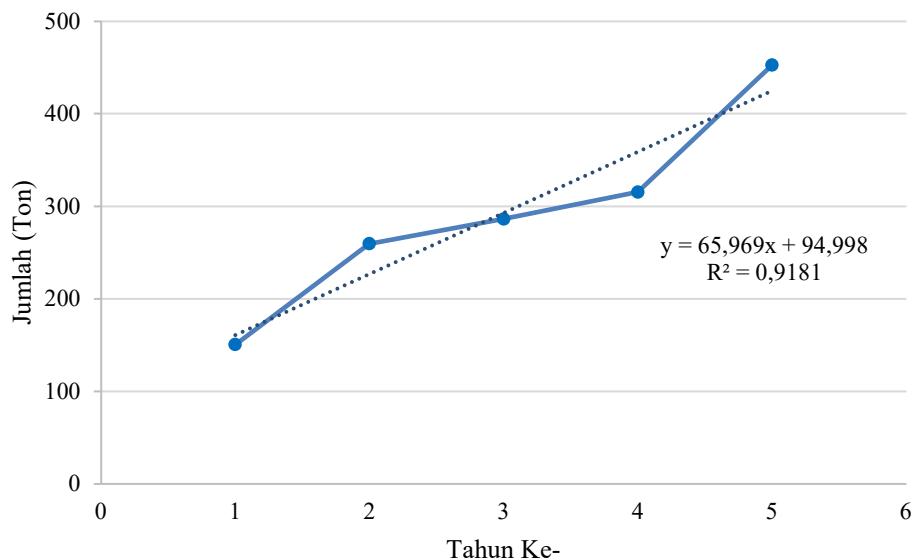
**Tabel 1.1.** Data Impor Nitroglycerin dalam bentuk *Propellant Powders*

Ke Indonesia

Tahun	Jumlah (Ton)
2014	151
2015	259
2016	286
2017	315
2018	453

Sumber: (UN Comtrade Database, 2022)

Berdasarkan Tabel 1.1., nitroglycerin ke Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan, oleh karena itu perlu didirikannya pabrik yang memproduksi nitroglycerin untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Data impor tersebut kemudian dipresentasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



**Gambar 1.1.** Grafik Data Impor Nitroglycerin ke Indonesia

Berdasarkan data pada Gambar 1.1. akan diperoleh proyeksi kebutuhan nitroglycerin di Indonesia di tahun yang akan datang, dan diperoleh persamaan garis lurus berikut:

$$y = 65,969x + 94,998 \quad \dots (1)$$

Dimana:

$y$  = Kebutuhan nitroglycerin di Indonesia

$x$  = Tahun ke-

Pada sumbu  $x$  terdapat tahun ke-, yang artinya:

Tahun Ke-1 = 2014

Tahun Ke-2 = 2015

Tahun Ke-3 = 2016...dst

Proyeksi kebutuhan di tahun 2027 yaitu tahun ke-14 (tahun pendirian pabrik) dapat dicari menggunakan persamaan diatas, sehingga

$$y = 65,969x + 94,998$$

$$y = 65,969 (14) + 94,998$$

$$y = 1.019 \text{ ton}$$

Dari perhitungan diatas menggunakan persamaan (1) dapat diproyeksikan kebutuhan nitroglycerin di Indonesia pada tahun 2027 adalah sebesar 1.019 ton/tahun.

#### 1.4.2 Data Kebutuhan di Negara Lain

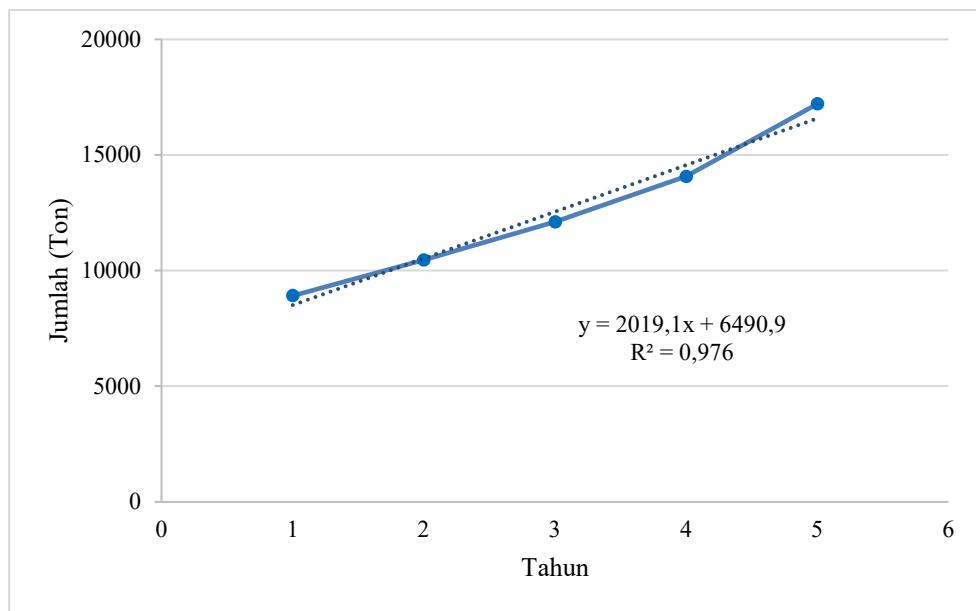
Data kebutuhan di negara lain juga dibutuhkan untuk penjualan keluar negeri bila nantinya pabrik nitroglycerin telah beroperasi. Selain menambah pemasukan untuk pabrik, nilai ekspor nitroglycerin juga dapat menambah devisa negara. Berikut merupakan kebutuhan nitroglycerin di negara lain dalam beberapa tahun terakhir:

**Tabel 1.2.** Data Kebutuhan Nitroglycerin dalam bentuk *Propellant Powders* di Negara Lain

Negara	Tahun					Jumlah (Ton)
	2014	2015	2016	2017	2018	
	1	2	3	4	5	
USA	2.686	4.934	3.471	5.180	4.417	20.688
Etiopia	3.384	1.699	3.312	3.482	5.859	17.736
Prancis	2.426	949	1.229	887	1.464	6.955
Italia	0	1.462	1.652	1.575	1.700	6.389
Cina	419	1.412	829	1.158	2.071	5.889
Jerman	0	0	1.604	1.787	1.694	5.085
Jumlah (Ton)	8.915	10.456	12.098	14.069	17.204	

Sumber: (UN Comtrade Database, 2022)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa kebutuhan nitroglycerin di negara lain semakin mengalami peningkatan, data tersebut selanjutnya dipresentasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



**Gambar 1.2.** Grafik Data Kebutuhan Nitroglycerin di Luar Negeri

Dari Gambar 1.2., dengan pendekatan regresi *linier* diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$y = 2.019,1x + 6.490,9 \quad \dots (2)$$

Dimana:

y = Kebutuhan nitroglycerin di luar negeri

x = Tahun ke-

Proyeksi kebutuhan di tahun 2027 yaitu tahun ke-14 dapat dicari menggunakan persamaan diatas, sehingga

$$y = 2.019,1x + 6.490,9$$

$$y = 2.019,1 (14) + 6.490,9$$

$$y = 34.758 \text{ ton}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diproyeksikan kebutuhan nitroglycerin di negara lain pada tahun 2027 adalah sebesar 34.758 ton/tahun.

#### 1.4.3 Kapasitas Rancangan

Dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1999 tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat BAB IV Pasal 17 Ayat (2) Poin C disebutkan bahwa satu pelaku usaha atau satu kelompok pelaku usaha dilarang menguasai lebih dari 50% pangsa pasar satu jenis barang atau jasa tertentu (Presiden Republik Indonesia,

1999), dan pangsa pasar untuk ekspor yang ingin kuasai ialah sebesar 50%, sehingga kapasitas produksi nitroglycerin pada tahun 2027 dirancang sebesar:

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Produksi} &= (1.019 + (34.758 \times 50\%)) \times 50\% \\ \text{Kapasitas Produksi} &= 9.199 \approx 10.000 \text{ ton/tahun.}\end{aligned}$$

#### **1.4 Ketersediaan Bahan Baku**

Bahan baku pembuatan nitroglycerin terdiri dari gliserin dan asam nitrat, gliserin diperoleh dari PT Cisadane Raya Chemicals, Tanggerang dengan kapasitas 9.000 ton/tahun (Sari, 2022) dan PT Sumi Asih Olechemical Industry, Bekasi, dengan kapasitas 5.700 ton/tahun (Fajrin, 2017), asam nirat diperoleh dari PT Multi Nitrotama Kimia, Cikampek kapasitas 55.000 ton/tahun (PT Multi Nitrotama Kimia, 2022). Asam sulfat digunakan sebagai katalis yang diperoleh dari PT Indonesian Acid Industri, Jakarta Timur kapasitas 82.500 ton/tahun (PT Indonesian Acid Industri, 2022) dan natrium karbonat sebagai penetrant diimpor dari Tata Chemicals Limited, India kapasitas 900.000 ton/tahun (Anonymous, 2020).

#### **1.5 Lokasi Pabrik**

Pemilihan lokasi pabrik sangat penting dalam keberhasilan pendirian pabrik. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan untuk menentukan lokasi pabrik agar dapat menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang minimal serta keuntungan yang diperoleh maksimal yaitu:

##### **1. Ketersediaan Bahan Baku**

Lokasi pabrik yang dekat dengan sumber bahan baku akan memudahkan proses produksi dan meminimalkan biaya transportasi, dalam pendirian pabrik nitroglycerin ini bahan baku yang dibutuhkan adalah gliserin yang diperoleh dari PT Cisadane Raya Chemicals, Tangerang, Banten dan asam nirat dari PT Multi Nitrotama Kimia, Cikampek, Jawa Barat. Asam sulfat dari PT Indonesian Acid Industri, Jakarta Timur, Jakarta digunakan sebagai katalis dan natrium karbonat yang diimpor dari Tata Chemicals Limited, Gujarat, India sebagai penetrant.

## **2. Daerah Pemasaran**

Produk yang dihasilkan utamanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri pertahanan dalam negeri dimana industri-industri tersebut banyak terdapat di Jawa Barat seperti PT Dahana dan PT Pindad. Selain itu produk juga akan dieksport ke beberapa negara lain yang membutuhkan seperti Amerika Serikat, Etiopia, Prancis, Italia, Cina, Jerman, dan lain-lain.

## **3. Fasilitas Transportasi**

Target terbesar pemasaran adalah untuk ekspor sehingga salah satu pertimbangan yang penting adalah dekatnya lokasi pabrik dengan pelabuhan. Kota Tangerang merupakan daerah yang dekat dengan Pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta Utara dengan jarak satu jam perjalanan. Daerah ini juga terhubung dengan akses tol langsung yang akan memudahkan distribusi bahan baku serta pemasaran produk.

## **4. Sumber Air**

Pemilihan lokasi pabrik harus dekat dengan sumber air yang ketersediaannya melimpah. Di Tangerang terdapat sumber air yang berasal dari Sungai Cisadane dan di Cikampek terdapat sumber air dari Sungai Citarum.

Ditinjau dari ketersediaan bahan baku ketiga daerah memiliki potensi yang sama untuk didirikannya pabrik, dilihat dari target pemasaran Kabupaten Cikampek lebih unggul karena dekat dengan industri yang menjadi target pemasaran di dalam negeri.

Dari fasilitas transportasi dan sumber air, Kota Tangerang lebih unggul karena jarak ke pelabuhan lebih dekat dimana target terbesar pemasaran adalah untuk ekspor, selain itu terdapat sumber air yang berasal dari Sungai Cisadane. Dengan pertimbangan-pertimbangan diatas maka pabrik akan didirikan di Kota Tangerang, Banten.

## BAB II

### PEMILIHAN PROSES

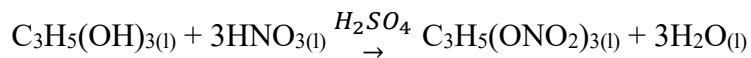
#### 2.1 Jenis-Jenis Proses

*Nitroglycerin* (NG) diproduksi dengan cara nitrasi dari gliserin dengan asam campuran (asam nitrat dan asam sulfat). Proses pembuatan nitrogliserin mulanya adalah secara *batch*, sistem *batch* ini berbahaya dikarenakan adanya akumulasi nitrogliserin dalam reaktor yang sensitif terhadap gesekan. Sistem kontinu telah diusulkan dan paten untuk nitrasi gliserol secara kontinu telah diajukan. Akan tetapi karena *safety* masih diragukan maka belum ada persetujuan dari sistem tersebut. Hingga pada tahun 1927 proses Schmid dirancang dan 1935 proses Biazzi telah dikembangkan. Proses kontinu ini telah diakui efisien dan aman.

##### 2.1.1. Proses Schmid-Meissner

Pada proses Schmid-meissner melibatkan beberapa tahapan diantaranya proses nitrasi secara kontinu dari gliserin dan *mixed acid* ( $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), pemisahan produk nitrasi berupa nitrogliserin dari *spent acid* ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ ) dan pemurnian nitrogliserin (neutralisasi dan pencucian) (Department of The Army, 1984).

Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut:

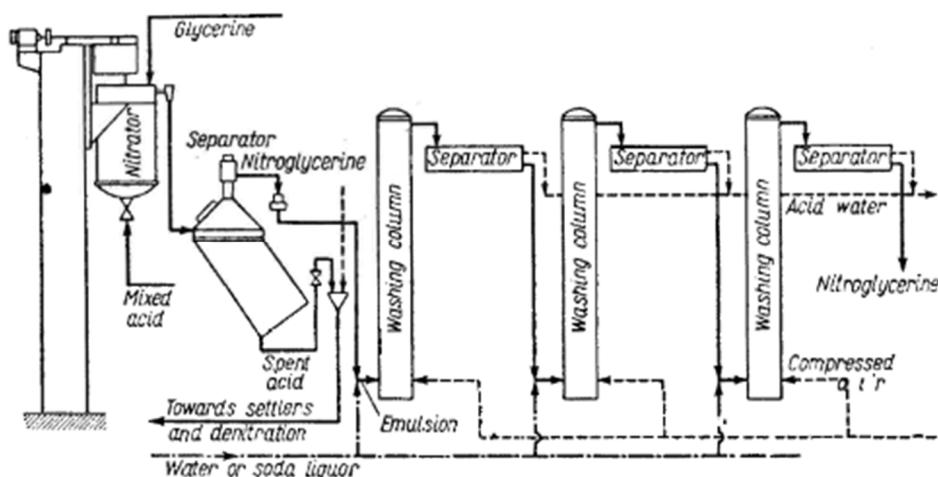


Reaktor pada proses ini (*nitrator*) merupakan reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) yang dilengkapi dengan pipa *overflow* pada bagian atas untuk pengeluaran produk nitrasi. Campuran *mixed acid* masuk melalui bagian bawah nitrator dan juga terdapat *dump valve* yang berfungsi sebagai pembuangan untuk ke *drowning tank*, gliserin secara bersamaan dimasukkan dari bagian atas nitrator.

Suhu pada nitrator tidak boleh melebihi 18 °C, konversi pada nitrator sebesar 93% (Urbanski, 1965). Produk nitrogliserin dan *spent acid* mengalir

secara kontinu melalui pipa *overflow* menuju ke separator untuk pemisahan *spent acid*. Karena perbedaan densitas, *spent acid* akan mengendap dibagian bawah separator dan nitroglycerin dibagian atas. *Spent acid* kemudian ditujukan ke pabrik *recovery* asam dan nitroglycerin mengalir secara gravitasi ke dasar *washing column* pertama (lihat gambar 2.1).

Nitroglycerin dari separator memasuki bagian bawah *washing column* pertama, dicampur dengan air dan udara dari bagian bawah *washing column* dengan tujuan untuk mengemulsikan nitroglycerin. Sehingga memaksa nitroglycerin naik ke bagian atas kolom, dimana emulsi nitroglycerin meluap ke separator intermediat kemudian menuju ke *washing column* kedua. Pada *washing column* kedua, nitroglycerin dinetralkan dengan larutan natrium karbonat dan kemudian diemulsi dengan udara. Selanjutnya emulsi mengalir dari bagian atas kolom ke separator intermediat lain dimana nitroglycerin dipisahkan dari natrium karbonat untuk kemudian disimpan di dalam tangki (Department of The Army, 1984).

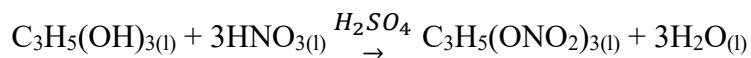


**Gambar 2.1.** Schmid-Meissner *continuous method for manufacturing nitroglycerin* (Urbanski, 1965)

### 2.1.2. Proses Biazzi

Proses ini mirip dengan Schmid-Meissner, namun dianggap lebih aman karena jumlah nitroglycerin yang lebih rendah. Pada proses ini, campuran asam ( $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan gliserol diumpulkan dari bagian atas nitrator dengan menggunakan *metering pump*, kedua aliran tersebut diatur dengan menggunakan *speed controller*.

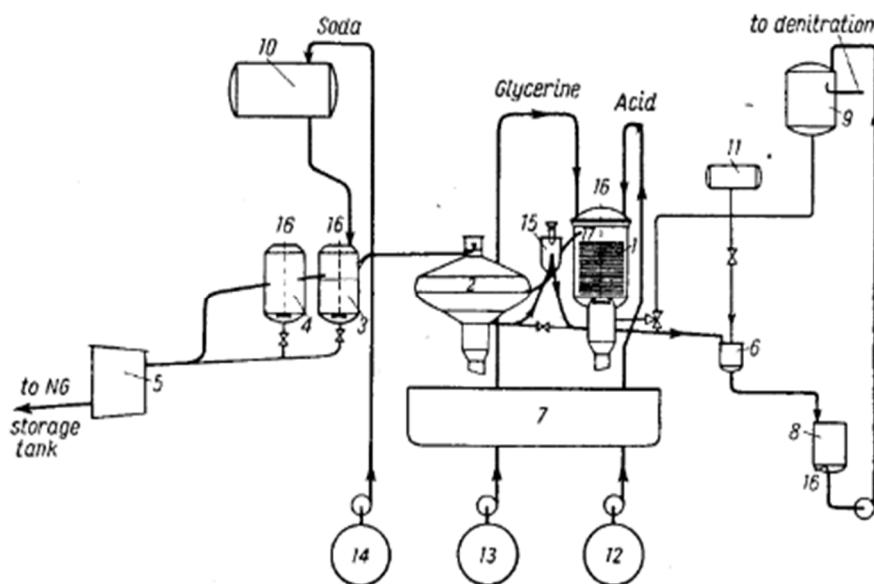
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Konversi pada nitrator sebesar 99,18 % dengan kecepatan pengadukan sebesar 600 rpm. Suhu di dalam nitrator dijaga pada 15 °C dengan *cooling coil* yang dialirkan *counterflow* dengan umpan. Dengan pengaturan ini, memungkinkan reaksi berlangsung cepat karena penyerapan panas yang cepat pada nitrator. Setelah proses nitrasi selesai, nitroglycerin mengalir melalui pipa *overflow* yang mengarah ke separator. Di dalam separator, pada bagian atas adalah nitroglycerin dan bagian bawah adalah *spent acid* ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ ). *Spent acid* pada bagian bawah separator keluar melalui *dump valve*. Prinsip pemisahan pada separator berdasarkan perbedaan densitas dari nitroglycerin dengan *spent acid*. Pemisahan ini tidak lebih dari 10 menit (Urbanski, 1965).

*Spent acid* mengalir secara kontinu dari bagian bawah *centrifuge* melalui *dump valve*. Setelah meninggalkan *centrifuge*, asam dilewatkan melalui *separator* dimana beberapa produk nitroglycerin diperoleh kembali. *Spent acid* yang meninggalkan *separator* biasanya diencerkan dengan air (1-2 %) untuk melarutkan sisa-sisa produk nitrasi terlarut untuk selanjutnya dikirim ke *denitration*.

Produk nitroglycerin yang diperoleh dari *centrifuge* masuk ke dalam *washing column* pertama untuk dinetralkan dari asam yang masih tersisa dengan menggunakan natrium karbonat. Nitroglycerin yang sudah dinetralkan kemudian masuk ke *washing column* kedua untuk diemulsikan dengan menggunakan *hot water* dan selanjutnya dialirkan ke separator untuk memperoleh produk nitroglycerin, setelah itu nitroglycerin yang diperoleh disimpan dalam tangki penyimpanan (Urbanski, 1965).



**Gambar 2.2.** Flowsheet berdasarkan dari proses Biaazzi  
(Urbanski, 1965) hal. 108

## 2.2 Tinjauan Proses

### 2.2.1. Tinjauan Termodinamika

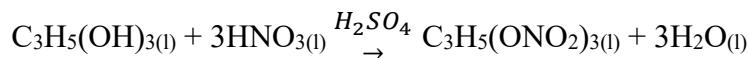
Tinjauan ini bertujuan untuk mengetahui banyaknya energi yang diperlukan atau dihasilkan dari suatu proses reaksi, sehingga dapat diketahui langkah-langkah untuk menangani proses tersebut. Hal ini dapat dilihat dari perubahan *enthalpy* ( $\Delta H$ ) dan perubahan energi bebas *gibbs* ( $\Delta G$ ).

Perubahan *enthalphy* menunjukkan besarnya panas yang dihasilkan atau dilepaskan dari suatu reaksi. Apabila perubahan *enthalphy* bernilai negatif (-) hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi berlangsung pada kondisi eksotermis yang berarti proses tersebut menghasilkan panas akibat dari reaksi. Jika perubahan *enthalphy* bernilai (+) hal ini berarti proses tersebut membutuhkan panas untuk melangsungkan reaksi atau biasa disebut proses berlangsung secara endotermis (Himmelblau & Riggs, 2012).

Energi bebas *gibbs* ( $G$ ) merupakan gabungan dari entalpi dan entropi menjadi satu nilai. Perubahan energi bebas *gibbs* ( $\Delta G$ ) adalah jumlah entalpi ditambah suhu yang dihasilkan dan entropi sistem.  $G$  dapat memprediksi arah reaksi kimia dalam dua kondisi: 1). Temperatur konstan dan 2). Tekanan konstan. Jika  $\Delta G$  bernilai positif (+) hal ini menunjukkan reaksi tidak spontan

(yang berarti masukan energi eksternal diperlukan agar reaksi dapat terjadi, *endergonic*) dan jika bernilai negatif (-) reaksi berlangsung spontan (reaksi dapat terjadi tanpa masukan energi dari luar, *exergonic*) (Lower, et al., 2021).

Reaksi yang terjadi pada proses nitrifikasi untuk membentuk nitroglycerin adalah sebagai berikut:



**Tabel 2.1.** Data *Enthalpy* dan Energi Bebas *Gibbs* pada T = 298,15 K (25 °C)

Komponen	Rumus Molekul	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)
Glycerol	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3(\text{l})$	-665,925 <sup>a</sup>	-438,52 <sup>b</sup>
Nitric acid	$\text{HNO}_3(\text{l})$	-173,008 <sup>a</sup>	-152,15 <sup>b</sup>
Nitroglycerine	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3(\text{l})$	-368,462 <sup>a</sup>	-236,41 <sup>b</sup>
Water	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-285,838 <sup>a</sup>	-237,14 <sup>c</sup>

Sumber: a. Lu, et al., (2008), b. Chemeo, (2022), c. Dean, (1999)

Dari data Tabel 2.1. tersebut dapat dicari nilai perubahan *enthalpy* ( $\Delta H_{rxn}^\circ$ ) dan *gibbs free energy* ( $\Delta G_{rxn}^\circ$ ) pada proses reaksi glycerol dengan asam nitrat sebagai berikut:

$$\Delta H_{rxn}^\circ = (\sum v_i \Delta H_{f_i}^\circ (\text{produk}) - \sum v_i \Delta H_{f_i}^\circ (\text{reaktan})) \dots\dots\dots(1)$$

(Himmelblau & Riggs, 2012)

$$\begin{aligned}
 &= (v_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3} \cdot \Delta H_{f_i}^\circ_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3} + v_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta H_{f_i}^\circ_{\text{H}_2\text{O}}) - \\
 &\quad (v_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3} \cdot \Delta H_{f_i}^\circ_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3} + v_{\text{HNO}_3} \cdot \Delta H_{f_i}^\circ_{\text{HNO}_3}) \\
 &= \{(1 \cdot -368,462) + (3 \cdot -285,838)\} - \\
 &\quad \{(1 \cdot -665,925) + (3 \cdot -173,008)\} \\
 &= (-1.225,976) - (-1.184,949) \\
 &= -41.03 \text{ kJ/mol C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3
 \end{aligned}$$

$$\Delta G_{rxn}^\circ = (\sum v_i \Delta G_{f_i}^\circ (\text{produk}) - \sum v_i \Delta G_{f_i}^\circ (\text{reaktan})) \dots\dots\dots(2)$$

(Atkins & Paula, 2006)

$$\begin{aligned}
 &= (v_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3} \cdot \Delta G_{f_i}^\circ_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3} + v_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta G_{f_i}^\circ_{\text{H}_2\text{O}}) - \\
 &\quad (v_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3} \cdot \Delta G_{f_i}^\circ_{\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3} + v_{\text{HNO}_3} \cdot \Delta G_{f_i}^\circ_{\text{HNO}_3})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \{(1.-236,41) + (3.-237,14)\} - \{(1.-438,52) + (3.-152,15)\} \\
 &= (-947.83) - (-894.97) \\
 &= -52.86 \text{ kJ/mol C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3
 \end{aligned}$$

Reaksi ini berjalan pada kondisi eksotermis ( $\Delta H_{rxn}^\circ = -41,03 \text{ kJ/mol C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ ) dan *exergonic* ( $\Delta G^\circ = -52,86 \text{ kJ/mol C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ )

Untuk menghitung panas yang tergenerasi selama reaksi ( $\Delta H$ ) pada reaksi ini, dihitung panas reaksi ( $\Delta H_r$ ) dan panas *dilution* ( $\Delta H_d$ ) yang dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta H = \Delta H_r + \Delta H_d \quad \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_r &= \sum H_{j,T_{ref}} + \sum (H_{j,T_f} - H_{j,T_{ref}}) \\
 &= \Delta H_{r,T_{ref}} + \Delta C_p (T_f - T_{ref}) \quad \dots \dots \dots (4) \\
 \Delta H_{r,T_{ref}} &= H_{NG,T_{ref}} + 3H_{W,T_{ref}} - H_{G,T_{ref}} - 3H_{N,T_{ref}} \\
 \Delta C_p &= C_{P,NG} + 3C_{P,W} - C_{P,G} - 3C_{P,N}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

- $\Delta H$  = Enthalpy reaction
- $\Delta H_r$  = Heat of reaction at a temperature  $T$
- $\Delta H_{r,T_{ref}}$  =  $\Delta H_{rxn}^\circ$  = Heat of reaction at standard condition
- $\Delta C_p$  = Heat capacity change
- $T_{ref}$  = Suhu pada kondisi standar
- $T_f$  = Suhu keluar

Subscripts:

- $NG$  = Nitroglycerine
- $N$  = Nitric acid
- $W$  = Water
- $G$  = Gliserol
- $J$  = Index of componen

(Lu, et al., 2008)

$$\Delta H_d = \frac{W_{mf}H_{df} - W_{m0}H_{d0}}{M_G} \dots\dots\dots(5)$$

$$H_{df} = H_{d,T_{ref}} + \Delta C_{pd}(T_f - T_{ref})$$

$$H_{d0} = H_{d,T_{ref}} + \Delta C_{pd}(T_0 - T_{ref})$$

Dimana:

$$H_{d,T_{ref}} = -29,39 - 1276,08R_w + 1689,96R_w^2 + 0,92 R_N + 296,24R_w R_N + 42,74 R_N^2$$

$$\Delta C_{PD} = 1,4286 + 2,039R_w + 0,5496R_N$$

Keterangan:

$\Delta H_d$  = Heat of dilution

$H_{df}$  = Relative enthalpies of outflow for mixed acid

$H_{d0}$  = Relative enthalpies of inflow for mixed acid

$H_{d,T_{ref}}$  = Relative enthalpy

$W_{mf}$  = outflow masses of mixed acid

$W_{m0}$  = inflow masses of mixed acid

$M_G$  = number of moles of glycerol after reaction

$\Delta C_{PD}$  = Specific heat

$R_w$  = weight percentage of water in mixed acid

$R_N$  = weight percentage of nitric acid in anhydrous mixed acid

$T_0$  = Suhu Masuk

$T_{ref}$  = Suhu pada kondisi standar

$T_f$  = Suhu keluar

(Lu, et al., 2008)

- Mencari nilai  $\Delta H_r$

$$T_f = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta H_{r,T_{ref}} = \Delta H^\circ_{rxn} = -41.03 \text{ kJ/mol}$$

**Tabel 2.2.** Data heat capacity

No.	Kode	$v_i$	A	B	C	D	$C_p$ (kJ/mol K)
1.	G	-1	$1,32 \times 10^2$	$8,6 \times 10^{-1}$	$-1,97 \times 10^{-3}$	$1,81 \times 10^{-6}$	0,26
2.	N	-3	$2,14 \times 10^2$	$-7,68 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-3}$	$-3,02 \times 10^{-7}$	0,17
3.	NG	1	-	-	-	-	0,07
4.	w	3	$9,2 \times 10^1$	$-4,00 \times 10^{-2}$	$-2,11 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-7}$	0,08

Sumber: (Yaws, 1999)

$$\text{Dimana: } C_p = A + BT + CT^2 + DT^3$$

Keterangan:

A,B,C,D = Heat capacity constants

$C_p$  = Heat capacity

Mencari nilai  $C_{p,NG}$

Specific heat capacity,  $C_{p,NG} = 0,82 \text{ kJ/Kg K}$ ;  $BM_{NG} = 82,05 \text{ Kg/Kmol}$

$$\begin{aligned} C_{p,NG} \times BM &= 0,82 \text{ kJ/Kg K} \times 82,05 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 67,28 \text{ kJ/Kmol K} \\ &= 0,07 \text{ kJ/mol K} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \Delta C_p &= C_{p,NG} + 3C_{p,w} - C_{p,G} - 3C_{p,N} \\ &= 0,07 + (3 \times 0,08) - 0,26 - (3 \times 0,17) \\ &= -0,46 \text{ kJ/mol K} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \Delta H_r &= \Delta H_{r,T_{ref}} + \Delta C_p (T_f - T_{ref}) \\ &= -41,03 + (-0,44) (288,15 - 298,15) \\ &= -36,43 \text{ kJ/mol gliserol} \end{aligned}$$

- Mencari nilai  $\Delta H_d$

$$T_f = T_0 = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\text{BM HNO}_3 = 63,013 \text{ g/mol}$$

$$\text{BM H}_2\text{SO}_4 = 98,079 \text{ g/mol}$$

$$M_{NG} = 1 \text{ mol}$$

$$W_{m0} = \frac{3 \text{ mol HNO}_3 \times 63,013 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,5} = 378,078 \text{ g} = 0,38 \text{ Kg}$$

$$W_{mf} = \frac{2 \text{ mol HNO}_3 \times 63,013 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{0,5} = 252,05 \text{ g} = 0,25 \text{ Kg}$$

$R_N$  0,5;  $R_w$  0,3 sehingga:

$$H_{d,T_{ref}} = 204,606 \text{ kJ/Kg} \quad (\text{Lu, et al., 2008) tabel 4}$$

$$\Delta C_{pd} = 2,315 \text{ kJ/Kg K} \quad (\text{Lu, et al., 2008) tabel 4}$$

$$\begin{aligned} H_{df} &= H_{d,T_{ref}} + \Delta C_{pd}(T_f - T_{ref}) \\ &= 204,606 + 2,315 (288,15 - 298,15) \\ &= 181,456 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{d0} &= H_{d,T_{ref}} + \Delta C_{pd}(T_0 - T_{ref}) \\ &= 204,606 + 2,315 (288,15 - 298,15) \\ &= 181,456 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \Delta H_d &= \frac{W_{mf}H_{df} - W_{m0}H_{d0}}{M_{NG}} = \frac{(0,25 \text{ Kg} \times 181,456 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}}) - (0,38 \text{ Kg} \times 181,456 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg}})}{1 \text{ mol}} \\ &= -22,87 \text{ kJ/mol nitroglycerin} \end{aligned}$$

Subtitusikan nilai  $\Delta H_r$  dan  $\Delta H_d$  ke persamaan (3) untuk mendapatkan nilai panas tergenerasi ( $\Delta H$ ), maka:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_r + \Delta H_d \\ &= -36,67 \text{ kJ/mol gliserol} + (-22,87 \text{ kJ/mol nitroglycerin}) \\ &= -59,30 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Untuk Mencari Nilai  $\Delta G$  pada kondisi operasi digunakan persamaan dibawah ini:

Diketahui:

$$T_f = 15^\circ\text{C} = 288,15 \text{ K}$$

$$T_{ref} = 25^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\Delta G = \Delta H_{298}^o - \frac{T_f}{T_{ref}} (\Delta H_{298}^o - \Delta G_{298}^o) + R \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta Cp}{R} dT + RT \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta Cp}{R} \frac{dT}{T}$$

(Smith, et al., 2001)

Dimana:

$$\int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta Cp}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \tau + \Delta B T_0 (\tau - 1) + \Delta C T_0^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1)$$

$$\tau = \frac{T_f}{T_{ref}}$$

$$\Delta A = \sum_i v_i A_i$$

$$\Delta B = \sum_i v_i B_i$$

$$\Delta C = \sum_i v_i C_i$$

Maka;

$$\begin{aligned} \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta Cp}{R} \frac{dT}{T} &= \left( (\sum_i v_i A_i) \ln \tau + \frac{\sum_i v_i B_i}{2} T_0 (\tau - 1) + \frac{\sum_i v_i C_i}{3} T_0^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1) \right) \\ &= \left( ((v_{NG} A_{NG} + v_W A_W) - (v_G A_G + v_N A_N)) \ln \tau + ((v_{NG} B_{NG} + v_W B_W) - (v_G B_G + v_N B_N)) T_0 (\tau - 1) + ((v_{NG} C_{NG} + v_W C_W) - (v_G C_G + v_N C_N)) T_0^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1) \right) \\ &= \left\{ v_{NG} \left( A_{NG} \ln \tau + B_{NG} T_{ref} (\tau - 1) + C_{NG} T_{ref}^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1) \right) \right\} + \\ &\quad \left\{ v_W \left( A_W \ln \tau + B_W T_{ref} (\tau - 1) + C_W T_{ref}^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1) \right) \right\} - \\ &\quad \left\{ v_G \left( A_G \ln \tau + B_G T_{ref} (\tau - 1) + C_G T_{ref}^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1) \right) \right\} - \\ &\quad \left\{ v_N \left( A_N \ln \tau + B_N T_{ref} (\tau - 1) + C_N T_{ref}^2 \left( \frac{\tau+1}{2} \right) (\tau - 1) \right) \right\} \end{aligned}$$

Mencari nilai  $\int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{C_{p,NG}}{R} \frac{dT}{T}$

Specific heat capacity,  $C_{p,NG} = 0,82 \text{ kJ/Kg K}$ ; BM<sub>NG</sub> = 82,05 Kg/Kmol

$$\begin{aligned} \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{C_{p,NG}}{R} \frac{dT}{T} &= 0,82 \times \ln \frac{T}{T_0} \\ &= 0,82 \times \ln \frac{288,15}{298,15} \\ &= -0,03 \text{ kJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -0,03 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \times 82,05 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}} \\
 &= -2,30 \text{ kJ/Kmol} = -2,30 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} &= (1 \times -2,30 \times 10^{-3}) + (3 \times -2,18) - (1 \times -7,41) - (3 \times -4,00) \\
 &= 12,87 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \Delta G &= \Delta H_{298}^o - \frac{T_f}{T_{ref}} (\Delta H_{298}^o - \Delta G_{298}^o) + R \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta C_p}{R} dT + RT_f \int_{T_{ref}}^{T_f} \frac{\Delta C_p}{R} \frac{dT}{T} \\
 \Delta G &= -41.03 - \frac{288,15}{291,15} (-41.03 - (-52.86)) + 4,60 + RT_f (12,87) \\
 &= -34,99 \text{ kJ/mol gliserol}
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$\Delta G$	= Perubahan energi bebas gibbs
$\Delta G_{298}^o = \Delta G_{rxn}^o$	= Gibbs free energy change at standard condition
$\Delta H_{298}^o = \Delta H_{rxn}^o$	= Heat of reaction at standard condition
$\Delta C_p$	= Heat capacity change
A,B,C,D	= Heat capacity constants
$\Delta S$	= Entropy change
$T_f$	= Suhu keluar
$T_{ref}$	= Suhu referensi
R	= Ideal gas constant

### 2.2.2. Tinjauan Ekonomi

Tabel 2.3. Harga Bahan Baku dan Produk

<b>Rumus Molekul</b>	<b>Konsentrasi (%)</b>	<b>Harga</b>	
		<b>Rp/Kg</b>	<b>US\$/Kg</b>
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3(l)</sub> (BM: 92,09 Kg/Kmol)	99	5.745,72	0,4

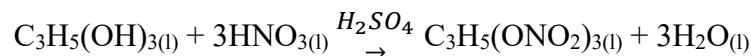
**Tabel 2.3.** Harga Bahan Baku dan Produk (Lanjutan)

HNO <sub>3(l)</sub> (BM: 63,01 Kg/Kmol)	68	3.591,08	0,25
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (ONO <sub>2</sub> ) <sub>3(l)</sub> (BM: 82,06 Kg/Kmol)	50	24.419,31	1,7
H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> (BM: 18,01 Kg/Kmol)	-	-	-
H <sub>2</sub> SO <sub>4(l)</sub> (BM: 98,08 Kg/Kmol)	98	11.347,80	0,79

Sumber: (Zhengzhou Kelin Water Purification Material Co., Ltd., 2022)

Keterangan: 1 USD = 14.364,30 IDR (10/02/2022)

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Konversi reaksi (X<sub>A</sub>) = 99,18 %

Basis Perhitungan = 1 Jam

**Tabel 2.4.** Stoikiometri Persamaan

Komponen	Simbol	Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3(l)</sub>	A	F <sub>A0</sub>	-F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>A</sub> = F <sub>A0</sub> (1-X <sub>A</sub> )
HNO <sub>3(l)</sub>	B	F <sub>B0</sub>	-3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>B</sub> = F <sub>B0</sub> - 3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (ONO <sub>2</sub> ) <sub>3(l)</sub>	C	-	F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>C</sub> = F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub>	D	-	3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>	F <sub>D</sub> = 3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub>
Total		F <sub>T0</sub> = F <sub>A0</sub> + F <sub>B0</sub>		F <sub>T</sub> = F <sub>A0</sub> (1-X <sub>A</sub> ) + F <sub>B0</sub> - 3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> + F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> + 3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> F <sub>T</sub> = F <sub>A0</sub> - F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> + F <sub>B0</sub> - 3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> + F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> + 3F <sub>A0</sub> .X <sub>A</sub> F <sub>T</sub> = F <sub>A0</sub> + F <sub>B0</sub> F <sub>T</sub> = F <sub>T0</sub>

Keterangan:

$$X_A = \frac{\text{Mol A yang bereaksi}}{\text{Mol A mula-mula}}$$

Waktu operasi selama 330 hari dalam setahun

Mol nitroglycerin ( $F_C$ )

$$F_C = 10.000 \text{ Ton/Tahun} = 10.000.000 \text{ Kg/Tahun}$$

$$F_C = 30.303,0303 \text{ Kg/Hari} = 1.262,63 \text{ Kg/Jam}$$

$$F_C = 15,39 \text{ Kmol/Jam}$$

Mol awal gliserol ( $F_{A0}$ )

Berdasarkan tabel 2.4. Stoikiometri Persamaan, maka:

$$F_C = F_{A0} \cdot X_A$$

$$F_{A0} = \frac{F_C}{X_A}$$

$$F_{A0} = \frac{15,39}{99,18 \%}$$

$$F_{A0} = 15,51 \text{ Kmol/Jam}$$

Mol awal asam nitrat ( $F_{B0}$ )

Diketahui: Rasio berat *mixed acid* terhadap gliserol ( $R_F$ ) = 5:1

Persentase asam nitrat terhadap *mixed acid* ( $R_N$ ) = 50% wt

Massa gliserol = mol gliserol x BM gliserol

$$= 15,51 \text{ Kmol/Jam} \times 92,09 \text{ Kg/Kmol}$$

$$= 1.428,67 \text{ Kg/Jam}$$

Massa *mixed acid* = Massa gliserol x 5

$$= 1.428,67 \text{ Kg/Jam} \times 5$$

$$= 7.143,35 \text{ Kg/Jam}$$

Massa asam nitrat = 7.143,35 Kg/Jam x 50%

$$= 3.571,67 \text{ Kg/Jam}$$

$$F_{B0} = \frac{\text{Massa asam nitrat}}{\text{BM asam nitrat}}$$

$$F_{B0} = \frac{3.571,67}{63,01}$$

$$F_{B0} = 56,68 \text{ Kmol/Jam}$$

Mol air ( $F_D$ )

Berdasarkan tabel 2.4. Stoikiometri Persamaan, maka:

$$\begin{aligned} F_D &= 3F_{A0} \cdot X_A \\ F_D &= 3(15,51 \times 99,18\%) \\ F_D &= 46,16 \text{ Kmol/Jam} \end{aligned}$$

Tahapan reaksi pembentukan  $C_3H_5(OH)_3$

	$C_3H_5(OH)_3(l)$	+	$3HNO_3(l)$	$H_2SO_4$	$C_3H_5(ONO_2)_3(l)$	+	$3H_2O(l)$
$\rightarrow$							
Mol Awal	:	15,51		56,68	-	-	-
Mol Reaksi	:	15,39		46,16	15,39	46,16	
Mol Akhir	:	0,13		10,52	15,39	46,16	

■ Kebutuhan Biaya Tahunan

a. Bahan baku

Gliserol ( $C_3H_5(OH)_3$ ) 99% wt:

$$\begin{aligned} \text{BM } C_3H_5(OH)_3 &= 92,09 \text{ Kg/Kmol} \\ \text{Mol } C_3H_5(OH)_3 &= 15,51 \text{ Kmol/Jam} \\ \text{Massa } C_3H_5(OH)_3 &= \text{Mol } C_3H_5(OH)_3 \times \text{BM } C_3H_5(OH)_3 \\ &= 15,51 \text{ Kmol/Jam} \times 92,09 \text{ Kg/Kmol} \\ &= 1.428,37 \text{ Kg/Jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Umpan } C_3H_5(OH)_3 &= \frac{1428,32}{99 \%} \text{ Kg/Jam} \\ &= 1.443,10 \text{ Kg/Jam} \\ &= 11.429.353,41 \text{ Kg/Tahun} \\ \text{Biaya Kebutuhan } C_3H_5(OH)_3 &= \text{Massa } C_3H_5(OH)_3 \times \text{Harga } C_3H_5(OH)_3 \\ &= 11.429.353,41 \text{ Kg/Tahun} \times 0,4 \$/\text{Kg} \\ &= 4.571.741,36 \$/\text{Tahun} \end{aligned}$$

Asam nitrat ( $HNO_3$ ) 68% wt:

$$\begin{aligned} \text{BM } HNO_3 &= 63,01 \text{ Kg/Kmol} \\ \text{Mol } HNO_3 &= 56,68 \text{ Kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa HNO}_3 &= \text{Mol HNO}_3 \times \text{BM HNO}_3 \\
 &= 56,68 \text{ Kmol/Jam} \times 63,01 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 3.571,67 \text{ Kg/Jam} \\
 \text{Massa Umpan HNO}_3 &= \frac{3.571,67}{68\%} \text{ Kg/Jam} \\
 &= 5.252,46 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 41.599.484,83 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Biaya HNO}_3 &= \text{Massa HNO}_3 \times \text{Harga HNO}_3 \\
 &= 41.599.484,83 \text{ Kg/Tahun} \times 0,25 \$/\text{Kg} \\
 &= 10.399.871,21 \$/\text{Tahun}
 \end{aligned}$$

Biaya total umpan pada proses:

$$\text{Biaya total umpan} = (4.571.741,36 + 10.399.871,21) \$/\text{tahun}$$

$$\text{Biaya total umpan} = 14.971.612,57 \$/\text{tahun}$$

### b. Produk

Nitroglycerin ( $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$ ):

$$\begin{aligned}
 \text{BM C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 &= 82,06 \text{ Kg/Kmol} \\
 \text{Mol C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 &= 15,39 \text{ Kmol/Jam} \\
 \text{Massa C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 &= \text{Mol C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 \times \text{BM C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 \\
 &= 15,39 \text{ Kmol/Jam} \times 82,06 \text{ Kg/Kmol} \\
 &= 1.262,63 \text{ Kg/Jam} \\
 &= 10.000.000 \text{ Kg/Tahun} \\
 \text{Nilai C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 &= \text{Massa C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 \times \text{Harga C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3 \\
 &= 10.000.000 \text{ Kg/Tahun} \times 1,7 \$/\text{Kg} \\
 &= 17.000.000,00 \$/\text{Tahun}
 \end{aligned}$$

$$\text{Biaya total produk} = 17.000.000,00 \$/\text{tahun}$$

Sehingga, potensi ekonomi pada proses ini adalah:

$$\text{Potensi ekonomi} = \text{Biaya total produk} - \text{Biaya total umpan}$$

$$\text{Potensi ekonomi} = (17.000.000,00 - 14.971.612,57) \$/\text{Tahun}$$

$$\text{Potensi ekonomi} = 2.028.387,43 \$/\text{Tahun} \times \text{Rp}14.297,15 \$$$

$$\text{Potensi ekonomi} = \text{Rp} 29.136.365.545,12 /\text{Tahun}$$

### 2.3 Pemilihan Proses

**Tabel 2.5.** Perbandingan Proses Pembuatan Nitroglycerin

<b>Parameter</b>	<b>Proses</b>	
	<b>Biazzi (1935)</b>	<b>Schmid-Meissner (1927)</b>
Bahan Baku	Gliserol dan Asam Nitrat	Gliserol dan Asam Nitrat
Suhu (°C)	15	18
Tekanan (atm)	1	1
Konversi	99%	93%
Jumlah Nitroglycerin dalam nitrator <i>(safety factor)</i>	Sedikit	Lebih Banyak

Sumber: (Urbanski, 1965)

Dari tabel di atas, maka proses yang dipilih untuk pembuatan nitroglycerin adalah proses *Biazzi* dengan beberapa pertimbangan:

1. Jumlah nitroglycerin yang lebih sedikit dalam nitrator, hal ini mengurangi resiko untuk terjadinya ledakan.
2. Suhu operasi yang lebih rendah, sehingga resiko untuk terjadi kecelakaan pabrik lebih kecil.
3. Konversi yang dihasilkan lebih tinggi sehingga akan mempermudah proses pemurnian produk dan hasil yang lebih baik.

## **BAB III**

### **SPESIFIKASI BAHAN**

#### **3.1 Bahan Baku**

##### **3.3.1 Gliserol ( $C_3H_5(OH)_3$ )**

Wujud	: Cair <sup>1)</sup>
Konsentrasi	: 98% wt <sup>1)</sup>
<i>Impurities</i> (air)	: 2% wt <sup>2)</sup>
Berat molekul	: 92,09 g/mol <sup>2)</sup>
Titik didih	: 290° C pada 1 atm <sup>2)</sup>
Titik beku	: 13,5° C <sup>3)</sup>
Densitas	: 1,2610 g/cm <sup>3</sup> pada 15,6° C <sup>4)</sup>
Viskositas dinamik	: 1,410 Pa.s pada 20° C <sup>2)</sup>
Kelarutan	: Larut dalam air <sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> (Sari, 2022)

<sup>2)</sup> (Christoph, et al., 2012)

<sup>3)</sup> (Lane, 1925)

<sup>4)</sup> (Anonymous, 2013)

<sup>5)</sup> (Anonymous, 2023)

##### **3.3.2 Asam Nitrat ( $HNO_3$ )**

Wujud	: Cair <sup>1)</sup>
Konsentrasi	: 68% wt <sup>2)</sup>
<i>Impurities</i> (air)	: 32% wt <sup>2)</sup>
Berat molekul	: 63,01 g/mol <sup>2)</sup>
Titik didih	: 82,6° C <sup>2)</sup>
Titik beku	: -41,59° C <sup>2)</sup>
Densitas	: 1,4122 g/cm <sup>3</sup> pada 15° C <sup>3)</sup>
Viskositas dinamik	: 0,746 mPa.s pada 25° C <sup>2)</sup>

Kelarutan	: Sangat larut dalam air <sup>4)</sup>
	<sup>1)</sup> (PT Multi Nitrotama Kimia, 2022)
	<sup>2)</sup> (Thiemann, et al., 2012)
	<sup>3)</sup> (Handymath, 2022)
	<sup>4)</sup> (Lide, 2007)

### 3.3.3 Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ )

Wujud	: Cair <sup>1)</sup>
Konsentrasi	: 98% wt <sup>2)</sup>
<i>Impurities</i> (air)	: 2% wt <sup>2)</sup>
Berat molekul	: 98,08 g/mol <sup>2)</sup>
Titik didih	: 339° C <sup>2)</sup>
Titik beku	: 10° C <sup>2)</sup>
Densitas	: 1,710 g/cm <sup>3</sup> pada 15° C <sup>3)</sup>
Viskositas	: 23,541 cP pada 25° C <sup>4)</sup>
Kelarutan	: Larut dalam air <sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> (PT Indonesian Acid Industri, 2022)  
<sup>2)</sup> (Muller, 2012)  
<sup>3)</sup> (MacBean, 2010)  
<sup>4)</sup> (Yaws, 1999)  
<sup>5)</sup> (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2022)

## 3.2 Bahan Penunjang

### 3.2.1 Natrium Karbonat ( $Na_2CO_3$ )

Wujud	: Padat <sup>1)</sup>
Total alkalinitas	: 99% wt <sup>1)</sup>
<i>Impurities</i>	: $Na_2SO_4$ 0,03% wt, $NaCl$ 0,8% wt, $Fe_2O_3$ 0,003% wt <sup>1)</sup>
Berat molekul	: 106 g/mol <sup>1)</sup>
Titik leleh	: 851° C <sup>2)</sup>
Densitas	: 2,533 g/cm <sup>3</sup> pada 20° C <sup>2)</sup>
Kelarutan	: 30,7 g/100 g air pada 25° C <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (Tata Chemicals Ltd, 2021)

<sup>2)</sup> (Thieme, 2012)

<sup>3)</sup> (Haynes, 2014)

### 3.3 Produk

#### 3.3.1 Nitroglycerin ( $C_3H_5(ONO_2)_3$ )

Wujud	: Cair <sup>1)</sup>
<i>Impurities</i>	: $HNO_3$ 0,0056% wt, $H_2SO_4$ 0,0010% wt <sup>3)</sup>
Berat molekul	: 227,09 g/mol <sup>2)</sup>
Titik didih	: 180° C <sup>3)</sup>
Titik beku	: 13° C <sup>3)</sup>
Densitas	: 1,6009 g/cm <sup>3</sup> pada 15° C <sup>4)</sup>
Kelarutan	: 6,00 ppm/100 ppm <i>mixed acid</i> (10% $HNO_3$ , 70% $H_2SO_4$ , 20% $H_2O$ ) <sup>3)</sup>
Viskositas	: 37,8 cP pada 20° C <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (Lu, et al., 2008)

<sup>2)</sup> (Anonymous, 2022)

<sup>3)</sup> (Urbanski, 1965)

<sup>4)</sup> (O'Neil, 2001)

#### 3.3.2 Air ( $H_2O$ )

Wujud	: Cair <sup>1)</sup>
Berat molekul	: 18,01 g/mol <sup>1)</sup>
Titik didih	: 100° C <sup>1)</sup>
Titik beku	: 0° C <sup>1)</sup>
Densitas	: 0,9992 g/cm <sup>3</sup> pada 15° C <sup>2)</sup>
Viskositas	: 0,911 cP pada 25° C <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Yaws, 1999)

<sup>2)</sup> (Valves Instruments Plus Ltd, 2021)

## **BAB X**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap prarancangan pabrik nitroglycerin dari gliserol dan asam nitrat kapasitas 10.000 ton/tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. Pabrik nitroglycerin berisiko rendah karena pabrik bukan usaha baru yang belum pernah dicoba sama sekali dengan kondisi pasar yang tidak pasti. Nilai *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak adalah 29,95% dan nilai *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak adalah 2,20 tahun dimana masuk dalam batasan pabrik berisiko rendah sehingga pabrik layak untuk didirikan.
2. *Break Even Point* (BEP) sebesar 39,28% dari kapasitas produksi total dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 17,13% dari kapasitas total.
3. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 24,50%, lebih besar dari suku bunga bank sekarang sehingga investor akan lebih memilih untuk berinvestasi ke pabrik ini dari pada ke bank.

#### **10.2 Saran**

Prarancangan pabrik nitroglycerin dari gliserol dan asam nitrat kapasitas 10.000 ton/tahun sebaiknya dikaji lebih lanjut baik dari segi proses maupun ekonominya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aida, A. N. 2021. *Potret Industri Pertahanan Indonesia*. (Referensi). Pusat Kajian Anggaran Badan Keahlian – Sekretariat Jenderal Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia. DKI Jakarta. 12 hlm.
- Anonymous. 2013. *Density of Aqueous Glycerol Solutions*. (Catatan Penelitian). Kate Gleason College of Engineering. New York. 1 hlm.
- Anonymous. 2018. *Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Minum*. (Modul Proyeksi). Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia (BPSDM) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). DKI Jakarta. 16 hlm.
- Anonymous. 2019. *Screw Conveyors for Bulk Materials Fifth Edition*. (Rekomendasi). Conveyor Equipment Manufacturers Association. Florida. 163 hlm.
- Anonymous. 2018. Seminar Nasional Propelan. <https://www.pindad.com/seminar-nasional-propelan>. Diakses pada 9 Januari 2022.
- Anonymous. 2020. How to Calculate The Weight of A Steel Plate. [https://www.kloecknermetals.com/blog/how-to-calculate-the-weight-of-a-steel-plate/#:~:text=The%20typical%20density%20for%20carbon,%2Fcubic%20meters%20\(metric\)](https://www.kloecknermetals.com/blog/how-to-calculate-the-weight-of-a-steel-plate/#:~:text=The%20typical%20density%20for%20carbon,%2Fcubic%20meters%20(metric)). Diakses pada 1 Mei 2022.
- Anonymous. 2020. Mithapur, The Mother Plant. <https://www.tatachemicals.com/News-room/Articles/Mithapur,-the-mother-plant>. Diakses pada 9 Februari 2022.
- Anonymous. 2020. Stainless Steel 316 dan Kegunaannya dalam Industri Kelautan. [https://www.indo-makmur.com/blog/blog\\_detail/stainless-steel-316-dan-kegunaannya-dalam-industri-kelautan#](https://www.indo-makmur.com/blog/blog_detail/stainless-steel-316-dan-kegunaannya-dalam-industri-kelautan#). Diakses pada 19 September 2022.
- Anonymous. 2020. Terbukti Efektif ! Bangun Gudang Penyimpanan dengan Material Prefabrikasi. <https://sanwaprefab.co.id/bangun-gudang->

- penyimpanan-dengan-material-prefabrikasi/. Diakses pada 17 September 2022.
- Anonymous, 2021. *Safety Data Sheet alpha-Alumina, 99.5%*. (Lembar Data Keselamatan Bahan). Strem Chemicals, Inc. Massachusetts. 8 hlm.
- Anonymous. 2022. *Humidity*. AccuWeather. Diakses pada 14 Oktober 2022.
- Anonymous. 2022. *Freezing Point, Density, Specific Heat and Dynamic Viscosity of Calcium Chloride Water Coolants*. [https://www.engineeringtoolbox.com/calcium-chloride-water-d\\_1186.html](https://www.engineeringtoolbox.com/calcium-chloride-water-d_1186.html). Diakses pada 19 Februari 2023.
- Anonymous. 2022. *Konstanta Gas*. [https://id.wikipedia.org/wiki/Konstanta\\_gas](https://id.wikipedia.org/wiki/Konstanta_gas). Diakses pada 28 Agustus 2022.
- Anonymous. 2023. *Glycerol*. [https://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol#cite\\_note-PGCH-2](https://en.wikipedia.org/wiki/Glycerol#cite_note-PGCH-2). Diakses pada 10 Februari 2023.
- Anonymous. 2023. *Nitroglycerin*. <https://id.wikipedia.org/wiki/Nitroglycerin>. Diakses pada 18 Februari 2023.
- Aries, R. S., Newton, R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. McGraw-Hill Book Company. New-York. 263 hlm.
- Atkins, P., Paula, J. D. 2006. *Atkins' Physical Chemistry 8th Edition*. W. H. Freeman and Company. New York. 1053 hlm.
- Bank Indonesia. 2022. *Informasi Kurs JISDOR*. <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/jisdor/default.aspx>. Diakses pada 21 November 2022.
- Bergman, Y. 2008. *Development and Production of Smokeless Military Propellants in France, 1884-1918*. (Disertasi). Tel-Aviv University. Tel Aviv. 316 hlm.
- Branan, C. R. 2005. *Rules Of Thumb For Chemical Engineers A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Process Engineering Problems Fourth Edition*. Gulf Professional Publishing. Massachusetts. 479 hlm.
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., Ratnayaka, D. D. 2017. *Twort's Water Supply Seventh Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 932 hlm.
- Brown, G. G. 1950. *Unit Operations*. CBS Publishers & Distributors. New Delhi. 611 hlm.

- Brownell, L. E., Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 408 hlm.
- Cahaya Kimia A12. 2022. *PAC (Poly Aluminium Chloride) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ex. RRC Evoqua 1 zak (20 kg) GoSend Grab Instant Only*. [https://shopee.co.id/PAC-\(Poly-Aluminium-Chloride\)-Al2O3-ex.-RRC-Evoqua-1-zak-\(20-kg\)-GOSEND-GRAB-INSTANT-ONLY-i.36891023.7530970477](https://shopee.co.id/PAC-(Poly-Aluminium-Chloride)-Al2O3-ex.-RRC-Evoqua-1-zak-(20-kg)-GOSEND-GRAB-INSTANT-ONLY-i.36891023.7530970477). Diakses pada 5 November 2022
- Cahyani, D. E., Nugroho, W. S. 2007. *Prarancangan Pabrik Glycerine Trinitrate dari Gliserin dan Asam Nitrat dengan Proses Biazzi Kapasitas 10.000 Ton/Tahun*. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret. Surakarta. 195 hlm.
- Chemeo. 2022. *Chemical Properties of Glycerin (CAS 56-81-5)*. <https://old.chemeo.com/cid/47-118-9/1%2C2%2C3-Propanetriol>. Diakses pada 7 Februari 2022.
- Christoph, R., Schmid, B., Steinberger, U., Dilla, W., Karinen, R. 2012. Glycerol. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 17: 67-82.
- Chrome-Effect. 2021. *Tinggi Tumpukan Maksimum*. <https://chrome-effect.ru/id/drywall/maksimalnaya-vysota-shtabelya-trebovaniya-bezopasnosti-pri/>. Diakses pada 17 September 2022.
- Copperhead Chemical Company. 2019. *Nitroglycerine Formulations*. <https://www.copperheadchemical.com/products/nitroglycerin/>. Diakses pada 1 Maret 2022.
- Correla, R. J., Kestin, J. 1980. Viscosity and density of aqueous Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solutions in the temperature range 20-90 °C and the pressure range 0-30 MPa. *J. Chem. Eng. Data*. 25 (3): 201-206.
- Coulson, J. M., Richardson, F. F., Sinnott, R. K. 1983. *Chemical Engineering; Vol. 6: An Introduction to Chemical engineering Design*. Pergamon Press. Oxford. 838 hlm.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., Harker, J. H. 1999. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Volume 1 Sixth Edition Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 895 hlm.

- Dean, J. A. 1999. *Lange's Handbook of Chemistry Fifteenth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Chicago. 1562 hlm.
- Department of The Army. 1984. *Military Explosive*. (Pedoman Teknis). Department of The Army. Washington, D.C. 355 hlm.
- Ethermo. 2022. *Nitroglycerin Thermodynamic & Transport Properties*. <http://www.ethermo.us/mars1438.htm>. Diakses pada 1 Mei 2022.
- Fajrin, 2017. *Sejarah Sumiasih*. (Skripsi). 52 hlm.
- Fogler, H. S. 2020. *Elements of Chemical Reaction Engineering Sixth Edition*. Pearson Education, Inc. New York. 1983 hlm.
- Foust, A. S., Wenzel, L. A., Clump, C. W., Maus, L., Andersen, L. B. 1980. *Principles of Unit Operation Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. 768 hlm.
- Geankolpis, C. J. 1993. *Transport Process and Unit Operation Third Edition*. Prentice-Hall International, Inc. New Jersey. 921 hlm.
- Google Earth. 2022. <https://earth.google.com/web/search/Cisadane+Raya+Chemicals.+PT,+Jalan+Imam+Bonjol,+RT.001%2fRW.004,+Bojong+Jaya,+Kota+Tangerang,+Banten/@-6.20403762,106.62329906,15.96127753a,545.30350575d,35y,0.00000001h,9.47725784t,0r/data=CigiJgokCSMrRh3l7UNAEdAFKP6A0>. Diakses pada 23 Februari 2022.
- Green, D. W., Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 2735 hlm.
- Handymath. 2022. *Nitric Acid Solutions in Water*. <https://www.handymath.com/cgi-bin/nitriictble2.cgi?submit=Entry>. Diakses pada 1 Mei 2022.
- Haynes, W. M. 2014. *CRC Handbook of Chemistry and Physics 95th Edition 2014-2015*. CRC Press. Florida. 2666 hlm.
- Hesse, H. C., Rushton, J. H. 1945. *Process Equipment Design*. D. Van Nostrand Co., Inc. New York. 580 hlm.

- Himmelblau, D. M., Riggs, J. B. 2012. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering Eight Edition*. Pearson Education, Inc. Michigan. 857 hlm.
- Ismail, F. A. 2009. Studi kuat tekan beton campuran 1 : 2 : 3 berdasarkan lokasi pengambilan agregat di Sumatera Barat. *Jurnal Rekayasa Sipil*. 5 (2): 1-12.
- Joshi, M. V. 1976. *Process Equipment Design*. The Macmillan Company of India Limited. New Delhi. 532 hlm.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Company, Inc. Singapore. 871 hlm.
- Lane, L. B. 1925. Freezing points of glycerol and its aqueous solutions. *Ind. Eng. Chem.* 17 (9): 924.
- Lide, D. R. 2007. *CRC Handbook of Chemistry and Physics 88th Edition 2007-2008*. CRC Press. Florida. 59 hlm.
- Lower, S., Doan, C., Le, H. 2021. *Gibbs (Free) Energy*. [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\\_Textbook\\_Maps/Supplemental\\_Modules\\_\(Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry\)/Thermodynamics/Energies\\_and\\_Potentials/Free\\_Energy/Gibbs\\_\(Free\)\\_Energy](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Supplemental_Modules_(Physical_and_Theoretical_Chemistry)/Thermodynamics/Energies_and_Potentials/Free_Energy/Gibbs_(Free)_Energy). Diakses pada 6 Desember 2021.
- Lu, K.-T., Luo, K.-M., Yeh, T.-F. & Lin, P.-C. 2008. The kinetic parameters and safe operating conditions of nitroglycerine manufacture in the CSTR of biaffi process. *Process Safety and Environmental Protection*. 86 (1): 37-47.
- MacBean, C. 2010. *The Pesticide Manual 15th Edition*. British Crop Protection Council. Hampshire.
- Maryono, T. 2013. *Rangkaian Dasar Pneumatik*. (Modul Pembelajaran). Dinas Pendidikan Kabupaten Sukoharjo. Jawa Tengah. 63 hlm.
- Matches. 2014. *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>. Diakses pada 28 Oktober 2022.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering Fifth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 1130 hlm.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook Twelfth Edition*. Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc. Oklahoma. 499 hlm.

Menteri Kesehatan Republik Indonesia. 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*, dan Pemandian Umum. Kementerian Kesehatan. DKI Jakarta.

Metcalf, L., Eddy, H. P., Tchobanoglous, G. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse Vol. 4*. McGraw-Hill. New York.

Muller, H. 2012. Sulfuric Acid and Sulfur Trioxide. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 35: 141-211.

Nareza, M. 2020. *Nitroglycerin*. <https://www.alodokter.com/nitroglycerin>. Diakses pada 1 Maret 2022.

National Oceanic and Atmospheric Administration. 2022. *Sulfuric Acid*. <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/5193>. Diakses pada 24 Februari 2022.

Nauman, E. B. 2002. *Chemical Reactor Design, Optimization, and Scale Up*. The McGraw-Hill Companies, Inc. New York. 599 hlm.

O'Neil, M. J. 2001. *The Merck Index - An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals 13th Edition*. Merck and Co., Inc. New Jersey. 1185 hlm.

Pemerintah Kota Tangerang. 2021. *Batas Administrasi Kota Tangerang*. <https://maps.tangerangkota.go.id/wilayah/>. Diakses pada 23 Februari 2022.

Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook Seventh Edition*. McGraw-Hill. New York. 2433.

Peters, M. S., Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fourth Edition*. McGraw-Hill, Inc. Singapore. 910 hlm.

Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., West, R. E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers Fifth Edition*. McGraw-Hill. New York. 988 hlm.

Peters Chemical Company. 2022. *Technical Data Sheet 90 – 94% Anhydrous Calcium Chloride Pellets*. <https://www.peterschemical.com/calcium-chloride-peladow-dowflake-and-liquid-calcium-chloride/specification-sheet-calcium-chloride-dry>

- pellets/#:~:text=Bulk%20Density%3A%2048%2D51%20lbs,ft. Diakses pada 17 September 2022.
- Powell, S. T. 1954. *Water Conditioning for Industry First Edition*. McGraw-Hill Book Company. New York. 548 hlm.
- Presiden Republik Indonesia. 1999. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1999 tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat. Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia. DKI Jakarta.
- PT Indonesian Acid Industri. 2022. *Asam Sulfat*. [http://www.indoacid.com/ind/asam\\_sulfat\\_i.htm](http://www.indoacid.com/ind/asam_sulfat_i.htm). Diakses pada 14 Februari 2022.
- PT Indonesian Acid Industri. 2022. *Profil Perusahaan*. [www.indoacid.com/ind/inside\\_us\\_i.htm](http://www.indoacid.com/ind/inside_us_i.htm). Diakses pada 9 Februari 2022.
- PT Multi Nitrotama Kimia. 2022. *Product*. <https://mnk.co.id/service/product/>. Diakses pada 12 Februari 2022.
- Qasim, S. R., Zhu, G. 2018. *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples Volume 1 Principles and Basic Treatment*. CRC Press. Florida. 1161 hlm.
- Rahmandani, I., Hendrawan, D. I., Astono, W. 2021. Penilaian kualitas air di Sungai Cisadane dilihat dari parameter BOD dan DO. *Jurnal Bhuwana*. 1 (2): 147-154.
- Rase, H. F. 1977. *Chemical Reactor Design for Process Plants, Volume 1 Principles & Techniques*. John Wiley and Sons Canada Ltd. Toronto. 755 hlm.
- Rishipal Glass & Chemicals Pvt. Ltd. 2022. *Powder Dense Soda Ash, 50 Kg*. <https://www.indiamart.com/proddetail/dense-soda-ash-19892493230.html>. Diakses pada 17 September 2022.
- Rosarina, D., Laksanawati, E. K. 2018. Studi kualitas air Sungai Cisadane Kota Tangerang ditinjau dari parameter fisika. *Jurnal Redoks*. 3(2): 38-43.
- Sari, P. D. R. 2022. *Kapasitas Produksi Gliserin PT Cisadane Raya Chemicals*. (Wawancara). Ditanyakan pada 10 Februari 2022.

- Shammas, N. K., Wang, L. K. 2007. Gravity Thickening. In: *Biosolids Treatment Processes. Handbook of Environmental Engineering*. Wang, L. K., Shammas, N. K., Hung, Y. -T. (eds). Humana Press. New Jersey. 6: 45-69.
- Siahaan, R., Indrawan, A., Soedharma, D., Prasetyo, L. B. 2011. Kualitas air Sungai Cisadane, Jawa Barat – Banten. *Jurnal Ilmiah Sains*. 11(2): 268-273.
- Sinnott, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design Coulson and Richardson's Chemical Engineering Series Volume 6 Fourth Edition*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford. 1038 hlm.
- Sinnott, R., Towler, G. 2020. *Chemical Engineering Design Coulson and Richardson's Chemical Engineering Series Sixth Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 1262 hlm.
- Smith, J. M., Ness, H. C. V., Abbott, M. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Sixth Edition in SI Units*. McGraw-Hill. New York. 731 hlm.
- Sugiarto, D. S. 2000. *Metode Statistika untuk Bisnis dan Ekonomi*. Gramedia Pustaka Utama. DKI Jakarta.
- Tata Chemicals Ltd. 2021. Dense Soda Ash. <https://www.tatachemicals.com/Asia/Products/Basic-chemistry/Soda-ash/dense-soda-ash>. Diakses pada 14 Februari 2022.
- Thiemann, M., Scheibler, E., Wiegand, K. W., 2012. Nitric Acid, Nitrous Acid, and Nitrogen Oxides. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 24: 177-225.
- Thieme, C. 2012. Sodium Carbonates. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Ullmann, F. (eds). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim. 33: 299-317.
- Toko Indojoya Kimia. 2022. Calcium Chloride 1 Zak. <https://www.tokopedia.com/ptariman/calcium-chloride-1-zak>. Diakses pada 11 November 2022.
- Tuwati, A. M. A., Fan, M., Bentley, M. A. 2010. Reaction kinetic model for a recent co-produced water treatment technology. *Journal of Environmental Sciences*. 23(3): 360–365.

- Twort, A. C., Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J. 2000. *Water Supply 5th Edition*. Butterworth-Heinemann. Oxford. 676 hlm.
- UN Comtrade Database. 2022. *Trade Statistics*. <https://comtrade.un.org/data/>. Diakses pada 9 Januari 2022.
- Ulrich, G. D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto. 470 hlm.
- Urbanski, T. 1965. *Chemistry and Technology of Explosives Vol. II*. PWN-Polish Scientific Publishers. Warszawa. 517 hlm.
- U.S. Secretary of Commerce. 2021. *Sodium Carbonate*. <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C497198&Mask=2&Type=JANAFS&Table=on#JANAFS>. Diakses pada 23 Mei 2022.
- Valves Instrument Plus Ltd. 2021. *Density Of Liquid Water From 0°C to 100°C*. [https://www.vip-ltd.co.uk/Expansion/Density\\_Of\\_Water\\_Tables.pdf](https://www.vip-ltd.co.uk/Expansion/Density_Of_Water_Tables.pdf). Diakses pada 1 Mei 2022.
- Vilbrandt, F. C., Dryden, C. E. 1959 *Chemical Engingineering Plant Design Fourth Edition*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo. 532 hlm.
- Wagiman. 2020. *Gudang, Pengemasan dan Cara Penyimpanan*. (Bahan Ajar Kuliah). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 26 hlm.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann. Massachusetts. 755 hlm.
- Warung Naura. 2022. *Kaporit Powder Tjiwi Kimia 60 Persen [500 Gram]*. <https://www.lazada.co.id/products/kaporit-tjiwi-kimia-60-harga-1-ember-i4353248260-s7472504432.html?spm=a2o4j.tm80150940.2705433350.1.31c5mbHDmbHDsB.31c5mbHDmbHDsB&priceCompare=skuId%3A7472504432%3Bsorce%3Alazada-om%3Bsn%3Aad6061aa-9e7c-4d13-a9b3-9c7df42>. Diakses pada 7 November 2022.
- Wilson, T. E. 2005. *Clarifier Design Second Edition*. Water Environtment Federation (WEF) Press. Virginia. 704 hlm.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc-Graw-Hill. New York. 779 hlm.

Zaidar, E. 2003. *Nitroglycerin Dapat Digunakan sebagai Bahan Peledak*. (Bahan Ajar Kuliah). Universitas Sumatera Utara. Sumatera Utara. 7 hlm.

Zhengzhou Kelin Water Purification Material Co., Ltd. 2022. *Coal Based 4mm Columnar Activated Carbon For Nitroglycerine And Solvent Recovery*.  
[https://www.alibaba.com/product-detail/Nitroglycerine-Columnar-Activated-Carbon-Coal-Based\\_62452375457.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.5bb579bdr9yUAE&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Nitroglycerine-Columnar-Activated-Carbon-Coal-Based_62452375457.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.5bb579bdr9yUAE&s=p). Diakses pada 18 Februari 2022.