

**PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMETHYLENETETRAMINE* DARI  
FORMALDEHID DAN AMONIA KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN**

**(Prarancangan Reaktor Gelembung (RE - 201))**

**(SKRIPSI)**

**OLEH**

**FERNANDO MEIRINALDO**

**(1615041047)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**2023**

**PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMETHYLENETETRAMINE* DARI  
FORMALDEHIDA DAN AMONIA KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN**

**(Prarancangan Reaktor Gelembung (RE - 201) )**

**OLEH**

**FERNANDO MEIRINALDO**

**(1615041047)**

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**

**ABSTRACT****PREDESIGN OF *HEXAMETHYLENETETRAMINE* FROM  
FORMALDEHYDE AND AMMONIA WITH CAPACITY 12.000  
TONS/YEAR****(Reactor Design (RE – 201))****By****FERNANDO MEIRINALDO**

A plant to produce hexamethylenetetramine from formaldehyde and ammonia, is planned to be located at Palembang, South Sumatera. The plant is established by considering availability of raw materials, transportation facilities, readily available labor and environmental conditions.

Capacity of the plant is 12.000 tons/year operating 24 hour/day and 300 working days/year. The plant required 3302,2720 kg/h of formaldehyde; 464,3298 kg/h of ammonia.

Quantity of labor is around 150 people. The plant is managed as a Limited Liability Company (PT), which is headed by a Director. The company is organized in the form of line and staff structure.

From analysis of the plant economy is obtained:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	=	Rp. 791.347.341.298,05
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	=	Rp. 139.649.530.817,30
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	=	Rp. 930.096.872.115,36
<i>Break Even Point (BEP)</i>	=	25,11 %
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	=	13,22 %
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)<sub>a</sub></i>	=	1,19 tahun
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)<sub>a</sub></i>	=	74,32%
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	=	49,42%

By considering above the summary, it is suitable study further the hexamethylenetetramine plant since plant is profitable and has good prospects.

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMETHYLENETETRAMINE* DARI FORMALDEHIDA DAN AMONIA KAPASITAS 12.000 TON/TAHUN

(Perancangan Reaktor (RE – 201)

Oleh

**FERNANDO MEIRINALDO**

Pabrik *hexamethylenetetramine* dari formaldehida dan amonia, akan didirikan di Gresik, Sumatera Selatan. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi *hexamethylenetetramine* sebanyak 12.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 300 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah formaldehid sebanyak 3302,2720 kg/jam dan amonia sebanyak 464,3298 kg/jam.

Jumlah karyawan sebanyak 150 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang direktur. Sistem manajemen perusahaan menggunakan struktur organisasi *line and staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	=	Rp. 791.347.341.298,05
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	=	Rp. 139.649.530.817,30
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	=	Rp. 930.096.872.115,36
<i>Break Even Point (BEP)</i>	=	25,11 %
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	=	13,22 %
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)<sub>a</sub></i>	=	1,19 tahun
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)<sub>a</sub></i>	=	74,32%
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	=	49,42%

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik *hexamethylenetetranine* ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

## LEMBAR PERSETUJUAN DAN PENGESAHAN

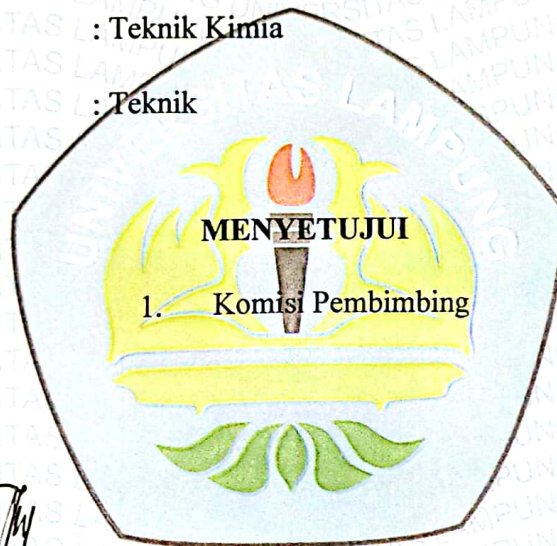
Judul Tugas Akhir : **PRARANCANGAN PABRIK *HEXAMETHYLENETETRAMINE*  
DARI FORMALDEHID DAN AMONIA KAPASITAS 12000  
TON/TAHUN  
(Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE – 201))**

Nama Mahasiswa : Fernando Meirinaldo

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615041047

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



1. **Komisi Pembimbing**

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

Simparmin br. Ginting, S.T., M.T.  
NIP. 196611111994022001

2. **Ketua Jurusan**

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

**MENGESAHKAN**

1. **Tim Penguji**

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

  
.....

**Sekretaris : Simparmin br. Ginting, S.T., M.T.**

  
.....

**Penguji**

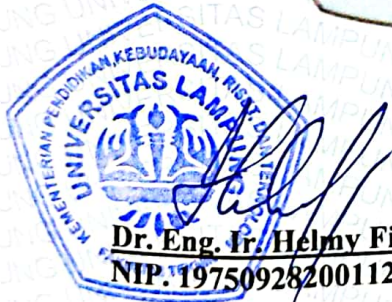
**Bukan Pembimbing I : Dr. Herti Utami, S.T., M.T.**

  
.....

**Bukan Pembimbing II : Dr. Lilis Hermida, S.T., M.Sc.**

  
.....

2. **Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197509282001121001**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : Juni 2023**

## **PERNYATAAN**

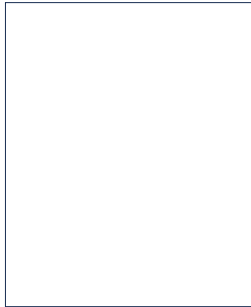
Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sudah diterbitkan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

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku

Bandarlampung, 22 Juni 2023

Fernando Meirinaldo  
NPM. 1615041047

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Depok pada tanggal 16 Mei 1997, anak kedua dari pasangan Bapak Ronal Alberto Sihite dan Ibu Riosti Simarmata.

Penulis menyelesaikan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri Cilodong 1 Kabupaten Bogor pada tahun 2009,

Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 4 Depok pada tahun 2012, dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) – SMAK Bogor pada tahun 2016.

Pada bulan Agustus 2016, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menempuh masa perkuliahan, penulis tergabung dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HIMATEMIA) Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai staff Departemen Hubungan Luar periode 2017/2018 dan pada periode 2018/2019 menjabat sebagai staff Departemen Hubungan Luar. Penulis juga tergabung dalam Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) sebagai staff Dinas Internal dan Advokasi periode 2017/2018 dan pernah bergabung juga dalam organisasi Badan Koordinasi Kegiatan Mahasiswa Teknik Kimia Indonesia (BKKMTKI) Daerah I periode 2017/2018 sebagai staff Bidang Pengabdian Masyarakat.

Pada periode 2 bulan Januari sampai Februari 2020, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Sukaraja, Kecamatan Way Tenong, Kota Lampung Barat. Pada tanggal 8 Maret sampai 5 April 2021, penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT dengan tugas khusus “Efisiensi Kinerja *Sterilizer* pada *Sterilizer Station*“. Pada tahun 2023, penulis juga melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Penambahan *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) pada Kandungan Hara Makro Pembuatan Pupuk Organik Padat dari Limbah Cangkang Telur dan Serbuk Kayu secara Aerob”.



**MOTTO DAN PERSEMBAHAN***Motto*

*“Such knowledge is too wonderful for me,  
too lofty for me to attain.”*

## *Sebuah Karya Kecilku...*

*Dengan rasa syukur dan segala kerendahan hati, kupersembahkan karya kecilku ini kepada:*

*Bapa dan Mama*

*Terima kasih banyak atas doa, kasih sayang, pengorbanan, dan ketulusan hati.*

*Terima kasih sudah menaruh kepercayaan dan kesabaran menunggu.*

*Ini hanyalah sebuah karya kecil yang tidak bisa dibandingkan dengan berjuta-juta pengorbanan dan kasih sayang yang tidak akan pernah berakhir.*

## SANWACANA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan kasih sayang, petunjuk, serta lindungannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik *Hexamethylenetetramine* dari Formaldehid dan Amonia Kapasitas 12.000 Ton/Tahun”. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat wajib bagi mahasiswa/i dalam rangka menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini, penulis banyak memperoleh bimbingan, dukungan, dan motivasi dari beberapa pihak. Maka dari itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
2. Ibu Lia Lismeri, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung.
3. Ibu Sri Ismiyati D., S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing I
4. Ibu Simparmin br. Ginting, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II
5. Ibu Herti Utami, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji I
6. Ibu Lilis Hermida, S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji II
7. Seluruh Dosen dan Pegawai Ketenagakerjaan Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung
8. Bapa dan Mama,
9. Ijal dan Natan
10. Teman-teman mahasiswa Teknik Kimia 2016 yang telah membantu dan menemani penulis selama penyusunan dan penyelesaian laporan tugas akhir ini sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Pada penyusunan laporan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan sehingga kritik dan saran sangat diperlukan sebagai penyempurnaan dari laporan tugas akhir ini. Penulis berharap agar laporan tugas akhir ini dapat

memberikan kontribusi besar berupa informasi dan wawasan yang berguna bagi penulis dan pihak yang membaca laporan ini.

Bandarlampung, Juni 2023

Fernando Meirinaldo

## DAFTAR ISI

<b><i>ABSTRACT</i></b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>iv</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Kegunaan Produk .....	3
1.3. Analisis Pasar .....	3
1.3.1. Data Impor .....	3
1.3.2. Data Pabrik <i>Hexamine</i> di Dunia.....	6
1.3.3. Kapasitas Produksi .....	6
1.4. Ketersediaan Bahan Baku.....	6
1.5. Lokasi Pabrik.....	8
<b>BAB II PEMILIHAN PROSES</b> .....	<b>11</b>
2.1. Jenis-jenis Proses.....	11
1.3.1. Proses Leonard .....	11
1.3.2. Proses Meissner.....	12

2.2.	Pemilihan Proses .....	13
2.2.1.	Tinjauan Termodinamika .....	13
2.2.2.	Tinjauan Ekonomi .....	17
2.3.	Uraian Proses .....	23
<b>BAB III SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK .....</b>		<b>26</b>
3.1.	Spesifikasi bahan baku dan produk .....	26
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI .....</b>		<b>30</b>
4.1.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE – 101) .....	31
4.2.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE – 102) .....	33
4.3.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada Reaktor (RE – 201).....	35
4.4.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada <i>Mix Point</i> (MP – 202).....	38
4.5.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada Evaporator (EV – 301) .....	40
4.6.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada <i>Crystallizer</i> (CR – 302) .....	44
4.7.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada <i>Centrifuge</i> (CF – 303).....	46
4.8.	Neraca Massa dan Neraca Energi pada <i>Rotary Dryer</i> (RD – 304).....	48
<b>BAB V SPESIFIKASI PERALATAN PROSES DAN UTILITAS .....</b>		<b>52</b>
5.1.	Spesifikasi Alat Proses .....	52
5.1.1.	Storage Tank (ST-101).....	52
5.1.2.	Pompa Proses (PP-101).....	52
5.1.3.	<i>Heater</i> (HE-101) .....	53
5.1.4.	<i>Heater</i> (HE-102) .....	54
5.1.5.	Pompa Proses (PP-102).....	55
5.1.6.	Pompa Proses (PP-103).....	55
5.1.7.	Reaktor (RE-201).....	56
5.1.8.	Pompa Proses (PP-201).....	58
5.1.9.	Evaporator Efek 1 (EV-301) .....	58

5.1.10.	Pompa Proses (PP-301) .....	59
5.1.11.	Evaporator Efek 2 (EV-302) .....	60
5.1.12.	Pompa Proses (PP-302) .....	61
5.1.13.	<i>Crystallizer</i> (CR-301).....	62
5.1.14.	Pompa Proses (PP-303) .....	63
5.1.15.	<i>Centrifuge</i> (CF-301).....	63
5.1.16.	<i>Screw Conveyor</i> (SC-301).....	64
5.1.17.	<i>Bucket Elevator</i> (BE-301) .....	65
5.1.18.	Hopper (HP-301).....	65
5.1.19.	<i>Rotary Dryer</i> (RD-301) .....	66
5.1.20.	<i>Heater</i> (HE-301).....	66
5.1.21.	<i>Screw Conveyor</i> (SC-302).....	67
5.1.22.	<i>Bucket Elevator</i> (BE-302) .....	68
5.1.23.	Hopper (HP-302).....	69
5.1.24.	Gudang Penyimpanan (GD-401).....	69
5.2.	Spesifikasi Alat Unit Penyediaan dan Pengolahan Air .....	70
5.3.	Spesifikasi Alat Unit Penyediaan Udara Tekan .....	106
5.4.	Spesifikasi Alat Sistem Pembangkit Tenaga Listrik .....	109
<b>BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH.....</b>		<b>110</b>
6.1.	Unit Pendukung Proses.....	110
6.2.	Unit Pengolahan Limbah.....	124
6.3.	Laboratorium .....	125
6.4.	Instrumentasi dan Pengendalian Proses.....	128
<b>BAB VII TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....</b>		<b>130</b>
7.1.	Lokasi Pabrik.....	130
7.2.	Tata Letak Pabrik .....	133

7.3.	Estimasi Area Pabrik .....	137
7.4.	Tata Letak Peralatan Proses.....	137
7.5.	Lokasi Pendirian Pabrik .....	140
<b>BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN</b>		<b>142</b>
8.1.	Bentuk Perusahaan .....	142
8.2.	Struktur Organisasi Perusahaan.....	144
8.3.	Tugas dan Wewenang.....	150
8.3.1.	Pemegang Saham .....	150
8.3.2.	Dewan Komisaris .....	150
8.3.3.	Dewan Direksi.....	150
8.3.4.	Kepala Bagian .....	152
8.3.5.	Kepala Seksi.....	156
8.4.	Status Karyawan dan Sistem Penggajian .....	156
8.5.	Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	157
8.6.	Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan .....	159
i)	Penggolongan Jabatan .....	159
ii)	Perincian Jumlah Karyawan .....	161
8.7.	Kesejahteraan Karyawan.....	163
8.8.	Cuti .....	163
8.9.	Pakaian Kerja.....	164
8.10.	Pengobatan.....	164
8.11.	Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) .....	164
8.12.	Kesehatan dan Keselamatan Kerja .....	164
<b>BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI.....</b>		<b>166</b>
<b>BAB X SIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>175</b>



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1.</b> Data impor Hexamine ke Indonesia .....	4
<b>Tabel 1.2.</b> Kapasitas industri hexamine di Dunia.....	6
<b>Tabel 1.3.</b> Produsen formaldehid di Indonesia.....	7
<b>Tabel 1.4.</b> Produsen amonia di Indonesia.....	7
<b>Tabel 2.1.</b> Data enthalpy dan Gibbs free energy pada $T = 298,15 \text{ K (} 25^{\circ}\text{C)}$ .....	15
<b>Tabel 2.2.</b> Data enthalpy dan Gibbs free energy pada $T = 298,15 \text{ K (} 25^{\circ}\text{C)}$ .....	16
<b>Tabel 2.3.</b> Harga masing-masing bahan baku dan produk .....	17
<b>Tabel 2.4.</b> Stoikiometri persamaan pada proses Leonard.....	17
<b>Tabel 2.5.</b> Stoikiometri persamaan pada proses Meissner .....	20
<b>Tabel 2.6.</b> Perbandingan proses pembuatan hexamine.....	22
<b>Tabel 4.1.</b> Neraca Massa Total pada Heater.....	31
<b>Tabel 4.2.</b> Neraca Energi Total pada Heater .....	32
<b>Tabel 4.3.</b> Neraca Massa Total pada Heater .....	33
<b>Tabel 4.4.</b> Neraca Energi Total pada Heater .....	34
<b>Tabel 4.5.</b> Neraca Massa Total pada Reaktor.....	36
<b>Tabel 4.6.</b> Neraca Energi Total pada Reaktor .....	38
<b>Tabel 4.7.</b> Neraca Massa Total pada Mix Point .....	39
<b>Tabel 4.8.</b> Neraca Energi Total pada Mix Point.....	40
<b>Tabel 4.9.</b> Neraca Massa pada Evaporator Efek 1.....	41
<b>Tabel 4.10.</b> Neraca Massa pada Evaporator Efek 2.....	41
<b>Tabel 4.11.</b> Neraca Energi pada Evaporator Efek 1 .....	43
<b>Tabel 4.12.</b> Neraca Energi pada Evaporator Efek 2 .....	43
<b>Tabel 4.13.</b> Neraca Massa pada Crystallizer .....	45
<b>Tabel 4.14.</b> Neraca Energi pada Crystallizer.....	46
<b>Tabel 4.15.</b> Neraca Massa pada Centrifuge.....	47
<b>Tabel 4.16.</b> Neraca Energi pada Centrifuge .....	48
<b>Tabel 4.17.</b> Neraca Massa pada Rotary Dryer.....	49
<b>Tabel 4.18.</b> Neraca Energi pada Rotary Dryer .....	50
<b>Tabel 6.1.</b> Kebutuhan Air untuk Sanitasi dan Sarana Umum .....	111

<b>Tabel 6.2.</b> Kebutuhan Air untuk Pembangkit Steam.....	112
<b>Tabel 6.3.</b> Kebutuhan Air untuk Pendinginan .....	114
<b>Tabel 6.4.</b> Tingkatan Kebutuhan Informasi dan Sistem Pengendalian .....	129
<b>Tabel 7.1.</b> Perincian Luas Area Pabrik.....	137
<b>Tabel 8.1.</b> Jadwal Kerja Tiap Regu .....	159
<b>Tabel 8.2.</b> Perincian Tingkat Pendidikan .....	159
<b>Tabel 8.3.</b> Jumlah Operator Tiap Jenis Alat Proses.....	161
<b>Tabel 8.4.</b> Jumlah Operator Tiap Jenis Alat Utilitas .....	161
<b>Tabel 8.5.</b> Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan.....	162

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Grafik data impor Hexamine ke Indonesia dari 2017 - 2021 .. <b>Error!</b> <b>Bookmark not defined.</b>	
<b>Gambar 2.1.</b> Diagram proses produksi Hexamine dengan Amonia dan Formaldehid proses Leonard.....	11
<b>Gambar 2.2.</b> Diagram proses produksi Hexamine dengan Amonia dan Formaldehid proses Meissner .....	12
<b>Gambar 4.1.</b> Blok Diagram Neraca Massa Heater .....	31
<b>Gambar 4.2.</b> Blok Diagram Neraca Energi Heater.....	32
<b>Gambar 4.3.</b> Blok Diagram Neraca Massa Heater .....	33
<b>Gambar 4.4.</b> Blok Diagram Neraca Energi Heater.....	34
<b>Gambar 4.5.</b> Blok Diagram Neraca Massa Reaktor .....	35
<b>Gambar 4.6.</b> Blok Diagram Neraca Energi Reaktor.....	37
<b>Gambar 4.7.</b> Blok Diagram Neraca Massa Mix Point.....	38
<b>Gambar 4.8.</b> Blok Diagram Neraca Energi Mix Point .....	39
<b>Gambar 4.9.</b> Blok Diagram Neraca Massa Evaporator .....	40
<b>Gambar 4.10.</b> Blok Diagram Neraca Energi Evaporator.....	42
<b>Gambar 4.11.</b> Blok Diagram Neraca Massa Crystallizer .....	44
<b>Gambar 4.12.</b> Blok Diagram Neraca Energi Crystallizer.....	45
<b>Gambar 4.13.</b> Blok Diagram Neraca Massa Centrifuge.....	46
<b>Gambar 4.14.</b> Blok Diagram Neraca Energi Centrifuge .....	47
<b>Gambar 4.15.</b> Blok Diagram Neraca Massa Rotary Dryer.....	48
<b>Gambar 4.16.</b> Blok Diagram Neraca Energi Rotary Dryer .....	49
<b>Gambar 6.1.</b> Cooling Tower.....	115
<b>Gambar 6.2.</b> Diagram Cooling Water System.....	116
<b>Gambar 7.1.</b> Tata Letak Pabrik.....	136
<b>Gambar 7.2.</b> Layout Tata Letak Alat Proses .....	139
<b>Gambar 7.3.</b> Lokasi Pendirian Pabrik Hexamethylenetetramine (Google Earth, 2023) .....	141

**Gambar 8.1.** Struktur Organisasi Perusahaan..... 146

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian telah meletakkan industri sebagai salah satu pilar ekonomi dan memberikan peranan yang cukup besar kepada pemerintah dalam mendorong kegiatan industri nasional secara terencana. Peranan tersebut dibutuhkan guna mengarahkan perekonomian nasional tumbuh dengan cepat sehingga dapat mengejar ketertinggalan dari beberapa negara maju. Langkah keseriusan pemerintah dalam penyelenggaraan perindustrian terdapat pada Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional tahun 2015 – 2035. Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional tahun 2015 – 2035 ini ditetapkan beberapa penahapan capaian pembangunan industri ke dalam tiga periode. Khususnya, pada tahap III (2025 – 2035) ialah visi menjadikan Indonesia negara industri tangguh yang bercirikan struktur industri nasional yang kuat dan berdaya saing tinggi di tingkat internasional berbasis teknologi serta inovasi (Kementerian Perindustrian, 2020).

Pemerintah terkhusus pada kementerian perindustrian juga telah menginovasikan *Making Indonesia 4.0* dengan tujuan mempersiapkan Indonesia menjadi sepuluh besar ekonomi dunia pada tahun 2030. Menurut Kementerian Perindustrian (2019), pada sektor industri sebesar 20 persen berkontribusi terhadap PDB, perpajakan sekitar 30 persen, dan ekspor hingga 74 persen. Semua pencapaian tersebut sebagian besar disalurkan dari lima sektor manufaktur dalam *Making Indonesia 4.0*, yaitu salah satunya industri kimia. Industri kimia saat ini mulai berkembang pesat di Indonesia. Namun demikian, di tengah perkembangan tersebut, saat ini masih terdapat beberapa tantangan, salah satunya adalah kebutuhan bahan kimia dan barang dari bahan kimia yang belum seluruhnya dihasilkan sendiri. Sebesar 21,51 persen sektor industri bahan kimia dan barang dari bahan kimia di Indonesia masih impor sedangkan 12,65 persen sektor industri

bahan kimia dan barang dari bahan kimia di Indonesia sudah terekspor (Kementerian Perindustrian, 2020).

Di Indonesia sendiri, terlebih kepada kebutuhan *hexamine* selama ini masih mengandalkan impor dari beberapa negara seperti, China, Jerman, Belgia, India, Hong Kong, dll (BPS, 2022). Dari data Badan Pusat Statistika (BPS) 2022 menunjukkan bahwa jumlah rata-rata impor *hexamine* di Indonesia mencapai 6.629 Ton/tahun. Sehingga, pembangunan sektor industri bahan kimia dan barang dari bahan kimia yang salah satunya menghasilkan produk *hexamethylenetetramine* (*hexamine*) dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap industri global sehingga mengurangi devisa negara dalam mengimpor bahan tersebut pada akhirnya. Mengingat *hexamine* yang luas penggunaannya, maka tujuan pembangunan industri *hexamine* mempunyai prospek yang cukup baik di sektor industri bahan kimia dan barang dari bahan kimia di Indonesia.

*Hexamethylenetetramine* (*hexamine*) memiliki nama lain seperti *methenamine*, *aminoforn*, *crystamine*, *formin*, 1,3,5,7-tetraazaadamantan, 1,3,7-tetraazatricyclo[3.3.1.1(3,7)]decane. Dengan rumus senyawa kimia ialah  $C_6H_{12}N_4$  dengan berat molekul 140,19 g/mol. *Hexamine* dapat diproduksi dengan cara mereaksikan formaldehid dan amonia pada fase gas, *aqueous*, atau dalam suspensi larutan *inert* (Eller & Henkes, 2011). Bahan baku amonia serta formaldehid dapat diperoleh dengan mudah didalam negeri. Kegunaan dari *hexamine* umumnya adalah sebagai *agent*. Selain itu, pada paruh kedua tahun 1960-an di Amerika Serikat, penggunaan *hexamine* digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan peledak kuat yaitu *cyclonite* (Bailey Jr. & Koleske, 1992).

Rencana pendirian pabrik *hexamine* di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan *hexamine* dalam negeri dan bisa diekspor ke luar negeri. Selain itu, adanya pabrik baru akan dapat memberikan keuntungan diantaranya, penambahan devisa negara dan perluasan lapangan pekerjaan sehingga diharapkan dapat mensejahterakan masyarakat di Indonesia.

## 1.2. Kegunaan Produk

*Hexamine* memiliki sejumlah kegunaan salah satunya sebagai bahan baku pembuatan bahan peledak. Disamping itu, *hexamine* memiliki banyak kegunaan dalam berbagai bidang industri, antara lain:

- a. Sebagai *curing agent* pada produksi *thermosetting resin*.
- b. Pada produksi asam nitrilotriasetat beserta garamnya, *hexamine* berperan sebagai *chelating agent*.
- c. Sebagai *accelerator* pada industri karet untuk mencegah *blocking* pada proses *vulcanized rubber*.
- d. Dalam bidang farmasi, *hexamine* sebagai penghambat korosi yang disebabkan oleh asam mineral kuat.
- e. Berperan sebagai *shrink-proofing agent* dalam industri tekstil.
- f. Pada serat selulosa, *hexamine* digunakan sebagai bahan dalam meningkatkan ketahanan luntur warna dan elastisitas.
- g. Sebagai fungisida dalam industri yang menggunakan buah jeruk.

(Bailey Jr. & Koleske, 1992)

## 1.3. Analisis Pasar

Munawaroh dan Lovisa (2019) berpendapat bahwa analisis pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk dalam hal ini produk berupa *hexamine*. Salah satu metode untuk analisis pasar suatu produk adalah dengan menganalisis kebutuhan pasar produk. Kebutuhan pasar produk dapat dianalisis menggunakan beberapa aspek diantaranya analisis keseimbangan permintaan dan penawaran yang meliputi harga produk, teknologi dan perkiraan harga di masa mendatang, serta analisis sistem perekonomian terbuka yang meliputi ekspor dan impor produk (Siagian, 2000).

### 1.3.1. Data Impor

Dengan mengetahui secara jelas kebutuhan impor dalam negeri bertujuan untuk melihat banyaknya kapasitas yang perlu dicukupi khususnya di dalam negeri. Dengan begitu, kapasitas pabrik *hexamine* yang akan dirancang dapat ditentukan

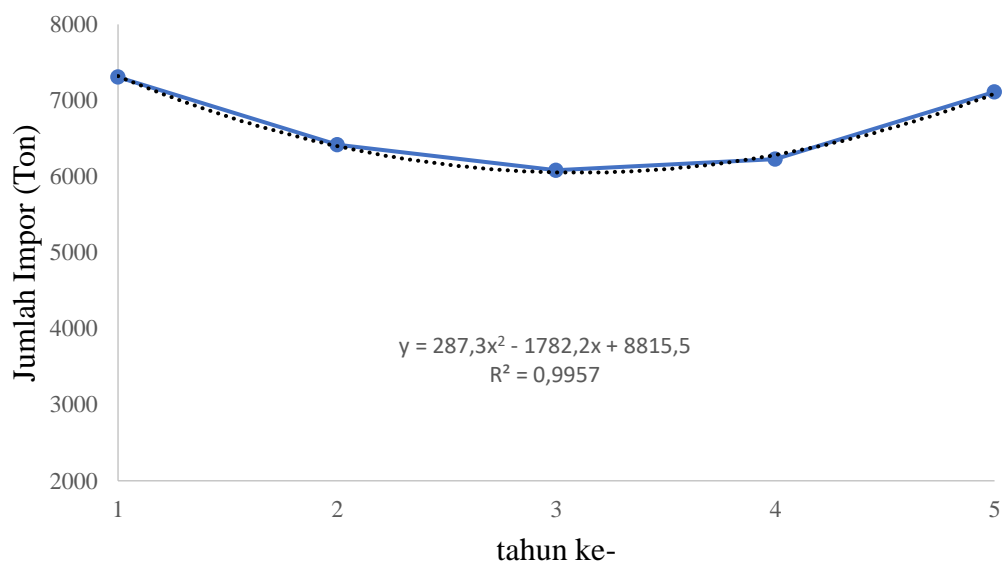
besar kecilnya. Berikut ini adalah data impor *hexamine* ke Indonesia dalam beberapa tahun terakhir:

**Tabel 1.1.** Data impor *Hexamine* ke Indonesia

Tahun	Jumlah Impor (Ton/tahun)
2017	7306,37
2018	6419,43
2019	6082,89
2020	6226,86
2021	7110,80

Sumber: (BPS, 2022)

Berdasarkan Tabel 1.1., impor *hexamine* ke Indonesia setiap tahunnya mengalami penurunan serta peningkatan. Melihat impor *hexamine* ditahun 2021 mengalami peningkatan yang besar, maka dari itu diperlukan pendirian pabrik yang memproduksi *hexamine* untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Selanjutnya, data impor tersebut dipresentasikan ke bentuk grafik sebagai berikut:





Pada data Gambar 1.1., diperoleh proyeksi kebutuhan *hexamine* di Indonesia ditahun yang akan datang, sehingga diperoleh persamaan polinomial sebagai berikut:

$$y = 287,3x^2 - 1782,2x + 8815,5 \dots \dots (1)$$

Keterangan:

y = Kebutuhan *hexamine* di Indonesia

x = tahun ke-

Pada sumbu x terdapat tahun ke-, yang artinya:

Tahun ke-1 = 2017

Tahun ke-2 = 2018

Tahun ke-3 = 2019

Tahun ke-4 = 2020

Tahun ke-5 = 2021

Tahun ke-6 = 2022

Proyeksi kebutuhan di tahun 2027 yaitu tahun ke-11 (tahun berdirinya pabrik) dapat dicari menggunakan persamaan (1), sehingga:

$$y = 287,3x^2 - 1.782,2x + 8.815,5$$

$$y = [(287,3 \times (11^2)) - (1.782,2 \times 11) + 8.815,5]$$

$$y = 23974,6 \text{ Ton/tahun}$$

Dari perhitungan diatas dengan mensubstitusikannya ke persamaan (1), maka dapat diproyeksikan kebutuhan *hexamine* di Indonesia pada tahun 2027 sebesar 23.974,6 Ton/tahun.

### 1.3.2. Data Pabrik *Hexamine* di Dunia

Berikut merupakan pabrik penghasil *hexamine* di dunia:

**Tabel 1.2.** Kapasitas industri *hexamine* di Dunia

Nama Industri	Lokasi	Kapasitas
Kanoria Chemicals & Ind. Ltd.	India	20000
New Tech Polymers India P. Ltd.	India	18000
Jinan Sanhoos Trase Co. Ltd.	Cina	12000
Wuhan Chujiang Chemical Co. Ltd.	Cina	15000
Sina Chemical Industrial	Iran	25000
Kaltim Hexamindo Wiratama	Indonesia	3000

Sumber: (Kanoria Chemicals & Ind. Ltd., New Tech Polymers India P. Ltd., Jinan Sanhoos Trase Co. Ltd., Wuhan Chujiang Chemical Co. Ltd., Sina Chemical Industrial, Kaltim Hexamindo Wiratama)

### 1.3.3. Kapasitas Produksi

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1999 tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat pada BAB IV Kegiatan yang Dilarang bagian pertama monopoli Pasal 17 Ayat 2 Poin C tertulis bahwa satu pelaku usaha atau satu kelompok pelaku usaha menguasai lebih dari 50% (lima puluh persen) pangsa pasar satu jenis barang atau jasa tertentu (UU RI, 1999), sehingga kapasitas produksi *hexamine* pada tahun 2027 sebesar:

$$\text{Kapasitas Produksi} = (23.974,6) \text{ Ton/tahun} \times 50\%$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = 11987,3 \text{ Ton/tahun} \approx 12000 \text{ Ton/tahun}$$

## 1.4. Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku merupakan faktor yang sangat penting untuk diperhatikan demi kelangsungan hidup suatu pabrik. Untuk menjamin kelangsungan produksi, bahan baku harus mendapat perhatian yang serius agar jumlah produksi tidak terganggu. Bahan baku yang digunakan untuk membuat *hexamine* ialah formaldehid ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) dan amonia ( $\text{NH}_3$ ). Untuk bahan baku

formaldehid yang dibutuhkan sebanyak 28927,9258 Ton/tahun sedangkan untuk amonia yang dibutuhkan sebanyak 4067,5324 Ton/tahun. Pada tabel 1.3. merupakan pabrik penghasil formaldehid dan pada tabel 1.4. merupakan pabrik penghasil amonia yang ada di Indonesia.

**Tabel 1.3.** Produsen formaldehid di Indonesia

<b>Nama Industri</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas</b>
PT Dover Chemical	Cilegon	60000 Ton/tahun
PT Intanwijaya Internasional Tbk	Banjarmasin	61500 Ton/tahun
PT Sabak Indah	Tanjung Jabung	50000 Ton/tahun

Sumber: (PT Dover Chemical, PT Intanwijaya Internasional Tbk, PT Sabak Indah)

**Tabel 1.4.** Produsen amonia di Indonesia

<b>Nama Industri</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas</b>
PT Pupuk Kujang Cikampek	Cikampek	660000 Ton/tahun
PT Pupuk Iskandar Muda	Aceh	726000 Ton/tahun
PT Petrokimia Gresik	Gresik	1105000 Ton/tahun
PT Pupuk Sriwidjaja Palembang	Palembang	1984000 Ton/tahun
PT Pupuk Kaltim	Bontang	2724000 Ton/tahun

Sumber: (PT Pupuk Kujang Cikampek, PT Pupuk Iskandar Muda, PT Petrokimia Gresik, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, PT Pupuk Kaltim)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa PT Dover Chemical merupakan salah satu pabrik penghasil formaldehid dengan total produksi 60000 Ton/tahun dan produksi amonia dihasilkan dari PT Pupuk Sriwidjaja Palembang dengan kapasitas produksi 1984000 Ton/tahun. Melihat besarnya kapasitas produksi kedua industri tersebut, maka pabrik *hexamine* yang didirikan di tahun 2027 akan menggunakan bahan baku yang berasal dari PT Asahimas Chemical dan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang serta pabrik lain sebagai penunjang, sehingga dapat meminimalisir kelangkaan bahan baku produksi.

## 1.5. Lokasi Pabrik

Salah satu faktor penting dari keberhasilan membangun suatu pabrik ialah pemilihan lokasi. Hal ini dikarenakan lokasi pabrik sangat mempengaruhi kedudukan pabrik dalam persaingan dan menentukan kelangsungan hidup pabrik tersebut. Dalam menentukan lokasi pabrik yang tepat, maka akan meminimalisir biaya produksi juga distribusi sehingga membuat pabrik tersebut berjalan efisien, ekonomis, juga menguntungkan. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pendirian pabrik, antara lain:

### a. Penyediaan bahan baku

Sumber bahan baku merupakan salah satu faktor utama dalam pemilihan lokasi pabrik terlebih jika bahan yang dikonsumsi dalam jumlah yang besar. Sumber bahan baku yang dekat dengan lokasi pabrik dapat memperkecil biaya transportasi atau pengiriman barang. Kebutuhan formaldehid yang diperlukan sebanyak 28927,9258 Ton/tahun. Dan untuk amonia yang dibutuhkan sebesar 4067,5324 Ton/tahun. Bahan baku formaldehid diperoleh dari PT Dover Chemical, yang berlokasi di Cilegon, Banten dengan kapasitas 60000 Ton/tahun. Sedangkan, untuk bahan baku amonia diperoleh dari PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, yang berlokasi di Palembang, Sumatera Selatan dengan kapasitas 1984000 Ton/tahun. Untuk pemilihan lokasi berdasarkan faktor bahan baku, dipilih lokasi pabrik di daerah Palembang mengingat bahan baku amonia yang berbentuk gas akan sangat lebih mudah dibawa ke lokasi berdirinya pabrik melalui perpipaan dibandingkan dengan dibawa oleh kendaraan melalui jalur darat dan laut.

### b. Daerah Pemasaran

Dalam penentuan lokasi pabrik, daerah pemasaran dipilih berdasarkan kemudahan dalam melakukan pemasaran dan distribusi produk ke konsumen. Produk yang dihasilkan akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri dalam negeri. Industri-industri tersebut banyak terdapat di pulau Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan daerah lain di Indonesia. Jika kebutuhan *hexamine* didalam negeri sudah terpenuhi maka pemasaran diarahkan ke luar negeri sebagai komoditi ekspor.

c. Tenaga kerja

Pabrik sebaiknya didirikan di daerah yang memiliki ketersediaan tenaga kerja terampil dan berkompeten sehingga masalah tenaga kerja tidak akan menimbulkan masalah yang berarti. Jumlah tenaga kerja terlatih dan berpendidikan di daerah Cilegon, Banten terus meningkat seiring berkembangnya sekolah-sekolah kejuruan, akademi, dan perguruan tinggi. Sedangkan untuk daerah Palembang, penyediaan tenaga kerja juga cukup mudah diperoleh dari lulusan sekolah kejuruan dan perguruan tinggi di daerah Palembang sehingga tenaga kerja yang direkrut juga bervariasi, sesuai dengan kebutuhan pabrik. Untuk tenaga kerja, daerah Cilegon maupun Palembang memiliki potensi yang seimbang.

d. Sarana Transportasi

Sarana transportasi merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pemilihan lokasi pabrik yang meliputi pengiriman bahan baku, bahan bakar dan pendistribusian produk yang dihasilkan. Dengan tersediannya sarana transportasi seperti jalan tol maka pengangkutan bahan baku dan pendistribusian produk tidak lagi menjadi permasalahan. Sehingga, untuk daerah Cilegon dan Palembang memiliki potensi yang seimbang dalam faktor sarana transportasi.

e. Utilitas

Utilitas utama dalam pabrik yang diperlukan meliputi kebutuhan air, bahan bakar dan sumber listrik. Untuk daerah Cilegon, sumber air dapat diperoleh dari PT Krakatau Tirta Industri (KTI), air laut, dan juga air sumur. Kebutuhan listrik dapat dipenuhi dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator sebagai cadangan jika PLN mengalami gangguan. Sedangkan untuk daerah Palembang, kebutuhan air diperoleh dari sungai Musi dengan panjang aliran sungai 750 km, dengan kedalaman 7-10 meter dan lebar 200-300 meter serta debit air 103,81 m<sup>3</sup>/s. Untuk kebutuhan bahan bakar dapat diperoleh dari PT Pertamina yang ada di kawasan Palembang dan kebutuhan listrik dapat dipenuhi dengan adanya PT PLN yang berada di sekitar pabrik.

f. Keadaan iklim dan tanah

Iklim yang baik seperti kelembaban, intensitas panas matahari, hujan, dan angin juga kondisi tanah yang baik mempengaruhi kelancaran proses produksi pabrik. Baiknya kondisi iklim dapat mempengaruhi peningkatan kualitas kerja para pekerja pabrik. Mengenai hal tersebut, daerah Palembang dan Cilegon merupakan daerah yang kondisinya cukup stabil dan tidak pernah terjadi bencana alam yang berbahaya, sehingga kondisi tersebut sangat membantu kelancaran proses pabrik.

g. Perizinan

Lokasi pabrik yang akan dibangun harus jauh dari pemukiman dan tidak mengurangi lahan produktif penduduk, dengan begitu tidak menimbulkan dampak yang tidak diinginkan bagi pabrik, masyarakat dan lingkungan sekitarnya.

Berdasarkan dari faktor bahan baku, daerah Palembang memiliki keunggulan mengingat bahan baku amonia yang berbentuk gas akan lebih mudah dikirim ke lokasi berdirinya pabrik melalui sistem perpipaan dibandingkan dengan daerah Cilegon yang harus dikirim dengan transportasi melalui jalur darat dan laut. Ditinjau dari faktor diatas, maka daerah Palembang dipilih untuk dijadikan lokasi dalam mendirikan pabrik.

## BAB II

### PEMILIHAN PROSES

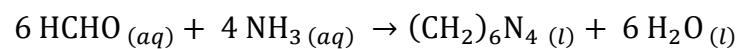
#### 2.1. Jenis-jenis Proses

*Hexamine* dapat diproduksi dengan mereaksikan formaldehid dan amonia pada fase gas, larutan, atau suspensi dalam pelarut inert. Di dunia terdapat beberapa jenis proses yang banyak digunakan pada produksi *hexamine*, sehingga diperlukan seleksi untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Seleksi proses didasarkan pada aspek teknis dan ekonomis. Secara umum, ada dua jenis proses produksi *hexamine*, yaitu:

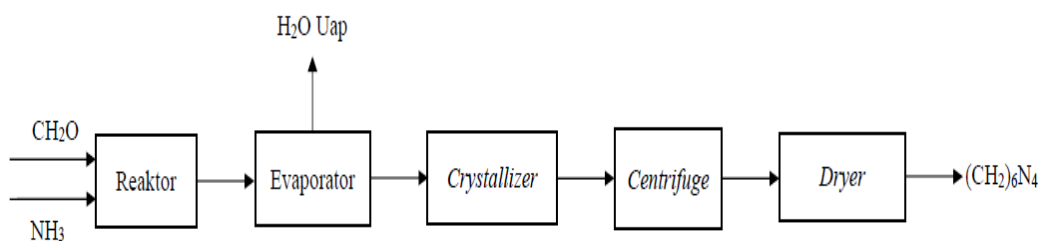
- A. Proses Leonard
- B. Proses Meissner

#### 1.3.1. Proses Leonard

Pada proses Leonard bahan baku yang digunakan adalah larutan formaldehid 37% bereaksi secara eksotermis dengan larutan amonia dengan konsentrasi 27% menjadi *hexamine*. Reaksi yang terjadi pada proses Leonard sebagai berikut:



Skema proses produksi *hexamine* dengan formaldehid dan amonia proses Leonard adalah sebagai berikut:

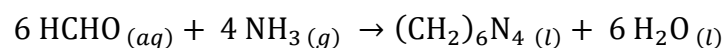


**Gambar 2.1.** Diagram proses produksi *Hexamine* dengan Amonia dan Formaldehid proses Leonard

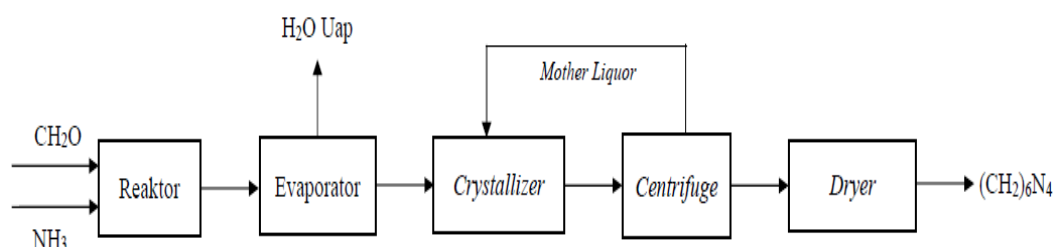
Reaksi terjadi pada pH 7-8 dengan tujuan untuk menghindari pembentukan asam format dan karbon dioksida pada suasana asam. Untuk menjaga suhu reaksi yang terjadi pada 30-50°C, air pendingin disirkulasikan dengan panas reaksi yang dihasilkan. Kemudian, *hexamine* yang terbentuk berupa larutan akan dipompa ke evaporator pada kondisi vakum (40 mmHg) dengan tujuan pemekatan sehingga konsentrasi yang diperoleh mencapai 60-65%. Sejumlah kecil amonia terus ditambahkan pada proses evaporasi dengan tujuan untuk mengurangi dekomposisi *hexamine*. *Hexamine* yang keluar dari evaporator diumpankan ke dalam *centrifuge*, selanjutnya dicuci dan dialirkan ke *dryer* untuk proses pengeringan serta siap untuk dikemas. Overall yield untuk proses Leonard diperoleh sebesar 95% dengan formaldehid sebagai *limiting reactant* (Bailey Jr. & Koleske, 1992).

### 1.3.2. Proses Meissner

Proses Meissner pertama kali diperkenalkan oleh Fritz Meissner, Ernst Schwiedssen dan Donald F. Otmer pada tahun 1954. Proses ini menggunakan larutan fomaldehid dan amonia dalam fase gas yang dicampurkan dalam tangki reaktor. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Skema proses produksi *hexamine* dengan formaldehid dan amonia proses Leonard adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.2.** Diagram proses produksi *Hexamine* dengan Amonia dan Formaldehid proses Meissner

Larutan formaldehid diumpankan dari tangki formaldehid yang masuk kedalam reaktor bersama dengan amonia. Reaksi terjadi pada pH 7,5-8 dengan suhu 50-90°C. Perbandingan mol formaldehid : amonia ialah 3 : 2 pada kondisi



eksotermik dengan konversi sebesar 97%. Larutan *hexamine* yang merupakan hasil dari reaksi formaldehid dan amonia dialirkan dengan menggunakan pompa. Larutan pekat hasil dari evaporator akan diumpankan ke *crystallizer*. Selanjutnya, kristal *hexamine* yang terbentuk pada *crystallizer* dialirkan ke *centrifuge*. Pada *centrifuge* akan terjadi pemisahan antara kristal *hexamine* dengan larutan induknya (*mother liiquor*). Larutan induk yang keluar dari *centrifuge* (*mother liiquor*) kemudian akan *direcycle* kembali ke *crystallizer* menggunakan pompa. Sedangkan, kristal *hexamine* yang keluar dari *centrifuge* dialirkan dengan *conveyor* untuk dikeringkan dengan menggunakan *rotary dryer* (Meissner *et al.*, 1954).

## 2.2. Pemilihan Proses

### 2.2.1. Tinjauan Termodinamika

Pemilihan proses berdasarkan tinjauan termodinamika dapat dilihat dari nilai perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) dan perubahan *Gibbs free energy* ( $\Delta G$ ). Tujuan dalam meninjau proses secara termodinamika ialah untuk mengetahui suatu besaran energi yang dibutuhkan atau dilepaskan pada suatu reaksi (Kotz *et al.*, 2017).

*Enthalpy of formation* pada masing-masing komponen dalam reaksi kimia dibutuhkan untuk menentukan panas reaksi (*heat of reaction*). Berikut ialah persamaan untuk menghitung panas reaksi:

$$\Delta H_{rx}^{\circ} = \sum n \times \Delta H_{f(\text{produk})}^{\circ} - \sum n \times \Delta H_{f(\text{reaktan})}^{\circ} \dots \dots \dots (2.1)$$

(Yaws, 1999)

Apabila perubahan entalpi suatu sistem bernilai positif ( $\Delta H > 0$ ), maka reaksi tersebut dinyatakan membutuhkan energi panas untuk melangsungkan reaksi atau biasa disebut reaksi endotermis. Sedangkan, bila perubahan entalpi suatu sistem bernilai negatif ( $\Delta H < 0$ ), maka reaksi tersebut melepaskan panas atau menghasilkan panas akibat dari reaksi yg terjadi atau sering disebut dengan reaksi eksotermis (Kotz *et al.*, 2017).

Keterangan:

$\Delta H_{rx}^{\circ}$  = perubahan panas (*enthalpy*) reaksi (kJ/mol)

$\Delta H^\circ_f$  = perubahan panas reaksi pembentukan pada kondisi standar (kJ/mol)

n = koefisien stoikiometri

*Gibbs energy of formation* itu penting dalam menganalisis reaksi kimia. Dalam menentukan perubahan *Gibbs energy of reaction* diperlukan nilai *Gibbs energy of formation* pada masing-masing senyawa baik reaktan dan produk. Perubahan ini terkait dengan kesetimbangan reaksi kimia. Berikut ialah persamaan untuk menghitung perubahan *Gibbs free energy* reaksi:

$$\Delta G_{rx}^\circ = \sum n \times \Delta G_{f(\text{produk})}^\circ - \sum n \times \Delta G_{f(\text{reaktan})}^\circ \dots \dots (2.2)$$

(Yaws, 1999)

Apabila perubahan *Gibbs energy* bernilai positif ( $\Delta G > 0$ ), maka reaksi tidak berlangsung secara spontan. Untuk itu, dibutuhkan energi tambahan agar reaksi dapat berlangsung spontan, namun apabila perubahan *Gibbs energy* bernilai negatif ( $\Delta G < 0$ ), maka reaksi dapat berlangsung secara spontan (Kotz *et al.*, 2017).

Keterangan:

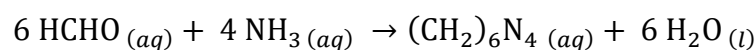
$\Delta G_{rx}^\circ$  = perubahan *Gibbs free energy* reaksi (kJ/mol)

$\Delta G_f^\circ$  = perubahan *Gibbs free energy* pembentukan pada kondisi standar  
(kJ/mol)

n = koefisien stoikiometri

#### A. Proses Leonard

Reaksi proses Leonard:



Berikut ini merupakan data *enthalpy of formation* ( $H_f^\circ_{298}$ ) dan *Gibbs energy of formation* ( $G_f^\circ_{298}$ ) pada kondisi 298,15K.

**Tabel 2.1.** Data *enthalpy* dan *Gibbs free energy* pada  $T = 298,15 \text{ K}$  ( $25^\circ\text{C}$ )

Komponen	$H_f^{\circ 298} \text{ (kJ/mol)}$	$G_f^{\circ 298} \text{ (kJ/mol)}$
$\text{CH}_2\text{O}^{\text{a)}$	-115,90	-109,91
$\text{NH}_3^{\text{c)}$	-81,15	-26,36
$(\text{CH}_2)_6\text{N}_4^{\text{b)}$	120,5	429,70
$\text{H}_2\text{O}^{\text{a)}$	-285,83	-237,20

Sumber: <sup>a)</sup> Haynes (2016), <sup>b)</sup> Mansson (1970), <sup>c)</sup> Vanderzee (1972)

Untuk mendapatkan hasil perhitungan panas reaksi ( $\Delta H_{\text{rx}}^{\circ 298}$ ) disubstitusikan kedalam persamaan (3) pada proses formaldehid – amonia (Leonard) dalam kondisi standar,  $25^\circ\text{C}$  ( $298,15 \text{ K}$ ), menjadi

$$\Delta H_{\text{rx}}^{\circ 298} = [(1 \times H_f^{\circ 298})_{(\text{CH}_2)_6\text{N}_4} + (6 \times H_f^{\circ 298})_{\text{H}_2\text{O}}] - [(6 \times H_f^{\circ 298})_{\text{CH}_2\text{O}} + (4 \times H_f^{\circ 298})_{\text{NH}_3}]$$

$$\Delta H_{\text{rx}}^{\circ 298} = [(1 \times (120,5)) + (6 \times (-285,83))] - [(6 \times (-115,90)) + (4 \times (-81,15))]$$

$$\Delta H_{\text{rx}}^{\circ 298} = -574,48 \text{ kJ/mol} \approx -574480 \text{ J/mol}$$

Lalu, untuk memperoleh hasil perhitungan *Gibbs free energy* reaksi ( $\Delta G^{\circ 298}$ ) disubstitusikan kedalam persamaan (4) pada proses formaldehid – amonia (Leonard) dalam kondisi standar,  $25^\circ\text{C}$  ( $298,15 \text{ K}$ ), menjadi

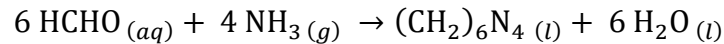
$$\Delta G_{\text{rx}}^{\circ 298} = [(1 \times G_f^{\circ 298})_{(\text{CH}_2)_6\text{N}_4} + (6 \times G_f^{\circ 298})_{\text{H}_2\text{O}}] - [(6 \times G_f^{\circ 298})_{\text{CH}_2\text{O}} + (4 \times G_f^{\circ 298})_{\text{NH}_3}]$$

$$\Delta G_{\text{rx}}^{\circ 298} = [(1 \times (429,70)) + (6 \times (-237,20))] - [(6 \times (-109,91)) + (4 \times (-26,36))]$$

$$\Delta G_{\text{rx}}^{\circ 298} = -228,60 \text{ kJ/mol} \approx -228600 \text{ J/mol}$$

## B. Proses Meissner

Reaksi proses Meissner:



Berikut ini merupakan data *enthalpy of formation* ( $H_f^{\circ}_{298}$ ) dan *Gibbs energy of formation* ( $G_f^{\circ}_{298}$ ) pada kondisi 298,15K.

**Tabel 2.2.** Data *enthalpy* dan *Gibbs free energy* pada  $T = 298,15 \text{ K}$  ( $25^\circ\text{C}$ )

Komponen	$H_f^{\circ}_{298}$ (kJ/mol)	$G_f^{\circ}_{298}$ (kJ/mol)
$\text{CH}_2\text{O}^{\text{c)}$	-115,90	-109,91
$\text{NH}_3^{\text{c)}$	-45,90	-16,40
$(\text{CH}_2)_6\text{N}_4^{\text{b)}$	120,5	429,70
$\text{H}_2\text{O}^{\text{a)}$	-285,83	-237,20

Sumber: <sup>a)</sup> Haynes (2016), <sup>b)</sup> Mansson (1970), <sup>c)</sup> Yaws (1999)

Untuk mendapatkan hasil perhitungan panas reaksi ( $\Delta H_{\text{rx}}^{\circ}_{298}$ ) disubstitusikan kedalam persamaan (3) pada proses formaldehid – amonia (Meissner) dalam kondisi standar,  $25^\circ\text{C}$  (298,15 K), menjadi

$$\Delta H_{\text{rx}}^{\circ}_{298} = [(1 \times H_f^{\circ}_{298})_{(\text{CH}_2)_6\text{N}_4} + (6 \times H_f^{\circ}_{298})_{\text{H}_2\text{O}}] - [(6 \times H_f^{\circ}_{298})_{\text{CH}_2\text{O}} + (4 \times H_f^{\circ}_{298})_{\text{NH}_3}]$$

$$\Delta H_{\text{rx}}^{\circ}_{298} = [(1 \times (120,5)) + (6 \times (-285,83))] - [(6 \times (-115,90)) + (4 \times (-45,90))]$$

$$\Delta H_{\text{rx}}^{\circ}_{298} = -715,48 \text{ kJ/mol} \approx -715.480 \text{ J/mol}$$

Lalu, untuk memperoleh hasil perhitungan *Gibbs free energy* reaksi ( $\Delta G^{\circ}_{298}$ ) disubstitusikan kedalam persamaan (4) pada proses formaldehid – amonia (Meissner) dalam kondisi standar,  $25^\circ\text{C}$  (298,15 K), menjadi

$$\Delta G_{\text{rx}}^{\circ}_{298} = [(1 \times G_f^{\circ}_{298})_{(\text{CH}_2)_6\text{N}_4} + (6 \times G_f^{\circ}_{298})_{\text{H}_2\text{O}}] - [(6 \times G_f^{\circ}_{298})_{\text{CH}_2\text{O}} + (4 \times G_f^{\circ}_{298})_{\text{NH}_3}]$$

$$\Delta G_{\text{rx}}^{\circ}_{298} = [(1 \times (429,70)) + (6 \times (-237,20))] - [(6 \times (-109,91)) + (4 \times (-16,40))]$$

$$\Delta G_{\text{rx}}^{\circ}_{298} = -268,44 \text{ kJ/mol} \approx -268440 \text{ J/mol}$$

### 2.2.2. Tinjauan Ekonomi

Tinjauan ekonomi bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik per kg produk yang dihasilkan pada masing-masing proses yang akan digunakan. Berikut harga untuk masing-masing komponen pada bahan baku serta produk:

**Tabel 2.3.** Harga masing-masing bahan baku dan produk

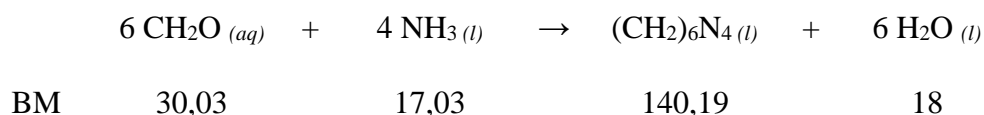
Komponen	Harga (US\$)/kg	Harga (Rp)/kg
CH <sub>2</sub> O	0,05 – 0,1	1.118,63
NH <sub>3</sub>	0,30 – 0,43	5.294,83
(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> N <sub>4</sub>	0,89 – 1,29	16.257,35
H <sub>2</sub> O	-	-

Sumber: (Alibaba, 2022)

Kurs 1 USD per 14 September 2022 = Rp. 14.915

#### A. Proses Leonard

Reaksi proses Leonard:



Dengan konversi reaksi: 98%. Berdasarkan persamaan stoikiometri maka diperoleh:

**Tabel 2.4.** Stoikiometri persamaan pada proses Leonard

Komponen		Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
CH <sub>2</sub> O	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> )
NH <sub>3</sub>	B	F <sub>B0</sub> = Θ <sub>B</sub> F <sub>A0</sub>	- $\frac{4}{6}$ F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>	F <sub>B</sub> = F <sub>A0</sub> ( Θ <sub>B</sub> - $\frac{4}{6}$ X <sub>A</sub> )
(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> N <sub>4</sub>	C	-	$\frac{1}{6}$ F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>	F <sub>C</sub> = $\frac{1}{6}$ F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>
H <sub>2</sub> O	D	-	F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>	F <sub>D</sub> = F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>
Jumlah		F <sub>T0</sub>		F <sub>T</sub> = F <sub>A0</sub> + F <sub>B0</sub> - $\frac{1}{2}$ F <sub>A0</sub> X <sub>A</sub>

Komponen	Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
$F_T = F_{T0} - \frac{1}{2} F_{A0} \times X_A$			

Basis 1 kg  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$  yang terbentuk, maka akan diperoleh mol akhir  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$  ( $F_C$ ) sebagai berikut:

$$\text{mol } (\text{CH}_2)_6\text{N}_4 = \frac{\text{massa } (\text{CH}_2)_6\text{N}_4}{\text{bm } (\text{CH}_2)_6\text{N}_4}$$

$$\text{mol } (\text{CH}_2)_6\text{N}_4 = \frac{1 \text{ kg}}{140,19} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{mol } (\text{CH}_2)_6\text{N}_4 = 7,1332 \text{ mol}$$

- $\text{CH}_2\text{O}$

Mol  $\text{CH}_2\text{O}$  mula-mula ( $F_{A0}$ ) dapat diperoleh melalui:

$$F_C = \frac{1}{6} F_{A0} \times X_A$$

$$7,1332 \text{ mol} = \frac{1}{6} F_{A0} \times 0,95$$

$$F_{A0} = \frac{7,1332 \text{ mol}}{0,1583}$$

$$F_{A0} = 45,0518 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{CH}_2\text{O} \text{ mula-mula} &= \text{mol } \text{CH}_2\text{O} \times \text{bm } \text{CH}_2\text{O} \\ &= 45,0518 \text{ mol} \times 30,03 \text{ gram/mol} \\ &= 1.352,9052 \text{ gram } \text{CH}_2\text{O} \\ &= 1,3529 \text{ kg } \text{CH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total } \text{cost } \text{CH}_2\text{O} &= \text{harga } \text{CH}_2\text{O} \times \text{massa } \text{CH}_2\text{O} \\ &= \text{Rp. } 1.118,63 \times 1,3529 \text{ kg } \text{CH}_2\text{O} \\ &= \text{Rp. } 1.513,40 \end{aligned}$$

- $\text{NH}_3$

Mol formaldehid ( $F_{A0}$ ) sudah diperoleh sebesar 43,6727. Sehingga untuk memperoleh nilai mol amonia mula-mula ( $F_{B0}$ ) dapat diperoleh melalui perbandingan mol formaldehid amonia (3:2) menjadi :

$$F_{B0} = \frac{4}{6} \times F_{A0} \times X_A$$

$$F_{B0} = \frac{4}{6} \times 45,0518 \text{ mol} \times 0,95$$

$$F_{B0} = 28,5328 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 \text{ mula-mula} &= \text{mol NH}_3 \times \text{bm NH}_3 \\ &= 28,5328 \text{ mol} \times 17,03 \text{ gram/mol} \\ &= 485,9136 \text{ gram NH}_3 \\ &= 0,4859 \text{ kg NH}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total cost NH}_3 &= \text{harga NH}_3 \times \text{massa NH}_3 \\ &= \text{Rp. } 5.294,83 \times 0,4859 \text{ kg NH}_3 \\ &= \text{Rp. } 2.572,83 \end{aligned}$$

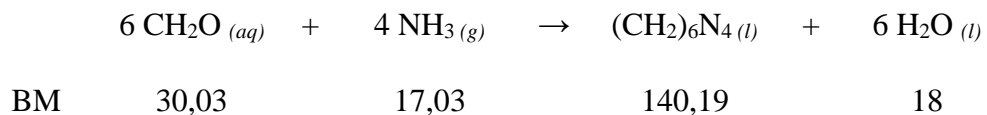
$$\begin{aligned} \text{Total harga bahan baku} &= \text{Total cost CH}_2\text{O} + \text{Total cost NH}_3 \\ &= \text{Rp. } 1.513,40 + \text{Rp. } 2.572,83 \\ &= \text{Rp. } 4.086,23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total harga produk} &= \text{Total cost (CH}_2\text{)}_6\text{N}_4 \\ &= \text{Rp. } 16.257,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{Total cost produk} - \text{Total cost bahan baku} \\
 &= \text{Rp. 16.257,35} - \text{Rp. 4.086,23} \\
 &= \text{Rp. 12.171,12}
 \end{aligned}$$

## B. Proses Meissner

Reaksi proses Meissner:



Dengan konversi reaksi: 97%. Berdasarkan persamaan stoikiometri maka diperoleh:

**Tabel 2.5.** Stoikiometri persamaan pada proses Meissner

Komponen		Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
CH <sub>2</sub> O	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> )
NH <sub>3</sub>	B	F <sub>B0</sub> = Θ <sub>B</sub> F <sub>A0</sub>	- $\frac{4}{6}$ F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>	F <sub>B</sub> = F <sub>A0</sub> × (Θ <sub>B</sub> - $\frac{4}{6}$ X <sub>A</sub> )
(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> N <sub>4</sub>	C	-	$\frac{1}{6}$ F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>	F <sub>C</sub> = $\frac{1}{6}$ F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>
H <sub>2</sub> O	D	-	F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>	F <sub>D</sub> = F <sub>A0</sub> × X <sub>A</sub>
Jumlah		F <sub>T0</sub>		$F_T = F_{A0} + F_{B0} - \frac{1}{2} F_{A0} X_A$
				$F_T = F_{T0} - \frac{1}{2} F_{A0} X_A$

Basis 1 kg (CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>N<sub>4</sub> yang terbentuk, maka akan diperoleh mol akhir (CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>N<sub>4</sub> (F<sub>C</sub>) sebagai berikut:

$$\text{mol (CH}_2)_6\text{N}_4 = \frac{\text{massa (CH}_2)_6\text{N}_4}{\text{bm (CH}_2)_6\text{N}_4}$$

$$\text{mol (CH}_2)_6\text{N}_4 = \frac{1 \text{ kg}}{140,19} \times \frac{1000 \text{ gr}}{1 \text{ kg}}$$

$$\text{mol (CH}_2)_6\text{N}_4 = 7,1332 \text{ mol}$$



- $\text{CH}_2\text{O}$

Mol  $\text{CH}_2\text{O}$  mula-mula ( $F_{A0}$ ) dapat diperoleh melalui:

$$F_C = \frac{1}{6} F_{A0} \times X_A$$

$$7,1332 \text{ mol} = \frac{1}{6} F_{A0} \times 0,97$$

$$F_{A0} = \frac{7,1332 \text{ mol}}{0,1617}$$

$$F_{A0} = 44,1229 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{CH}_2\text{O} \text{ mula-mula} &= \text{mol } \text{CH}_2\text{O} \times \text{bm } \text{CH}_2\text{O} \\ &= 44,1229 \text{ mol} \times 30,03 \text{ gram/mol} \\ &= 1.325,0103 \text{ gram } \text{CH}_2\text{O} \\ &= 1,3215 \text{ kg } \text{CH}_2\text{O} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total } \text{cost } \text{CH}_2\text{O} &= \text{harga } \text{CH}_2\text{O} \times \text{massa } \text{CH}_2\text{O} \\ &= \text{Rp. } 1.118,63 \times 1,3215 \text{ kg } \text{CH}_2\text{O} \\ &= \text{Rp. } 1.482,20 \end{aligned}$$

- $\text{NH}_3$

Mol formaldehid ( $F_{A0}$ ) sudah diperoleh sebesar 43,6727. Sehingga untuk memperoleh nilai mol amonia mula-mula ( $F_{B0}$ ) dapat diperoleh melalui perbandingan mol formaldehid amonia (3:2) menjadi :

$$F_{B0} = \frac{4}{6} \times F_{A0} \times X_A$$

$$F_{B0} = \frac{4}{6} \times 44,1229 \text{ mol} \times 0,97$$

$$F_{B0} = 28,5328 \text{ mol}$$

Massa NH <sub>3</sub> mula-mula	$= \text{mol NH}_3 \times \text{bm NH}_3$ $= 28,5328 \text{ mol} \times 17,03 \text{ gram/mol}$ $= 485,9136 \text{ gram NH}_3$ $= 0,4859 \text{ kg NH}_3$
Total <i>cost</i> NH <sub>3</sub>	$= \text{harga NH}_3 \times \text{massa NH}_3$ $= \text{Rp. } 5.294,83 \times 0,4859 \text{ kg NH}_3$ $= \text{Rp. } 2.572,83$
Total harga bahan baku	$= \text{Total } \text{cost CH}_2\text{O} + \text{Total } \text{cost NH}_3$ $= \text{Rp. } 1.482,20 + \text{Rp. } 2.572,83$ $= \text{Rp. } 4.055,03$
Total harga produk	$= \text{Total } \text{cost (CH}_2)_6\text{N}_4$ $= \text{Rp. } 16.257,35$
Keuntungan	$= \text{Total } \text{cost produk} - \text{Total } \text{cost bahan baku}$ $= \text{Rp. } 16.257,35 - \text{Rp. } 4.055,03$ $= \text{Rp. } 12.202,32$

**Tabel 2.6.** Perbandingan proses pembuatan *hexamine*

Parameter	Jenis-jenis Proses	
	Leonard	Meissner
Bahan Baku	Amonia dan Formaldehid	Amonia dan Formaldehid
Suhu Operasi	30 - 50°C	50 – 90°C
Tekanan	Vakum	1 atm
Konversi Reaksi	95%	97%
Jenis Reaksi	Eksotermis	Eksotermis

Parameter	Jenis-jenis Proses	
	Leonard	Meissner
Keuntungan	Rp. 12.171,12	Rp. 12.202,32

Dari tabel perbandingan tinjauan proses diatas, maka proses yang dipilih untuk pembuatan *hexamine* ialah dengan proses Meissner dengan beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- Bahan baku yang digunakan lebih efisien dan kemurniannya tinggi berupa gas amonia dan larutan formaldehid
- Utilitas lebih ekonomis, khususnya pada penggunaan *steam* dan *cooling water*

### 2.3. Uraian Proses

Dalam proses produksi *hexamine* terdapat empat tahap proses utama, yaitu:

#### A. Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku yang digunakan untuk produksi *hexamine* ialah larutan formaldehid dan gas amonia.

- Amonia

Bahan baku amonia diperoleh dari PT Pupuk Sriwidjaja Palembang yang dikirim langsung ke reaktor melalui sistem perpipaan dengan kondisi operasi suhu pada 80°C dan tekanan 1 atm.

- Formaldehid

Untuk bahan baku formaldehid diperoleh dari PT Dover Chemical yang disimpan di tangki penyimpanan (T-01) dengan suhu 35°C. Dari tangki penyimpanan, formaldehid dialirkan ke *heater* (HE-02) untuk dipanaskan hingga suhunya menjadi 80°C, setelah itu dialirkan menuju reaktor (R-01) untuk bereaksi dengan amonia.

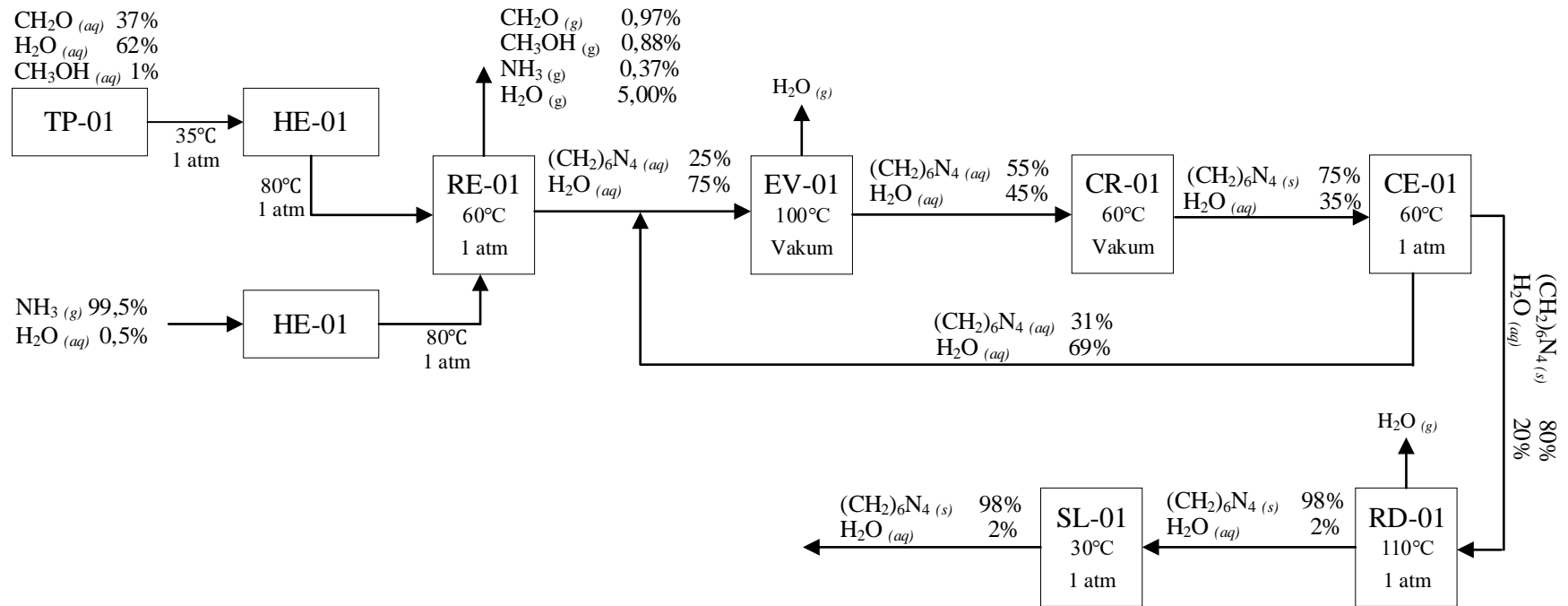
#### B. Tahap pembentukan *hexamine*

Kedua bahan tersebut diumpankan pada reaktor dengan konversi reaksi sebesar 97%. Pada reaktor alir terjadi reaksi antara amonia dengan formaldehid dengan suhu 80°C. Reaktor yang digunakan ialah *bubble column reactor*. Reaktor ini dilengkapi dengan jaket dengan alasan mengingat reaksi pembentukan *hexamine* yang sangat eksotermis dengan begitu suhu pada reaktor akan terjaga. Hasil keluaran dari reaktor ialah berupa larutan *hexamine* yang selanjutnya dipekatkan konsentrasinya sehingga akan dialirkan ke evaporator (EV-01) menggunakan pompa. Pada evaporator suhu operasinya sebesar 101°C dengan tekanan vakum. Dengan begitu, konsentrasi *hexamine* setelah keluar dari evaporator menjadi 55%.

Larutan *hexamine* (55%) dialirkan menggunakan pompa ke *crystallizer* (CR-01) berfungsi untuk merubah larutan *hexamine* menjadi inti kristal. Larutan *hexamine* akan membentuk 90% kristal dari aliran yang masuk ke *crystallizer*. Pemisahan terjadi pada *centrifuge* yang bertujuan untuk memisahkan antara kristal *hexamine* yang terbentuk dengan larutan induknya (*mother liquor*). *Recycle* keluaran dari *centrifuge* sebesar 10% yang selanjutnya akan dialirkan kembali ke *crystallizer* (CR-01) menggunakan pompa. Sedangkan untuk kristal *hexamine* keluaran *centrifuge* (CF-01) akan diumpankan ke *rotary dryer* (RD-01) dengan menggunakan *conveyor*.

### C. Tahap pemurnian dan penyimpanan produk

Pada *rotary dryer* (RD-01) terjadi pengeringan kristal *hexamine* dengan tujuan kemurnian produk yang dihasilkan sebesar 98%. Di *rotary dryer* udara kering yang diperoleh dari udara bebas tersebut sudah melewati tahap penyaringan (*filter*) dengan blower serta dinaikkan suhunya menggunakan *heater* (HE-03) sebelum memasuki *rotary dryer*. Kristal *hexamine* dari *rotary dryer* kemudian akan ditampung pada *silo* (SL-01) sebagai produk yang sudah siap untuk didistribusikan.

Diagram Alir Proses Produksi *Hexamine*

## BAB III

### SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

#### 3.1. Spesifikasi bahan baku dan produk

##### A. Spesifikasi bahan baku

###### ➤ Formaldehida

Rumus kimia	: $\text{CH}_2\text{O}$ <sup>2)</sup>
Berat molekul	: 30,03 g/mol <sup>2)</sup>
Wujud	: Cair <sup>4)</sup>
Warna	: Tidak berwarna <sup>4)</sup>
Kadar formaldehida	: 37% <sup>4)</sup>
Kadar air (impurities)	: 62% <sup>4)</sup>
Kadar methanol	: 1% <sup>4)</sup>
Densitas (-20°C)	: 815 kg/m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>
Titik leleh	: -92°C <sup>2)</sup>
Titik didih	: 101°C <sup>2)</sup>
Entalpi pembentukan standar ( $\Delta H^\circ_f$ )	: -115,90 kJ/mol <sup>1)</sup>
Energi Gibbs ( $\Delta G$ )	: -109,91 kJ/mol <sup>1)</sup>
Kelarutan dalam air	: 95% pada 20°C <sup>5)</sup>
Sifat bahan	: Mudah terbakar, toksisitas, karsinogenik, korosif <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (Chemical Properties Handbook, 1999)

<sup>2)</sup> (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2017)

<sup>3)</sup> (Concordia University Environmental Health and Safety)

<sup>4)</sup> (PT Dover Chemical)

<sup>5)</sup> (Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2011)

➤ Amonia

Rumus kimia	: $\text{NH}_3$ <sup>3)</sup>
Berat molekul	: 17,03 gr/mol <sup>3)</sup>
Wujud	: Gas <sup>2)</sup>
Warna	: Tidak berwarna <sup>2)</sup>
Kadar amonia	: $\pm 99,5\%$ (w/w) <sup>2)</sup>
Kadar air	: 0,5% <sup>2)</sup>
Rumus kimia	: $\text{NH}_3$ <sup>3)</sup>
Berat molekul	: 17,03 gr/mol <sup>3)</sup>
Densitas (0°C)	: 0,888 g/L <sup>3)</sup>
Titik leleh	: -77,65°C <sup>2)</sup>
Titik didih	: -33,33°C <sup>2)</sup>
Entalpi pembentukan standar ( $\Delta H^\circ_f$ )	: -45,90 kJ/mol <sup>1)</sup>
Energi Gibbs ( $\Delta G$ )	: -16,40 kJ/mol <sup>1)</sup>
Kelarutan dalam air	: 89,9% pada 0°C <sup>3)</sup> 7,4% pada 96°C <sup>3)</sup>
Sifat bahan	: Gas dibawah tekanan, korosif, beracun bagi organisme perairan, berbahaya, dapat menyebabkan

iritasi <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (Chemical Properties Handbook, 1999)

<sup>2)</sup> (MSDS PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, 2018)

<sup>3)</sup> (Perry's Chemical Engineers Handbook, 2008)

## B. Spesifikasi Produk

### ➤ *Hexamethylenetetramine*

Rumus kimia	: $C_6H_{12}N_4$ <sup>1)</sup>
Berat molekul	: 140,19 g/mol <sup>1)</sup>
Wujud	: Padat (Kristal) <sup>3)</sup>
Warna	: Tidak berwarna <sup>3)</sup>
Kadar <i>hexamine</i>	: 98% <sup>3)</sup>
Kadar air	: 2% <sup>3)</sup>
Densitas (20°C)	: 1.331 kg/m <sup>3</sup> <sup>2)</sup>
Titik leleh	: 250°C <sup>1)</sup>
Titik didih	: 280°C <sup>2)</sup>
Entalpi pembentukan standar ( $\Delta H^{\circ}f$ )	: 199,16 kJ/mol <sup>5)</sup>
Energi Gibbs ( $\Delta G$ )	: 468,61 kJ/mol <sup>5)</sup>
Kelarutan dalam air	: 874 g/L pada 20°C <sup>2)</sup> 867 g/L pada 25°C <sup>2)</sup> 844 g/L pada 60°C <sup>2)</sup>
Sifat bahan	: Dapat menyebabkan iritasi, mudah Terbakar <sup>4)</sup>



<sup>1)</sup> (CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2017)

<sup>2)</sup> (Hexamethylenetetramine. In: Synthetic Nitrogen Products. Springer)

<sup>3)</sup> (KH Chemicals BV)

<sup>4)</sup> (MSDS PT. Smart-Lab Indonesia, 2019)

<sup>5)</sup> (Riegel's Handbook of Industrial Chemistry)

## **BAB X**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **10.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik *Hexamethylenetetramine* dari Formaldehid dan Amoniak Kapasitas 12.000 Ton/Tahun dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 49,05%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 1,19 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 25,11% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 13,22%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 49,42%, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

#### **10.2 Saran**

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil simpulan bahwa Prarancangan Pabrik *Hexamethylenetetramine* dari Formaldehid dan Amoniak Kapasitas 12.000 Ton/Tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alamdari, A., & Tabkhi, F. (2003). Kinetics of Hexamine Crystallization in Industrial Scale. *Chemical Engineering and Processing No. 43*, 803-810.
- Brown, G. G. (1957). *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Carter, C. B., & Coxe, A. E. (1924). *United States of America Patent No. 1499001*.
- Chase, Jr., M. W., Davies, C. A., Downey, Jr., J. R., Frurip, D. J., McDonald, R. A., & Syverud, A. N. (1985). *JANAF Thermochemical Tables 3rd Ed.* Michigan.
- Couper, J. R., Penney, W. R., Fair, J. R., & Walas, S. M. (2005). *Chemical Process Equipment : Selection and Design 2nd Ed.* Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Eller, K., Henkes, E., Rossbacher, R., & Hoke, H. (2011). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH.
- Evans, Jr., F. L. (1980). *Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants 2nd Ed.* Texas: Gulf Publishing Company.
- Fogler, H. S. (2022). *Elements of Chemical Reaction Engineering*. London: Pearson Education Limited.
- Froment, G. F., & Bischoff, K. B. (1979). *Chemical Reactor Analysis and Design*. Cana: John Wiley & Sons, Inc.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations* (3rd ed.). New Jersey: Prentice-Hall International, Inc.
- Green, D. W., & Southard, M. Z. (2019). *Perry's Chemical Engineers' Handbook 9th Ed.* New York: Mc-Graw Hill, Inc.
- Haynes, W. M., Lide, D. R., & Bruno, T. J. (2017). *Handbook of Chemistry and Physics 97th Ed.* Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.
- Hermann, H., Pelster, G., & Degener, K. (1993). *United States of America Patent No. 5187274*.

- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. (2012). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering* (8th ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Husnah, Priantoro, E., & Aida, S. N. (2007). Kualitas Perairan Sungai Musi Bagian Hilir Ditinjau dari Karakteristik Fisika-Kimia dan Struktur Komunitas Makrozoobenthos. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia Vol. 13 No.3*, 167-177.
- Joshi, M. V. (1976). *Process Equipment Design*. New Delhi: The Macmillan Company of India Limited.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). *Rencana Strategis Kementerian Perindustrian 2020-2024*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2022). *Rencana Strategis Revisi Kementerian Perindustrian Tahun 2020-2024*. Jakarta: Kementerian Perindustrian Republik Indonesia.
- Kent, J. A. (1992). *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry 9th Ed*. New York: Springer Science+Business Media.
- Kent, J. A. (2007). *Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*. New York: Springer Science+Business Media, LLC.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Kotz, J. C., Treichel, P. M., Townsend, J. R., & Treichel, D. A. (2019). *Chemistry & Chemical Reactivity 10th Ed*. Boston: Cengage Learning.
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering 3th Ed*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering 5th Ed*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.
- Meissner, F., Schwiedessen, E., & Othmer, D. F. (1954). Continuous Production of Hexamethylenetetramine. *Industrial and Engineering Chemistry Vol. 46, No.4*, 724-727.
- Metcalf, L., Eddy, H. P., & Tchobanoglous, G. (1991). *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, and Reuse Vol. 4*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th Ed*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th Ed.* New York: McGraw-Hill.
- Powell, S. T. (1954). *Water Conditioning for Industry 1st Ed.* New York: McGraw-Hill, Inc.
- Rase, H. F. (1977). *Chemical Reactor Design for Process Plants Vol. 1 : Principles and Techniques.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., & Backhurst, J. R. (2002). *Coulson and Richardson's Chemical Engineering : Particle Technology and Separation Processes Vol. 2 5th Ed.* Oxford: Butterworth - Heinemann.
- Schideler, P., & Davis, P. C. (1948). *United States of America Patent No. 2449040.*
- Sinnot, R. K. (2005). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design Vol. 6 4th Ed.* Oxford: Elsevier Butterworth - Heinemann.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (6th ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Treybal, R. E. (1980). *Mass-Transfer Operations.* New York: McGraw-Hill, Inc.
- Trisnaini, I., Kumalasari, T. N., & Utama, F. (2018). Identifikasi Habitat Fisik Sungai dan Keberagaman Biotilik Sebagai Indikator Pencemaran Air Sungai Musi Kota Palembang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia No. 17 Vol.1*, 1-8.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide To Chemical Engineering Process Design and Economics.* Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Vanderzee, C. E., & King, D. L. (1972). The Enthalpies of Solution and Formation of Ammonia. *Journal of Chemical Thermodynamics*, 675-683.
- Vilbrandt, F. C., & Dryden, E. C. (1959). *Chemical Engineering Plant Design 4th Ed.* Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.
- White, E. T. (1967). Enthalpy Composition Diagram and Other Data for the Hexamine-Water System. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 285-289.
- Windusari, Y., & Sari, P. N. (2015). Kualitas Perairan Sungai Musi di Kota Palembang Sumatera Selatan. *Bioeksperimen Vol. 1 No. 1*, 1-55.
- Wood, R. K., & Stevens, W. F. (1964). Reaction Kinetics of The Formation of Hexamethylenetetramine. *Journal of Applied Chemistry*, 325-330.

Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.