

**PRA RENCANA  
PABRIK PEMBUATAN AMONIA DARI HIDROGEN DAN  
NITROGEN DENGAN KAPASITAS 51.000 TON/TAHUN**



**SKRIPSI**

**Dibuat untuk Memenuhi Syarat Mengikuti Ujian Sarjana  
Pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh:**

**Prismawinda Aniva Nuthqi      03031382025095**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN AMONIA DARI HIDROGEN DAN  
NITROGEN DENGAN KAPASITAS 51.000 TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana**

Oleh:

**Prismawinda Aniva Nuthqi 03031382025095**

**Palembang, November 2024**

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM**  
**NIP. 197808222002122001**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Kimia**



**Dr. Tutu Indah Sari, S.T., M.T., IPM**  
**NIP. 197502012000122001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Amonia dari Hidrogen dan Nitrogen dengan Kapasitas 51.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan Prismawinda Aniva Nuthqi di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024.

Palembang, November 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA  
NIP. 195805141984031001

(  )

2. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197505112000122001

(  )

3. Ir. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng  
NIP. 199001272023212033

(  )

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM  
NIP. 197501012000122001

29 November 2024  
Dosen Pembimbing



Dr. Fitri Hadrah, S.T., M.T., IPM  
NIP. 197808222002122001

## HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

**Prismawinda Aniva Nuthqi**

**03031382025095**

Judul:

### **“PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN AMONIA DARI HIDROGEN DAN NITROGEN DENGAN KAPASITAS 51.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024.

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA  
NIP. 195805141984031001

(  )

2. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197505112000122001

(  )

3. Ir. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng  
NIP. 199001272023212033

(  )

Palembang, 23 November 2024  
Mengetahui,  
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Fitri Hadiani, S.T., M.T., IPM  
NIP. 197808222002122001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Prismawinda Aniva Nuthqi  
NIM : 03031382025095  
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Amonia dari Hidrogen Nitrogen dengan Kapasitas 51.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, November 2024



**Prismawinda Aniva Nuthqi**  
NIM. 03031382025095

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Amonia dari Hidrogen dan Nitrogen dengan Kapasitas 51.000 Ton/Tahun”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehat dan kekuatan sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Kedua orangtua yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S. T., M. T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Fitri Hadiyah, S. T., M. T., IPM selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan dosen pembimbing tugas akhir.
5. Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Palembang, November 2024

Penulis

## RINGKASAN

### PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN AMONIA DARI HIDROGEN DAN NITROGEN DENGAN KAPASITAS 51.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, November 2024

Prismawinda Aniva Nuthqi

Dibimbing oleh Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

## ABSTRAK

Pabrik pembuatan amonia dengan kapasitas produksi 51.000 ton/tahun direncanakan akan berdiri pada tahun 2030 di Jalan Swadaya, Kab. Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah. Amonia dibuat dari bahan baku gas hidrogen dan nitrogen dengan katalis besi (III) oksida atau Ferri oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) berdasarkan *patent* US11873227B2. Pabrik ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line* dan *staff* yang dipimpin oleh seorang direktur dan karyawan sebanyak 147 orang. Pabrik amonia layak untuk didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi:

|   |                    |
|---|--------------------|
| ❖ <i>Total Capital Investment (TCI)</i> | = US\$ 26.887.312  |
| ❖ Total Penjualan                       | = US\$ 117.300.000 |
| ❖ <i>Total Production Cost (TPC)</i>    | = US\$ 90.435.136  |
| ❖ <i>Annual Cash Flow</i>               | = US\$ 20.700.192  |
| ❖ <i>Pay Out Time</i>                   | = 1,41 tahun       |
| ❖ <i>Rate of Return on Investment</i>   | = 68,49%           |
| ❖ <i>Discounted Cash Flow-ROR</i>       | = 77%              |
| ❖ <i>Break Even Point (BEP)</i>         | = 33%              |
| ❖ <i>Service Life</i>                   | = 11 tahun         |

**Kata Kunci:** Amonia, Ferri oksida, Perseroan Terbatas

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                   | i    |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....                  | ii   |
| <b>HALAMAN PERBAIKAN</b> .....                    | iii  |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....        | iv   |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                       | v    |
| <b>RINGKASAN</b> .....                            | vi   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                           | vii  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                         | x    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                        | xi   |
| <b>DAFTAR NOTASI</b> .....                        | xii  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....                      | xvii |
| <b>BAB I PEMBAHASAN UMUM</b> .....                | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                         | 1    |
| 1.2. Sejarah dan Perkembangan .....               | 2    |
| 1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan .....           | 2    |
| 1.4. Sifat Fisika dan Kimia.....                  | 4    |
| <b>BAB II PERENCANAAN PABRIK</b> .....            | 8    |
| 2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....                 | 8    |
| 2.2. Pemilihan Kapasitas .....                    | 9    |
| 2.3. Pemilihan Bahan Baku .....                   | 11   |
| 2.4. Pemilihan Proses .....                       | 12   |
| 2.5. Uraian Proses .....                          | 12   |
| <b>BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK</b> ..... | 15   |
| 3.1. Lokasi Pabrik .....                          | 15   |
| 3.2. Luas Area Pabrik.....                        | 19   |
| 3.3. Tata Letak Pabrik .....                      | 19   |
| <b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b> ..... | 22   |
| 4.1. Neraca Massa .....                           | 22   |
| 4.2. Neraca Panas .....                           | 23   |
| <b>BAB V UTILITAS</b> .....                       | 28   |
| 5.1. Unit Pengadaan Steam .....                   | 28   |
| 5.2. Unit Pengadaan Air .....                     | 29   |



|  |                                       |           |
|--|---------------------------------------|-----------|
| 5.3.                                       | Unit Pengadaan Listrik.....           | 33        |
| 5.4.                                       | Unit Pengadaan Bahan Bakar.....       | 35        |
| 5.5.                                       | Unit Pengadaan Refrigerant .....      | 36        |
| <b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>  |                                       | <b>38</b> |
| 6.1.                                       | Tangki (T-01) .....                   | 38        |
| 6.2.                                       | Kompresor (K-01).....                 | 39        |
| 6.3.                                       | Kompresor (K-02).....                 | 40        |
| 6.4.                                       | Expander (EXP-01).....                | 41        |
| 6.5.                                       | Furnace (F-01).....                   | 42        |
| 6.6.                                       | Reaktor (R-01) .....                  | 43        |
| 6.7.                                       | Cooler (C-01) .....                   | 44        |
| 6.8.                                       | Cooler (C-02) .....                   | 45        |
| 6.9.                                       | Cooler (C-03) .....                   | 46        |
| 6.10.                                      | Cooler (C-04) .....                   | 47        |
| 6.11.                                      | Pressure Swing Adsorber (PSA-01)..... | 48        |
| 6.12.                                      | Chiller (CH-01) .....                 | 49        |
| 6.13.                                      | Chiller (CH-02) .....                 | 50        |
| 6.14.                                      | Chiller (CH-03) .....                 | 51        |
| 6.15.                                      | Chiller (CH-04) .....                 | 52        |
| 6.16.                                      | Pompa (P-01) .....                    | 53        |
| <b>BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN .....</b> |                                       | <b>54</b> |
| 7.1.                                       | Bentuk Perusahaan .....               | 54        |
| 7.2.                                       | Struktur Organisasi .....             | 55        |
| 7.3.                                       | Tugas dan Wewenang .....              | 56        |
| 7.4.                                       | Kepegawaian .....                     | 58        |
| 7.5.                                       | Sistem Kerja .....                    | 58        |
| 7.6.                                       | Penentuan Jumlah Pekerja.....         | 60        |
| <b>BAB VIII ANALISA EKONOMI.....</b>       |                                       | <b>66</b> |
| 8.1.                                       | Keuntungan (Profitabilitas).....      | 67        |
| 8.2.                                       | Lama Waktu Pengembalian Modal .....   | 67        |
| 8.3.                                       | Total Modal Akhir.....                | 69        |
| 8.4.                                       | Laju Pengembalian Modal .....         | 70        |
| 8.5.                                       | <i>Break Even Point</i> (BEP).....    | 71        |
| <b>BAB IX KESIMPULAN .....</b>             |                                       | <b>74</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                       | <b>75</b>  |
| <b>LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA .....</b>  | <b>79</b>  |
| <b>LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS .....</b> | <b>86</b>  |
| <b>LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>   | <b>128</b> |
| <b>LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI .....</b>      | <b>237</b> |
| <b>LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS.....</b>               | <b>250</b> |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabel 1.1.</b> Perbandingan Proses Pembuatan Amonia.....           | 4  |
| <b>Tabel 2.1.</b> Data Impor Amonia.....                              | 9  |
| <b>Tabel 2.2.</b> Pertumbuhan Impor Amonia di Indonesia .....         | 10 |
| <b>Tabel 3.1.</b> Perincian Luas Area Pembangunan Pabrik Amonia ..... | 19 |
| <b>Tabel 5.1.</b> Kebutuhan Utilitas Pabrik Amonia .....              | 28 |
| <b>Tabel 5.2.</b> Kebutuhan Air Pendingin.....                        | 29 |
| <b>Tabel 5.3.</b> Kebutuhan Listrik.....                              | 33 |
| <b>Tabel 5.4.</b> Kebutuhan Listrik yang Disuplai Generator .....     | 35 |
| <b>Tabel 5.5.</b> Kebutuhan Bahan Bakar Pabrik Amonia .....           | 36 |
| <b>Tabel 5.6.</b> Kebutuhan Refrigerant Amonia .....                  | 36 |
| <b>Tabel 5.7.</b> Kebutuhan Refrigerant Propana .....                 | 36 |
| <b>Tabel 7.1.</b> Pembagian Jam Kerja Sistem Shift .....              | 60 |
| <b>Tabel 7.2.</b> Rincian Jumlah Pekerja .....                        | 62 |
| <b>Tabel 8.1.</b> Rincian Angsuran Pengembalian Modal.....            | 68 |
| <b>Tabel 8.2.</b> Kesimpulan Analisa Ekonomi.....                     | 73 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 2.1.</b> Grafik Impor Amonia Tahun 2017-2023.....           | 9  |
| <b>Gambar 3.1.</b> Lokasi Pendirian Pabrik Amonia.....                | 15 |
| <b>Gambar 3.2.</b> Jarak Pabrik Amonia dan PT Samator.....            | 16 |
| <b>Gambar 3.3.</b> Lokasi Pabrik Amonia di Pinggir Sungai Sampit..... | 18 |
| <b>Gambar 3.4.</b> Tata Letak Pabrik Amonia.....                      | 20 |
| <b>Gambar 3.5.</b> Tata Letak Alat Pabrik Amonia.....                 | 21 |
| <b>Gambar 7.1.</b> Kebutuhan Tenaga Kerja pada Industri Kimia .....   | 61 |
| <b>Gambar 7.2.</b> Struktur Organisasi Pabrik Amonia.....             | 65 |

## DAFTAR NOTASI

### 1. KOMPRESOR

|        |                                |
|--------|--------------------------------|
| $k$    | = $C_v/C_p$                    |
| $n$    | = Jumlah <i>stage</i>          |
| $P_i$  | = Tekanan <i>input</i> , atm   |
| $P_o$  | = Tekanan <i>output</i> , atm  |
| $P$    | = <i>Power</i> kompresor, HP   |
| $Q$    | = Kapasitas kompresor          |
| $T_i$  | = Temperatur <i>input</i> , K  |
| $T_o$  | = Temperatur <i>output</i> , K |
| $\eta$ | = Efisiensi                    |
| $V$    | = Volumetrik gas masuk         |
| $\rho$ | = Densitas, $\text{kg/m}^3$    |
| $R_c$  | = Rasio kompresi               |
| $W$    | = Laju alir massa, lb/jam      |

### 2. HEAT EXCHANGER (FURNACE, COOLER, CHILLER)

|            |  |
|------------|--|
| $A$        | = Area perpindahan panas, $\text{ft}^2$                                    |
| $a_a, a_p$ | = Area alir pada <i>annulus, inner pipe</i> , $\text{ft}^2$                |
| $a''$      | = <i>External surface</i> per 1 in, $\text{ft}^2/\text{in ft}$             |
| $B$        | = <i>Baffle spacing</i> , in   |
| $C$        | = <i>Clearance</i> antar <i>tube</i> , in                                  |
| $C_p$      | = <i>Spesific head</i> , kJ/kg   |
| $D$        | = Diameter dalam <i>tube</i> , in  |
| $D_e$      | = Diameter ekuivalen, in   |
| $D_B$      | = Diameter <i>bundle</i> , in  |
| $D_S$      | = Diameter <i>shell</i> , in   |
| $f$        | = Faktor friksi, $\text{ft}^2/\text{in}^2$                                 |
| $g$        | = Percepatan gravitasi   |
| $h$        | = Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu/hr.ft}^2.\text{°F}$              |
| $h_i, h_o$ | = Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar <i>tube</i> |
| $j_H$      | = Faktor perpindahan panas   |

|              |  |
|--------------|--|
| $k$          | = Konduktivitas termal, Btu/hr.ft <sup>2</sup> . °F  |
| $L$          | = Panjang <i>tube</i> pipa, ft   |
| LMTD         | = <i>Logaritmic Mean Temperature Difference</i> , °F   |
| $N$          | = Jumlah <i>baffle</i>   |
| $N_t$        | = Jumlah <i>tube</i>   |
| $P_T$        | = <i>Tube pitch</i> , in   |
| $\Delta P_T$ | = <i>Return drop shell</i> , psi   |
| $\Delta P_S$ | = Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , psi  |
| $\Delta P_t$ | = Penurunan tekanan pada <i>tube</i> , psi   |
| ID           | = <i>Inside diameter</i> , ft  |
| OD           | = <i>Outside diameter</i> , ft   |
| $Q$          | = Beban panas <i>heat exchanger</i> , Btu/hr   |
| $R_d$        | = <i>Dirt factor</i> , hr.ft <sup>2</sup> .°F/Btu  |
| $Re$         | = Bilangan Reynold, <i>dimensionless</i>   |
| $s$          | = <i>Specific gravity</i>  |
| $T_1, T_2$   | = Temperatur fluida panas <i>inlet, outlet</i> , °F  |
| $t_1, t_2$   | = Temperatur fluida dingin <i>inlet, outlet</i> , °F   |
| $T_a$        | = Temperatur rata-rata fluida panas, °F  |
| $t_a$        | = Temperatur rata-rata fluida dingin, °F   |
| $\Delta t$   | = Beda temperatur yang sebenarnya, °F  |
| $U$          | = Koefisien perpindahan panas  |
| $U_c, U_o$   | = <i>Clean overall coefficient, design overall coefficient</i> , Btu.hr.ft <sup>2</sup> . °F |
| $V$          | = Kecepatan alir, ft/s   |
| $W$          | = Kecepatan alir massa fluida panas, lb/hr   |
| $w$          | = Kecepatan alir massa fluida dingin, lb/hr  |
| $\mu$        | = Viskositas, Cp   |

### 3. REAKTOR

|           |   |
|-----------|---|
| $C_{A_0}$ | = Konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m <sup>3</sup> |
| $C$       | = Tebal korosi yang diizinkan, atm                  |
| $D_K$     | = Diameter katalis, cm                              |
| $F_{A_0}$ | = Laju alir umpan, kmol/jam                         |

|              |   |
|--------------|---|
| $g$          | = Gravitasi                                 |
| $H_r$        | = Tinggi reaktor, m                         |
| $ID$         | = <i>Inside</i> diameter, m                 |
| $k$          | = Konstanta laju reaksi, $m^3/kmol.s$       |
| $N$          | = Bilangan avogadro                         |
| $OD$         | = <i>Outside</i> diameter, m                |
| $P$          | = Tekanan, atm                              |
| $Q_f$        | = <i>Volumetric flowrate</i> umpan          |
| $Re$         | = Bilangan Reynold                          |
| $S$          | = <i>Working Stress</i> yang diizinkan, atm |
| $T$          | = Temperatur, °C                            |
| $t$          | = Tebal dinding <i>vessel</i>               |
| $V_K$        | = Volume katalis, $m^3$                     |
| $V_t$        | = Volume reaktor, $m^3$                     |
| $W_k$        | = Berat katalis                             |
| $X$          | = Konversi                                  |
| $\rho$       | = Densitas                                  |
| $\epsilon_A$ | = <i>Voidage</i>                            |
| $\phi$       | = Porositas katalis                         |
| $\sigma$     | = Diameter partikel, cm                     |

#### 4. PRESSURE SWING ADSORBER

|              |                                    |
|--------------|------------------------------------|
| $D$          | = Diameter, m                      |
| $H$          | = Tinggi, m                        |
| $\epsilon$   | = Porositas                        |
| $\epsilon_p$ | = Porositas luar                   |
| $f$          | = <i>Fanning friction factor</i>   |
| $Re$         | = Bilangan Reynold, tak berdimensi |
| $x$          | = Diameter adsorben, m             |
| $V_v$        | = Volume <i>vessel</i> , $m^3$     |
| $t$          | = Siklus, s                        |
| $u$          | = Kecepatan superfisial, m/s       |

$Q_A$  = Laju alir adsorbat,  $m^3/s$   
 $Q_f$  = Laju alir total,  $m^3/s$   
 $\rho_p$  = Densitas partikel kering,  $kg/m^3$   
 $\rho_f$  = Densitas fluida,  $kg/m^3$   
 $m$  = Jumlah adsorben minimal, kg  
 $V_{p, wet}$  = Volume *packing* basah,  $m^3$   
 $V_{p, dry}$  = Volume *packing* kering,  $m^3$   
 $V_{total}$  = Volume total,  $m^3$   
 $-\Delta P/h$  = *Pressure drop over bed*

## 5. POMPA

$A$  = Area alir pipa,  $in^2$   
 $BHP$  = *Brake house power*, HP  
 $D_i opt$  = Diameter optimum pipa, in  
 $E$  = *Equivalent roughness*  
 $f$  = Faktor friksi  
 $FK$  = Faktor keamanan  
 $g_c$  = Percepatan gravitasi,  $ft/s^2$   
 $Gpm$  = Gallon per menit  
 $H_{f suc}$  = Total friksi pada *suction*, ft  
 $H_{f dis}$  = Total friksi pada *discharge*, ft  
 $H_{fs}$  = *Skin friction loss*  
 $H_{fsuc}$  = *Total suction friction loss*  
 $H_{fc}$  = *Sudden contraction friction loss*, ft.lbm/lbf  
 $H_{fe}$  = *Sudden expansion friction loss*, ft.lbm/lbf  
 $ID$  = *Inside diameter* pipa, in  
 $K_c, K_s$  = *Contraction, expansion loss contraction*, ft  
 $L$  = Panjang pipa, ft  
 $L_e$  = Panjang ekuivalen pipa, ft  
 $NPSH$  = *Net positive suction head*, ft  
 $N_{Re}$  = *Reynold number, dimension less*  
 $P_{vp}$  = Tekanan uap, psi



- $Q_f$  = Laju alir *volumetric*  
 $V_f$  = Kapasitas pompa, lb/jam  
 $V$  = Kecepatan alir  
 $\Delta P$  = Beda tekanan, psi

## 6. TANGKI

- $C$  = Tebal korosi yang diizinkan  
 $D$  = Diameter tangki, m  
 $E$  = Efisiensi penyambungan, *dimensionless*  
 $h$  = Tinggi *head*, m  
 $H$  = Tinggi silinder, m  
 $H_T$  = Tinggi total tangki, m  
 $P$  = Tekanan operasi, atm  
 $S$  = *Working stress* yang diizinkan, psia  
 $T$  = Temperatur operasi, K  
 $t$  = Lama persediaan/penyimpanan, hari  
 $V_h$  = Volume *ellipsoidal head*,  $m^3$   
 $V_s$  = Volume silinder,  $m^3$   
 $V_t$  = Volume tangki,  $m^3$   
 $W$  = Laju alir massa, kg/jam  
 $\rho$  = Densitas,  $kg/m^3$

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA.....   | 79  |
| LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS ..... | 86  |
| LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN.....    | 128 |
| LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI .....      | 237 |
| LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS.....               | 250 |

# BAB I

## PEMBAHASAN UMUM

### 1.1. Latar Belakang

Amonia merupakan senyawa kimia dengan rumus  $\text{NH}_3$  yang memiliki bau tajam dan sangat khas. Amonia adalah senyawa kimia yang memiliki peran krusial dalam berbagai aplikasi, mulai dari pembuatan pupuk, bahan baku industri kimia, hingga digunakan sebagai *refrigeration system* (Ariq dkk, 2023). Dalam industri kimia, amonia juga berperan penting sebagai bahan baku dalam produksi pupuk, bahan peledak, dan berbagai produk kimia. Pendirian pabrik amonia menjadi sangat penting mengingat perannya dalam menunjang sektor pertanian melalui penyediaan pupuk yang dibutuhkan untuk meningkatkan hasil panen. Selain itu, kebutuhan amonia dalam industri manufaktur dan pengolahan kimia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi global yang mendorong perluasan kapasitas produksi.

Proses produksi amonia yang paling umum adalah melalui proses Haber-Bosch, yang menggabungkan nitrogen dari udara dan hidrogen yang diperoleh dari gas alam, dengan menggunakan katalis besi pada tekanan dan suhu tinggi. Produk amonia yang dihasilkan kemudian didinginkan dan diubah menjadi bentuk cair untuk memudahkan proses penyimpanan dan transportasi. Proses ini memerlukan pengawasan yang ketat dan pengendalian parameter operasional untuk memastikan efisiensi dan keselamatan, serta untuk meminimalkan dampak lingkungan.

Menurut Badan Pusat Statistik tahun 2023, kebutuhan amonia yang diimpor Indonesia dari berbagai negara mencapai 38.319,54 ton per tahun. Kebutuhan ini terutama berasal dari sektor pertanian yang memerlukan pupuk, serta berbagai industri kimia lainnya seperti tekstil, plastik, dan farmasi yang bergantung pada pasokan amonia. Meningkatnya permintaan menunjukkan perlunya pembangunan pabrik amonia tambahan di dalam negeri. Dengan memproduksi amonia secara lokal, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan impor, menjamin ketersediaan pasokan, dan memperkuat sektor industri dan pertanian. Pabrik amonia berkapasitas besar di Indonesia akan menjamin stabilitas pasokan, mendukung upaya pemerintah untuk memperkuat industri nasional, menciptakan lapangan kerja, dan mendorong pertumbuhan ekonomi. Hal ini menjadi langkah dasar untuk mencapai kemandirian industri kimia nasional dan memperkuat daya saing di pasar internasional.

## 1.2. Sejarah dan Perkembangan

Amonia pertama kali ditemukan pada abad ke-13 oleh ahli kimia Albertus Magnus dalam bentuk *sal-ammoniac*. Pada abad ke-15, Basilius Valentinus berhasil memperoleh amonia melalui proses alkali dari *sal-ammoniac*. Selanjutnya, amonia diperoleh dengan cara mendistilasi kuku dan tanduk sapi. Pada tahun 1774, Joseph Priestley, seorang ilmuwan Inggris berhasil mengisolasi amonia dalam bentuk gas. Puncak perkembangan terjadi pada 1909, ketika seorang ahli kimia Jerman yaitu Fritz Haber mensintesis amonia menggunakan metode modern di Laboratorium *Badische Anilin und Soda Fabric* (BASF) di Karlsruhe, Jerman. Penelitian Haber kemudian dikembangkan oleh Carl Bosch dan tim untuk menghasilkan proses sintesis amonia secara industri menggunakan hidrogen, nitrogen, dan katalis besi.

Pabrik pertama yang menggunakan proses Haber-Bosch didirikan tahun 1913 di Oppau, Jerman. Selama Perang Dunia I, produksi amonia menjadi vital untuk pembuatan bahan peledak, namun setelah perang beralih ke produksi pupuk nitrogen. Peningkatan produksi pupuk amonia signifikan meningkatkan hasil pertanian, yang memainkan peran penting dalam revolusi hijau pada pertengahan abad ke-20. Dengan adanya pupuk nitrogen yang murah dan mudah diakses, produktivitas pertanian meningkat drastis, membantu memenuhi kebutuhan pangan dunia yang terus bertambah. Sejak pengenalan proses Haber-Bosch, banyak inovasi yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya produksi.

## 1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan

### 1.3.1. Proses Haber – Bosch

Proses Haber-Bosch ditemukan pada tahun 1909 oleh Fritz Haber, seorang ahli kimia dari Jerman dan dikembangkan lebih lanjut untuk keperluan industri oleh Carl Bosch. Pembuatan amonia menurut proses Haber-Bosch dilakukan dengan mengubah hidrokarbon menjadi hidrogen, kemudian 3 mol hidrogen direaksikan dengan 1 mol nitrogen. Kandungan sulfur pada hidrokarbon dihilangkan karena dapat mengganggu proses reaksi sebagai antikatalis. Reaksi pembuatan amonia bersifat eksoterm dan memanfaatkan prinsip kesetimbangan dengan kondisi suhu rendah dan tekanan tinggi. Reaksi sintesis amonia dapat dilihat pada Persamaan 1.1.



Kesetimbangan reaksi saat pembentukan  $\text{NH}_3$  lebih baik pada suhu rendah, tetapi hal ini memperlambat laju reaksi. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan laju reaksi adalah dengan menggunakan katalis. Meskipun katalis tidak mempengaruhi kesetimbangan, tetapi katalis dapat mempercepat reaksi. Suhu yang digunakan dalam proses Haber-Bosch adalah  $500^\circ\text{C}$  dan tekanan 150-350 atm. Katalis yang digunakan adalah besi dengan campuran  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$ .

### 1.3.2. Proses Kellogg

Pembuatan amonia dengan proses Kellogg menggunakan bahan baku dari gas alam, yang terdiri dari hidrogen dan nitrogen. Gas ini diubah menjadi gas sintesis menggunakan *reformer*. Pembuatan amonia berlangsung di dalam *converter*, di mana hidrogen dan nitrogen bereaksi pada tekanan 140-150  $\text{kg/cm}^2$  dan suhu  $400\text{-}500^\circ\text{C}$ . Terdapat dua jenis reaktor amonia untuk proses ini, yaitu *Kellog horizontal ammonia converter* dan *Kellog vertical quench converter*. Gas sintesis dari gas alam mengandung *impurities* berupa  $\text{CH}_4$  dan Ar. Setelah proses purifikasi, gas sintesis ( $\text{H}_2$  dan  $\text{N}_2$ ) direaksikan di *converter* sehingga menghasilkan amonia.

### 1.3.3. Proses Haldor-Topsoe

Perbedaan dalam proses Haldor-Topsoe adalah aliran umpan yang masuk ke *converter* secara radial. Jenis aliran ini memiliki keunggulan berupa *pressure drop* yang lebih kecil dibandingkan dengan proses sebelumnya yang menggunakan aliran aksial. Namun, penerapan aliran radial seperti ini membuat desain *converter* menjadi lebih rumit karena kemungkinan terjadinya *by-pass* di *bed*. Reaksi sintesis dalam proses ini dilakukan pada tekanan 100-200 atm dan temperatur  $400\text{-}500^\circ\text{C}$ . Proses Haldor-Topsoe ini menggunakan *cesium* sebagai *promoter*, dengan konversi maksimum yang dapat dicapai yaitu sekitar  $\pm 30\%$ .

Perbandingan proses pembuatan amonia disajikan pada Tabel 1.1.

**Tabel 1.1.** Perbandingan Proses Pembuatan Amonia

| <b>Parameter</b>        | <b>Haber-Bosch</b>  | <b>Kellog</b>  | <b>Haldor-Topsoe</b>           |
|-------------------------|---|----------------|--------------------------------|
| Tekanan Operasi (atm)   | 200-300   | 100-200        | 100-200                        |
| Temperatur Operasi (°C) | 500   | 400-500        | 400-500                        |
| Sumber Nitrogen         | Gas Hasil Pembakaran  | Udara Langsung | Udara Langsung                 |
| Sumber Hidrogen         | Kokas atau Gas Alam   | Gas Alam       | Gas Alam atau Nafta            |
| Katalis                 | Osmium, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, CaO, dan K <sub>2</sub> O | Ni             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |

(Sumber : Appl Max, 1999)

#### 1.4. Sifat Fisika dan Kimia

Sifat fisika dan kimia suatu senyawa sangat penting untuk merancang proses produksi yang efisien dan aman. Informasi mengenai sifat fisika dan kimia untuk pabrik pembuatan amonia adalah sebagai berikut:

##### 1.4.1. Hidrogen

###### 1.4.1.1.Sifat Fisika

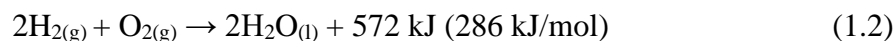
Berdasarkan buku Yaws *Chemical Properties Handbook* (1999), hidrogen memiliki sifat fisika sebagai berikut:

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Rumus molekul     | : H <sub>2</sub>        |
| Berat molekul     | : 2,016 g/mol           |
| Titik didih       | : 20,39 K (-252,76°C)   |
| Titik leleh       | : 13,95 K (-259,2°C)    |
| Temperatur kritis | : 33,18 K (-239,97°C)   |
| Tekanan kritis    | : 13,13 bar (12,96 atm) |
| Fase              | : Gas                   |

###### 1.4.1.2.Sifat Kimia

Menurut Sitohang dkk (2017), hidrogen memiliki sifat kimia sebagai berikut:

- 1) Hidrogen merupakan gas yang sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% di udara bebas. Hidrogen terbakar menurut persamaan 1.2.



#### 1.4.2. Nitrogen

##### 1.4.2.1.Sifat Fisika

Berdasarkan buku Yaws *Chemical Properties Handbook* (1999), nitrogen memiliki sifat fisika sebagai berikut:

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Rumus molekul     | : N <sub>2</sub>        |
| Berat molekul     | : 28,013 g/mol          |
| Titik didih       | : 77,35 K (-195,8°C)    |
| Titik leleh       | : 63,15 K (-210°C)      |
| Temperatur kritis | : 126,10 K (-147,05°C)  |
| Tekanan kritis    | : 33,94 bar (33,50 atm) |
| Fase              | : Gas                   |

##### 1.4.2.2.Sifat Kimia

Menurut Karlina dkk (2012), nitrogen memiliki sifat kimia sebagai berikut:

- 1) Nitrogen membentuk ikatan kovalen rangkap tiga karena adanya tiga pasang elektron yang berikatan, membuat molekul nitrogen sangat stabil dan kuat di udara.

#### 1.4.3. Ferri Oksida

##### 1.4.3.1.Sifat Fisika

Berdasarkan buku Yaws *Chemical Properties Handbook* (1999), besi memiliki sifat fisika sebagai berikut:

|               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| Rumus molekul | : Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Berat molekul | : 159,69 g/mol                   |
| Densitas      | : 5,242 gr/cm <sup>3</sup>       |
| Fase          | : <i>Solid</i>                   |

##### 1.4.3.2.Sifat Kimia

Menurut Indriawati dkk (2019), ferri oksida memiliki sifat kimia sebagai berikut:

- 1) Ferri oksida bersifat paramagnetik yang dapat tertarik secara lemah oleh magnet.

#### 1.4.4. Magnesium Klorida

##### 1.4.4.1. Sifat Fisika

Berdasarkan buku Yaws *Chemical Properties Handbook* (1999), magnesium klorida memiliki sifat fisika sebagai berikut:

|                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| Rumus molekul     | : $\text{MgCl}_2$         |
| Berat molekul     | : 95,210 g/mol            |
| Titik didih       | : 1.691,15 K (1.418°C)    |
| Titik lebur       | : 985,15 K (712°C)        |
| Temperatur kritis | : 2.754,32 K (2.481,17°C) |
| Tekanan kritis    | : 227,12 bar (224,15 atm) |
| Fase              | : <i>Solid</i>            |

##### 1.4.4.1. Sifat Kimia

Menurut Wildayati dan Zainul (2019), magnesium klorida memiliki sifat kimia sebagai berikut:

- 1) Berwarna putih, mudah terbakar, dan larut dalam air, etanol, alkohol

#### 1.4.5. Propana

##### 1.4.5.1. Sifat Fisika

Berdasarkan buku Yaws *Chemical Properties Handbook* (1999), propana memiliki sifat fisika sebagai berikut:

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| Rumus molekul     | : $\text{C}_3\text{H}_8$   |
| Berat molekul     | : 44,096 g/mol             |
| Titik didih       | : 231,11 K (-42,04°C)      |
| Titik leleh       | : 85,46 K (-187,69°C)      |
| Temperatur kritis | : 369,82 K (96,67°C)       |
| Tekanan kritis    | : 42,49 bar (41,93437 atm) |
| Fase              | : Gas                      |

##### 1.4.5.2. Sifat Kimia

Menurut Cahyani (2023), propana memiliki sifat kimia sebagai berikut:

- 1) Propana tidak larut dalam air karena polaritas molekul propana yang rendah, tetapi mudah larut dalam pelarut nonpolar seperti heksana.



#### 1.4.6. Amonia

##### 1.4.6.1.Sifat Fisika

Berdasarkan buku *Yaws Chemical Properties Handbook* (1999), amonia memiliki sifat fisika sebagai berikut:

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Rumus molekul     | : NH <sub>3</sub>       |
| Berat molekul     | : 17,031 g/mol          |
| Titik didih       | : 239,72 K (-33,43°C)   |
| Titik leleh       | : 195,41 K (-77,74°C)   |
| Temperatur kritis | : 405,65 K (132,5°C)    |
| Tekanan kritis    | : 112,78 K (111,31 atm) |

##### 1.4.6.2.Sifat Kimia

Menurut Justiani (2021), amonia memiliki sifat kimia sebagai berikut:

- 1) Amonia merupakan gas tidak berwarna dengan aroma tajam dan dapat terdeteksi pada konsentrasi rendah sekitar 1-5 ppm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Appl, M. 1999. *Ammonia Principles and Industrial Practice*. Wiley-VCH. New York.
- Ariq, O. A., Nurrahmadhanti, B. W., Kurniawansyah, F., dan Mahfud. 2023. Pra-Desain Pabrik Amonia Menggunakan Bahan Baku Batubara melalui Proses Gasifikasi. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 12(3): 2301-9271.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2024. *Cuaca Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah*. Diakses melalui: <https://www.bmkg.go.id> pada tanggal 6 Agustus 2024.
- Badan Pusat Statistik. 2024. *Tabel Dinamis Ekspor Impor*. Diakses melalui: <https://www.bps.go.id> pada tanggal 18 Juli 2024.
- Brownell, L. E., dan Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. Wiley Eastern, Ltd. New Delhi.
- Cahyani, S. D. 2023. *Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Propilen dari Dehidrogenasi Propana dengan Kapasitas 60.000 Ton/Tahun*. [SKRIPSI]. Jambi (IDN). Universitas Jambi.
- Choirunnisa, A., dan Mustain, A. 2022. Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun. *Distilat*. Vol. 8(1): 86-93.
- Dalimunthe, N., Azhari, A. K., Wahyudi, I. H., Aziz, M. T., Cintana, A. D., Khairunisah., Syahfitri, M., dan Adila, P. 2023. Penerapan Perjanjian Kerja Dalam Perusahaan Terhadap Hak Ketenagakerjaan. *JURA : Jurnal Riset Akuntansi*. Vol. 1(3): 83-106.
- Fatria., Trisnaliani, L., dan Harianto, A. 2018. Produksi Gas Nitrogen dengan Metode *Pressure Swing Adsorption* (PSA) Menggunakan Carbon Molecular Sieve (CMS) Sebagai Penyerap Oksigen. *Jurnal Kinetika*. Vol. 9(1): 45-50.
- Felder, R. M., dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*. John Wiley and Sons. New York.
- Google Maps. 2024. Peta *Kabupaten Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah*. Diakses melalui: <https://www.google.com/maps> pada tanggal 6 Agustus 2024.

- Hariansyah, M. R., Hermanto, K., Wijaya, E., dan Hudaningsih, N. 2022. Analisis Beban Kerja Mental pada Seksi Operasi Utilitas PT Semen Indonesia (PERSERO) TBK Pabrik Tuban Menggunakan Metode NASA-TLX. *Jurnal Industri & Teknologi Samawa*. Vol. 3(1): 39-48.
- Indriawati, A., Wana, W., Rafsanjani, R. A., dan Afriani, F. 2019. Pengaruh Variasi pH Terhadap Karakteristik Oksida-Besi Berbasis Limbah Besi Terkorosi. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*. Pangkalpinang, 3-4 September 2019: Hal. 243-244.
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Universitas Sriwijaya. Inderalaya.
- Justiani, A. A. 2021. Hubungan Paparan Gas Amonia Terhadap Gangguan Pernapasan pada Pekerja Peternakan Ayam. *Jurnal Medika Utama*. Vol. 2(2): 750-756.
- Karliana, I., Sumijanto., Kusumastuti, R., dan Sriyono. 2012. Karakterisasi Proses Penangkapan Pengotor N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada Karbon Aktif Sistem Pemurnian RGTT200K. *Jurnal Sigma Epsilon*. Vol. 16(4): 118-131.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mc Graw Hill International Edition: Auckland.
- Kudadiri, C., Aulandari, O., Gultom, S. B., Daeli, R. T. P. 2024. Manfaat Gas Hidrogen dan Cara Memproduksinya. *Jurnal Ilmiah Kajian Multidisipliner*. Vol. 8(5): 515-520.
- Matche. 2024. *Duta Harga Peralatan*. (Online). <https://www.matche.com>. (Diakses pada tanggal 23 Oktober 2024).
- Maulana, M. R. dan Lusiani, C. E. 2023. Studi Literatur: Penetapan Lokasi Pabrik pada Pra-Rancangan Pabrik VCO di Beberapa Alternatif Lokasi Jawa Timur Menggunakan Metode *Factor Rating*. *Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 9(1):93-105.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., dan Harriot, P. 2009. *Unit Operations of Chemical Engineering 7<sup>th</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Pereira, C. C., Ma'sum, Z., dan Poerwanto, H. 2017. Pengaruh Suhu Air akan Penambahan Cooling Tower dan Tanpa Penambahan Cooling Tower pada Proses Destilasi Uap Daun Sereh Dapur Terhadap Kemurnian Minyak

- Hasil Destilasi. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Teknik Kimia*. Vol. 1(1):1-6.
- Perry, Robert, H. 1999. *Chemical Engineering Handbook, 7<sup>th</sup> ed.*, Mc Graw Hill Company, New York, USA.
- Perry, Robert, H. 2008. *Chemical Engineering Handbook, 8<sup>th</sup> ed.*, Mc Graw Hill Company, New York, USA.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 4<sup>th</sup> ed.*, Mc Graw Hill Book Co., Inc., New York.
- Sitohang, L., Hakim, L., dan Hasfita, F. 2017. Pemanfaatan Limbah Kaleng Minuman Aluminium untuk Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Katalis Kalium Hidroksida (KOH). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. Vol. 6(1): 55-67.
- Sitorus, M. P. A., Dongoran, P. M., dan Hura, F. W. 2024. Manfaat Gas Hidrogen dan Senyawanya. *Jurnal Pendidikan Ilmiah*. Vol. 8(5): 92-98.
- Sriyono dan Alimah, S. 2013. Kajian Penentuan Jarak Aman Instalasi Produksi Hidrogen dengan Reaktor RGTT200K. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*. Vol. 15(1): 36-45.
- Syakdani, A., Tahdid., Pratiwi, E. D., dan Husni. 2018. Analisa Eksergi pada Produksi Nitrogen Sistem Pressure Swing Adsorption (PSA). Vol. 9(2): 1-6.
- Towler, G. dan Ray, S. 2013. *Chemical Engineering Design, 2<sup>nd</sup> Edition*. Elsevier Ltd., United Kingdom.
- Ulrich, G. 1954. *Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003 Tentang Perseroan Terbatas. (Online). (Diakses pada Tanggal 9 September 2024).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas. (Online). (Diakses pada Tanggal 9 September 2024).
- US Patent No. 11873227B2. *Integrated Apparatus for Producing Ammonia*. (Diakses pada tanggal 11 Juli 2024).
- Vilbrandt, F. C. dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design 4<sup>th</sup> Edition*. Mc Graw Hill Book Company. Tokyo.

- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann. USA.
- Wignjosoebroto, S. 2020. *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan*. Guna Widya. Surabaya.
- Wijianto, A., Zaira, J. Y., dan Jaenudin, J. 2014. Pengaruh Pemanfaatan Hidrogen Terhadap Kenaikan Temperatur *Engine* pada Sistem Bahan Bakar *Dual Fuel* Mesin *Compressed Ignition*. *Symposium Nasional Teknologi Terapan*. M105-M110.
- Wildayati dan Zainul, R. 2019. Magnesium Klorida ( $MgCl_2$ ): Karakteristik dan Dinamika Molekuler pada  $MgCl_2$ .
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Handbooks. New York.