

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *GREEN AMMONIA*
DENGAN METODE *ALKALINE WATER ELECTROLYSIS* (AWE)
KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

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

Oleh:

Muhammad Aldo Faisal 03031182126010

Ahmad Haris Al-Faiz 03031282126070

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *GREEN AMMONIA* DENGAN
METODE *ALKALINE WATER ELECTROLYSIS* (AWE) KAPASITAS 45.000
TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Oleh:

Muhammad Aldo Faisal

NIM. 03031182126010

Ahmad Haris Al-Faiz

NIM. 03031282126070

Indralaya, Juli 2025



Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T

NIP. 198110312005011003

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia



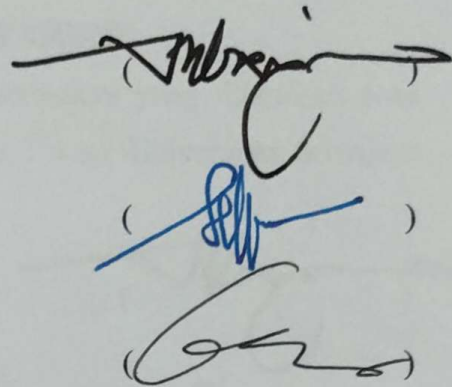
Dr. Ir. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM.

NIP. 197501012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “ Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Green Ammonia* dengan Metode *Alkaline Water Electrolysis* (AWE) Kapasitas 45.000 Ton/Tahun ” telah dipertahankan oleh Muhammad Aldo Faisal dan Ahmad Haris Al-Faiz dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 24 Juni 2025. Dengan ini menyatakan bahwa

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D
NIP. 196009091987031004
2. Dr. Selpiana, S.T, M.T
NIP. 197809192003122001
3. Dr. Ir. Leily Nurul Komariah, S.T, M.T
NIP. 197503261999032002



Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

Indralaya, Juli 2025

Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Ir. David Bahrin, S.T, M.T
NIP. 198110312005011003

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

MUHAMMAD ALDO FAISAL

03031182126010

AHMAD HARIS AL-FAIZ

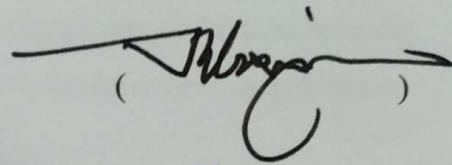
03031282126070

Judul:

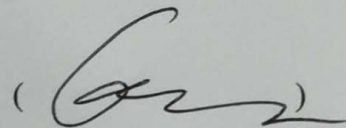
**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *GREEN AMMONIA*
DENGAN METODE *ALKALINE WATER ELECTROLYSIS (AWE)*
KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 24 Juni 2025 oleh Dosen Penguji:

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D
NIP. 196009091987031004
2. Dr. Selpiana, S.T, M.T
NIP. 197809192003122001
3. Dr. Ir. Leily Nurul Komariah, S.T, M.T
NIP. 197503261999032002

()

()

()

Indralaya, Juli 2025

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

()

Dr. Ir. David Bahrin, S.T, M.T

NIP. 198110312005011003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Aldo Faisal
NIM : 03031182126010
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Green Ammonia* dengan
Metode *Alkaline Water Electrolysis* (AWE) Kapasitas
45.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Ahmad Haris Al-Faiz** 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 sistem yang berlaku.

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

Indralaya, 10 Juli 2025



Muhammad Aldo Faisal

NIM. 03031182126010



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Haris Al-Faiz
NIM : 03031282126070
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Green Ammonia* dengan
Metode *Alkaline Water Electrolysis* (AWE) Kapasitas
45.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Muhammad Aldo Faisal** 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 sistem yang berlaku.

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

Indralaya, 10 Juli 2025



Ahmad Haris Al-Faiz

NIM. 03031282126070



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Green Ammonia dengan Metode Alkaline Water Electrolysis (AWE) Kapasitas 45.000 Ton/Tahun*” dengan baik dan tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memenuhi kurikulum pada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya. Penyusunan laporan ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis atas kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa tiada henti, menjadi sumber kekuatan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penyusunan laporan ini.
5. Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya atas ilmu dan pengalaman yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
6. Keluarga, sahabat, dan rekan-rekan yang telah memberikan motivasi, bantuan, serta dukungan moral selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh kalangan dan pihak yang membacanya.

Palembang, Juni 2025

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN *GREEN AMMONIA* DENGAN METODE *ALKALINE WATER ELECTROLYSIS* (AWE) KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juni 2025

Muhammad Aldo Faisal dan Ahmad Haris Al-Faiz

Dibimbing oleh Dr. Ir. David Bahrin, S.T, M.T

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik *green ammonia* berkapasitas 45.000 ton/tahun direncanakan beroperasi pada tahun 2029 di Desa Kembangkuning, Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat. Memanfaatkan *green process*, dimana bahan baku hidrogen diproduksi melalui *Alkaline Water Electrolysis* (AWE) dari air, kemudian direaksikan dengan nitrogen dalam reaktor *Haber-Bosch* pada suhu 300°C dan tekanan 50 atm menggunakan katalis Fe_2O_3 , menghasilkan amonia dengan kemurnian 98,61%. Produk samping berupa oksigen yang didapat dari proses elektrolisis. Pabrik berdiri di lahan seluas 3,8 ha, dengan tata letak yang efisien dan memperhatikan keselamatan, lingkungan, serta potensi perluasan. Bahan baku diperoleh dari PDAM Purwakarta (air) dan PT Air Liquide Indonesia (nitrogen), sedangkan oksigen sebagai produk samping akan dijual. Utilitas utama meliputi air, listrik dari PLTA Jatiluhur dan refrigeran. Pabrik berbentuk PT dengan struktur organisasi *Line and Staff*, dan mempekerjakan 120 tenaga kerja. Pabrik pembuatan *Green Ammonia* ini dinyatakan layak untuk didirikan dengan memenuhi parameter ekonomi sebagai berikut:

a) <i>Total Capital Investment</i> (TCI)	=	US\$ 83.060.443,61
b) <i>Total Production Cost</i> (TPC)	=	US\$ 34.810.754,30
c) <i>Total Penjualan</i> <i>Pertahun</i>	=	US\$ 56.173.286,33
d) <i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	=	US\$ 23.416.988,48
e) <i>Rate of Return on Investment</i>	=	20,06%
f) <i>Discounted Cash Flow-ROR</i>	=	25,97%
g) <i>Break Event Point</i> (BEP)	=	37,59%
h) <i>Pay Out Time</i> (POT)	=	3,48 tahun
i) <i>Service Life</i>	=	11 tahun

Kata Kunci: *green ammonia*, *alkaline water electrolysis*, *green hydrogen*, energi terbarukan, proses *Haber-Bosch*, Perseroan Terbatas (PT).

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan Amonia	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik.....	3
1.4. Sifat Fisika dan Kimia.....	3
1.5. Metode Pembuatan Amonia	7
BAB II PERENCANAAN PABRIK.....	12
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	12
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi.....	13
2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	17
2.4. Pemilihan Proses	17
2.5. Uraian Proses	18
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....	22
3.1. Lokasi Pabrik	22
3.2. Tata Letak Pabrik	29
3.3. Luas Area Pabrik.....	31
3.4. Pertimbangan Tata Letak Peralatan	32
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....	34
4.1. Neraca Massa	34

4.2.	Neraca Panas	38
BAB V UTILITAS		47
5.1.	Unit Pengadaan <i>Steam</i>	47
5.2.	Unit Pengadaan Air	48
5.3.	Unit Pengadaan Refrigerant	53
5.4.	Unit Pengadaan Listrik.....	53
5.5.	Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	56
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN		58
6.1.	SILO-01 (S-01)	58
6.2.	TANGKI (T-01).....	59
6.3.	TANGKI-02 (T-02).....	60
6.4.	MIXING TANK-01 (MT-01)	61
6.5.	KNOCK OUT DRUM-01 (KOD-01)	62
6.6.	KNOCK OUT DRUM-02 (KOD-02)	63
6.7.	KNOCK OUT DRUM-03 (KOD-03)	64
6.8.	SCREW CONVEYOR-01 (SC-01).....	65
6.9.	BUCKET ELEVATOR-01 (BE-01)	66
6.10.	POMPA-01 (P-01)	67
6.11.	POMPA-02 (P-02)	68
6.12.	POMPA-03 (P-03)	69
6.13.	POMPA-04 (P-04)	70
6.14.	REAKTOR ELEKTROLISIS-01 (R-01)	71
6.15.	REAKTOR AMMONIA-01 (R-02).....	72
6.16.	REAKTOR AMMONIA-2 (R-03).....	73
6.17.	KOMPRESSOR-01 (K-01).....	74
6.18.	KOMPRESSOR-02 (K-02).....	75
6.19.	KOMPRESSOR-03 (K-03).....	76
6.20.	KOMPRESSOR-04 (K-04).....	77
6.21.	KOMPRESSOR-05 (K-05).....	78
6.22.	KOMPRESSOR-06 (K-06).....	79
6.23.	KOMPRESSOR-07 (K-07).....	80
6.24.	KOMPRESSOR-08 (K-08).....	81

6.25.	KOMPRESSOR-09 (K-09).....	82
6.26.	EXPANDER-01 (EXP-01).....	83
6.27.	COOLER-01 (C-01).....	84
6.28.	COOLER-02 (C-02).....	85
6.29.	COOLER-03 (C-03).....	86
6.30.	COOLER-04 (C-04).....	87
6.31.	COOLER-05 (C-05).....	88
6.32.	COOLER-06 (C-06).....	89
6.33.	COOLER-07 (C-07).....	90
6.34.	COOLER-08 (C-08).....	91
6.35.	PARTIAL CODENSOR-01 (PC-01).....	92
6.36.	PARTIAL CONDENSOR (PC-02)	93
6.37.	PARTIAL CONDENSOR (PC-03)	94
6.38.	HEAT EXCHANGER (HE-01).....	95
6.39.	HEAT EXCHANGER (HE-02).....	96
6.40.	HEATER (H-01)	97
6.41.	HEATER (HE-02).....	98
BAB VII	ORGANISASI PERUSAHAAN.....	99
7.1.	Bentuk Perusahaan	99
7.2.	Struktur Organisasi.....	100
7.3.	Tugas dan Wewenang.....	101
7.4.	Sistem Kerja	103
7.5.	Penentuan Jumlah Karyawan.....	105
BAB VIII	ANALISA EKONOMI.....	110
8.1.	Profitabilitas (Keuntungan).....	111
8.2.	Lama Waktu Pengembalian Modal.....	112
8.3.	Total Modal Akhir.....	114
8.4.	Laju Pengembalian Modal	116
8.5.	Break Even Point (BEP).....	117
BAB IX	KESIMPULAN	121
	DAFTAR PUSTAKA	122
	LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA	128

LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	153
LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN	258
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	435
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS.....	456

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Impor dan Ekspor Amonia di Indonesia.....	14
Tabel 2.2. Proyeksi Perkembangan Impor dan Ekspor Amonia	15
Tabel 2.3. Pertumbuhan Impor dan Ekspor Amonia.....	15
Tabel 2.4. Prediksi Produksi Pabrik Green Ammonia dalam Negeri	16
Tabel 3.1. Rincian Tata Letak Pabrik.....	31
Tabel 3.1. Luas Daerah Komplek Pabrik	32
Tabel 5.1. Kebutuhan Utilitas	47
Tabel 5.2. Peralatan dengan Kebutuhan <i>Steam</i> 330°C.....	48
Tabel 5.3. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	48
Tabel 5.4. Kebutuhan Air Proses	49
Tabel 5.5. Kebutuhan Air Pendingin.....	49
Tabel 5.6. Kebutuhan Air Domestik	52
Tabel 5.7. Total Kebutuhan Air dalam Pabrik	53
Tabel 5.8. Kebutuhan <i>Refrigerant</i>	53
Tabel 5.9. Kebutuhan Listrik Peralatan.....	54
Tabel 5.10. Kebutuhan Listrik Pabrik Green Ammonia	56
Tabel 5.11. Total Kebutuhan Bahan Bakar.....	57
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal Shift Kerja Karyawan	104
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan Pabrik Pembuatan Green Ammonia	106
Tabel 8.1. Tabel Penjualan Produk	111
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Modal.....	113
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	120

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik Proyeksi Perkembangan Impor Amonia	15
Gambar 3.1. Lokasi Pabrik Green Ammonia	22
Gambar 3.2. Peta Jarak lokasi pabrik dan penyedia Nitrogen	24
Gambar 3.3. Peta Jarak lokasi pabrik dan penyedia air	24
Gambar 3.4. Peta Jarak lokasi pabrik dan pelabuhan tanjung priok	25
Gambar 3.5. Peta Jarak lokasi pabrik dan penyedia listrik	25
Gambar 3.6. Peta Jarak lokasi pabrik dan kawasan industri cikampek	26
Gambar 3.7. Peta Jarak lokasi pabrik dan PT Pupuk Kujang	26
Gambar 3.8. Lokasi Target Pemasaran Produk Ammonia.....	27
Gambar 3.9. Tata Letak Pabrik Pembuatan Green Ammonia.....	30
Gambar 3.10. Tata Letak Peralatan Pabrik Pembuatan Green Ammonia.....	33
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	109
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i> (BEP)	119

DAFTAR NOTASI

1. HEAT EXCHANGER (COOLER, HEATER, CONDENSER)

A	= Area perpindahan panas, ft^2
a_s	= <i>Flow area</i> , ft^2
B	= <i>Baffle space</i> , in
BWG	= <i>Birmingham Wire Gage</i>
C	= <i>Clearance</i> antar <i>tube</i> , in
D	= Diameter dalam <i>tube</i> , in
D_e	= Diameter ekivalen, in
D_s	= Diameter dalam <i>shell</i> , in
f	= Faktor friksi, ft^2/in^2
F_T	= Faktor Koreksi
G_s	= Laju alir massa fluida pada <i>shell</i> , $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
G_t	= Laju alir massa fluida pada <i>tube</i> , $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
g	= Percepatan gravitasi, m/s^2
h	= Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
h_i	= Koefisien perpindahan panas fluida pada <i>tube</i> , $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
h_{io}	= Nilai koreksi h_i pada <i>tube</i> , $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
h_o	= Koefisien perpindahan panas fluida pada <i>shell</i> , $\text{Btu}/$ $\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
L	= Panjang <i>tube</i> , pipa, ft
L_s	= Panjang Shell, ft
LMTD	= <i>Logarithmic Mean Temperature Difference</i> , $^\circ\text{F}$
N_t	= Jumlah <i>tube</i>
n	= <i>Pass</i>
ID	= <i>Inside Diameter</i> , ft
OD	= <i>Outside Diameter</i> , ft
P_T	= <i>Tube pitch</i> , in

ΔP_r	= <i>Return loss pressure drop</i> , Psi
ΔP_s	= Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan <i>tube</i> , Psi
ΔP_T	= Penurunan tekanan total pada <i>tube</i> , Psi
Q	= Beban panas pada <i>heat exchanger</i> , Btu/jam
R_d	= <i>Dirt factor</i> , Btu/jam.ft ² .°F
Re	= Bilangan Reynold, <i>dimensionless</i>
SA	= Segment Area, ft ²
Pr	= Bilangan Prandtl, <i>dimensionless</i>
s	= <i>Specific gravity</i>
T ₁ , T ₂	= Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
t ₁ , t ₂	= Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
T _c	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t _c	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U _c , U _d	= <i>Clean overall coefficient, design overall coefficient</i> , Btu/jam.ft ² .°F
W ₁ , W ₂	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
μ	= Viskositas fluida, lb/ jam ft

2. EXPANDER

Q	= Volumetrik Flowrate exit gas, m ³ /s
m	= politropik eksponen
n	= politropik eksponen
k	= Konstanta Kompresi
n	= Jumlah stage
η	= Efisiensi kompressor
P _r	= Tekanan Relatif, bar
P ₁	= Tekanan masuk, bar
P ₂	= Tekanan keluar, bar
T ₁	= Temperatur masuk kompressor, oC
T ₂	= Temperatur keluar kompressor, oC
T _r	= Temperatur Relatif, Kelvin
PW	= Power kompressor, HP

Q	= Kapasitas kompresor, lb/menit
W	= Laju alir massa, lb/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³
W	= Kerja ekspander, J/kg
Z	= faktor kompresibilitas

3. KNOCK OUT DRUM

$A_{\min}$	= Luas permukaan minimum <i>vessel</i> , ft ²
A_{totalmin}	= Luas permukaan total minimum <i>vessel</i> , ft ²
C	= Corrosion maksimum, m
$D_{\min}$	= Diameter minimum <i>vessel</i> , m
D_{total}	= Diameter total <i>vessel</i> , m
E	= <i>Joint efisiensi</i>
H_L	= Tinggi <i>liquid</i> , m
H_s	= Tinggi <i>shell</i> , m
H_t	= Tinggi <i>vessel</i> , m
H_v	= <i>Vapour space</i> minimum, m
OD	= <i>Outside diameter vessel</i> , m
OA	= Tinggi head, m
P	= Tekanan desain, psi
Q_v	= <i>Vapour volumetric flowrate</i> , m ³ /jam
Q_L	= <i>Liquid volumetric flowrate</i> , m ³ /jam
S	= <i>Working stress allowable</i> , psi
t	= tebal dinding <i>vessel</i> , m
$(u_{\max})_{\text{nozzle}}$	= kecepatan maksimum <i>feed</i> pada <i>inlet nozzle</i> , ft/s
$(u_{\min})_{\text{nozzle}}$	= kecepatan minimum <i>feed</i> pada <i>inlet nozzle</i> , ft/s
$U_{v,\max}$	= Kecepatan uap maksimum, m/s
V_H	= Volume <i>head</i> , m ³
V_s	= Volume <i>shell</i> , m ³
V_T	= Volume total, m ³
W_L	= Laju Alir <i>Liquid</i> , kg/jam
W_v	= Laju Alir <i>Vapour</i> , kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

ρ_{vap}	= Densitas <i>vapour</i> , lb/ft ³
ρ_{liq}	= Densitas <i>liquid</i> , lb/ft ³
μ	= Viskositas, cP

4. KOMPRESOR

Q	= Volumetrik Flowrate exit gas, m ³ /s
m	= politropik eksponen
n	= politropik eksponen
k	= Konstanta Kompresi
n	= Jumlah stage
H _p	= Polytropic Head
H _p	= Power absorbed by the gas
R _c	= Rasio Kompresi
η	= Efisiensi kompressor
P _r	= Tekanan Relatif, bar
P _{in}	= Tekanan masuk, atm
P _{out}	= Tekanan keluar, atm
T _{in}	= Temperatur masuk kompressor, °C
T ₁	= Temperatur keluar kompressor, °C
T _r	= Temperatur Relatif, Kelvin
P _w	= Power kompressor, HP
Q	= Kapasitas kompressor, lb/menit
W	= Laju alir massa, lb/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³
W	= Kerja ekspander, J/kg
Z	= faktor kompresibilitas

5. POMPA

a	= Area alir pipa, ft ²
BHP	= Brake Horse Power, HP
D _{opt}	= Diameter optimum pipa, in
E	= Equivalent roughness
f	= fanning factor
gc	= Percepatan gravitasi, ft/s ²

$H_{f\text{ dis}}$	= Total friksi pada discharge, ft
H_{fs}	= Skin friction loss, ft.lbf/lb
$H_{f,\text{suc}}$	= Total suction friction loss, ft.lbf/lb
H_{fc}	= Sudden contraction friction loss, ft.lbf/lb
H_{ff}	= Fitting dan valve friction loss, ft.lbf/lb
H_{suc}	= Suction head, ft.lbf/lb
H_{pa}	= Pressure head, ft.lbf/lb
$H_{\text{p uap}}$	= Vapor Pressure Correction, ft.lbf/lb
H_v	= Velocity head, ft.lbf/lb
ID	= Diameter dalam pipa, in
K_c, K_e	= Konstanta contraction, expansion loss
L	= Panjang pipa, ft
L_e	= Panjang ekuivalen pipa, ft
m_F	= Laju alir massa fluida, kg/jam
MHP	= Motor Horse Power, HP
$NPSH$	= Net Positive Suction Head, ft
$NPSH_r$	= Net Positive Suction Required, ft
N_{Re}	= Reynold number, dimensionless
P_{uap}	= Tekanan uap, psi
Q_f	= Laju alir volumetrik, m ³ /jam
sf	= Safety factor
V_d	= Discharge velcocity, ft/jam
V_f	= Kapasitas pompa, lb/jam
V_s	= Suction velocity, ft/jam
W_s	= Kerja pompa, ft lbf/lb
ΔP	= Pressure drop, atm
ρ	= Densitas fluida, lb/ft ³
μ	= Viskositas fluida, lbf/ft ²
η	= Efisiensi pompa

6. TANGKI

C_c	= Tebal korosi yang diizinkan, m
D	= Diameter tangki, m

E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
He	= Tinggi head, m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
OD	= Outside diameter tangki, m
P	= Tekanan desain, atm
R	= Jari-jari tangki, m
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
t	= Tebal dinding silinder, m
th	= Tebal dinding head, m
T	= Temperatur operasi, K
Ve	= Volume ellipsoidal head, m ³
Vs	= Volume silinder, m ³
Vt	= Volume tangki, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

7. REAKTOR ELEKTROLISIS

V _{cell}	= Tegangan listrik yang dibutuhkan elektrolisis, V
V _{ref}	= Tegangan listrik reversibel (minimum), V
N _f	= Nilai efisiensi faraday, %
i	= Kerapatan arus, A/m ²
T	= Temperatur Operasi, C
F ₁₁ , F ₁₂ , F ₂₁ , F ₂₂	= Konstanta hasil eksperimen
n _{H₂}	= Mol Hidrogen yang terbentuk, mol
F	= Konstanta faraday, s.A /mol (96485,336 s.A/mol)
Z	= Jumlah elektron yang berpindah
t	= Waktu operasi, s
A	= Luas Permukaan Kontak, m ²
I _{teori}	= Nilai arus teori, A
I _{aktual}	= Nilai arus aktual, A
I _{sel}	= Nilai arus tiap sel, A
P _{sel}	= Daya yang dibutuhkan tiap sel, W

P_{sistem}	= Daya yang dibutuhkan tiap sistem, GW
N_{cell}	= Jumlah Sel dibutuhkan, sel
N_{unit}	= Jumlah unit yang dibutuhkan, unit

8. REAKTOR AMMONIA

ρ_{mix}	= Densitas campuran, g/ml
T	= Temperatur, K
P	= Tekanan sistem, P
R	= Tetapan gas ideal, $R = 0.082 \text{ L.atm/mol.K}$
μ_{mix}	= Viskositas campuran, kg/m/s
μ_i	= Viskositas masing-masing bahan, kg/m/s
A, B, C	= Konstanta
$X_{\text{mass}, i}$	= Fraksi massa bahan
γ	= tetapan dengan nilai 0.5
k	= konstanta laju reaksi, $\frac{\text{kmol}}{\text{hm}^3}$
K	= konstanta kesetimbangan reaksi
α_i	= koefisien aktivitas komponen ke-i, atm
r_{NH_3}	= laju reaksi pembentukan NH_3 , $\frac{\text{kmol}}{\text{hm}^3}$
k_0	= pre-exponential factor ($8.849 \times 10^{14} \frac{\text{kmol}}{\text{h.m}^3}$)
E_a	= energi aktivasi ($40765 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$)
R	= konstanta gas ideal ($1.987 \frac{\text{kcal}}{\text{kmol.k}}$)
Q	= Laju alir volume, Q
n_{AO}	= Mol N_2 mula-mula
CBO	= Konsentrasi mula-mula
k	= Konstanta laju reaksi
A	= Faktor frekuensi
E	= Energi pengaktifan
R	= Konstanta gas, $1,987 \text{ kkal/Kmol K}$
H_s	= Tinggi silinder
H_E	= Tinggi Elipsoidal
H_R	= Tinggi Reaktor
V_{HR}	= Volume Head Reaktor

t	= Tebal Dinding Reaktor
ID	= Diameter Dalam,m
OD	= Diameter Luar,m
g	= Gravitasi
DK	= Diameter Katalis, cm
F_{Ao}	= Laju Alir Umpan, kmol/jam

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	128
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	153
LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN.....	258
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	435
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS.....	456

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara besar yang kaya akan sumber daya alam. Indonesia menjadi salah satu negara yang memiliki dampak cukup besar dalam sektor perdagangan global seperti dalam kegiatan ekspor dan impor di kawasan asia. Indonesia sendiri memiliki berbagai komoditas utama dalam perdagangan global seperti minyak sawit dan karet. Saat ini Indonesia masih berstatus negara berkembang sehingga perlu dilakukan upaya peningkatan dalam berbagai sektor. Salah satu sektor yang terus berkembang hingga saat ini adalah sektor pembangunan industri. Sektor ini sangat berdampak pada kemajuan suatu negara dimana sektor ini akan mempengaruhi alur perdagangan antar suatu negara.

Inovasi dalam industri kimia dapat dilakukan melalui pengembangan bahan baku dan produk turunan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Senyawa kimia yang berperan penting dalam industri adalah amonia. Amonia merupakan senyawa anorganik yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam produksi pupuk nitrogen, yang berperan krusial dalam sektor pertanian. Amonia dapat dimanfaatkan dalam industri farmasi, tekstil, dan sistem pendingin, serta sebagai bahan baku dalam sintesis berbagai senyawa kimia lainnya. Pengaplikasian senyawa amonia yang sangat luas, menjadi komponen yang cukup penting dalam mendukung pertumbuhan sektor industri yang menggunakan *green ammonia*.

Kebutuhan amonia di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri pertanian dan manufaktur. Ketergantungan Indonesia pada impor amonia dari beberapa negara, seperti Tiongkok dan Rusia, masih berlanjut hingga saat ini. Ketergantungan yang tinggi terhadap pasokan luar negeri ini berpotensi memengaruhi stabilitas harga serta ketersediaan bahan baku di dalam negeri. Pengembangan industri amonia dapat menjadi salah satu langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan produk impor. Langkah ini dilakukan untuk menjaga stabilitas harga dan ketersediaan produk *green ammonia* guna meningkatkan keberlanjutan industri kimia nasional khususnya di sektor yang menggunakan *green ammonia* sebagai bahan bakunya.

Pembangunan pabrik amonia di Indonesia tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan domestik, tetapi juga berpotensi menarik investasi baru, menciptakan lapangan kerja, serta memberikan dampak positif terhadap perekonomian nasional. Produksi amonia dalam negeri dapat mendukung perkembangan industri hilir, seperti industri pupuk dan farmasi, yang saat ini sedang mengalami pertumbuhan. Pengembangan industri amonia diharapkan dapat menjadi salah satu pilar utama dalam mendorong pertumbuhan ekonomi Indonesia yang berkelanjutan dan berdaya saing global.

Senyawa amonia dengan rumus kimia NH_3 , merupakan senyawa gas tidak berwarna yang memiliki bau khas menyengat. Senyawa ini berperan penting dalam berbagai proses industri, terutama dalam produksi pupuk urea dan amonium nitrat. Sekitar 80% dari total produksi amonia dunia digunakan untuk sektor pertanian, di mana pupuk berbasis amonia berkontribusi dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan mendukung ketahanan pangan global. Amonia juga digunakan sebagai refrigeran dalam sistem pendingin industri serta sebagai bahan baku dalam sintesis berbagai senyawa kimia, seperti asam nitrat dan hidrazin.

Kebutuhan amonia, baik di dalam negeri maupun di pasar global, terus mengalami peningkatan setiap tahun. Secara global, permintaan amonia tumbuh sekitar 3% pertahun (Rouwenhorst et al., 2022). Kebutuhan amonia di Indonesia sebagian besar dipenuhi oleh produsen dalam negeri seperti PT Pupuk Kalimantan Timur dan PT Pupuk Sriwidjaja, meskipun masih ada impor dalam jumlah tertentu. Pendirian pabrik amonia baru di Indonesia menjadi sangat penting untuk memenuhi kebutuhan domestik sekaligus meningkatkan ekspor, yang akan berdampak pada peningkatan devisa negara. Pembangunan pabrik ini juga berperan dalam menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat sekitar serta mendorong pertumbuhan industri-industri hilir yang menggunakan amonia sebagai bahan baku.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Pembuatan Amonia

Pembuatan amonia dimulai pada tahun 1909 dengan pengembangan proses *Haber-Bosch* oleh Fritz Haber dan Carl Bosch, yang memungkinkan produksi amonia dalam skala industri dan mendukung pertumbuhan pertanian global (Rouwenhorst et al., 2022). Pada tahun 1920-an, Luigi Casale memperkenalkan metode berbasis hidrogen dari elektrolisis air, yang berkembang di negara-negara

dengan sumber daya air melimpah seperti Italia dan Norwegia. Hingga tahun 1960-an, metode ini bersaing dengan reformasi uap metana (SMR) yang lebih murah dan efisien, menyebabkan dominasi produksi berbasis gas alam. Teknologi SMR terus berkembang dengan integrasi sistem industri yang lebih efisien, meningkatkan kapasitas produksi dan mengurangi biaya. Seiring dengan ekspansi infrastruktur gas alam, berbagai negara seperti negara di bagian Timur Tengah dan Amerika Utara menjadi pusat utama produksi amonia global.

Pada abad ke-21, meningkatnya kesadaran lingkungan menghidupkan kembali minat terhadap amonia hijau, yang diproduksi dengan energi terbarukan dan berpotensi menjadi bahan bakar serta penyimpan energi dalam transisi menuju emisi nol bersih. Proyek-proyek inovatif kini mengalami pengembangan untuk membuat produksi amonia lebih berkelanjutan, termasuk pemanfaatan teknologi elektrolisis yang lebih efisien. Amonia hijau dapat memainkan peran penting dalam mengurangi emisi karbon dioksida di berbagai sektor industri.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik

Pendirian pabrik amonia bertujuan untuk mengurangi ketergantungan impor, meningkatkan devisa negara, serta mendukung industri hilir seperti industri pupuk, farmasi, dan refrigeran. Pabrik ini dapat membuka peluang investasi dan menciptakan lapangan kerja. Pendirian pabrik amonia ini memiliki manfaat seperti mengatur stabilitas pasokan dan harga amonia di dalam negeri, mengurangi risiko gangguan rantai pasok global dan fluktuasi harga internasional. Pendirian pabrik ini dapat membantu berkembangnya industri baru yang menggunakan amonia sebagai bahan baku. Pabrik ini juga dapat meningkatkan daya saing produk lokal di pasar global dengan menekan biaya produksi sektor hilir.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1) Air

Rumus molekul	: H_2O
Berat molekul	: 18,015 g/mol
Titik didih (pada 1 atm)	: 373,15 K (100°C)
Titik leleh (pada 1 atm),	: 273,15 K (0°C)
Densitas	: 996, 7087 gr/cm ³

Tekanan kritis, (atm)	: 217,7 atm
Temperatur kritis, (°C)	: 374°C
Wujud	: Cair pada suhu dan tekanan standar (STP)
Warna	: Tidak berwarna dalam jumlah kecil, tetapi tampak kebiruan dalam jumlah besar
Bahaya	: Tidak berbahaya dalam kondisi normal, tetapi dapat menyebabkan bahaya seperti tenggelam, erosi, atau menjadi konduktor listrik dalam kondisi tertentu
Kelarutan	: Pelarut universal, dapat melarutkan banyak zat, termasuk garam, gas, dan senyawa organik tertentu

(Pubchem, 2025)

2) Hidrogen

Rumus molekul	: H ₂
Berat molekul	: 2,016 g/mol
Titik didih (pada 1 atm)	: 20,39 K (-252,76°C)
Titik leleh (pada 1 atm),	: 13,95 K (-259,2°C)
Densitas	: 0,083 gr/cm ³
Tekanan kritis, (atm)	: 13,13 bar (12,96 atm)
Temperatur kritis, (°C)	: 33,18 K (-239,97°C)
Wujud	: Gas pada suhu dan tekanan standar (STP)
Warna	: Tidak berwarna
Bahaya	: Mudah terbakar, membentuk campuran eksplosif dengan udara, dan dapat menyebabkan asfiksia dalam konsentrasi tinggi

Kelarutan : Sedikit larut dalam air, lebih larut dalam beberapa logam seperti paladium dan platinum
(Pubchem, 2025)

3) Nitrogen

Rumus molekul : N_2
 Berat molekul : 28,013 g/mol
 Titik didih (pada 1 atm) : $-195,79^{\circ}C$
 Titik leleh (pada 1 atm), : $-210,00^{\circ}C$
 Densitas : $1,160 \text{ gr/cm}^3$
 Tekanan kritis, (atm) : 33,5 atm
 Temperatur kritis, ($^{\circ}C$) : $-146,95^{\circ}C$
 Wujud : Gas pada suhu dan tekanan standar (STP)
 Warna : Tidak berwarna
 Bahaya : Tidak beracun, tetapi dapat menyebabkan asfiksia dalam konsentrasi tinggi karena menggantikan oksigen di udara; dalam bentuk cair, dapat menyebabkan radang dingin jika kontak langsung dengan kulit
 Kelarutan : Sedikit larut dalam air (0,0019 g/100 mL pada $20^{\circ}C$), lebih larut dalam pelarut organik seperti etanol dan benzena
 (Pubchem,2025)

4) Oksigen

Rumus molekul : O_2
 Berat molekul : 31,998 g/mol
 Titik didih (pada 1 atm) : $-182,96^{\circ}C$

Titik leleh (pada 1 atm),	: -218,79°C
Densitas	: 1,429 g/L
Tekanan kritis, (atm)	: 49,8 atm
Temperatur kritis, (°C)	: -118,57°C
Wujud	: Gas pada suhu dan tekanan standar (STP)
Warna	: Tidak berwarna (gas), biru pucat (cair)
Bahaya	: Tidak beracun, tetapi sangat reaktif; mendukung pembakaran sehingga meningkatkan risiko kebakaran dan ledakan; cairan oksigen dapat menyebabkan radang dingin pada kontak langsung dengan kulit
Kelarutan	: Sedikit larut dalam air (0,0043 g/100 mL pada 20°C), lebih larut dalam pelarut organik seperti etanol dan karbon tetraklorida

(Pubchem,2025)

5) Ferri Oksida

Rumus molekul	: Fe_2O_3
Berat molekul	: 159,69 kg/kmol
Densitas	: 5,242 gr/cm ³
Densitas Bulk	: 1,12138 gr/ml
Wujud	: Padat
Warna	: Merah kecoklatan
Titik Nyala	: Tidak mudah terbakar
Titik Lebur	: 1,566°C

(Perry, 2008)

6) Kalium Hidroksida (Katalis)

Rumus molekul	: KOH
Berat molekul	: 56,11 g/mol

Titik didih (pada 1 atm)	: 1.327°C
Titik leleh (pada 1 atm),	: 360°C
Densitas	: 2,12 g/cm ³
Wujud	: Larutan KOH
Konsentrasi	: 25%
Bahaya	: Korosif
Kelarutan	: Terlarut pada suhu 20°C

(Perry, 2008)

7) Ammonia

Rumus molekul	: NH ₃
Berat molekul	: 17,031 g/mol
Titik didih (pada 1 atm)	: 239,72 K (-33,43°C)
Titik leleh (pada 1 atm),	: 195,41 K (-77,74°C)
Temperatur kritis	: 405,65 K (132,5°C)
Tekanan kritis	: 112,78 K (111,31 atm)
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak berwarna

(Perry, 2008)

1.5. Metode Pembuatan Amonia

1.5.1. Proses *Haber-Bosch*

Proses *Haber-Bosch* (HB) merupakan metode utama produksi amonia dengan menggabungkan nitrogen dan hidrogen pada tekanan tinggi (>100 bar) dan suhu sekitar 500°C menggunakan katalis berbasis besi. Metode ini sangat boros energi, dengan konsumsi mencapai 1-2% dari energi global dan menyumbang 1,44% emisi CO₂ dunia (Kyriakou et al., 2020). Hidrogen yang digunakan dalam proses ini umumnya diperoleh melalui reformasi uap-metan (SMR), yang menghasilkan karbon dioksida sebagai produk sampingan, semakin memperburuk dampak lingkungan. Untuk mengatasi kelemahan ini, metode elektrokimia berbasis *Protonic Ceramic Membrane Reactor* (PCMR) dikembangkan sebagai alternatif. PCMR mengintegrasikan produksi hidrogen, pemurnian, dan sintesis amonia dalam satu perangkat, memungkinkan produksi dengan konsumsi energi 75% lebih rendah dan emisi 50% lebih sedikit dibandingkan metode HB konvensional. Teknologi ini

beroperasi pada tekanan atmosfer dan menggunakan katalis VN-Fe yang mampu meningkatkan efisiensi konversi amonia hingga 14%.

1.5.2. Proses Kellogg

Kellogg Advanced Ammonia Process (KAAP) adalah versi yang lebih efisien dari proses *Haber-Bosch* yang dikembangkan oleh M.W. Kellogg Company. Proses ini menggunakan katalis berbasis ruthenium sebagai alternatif dari katalis besi konvensional. Salah satu keunggulan utama KAAP adalah kemampuannya untuk beroperasi pada tekanan sekitar 9.1 MPa, yang lebih rendah dibandingkan dengan proses *Haber-Bosch* konvensional yang mencapai 15–30 MPa (Humphreys et al., 2021). Dengan tekanan yang lebih rendah, biaya kompresi gas dapat ditekan, sehingga meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. KAAP menggunakan katalis berbasis ruthenium yang didukung oleh grafit karbon, yang lebih aktif pada suhu lebih rendah dan memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat dengan tingkat konversi yang lebih tinggi. Katalis ruthenium memiliki harga yang lebih mahal serta produksi *ruthenium* yang terbatas secara global. Hal itu menyebabkan penerapannya terbatas hanya pada pabrik yang ingin melakukan penghematan energi dan menekan biaya operasional pabrik dalam jangka panjang.

1.5.3. Proses Haldor-Topsoe

Proses *Haldor-Topsoe* memiliki aliran umpan yang masuk ke converter secara radial. Jenis aliran ini memiliki keunggulan dalam hal penurunan tekanan (*pressure drop*) yang lebih rendah dibandingkan proses sebelumnya yang menggunakan aliran aksial. Penerapan aliran radial ini menyebabkan desain converter menjadi lebih kompleks karena adanya potensi *by-pass* di dalam bed. Reaksi sintesis dalam proses ini berlangsung pada tekanan antara 100–200 atm dengan suhu operasi berkisar 400–500°C. Dalam proses ini, cesium digunakan sebagai promotor, dengan konversi maksimum yang dapat dicapai sekitar ±30%.

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Produksi Pembuatan *Ammonia*

Aspek	Haber-Bosch (HB)	Kellogg (KAAP)	Haldor-Topsoe
Proses	Reaksi $N_2 + H_2$ pada tekanan tinggi dan suhu tinggi menggunakan katalis besi	Versi efisien HB dengan katalis ruthenium berbasis karbon grafit	Modifikasi HB dengan aliran radial pada reaktor sintesis

Feed Treating	H ₂ dari Steam Methane Reforming (SMR); N ₂ dari udara	Sama seperti HB, H ₂ dari SMR atau sumber eksternal, N ₂ dari udara	H ₂ dan N ₂ dari sumber konvensional, dengan pre-treatment mirip HB
Sintesis	Katalis besi, suhu 300-500°C, tekanan >5 mpa; efisiensi energi rendah	Katalis Ru/carbon, suhu lebih rendah <400 C, efisiensi lebih tinggi	Katalis Fe dengan promoter Cs, dengan 2-4 bed dalam ammonia converter
Separasi	Ammonia dikondensasikan dari gas campuran pada suhu rendah	Sama seperti HB, menggunakan kondensasi untuk memisahkan NH ₃	Kondensasi menggunakan chilled ammonia separation
Purifikasi	Gas tak bereaksi (H ₂ , N ₂) di recycle, memerlukan kompresor	Efisiensi recycle gas lebih baik karena tekanan lebih rendah	Sistem purge canggih dengan recovery H ₂ /N ₂ menggunakan PSA.
Keunggulan	Proses mapan, skala besar, biaya katalis yang rendah	Energi lebih efisien, cocok untuk pabrik hemat energi	Penurunan pressure drop lebih kecil
Kelemahan	Konsumsi energi tinggi, emisi CO ₂ tinggi dari SMR	Katalis mahal dan terbatas; hanya cocok untuk pabrik khusus	Investasi awal tinggi dan sistem kompleks

Pembuatan *Ammonia* dengan metode *Green Energy*, disebut dengan *Green Ammonia*, yang memanfaatkan metode pembuatan *Green Hydrogen*, dimana bahan baku berupa air yang di proses melalui reaktor elektrolisis. Bahan baku air akan diubah menjadi Hidrogen dan Oksigen, dimana hidrogen akan direaksikan dengan nitrogen menjadi amonia, dan oksigen menjadi produk samping. Proses ini lebih bersih dibandingkan dengan proses amonia konvensional yang masih menggunakan

Steam Methane Reforming (SMR) untuk menghasilkan hydrogen, dimana produk sampingnya adalah emisi CO₂ yang bahaya bagi lingkungan.

Tabel 1.2. Perbandingan Proses Elektrolisis

Sistem elektrolisis	Alkaline water electrolysis (AEL)	Polymer electrolysis membrane (PEM)	Solid Oxide Electrolysis (SOEL)
Electrolyte	KOH (liquid)	Polymer (solid)	Keramik (solid)
Nominal Current densiry	0.2 - 0.8 A/cm ²	1-2 A/cm ²	0.3-1 A/cm ²
voltage range (limit)	1.4 - 3 V	1/4 - 2.5 V	1.0 - 1.5 V
Suhu Operasi	70-90°C	50-80°C	700-850°C
Efisiensi	50% - 78%	50% - 83%	89% (laboratorium)
lifetime (stack)	7 tahun	6-10 tahun	2 tahun
Luas area elektroda	10000 – 30000 cm ²	1500 cm ²	200 cm ²
biaya investasi untuk kapasitas 10 MW	USD 500 - 1000/kW	USD 700- 400/kW	-
Applicability	Banyak Digunakan Dalam Industri	Jarang Digunakan Dan Dalam Tahap Pengembangan	Skala Laboratorium
Kekurangan	Memiliki Nilai <i>Current Density</i> Yang Rendah dan Larutan Elektrolit Yang Korosif	Harga Membran Yang Tinggi, dan Harga Katalis Yang Mahal	Elektoda Yang Tidak Stabil, Isu <i>Safety</i> , Terjadinya Delaminasi Pada Elektroda

Keunggulan proses ini meliputi pengurangan konsumsi energi dibandingkan proses Haber-Bosch tradisional untuk skala kecil (<40 ton NH_3 /hari), eliminasi kebutuhan kompresor daur ulang, serta kompatibilitas dengan sumber energi terbarukan seperti elektrolisis hidrogen dari tenaga surya atau angin. Namun, proses ini masih menghadapi beberapa kendala, seperti kebutuhan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan stabilitas katalis dan adsorben, serta efisiensi energi yang masih lebih rendah dibandingkan dengan Haber-Bosch skala besar. Meskipun belum diimplementasikan secara industri, pendekatan ini memiliki potensi sebagai solusi untuk produksi amonia skala kecil. Pendekatan ini memiliki potensi terutama di wilayah terpencil dengan akses terhadap energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. (2025). Data Harga Bahan. (Online). <https://www.alibaba.com/>. (Diakses pada tanggal 3 April 2025)
- Alstad, V. (2021) 'ScienceDirect Design considerations for industrial water electrolyzer plants', 6. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.018>.
- API. (2007) 'Welded Steel Tanks for Oil Storage.'
- API. (2002) 'Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services', Api 617 [Preprint], (API Standard 617, Seventh Edition).
- Aries, R.S. and Newton, R.D. (1955) Chemical Engineering Cost Estimation. Chemonomics. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=6fKmb-KJ5NwC>.
- ASME (2015) 'Rules for Construction of Pressure Vessels.', ASME Boiler and Pressure Vessel Code [Preprint].
- ASME (American Society of Mechanical Engineers) (2015) 'ASME Boiler and Pressure Vessel Code', Asme Boiler and Pressure Vessel Code [Preprint].
- ASME B31.10M (2015) 'Welded and Seamless Wrought Steel Pipe Welded and Seamless Wrought Steel', American Society of Mechanical Engineers, 2004.
- Badan Pusat Statistik. (2024). Badan Pusat Statistik: Ekspor dan Impor. (Online). <https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada tanggal 20 November 2024).
- Biegler, L. T., Grossmann, I. E., & Westerberg, A. W. (1997). Systematic Methods of Chemical Process Design. Prentice Hall: New York USA.
- Brownell, L.E. (1959) 'Process Equipment Design', Chemical Engineering Explained: Basic Concepts for Novices, pp. 324–346. Available at: <https://doi.org/10.1039/bk9781782628613-00324>.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. (1959) Process equipment design: vessel design. John Wiley & Sons.
- Chehade, G., & Dincer, I. (2021). Advanced kinetic modelling and simulation of a new small modular ammonia production unit. Chemical Engineering Science, 236.

- Dogra, S. K. & Dogra, S. (2008). Kimia fisik dan soal-soal. Jakarta: UI Press.
- Dyson, D.C. and Simon, J.M. (1968) 'Kinetic Expression with Diffusion Correction for Ammonia Synthesis on Industrial Catalyst', *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 7(4), pp. 605–610. Available at: <https://doi.org/10.1021/i160028a013>
- Eigenberger, G. (1992). Fixed Bed Reactors. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Vol. B4, pp. 199–238). Wiley-VCH.
- Engineering Tool box. (2025). www.engineeringtoolbox.com (Diakses pada 15 April 2025).
- Fitriyanti, F.P. 2022. Teori Sumber vs Teori Badan Hukum dan Teori Transfromasi Keuangan dalam Menafsirkan Status Hukum Keuangan Badan Usaha Milik Negara. *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*. Vol. 7(8): 10708- 10723.
- Fogler, H.S. (1999) *Elements of chemical reaction engineering*. Pearson Educacion
- Fogler, S.H. (2016). *Elements of Chemical Reaction Engineering Fifth Edition*. Michigan : Prentice Hall
- Geankoplis, C.J., Harsel, A.A., dan Lepek, D.H. (2018). *Transport Processes And Separation Process Principles Fifth Edition*. Pearson Education,inc : Boston.
- Google Maps. (2025). Peta Lokasi Rencana Pendirian Pabrik Green Ammonia. (Online). https://maps.app.goo.gl/vMzDrssqAfDPMfss9?g_st=aw (Diakses pada tanggal 1 Maret 2025)
- Gultekin, S. (2018). A novel approach for the simulation of fixed bed reactors. *Chemical Engineering Research and Design*, 136, 828-836.
- Humphreys, J., Lan, R., & Tao, S. (2021). Development and Recent Progress on Ammonia Synthesis Catalysts for Haber–Bosch Process. In *Advanced Energy and Sustainability Research* (Vol. 2, Issue 1). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/aesr.202000043>
- Indrapradija, I. S. (2018). Kajian Yuridis Terhadap Tanggung Jawab Direksi dan Dewan Komisaris Pada Struktur Organisasi Perseroan Terbatas Yang Bersifat Kolegialitas Menurut Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas. *Jurnal Ilmiah Magister Administrasi*. Vol. 1(1): 11-15.

- Kemendikbud. (2010). Modul 4 Legalitas Bentuk Perusahaan. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan: Jakarta
- Kemenperin. (2021). Kementerian Perindustrian Republik Indonesia: Sektor Manufaktur Tumbuh Agresif di Tengah Tekanan Pandemi. (Online). <https://kemenperin.go.id/artikel/22681/Sektor-Manufaktur-Tumbuh-Agresif-di-Tengah-Tekanan-Pandemi->. (Diakses pada 3 April 2025)
- Kern, D.Q. (1965) 'Procces Heat Transfer', pp. 820–845
- Khademi, M.H. and Sabbaghi, R.S. (2017) 'Comparison between three types of ammonia synthesis reactor configurations in terms of cooling methods', Chemical Engineering Research and Design, 128, pp. 306–317. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2017.10.021>.
- Kumar, S.S. and Lim, H. (2022) 'An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production', Energy Reports, 8, pp. 13793–13813. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.10.127>.
- Kuswiranto. (2016). Keuntungan & Risiko Menjadi Direktur Komisaris dan Pemegang Saham. Jakarta: Penerbit Visimedia.
- Kyriakou, V., Garagounis, I., Vourros, A., Vasileiou, E., & Stoukides, M. (2020). An Electrochemical Haber-Bosch Process. *Joule*, 4(1), 142–158. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.10.006>
- Levenspiel, O. (1999). Chemical Reaction Engineering third Edition. New York : John Wiley and Sons, Inc
- Luyben, W. L. (2007). Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- Mantell, C.L. (1940). Industrial Electrochemistry. McGraw-Hill Book Company: America
- Matche. (2014). Data Harga Peralatan. (Online): <http://www.matche.com>. (Diakses pada 2 Maret 2025)
- Maxwell, C. (2025). Cost Indices. <https://toweringskills.com/financial-analysis/cost-indices/>. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2025).
- Mc. Ketta, J. J. (1987). Encyclopedia of Chemical Prosessing and Design. New York: Marcell Decker Inc.

- Ozturk, M. and Dincer, I. (2021) ‘ScienceDirect A comprehensive review on power-to-gas with hydrogen options for cleaner applications’, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(62), pp. 31511–31522. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.066>.
- Perry, R.H. (1997) *Perry’s Chemical Engineers Handbook*.
- Peters, M.S., Timmerhaus, K.D. and West, R.E. (2003) *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill Education (McGraw-Hill chemical engineering series). Available at: <https://books.google.co.id/books?id=yNZTAAAAMAAJ>.
- Procurement. (2025). Global Pricing Data Platform. (Online). www.procurementresource.com (Diakses tanggal 21 Mei 2025).
- Rouwenhorst, K. H. R., Travis, A. S., & Lefferts, L. (2022). 1921–2021: A Century of Renewable Ammonia Synthesis. *Sustainable Chemistry*, 3(2), 149–171. <https://doi.org/10.3390/suschem3020011>
- Rouwenhorst, K. H. R., Van der Ham, A. G. J., & Lefferts, L. (2021). Beyond Haber-Bosch: The renaissance of the Claude process. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(41), 21566–21579. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.014>
- Sánchez, M. et al. (2020) ‘Aspen Plus model of an alkaline electrolysis system for hydrogen production’, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(7), pp. 3916–3929. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.027>.
- Sebbahi, S. et al. (2022) ‘Materials Today : Proceedings Assessment of the three most developed water electrolysis technologies : Alkaline Water Electrolysis , Proton Exchange Membrane and Solid-Oxide Electrolysis’, *Materials Today: Proceedings*, 66, pp. 140–145. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.264>.
- Sinnott, R. K. (2005). *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design* 4th Edition, Volume 6. Elsevier Butterworth-Heinemann: Oxford.
- Sinnott, R.K. (2005) ‘Coulson & Richardson’s chemical engineering, vol. 6’, *Chemical 304 engineering design*, 4. TEMA (2020) ‘Tubular Exchanger Manufacturers Association’, TEMA Association, pp. 1–11.

- Smith, J. M., dan Van Ness, H. C. (2018). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 8th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Standar Nasional Indonesia. (2011). *Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan (SNI 6197: 2011)*. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta
- Syukran, M., Agustang, A., Idkhan, A. M., dan Rifdan. (2022). Konsep Organisasi dan Pengorganisasian Dalam Perwujudan Kepentingan Manusia. *Jurnal Manajemen Sumber Daya Manusia*. Vol. 9(1): 99-105.
- Treybal, R. (1980). *Mass Transfer Operations 3rd*. Singapore : McGraw Hill International.
- Treybal, R.E. (1980) *MASS-TRANSFER OPERATIONS*. Edited by J.J. Carberry et al. McGraw-Hill, Inc.
- Ulleberg, O. (2003). Modeling of advanced alkaline electrolyzers: a system simulation approach. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol (28) :21-33.
- Ullman, (1989), *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. A-16, Interscience Encyclopedia, Inc., New York.
- Ulrich D, G. (1884) 'A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic'.
- Ulrich, G. D. (1976). *A Guide To Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Son
- Ulrich, G.D. (1984) *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. Wiley. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=pdVTAAAAMAAJ>.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun (2003). *Tentang Ketenaga Kerjaan*. (Online). www.hukumonline.com/pusatdata/detail/13146/undangundang-nomor-13-tahun-2003/. (Diakses pada Tanggal 23 Mei 2025).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. *Tentang Ketenagakerjaan*. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 15 Maret 2025).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007. *Tentang Perseroan Terbatas*. (Online).

- www.hukumonline.com/pusatdata/detail/26940/undangundang-nomor-40-tahun-2007/. (Diakses pada Tanggal 23 Mei 2025).
- Utami, P.D.Y. (2020). Pengaturan Pendaftaran Badan Usaha Bukan Badan Hukum Melalui Sistem Administrasi Badan Usaha. *Jurnal Komunikasi Hukum (JKH)*. Vol. 6(1): 1-19.
- Vilbrandt. (1959). *Chemical Engineering Plant Design*. New York : McGraw Hill Book Company, Inc.
- Walas, S.M. (1988). *Chemical Process Equipment Selection and Design*.
- Walas, S.M. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann : Boston.
- Welty et.al. (2008). *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer*, Fifth Edition. John Wiley & Sons Inc: USA.
- West, A. S. (2019). *Practical Process Design for Chemical Engineers: A Step-by-Step Guide*. Elsevier. ISBN-13: 978-0128243038
- Worstell, J. (2014). *Catalytic Reactors: Design and Operation*. Elsevier.
- Yakdehige Sanath Kumara De Silva (2017) ‘Design of an Alkaline Electrolysis Stack’, *Research Gate*, (February), pp. 1–95. Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14351.12964>.
- Yaws, C.L. (1999) ‘Chemical properties handbook: physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals’, (No Title) [Preprint]