

SKRIPSI

**PRA RANCANGAN PABRIK
PEMBUATAN UREA AMONIUM NITRAT (UAN)
KAPASITAS PRODUKSI 150.000 TON PER TAHUN**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Teknik Kimia

pada

Universitas Sriwijaya



Andhika Prayoga

NIM 03031381821006

Ryan Primary Fernando

NIM 03031381821013

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN UREA AMONIUM NITRAT
(UAN) KAPASITAS PRODUKSI 150.000 TON PER TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

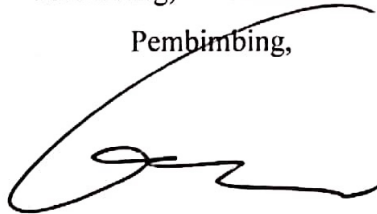
Oleh:

Andhika Prayoga
03031381821006

Ryan Primary Fernando
03031381821013

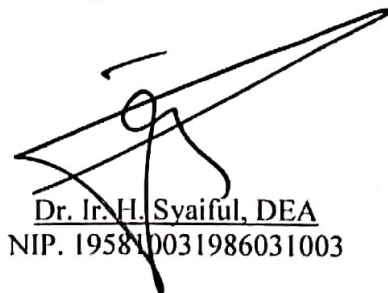
Palembang, Oktober 2020

Pembimbing,



Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.
NIP. 197503261999032002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Urea Amonium Nitrat (UAN) Kapasitas Produksi 150.000 Ton Per Tahun” telah dipertahankan **Andhika Prayoga** dihadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 15 Agustus 2020.

Palembang, September 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. Rosdiana Moeksin, M.T.
NIP. 195608311984032002




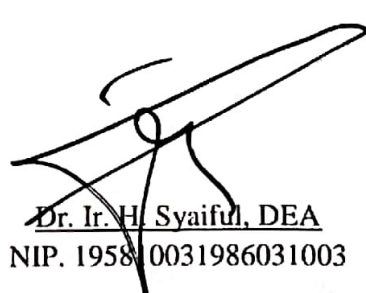
2. Prof. Dr. Ir. H. Sri Haryati, DEA
NIP. 195610241981032001



3. Lia Cundari, S.T., M.T.
NIP. 198412182008122002



 Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Urea Amonium Nitrat (UAN) Kapasitas Produksi 150.000 Ton Per Tahun” telah dipertahankan **Ryan Primary Fernando** dihadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 28 Agustus 2020.

Palembang, September 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. Rosdiana Moeksin, M.T.
NIP. 195608311984032002


()

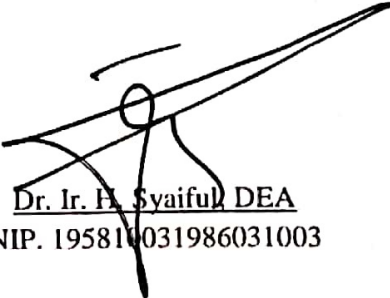
2. Lia Cundari, S.T., M.T.
NIP. 198412182008122002

()

3. Budi Santoso, S.T., M.T.
NIP. 197706052003121004

()

 Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Ir. H. Syaiful DEA
NIP. 195811031986031003

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

Andhika Prayoga

03031381821006

Judul:

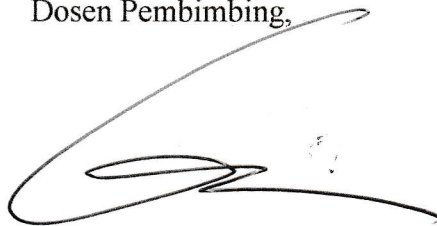
**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN UREA AMONIUM
NITRAT (UAN) KAPASITAS PRODUKSI 150.000 TON PER TAHUN”**

Mahasiswa tersebut di atas telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Agustus 2020.

Tim Penguji,

1. Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.
2. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA
3. Lia Cundari, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing,



Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

NIP. 197503261999032002

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

Ryan Primary Fernando

03031381821013

Judul:

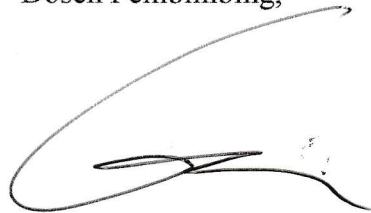
**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN UREA AMONIUM
NITRAT (UAN) KAPASITAS PRODUKSI 150.000 TON PER TAHUN”**

Mahasiswa tersebut di atas telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 28 Agustus 2020.

Tim Penguji,

1. Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.
2. Lia Cundari, S.T., M.T.
3. Budi Santoso, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing,



Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

NIP. 197503261999032002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andhika Prayoga

NIM : 03031381821006

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Urea Amonium Nitrat
(UAN) Kapasitas Produksi 150.000 Ton Per Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Ryan Primary Fernando 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, September 2020



Andhika Prayoga

NIM. 03031381821006



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ryan Primary Fernando
NIM : 03031381821013
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Urea Amonium Nitrat
(UAN) Kapasitas Produksi 150.000 Ton Per Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Andhika Prayoga 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, September 2020



Ryan Primary Fernando

NIM. 03031381821013



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulisan tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Urea Amonium Nitrat (UAN) Kapasitas 150.000 Ton per Tahun” ini dapat diselesaikan. Laporan tugas akhir ini dibuat oleh penulis untuk memenuhi syarat kurikulum Tingkat Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Univesitas Sriwijaya.

Penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik karena banyaknya bantuan, dukungan, serta bimbingan yang diberikan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin berterima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik.
2. Ibu Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Kedua orang tua dan keluarga atas semua dukungan yang begitu besar.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Kimia 2018 yang terlibat dan turut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Palembang, Agustus 2020

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN UREA AMONIUM NITRAT KAPASITAS PRODUKSI 150.000 TON PER TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Agustus 2020

Andhika Prayoga dan Ryan Primary Fernando; Dibimbing oleh Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxv + 110 halaman, 16 tabel, 10 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Pabrik pembuatan Urea Amonium Nitrat (UAN) kapasitas produksi 150.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2024 di kawasan *Kaltim Industrial Estate* (KIE), Kota Bontang, Kalimantan Timur yang diperkirakan memiliki luas area 6 Ha. Proses pembuatan UAN ini mengacu pada US Patent 10,315,925 B2 menggunakan teknologi *Stamicarbon*. Bahan baku dari pembuatan UAN ini adalah karbon dioksida, ammonia dan asam nitrat. Reaktor pertama merupakan *plug flow reactor* yang beroperasi pada temperatur 180°C dan tekanan 140 bar tanpa menggunakan katalis serta reaktor kedua merupakan *bubble column reactor* yang beroperasi pada temperatur 178°C dan tekanan 4 atm tanpa menggunakan katalis. Pabrik ini akan didirikan dengan bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line and Staff*, yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama dengan total karyawan 184 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik UAN ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US\$ 67.092.711,42
- *Total Production Cost (TPC)* = US\$ 57.492.014,39
- Total Penjualan per Tahun (SP) = US\$ 76.711.904,91
- *Annual Cash Flow* = US\$ 20.209.917,78
- *Pay Out Time* = 4,11 tahun
- *Rate of Return* = 21,49%
- *Break Even Point* = 36,42%
- *Service Life* = 10 tahun

Kata Kunci: UAN, Pupuk, *Plug Flow Reactor*, *Bubble Column Reactor*,
Perseroan Terbatas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI ALAT	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxv
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan	2
1.3 Macam-Macam Proses Pembuatan Urea Amonium Nitrat (UAN).....	3
1.3.1 Proses Produksi Urea	3
1.3.1.1 Proses <i>Once-Through</i> dan <i>Partial-Recycle</i>	4
1.3.1.2 Proses <i>Total-Recycle</i>	4
1.3.1.3 Proses <i>Stripping-Based Plants</i>	5
1.3.2 Proses Produksi Amonium Nitrat	7
1.3.2.1 Proses Produksi Amonium Nitrat dari Amonia dan Asam Nitrat	8
1.3.2.2 Proses Produksi Amonium Nitrat dari Konversi Kalsium Nitrat Tetrahidrat	9
1.3.3 Proses Produksi Urea Amonium Nitrat.....	10
1.4 Sifat-Sifat Fisika dan Kimia	10
1.4.1 Bahan Baku	10
1.4.2 Produk	12
BAB II PERENCANAAN PABRIK	13
2.1 Alasan Pendirian Pabrik	13

2.2	Pemilihan Kapasitas Produksi	15
2.3	Pemilihan Bahan Baku	17
2.4	Pemilihan Proses	17
2.5	Uraian Proses	23
	2.5.1 Tahap <i>Pretreatment</i>	23
	2.5.2 Tahap Sintesis	24
	2.5.3 Tahap Separasi dan Purifikasi	25
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK		29
3.1	Lokasi Pabrik	29
	3.1.1 Ketersediaan Bahan Baku	29
	3.1.2 Pemasaran	30
	3.1.3 Transportasi dan Distribusi	30
	3.1.4 Kesesuaian Tata Ruang	30
	3.1.5 Utilitas	32
3.2	Tata Letak Pabrik	32
	3.2.1 Area Proses	32
	3.2.2 Perluasan Pabrik	33
	3.2.3 Keamanan	33
	3.2.4 Luas Area yang Tersedia	33
	3.2.5 Utilitas	33
	3.2.6 Fasilitas Jalan	34
	3.2.7 Area Pengolahan Limbah	34
3.3	Tata Letak Peralatan Pabrik	34
3.4	Perkiraan Luas Tanah yang Dipergunakan	37
BAB IV NERACA MASSA DAN PANAS		38
4.1	Neraca Massa	38
	4.1.1 Neraca Massa <i>CO₂ – Air Mixing Tee</i> (MT-01)	38
	4.1.2 Neraca Massa <i>Hydrogen Removal</i> (HR-01)	38
	4.1.3 Neraca Massa <i>High Pressure Stripper</i> (SR-01)	39
	4.1.4 Neraca Massa <i>High Pressure Carbamate Condenser</i> (CD-01)	39
	4.1.5 Neraca Massa <i>Urea Synthesis Reactor</i> (R-01)	40
	4.1.6 Neraca Massa <i>High Pressure Scrubber</i> (SC-01)	40

4.1.7	Neraca Massa <i>Amonia Heater</i> (H-01)	40
4.1.8	Neraca Massa <i>High Pressure Ejector</i> (EJ-01)	41
4.1.9	Neraca Massa <i>Low Pressure Decomposer</i> (D-01)	41
4.1.10	Neraca Massa <i>Splitter</i> (SP-01)	41
4.1.11	Neraca Massa <i>Carbamate Mixing Tee</i> (MT-03)	42
4.1.12	Neraca Massa <i>Low Pressure Carbamate Condenser</i> (CD-02)	42
4.1.13	Neraca Massa <i>Urea Evaporator</i> (E-01)	42
4.1.14	Neraca Massa <i>Vapour Condenser</i> (CD-03)	42
4.1.15	Neraca Massa <i>Urea Solution Mixing Tee</i> (MT-04)	43
4.1.16	Neraca Massa <i>Ammonia Vaporizer</i> (VP-01)	43
4.1.17	Neraca Massa <i>Ammonia Super Heater</i> (H-02)	43
4.1.18	Neraca Massa <i>Ammonia Mixing Tee</i> (MT-02)	43
4.1.19	Neraca Massa <i>Neutralizer</i> (R-02)	44
4.1.20	Neraca Massa <i>UAN Mixer</i> (M-01)	44
4.1.21	Neraca Massa <i>UAN Cooler</i> (CO-01)	44
4.2	Neraca Panas	46
4.2.1	Neraca Panas <i>CO₂-Air Mixing Tee</i> (MT-01)	46
4.2.2	Neraca Panas <i>Compressor</i> (C-01)	46
4.2.3	Neraca Panas <i>Hydrogen Removal</i> (HR-01)	46
4.2.4	Neraca Panas <i>High Pressure Stripper</i> (SR-01)	47
4.2.5	Neraca Panas <i>High Pressure Carbamate Condenser</i> (CD-01)	47
4.2.6	Neraca Panas <i>Urea Synthesis Reactor</i> (R-01)	47
4.2.7	Neraca Panas <i>High Pressure Scrubber</i> (SC-01)	48
4.2.8	Neraca Panas <i>Ammonia Heater</i> (H-01)	48
4.2.9	Neraca Panas <i>High Pressure Ejector</i> (EJ-01)	48
4.2.10	Neraca Panas <i>Low Pressure Decomposer</i> (D-01)	48
4.2.11	Neraca Panas <i>Splitter</i> (SP-01)	49
4.2.12	Neraca Panas <i>Carbamate Mixing Tee</i> (MT-03)	49
4.2.13	Neraca Panas <i>Low Pressure Carbamate Condenser</i> (CD-02)	49
4.2.14	Neraca Panas <i>Urea Evaporator</i> (E-01)	49
4.2.15	Neraca Panas <i>Vapour Condenser</i> (CD-03)	50
4.2.16	Neraca Panas <i>Urea Solution Mixing Tee</i> (MT-04)	50

4.2.17 Neraca Panas <i>Ammonia Vaporizer</i> (VP-01)	50
4.2.18 Neraca Panas <i>Ammonia Super Heater</i> (H-02)	50
4.2.19 Neraca Panas <i>Ammonia Mixing Tee</i> (MT-02)	51
4.2.20 Neraca Panas <i>Neutralizer</i> (R-02)	51
4.2.21 Neraca Panas <i>UAN Mixer</i> (M-01)	51
4.2.22 Neraca Panas <i>UAN Cooler</i> (CO-01)	51
BAB V UTILITAS	53
5.1 Unit Pengadaan Steam	53
5.1.1 Steam Pemanas	53
5.1.2 Steam Penggerak Turbin	53
5.1.3 Total Kebutuhan Steam	54
5.2 Unit Pengadaan Air	54
5.2.1 Air Proses	54
5.2.2 Air Pendingin	55
5.2.2.1 <i>Evaporation Loss</i>	55
5.2.2.2 <i>Drift Loss</i>	56
5.2.2.3 <i>Blowdown Loss</i>	56
5.2.3 Air Umpan Boiler	57
5.2.4 Air Domestik	57
5.2.5 Total Kebutuhan Air	58
5.3 Unit Pengadaan Listrik	58
5.3.1 Listrik untuk Peralatan Pabrik	58
5.3.2 Listrik untuk Penerangan	59
5.3.3 Total Kebutuhan Listrik	59
5.3.4 Generator	60
5.4 Unit Pengadaan Bahan Bakar	60
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	63
6.1 <i>Air Blower</i> (B-01)	63
6.2 <i>Compressor</i> (C-01)	63
6.3 <i>Hydrogen Removal</i> (HR-01)	64
6.4 <i>Ammonia Storage Tank</i> (T-01)	64
6.5 <i>High Pressure Ammonia Pump</i> (P-01)	65

6.6	<i>Ammonia Heater (H-01)</i>	66
6.7	<i>High Pressure Ejector (EJ-01)</i>	67
6.8	<i>High Pressure Carbamate Condenser (CD-01)</i>	68
6.9	<i>Urea Synthesis Reactor (R-01)</i>	69
6.10	<i>High Pressure Stripper (SR-01)</i>	70
6.11	<i>Low Pressure Decomposer (D-01)</i>	71
6.12	<i>Water Pump (P-04)</i>	72
6.13	<i>Low Pressure Carbamate Condenser (CD-02)</i>	73
6.14	<i>Carbamate Intermediate Tank (T-03)</i>	74
6.15	<i>High Pressure Carbamate Pump (P-05)</i>	75
6.16	<i>High Pressure Scrubber (SC-01)</i>	76
6.17	<i>Urea Intermediate Tank (T-04)</i>	77
6.18	<i>Urea Solution Pump (P-06)</i>	78
6.19	<i>Urea Evaporator (E-01)</i>	79
6.20	<i>Vacuum Ejector (EJ-02)</i>	80
6.21	<i>Vapour Condenser (CD-03)</i>	81
6.22	<i>Low Pressure Ammonia Pump (P-02)</i>	82
6.23	<i>Ammonia Vaporizer (VP-01)</i>	83
6.24	<i>Ammonia Super Heater (H-02)</i>	84
6.25	<i>Nitric Acid Storage Tank (T-02)</i>	85
6.26	<i>Nitric Acid Pump (P-03)</i>	86
6.27	<i>Neutralizer (R-02)</i>	87
6.28	<i>UAN Mixer (M-01)</i>	87
6.29	<i>UAN Cooler (CO-01)</i>	88
6.30	<i>UAN Storage Tank (T-05)</i>	89
	BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	90
7.1	Bentuk Perusahaan	90
7.2	Struktur Organisasi	90
7.3	Sistem Kerja	92
7.4	Penentuan Jumlah Karyawan	93
	7.4.1 <i>Direct Operating Labor</i>	93
	7.4.2 <i>Indirect Operating Labor</i>	95

BAB VIII ANALISA EKONOMI	99
8.1 Keuntungan (Profitabilitas)	100
8.1.1 Total Penjualan Produk	100
8.1.2 Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i> (ACF)	100
8.2 Lama Waktu Pengembalian Modal	101
8.2.1 Lama Pengembalian Modal	102
8.2.2 <i>Pay Out Time</i> (POT)	103
8.3 Total Modal Akhir	103
8.3.1 <i>Net Profit Over Total Life of Project</i> (NPOTLP)	104
8.3.2 <i>Total Capital Sink</i>	105
8.4 Laju Pengembalian Modal	106
8.4.1 <i>Rate of Return Investment</i> (ROR)	106
8.4.2 <i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCF-ROR)	106
8.5 <i>Break Even Point</i> (BEP)	107
8.5.1 Menggunakan Rumus atau Matematis	107
8.5.2 Menggunakan Grafik	108
BAB IX KESIMPULAN	110
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Produksi Pupuk di Indonesia dari Tahun 2014-2019	13
Tabel 2.2 Konsumsi Pupuk di Indonesia dari Tahun 2014-2019	14
Tabel 2.3 Kapasitas Produksi Urea Ammonium Nitrat di Dunia	16
Tabel 2.4 Perbandingan Proses pada Beberapa Paten dalam 2 Tahun Terakhir	19
Tabel 2.5 Perbandingan Teknologi Proses Produksi <i>Stripping-Based Plants</i> ...	23
Tabel 3.1 Perkiraan Luas Tanah	37
Tabel 5.1 Kebutuhan <i>Steam</i> Pemanas	53
Tabel 5.2 Kebutuhan Air Pendingin	55
Tabel 5.3 Kebutuhan Air Domestik	57
Tabel 5.4 Jumlah Kebutuhan Air	58
Tabel 5.5 Kebutuhan Listrik Peralatan	58
Tabel 5.6 Jumlah Kebutuhan Listrik	60
Tabel 7.1 Pembagian Jam Kerja Pekerja <i>Shift</i>	93
Tabel 7.2 Perincian Jumlah Karyawan	96
Tabel 8.1 Angsuran Pengembalian Pinjaman	102
Tabel 8.2 Kesimpulan Analisa Ekonomi	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Trend</i> Konsumsi Pupuk ZA/AS di Indonesia pada Tahun 2014-2019	15
Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Produksi Urea Amonium Nitrat	28
Gambar 3.1 Peta Lokasi Pabrik	31
Gambar 3.2 Tata Letak Pabrik	35
Gambar 3.3 Tata Letak Peralatan	36
Gambar 4.1 Neraca Massa Keseluruhan	45
Gambar 4.2 Neraca Panas Keseluruhan	52
Gambar 7.1 Kebutuhan Jumlah <i>Direct Operating Labor</i>	95
Gambar 7.2 Struktur Organisasi Perusahaan	97
Gambar 8.1 <i>Break Even Point</i>	107

DAFTAR NOTASI ALAT

1. TANGKI

a	= Jari-jari dalam tangki, in
b	= <i>Inside depth of dish</i> , in
C _c , CA	= Tebal korosi yang diizinkan, in/tahun
CR	= <i>Crown radius</i> , in
D	= Diameter dalam tangki, in
E _j	= Efisiensi penyambungan, Dimensionless
G	= Specific gravity, Dimensionless
H	= Tinggi cairan desain, ft
h	= Tinggi <i>head</i> , in
L	= Panjang total tangki, in
P	= Tekanan desain, atm
OA	= Dimensi <i>overall</i> , in
r _i	= Jari-jari dalam tangki, m
S, S _d	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, kPa
T	= Temperatur operasi, K
t	= Tebal <i>shell/head</i> , in
V _h	= Volume <i>ellipsoidal head</i> , m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
V _t	= Volume tangki, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

2. HEATER, COOLER, CONDENSOR, VAPORIZER, EVAPORATOR

A	= Area perpindahan panas, ft ²
D	= Diameter dalam tube, in
D _e	= Diameter ekuivalen, in
f	= Faktor friksi, ft ² /in ²
G _s	= Laju alir massa fluida pada <i>shell</i> , lb/(jam.ft ²)

G_t	= Laju alir massa fluida pada <i>tube</i> , lb/(jam.ft ²)
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/(jam.ft ² .°F)
h_i, h_{i0}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar <i>tube</i>
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/(jam.ft ² .°F)
L	= Panjang <i>tube</i> , ft
$LMTD$	= <i>Logarithmic Mean Temperature Difference</i> , °F
ΔP_a	= Penurunan tekanan pada <i>annulus</i> , psi
ΔP_p	= Penurunan tekanan pada <i>inner pipe</i> , psi
ID	= <i>Inside Diameter</i> , ft
OD	= <i>Outside Diameter</i> , ft
Q	= Beban panas pada <i>heat exchanger</i> , Btu/jam
R_d	= <i>Dirt factor</i> , Btu/(jam.ft ² .°F)
Re	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= <i>Spesific 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	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
W_2	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viskositas, cP
ϕ	= Faktor koreksi viskositas

3. BLOWER

C_p	= kapasitas panas, J/(mol.K)
n	= jumlah tahap kompresi
P	= tekanan <i>discharge</i> total, mm H ₂ O
P_n	= tekanan <i>discharge</i> blower tahap ke-n, atm

P_1 = tekanan *suction* blower tahap pertama, atm
 P_2 = tekanan *discharge* blower, atm
 Q = laju alir volume gas, m³/jam
 T_1 = temperatur *suction* blower, K
 T_2 = temperatur *discharge*, K
 $(T_2 - T_1)$ = *temperature rise*, K

4. COMPRESSOR

P, P_1 = Tekanan operasi, atm
 P_C = Tekanan kritis, atm
 $\text{Power}_{\text{gas}}$ = Daya untuk mengompresi gas, kW
 P_2 = Tekanan keluar tahap 1, atm
 P_3 = Tekanan keluar tahap 2, atm
 P_4 = Tekanan keluar tahap 3, atm
 P_5 = Tekanan keluar tahap 4, atm
 Q = Laju alir pada inlet, kg/m³
 R = Konstanta gas ideal, L.atm/(mol.K)
 T, T_1 = Temperatur operasi, °C atau K
 T_C = Temperatur kritis K
 T_2 = Temperatur keluar tahap 1, °C atau K
 T_3 = Temperatur keluar tahap 2, °C atau K
 T_4 = Temperatur keluar tahap 3, °C atau K
 T_5 = Temperatur keluar tahap 4, °C atau K
 V_m = Volume molar, L/mol
 W = *Isentropic head*, kN-m/kg
 x_i = Fraksi massa komponen i
 Z = Faktor kompresibilitas, Dimensionless
 ρ_1 = Densitas campuran gas, kg/m³
 γ = Koefisien isentropik, Dimensionless
 $\bar{\rho}$ = Densitas campuran gas rata-rata, kg/m³
 ρ_i = Densitas komponen I, kg/m³
 η = Efisiensi isentropik, %

η_{drive} = Efisiensi *drive* seperti VFD (*Variable Frequency Drives*), %
 η_{motor} = Efisiensi motor, %

5. POMPA

A = Area alir pipa, in²
BHP = *Brake Horse Power*, HP
D_{opt} = Diameter optimum pipa, in
f = Faktor friksi
g = Percepatan gravitasi ft/s²
g_c = Konstanta percepatan gravitasi, ft/s²
H_d, H_s = *Head discharge, head suction*, ft
H_f = Total friksi, ft
H_{fc} = Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H_{fe} = Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H_{ff} = Friksi karena *fitting* dan *valve*, ft
H_{fs} = Friksi pada permukaan pipa, ft
ID = Diameter dalam, in
K_c, K_e = Konstanta kompresi, ekspansi, ft
L = Panjang pipa, m
L_e = Panjang ekuivalen pipa, m
MHP = *Motor Horse Power*, HP
NPSH = *Net positive suction head*, ft.lbf/lb
NRE = Bilangan Reynold, Dimensionless
OD = Diameter luar, in
P_{uap} = Tekanan uap, psi
Q_f = Laju alir volumetrik, ft³/s
V_d = *Discharge velocity*, ft/s
V_s = *Suction velocity*, ft/s
 ε = *Equivalent roughness*, ft
 η = Efisiensi pompa, %
 μ = Viskositas, lb/(ft.jam)
 ρ = Densitas, lb/ft³

6. MIXER

CoV_r	= Koefisien variansi, Dimensionless
$D_{i, opt}$	= Diameter dalam optimum, in
D_h	= Diameter dalam <i>static mixer</i> , ft
DSM	= Diameter dalam <i>static mixer</i> , in
f_D	= Faktor friksi Darcy, Dimensionless
Fr'	= Bilangan Froude, Dimensionless
g	= Percepatan gravitasi, ft/s^2
K_i	= Parameter pressure drop, Dimensionless
L	= Panjang pipa / <i>static mixer</i> , ft atau in
Q	= Laju alir volumetrik, gal/menit
q_f	= Laju alir fluida, ft^3/s
V	= Kecepatan outlet <i>static mixer</i> , ft/s
W	= Laju alir massa, lb/jam
ρ	= Densitas fluida, lb/ft^3
μ	= Viskositas, cP
ΔP	= Pressure drop dalam pipa, psi
$\Delta \rho$	= Selisih densitas fluida pada inlet, lb/ft^3

7. SCRUBBER

a	= <i>Mass-transfer surface area per unit volume</i> , m^{-1}
a_h	= <i>Effective specific surface area of packing</i> , m^{-1}
A	= <i>Absorption factor</i> , Dimensionless
C_h	= <i>Hydraulic factor</i> , Dimensionless
C_L	= <i>Mass-transfer factor</i> , Dimensionless
C_P	= <i>Hydraulic factor</i> , Dimensionless
$C_{S_{flood}}$	= <i>C_s coefficient at flooding conditions</i> , m/s
C_V	= <i>Mass-transfer factor</i> , Dimensionless
d_p	= <i>Effective particle diameter</i> , m
D	= Diameter kolom/tower, m
D_G	= <i>Gas-phase diffusion coefficient</i> , m^2/s

D_L	= <i>Liquid-phase diffusion coefficient</i> , m^2/s
F_p	= <i>Packing factor</i> , ft^{-1}
F_r	= Bilangan Froude, Dimensionless
G	= <i>Mass velocity</i> , $kg/m^2.s$
G_{My}	= Kecepatan molar gas, $kmol/m^2.s$
G_{Mx}	= Kecepatan molar likuid, $kmol/m^2.s$
h_L	= <i>Liquid holdup</i> , Dimensionless
H_{tOG}	= <i>Overall height of a gas-phase transfer unit</i> , m
k_G	= <i>Gas-phase convective mass-transfer coefficient</i> , $kmol/m^2.s$
k_L	= <i>Liquid-phase convective mass-transfer coefficient</i> , m/s
K_v	= <i>Volumetric mass-transfer coefficient</i> , $kmol/m^3.s$
K_w	= <i>Wall factor</i> , Dimensionless
N	= Laju alir molar, $kmol/jam$
N_{tOG}	= <i>Overall number of gas-phase transfer units</i> , Dimensionless
$\Delta P_0/Z$	= <i>Dry pressure drop</i> , Pa/m
$\Delta P/Z$	= <i>Overall pressure drop</i> , Pa/m
P	= Pressure, atm
Q	= <i>Volumetric flowrate</i> , m^3/h
Re	= Bilangan Reynolds, Dimensionless
Sc	= Bilangan Schmidt, Dimensionless
T	= Temperatur, $^{\circ}C$
v	= Kecepatan, m/s
v_{flood}	= <i>Velocity at flooding conditions</i> , m/s
V	= Volume molar, cm^3/mol
X	= <i>Flow parameter</i> , Dimensionless
x	= Fraksi mol pada fase likuid
y	= Fraksi mol pada fase gas
Z	= <i>Tinggi packing</i> , m

8. REAKTOR (R-01)

C	= Konsentrasi, $kmol/m^3$
E	= Energi aktivasi, $kJ/kmol$

F	= Laju alir molar, kmol/jam
k	= Konstanta kecepatan reaksi, $\text{m}^3/(\text{kmol}\cdot\text{jam})$
R	= Konstanta gas ideal, $\text{kJ}/(\text{kmol}\cdot\text{K})$
r	= Laju reaksi, $\text{kmol}/(\text{m}^3\cdot\text{jam})$
T	= Temperatur reaksi, K
V	= Volume reaktor, m^3
W	= Laju alir massa, kg/jam
X	= Konversi, %
ρ	= Densitas umpan, kg/m^3
τ	= waktu tinggal, jam

9. REAKTOR (R-02)

A_o	= Luas lubang <i>orifice</i> , cm^2
A_f	= Luas <i>perforated plate</i> , cm^2
a_g	= Luas <i>interface</i> , cm^{-1}
C	= Konsentrasi, kmol/m^3
D	= Diffusivitas, cm^2/s
D_p	= Diameter <i>perforated plate</i> , in
d_B	= Diameter gelembung, cm
d_o	= Diameter <i>orifice</i> , cm
E	= Energi aktivasi, kJ/kmol
F	= Laju alir molar, kmol/jam
F_{vg}	= Kecepatan volumetrik gas, cm^3/s
K	= Konstanta Boltzman, erg/K
K_{ag}	= Konstanta kecepatan reaksi overall, $\text{g}/(\text{cm}^2\cdot\text{s})$
k	= Konstanta kecepatan reaksi, $\text{m}^3/(\text{kmol}\cdot\text{jam})$
k_L	= Koefisien perpindahan massa cair, m/s
M	= Berat molekul, kg/kmol
M_H	= Bilangan Hatta, Dimensionless
N	= Bilangan Avogadro, molekul/mol
P_g	= Tekanan parsial gas, atm
Q	= Laju alir volumetrik, m^3/jam

R	= Konstanta gas ideal, kkal/(mol.K)
Re	= Bilangan Reynold, Dimensionless
r_j	= Laju reaksi senyawa j, kmol/(m ³ .jam)
Sc	= Bilangan Schmidt, Dimensionless
T	= Temperatur reaksi, K
V	= Volume reaktor, m ³
V _C	= Volume kritis, cm ³ /mol
V _{sg}	= Kecepatan superfisial gas, cm/s
V _t	= <i>Thermal velocity</i> , cm/s
W	= Laju alir massa, kg/jam
X	= Konversi, %
ρ	= Densitas, kg/m ³
σ	= Diameter molekul, Å
Φ	= Faktor asosiasi, Dimensionless
μ	= Viskositas, Pa.s
Δρ	= Selisih densitas, kg/m ³
ε	= <i>Gas holdup</i> , Dimensionless

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I NERACA MASSA

LAMPIRAN II NERACA PANAS

LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN

LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil gas alam terbesar dengan produksi pada tahun 2019 mencapai 7.238 MMSCFD. Sumber daya alam ini merupakan peluang besar investor dalam merencanakan penanaman modal di sektor industri gas. Berdasarkan laporan tahunan SKK Migas tahun 2018, pemanfaatan gas bumi didominasi untuk LNG ekspor sebesar 28,37%, industri dan PGN (Perusahaan Gas Negara) sebesar 25,25%, kelistrikan sebesar 12,78%, ekspor gas pipa sebesar 11,33%, pupuk sebesar 10,94% dan sisanya dimanfaatkan untuk LPG domestik, LNG domestik, BBG, gas kota dan *lifting* minyak.

Pupuk merupakan salah satu sektor industri yang memanfaatkan gas alam sebagai bahan baku. Banyak jenis pupuk yang telah diproduksi di Indonesia, diantaranya adalah pupuk urea, pupuk ZA, pupuk NPK, pupuk fosfat dan pupuk KCl. Setiap jenis pupuk yang digunakan, memiliki sifat dan fungsi yang berbeda dalam aplikasinya pada tanaman. Beberapa tanaman juga terkadang tidak cocok pada pupuk jenis tertentu, contohnya adalah tanaman wortel dan kentang yang tidak cocok dengan pupuk KCl.

Salah satu jenis pupuk yang belum digunakan di Indonesia adalah pupuk urea amonium nitrat (UAN). Pupuk jenis ini cocok digunakan untuk tanaman jagung dan gandum. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil jagung terbesar di dunia dengan produksi mencapai 11.900.000 metrik ton/tahun (Shahbandeh, 2019), sehingga peluang dan potensi penggunaan pupuk UAN di Indonesia cukup besar.

Selain itu, potensi pupuk UAN untuk keperluan ekspor juga sangat besar, keuntungan utama dari ekspor pupuk jenis ini adalah menghasilkan devisa bagi negara. Untuk regional Asia-Australia, negara yang banyak menggunakan pupuk UAN adalah Australia dan Cina, sedangkan potensi ekspor paling besar dari pupuk jenis ini adalah di benua Eropa dan Amerika karena pupuk ini sering digunakan sebagai sumber nitrogen dalam pertumbuhan jagung dan gandum.

Pupuk UAN memiliki keunggulan seperti dapat dicampur dengan nutrisi lainnya dalam pengaplikasian seperti fosfor, kalium, sulfur dan lain-lain. Hal ini disebabkan karena penggunaan pupuk UAN dalam bentuk cair sehingga memudahkan pencampuran nutrisi. Pupuk UAN juga merupakan jenis pupuk satu-satunya yang mengandung 3 jenis nitrogen utama, yaitu amonium, nitrat dan amida. Sumber nitrogen yang merupakan sumber utama protein yang penting dalam memacu pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena pasokan nitrogen akan menentukan pertumbuhan, kekuatan, warna dan hasil tanaman. Selain itu, keunggulan lainnya adalah dapat diaplikasikan di semua zona iklim dan penetrasi UAN yang cepat ke dalam tanah. Oleh karena banyaknya manfaat yang diperoleh dari pemakaian pupuk ini, potensi ekspor produk yang besar dan bahan baku yang tersedia di Indonesia, maka sangat memungkinkan untuk mendirikan pabrik UAN di Indonesia.

1.2 Sejarah dan Perkembangan

Menurut Russel dan Williams (1977), urea merupakan salah satu pupuk sintesis yang pertama kali dikembangkan secara komersial oleh I.G. Farbenindustrie di Jerman pada tahun 1920 menggunakan bahan baku amonium karbamat. Penggunaan kompresor sentrifugal sejak tahun 1960 dapat meningkatkan produksi amonia dan meningkatkan kapasitas produksi pupuk urea. Setelah itu, banyak industri yang memproduksi urea dan dikomersialkan sebagai pupuk sehingga pada tahun 1975, urea merupakan pupuk nitrogen terkemuka di dunia. Aplikasi langsung urea dalam tanah, dalam bentuk anhidrat atau larutan menjadi populer di Amerika Serikat, Kanada dan Australia dan dikenalkan ke negara-negara lainnya.

Di sisi lain, produksi padatan amonium nitrat dimulai di Amerika Serikat selama Perang Dunia II. Selama perang, beberapa pabrik dibangun untuk memasok amonium nitrat untuk amunisi. Ketika kebutuhan produk ini mulai merosot pasca perang, amonium nitrat digunakan sebagai pupuk dan dipasarkan secara luas. Amonium nitrat (34% N) mulai menjadi bahan pupuk penting pada tahun 1940 dan terkemuka pada tahun 1960.

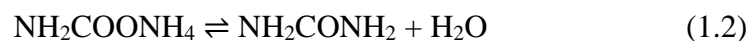
Untuk memenuhi kebutuhan nitrogen dari tanaman, maka dibuat kombinasi antara urea dan amonium nitrat. Penemuan komposisi UAN dijelaskan oleh Kniskern, dkk. (1935). Setelah itu, penemuan dan penelitian mengenai UAN terus dikembangkan, termasuk uji coba terhadap tanaman dan lingkungan. Popularitas larutan UAN (28%-32% N) meningkat di Amerika Utara dan sebagian eropa selama 1980 dan 1990, peningkatan ini terjadi karena kemudahan dalam penanganan dan mudah dicampurkan herbisida pada larutan untuk aplikasi secara simultan. Oleh karena kelebihan UAN yang dapat digunakan di semua iklim, produksi UAN dan teknologi pembuatan UAN terus ditingkatkan hingga saat ini untuk menghasilkan proses yang ramah lingkungan dan efisien.

1.3 Macam-Macam Proses Pembuatan Urea Amonium Nitrat (UAN)

Proses pembuatan UAN terbagi menjadi 3 proses utama, yaitu proses produksi urea, proses produksi amonium nitrat dan proses produksi UAN.

1.3.1 Proses Produksi Urea

Secara umum pabrik urea menggunakan *total-recycle processes*. Namun, *once-through processes* atau *partial-recycle processes* masih digunakan, terdapat juga beberapa proses *stripping* yang digunakan. Pada seluruh proses komersial, urea diproduksi melalui reaksi dari amonia dan karbon dioksida pada temperatur dan tekanan tinggi berdasarkan reaksi Basaroff (1870) yaitu sebagai berikut.



Proses produksi urea berbeda-beda terutama pada kondisi operasi dalam reaktor (komposisi, suhu dan tekanan). Komposisi biasanya dinyatakan dalam rasio molar, yaitu $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ dan $\text{H}_2\text{O}:\text{CO}_2$. Suhu dan tekanan reaksi diatur agar dapat memperoleh produk yang optimal dan konversi yang tinggi. Hubungan ketiga kondisi ini menentukan konsentrasi produk urea yang terbentuk. Berikut ini adalah penjelasan macam-macam proses produksi urea.

1.3.1.1 Proses Once-Through dan Partial-Recycle

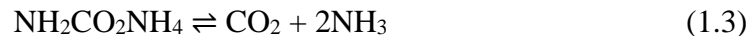
Proses *once-through* merupakan proses yang sederhana dan paling murah (dalam investasi modal dan biaya operasi). Amonia cair dan gas CO₂ dipompa menuju reaktor urea pada tekanan sekitar 200 atm. Temperatur reaktor dijaga sekitar 185°C dengan mengatur jumlah amonia ekkses sekitar 100% dan sekitar 35% NH₃ total terkonversi menjadi urea (75% CO₂ terkonversi). Larutan keluaran reaktor mengandung sekitar 80% urea setelah *stripping* karbamat. Meskipun proses ini lebih sederhana, namun proses ini melepas *off-gas* amonia dan karbon dioksida lebih banyak. Proses ini perlu digabung dengan proses produksi lain yang menggunakan produk *off-gas* seperti amonium sulfat, amonium nitrat, asam nitrat atau amonium sulfat, sehingga dapat penggunaan amonia dapat dimaksimalkan.

Pada proses *partial-recycle*, *off-gas* NH₃ dan CO₂ dari *stripper* karbamat didaur ulang ke dalam reaktor urea, sehingga proses ini dapat mengurangi jumlah amonia yang dikonsumsi sekitar 15% jika dibandingkan dengan *once-through processes*. NH₃ dan CO₂ yang tidak bereaksi dipisahkan dari larutan urea dalam separator bertekanan tinggi dan 2-3 *stripper* karbamat yang dipanaskan oleh *steam* pada tekanan rendah secara berturut-turut. *Off-gas* dari *separator* dan *stripper* tahap pertama diserap dalam *absorber* bertekanan tinggi dengan *side stream* dari keluaran *stripper* secara parsial dari *separator* bertekanan tinggi. Panas yang terbentuk dalam reaksi penyerapan dihilangkan dengan penambahan dan perluasan pada umpan amonia cair. Gas amonia murni dari bagian atas *absorber* juga didaur ulang ke reaktor urea setelah dikondensasi.

1.3.1.2 Proses Total-Recycle

Pada proses *total-recycle*, seluruh NH₃ dan CO₂ yang tidak bereaksi didaur ulang ke reaktor urea (konversi sekitar 99%). Proses ini paling fleksibel karena hanya bergantung pada suplai CO₂ dan NH₃ dari pabrik amonia pendukung untuk operasi. Namun, proses ini paling mahal dalam biaya investasi dan operasi. Keluaran reaktor urea mengandung urea dan air dihasilkan dari reaksi sintesis, serta karbamat yang tidak terkonversi dan amonia ekkses. Pada pemisahan

karbamat dari urea, karbamat harus didekomposisi dengan persamaan reaksi sebagai berikut.



Proses *total-recycle* dapat diklasifikasikan menjadi 5 kelompok sesuai dengan prinsip daur ulang, yaitu daur ulang campuran *hot-gas*, daur ulang *separated-gas*, daur ulang *slurry*, daur ulang larutan karbamat dan *stripping*. Empat kelompok pertama menggunakan dekomposisi karbamat yang secara umum hampir sama dengan proses *once-through* dan *partial-recycle*, sedangkan kelompok terakhir berbeda dari yang lainnya.

Daur ulang campuran *hot-gas*, campuran CO_2 , NH_3 dan H_2O dikompresi melalui beberapa tahap kompresor *reciprocating* dengan pendinginan tiap tahap, selanjutnya didinginkan untuk mengembunkan gas (diikuti pembentukan karbamat) dan panas diambil sebagai *steam*.

Daur ulang *separated-gas*, CO_2 dalam campuran gas dari dekomposer diabsorpsi oleh pelarut seperti monoetanolamin (MEA). NH_3 yang tersisa setelah penghilangan CO_2 dikompresi dan didaur ulang ke reaktor sintesis. CO_2 terdesorpsi dari pelarut MEA dengan pemanasan dan didaur ulang.

Daur ulang *slurry*, campuran gas CO_2 - NH_3 - H_2O menuju reaktor dengan penambahan minyak parafin. Karbamat terbentuk dalam reaktor sebagai minyak suspensi yang mengandung 35%-45% padatan, dipompakan ke dalam unit sintesis urea dengan *fresh* CO_2 dan NH_3 . Campuran selanjutnya menuju dekomposer karbamat dan minyak dipisahkan dari larutan urea dengan dekantasi untuk penggunaan kembali.

Daur ulang larutan karbamat, seluruh larutan proses didaur ulang dengan melibatkan absorpsi CO_2 dan NH_3 dalam air dan didaur ulang pada tahap sintesis sebagai larutan karbamat. Jumlah air harus dijaga minimum, karena adanya air akan menyebabkan konversi urea rendah dan berdampak negatif pada ekonomi proses.

1.3.1.3 Proses Stripping-Based Plants

Proses *stripping-based plants* terdiri dari beberapa macam proses berdasarkan pemegang lisensi dan teknologi yang digunakan, contohnya adalah

proses *Stamicarbon CO₂ Stripping*, proses *The Avancore Urea*, proses *Snamprogetti Ammonia- and Self-Stripping* dan proses *ACES (Advance Process for Cost & Energy Saving)*. Pemegang lisensi ini memiliki pendekatan yang berbeda dalam teknologinya, beberapa kali direvisi dan teknologinya terus dikembangkan.

Tahap sintesis dari proses *Stamicarbon* terdiri dari reaktor urea, *stripper* untuk reaktan yang belum terkonversi, kondensor karbamat bertekanan tinggi, dan reaktor *scrubber off-gas* bertekanan tinggi. Untuk mewujudkan hasil urea maksimum per pass melalui reaktor pada tekanan optimum ditentukan 140 bar dan rasio molar $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ adalah 3:1. Larutan urea yang diperoleh adalah 75% wt urea yang selanjutnya dipisahkan dengan evaporasi. Konsep sintesis yang menggunakan proses *Stamicarbon* dikenal dengan nama *Urea 2000plus*. Pada tahun 2010, 10 pabrik telah menggunakan teknologi *Urea 2000plus* ini.

Proses *The Avancore Urea* diperkenalkan oleh *Stamicarbon* pada 2009 yang merupakan gabungan teknologi *Urea 2000plus*, bahan konstruksi *Safurex* sebagai bahan konstruksi tahan korosi dan seksi sintesis dengan tata letak elevasi rendah (reaktor berada pada permukaan tanah). Proses ini memungkinkan investasi yang lebih sedikit dengan perawatan yang lebih mudah, namun pengaturan reaktor perlu diperhatikan (seperti sumber panas reaktor dan suplai bahan baku) karena posisinya yang berada pada permukaan tanah.

Pada proses *Snamprogetti Ammonia- and self-stripping*, daur ulang dimulai dari *stripper* melalui kondensor karbamat bertekanan tinggi, melalui separator karbamat dan kembali ke reaktor. Reaktor dioperasikan pada tekanan 150 bar dengan rasio molar $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ dari 3,2-3,4. *Off-gas* dari *stripper* dikondensasikan untuk diambil panasnya untuk menghasilkan *steam*. Proses selanjutnya adalah *medium-pressure purification and recovery* yang beroperasi pada 18 bar dengan tujuan untuk dekomposisi karbamat dan evaporasi amonia. *Off-gas* yang dihasilkan dari tahap ini digunakan untuk menghasilkan *steam*. Setelah itu larutan urea yang terbentuk dari tahap ini, dilanjutkan pada tahap *low-pressure purification and recovery* untuk memaksimalkan dekomposisi amonium karbamat sehingga larutan urea lebih banyak diperoleh. Larutan urea yang diperoleh dipisahkan untuk memenuhi konsentrasi sesuai spesifikasi yang diinginkan. Pada

akhir tahun 2000, proses ini telah digunakan lebih dari 100 pabrik dengan kapasitas produksi maksimum hampir mencapai 4000 ton/hari.

Proses ACES merupakan proses yang dikembangkan oleh Toyo Engineering Corporation. Kemajuan terakhir dari teknologi ini adalah ACES21 (*Advanced process for Cost and Energy Saving for the 21st century*) yang digunakan oleh PT Pupuk Sriwidjaja Plant IIB. Pada tahun 2010, terdapat 15 pabrik yang menerapkan teknologi ACES ini. Sintesis urea pada proses ACES terdiri dari reaktor, *stripper*, 2 kondenser karbamat paralel dan *scrubber* yang dioperasikan pada tekanan 175 bar. Reaktor dioperasikan pada temperatur 190°C dengan rasio molar umpan $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ adalah 4:1. NH_3 cair diumpankan langsung ke dalam reaktor bersamaan dengan CO_2 hasil kompresi. Hasil reaksi dan bahan baku yang belum bereaksi dipisahkan pada *stripper*. Campuran gas yang berasal dari bagian atas *stripper* dimasukkan ke dalam kondenser karbamat. Larutan urea yang berasal dari karbamat mengandung NH_3 12% wt dan dimurnikan pada dekomposer dengan tekanan 19 bar (*MP decomposers*) dan 3 bar (*LP decomposers*). NH_3 dan CO_2 dipisahkan dari larutan urea melalui absorpsi pada *absorber* bertekanan rendah dan sedang. Larutan urea selanjutnya diuapkan dengan 2 tahap evaporasi hingga konsentrasi 99,7% wt.

Pada proses ACES21 terdapat sedikit perbedaan, NH_3 cair diumpankan ke reaktor melalui *high-pressure carbamate ejector*. Reaktor dioperasikan dengan rasio molar $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ adalah 3,7 pada temperatur 182°C dan tekanan 152 bar. Larutan urea dari reaktor diumpankan ke *stripper* untuk pemisahan CO_2 . *Off-gas* didaur ulang ke *vertical submerged carbamate condenser* (VSCC) dengan rasio $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ adalah 3,0, temperatur 180°C dan tekanan 152 bar. Larutan urea yang terbentuk selanjutnya diolah pada MP dan LP *decomposer* dan dipekatkan pada tahap evaporasi.

1.3.2 Proses Produksi Amonium Nitrat

Menurut Zapp dkk. (2012), produksi amonium nitrat umumnya dari amonia dan asam nitrat, selain itu amonium nitrat juga dapat terbentuk dari konversi kalsium tetrahidrat. Berikut adalah macam-macam produksi urea amonium nitrat.

1.3.2.1 Proses Produksi Amonium Nitrat dari Amonia dan Asam Nitrat

Proses ini merupakan netralisasi dari 45-65% HNO_3 dengan gas NH_3 diikuti dengan pelepasan 100-115 J/mol NH_4NO_3 . Bergantung pada tekanan dan konsentrasi asam nitrat, 95-97% larutan amonium nitrat dapat diperoleh. Temperatur tertinggi dalam *neutralizer* adalah 180°C pada tekanan proses dan yang paling penting adalah menjaga nilai pH dan menghindari adanya klorida, logam berat dan senyawa organik.

Proses bertekanan rendah dioperasikan oleh Chemico. Instalasi bertekanan normal menggunakan proses Uhde, proses SBA (*Soc. Belge de l'Azote*), dan lain-lain, dengan ciri-ciri temperatur reaksi yang rendah dan korosi yang minimal.

Pada proses UCB, pertukaran panas dalam reaktor bertekanan digunakan sebagai panas reaksi untuk membuat *steam*. Amonia dan 52-63% HNO_3 dipanaskan dan disemprot ke dalam reaktor. Tekanan reaktor sekitar 0,45 MPa (4,5 bar), temperatur $170\text{-}180^\circ\text{C}$ dan pH 3-5. pH dijaga pada rentang ini dengan mengontrol rasio reaktan. Penukar panas mendinginkan campuran reaksi dan netralisasi agar tetap stabil. Larutan NH_4NO_3 75-80% meninggalkan reaktor yang selanjutnya dipisahkan hingga 95% dengan evaporasi pada *falling film evaporator*.

Proses lain yang bekerja pada tekanan rendah adalah proses *Stamicarbon*. Netralisasi adalah reaktor *loop* yang terbuka ke *separator*. Larutan reaksi tersirkulasi tanpa pompa. Asam nitrat (60% wt), amonia yang telah dipanaskan dan sejumlah kecil asam sulfat masuk ke bagian bawah *loop*. Reaktor beroperasi pada 0,4 Mpa (4 bar) dan 178°C . Larutan amonium nitrat yang terbentuk dalam reaktor memiliki konsentrasi 78%. *Steam* dihilangkan pada bagian atas *separator* melalui *mist eliminator* dan umumnya digunakan evaporator vakum untuk memekatkan larutan NH_4NO_3 hingga 95%. *Steam* eksese dikondensasikan dan amonia diambil dari kondensat dan dikembalikan ke dalam reaktor. Pada evaporator kedua, konsentrasi dapat ditingkatkan hingga 98-99,5% menggunakan *fresh steam*. Temperatur larutan amonium nitrat dijaga tetap di bawah 180°C pada netralisasi dan evaporasi.

Proses lainnya adalah *NSM/Norsk Hydro pressure* yang menggunakan amonia yang telah dipanaskan dan asam nitrat. Tekanan reaktor antara 0,4 dan 0,5

Mpa (sekitar 5,4 bar) dan temperatur antara 170-180°C, kondisi yang sesuai untuk mendapatkan 70-80% larutan NH₄NO₃. *Steam* yang dihasilkan dari proses digunakan untuk memekatkan larutan amonium nitrat hingga 95%. Amonia yang hilang dijaga tetap kecil dengan pencucian *steam* process dengan asam nitrat yang ditambahkan ke sirkulasi larutan amonium nitrat. Konsentrasi larutan NH₄NO₃ dapat mencapai 99,5% menggunakan *steam* dalam evaporator vakum khusus.

Proses *Stengel* merupakan proses yang memproduksi amonium nitrat anhidrat secara langsung. Amonia dan 58% asam nitrat dipanaskan dengan *fresh steam* dan diumpankan ke dalam reaktor *packed vertical tube* pada tekanan 0,35 Mpa (3,5 bar) dan temperatur 240°C. Campuran NH₄NO₃ dan *steam* diekspansi ke kondisi vakum pada *separator* sentrifugal. Setelah *stripping* dengan udara panas, lelehan NH₄NO₃ 99,8% diperoleh, menuju *cooled steel belt*, dipadatkan dan selanjutnya dipecahkan atau granulasi.

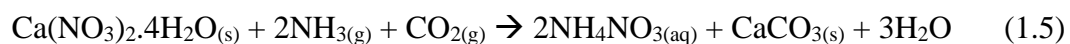
Berdasarkan semua proses, sangat penting untuk menjaga pH. Temperatur reaksi berada di bawah 170°C, pH dijaga antara 2,4-4 untuk meminimalisir kehilangan nitrogen. Reaksi yang terjadi pada proses pembuatan amonium nitrat adalah sebagai berikut.



Pada *neutralizer* bertekanan, pH tertinggi adalah 4,6-5,4 dibutuhkan dengan temperatur tertinggi yang diperhitungkan dan bahaya dari terjadinya dekomposisi.

1.3.2.2 Proses Produksi Amonium Nitrat dari Konversi Kalsium Nitrat Tetrahidrat

Pada proses ini, kalsium tetrahidrat direaksikan dengan amonia dan karbon dioksida untuk membentuk amonium nitrat dan kalsium karbonat. Reaksi tersebut adalah sebagai berikut.



Panas yang menyertai reaksi cukup untuk menguapkan semua air. Namun, secara langsung tidak mungkin karena kesetimbangan yang tidak menguntungkan pada suhu tinggi. Dalam proses BASF, panas dihilangkan dari reaksi Ca(NO₃)₂ dengan (NH₄)₂CO₃. NH₃ dan CO₂ dilarutkan dalam larutan NH₄NO₃ tersirkulasi, dan panas yang dilepas selanjutnya dihilangkan. Kalsium nitrat tetrahidrat juga

larut dalam larutan NH_4NO_3 . Dua larutan selanjutnya direaksikan pada temperatur sekitar 50°C , panas yang dihasilkan minimal. Setelah reaksi diperoleh sekitar 65% larutan NH_4NO_3 yang selanjutnya dipisahkan dari CaCO_3 pada *belt filter* dan dipekatkan dengan evaporasi. CaCO_3 masih mengandung sejumlah kecil senyawa amonium dan fosfat dan sebagian besar digunakan untuk produksi kalsium amonium nitrat. Jika kalsium nitrat disiapkan dengan tepat sebelum konversi, CaCO_3 murni mungkin dapat diproduksi.

1.3.3 Proses Produksi Urea Amonium Nitrat

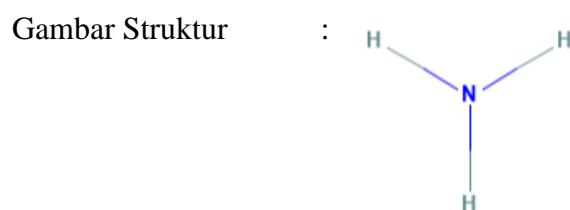
Larutan UAN dapat dibuat dengan mencampurkan sejumlah urea padat dan amonium nitrat padat dengan air atau dibuat dalam fasilitas produksi yang dirancang khusus untuk menghasilkan larutan UAN. Teknologi yang sangat cocok adalah teknologi *stripping CO₂ Stamicarbon*. Dalam versi daur ulang parsial dari proses ini, amonia yang belum terkonversi berasal dari *stripping* larutan urea dan dari reaktor, *off-gas* dinetralkan dengan asam nitrat. Larutan amonium nitrat terbentuk dan larutan urea dari bagian sintesis dicampur untuk menghasilkan larutan produk yang diinginkan dengan kandungan nitrogen (32-35% berat) secara langsung. Pabrik yang digunakan untuk produksi UAN dalam bentuk larutan lebih murah daripada produksi terpisah dari urea dan amonium nitrat dalam hal investasi dan biaya operasi.

1.4 Sifat-Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1 Bahan Baku

1) Amonia

Rumus Molekul : NH_3



Berat Molekul : 17,031 g/mol

Densitas (25°C) : $0,6020 \text{ g/cm}^3$

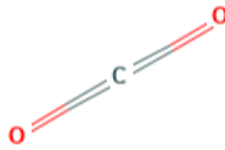
Titik Didih : $239,72 \text{ K}$

Titik Lebur	: 195,41 K
Temperatur Kritis	: 405,65 K
Tekanan Kritis	: 112,78 bar
Tekanan uap (25°C)	: 7500 mmHg
ΔH_f°	: -45,90 kJ/mol
Wujud (25°C)	: gas

(Yaws, 1999; PubChem, 2020)

2) Karbon dioksida

Rumus Molekul	: CO ₂
Gambar Struktur	:

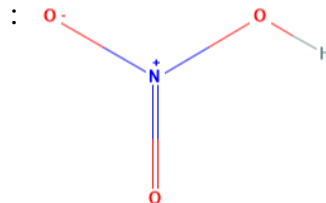


Berat Molekul	: 44,010 g/mol
Densitas (25°C)	: 0,7130 g/cm ³
Titik Didih	: 194,69 K
Titik Lebur	: 216,59 K
Temperatur Kritis	: 304,19 K
Tekanan Kritis	: 73,82 bar
Tekanan uap (25°C)	: 48300 mmHg
ΔH_f°	: -393,50 kJ/mol
Wujud (25°C)	: gas

(Yaws, 1999; PubChem, 2020)

3) Asam nitrat

Rumus Molekul	: HNO ₃
Gambar Struktur	:



Berat Molekul	: 63,013 g/mol
Densitas (25°C)	: 1,5500 g/cm ³
Titik Didih	: 356,15°C

Titik Lebur	: 231,55°C
Temperatur Kritis	: 520,00 K
Tekanan Kritis	: 68,90 bar
Tekanan uap (25°C)	: 63,1 mmHg
ΔH_f°	: -173,2 kJ/mol
Wujud (25°C)	: cair

(Yaws, 1999; PubChem, 2020)

1.4.2 Produk

1) Urea Amonium Nitrat

Rumus Molekul : $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Komposisi :

Komponen	Persentase Berat		
	28%	30%	32%
NH_4NO_3	37-41%	40-44%	42-47%
$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	29-32%	31-34%	34-37%
H_2O	27-34%	22-29%	16-24%
NH_3	<0,05%	<0,05%	<0,05%

Densitas : 28% 10,67 lb/gal pada 60°F
 30% 10,86 lb/gal pada 60°F
 32% 11,07 lb/gal pada 60°F

pH : 6,8-7,5

Titik Didih : 107°C

Titik Lebur : -18°C (28%), -9°C (30%), 0°C (32%)

Spesific gravity : 1,281 (28%), 1,304 (30%), 1,330 (32%)

Tekanan uap : 8,6-17,5 mmHg (100°F)

Wujud (25°C) : cair

(Terra, 2006)

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A. K. (2006). Operational Experience of De-hydrogen Reactor at CFCL. *Indian Journal of Fertilisers*, Vol. 2 (9), pp.41-44.
- Alfa Aesar. (2020). *39826 Platinum, 0.3% on 2.7-3.3mm (0.11-0.13in) alumina pellets, reduced*. <https://www.alfa.com/en/catalog/039826/>. Diakses pada tanggal 27 Juli 2020.
- Alibaba. (2020). <https://www.alibaba.com/>. Diakses pada tanggal 27 Juli 2020.
- Amin, M. (2018). *Performance Monitoring of Urea Plant*. Fauji Fertilizer Bin Qasim Limited (FFBL).
- Anescu, G., dan Prisecaru, I. (2017). *A NSC-PSO Approach to Economic Heat Exchanger Design*. Conference Paper.
- API. (2013). *Welded Tanks for Oil Storage API Standard 650 Twelfth Edition, March 2013*. Washington: API Publishing Services.
- APPI. (2020). *Supply and Demand 2014 – 2020*. <https://www.appi.or.id/?statistic>. Diakses pada tanggal 10 Februari 2020.
- ASME. (2013). *ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2013 Edition Section VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- _____. (2017). *ASME Boiler & Pressure Vessel Code 2017 Edition Section II Part D Properties (Metric)*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- ATO. (2020) *ATO Depreciation Rates 2020*. <https://www.depreciationrates.net.au/>. Diakses pada tanggal 3 Agustus 2020.
- AZoM. (2001). *Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)*. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=965>. Diakses pada tanggal 28 Juli 2020.
- Azrina, R. (2007). *Steady State Modeling of Urea Synthesis Loop*. Dissertation Project Chemical Engineering Universiti Teknologi Petronas.

- Baboo, P., Brouwer, M., Eijkenboorn, J., Mohammadian, M., Notten, G., dan Prakash, G. (2016). *The Comparison of Stamicarbon and Saipem Urea Technology*. Technical Paper UreaKnowHow.com October 2016/2.
- Basaroff, A. (1870). Directe Darstellung des Harnstoffs aus Kohlensäure und Ammoniak. *Journal fur praktische Chemie*.
- Benitez, J. (2009). *Principles and Modern Applications of Mass Transfer Operations Second Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Breizh. (2019). *Chemical Engineering Plant Cost Index (Cepci)*. <http://www.cheresources.com/invision/topic/21446-chemical-engineering-plant-cost-index-cepci/>. Diakses pada tanggal 3 Agustus 2020.
- BRI. (2020). *Suku Bunga Berdasarkan Segmen Bisnis*. <https://bri.co.id/loan-interest-rates>. Diakses pada tanggal 3 Agustus 2020.
- Brouwer, M. (2009). *Thermodynamics of the Urea Process*. Ureaknowhow.com Process Paper June 2009.
- Brownell, L. E., dan Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Coker, A. K. (2007). *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Volume 1. Fourth Edition*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- _____. (2015). *Ludwig's Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants Volume 3. Fourth Edition*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Couper, R. J., Penney, W. R., Fair, J. R., dan Walas, S. M. (2005). *Chemical Process Equipment Selection and Design Second Edition*. Burlington: Gulf Professional Publishing.
- Dobree, J., dan Mennen, J.H. (2018). *Integrated Production of Urea for Diesel Exhaust Fluid and Urea Ammonium Nitrate*. US Patent 2018/0071653 A1.
- Felder, R. M. (2005). *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, H. S. (2006). *Element of Chemical Reaction Engineering 4th Edition*. Massachusetts: Pearson Education, Inc.

- GEA. (2020). *Product Catalog Jet Pumps, Mixers, Heaters, Vacuum Systems*. Ettlingen: GEA Wiegand GmbH.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations Fourth Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hall, S. (2012). *Rules of Thumb for Chemical Engineers Fifth Edition*. Waltham: Butterworth-Heinemann.
- Hamidipour, M., Mostoufi, N., dan Sotudeh-Gharebagh, R. 2005. Modeling The Synthesis Section of an Industrial Urea Plant. *Chemical Engineering Journal*, 106 (2005), 249–260.
- Indian Trade Bird. (2019). *Liquid Ammonia Pump*. <https://www.indiantradebird.com/>. Diakses pada tanggal 3 Agustus 2020.
- Kementerian PPN/Bappenas. (2008). Pedoman Harga Satuan per M² Tertinggi Bangunan Gedung Negara (Bangunan Gedung dan Rumah Dinas) Tahun Anggaran 1999/2000 Kawasan Tengah. <https://www.bappenas.go.id/>. Diakses pada tanggal 3 Agustus 2020.
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Khalil, R. S. (2012). *Practical Experience in the Main Fertilizers Containing Nitrogen Explosion Hazards in Urea Plants*. Technical Paper UreaKnowHow.com December 2012.
- _____. (2013). *Practical Experience in the Main Fertilizers Containing Nitrogen Explosion Hazards in Urea Plants Removal from Hydrogen from Carbon Dioxide*. Technical Paper UreaKnowHow.com February 2013.
- Khan, I. (2018). *Construction Details of Urea Reactor (UR-211)*. <https://slideplayer.com/slide/12092813/>. Diakses pada tanggal 5 Agustus 2020.
- KLM Technology Group. (2011). *Layout and Spacing*. <https://www.klmtechgroup.com>. Diakses pada tanggal 15 Juni 2019.
- Kniskern, W. H., County, P. G., dan Lawrence, C. K. (1935). *Composition of Matter and Its Use in the Production of Fertilizers*. US Patent No. 2,022,672.
- Kosasih, F. R. (2013). *Laporan Umum PT Multi Nitrotama Kimia*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.

- Levenspiel, O. (1999). *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. United State of America: John Wiley and Sons.
- Matches Engineering. (2017). *Equipment Cost Index*. <http://www.matche.com/equipcost.html>. Diakses pada tanggal 1 Agustus 2020.
- Mavrovic, I. (1975). *Decomposition of Ammonium Carbamate*. US Patent No. 3,929,878.
- Meessen, J. H., Buitink, F. H. M., dan Roos, W. F., (2012). *Urea*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Mennen et al. (2019). *Method and Plant for Producing Urea-Ammonium Nitrate (UAN)*. US Patent No. 10,315,925 B2.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor : 89 K/10/MEM/2020 Tentang Pengguna dan Harga Gas Bumi Tertentu di Bidang Industri.
- Moss, D., dan Basic M. (2013). *Pressure Vessel Design Manual Fourth Edition*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Newnan, D. G., Eschenbach, T. G., dan Lavelle J. P. (2012). *Engineering Economic Analysis*. New York: Oxford University Press.
- ORNL. (2011). *Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels*. <http://cta.ornl.gov/bedb>. Diakses pada tanggal 29 Juli 2020.
- Paul, E.L., Atiemo-Obeng, V.A., dan Kresta S.M. (2004). *Handbook of Industrial Mixing Science and Practice*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Prakoso, F. B. (2015). *Laporan Kerja Praktek Departemen Operasi Pabrik-2 PT Pupuk Kalimantan Timur*. Jurusan Teknik Kimia, Fakulras Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Praptowidodo, V. S. S. (1999). *Termodinamika Sistem Multikomponen*. Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung.
- Perry, R. H., dan Green, D.W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- _____. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.

- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design and Chemical Engineers 4th Edition*. Singapore: McGraw Hill.
- _____. (2003). *Plant Design and Chemical Engineers 5th Edition*. Singapore: McGraw Hill.
- Presiden Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang.
- Presiden Republik Indonesia. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas.
- PT Pupuk Kaltim. (2018). *Profil Unit Produksi*. <https://www.pupukkaltim.com/id/pabrik-profil-unit-produksi>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2020.
- PubChem. (2020). *Ammonia*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/222>. Diakses pada 10 Februari 2020.
- _____. (2020). *Carbon dioxide*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/280>. Diakses pada 10 Februari 2020.
- _____. (2020). *Nitric Acid*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/944>. Diakses pada 10 Februari 2020.
- Puci, G.E., dan Dobree, J. (2019). *Urea Ammonium Nitrate Production*. US 10,457,609 B2.
- Roby. (2020). *Pabrik Bahan Peledak Dibangun di Kaltim*. <https://timurmedia.com/pabrik-bahan-peledak-dibangun-di-kaltim/>. Diakses pada tanggal 3 Maret 2020.
- Rugnone, L. (2020). *Process for Integrated Production of Urea and Urea-Ammonium Nitrate*. US Patent No. 10,550,075 B2.
- Russel, D.A., dan Williams, G.G. (1977). History of Chemical Fertilizer Development. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol. 41.
- Sandvik. (2020). *Sandvik Duplex Stainless Steels*. <https://www.materials.sandvik/en/>. Diakses pada tanggal 6 Juli 2020.
- Shahbandeh, M. (2019). *Corn Production by Country 2018/19*. <https://www.statista.com>. Diakses pada 10 Februari 2020.

- Shijiazhuang Xinlongwei Chemical Co., Ltd. (2020). *Urea Ammonium Nitrate*.
<https://www.sjzxlwhg.com/urea-ammonium-nitrate/urea-ammonium-nitrate.html>. Diakses pada tanggal 7 September 2020.
- Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Design Fourth Edition Volume 6*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- SKK Migas. (2018). *Laporan Tahunan 2018*. <https://www.skkmigas.go.id/>. Diakses pada 10 Februari 2020.
- Smith, J. M. (2001). *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- SNI 6917:2011. *Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sumirat. (2017). *Modul 3 Penyusunan Program dan Pembiayaan Pembangunan Bangunan Gedung Negara*. Balai Diklat I Medan: Diklat Pengelola Teknis Pembangunan Bangunan Gedung Negara.
- Teixeira, F. N., Guimarães, L. G. M., Guzella, M. S., Cabezas-Gómez, L., dan da Silva, J. A. (2015). Numerical Procedure For LMTD Correction Factor Calculation For One Tube And One Shell Pass Shell-And-Tube Heat Exchangers. *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 789-790, pp 424-427.
- Terra. (2006). *Material Safety Data Sheet Urea Ammonium Nitrate Solution*. Iowa: Terra Industries Inc.
- Treybal, R. E. (1980). *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide for Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons.
- UN Comtrade Database. (2020). *Data Impor Urea Amonium Nitrat di Negara ASEAN Tahun 2013-2017*. <https://comtrade.un.org/data/>. Diakses pada tanggal 20 Februari 2020.
- UNEP. (2006). *Lighting*. <http://www.energyefficiencyasia.org/>. Diakses pada tanggal 29 Juli 2020.
- Vatavuk, W. M. (2002). *Updating the CE Plant Cost Index*. https://www.chemengonline.com/Assets/File/CEPCI_2002.pdf. Diakses pada tanggal 3 Agustus 2020.

- Vilbrandt, F. C., dan Dryden, C.E. (1959). *Chemical Engineering Plant Design Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Virtual Materials Group Inc. (2020). *Carbamate Crystallization Temperature Calculator*. <https://vmgurea.appspot.com/>. Diakses pada tanggal 20 Maret 2020.
- Wadjdi dan Arifianto. (2011). *Laporan Kerja Praktik PT Pupuk Kaltim*.
- Waide, P., dan Brunner, C. U. (2011). *Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems*. OECD/IEA 2011.
- Wali Kota Bontang. Peraturan Daerah Kota Bontang Nomor 13 Tahun 2019 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bontang Tahun 2019-2039.
- Wikiwand. (2020). *Injector*. <https://www.wikiwand.com/en/Injector>. Diakses pada tanggal 20 Juli 2020.
- Wittrig, S. (2020). *Ammonia Fuel Opportunities, Markets, Issues*. https://arpa-e.energy.gov/sites/default/files/Wittrig_Ammonia_TransportationFuels_Workshop.pdf. Diakses pada tanggal 27 Juli 2020.
- Wulandari. (2019). *Laporan Magang Industri PT Black Bear Resources Indonesia*.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education.
- Yaws, C. L. (2015). *The Yaws Handbook of Vapor Pressure*. Oxford: Gulf Professional Publishing.
- Zapp, K., Wostbrock, K., Schäfer, M., Sato, K., Seiter, H., Zwick, W., Creutziger, R., dan Letter, H. (2012). *Ammonium Compounds*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
- Zhang, X., Zhang, S., Yao, P., Yuan, Y. (2005). Modeling and simulation of high-pressure urea synthesis loop. *Computers and Chemical Engineering*, 29, 983–992.