

SKRIPSI

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KALSIUM FLUORIDA
DARI KALSIUM KARBONAT DENGAN HIDROGEN FLUORIDA
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia
pada
Universitas Sriwijaya**



Aditia Habibul Akbar

NIM 03031281621037

Ayu Permatasari

NIM 03031281621054

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KALSIUM FLUORIDA DARI
KALSIUM KARBONAT DENGAN HIDROGEN FLUORIDA KAPASITAS
60.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

**Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana**

Oleh

**Aditia Habibul Akbar
NIM. 03031281621037**

**Ayu Permatasari
NIM. 03031281621054**

Palembang, Juli 2020

Pembimbing,



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

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 Kalsium Fluorida dari Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida Kapasitas 60.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh **Aditia Habibul Akbar dan Ayu Permatasari** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Juli 2020.

Palembang, Juli 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

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

()

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

()

3. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 1671046701900003

()

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aditia Habibul Akbar

NIM : 03031281621037

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida Kapasitas 60.000 Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Ayu Permatasari** 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, Juli 2020



Aditia Habibul Akbar
NIM. 03031281621037



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ayu Permatasari
NIM : 03031281621054
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari
Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida Kapasitas
60.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Aditia Habibul Akbar** 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, Juli 2020



Ayu Permatasari
NIM. 03031281621054



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida Kapasitas 60.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dikarenakan penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, yang dalam kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

- 1) Ibu Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir.
- 2) Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) Seluruh staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Orang tua dan teman-teman yang telah memberikan motivasi, saran, serta dukungan yang terbaik.

Penulis berharap tugas akhir ini agar dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Palembang, Juli 2020

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KALSIUM FLUORIDA DARI KALSIUM KARBONAT DENGAN HIDROGEN FLUORIDA KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2020

Aditia Habibul Akbar dan Ayu Permatasari; Dibimbing oleh Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxiii + 405 halaman, 16 tabel, 14 gambar, 5 lampiran

RINGKASAN

Pabrik pembuatan kalsium fluorida dengan kapasitas produksi 60.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 5 Ha. Proses pembuatan kalsium fluorida ini mengacu pada US Patent No. 9764963 B2 dengan proses presipitasi kalsium karbonat dengan hidrogen fluorida, dan dilanjutkan proses netralisasi hidrogen fluorida dengan kalsium hidroksida. Reaktor pertama dan kedua adalah reaktor jenis *continuous stirred tank reactor*. Reaktor pertama beroperasi pada temperatur 40°C dan tekanan 1 atm sedangkan reaktor kedua beroperasi pada temperatur 25°C dan tekanan 1 atm.

Bentuk perusahaan yang akan digunakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 182 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik kalsium fluorida ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US \$ 61.081.433
- Total Penjualan = US \$ 60.000.000
- *Total Production Cost (TPC)* = US \$ 29.672.033
- *Annual Cash Flow* = US \$ 25.949.034
- *Pay Out Time* = 2,139 Tahun
- *Rate Of Return On Investment (ROR)* = 34,756%
- *Discounted Cash Flow-ROR* = 41,699%
- *Break Even Point (BEP)* = 24,516%
- *Service Life* = 11 Tahun

Kata Kunci: Kalsium Fluorida, Presipitasi, *Continous Stirred Tank Reactor*, Perseroan Terbatas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
KATA PENGANTAR	iii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	2
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan	3
1.3.1. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida	3
1.3.2. Ekstraksi Bijih Mineral Fluorit	3
1.3.3. Amonium Bifluorida, Amonium Hidroksida dan Kalsium Fluorida ...	4
1.3.4. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Asam Fluosilikat.....	4
1.3.5. Reaksi Batuan Fosfat dengan Asam Fluosilikat.....	5
1.3.6. Reaksi Kalsium Klorida dengan Amonium Fluorida.....	6
1.3.7. Presipitasi Amonium Fluorida dengan Kalsium Karbonat	6
1.4. Sifat Fisika dan Kimia.....	10
1.4.1. Kalsium Karbonat	10
1.4.2. Kalsium Fluorida.....	10
1.4.3. Hidrogen Fluorida	10
1.4.4. Air	11
1.4.5. Kalsium Hidroksida.....	11

BAB II	PERENCANAAN PABRIK	12
2.1.	Alasan Pendirian Pabrik	12
2.2.	Penentuan Kapasitas.....	13
2.3.	Pemilihan Bahan Baku	14
2.4.	Pemilihan Proses	15
2.5.	Uraian Proses.....	15
2.5.1.	Tahap Preparasi	15
2.5.2.	Tahap Sintesis	16
2.5.3.	Tahap Purifikasi	17
BAB III	LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	19
3.1.	Lokasi Pabrik.....	19
3.1.1.	Ketersediaan Bahan Baku	19
3.1.2.	Ketersediaan Sistem Utilitas	20
3.1.3.	Transportasi dan Pemasaran.....	20
3.1.4.	Kondisi Iklim dan Letak Geografis	21
3.1.5.	Tenaga Kerja	23
3.2.	Tata Letak Pabrik	23
3.3.	Perkiraan Luas Area yang Diperlukan	25
BAB IV	NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	26
4.1.	Neraca Massa	26
4.1.1.	Neraca Massa Mixing Tank – 01 (MT – 01).....	26
4.1.2.	Neraca Massa Reaktor – 01 (R – 01)	26
4.1.3.	Neraca Massa Filter Press – 01 (FP – 01)	27
4.1.4.	Neraca Massa Reaktor – 02 (R – 02)	27
4.1.5.	Neraca Massa Filter Press – 02 (FP – 02)	28
4.1.6.	Neraca Massa Rotary Dryer – 01 (RD – 01).....	28
4.1.7.	Neraca Massa TEE – 01 (TEE – 01).....	29
4.1.8.	Neraca Massa TEE – 02 (TEE – 02).....	29
4.1.9.	Neraca Massa Mixing Point – 02 (MP – 02).....	29
4.2.	Neraca Panas	30
4.2.1.	Neraca Panas Mixing Tank – 01 (MT – 01).....	30

4.2.2.	Neraca Panas Heater – 01 (H – 01)	30
4.2.3.	Neraca Panas Heater – 02 (H – 02)	30
4.2.4.	Neraca Panas Reaktor – 01 (R – 01)	30
4.2.5.	Neraca Panas Filter Press – 01 (FP – 01)	31
4.2.6.	Neraca Panas Chiller – 02 (H – 02).....	31
4.2.7.	Neraca Panas Reaktor – 02 (R – 02)	31
4.2.8.	Neraca Panas Rotary Dryer – 01 (RD – 01).....	31
4.2.9.	Neraca Panas Rotary Cooler – 01 (RC – 01)	32
4.2.10.	Neraca Panas TEE – 01 (TEE – 01).....	32
4.2.11.	Neraca Panas Chiller – 01 (CH – 01).....	32
4.2.12.	Neraca Panas Blower – 01 (BL – 01).....	32
4.2.13.	Neraca Panas TEE – 02 (TEE – 02).....	33
4.2.14.	Neraca Panas Heater – 03 (H – 03)	33
4.2.15.	Neraca Panas Chiller – 03 (CH – 03).....	33
BAB V	UTILITAS	34
5.1.	Unit Pengadaan Air	34
5.1.1.	Air Pendingin	34
5.1.2.	Air Umpan Boiler.....	36
5.1.3.	Air Proses	37
5.1.4.	Air Domestik	37
5.1.5.	Total Kebutuhan Air.....	38
5.2.	Unit Pengadaan Refrigeran	39
5.3.	Unit Pengadaan Steam	39
5.3.1.	Steam Pemanas.....	39
5.3.2.	Steam Penggerak Turbin	40
5.3.3.	Total Kebutuhan Steam.....	41
5.4.	Unit Pengadaan Listrik.....	41
5.4.1.	Listrik untuk Peralatan	41
5.4.2.	Listrik untuk Penerangan	42
5.4.3.	Total Kebutuhan Listrik	43
5.5.	Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	44

5.5.1.	Bahan Bakar Boiler	44
5.5.2.	Bahan Bakar Keperluan Generator	46
5.5.3.	Total Kebutuhan Bahan Bakar	47
BAB VI	SPESIFIKASI PERALATAN	48
6.1.	Hopper – 01 (HP – 01)	88
6.2.	Screw Conveyor – 01 (SC – 01).....	49
6.3.	Bucket Elevator – 01 (BE – 01)	50
6.4.	Mixing Tank – 01 (MT – 01)	51
6.5.	Pompa – 01 (P – 01).....	52
6.6.	Heater – 01 (H – 01).....	53
6.7.	Tangki – 01 (T – 01)	54
6.8.	Pompa – 02 (P – 02).....	55
6.9.	Heater – 02 (H – 02).....	56
6.10.	Tangki – 02 (T – 02)	57
6.11.	Pompa – 03 (P – 03).....	88
6.12.	Chiller – 01 (CH – 01).....	59
6.13.	Reaktor – 01 (R – 01).....	60
6.14.	Pompa – 04 (P – 04).....	62
6.15.	Filter Press – 01 (FP – 01).....	63
6.16.	Tangki – 03 (T – 03)	64
6.17.	Pompa – 05 (P – 05).....	65
6.18.	Chiller – 02 (CH – 02).....	66
6.19.	Hopper – 02 (HP – 02)	67
6.20.	Screw Conveyor – 02 (SC – 02).....	88
6.21.	Bucket Elevator – 02 (BE – 02)	69
6.22.	Reaktor – 02 (R – 02).....	70
6.23.	Pompa – 06 (P – 06).....	72
6.24.	Filter Press – 02 (FP – 02).....	73
6.25.	Tangki – 04 (T – 04)	74
6.26.	Screw Conveyor – 03 (SC – 03).....	75
6.27.	Blower – 01 (BL – 01)	76

6.28.	Heater – 03 (H – 03).....	77
6.29.	Rotary Drier – 01 (RD – 01)	88
6.30.	Belt Conveyor – 01 (BC – 01)	79
6.31.	Chiller – 03 (CH – 03).....	88
6.32.	Rotary Cooler – 01 (RC – 01)	88
6.33.	Belt Conveyor – 02 (BC – 02)	88
6.34.	Ball Mill – 01 (BM – 01)	88
6.35.	Screw Conveyor – 04 (SC – 04).....	88
6.36.	Screening – 01 (S – 01)	88
6.37.	Bucket Elevator – 03 (BE – 03)	88
6.38.	Silo Tank – 01 (ST – 01).....	88
BAB VII	ORGANISASI PERUSAHAAN	88
7.1.	Bentuk Perusahaan	88
7.2.	Struktur Organisasi.....	88
7.2.1.	Organisasi Lini	89
7.2.2.	Organisasi Fungsional	89
7.2.3.	Organisasi Line dan Staff	89
7.3.	Tugas dan Wewenang	90
7.3.1.	Dewan Komisaris	90
7.3.2.	Direktur	91
7.3.3.	Manager Teknik dan Produksi	91
7.3.4.	Manager Keuangan dan Pemasaran	91
7.3.5.	Manager Kepegawaian dan Umum	92
7.4.	Sistem Kerja	93
7.4.1.	Waktu Kerja Karyawan Non-shift.....	93
7.4.2.	Waktu Kerja Karyawan Shift	93
7.5.	Penentuan Jumlah Karyawan	94
7.5.1.	Direct Operating Labor	94
7.5.2.	Indirect Operating Labor	96
BAB VII	ANALISA EKONOMI	99
8.1.	Profitabilitas (Keuangan)	99

8.1.1.	Total Penjualan Produk	99
8.1.2.	Perhitungan Annual Cash Flow (ACF)	99
8.2.	Lama Waktu Pengembalian Modal	99
8.2.1.	Perhitungan Depresiasi	100
8.2.2.	Lama Pengangsuran Pengembalian Pinjaman.....	100
8.2.3.	Pay Out Time (POT)	101
8.3.	Total Modal Akhir.....	101
8.3.1.	Net Profit Over Total Life of Project (NPOTLP)	101
8.3.2.	Total Capital Sink (TCS).....	102
8.4.	Laju Pengembalian Modal	102
8.4.1.	Rate of Return on Investment (ROR).....	102
8.4.2.	Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR).....	102
8.5.	Break Even Point (BEP).....	103
8.5.1.	Metode Matematis.....	103
8.5.2.	Metode Grafis.....	103
BAB IX	KESIMPULAN	106
BAB X	TUGAS KHUSUS	108
10.1.	Reaktor	108
10.1.1.	Pendahuluan	108
10.1.2.	Faktor Pemilihan Reaktor.....	108
10.1.3.	Macam-Macam Reaktor	109
10.1.4.	Continuous Stirred Tank Reactor.....	112
10.1.5.	Perhitungan Desain Reaktor di Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida.....	114
10.2.	Rotary Drier dan Rotary Cooler	129
10.2.1.	Pendahuluan	100
10.2.2.	Klasifikasi Rotary Drier dan Rotary Cooler.....	100
10.2.3.	Komponen-Komponen Rotary Drier.....	101
10.2.4.	Tahapan Perancangan.....	101
10.2.5.	Perhitungan Desain	101
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan Kalsium Fluorida	7
Tabel 2.1. Data Impor Kalsium Fluorida di Indonesia	13
Tabel 3.1. Rincian Area Pabrik	25
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas	34
Tabel 5.2. Total Kebutuhan Air	38
Tabel 5.3. Total Kebutuhan Refrigeran	39
Tabel 5.4. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 160°C	39
Tabel 5.5. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 200°C	40
Tabel 5.6. Total Kebutuhan Steam	41
Tabel 5.7. Kebutuhan Listrik Peralatan	41
Tabel 5.8. Total Kebutuhan Bahan Bakar	47
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan	94
Tabel 7.2. Jumlah Karyawan	96
Tabel 8.1. Total Penjualan Produk	99
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman	100
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik Kebutuhan Kalsium Fluorida (CaF_2)	13
Gambar 3.1.	Peta Lokasi Pabrik	19
Gambar 3.2.	Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Gresik	21
Gambar 3.3.	Peta Sungai dan Waduk Kabupaten Gresik	22
Gambar 3.4.	Perencanaan Tata Letak Pabrik	24
Gambar 3.5.	Perencanaan Tata Letak Peralatan Proses	24
Gambar 7.1.	Jumlah Buruh <i>Direct Operating</i>	95
Gambar 7.2.	Struktur Organisasi Perusahaan	98
Gambar 8.1.	Grafik <i>Break Even Point</i>	104
Gambar 10.1.	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>	112
Gambar 10.2.	<i>Direct Heat Rotary Dryer</i>	130
Gambar 10.3.	<i>Indirect Heat Rotary Dryer</i>	131
Gambar 10.4.	<i>Direct – Indirect Heat Rotary Dryer</i>	131
Gambar 10.5.	Bagian-Bagian pada <i>Rotary Cooler</i>	131

DAFTAR NOTASI

1. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
He	= Tinggi head, m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Desain, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
V _h	= Volume ellipsoidal head, m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
V _t	= Volume tangki, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

2. SILO

C	= Faktor korosi, in
D	= Diameter <i>shell</i> , ft
d	= Diameter ujung konis, ft
E	= <i>Welded joint efficiency</i>
F	= <i>Allowance stress</i> , psi
h	= Tinggi silo, ft
G	= Laju Alir Massa, kg/s
g	= Percepatan Gravitasi, m/s ²
P	= Tekanan, atm
T	= Temperatur, K
V _t	= Volume tangki, m ³
W _s	= Laju alir massa, kg/jam
α	= <i>angle of repose</i>

- ρ = Densitas, kg/m^3
 θ = Sudut Silo

3. MIXING TANK

- C = Korosi yang diizinkan, m
E = Efisiensi pengelasan, dimensionless
S = Working stress yang diizinkan, psi
 D_t = Diameter tanki, m
 D_i = Diameter pengaduk, m
 H_i = Tinggi pengaduk dari dasar tanki
 H_1 = Tinggi pengaduk
W = Lebar daun impeller
L = Panjang daun impeller
 V_s = Volume silinder, m^3
 V_e = Volume elipsoidal, m^3
 t_h = Tebal tanki, m
 N_t = Jumlah pengaduk
P = Densitas liquid
 μ = Viscosity, cP
 t_m = Waktu pengadukan, menit

4. REAKTOR

- C_{A_0} = Konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m^3
C = Tebal korosi yang diizinkan, atm
 D_K = Diameter katalis, cm
 F_{A_0} = Laju alir umpan, kmol/jam
 H_r = Tinggi Reaktor, m
ID = Inside Diameter, m
k = Konstanta laju reaksi, $\text{m}^3/\text{kmol.s}$
N = Bilangan Avogadro
OD = Outside Diameter, m

P	= Tekanan, atm
Q_f	= Volumetric Flowrate Umpan
Re	= Bilangan Reynold
S	= Working Stress yang diizinkan, atm
T	= Temperatur, °C
t	= Tebal dinding vessel
V_t	= Volume reaktor, m ³
X	= Konversi
ρ	= Densitas
σ	= Diameter Partikel, cm

5. FILTER PRESS

A	= Area Filtrasi, m ²
C	= Konsentrasi solid dalam feed, kg/m ³
m_f	= Flowrate feed, kg/jam
V	= Volume liquid, m ³
ρ_c	= Densitas cake, kg/m ³
ρ_s	= Densitas campuran, kg/m ³
Θ	= Waktu filtrasi, menit

6. SCREW CONVEYOR

ρ	= Densitas bahan, lb/ft ³
Q	= Volumetric flowrate, ft ³ /jam
W	= Laju alir massa, kg/jam

7. BELT CONVEYOR

C	= Faktor material
H	= Panjang <i>belt</i> , ft
THP	= Kapasitas <i>belt</i> , ton/jam
f	= Faktor keamanan, %
V	= Tinggi <i>belt</i> , ft
W_s	= Laju alir massa, kg/jam

8. ROTARY DRYER, ROTARY COOLER

C_p	= Kapasitas panas udara, kkal/kg $^{\circ}$ C
D	= Diameter dryer, m
F	= Jumlah sayap
G_s	= Jumlah udara yang digunakan, lb/jam
L	= Panjang dryer, m
L_f	= Panjang flight
N	= Jumlah putaran
P	= Power dryer, HP
S_s	= Jumlah produk yang dikeringkan, lb/jam
t_1	= Temperatur umpan masuk, $^{\circ}$ F
t_2	= Temperatur umpan keluar, $^{\circ}$ F
t_w	= Temperatur wet bulb, $^{\circ}$ F
T_{G1}	= Temperatur udara masuk, $^{\circ}$ F
T_{G2}	= Temperatur udara keluar, $^{\circ}$ F
U_d	= Overall heat transfer area, lb/ft 2 jam
θ	= Time of retention, jam

9. HEATER, CHILLER

A	= Area perpindahan panas, ft 2
D	= Diameter dalam tube, in
D_e	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, ft 2 /in 2
G_s	= Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft 2
G_t	= Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam.ft 2
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft 2 . $^{\circ}$ F
h_i, h_{i0}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
j_H	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft 2 . $^{\circ}$ F
L	= Panjang tube, pipa, ft

LMTD	= Logarithmic Mean Temperature Difference, °F
ΔP_a	= Penurunan tekanan pada annulus, psi
ΔP_p	= Penurunan tekanan pada inner pipe, psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
Q	= Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
R_d	= Dirt factor, Btu/jam.ft ² .°F
R_e	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= Specific gravity
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	= Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft ² .°F
W_1	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
W_2	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viscositas, cp

10. POMPA

A	= Area alir pipa, in ²
BHP	= Brake Horse Power, HP
$D_i \text{ opt}$	= Diameter optimum pipa, in
E	= Equivalent roughness
f	= Faktor friksi
FK	= Faktor keamanan
g_c	= Percepatan gravitasi, ft/s ²
Gpm	= Gallon per menit
$H_{f \text{ suc}}$	= Total friksi pada suction, ft
$H_{f \text{ dis}}$	= Total friksi pada discharge, ft
H_{fs}	= Skin friction loss
H_{fsuc}	= Total suction friction loss

H_{fc}	= Sudden Contraction Friction Loss (ft lb _m /lb _f)
H_{fe}	= Sudden expansion friction loss (ft lb _m /lb _f)
ID	= Inside diameter pipa, in
K_C, K_S	= Contraction, expansion loss contraction, ft
L	= Panjang pipa, ft
L_e	= Panjang ekuivalen pipa, ft
NPSH	= Net positive suction head (ft)
N_{Re}	= Reynold number, dimension less
P_{Vp}	= Tekanan uap, psi
Q_f	= Laju alir volumetrik
V_f	= Kapasitas pompa, lb/jam
V	= Kecepatan alir
ΔP	= Beda tekanan, psi

11. BLOWER

A	= Luas permukaan <i>blower</i> , ft ²
D_{opt}	= Diameter optimum pipa, in
P	= Tekanan <i>blower</i> , in H ₂ O
Q	= Debit volumetric, ft ³ /jam
W_s	= Laju alir massa, kg/jam
V	= Kecepatan udara, ft/detik
ρ	= Densitas, kg/m ³

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I NERACA MASSA	
LAMPIRAN II NERACA PANAS	
LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN	
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sektor industri berperan penting dalam upaya meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Salah satu sektor industri yang dijadikan fokus oleh pemerintah dalam menopang aktivitas ekspor adalah industri kimia. Industri kimia menjadi suatu dasar industri manufaktur dalam menghasilkan produk yang dapat digunakan secara luas oleh keempat sektor manufaktur lainnya, yaitu industri makanan dan minuman, elektronika, farmasi, dan otomotif (Kemenperin RI, 2018). Berdasarkan hal tersebut, upaya memperkuat sektor industri kimia sangat penting dilakukan agar dapat membangun industri manufaktur yang bersaing secara global, sehingga meningkatkan pendapatan nasional dan memajukan perekonomian Indonesia.

Indonesia saat ini menjadi salah satu konsumen dalam kegiatan impor bahan kimia dasar untuk memenuhi kebutuhan proses produksi industri kimia dalam negeri. Hal ini ditunjukkan oleh pertumbuhan impor dalam sektor non migas selama periode Januari sampai Agustus 2018 sebesar 24,65% (Kemenperin RI, 2018). Pertumbuhan ini berakibat pada meningkatnya laju defisit neraca perdagangan yang dapat menurunkan cadangan devisa negara. Masalah ini mendorong Indonesia untuk dapat meningkatkan kapasitas produksi industri kimia, sehingga membangun kemampuan Indonesia menjadi eksportir dalam sektor ini.

Salah satu industri kimia yang sangat prospektif untuk dikembangkan di Indonesia adalah pabrik kalsium fluorida sintetis. Hal ini dikarenakan belum adanya pabrik kimia yang menghasilkan kalsium fluorida di Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistik, kebutuhan impor fluorspar (CaF_2 kurang dari 97%) di Indonesia telah mencapai 40.171,9220 ton pada tahun 2019. Hal ini menunjukkan bahwa kebutuhan kalsium fluorida di Indonesia sangat tinggi sehingga perlu didirikannya pabrik kalsium fluorida untuk mengurangi ketergantungan terhadap produk impor. Berdasarkan hal tersebut, pembangunan pabrik kalsium fluorida sintetis dapat memberikan keuntungan ekonomi sekaligus sosial.

Melalui pendirian pabrik kalsium fluorida dengan menggunakan bahan baku dari dalam negeri, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan kalsium fluorida dan meningkatkan kapasitas produksi dari sektor industri kimia dalam negeri, serta membangun kemampuan Indonesia menjadi eksportir dalam sektor ini. Selain itu, diharapkan dapat menciptakan pemerataan usaha dengan memacu pertumbuhan industri-industri baru yang menggunakan bahan baku kalsium fluorida.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

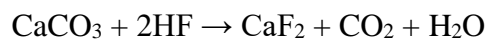
Kalsium fluorida (CaF_2) merupakan senyawa anorganik yang terkandung di dalam mineral fluorit atau fluorspar. Kristal dari fluorit digunakan pada zaman kuno untuk pembuatan cangkir dan vas hias. Sifat fluks pada mineral ini sudah dikenal sejak abad ke-16 yang digunakan sebagai fluks dalam peleburan besi untuk mengurangi viskositas terak. Tambang fluorit pertama dimulai pada akhir abad ke-19 di Inggris dan kemudian di Amerika Serikat, untuk memenuhi kebutuhan industri besi dan baja (Bessemer dan proses Martin). Produksi fluorit di dunia telah mencapai lima juta ton per tahun sejak 1975. Beberapa perusahaan memproduksi kalsium fluorida sintetis sebagai produk samping dari produksi asam fosfat, *petroleum* dan uranium *processing* pada tahun 2011 (King, 2020).

Penggunaan lain dari fluorspar antara lain pembuatan gelas, enamel, dan fluks pengelasan. Ada tiga jenis utama penggunaan industri untuk fluorspar dalam industri, sesuai dengan tingkat kemurnian yang berbeda. Fluorit kelas metalurgi (60-85% CaF_2), yang terendah dari tiga kelas, secara tradisional telah digunakan sebagai fluks untuk menurunkan titik leleh bahan baku dalam produksi baja untuk membantu menghilangkan *impurities*, seperti sulfur dan fosfor. Fluorit kelas ini juga digunakan dalam produksi aluminium, besi, dan logam lainnya. Fluorit kelas keramik (85-95% CaF_2) digunakan dalam pembuatan kaca *opalescent*, enamel, dan peralatan memasak (Kogel dkk, 2006). Fluorit kelas tertinggi atau *acid grade fluorite* (97% atau lebih CaF_2) digunakan dalam produksi AlF_3 dan *cryolite* (Na_3AlF_6) yang merupakan senyawa fluorin utama (Drevetton, 2012).

1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan

1.3.1. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida

Berdasarkan US Patent No. 9764963 B2, proses produksi kalsium fluorida dilakukan dengan mereaksikan 0,5-40% hidrogen fluorida dan batu kapur pada suhu reaksi dijaga kurang dari 50°C. Rasio molar antara kalsium karbonat dengan hidrogen fluorida sebesar 1:1,8 sampai 1:2,2. Kalsium karbonat yang terkonversi dengan cepat menjadi kalsium fluorida sebesar 88-94%. Saat reaksi terjadi, batu kapur akan melepaskan karbon dioksida dan membentuk kalsium fluorida. Secara teoritis, reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Produk yang dihasilkan kemudian dipisahkan dengan proses filtrasi atau pemisahan gravitasi atau proses flotasi. Air yang terkandung di dalam produk tersebut berkisar 20-40%. Produk yang telah melewati proses pemisahan dialirkan ke reaktor netralisasi. Proses netralisasi dilakukan dengan menambahkan kalsium hidroksida ke dalam reaktor untuk menetralkan hidrogen fluorida sisa yang masih terkandung di dalam produk. Nilai pH yang diperoleh dari reaksi netralisasi ini mencapai 6,5-7. Penambahan kalsium sulfat sebesar 0,01-1% ke dalam reaktor juga dilakukan untuk menstabilkan partikel kalsium fluorida. Produk akhir keluaran reaktor kemudian dilakukan pemisahan dan pengeringan. Kalsium fluorida yang dihasilkan dari proses ini memiliki kemurnian sebesar 88% hingga mencapai 93% (Momota, 2009). Adapun keuntungan dari proses ini antara lain proses yang digunakan lebih mudah dilakukan, kondisi operasi yang digunakan rendah, bahan baku tersedia di Indonesia, dan proses pemisahan lebih mudah dilakukan.

1.3.2. Ekstraksi Bijih Mineral Fluorit

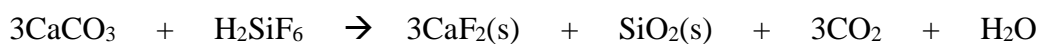
Kalsium fluorida dapat diperoleh melalui ekstraksi bijih mineral fluorit dan dilakukan pemisahan selektif secara gravitasi, karena kalsium fluorida memiliki kerapatan yang lebih tinggi dari bijih mineral itu sendiri. Bijih dihancurkan terlebih dahulu dengan pemisah kerucut menggunakan suspensi ferosilikon sebagai medium pemisahan. Melalui proses ini hanya diperoleh 40% kalsium fluorida dari 20% bijih mineral dengan kemurnian yang sangat rendah (Aigueperse, 2000).

1.3.3. Amonium Bifluorida, Amonium Hidroksida dan Kalsium Fluorida

Pembuatan kalsium fluorida dilakukan dengan mereaksikan 0,17-0,70 mol amonium bifluorida (NH_4HF_2) yang dilarutkan dalam 0,07-0,30 mol amonium hidroksida dan dicampur dengan aliran CaF_2 yang mengandung *impurities* berupa oksida kalsium, seperti CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau CaCO_3 . Rasio jumlah atom fluorida terhadap total jumlah atom kalsium berkisar 2,00-2,50. *Slurry* yang dihasilkan kemudian ditembakkan dengan udara pada suhu 426,67-982,22°C selama lebih dari satu jam untuk menguraikan NH_4HF_2 dan bereaksi dengan senyawa oksigen pada aliran CaF_2 . Keuntungan dari metode ini ialah penghilangan oksigen dari aliran CaF_2 dan apabila CaF_2 dimasukkan ke dalam kisi kalsium halofosfat dapat memperpanjang umur pakai lumen fosfor (US Patent No. 3366444).

1.3.4. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Asam Fluosilikat

Berdasarkan US Patent No. 2780521, pembuatan kalsium fluorida dapat dilakukan dengan mereaksikan asam fluosilikat yang diencerkan (konsentrasi 2,5-3,8%) dengan batu kapur halus. Rasio reaktan sekitar 500 bagian berat larutan sampai sekitar 47,2% berat batu kapur pada 100% basis CaCO_3 . Reaksi dilakukan dalam interval pH 5,5-6,5 dan temperatur reaksi dipertahankan sekitar 16-32°C. Secara teoritis, reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Namun proses ini memerlukan proses tambahan untuk memisahkan endapan kalsium fluorida dari larutan encer yang mengandung koloidal silika setelah penyelesaian substansial dari reaksi. Selain itu, produk kalsium fluorida yang diperoleh mengandung 4-7% SiO_2 sebagai *impurities*.

Adapun pengembangan proses selanjutnya telah diklaim pada US Patent No. 2780523. Pembuatan kalsium fluorida dilakukan dengan mereaksikan asam fluosilikat yang diencerkan (konsentrasi 3-3,5%) dengan kalsium karbonat. Reaksi dilakukan pada temperatur 1,7-37,8°C selama 30 menit sampai 2 jam. Larutan yang dihasilkan mengandung koloid silika dan kalsium fluorida yang difiltrasi dimana *filter cake* yang dihasilkan mengandung CaF_2 dan kalsium silikafluorida.

Proses lebih lanjut diklaim dalam US Patent No. 3907978, yaitu reaksi dilakukan pada temperatur 0-30°C dengan pH 4-6 dan waktu reaksi 5-30 menit. Temperatur dijaga untuk menghindari terjadinya flokulasi silika sebagai produk samping. Konversi reaksi sebesar 62% dengan produk kalsium fluorida yang dihasilkan memiliki kemurnian 85-95%, 1-4% SiO₂, dan 3-10% CaCO₃.

Kelemahan proses ini ialah produk kalsium fluorida yang dihasilkan masih memiliki kandungan SiO₂ yang cukup banyak walaupun lebih sedikit dari proses sebelumnya. Produk yang dihasilkan merupakan campuran kalsium fluorida dan kalsium silikafluorida yang tidak dapat digunakan. Kekurangan lainnya ialah diperlukan periode reaksi yang relatif lama sekitar 30 menit sampai 2 jam.

1.3.5. Reaksi Batuan Fosfat dengan Asam Fluosilikat

Berdasarkan US Patent No. 6224844, pembuatan kalsium fluorida dapat dilakukan dengan mencampurkan asam fosfat 85%wt dan asam fluosilikat 20-30% wt. Kemudian ditambahkan batu fosfat yang mengandung trikalsium fosfat, kalsium karbonat, dan kalsium fluorida ke dalam campuran dengan pH dijaga kurang dari 0,5 pada temperatur 90°C. Batuan fosfat ditambahkan hingga asam fluosilikat terdekomposisi membentuk kalsium fluorida yang telah mencapai rasio berat 1,3:1. Setelah terbentuk campuran kedua yang mengandung kalsium fluorida, campuran dipisahkan dengan proses filtrasi dan pendinginan. Hasil pemisahan ditingkatkan dengan pemanasan selama 1 jam. Hal ini dikarenakan pada saat hasil campuran dipanaskan akan terjadi aglomerasi senyawa silika pada campuran. Pemisahan dapat dilakukan dengan prinsip gravitasi atau menggunakan *centrifuge*.

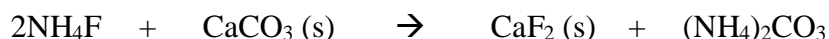
Proses filtrasi dilakukan untuk memisahkan koloid kalsium fluorida dan asam fosfat dari silika dan batuan fosfat yang tidak bereaksi. Suspensi kalsium fluorida dalam larutan asam fosfat kemudian ditambahkan asam sulfat berlebih dan dipanaskan pada suhu 120°C untuk menghasilkan hidrogen fluorida anhidrat. Kalsium fluorida hasil pemisahan mengandung fosfat 20-50% wt, sehingga proses ini belum dapat menghasilkan produk kalsium fluorida dengan kemurnian tinggi.

1.3.6. Reaksi Kalsium Klorida dengan Amonium Fluorida

Presipitasi kalsium klorida dengan amonium fluorida dapat menghasilkan kalsium fluorida pada suhu 100°C dengan waktu reaksi selama 3,5-4 jam. Apabila suhu reaksi tidak dijaga di atas 100°C, maka pada 25-30°C akan dihasilkan ukuran partikel yang sangat halus dan tidak dapat dipurifikasi dengan pencucian (*washing*) secara konvensional. Kalsium klorida berlebih ditambahkan saat proses reaksi berlangsung secara periodik, tidak lebih dari rentang 10-25%wt, untuk menjaga proses reaksi. Ammonium fluorida dikontakkan dengan kalsium klorida dengan mekanisme penyebaran (*spray*) untuk menghindari konsentrasi yang tidak merata. Selain itu, ditambahkan asam klorida untuk menjaga pH dengan konsentrasi 0,05-0,25%. *Yield* yang dihasilkan pada metode ini sebesar 95-97%.

1.3.7. Presipitasi Amonium Fluorida dengan Kalsium Karbonat

Berdasarkan US Patent No. 2018/0155207A1, proses produksi kalsium fluorida dapat dilakukan dengan presipitasi amonium fluorida dengan kalsium karbonat. Amonium fluorida diperoleh melalui proses netralisasi asam fluosilikat (H_2SiF_6) dengan amonium hidroksida (NH_4OH). Reaksi yang terjadi dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Reaksi dilakukan dengan agitasi pada temperatur reaksi 20-90°C selama 15-360 menit hingga menghasilkan *slurry* yang difiltrasi dengan menggunakan *filter press*. Filtrat yang dihasilkan berupa larutan amonium fluorida, sedangkan endapan padatan yang dihasilkan berupa silika aktif yang berukuran seragam.

Filtrat berupa NH_4F dipresipitasi bersama CaCO_3 dalam bentuk padatan dengan nilai pH campuran reaksi lebih besar dari 10. Reaksi berlangsung secara endotermis pada temperatur 60-90°C dan menghasilkan *slurry* yang mengandung kalsium fluorida dan ammonium karbonat. *Slurry* tersebut difiltrasi menggunakan *filter press*, sehingga diperoleh endapan padatan yang mengandung kalsium fluorida dan filtrat yang mengandung larutan ammonium karbonat. Kemudian endapan padatan dicuci dan dikeringkan sehingga diperoleh kalsium fluorida dan air hasil pencucian mengandung larutan ammonium karbonat.

Tabel 1.2. Perbandingan Proses Pembuatan Kalsium Fluorida

Proses	Bahan Baku	Kondisi Operasi	Kemurnian Produk /Impurities	Persediaan Bahan Baku	Konversi /Yield	Keterangan & Kelebihan/Kekurangan Lainnya
1	CaCO ₃ dan HF	<50°C, 1 atm, 2-6 jam	Kemurnian 85-93%	Tersedia di Indonesia	Konversi kalsium fluorida 88-94%	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur operasi yang digunakan rendah. • Kemurnian yang dihasilkan sebesar 85-93%. • Bahan baku yang tersedia di Indonesia. • Proses pemisahan produk kalsium fluorida lebih mudah dilakukan. • Dapat diaplikasikan untuk mengatasi polusi udara yang disebabkan oleh gas buangan yang mengandung fluorin.
2	Bijih mineral	Konsumsi Energi tinggi	Kemurnian sangat rendah	Belum tersedia di Indonesia	Konversi Kalsium Fluorida 40%	<ul style="list-style-type: none"> • Harga fluorspar dapat semakin meningkat dan akan mencapai pada harga tertingginya sebagai akibat dari berkurangnya cadangan fluorit di alam diiringi dengan pembatasan ekspor di seluruh dunia. • Belum diperoleh data mengenai penambangan dan pasokan fluorit di Indonesia.

3	NH ₄ HF ₂ , NH ₄ OH, dan CaF ₂	426,67 - 982,22°C, >1 Jam	Kemurnian sangat rendah	Tidak tersedia di Indonesia	Yield Fluorin 47-48,4%	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur operasi tinggi dan waktu operasi lama, namun kemurnian sangat rendah. • <i>Yield</i> yang dihasilkan sangat rendah. • Aplikasi atau pemanfaatan produk terbatas pada penggunaan sebagai lumen fosfor.
4	CaCO ₃ dan H ₂ SiF ₆	0-30° C, pH 4-6, 5-30 menit	Kemurnian 85-95%, 1- 4% Impuritis SiO ₂ , dan 3- 10% CaCO ₃	Tersedia di Indonesia	Konversi Kalsium Fluorida 62%	<ul style="list-style-type: none"> • Konversi rendah dan waktu operasi lama, namun kemurnian tidak terlalu tinggi. • Rasio reaktan terlalu tinggi (500 bagian berat), sehingga menghasilkan banyak <i>impurities</i> CaCO₃ yang dapat mengurangi kegunaan produk. • Memerlukan proses tambahan untuk memisahkan endapan kalsium fluorida dari larutan encer yang mengandung koloidal silika. • Produk kalsium fluorida yang diperoleh mengandung 4-7% SiO₂ sebagai impuritis dan menghasilkan kalsium silikafluorida. Material seperti ini kurang sesuai untuk digunakan dalam proses produksi hidrogen fluorida.
5	H ₃ PO ₄ , Batuan Fosfat, dan H ₂ SiF ₆	90°C, pH <0,5; 1 Jam	Impuritis Fosfat 20- 50% wt	Tidak tersedia di Indonesia	Konversi Sangat Rendah	<ul style="list-style-type: none"> • Batuan fosfat ditambahkan pada jumlah yang tidak dapat dihitung secara kuantitatif. • Diperlukan larutan tambahan (asam sulfat) dan pemanasan dalam pemisahan produk.

						<ul style="list-style-type: none"> • Kalsium fluorida hasil pemisahan mengandung fosfat 20-50% wt, sehingga proses ini belum dapat menghasilkan produk kalsium fluorida dengan kemurnian tinggi.
6	CaCl ₂ dan NH ₄ F	100°C, 3,5 – 4 Jam	Kemurnian ±85-95%	Tersedia di Indonesia	-	<ul style="list-style-type: none"> • Waktu reaksi lama dan suhu reaksi harus dijaga di atas 100°C untuk menghindari terbentuknya produk dengan ukuran partikel yang sangat halus yang tidak dapat dipurifikasi dengan pencucian (<i>washing</i>) secara konvensional. • Diperlukan HCl untuk menjaga pH reaksi.
7	CaCO ₃ dan NH ₄ F	60-90°C, pH 6-12, 30-60 menit	Kemurnian 91-97,95%	Tersedia di Indonesia	Yield Fluorin 69,75-96,70%	<ul style="list-style-type: none"> • Kondisi operasi rendah dengan kemurnian dan <i>yield</i> yang tinggi. • Asam fluorosilikat pada berbagai tingkat kualitas dan ammonia cair ataupun gas dapat digunakan. • Pemisahan silika aktif cukup bagus dengan kualitas tinggi. • Proses pemisahan kalsium fluorida dapat dilakukan dengan baik dan ukuran butiran dari kalsium fluorida yang dihasilkan sesuai dengan yang dibutuhkan.

Berdasarkan perbandingan proses pada Tabel 1.1 di atas dapat diketahui bahwa proses yang lebih ekonomis dan efisien adalah proses 1 dari U.S Patent No. 9764963 B2, 19 September 2017. Sehingga, proses 1 dipilih sebagai proses yang digunakan dalam tugas Pra-Rancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida ini.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Kalsium Karbonat

Rumus molekul	: CaCO_3
Berat molekul	: 100,087 kg/kmol
Fase	: solid
Berat jenis	: 2,710 g/cm^3
Titik leleh	: 700-900°C
$\Delta H_{f(298)}$: $-12,076 \times 10^5$ KJ/kmol
Kapasitas Panas Molar	: 83,5 J/mol.K
Kelarutan	: 0,0006 g / 100 g H_2O
Warna padatan	: putih

(Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.2. Kalsium Fluorida

Rumus molekul	: CaF_2
Berat molekul	: 76,08 kg/kmol
Fase	: solid
Berat jenis	: 3,181 g/cm^3
Titik leleh	: 1418°C
Titik didih	: 2500°C
$\Delta H_{f(298)}$: $-12,28 \times 10^5$ KJ/kmol
Kapasitas Panas Molar	: 67,0 J/mol.K (pada 25°C)
Kelarutan	: 0,0016 g / 100 g H_2O (pada 20°C)
Warna padatan	: kuning-hijau

(Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.3. Hidrogen Fluorida

Rumus molekul	: HF
Fase	: liquid
Berat molekul	: 20,0064 kg/kmol
Berat jenis	: 0,9826 g/cm^3
Titik leleh	: -44°C
Titik didih	: 112°C

$\Delta H_{f(298)}$: $-2,733 \times 10^5$ KJ/kmol
Kapasitas Panas Molar	: 51,61 J/mol.K pada 25°C
Kelarutan	: larut dalam air

(Haynes, 2012 dan Yaws, 1999)

1.4.4. Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,016 kg/kmol
Fase	: liquid
Berat jenis	: 0,998 g/cm ³ (293 K)
Titik didih	: 373,15 K
Titik beku	: 273,2 K
$\Delta H_{f(298)}$: $-2,406 \times 10^5$ KJ/kmol
Temperatur kritis	: 647,3 K
Tekanan kritis	: 221,2 bar
Kalor penguapan	: 40,656 KJ/mol

(Sinnott, 2005 dan Yaws, 1999)

1.4.5. Kalsium Hidroksida

Rumus molekul	: Ca(OH) ₂
Berat molekul	: 74,093 kg/kmol
Berat jenis	: 2,24 g/cm ³
Titik leleh	: 580°C
$\Delta H_{f(298)}$: $-9,852 \times 10^5$ KJ/kmol
Kapasitas Panas Molar	: 87,5 J/mol.K
Kelarutan	: 0,160 g/ 100 g H ₂ O

(Haynes, 2012)

DAFTAR PUSTAKA

- Aigueperse, J., Mollard, P., Devilliers, D., Chemla, M., Faron, R., Romano, R., dan Cuer, J. P. 2000. *Fluorine Compounds, Inorganic*. Encyclopedia of Industrial Chemistry. doi:10.1002/14356007.a11_307.
- Anonuevo, E. M. C. 2013. *Design of Plate and Frame Filter Press*. (Online). <https://www.scribd.com/document/168651188/Design-of-Plate-and-Frame-Filter-Press>. (Diakses pada Tanggal 22 Mei 2020).
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Data Impor Kalsium Fluorida dari Tahun 2011-2019*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada Tanggal 16 Januari 2020).
- Bank Indonesia. 2020. *Suku Bunga Penjaminan*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/suku-bunga-penjaminan/Contents/Default.aspx>. (Diakses pada Tanggal 24 Juni 2020).
- Brown, G. G. 1951. *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Butt, C. A., dan Lakeland. 1957. Process for Producing Colloidal Silica Free Calcium Fluoride. US Patent No. 2780521.
- Climate Data Organization. 2020. *Climate Gresik*. (Online). <https://www.climate-data.org>. (Diakses pada 29 Juni 2020).
- Dreveton, A. 2012. Manufacture of Aluminium Fluoride of High Density and Anhydrous Hydrofluoric Acid from Fluosilicic Acid. *Procedia Engineering*. Vol. 46(2012): 255-265.
- Felder, R. M., dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, S. H. 2004. *Element of Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Gloss, H. G., dan Libertyville. 1957. Process for Recovering Solid Calcium Fluoride Containing Product and Colloidal Silica Solution from A Weak Aqueous Fluosilicic Acid Solution. US Patent No. 2780523.
- Haynes, W. M. 2012. *Handbook of Chemistry and Physics*. New York: CRC Press.
- Index Mundi. 2020. *Indonesian Liquefied Natural Gas Monthly Price – US Dollars per Million Metric British Thermal Unit*. (Online). <https://www.index>

mundi.com/commodities/?commodity=indonesian-liquified-natural-gas&months=60. (Diakses pada 17 Juni 2020).

Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.

James, D. K., dan Gerbino, A. J. 2000. Using Process Simulation to Predict Wastewater Treatment Outcomes. *Semiconductor Pure Water and Chemicals Conference*, 1-30.

Jatimprov.go.id. 2013. *Kabupaten Gresik*. (Online). <http://bappeda.jatimprov.go.id/bappeda/wp-content/uploads/potensi-kab-kota-2013/kab-gresik-2013.pdf>. (Diakses pada 25 Juni 2020).

Kemenperin RI. 2018. *Kementerian Perindustrian Republik Indonesia: Industri Kimia Ketergantungan Bahan Baku Impor*. (Online). <http://www.kemenperin.go.id/>. (Diakses pada 29 Juni 2020).

Kementerian PU. 1996. *Kriteria Perencanaan Pengolahan Air*. Jakarta: Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.

Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.

King, H. B. 2020. *Fluorite and Fluorspar: Mineral Uses and Properties*. (Online). <https://geology.com/minerals/fluorite.shtml>. (Diakses 29 Juni 2020)

Kirk-Othmer. 2013. *Encyclopedia of Chemical Technology Volume 2 Edisi 4*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Kirk-Othmer. 1983. *Encyclopedia of Chemical Technology Volume 23 Edisi 3*. New York: John Wiley and Sons.

Kogel, J. E., Trivedi, N. C., Barker, J. M., dan Krukowski, S. T. 2006. *Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses*. USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.

Laferty, J. M., dan Poss, S. M. 1968. Process of Preparing Calcium Fluoride. US Patent No. 3366444.

Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.

Matches Engineering. 2014. *Equipment Cost*. (Online). www.matche.com. (Diakses pada 24 Juni 2020).

- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook 12th Edition*. Oklahoma: University of Tulsa.
- Momota, K., Yamamoto, K., Inoue, Y., dan Watanabe, S. 2009. Method For Producing Calcium Fluoride, Reusing Method and Recycling Method Thereof. US Patent No. 0180947 A1.
- Pemerintah Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur Indonesia. 2016. *Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kabupaten Gresik 2010-2030*. (Online). <http://gresikkab.go.id/media/c0e09c4135e6a8d0b126baa6e331dff6.pdf>. (Diakses pada 25 Juni 2020).
- Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2010. Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional Kabupaten Gresik Tahun 2010-2030.
- Peraturan Daerah No. 5 Tahun 2012. Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Gresik Tahun 2015.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Edisi 4*. Singapore: McGraw Hill.
- PT Saribumi Sidayu. *Kalsium Karbonat*. (Online). <http://saribumisidayu.com/>. (Diakses pada 4 Desember 2019).
- PT Graha Jaya Pratama Kinerja. *Our Products*. (Online). <https://grahachemical.co.id/>. (Diakses pada 27 Februari 2020)
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. Rgr. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Rushton, A. 1982. *The Selection and Use of Liquid/Solid Separation Equipment*. England: Institute of Chemical Engineers.

- Samrane, K., dan Kossir, A. 2018. Process for Preparing Calcium Fluoride from Fluosilicic Acid. US Patent No. 0155207 A1.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. (Hal. 322: Heat Capacities of the Element). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. 1982. *Chemical Engineering Kinetics 2nd Edition*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Spreckelmeyer, B. dan Aktiengesellschaft, B. 1975. Production of Synthetic Fuorspar. US Patent No. 3907978.
- The Engineering Toolbox. 2020. *Engineering ToolBox*. (Online). <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Diakses pada 17 Juni 2020).
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Ulrich, G. G. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1995. Tentang Perseroan Terbatas. (Online). <https://www.bphn.go.id/data/documents/95uu001.pdf>. (Diakses pada Tanggal 23 Juni 2020).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 23 Juni 2020).
- VerNooy, P. D., dan Michel, J. B. 2001. Process For The Production of Calcium Fluoride. US Patent No. 6224844.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Walker, J. D., dan Geissman, J. W. 1991. Geologic Time Scale: Geological Society of America. (Online). <http://www.geosociety.org/science/timescale/timescl.pdf>. (Diakses pada Tanggal 4 Desember 2019).

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education.

Zipplies, T., Hintzer, K., Gerdes, T., Rodenkirchen, T. S., Seidl, S., dan Berger, T. 2017. Method for the Production of Free Flowing Synthetic Calcium Fluoride and Use Thereof. US Patent No. 9764963 B2.

Zueva, S. B., Ferella, F., Taglieri, G., Michelis, I. D., Pugacheva, I., dan Veglio, F. 2020. Zero-Liquid Discharge Treatment of Wastewater from a Fertilizer Factory. *Sustainability*. Vo.l. 12(397): 1-13. doi:10.3390/su12010397.