

SKRIPSI

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN KALSIUM FLUORIDA DARI
PRESIPITASI KALSIUM KARBONAT DENGAN AMONIUM FLUORIDA
KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**

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



Muhammad Ridho Habibie

NIM 03031281520084

Faras Saskia Samara

NIM 03031381520065

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2019

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN KALSIUM FLUORIDA DARI PRESIPITASI KALSIUM KARBONAT DENGAN AMONIUM FLUORIDA KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

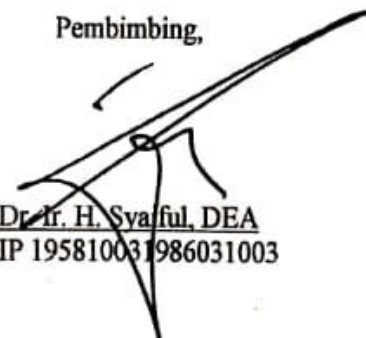
Oleh:

Muhammad Ridho Habibie
NIM 03031281520084

Faras Saskia Samara
NIM 03031381520065

Palembang, Juli 2019

Pembimbing,



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP 195810031986031003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari Presipitasi Kalsium Karbonat dengan Amonium Fluorida Kapasitas 60.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan **Muhammad Ridho Habibie dan Faras Saskia Samara** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada 15 Juli 2019.

Palembang, 15 Juli 2019

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. Siti Miskah, M.T.
NIP 195602241984032002

()

2. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP 197502012000122001

()

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

Muhammad Ridho Habibie 03031281520084

Faras Saskia Samara 03031381520065

Judul:

**“PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN KALSIUM FLUORIDA
DARI PRESIPITASI KALSIUM KARBONAT DENGAN AMONIUM
FLUORIDA KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa di atas tidak mendapatkan tugas perbaikan dari Dosen Penguji pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Juli 2019.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Ridho Habibie
NIM : 03031281520084
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari
Presipitasi Kalsium Karbonat dengan Amonium Fluorida
Kapasitas 60.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Faras Saskia Samara 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 2019



Muhammad Ridho Habibie

NIM. 03031281520084



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faras Saskia Samara

NIM : 03031381520065

Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari
Presipitasi Kalsium Karbonat dengan Amonium Fluorida
Kapasitas 60.000 Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Muhammad Ridho Habibie** 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 2019



Faras Saskia Samara

NIM. 03031381520065



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida dari Presipitasi Kalsium Karbonat dengan Amonium 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 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) Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan juga selaku dosen pembimbing tugas akhir.
- 2) Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S. T., M. T., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Seluruh staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) 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 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
 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. Reaksi Amonium Bifluorida, Amonium Hirdoksida dan Kalsium Fluorida	4
1.3.4. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Asam Fluosilikat	5
1.3.5. Reaksi Batuan Fosfat dengan Asam Fluosilikat	6
1.3.6. Reaksi Kalsium Klorida dengan Amonium Fluorida.....	7
1.3.7. Presipitasi Amonium Fluorida dengan Kalsium Karbonat	7
1.4. Sifat Fisika dan Kimia	12
1.4.1. Asam Heksafluorosilikat	12
1.4.2. Amonium Hidroksida.....	12
1.4.3. Silika	13
1.4.4. Amonium Fluorida	13

1.4.5. Air	14
1.4.6. Kalsium Karbonat	14
1.4.7. Amonium Karbonat.....	15
1.4.8. Kalsium Fluorida.....	15
BAB II PERENCANAAN PABRIK	16
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	16
2.2. Penentuan Kapasitas.....	17
2.3. Pemilihan Proses	18
2.4. Pemilihan Bahan Baku.....	19
2.5. Uraian Proses	19
2.5.1. Pembuatan Amonium Fluorida	19
2.5.2. Pembuatan Kalsium Fluorida.....	20
2.5.3. Pengolahan Limbah.....	21
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	23
3.1. Lokasi Pabrik	23
3.1.1. Ketersediaan Bahan Baku	26
3.1.2. Transportasi dan Pemasaran	26
3.1.3. Utilitas.....	27
3.1.4. Tenaga Kerja	27
3.1.5. Keadaan Iklim	27
3.2. Tata Letak Pabrik	28
3.3. Perkiraan Luas Tanah	30
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	31
4.1. Neraca Massa	31
4.1.1. Neraca Massa Mixing Point – 01 (MP – 01)	31
4.1.2. Neraca Massa Reaktor – 01 (R – 01)	31
4.1.3. Neraca Massa Filter Press – 01 (FP – 01)	32
4.1.4. Neraca Massa Rotary Dryer – 01 (RD – 01).....	32
4.1.5. Neraca Massa Mixing Tank-01 (MT-01)	32
4.1.6. Neraca Massa Reaktor – 02 (R – 02)	33

4.1.7.	Neraca Massa TEE – 01 (TEE – 01)	33
4.1.8.	Neraca Massa Filter Press – 02 (FP – 02).....	34
4.1.9.	Neraca Massa Rotary Dryer – 02 (RD – 02)	34
4.1.10.	Neraca Massa Mixing Point – 02 (MP - 02)	35
4.1.11.	Neraca Massa Evaporator – 01 (EV – 01)	35
4.1.12.	Neraca Massa Pressure Swing Adsorber – 01 (PSA – 01).....	35
4.1.13.	Neraca Massa Partial Condenser – 01 (PC – 01)	36
4.1.14.	Neraca Massa Knock Out Drum – 01 (KOD – 01).....	36
4.1.15.	Neraca Massa Mixing Point – 03 (MP – 03).....	36
4.1.16.	Neraca Massa TEE – 02 (TEE – 02).....	36
4.1.17.	Neraca Massa TEE – 03 (TEE – 03).....	37
4.1.18.	Neraca Massa TEE – 04 (TEE – 04).....	37
4.1.19.	Neraca Massa TEE – 05 (TEE – 05).....	37
4.2.	Neraca Panas	38
4.2.1.	Neraca Panas Heater – 01 (H – 01).....	38
4.2.2.	Neraca Panas Mixing Point – 01 (MP – 01)	38
4.2.3.	Neraca Panas Heater – 02 (H – 02).....	38
4.2.4.	Neraca Panas Reaktor – 01 (R – 01).....	38
4.2.5.	Neraca Panas Filter Press – 01 (FP – 01).....	39
4.2.6.	Neraca Panas Rotary Dryer – 01 (RD – 01).....	39
4.2.7.	Neraca Panas Rotary Cooler – 01 (RC – 01)	39
4.2.8.	Neraca Panas Mixing Tank – 01 (MT – 01)	39
4.2.9.	Neraca Panas Heater – 03 (H – 03).....	40
4.2.10.	Neraca Panas Heater – 04 (H – 04).....	40
4.2.11.	Neraca Panas Reaktor – 02 (R – 02).....	40
4.2.12.	Neraca Panas TEE – 01 (TEE – 01).....	40
4.2.13.	Neraca Panas Filter Press – 02 (FP – 02).....	41
4.2.14.	Neraca Panas Rotary Dryer – 02 (RD – 02).....	41
4.2.15.	Neraca Panas Rotary Cooler – 02 (RC – 02)	41
4.2.16.	Neraca Panas Mixing Point – 02 (MP – 02)	41
4.2.17.	Neraca Panas Evaporator – 01 (EV – 01)	42

4.2.18. Neraca Panas Cooler – 01 (C – 01).....	42
4.2.19. Neraca Panas Pressure Swing Adsorber – 01 (PSA – 01)).....	42
4.2.20. Neraca Panas Partial Condenser – 01 (PC – 01).....	42
4.2.21. Neraca Panas Knock Out Drum – 01 (KOD – 01).....	42
4.2.22. Neraca Panas Cooler – 02 (C – 02).....	43
4.2.23. Neraca Panas Condenser – 01 (CD – 01).....	43
4.2.24. Neraca Panas Mixing Point – 03 (MP – 03)	43
4.2.25. Neraca Panas TEE – 02 (TEE – 02).....	43
4.2.26. Neraca Panas Blower – 01 (BL – 01).....	43
4.2.27. Neraca Panas TEE – 03 (TEE – 03).....	44
4.2.28. Neraca Panas Furnace – 01 (F – 01)	44
4.2.29. Neraca Panas TEE – 04 (TEE – 04).....	44
4.2.30. Neraca Panas Chiller – 01 (CH – 01).....	44
4.2.31. Neraca Panas TEE – 05 (TEE – 05).....	44
BAB V UTILITAS	45
5.1. Unit Pengadaan Air	45
5.1.1. Air Pendingin	45
5.1.2. Air Umpan Boiler.....	47
5.1.3. Air Proses	48
5.1.4. Air Domestik.....	48
5.1.5. Total Kebutuhan Air	49
5.2. Unit Pengadaan Refrigeran	50
5.3. Unit Pengadaan Steam	50
5.3.1. Steam Pemanas.....	50
5.3.2. Steam Penggerak Turbin	51
5.3.3. Total Kebutuhan Steam.....	52
5.4. Unit Pengadaan Listrik	52
5.4.1. Listrik untuk Peralatan	52
5.4.2. Listrik untuk Penerangan	57
5.4.3. Total Kebutuhan Listrik	58
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar	55

5.5.1. Bahan bakar Boiler	55
5.5.2. Bahan bakar keperluan generator.....	57
5.5.3. Bahan Bakar Furnace	58
5.5.4. Total Kebutuhan Bahan Bakar	58

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN

6.1. Tangki – 01 (T – 01)	59
6.2. Tangki – 02 (T – 02)	60
6.3. Tangki – 03 (T – 03)	61
6.4. Silo – 01 (S – 01)	62
6.5. Silo – 02 (S – 02)	63
6.6. Hopper – 01 (HP – 01)	64
6.7. Mixing Tank – 01 (MT – 01)	65
6.8. Reaktor – 01 (R – 01)	66
6.9. Reaktor – 02 (R – 02)	67
6.10. Filter Press – 01 (FP – 01)	69
6.11. Filter Press – 02 (FP – 02)	70
6.12. Evaporator – 01 (EV – 01)	71
6.13. Pressure Swing Adsorber – 01 (PSA – 01)	72
6.14. Knock Out Drum – 01 (KOD – 01)	73
6.15. Screw Conveyor – 01 (SC – 01)	74
6.16. Screw Conveyor – 02 (SC – 02)	75
6.17. Belt Conveyor – 01 (BC – 01)	76
6.18. Belt Conveyor – 02 (BC – 02)	77
6.19. Belt Conveyor – 03 (BC – 03)	78
6.20. Belt Conveyor – 04 (BC – 04)	79
6.21. Belt Conveyor – 05 (BC – 05)	80
6.22. Bucket Elevator – 01 (BE – 01)	81
6.23. Bucket Elevator – 02 (BE – 02)	82
6.24. Bucket Elevator – 03 (BE – 03)	83
6.25. Rotary Drier – 01 (RD – 01)	84
6.26. Rotary Drier – 02 (RD – 02)	85

6.27. Rotary Cooler – 01 (RC – 01).....	86
6.28. Rotary Cooler – 02 (RC – 02).....	87
6.29. Vibrating Screen – 01 (VS – 01).....	88
6.30. Ball Mill – 01 (BM – 01)	89
6.31. Furnace – 01 (F – 01)	90
6.32. Heater – 01 (H – 01).....	91
6.33. Heater – 02 (H – 02).....	92
6.34. Heater – 03 (H – 03).....	93
6.35. Heater – 04 (H – 04).....	94
6.36. Cooler – 01 (C – 01).....	95
6.37. Cooler – 02 (C – 02).....	96
6.38. Chiller – 01 (CH – 01)	97
6.39. Partial Condenser – 01 (PC – 01).....	98
6.40. Condenser – 01 (CD – 01)	99
6.41. Pompa – 01 (P – 01).....	100
6.42. Pompa – 02 (P – 02).....	101
6.43. Pompa – 03 (P – 03).....	102
6.44. Pompa – 04 (P – 04).....	103
6.45. Pompa – 05 (P – 05).....	104
6.46. Pompa – 06 (P – 06).....	105
6.47. Pompa – 07 (P – 07).....	106
6.48. Kompresor – 01 (K – 01)	107
6.49. Kompresor – 02 (K – 02)	108
6.50. Kompresor – 03 (K – 03)	109
6.51. Blower – 01 (BL – 01)	110
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	111
7.1. Bentuk Perusahaan	111
7.2. Struktur Organisasi	111
7.2.1. Organisasi Fungsional	111
7.2.2. Organisasi Lini	112
7.2.3. Organisasi Garis dan Staf	112

7.3. Tugas dan Wewenang	113
7.3.1. Dewan Komisaris	113
7.3.2. Direktur	113
7.3.3. Manajer Teknik dan Produksi	113
7.3.4. Manajer Keuangan dan Pemasaran	114
7.3.5. Manajer Kepegawaian dan Umum	114
7.4. Sistem Kerja	115
7.4.1. Waktu Kerja Karyawan <i>Non-shift</i>	115
7.4.2. Waktu Kerja Karyawan <i>Shift</i>	115
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	116
7.5.1. <i>Direct Operating Labor</i>	116
7.5.2. <i>Indirect Operating Labor</i>	117
BAB VIII ANALISA EKONOMI	121
8.1. Profitabilitas (Keuntungan)	122
8.1.1. Total Penjualan Produk	122
8.1.2. Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i>	122
8.2. Lama Waktu Pengembalian Pinjaman	123
8.2.1. Perhitungan Depresiasi.....	123
8.2.2. Lama Pengangsuran Pengembalian Pinjaman	123
8.2.3. <i>Pay Out Time (POT)</i>	124
8.3. Total Modal Akhir	125
8.3.1. <i>Net Profit Over Total Life of Project (NPOTLP)</i>	125
8.3.2. <i>Total Capital Sink (TCS)</i>	126
8.4. Laju Pengembalian Modal	127
8.4.1. <i>Rate of Return on Investment (ROR)</i>	127
8.4.2. <i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR)</i>	127
8.5. <i>Break Even Point (BEP)</i>	128
8.5.1. Model Matematis	128
8.5.2. Metode Grafis	129
BAB IX KESIMPULAN	132
DAFTAR PUSTAKA	133

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan Kalsium Fluorida	9
Tabel 2.1. Data Impor Kalsium Fluorida di Indonesia	17
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas	45
Tabel 5.2. Total Kebutuhan Air	49
Tabel 5.3. Total Kebutuhan Refrigeran.....	50
Tabel 5.4. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 160 °C.....	50
Tabel 5.5. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 214 °C.....	51
Tabel 5.6. Total Kebutuhan Steam.....	52
Tabel 5.7. Kebutuhan Listrik Peralatan.....	52
Tabel 5.8. Total Kebutuhan Bahan Bakar	58
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan	116
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan	118
Tabel 8.1. Total Penjualan Produk.....	122
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman	124
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Alir Proses Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida	22
Gambar 3.1. Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Gresik.....	24
Gambar 3.2. Peta Sungai dan Waduk Kabupaten Gresik.....	25
Gambar 3.3. Perencanaan Tata Letak Peralatan Proses	29
Gambar 3.4. Perencanaan Tata Letak Pabrik	30
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	120
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	130

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 = *angle of repose*

ρ = Densitas, kg/m³

θ = Sudut Silo

3. MIXING TANK

C = Korosi yang diizinkan, m

E = Effisiensi 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

H₁ = Tinggi pengaduk

W = Lebar daun impeller

L = Panjang daun impeller

V_s = Volume silinder, m³

V_e = Volume ellipsoidal, m³

t_h = Tebal tanki, m

N_t = Jumlah pengaduk

P = Densitas liquid

μ = Viscosity, cP

t_m = waktu pengadukan, menit

4. REAKTOR

C_{A0} = konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m³

C = Tebal korosi yang diizinkan, atm

D_K = Diameter katalis, cm

F_{A0} = Laju alir umpan, kmol/jam

H_r = Tinggi Reaktor, m

ID = Inside Diameter, m

k = Konstanta laju reaksi, m³/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. KNOCK OUT DRUM

A	= Vessel Area Minimum, m ²
C	= Corrosion maksimum, in
D	= Diameter vessel minimum,m
E	= Joint efisiensi
H_L	= Tinggi liquid, m
H_t	= Tinggi vessel,m
P	= Tekanan desain, psi
Q_v	= Laju alir volumetric massa, m ³ /jam

Q_L	= Liquid volumetric flowrate, m^3/jam
S	= Working stress allowable, psi
t	= tebal dinding tangki, m
U_v	= Kecepatan uap maksimum, m/s
V_t	= Volume Vessel, m^3
V_h	= Volume head, m^3
V_t	= Volume vessel, m^3
ρ	= Densitas, kg/m^3
μ	= Viskositas, cP
ρ_g	= Densitas gas, kg/m^3
ρ_l	= Densitas liquid, kg/m^3

7. SCREW CONVEYOR

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

8. 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

9. ROTARY DRYER, ROTARY COOLER

C_p	= Kapasitas panas udara, $kcal/kg^{\circ}C$
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, °F
t_2	= Temperatur umpan keluar, °F
t_w	= Temperatur wet bulb, °F
T_{G1}	= Temperatur udara masuk, °F
T_{G2}	= Temperatur udara keluar, °F
U_d	= Overall heat transfer area, lb/ft ² jam
θ	= Time of retention, jam

10. FURNACE

A	= Luas tube, ft ²
A_{cp}	= Cold plate area, ft ²
A_{cpw}	= Cold plate area tube wall, ft ²
$A_{r, a}$	= Luas area radian section, luas tube, ft ²
ϵ	= Emisivitas
F	= Faktor seksi konveksi
G	= Mass velocity pada minimum cross section, lb/s.ft ²
L	= Panjang tube, ft
L_{beam}	= Mean beam length, ft
N_t	= Jumlah tube
OD	= Diameter luar tube, in
Q_n	= Net heat release, Btu/jam
q_L	= Tube heat loss
q_r	= Radian duty, Btu/jam
t_f, t_t	= Temperatur fluida, temperatur dinding, °F
ρ_g	= Densitas fuel gas, lb/ft ³

11. COOLER, HEATER, PARTIAL KONDENSOR, CONDENSER, CHILLER, EVAPORATOR

A	= Area perpindahan panas, ft^2
C	= Clearance antar tube, in
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, $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
G_t	= Laju alir massa fluida pada tube, $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
h_i, h_{io}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
L	= Panjang tube, pipa, ft
LMTD	= Logarithmic Mean Temperature Difference, $^\circ\text{F}$
N_t	= Jumlah tube
P_T	= Tube pitch, in
ΔP_r	= Return drop sheel, Psi
ΔP_s	= Penurunan tekanan pada shell, Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan tube, Psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
ΔP_T	= Penurunan tekanan total pada tube, Psi
Q	= Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
R_d	= Dirt factor, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.^\circ\text{F}$
R_e	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= Specific gravity
T_1, T_2	= Temperatur fluida panas inlet, outlet, $^\circ\text{F}$
t_1, t_2	= Temperatur fluida dingin inlet, outlet, $^\circ\text{F}$
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas, $^\circ\text{F}$

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

12. 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 expansiom 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 volumeterik
V_f	= Kapasitas pompa, lb/jam

V	= Kecepatan alir
ΔP	= Beda tekanan, Psi

13. KOMPRESOR

C_{fm}	= Cubic feed per menit
k	= Spesific heat
N_s	= Jumlah stage
P_w	= Power yang dibutuhkan, HP
P	= Tekanan, Psi
R_c	= Ratio P_{out}/P_{in} , dimensionless
R_{ct}	= ratio kompresi per stage, dimensionless
W	= Laju feed
ρ_v, ρ_l	= Densitas gas, liquid, kg/m^3

14. BLOWER

A	= Luas permukaan <i>blower</i> , ft^2
D_{opt}	= Diameter optimum pipa, in
P	= Tekanan <i>blower</i> , in H_2O
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 1 PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	138
LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN NERACA PANAS	187
LAMPIRAN 3 SPESIFIKASI PERALATAN	250
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN EKONOMI.....	473

RINGKASAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN KALSIMUM FLUORIDA DARI PRESIPITASI KALSIMUM KARBONAT DENGAN AMONIUM FLUORIDA KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2019

Muhammad Ridho Habibie dan Faras Saskia Samara; Dibimbing oleh Dr. Ir. H. Syaiful, DEA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxvi + 482 halaman, 15 tabel, 7 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Pabrik pembuatan Kalsium Fluorida dengan kapasitas produksi 60.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2024 di Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 6 Ha. Proses pembuatan Kalsium Fluorida ini mengacu pada US Patent No. 2018/0155207 A1 dengan proses netralisasi Asam Fluosilikat dengan Amonium Hidroksida membentuk Amonium Fluorida, dan proses presipitasi Kalsium Karbonat dengan Amonium Fluorida membentuk produk Kalsium Fluorida. Reaktor pertama dan kedua adalah reaktor jenis *Continuous Stirred Tank Reactor*. Reaktor pertama beroperasi pada temperatur 61°C dan tekanan 1 atm sedangkan reaktor kedua beroperasi pada temperatur 80°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 211 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik kalsium fluorida ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- | | |
|---|---------------------|
| • <i>Total Capital Investment (TCI)</i> | = US \$ 78.730.162 |
| • <i>Total Penjualan</i> | = US \$ 317.680.315 |
| • <i>Total Production Cost (TPC)</i> | = US \$ 249.115.961 |
| • <i>Annual Cash Flow</i> | = US \$ 54.078.133 |
| • <i>Pay Out Time</i> | = 1,323 Tahun |
| • <i>Rate Of Return On Investment (ROR)</i> | = 60,961% |
| • <i>Break Even Point (BEP)</i> | = 28,510% |
| • <i>Service Life</i> | = 11 Tahun |

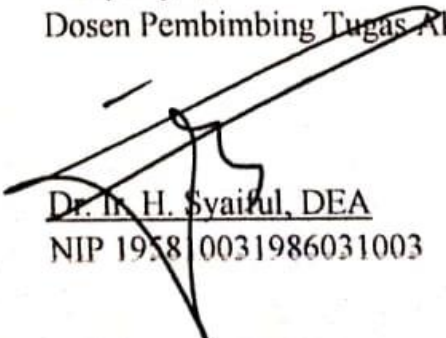
Kata Kunci: Kalsium Fluorida, Presipitasi, *Continuous Stirred Tank Reactor*, Perseroan Terbatas

Kepustakaan: 65 (1937-2019)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia,


Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP 195810031986031003

Palembang, Juli 2019
Menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir,


Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP 195810031986031003

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri kimia merupakan salah satu dari sektor-sektor manufaktur yang dijadikan fokus oleh pemerintah dalam menopang aktivitas ekspor, sehingga dapat meningkatkan daya saing industri di kancah internasional. Secara khusus, sektor industri kimia merupakan dasar dari industri manufaktur, karena produknya digunakan secara luas oleh keempat sektor manufaktur lainnya yaitu industri makanan dan minuman, elektronika, farmasi, dan otomotif (Kemenperin RI, 2018). Berdasarkan hal tersebut, penguatan sektor industri kimia sangat penting dilakukan untuk dapat membangun industri manufaktur yang dapat bersaing secara global.

Indonesia saat ini masih berada pada tahap pengimpor bahan kimia dasar. Hal ini ditunjukkan dari pertumbuhan impor 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 kemudian menurunkan cadangan devisa negara. Masalah ini mendorong Indonesia untuk dapat menambah kapasitas produksi dari sektor industri kimia di Indonesia dan membangun kemampuan Indonesia menjadi eksportir dalam sektor ini.

Salah satu industri kimia yang sangat prospektif untuk dikembangkan di Indonesia adalah pabrik kalsium fluorida sintetis, karena belum terdapatnya pabrik kimia yang menghasilkan kalsium fluorida di Indonesia. Selain itu, menurut Badan Pusat Statistik, kebutuhan impor fluorspar (CaF_2 <97%) di Indonesia mencapai 46.391,628 ton pada tahun 2018. Hal ini menunjukkan kebutuhan kalsium fluorida di Indonesia sangat tinggi dan sangat bergantung pada produk impor. Sehingga, urgensi didirikannya pabrik kalsium fluorida sangat tinggi untuk mengurangi ketergantungan terhadap produk impor yang juga masih diperlukan proses pemurnian dalam aplikasinya. 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 mendorong Indonesia untuk dapat menambah

kapasitas produksi dari sektor industri kimia dalam negeri dan membangun kemampuan Indonesia menjadi eksportir dalam sektor ini. Selain itu juga 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 terdapat 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 dimana ia digunakan sebagai fluks dalam peleburan besi untuk mengurangi viskositas terak. Tambang fluorit pertama dimulai di akhir abad ke-19 di Inggris dan kemudian di Amerika Serikat, untuk memenuhi persyaratan industri besi dan baja (Bessemer dan proses Martin). Selanjutnya, penggunaan *furnace* listrik menyebabkan konsumsi fluorit meningkat. Secara paralel, industri kimia menggunakan asam fluorida (HF) untuk menghasilkan aluminium fluorida sintetis dan *cryolite* untuk industri aluminium dan fluorokarbon. Hal ini semakin meningkatkan konsumsi CaF_2 mengingat bahwa fluorspar adalah satu-satunya bahan baku fluorin yang digunakan untuk memproduksi HF (Aigueperse, 2000).

Penggunaan lain dari fluorspar antara lain pembuatan gelas, enamel, dan fluks pengelasan, namun hanya digunakan sejumlah kecil bijih. Produksi fluorit di dunia telah mencapai lima juta ton per tahun sejak 1975. 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 kotoran, dan kemudian dalam produksi aluminium. Fluorit kelas keramik (85 – 95% CaF_2) digunakan dalam pembuatan kaca *opalescent*, enamel, dan peralatan memasak. Kelas tertinggi, *acid grade fluorite* (97% atau lebih CaF_2), menyumbang sekitar 95% dari konsumsi fluor di Amerika Serikat dimana ia digunakan untuk membuat hidrogen fluorida. Secara internasional, *acid grade fluorite* juga digunakan dalam produksi AlF_3 dan *cryolite* (Na_3AlF_6), yang merupakan senyawa fluorin utama. Alumina dilarutkan dalam Na_3AlF_6 cair, AlF_3 , dan fluorit (CaF_2)

untuk memungkinkan pemulihan elektrolitik aluminium. Kerugian fluorin sepenuhnya diganti oleh penambahan AlF_3 , yang sebagian besar bereaksi dengan kelebihan natrium dari alumina untuk membentuk Na_3AlF_6 .

1.3. Macam – Macam Proses Pembuatan

1.3.1. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida

Kalsium fluorida dengan kemurnian tinggi dapat diperoleh dengan mereaksikan kalsium karbonat bersama hidrogen fluorida. Namun, dalam proses ini memerlukan rentang ukuran partikel kalsium karbonat yang sangat sempit, sehingga akan dibutuhkan biaya untuk melakukan penyortiran. Apabila tidak disortir, maka ukuran partikel produk CaF_2 tidak seragam. Selain itu, proses ini memerlukan penanganan gas asam fluorida yang agak berbahaya. Kalsium fluorida yang dihasilkan dapat mencapai kemurnian hingga 93% (Momota, 2009) dengan reaksi sebagai berikut: $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HF} \rightarrow \text{CaF}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Berdasarkan US Patent No. 2573704, proses produksi kalsium fluorida dilakukan melalui reaksi gas yang mengandung hidrogen fluorida dengan batu kapur pada suhu reaksi dijaga dalam kisaran di atas titik embun gas hidrogen fluorida dan di bawah titik dekomposisi batu kapur, yaitu 825°C . Reaksi menghasilkan dua fraksi, fraksi yang lebih rendah berupa partikel halus (*fine particle*) yang mengandung kalsium fluorida dan fraksi yang lebih kasar (*coarse*) mengandung batu kapur yang tidak bereaksi. Kemudian, dua fraksi yang dihasilkan tersebut dipisahkan antara kalsium fluorida dengan batu kapur yang tidak bereaksi.

Saat reaksi terjadi, batu kapur akan melepaskan karbondioksida (CO_2) dan membentuk kapur yang dapat mengabsorpsi hidrogen fluorida secara efisien. Fluorin yang dapat terserap dari gas sebesar 86 – 90% pada berbagai kondisi operasi seperti temperatur masuk gas sebesar $600 - 740^\circ\text{C}$, waktu operasi, dan temperatur operasi yang bervariasi. Kemurnian kalsium fluorida yang diperoleh hanya berkisar pada rentang 85 – 87%. Walaupun begitu, proses ini dapat mengatasi polusi udara yang disebabkan oleh gas buangan yang mengandung fluorin.

1.3.2. Ekstraksi Bijih Mineral Fluorit

Fluorit umumnya terdapat bersama dengan mineral lainnya, seperti kuarsa, barit, kalsit, galena, siderit, sfalerit, atau kalkopirit. Kalsium fluorida dapat

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

Fluorit dapat ditemukan di banyak lokasi di seluruh dunia seperti Argentina, Austria, Kanada, Cina, Inggris, Perancis, Jerman, Meksiko, Maroko, Myanmar (Burma), Namibia, Rusia, Spanyol, Swiss, dan Amerika Serikat. Walaupun bahan galian ini sangat banyak kegunaannya, penting, dan diperlukan namun di Indonesia belum terdapat informasi mengenai penambangan ataupun produksi fluorspar. Pengetahuan mengenai mineral tersebut sangat minim dan belum terdapat data mengenai hasil penyelidikan terhadap mineral ini. Padahal, secara geologi kemungkinan keterdapatannya di Indonesia cukup besar, karena di Indonesia banyak terdapat batuan berumur tua (kapur, yura hingga permokarbon). Beberapa lokasi yang mungkin dapat ditemukan fluorit di Indonesia ialah di Aceh Tenggara, Sumatera Barat serta Sulawesi Tenggara dan belum dikembangkan. Sehingga, tidak diperoleh data mengenai pasokan fluorit di Indonesia (Syukur, 2008).

1.3.3. Reaksi Amonium Bifluorida, Amonium Hirdoksida dan Kalsium Fluorida

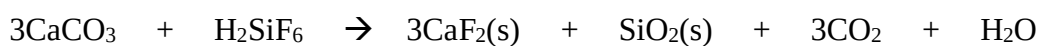
Pembuatan kalsium fluorida murni dengan amonium bifluorida telah dilakukan dengan mereaksikan 0,17 – 0,70 mol amonium bifluorida (NH_4HF_2) yang dilarutkan dalam 0,07 – 0,30 mol amonium hidroksida (NH_4OH) dan kemudian dicampur dengan aliran kalsium fluorida (CaF_2) yang mengandung senyawa impuritis berupa oksida kalsium seperti CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau CaCO_3 . Rasio jumlah atom fluorida terhadap total jumlah atom kalsium ialah antara 2,00 – 2,50. *Slurry* yang dihasilkan kemudian ditembakkan dengan udara pada suhu sekitar 426,67 – 982,22°C dengan waktu yang cukup, umumnya lebih dari satu jam, untuk menguraikan NH_4HF_2 dan bereaksi dengan senyawa oksigen pada aliran CaF_2 .

Analisis kimia menunjukkan bahwa persen kalsium, fluor, kehilangan pengapian, dan pengujian berubah terhadap variabel konsentrasi, waktu, dan temperatur. Persen *yield* fluorin yang dapat diperoleh pada variabel tersebut adalah

47 – 48,4%. Adapun keuntungan dari penemuan ini yaitu, 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 secara langsung bahan baku asam fluosilik yang diencerkan (konsentrasi antara 2,5 sampai 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 . Menurut paten ini jika reaksi dilakukan dalam interval pH 5,5 – 6,5 dan temperatur reaksi dipertahankan pada 16 – 32°C, maka CaF_2 dapat dipisahkan dalam bentuk yang mudah disaring yang secara bersamaan dapat diproduksi sol SiO_2 . Secara teoritis, reaksi yang terjadi adalah 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 impuritis. Material seperti ini kurang sesuai untuk digunakan dalam proses produksi hidrogen fluorida.

Adapun pengembangan proses selanjutnya telah diklaim pada US Patent No. 2780523. Pembuatan kalsium fluorida dilakukan dengan mereaksikan asam fluosilik yang diencerkan (konsentrasi kurang dari 4%, yaitu antara 3 – 3,5%) dengan kalsium karbonat halus berkuantitas kurang dari sekitar 85% dari jumlah equivalen secara stoikiometri yang diperlukan untuk netralisasi kandungan H_2SiF_6 . Reaksi dilakukan pada temperatur 1,7 – 37,8°C selama 30 menit sampai 2 jam. Kemudian dihasilkan larutan pertama yang mengandung koloid silika dan produk padat kalsium fluorida yang dipisahkan dengan filtrasi dimana *filter cake* yang dihasilkan terdapat tidak hanya kalsium fluorida tetapi juga kalsium silikafluorida.

Proses lebih lanjut diklaim dalam US Patent No. 3907978, yaitu reaksi masih dilakukan pada rentang temperatur yang tidak begitu jauh pada 0 – 30°C, dengan pH 4 – 6, dan waktu reaksi 5 – 30 menit. Temperatur dijaga pada kisaran

tersebut untuk menghindari terjadinya flokulasi silika sebagai produk samping. Konversi reaksi sebesar 62% dengan produk kalsium fluorida yang dihasilkan memiliki kemurnian 85 – 95%, 1 – 4% Impuritis SiO_2 , dan 3 – 10% CaCO_3 .

Kelemahan proses ini ialah produk kalsium fluorida yang dihasilkan masih memiliki kandungan SiO_2 yang cukup banyak walaupun lebih sedikit dari proses sebelumnya (dalam *example* paten terdapat sekitar 0,5% atau kurang impuritis SiO_2). Selain itu, produk yang dihasilkan dalam proses ini merupakan campuran kalsium fluorida dan kalsium silikafluorida yang tidak dapat digunakan. Kekurangan lebih lanjut yaitu, diperlukan periode reaksi yang relatif lama sekitar 30 menit – 2 jam. Selanjutnya, kelemahan yang cukup besar dari kedua proses yang dijelaskan di atas adalah fakta bahwa hanya asam fluosilikat yang sangat encer (konsentrasi maksimum 4 – 6%) yang dapat digunakan.

1.3.5. Reaksi Batuan Fosfat dengan Asam Fluosilikat

US Patent No. 6224844 menyediakan suatu proses untuk memproduksi kalsium fluorida yang dilakukan dengan pencampuran Asam Fosfat (H_3PO_4) 85%wt bersama dengan Asam Fluosilikat (H_2SiF_6) 20 – 30%wt. Kemudian, ditambahkan batu fosfat yang mengandung Trikalsium Fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), Kalsium Karbonat (CaCO_3), dan Kalsium Fluorida (CaF_2) ke dalam campuran pada laju dimana pH campuran dijaga kurang dari 0,5 dan pada temperatur yang cukup untuk membentuk campuran kedua yang mengandung CaF_2 , yaitu pada 90°C . Selanjutnya, dilakukan pemisahan CaF_2 dari campuran kedua tersebut.

Batuan fosfat ditambahkan pada jumlah yang tidak dapat dihitung secara kuantitatif dan dapat dihentikan penambahannya ketika Asam Fluosilikat telah terdekomposisi membentuk Kalsium Fluorida setidaknya telah mencapai rasio berat 1,3 : 1. Setelah terbentuk campuran kedua yang mengandung Kalsium Fluorida, campuran ini dapat dipisahkan dengan proses filtrasi dan pendinginan. Hasil pemisahan dapat ditingkatkan dengan melakukan pemanasan selama 1 Jam. Hal ini dikarenakan pada saat hasil campuran dipanaskan akan terjadi aglomerasi senyawa silika yang terdapat pada campuran. Selain itu, proses pemisahan juga dapat dilakukan dengan menggunakan 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. *Washing* merupakan *treatment* yang sangat penting untuk diperhatikan, karena mempengaruhi kemurnian produk dari impuritis dan garam terlarut. Berdasarkan hal tersebut, pada US Patent No. 2653857 proses dilakukan pada kondisi operasi tersebut dan diperoleh produk dengan ukuran yang tidak halus dan lebih seragam dibanding reaksi kalsium karbonat dengan hidrogen fluorida.

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%. Reaksi tersebut dapat memberikan *yield* sebesar 95 – 97% dengan kemurnian kalsium fluorida berkisar pada rentang yang sama dengan hasil pembuatan kalsium fluorida melalui reaksi antara kalsium karbonat dan hidrogen fluorida.

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. Melalui reaksi ini kalsium karbonat dapat hampir sepenuhnya diubah menjadi kalsium fluorida tanpa kehilangan bentuk dan ukurannya. Reaksi yang terjadi dapat dijelaskan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Amonium fluorida diperoleh melalui proses netralisasi asam fluosilikat (H_2SiF_6) dengan amonium hidroksida (NH_4OH). Larutan NH_4OH yang digunakan memiliki pH lebih besar dari 9 dengan konsentrasi dari NH_3 di dalam larutan berada di antara rentang 10 – 35% berat. Reaksi dilakukan dengan agitasi pada temperatur reaksi dalam rentang 20 – 90°C selama 15 – 360 menit hingga menghasilkan *slurry* yang difiltrasi dengan menggunakan filter *press*. Filtrat yang dihasilkan berupa larutan amonium fluorida (NH_4F), sedangkan endapan padatan (*filter cake*) yang dihasilkan berupa silika aktif berkualitas tinggi dan berukuran seragam.

Filtrat berupa NH_4F digunakan untuk dipresipitasi bersama CaCO_3 dalam bentuk padatan. Nilai pH dari campuran reaksi adalah basa, yaitu lebih besar dari 10. Reaksi berlangsung secara endotermis pada temperature berkisar antara 60 sampai 90°C menghasilkan *slurry* yang mengandung kalsium fluorida dan ammonium karbonat. *Slurry* tersebut kemudian difiltrasi menggunakan filter *press*, sehingga diperoleh endapan padatan (*filter cake*) yang mengandung kalsium fluorida, dan filtrat yang mengandung larutan dari ammonium karbonat ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$). Kemudian, endapan padatan (*filter cake*) dicuci dan dikeringkan sehingga diperoleh kalsium fluorida dan air hasil pencucian endapan padatan (*filter cake washing*) yang mengandung larutan ammonium karbonat.

Kalsium fluorida yang dihasilkan dapat diaplikasikan untuk produksi hidrogen fluorida dengan proses konvensional. Selain itu, silika aktif yang dihasilkan dengan kualitas yang sedemikian rupa sehingga dapat ditambahkan di dalam proses pembuatan asam fosfat untuk menyesuaikan kekurangan silika aktif di dalam batuan fosfat, juga karena memiliki sifat-sifat yang unggul maka dapat digunakan untuk produksi resin sintetis, karet, cat dan kertas.

Proses baru ini dapat menghindari kekurangan-kekurangan dari proses-proses yang telah diketahui sebelumnya. Hal ini dapat diketahui melalui perbandingan proses pembuatan kalsium fluorida pada tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan Kalsium Fluorida

Proses	Bahan Baku	Kondisi Operasi	Kemurnian Produk /Impuritis	Persediaan Bahan Baku	Konversi /Yield	Keterangan & Kelebihan/Kekurangan Lainnya
1	CaCO ₃ dan HF	825°C	Kemurnian 85-87% atau 93%	Tersedia di Indonesia	Yield Fluorin 86-90%	• Temperatur operasi sangat tinggi, namun kemurnian sangat rendah • Memerlukan rentang ukuran partikel CaCO₃ yang sangat sempit yang dibutuhkan biaya untuk penyortirannya. Jika tidak disortir, maka ukuran partikel produk CaF₂ tidak seragam • Memerlukan penanganan gas asam fluorida yang agak berbahaya • 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%	• 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_4HF_2 , NH_4OH , dan CaF_2	426,67 - 982,22° C, >1 Jam	Kemurnian sangat rendah	Tidak tersedia di Indonesia	<i>Yield</i> Fluorin 47-48,4%	• 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
						• Konversi rendah dan waktu operasi lama, namun kemurnian tidak terlalu tinggi • Rasio reaktan terlalu tinggi (500 bagian berat), sehingga menghasilkan banyak impuritis CaCO_3 yang dapat mengurangi kegunaan produk • Memerlukan proses tambahan untuk memisahkan endapan kalsium fluorida dari larutan encer yang mengandung koloidal silika • Hanya asam fluosilisik yang sangat encer (konsentrasi maksimum 4 - 6%) yang dapat digunakan • Produk kalsium fluorida yang diperoleh mengandung 4 – 7% SiO_2 sebagai impuritis dan menghasilkan kalsium silikafluorida. Material seperti ini kurang sesuai untuk digunakan dalam proses produksi hidrogen fluoride • relatively expensive and of non-uniform particle size, and the process requires the handling of hydrofluoric acid which is somewhat hazardous.
4	CaCO_3 dan H_2SiF_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%	

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	- Batuan fosfat ditambahkan pada jumlah yang tidak dapat dihitung secara kuantitatif - Diperlukan larutan tambahan (asam sulfat) dan pemanasan dalam pemisahan produk - 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	-	- 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%	- 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 7 dari U.S Patent No 2018/0155207 A1, 7 Juni 2018. Sehingga, proses 7 dipilih sebagai proses yang digunakan dalam tugas Pra-Rancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida ini.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Asam Heksafluorosilikat

Rumus molekul : H_2SiF_6

Rumus Bangun :



Berat molekul : 144,106 kg/kmol

Berat jenis : 1,32 g/cm³

Titik Didih : 108,5°C

Penampilan : Cairan tidak berwarna

Bau : Asam dan tajam

Bahaya : Beracun dan Korosif

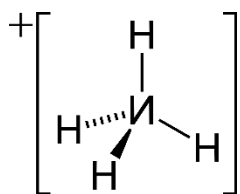
Kelarutan : Larut dalam air

(Kirk-Othmer, 1983)

1.4.2. Amonium Hidroksida

Rumus molekul : NH_4OH

Rumus Bangun :



Berat molekul : 17,031 kg/kmol

Berat jenis : 0,696 g/cm³

Titik Didih : -33,33°C

Titik leleh : -77,73°C

$\Delta H_{f(298)}$: $-3,61 \times 10^5$ KJ/kmol

Kelarutan : 89,9 g/ 100 g H₂O

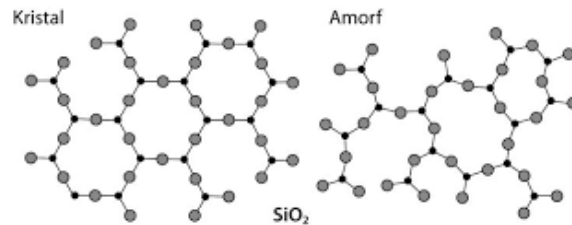
Kapasitas Panas Molar : 154,9 KJ/mol

(Haynes, 2012)

1.4.3. Silika

Rumus molekul : SiO_2

Struktur Kristal :



Berat molekul : 60,085 kg/kmol

Berat jenis : 2,196-2,648 g/cm³

Titik Didih : 573-1722 °C

Titik leleh : 2950°C

$\Delta H_{f(298)}$: $4,51 \times 10^5$ KJ/kmol

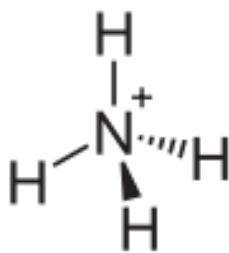
Kapasitas Panas Molar : $22,251 \times 10^{-3}$ KJ/mol

(Haynes, 2012)

1.4.4. Amonium Fluorida

Rumus molekul : NH_4F

Rumus Bangun :



Berat molekul : 37,037 kg/kmol

Berat jenis : 1,015 g/cm³

Titik leleh : 238°C

$\Delta H_{f(298)}$: $-4,64 \times 10^5$ KJ/kmol

Kapasitas Panas Molar : 65,3 KJ/mol

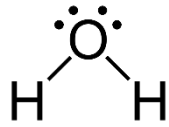
Kelarutan : 83,5 g/ 100 g H₂O

(Haynes, 2012)

1.4.5. Air

Rumus molekul : H₂O

Rumus Bangun :



Berat molekul : 18,016 kg/kmol

Fase : *gas* atau *liquid*

Berat jenis : 0,998 g/cm³ (293°K)

Titik didih : 373,15°K

Titik beku : 273,2°K

$\Delta H_{f(298)}$: -2,42E+5 KJ/kmol

Temperatur kritis : 647,3°K

Tekanan kritis : 221,2 bar

Kalor penguapan : 40,656 KJ/mol

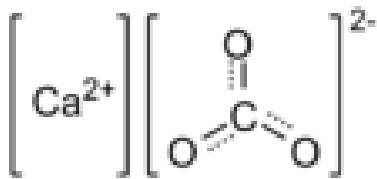
(Sinnott, 2005)

1.4.6. Kalsium Karbonat

Rumus molekul : CaCO₃

Berat molekul : 100,087 kg/kmol

Rumus bangun :



Berat jenis : 2,710 g/cm³

Titik leleh : 700-900°C

$\Delta H_{f(298)}$: -12,076 x 10⁵ KJ/kmol

Kapasitas Panas Molar : 83,5 KJ/mol

Kelarutan : 0,0006g g/ 100 g H₂O

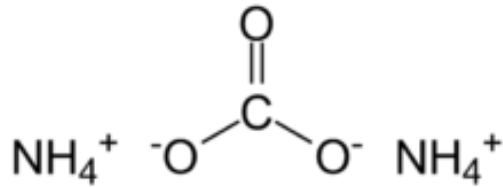
Warna padatan : putih

(Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.7. Amonium Karbonat

Rumus molekul : $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

Rumus Bangun :



Berat molekul : 96,09 kg/kmol

Berat jenis : 1,50 g/cm³

Titik lebur : 58°C

Kelarutan : 100 g/ 100 g H₂O

Warna padatan : Bubuk putih

(Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.8. Kalsium Fluorida

Rumus molekul : CaF_2

Rumus Bangun :



Berat molekul : 76,08 kg/kmol

Berat jenis : 3,181 g/cm³

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.L (pada 25°C)

Kelarutan : 0,0016 g/ 100 g H₂O (pada 20°C)

Warna padatan : kuning-hijau

(Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Rahman, Z. A., Mahmood, A. M., dan Ali, A. J. 2014. Separation by Pressure Swing Adsorption (PSA). *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering*. Vol. 15(2): 1-7.
- Aigueperse, J., Mollard, P., Devilliers, D., Chemla, M., Faron, R., Romano, R., dan Cuet, 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 1 Mei 2019).
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Data Impor Kalsium Fluorida dari Tahun 2011-2018*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada Tanggal 10 Januari 2019).
- Bank Indonesia. 2019. *Suku Bunga Penjaminan*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/suku-bunga-penjaminan/Contents/Default.aspx>. (Diakses pada Tanggal 23 Juni 2019).
- Benjamins, E., dan Westrum, E. F. 1957. The Thermodynamic Properties of Ammonium Fluoride: Heat Capacity from 6 to 309°K., the Entropy, Enthalpy and Free Energy Function. *Journal of The American Chemical Society*. Vol. 79(2): 287-290.
- Brown, G. G. 1950. *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. 2019. *Climate Gresik*. (Online). <https://www.climate-data.org>. (Diakses pada 7 Januari 2019).
- Couper, J. R., Penney, W. R., James, dan Walas, S. M. 2010. *Chemical Process Equipment Selection and Design Edisi 2*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Evans, J. E., dan Lobo, W. E. 1939. *Heat Transfer in the Radiant Section of Petroleum Heaters*. New York: Kellogg Company.

- 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.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. United States of America: Prentice-Hall International.
- Gilbert, N., Sheffield, dan Hobbs, I. A. 1951. Making Calcium Fluoride. US Patent No. 2573704 A1.
- 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.
- Good, W. D. 1962. The Heat of Formation of Silica. *Journal of The American Chemical Society*. Vol. 66: 380-381.
- Hayness, W. M. 2012. *Handbook of Chemistry and Physics*. New York: CRC Press.
- Hildenbrand, D. L., dan Giauque, W. F. 1953. Ammonium Oxide and Ammonium Hydroxide. Heat Capacities and Thermodynamic Properties from 15 to 300°K. *Journal of The American Chemical Society*. Vol. 75(12): 2811-2818.
- Ilmusipil.com. 2019. *Harga Borong Bangunan per Meter Persegi*. (Online). <http://www.ilmusipil.com/harga-borong-bangunan-per-meter-persegi>. (Diakses pada 23 Juni 2019).
- Index Mundi. 2019. *Indonesian Liquefied Natural Gas Monthly Price – US Dollars per Million Metric British Thermal Unit*. (Online). <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=indonesian-liquefied-natural-gas&months=60>. (Diakses pada 23 Juni 2019).
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- 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 8 Februari 2019).
- Kemenperin RI. 2018. *Kementerian Perindustrian Republik Indonesia: Industri Kimia Ketergantungan Bahan Baku Impor*. (Online). <http://www.kemenpe>

- rin. go.id/. (Diakses pada 8 April 2019).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Kementerian PU. 1996. *Kriteria Perencanaan Pengolahan Air*. Jakarta: Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.
- 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.
- 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. 2017. *Equipment Cost*. (Online). www.matche.com. (Diakses pada 20 Juni 2019).
- 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 1 Juli 2019).
- 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 Fa Bahagia. *Product: Ammonium Hydroxide*. 2015. (Online). <http://www.fabahagia.com/>. (Diakses pada 12 Januari 2019).
- PT Indobumi Agung. *Kalsium Karbonat*. 2017. (Online). <http://www.iba.co.id/>. (Diakses pada 12 Januari 2019).
- PT Petrokimia Gresik. *Pupuk: Bahan Kimia*. 2017. (Online). <http://www.petrokimia-gresik.com/>. (Diakses pada 12 Januari 2019).
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. R. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Rumah.com. 2013. *Situs Properti Terdepan di Indonesia*. (Online). <http://www.rumah123.com>. (Diakses pada Tanggal 10 Juni 2019)
- Rushton, A. 1982. *The Selection and Use of Liquid/Solid Separation Equipment*. England: Institute of Chemical Engineers.
- Ross, J. F., Heights, S., dan Sloyer, H. W. 1953. Preparation of Calcium Fluoride. US Patent No. 2653857.
- Samrane, K. dan Kossir, A. 2018. Process for Preparing Calcium Fluoride from Fluosilicic Acid. US Patent No. 0155207 A1.
- Shreve, R. N. 1937. *Chemical Process Industries 5th Edition*. Tokyo: McGraw-Hill Book Kogakusha Ltd.
- 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.
- Syukur. 2008. *Fluorit di Indonesia*. (Online). https://psg.bgl.esdm.go.id/digeol/koleksi/report/geologi_dan_spesifikasi_fluorit_serta_kemungkinan_keterdapatannya_di_indonesia. (Diakses pada Tanggal 1 Mei 2019).
- The Engineering Toolbox. 2019. *Engineering ToolBox*. (Online). <https://www.engineeringtoolbox.com/>. (Diakses pada 25 Juni 2019).
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Ulfah, N. 2015. *Sistem Pengendalian Manajemen*. (Online). https://www.academia.edu/17207416/Jenis-jenis_struktur_organisasi. (Diakes pada Tanggal (12 April 2019).
- 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 12 April 2019).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 12 April 2019).
- Vataruk, W. M., Hall, R. S., dan Matley, J. 2002. Estimating Process Equipment Costs. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 95, Hal. 66.
- 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 21 April 2019).
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education.