

PRA RENCANA
PABRIK PEMBUATAN NATRIUM KARBONAT
KAPASITAS 220.000 TON/TAHUN



SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti Ujian Sarjana
pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

OLEH:

MUHAMMAD ARIFIN	03031181320028
AMIL MUTTAQIN	03031181320054

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
INDRALAYA
2018**

HALAMAN PENGESAHAN
PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN
NATRIUM KARBONAT KAPASITAS 220.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana

Oleh:

Muhammad Arifin

NIM: 03031181320028

Amil Muttaqin

NIM: 03031181320054

Inderalaya, 20 Januari 2018

Pembimbing,



Dr. Ir. H. Muhammad Faizal, DEA
NIP. 195805141984031001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia

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



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Natrium Karbonat Kapasitas 220.000 ton/tahun” telah dipertahankan **Muhammad Arifin dan Amil Muttaqin** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 Januari 2018.

Inderalaya, 13 Januari 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003
 2. Selpiana, S.T., M.T.
NIP. 197809192003122001
 3. Lia Cundari, S.T.,M.T.
NIP. 198412182008122001

23/1/2018

(.....)

(.....)

A blue circular stamp from "UNIVERSITAS SAINS DAN TEKNOLOGI ISLAM INDONESIA" is overlaid by a handwritten signature in black ink. The signature reads "Dr. Ir. H. Syaiful, DEA." above "NIP. 195810031986031003". A large, thin black line is drawn diagonally across the stamp and signature.

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Arifin
NIM : 03031181320028
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Natrium Karbonat
Kapasitas 220.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Amil Muttaqin 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.



Indralaya, 13 Januari 2017

Muhammad Arifin

NIM. 03031181320028

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Amil Muttaqin
NIM : 03031181320054
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Natrium Karbonat
Kapasitas 220.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Muhammad Arifin 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.



Indralaya, 13 Januari 2017

Amil Muttaqin

NIM. 03031181320054

ABSTRAK

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN NATRIUM KARBONAT
KAPASITAS 220.000 TON/TAHUN

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, 13 Januari 2018

Muhammad Arifin dan Amil Muttaqin; Dibimbing oleh Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xvii + 433 halaman, 12 tabel, 9 gambar, 4 lampiran

ABSTRAK

Pabrik pembuatan Natrium Karbonat berkapasitas 220.000 ton/tahun ini direncanakan didirikan pada tahun 2022 berlokasi di daerah Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur dengan luas area 12,8 Ha. Proses pembuatan Natrium Karbonat ini menggunakan proses solvay berlangsung pada *packed reactor* pada temperatur 54°C dan tekanan 4 atm. Untuk membangun dan mengoperaskan pabrik ini akan didirikan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan dipilih adalah *line and staff* dengan total karyawan 285 orang. Pabrik pembuatan Natrium Karbonat layak didirikan karna telah memenuhi persyaratan parameter analisa ekonomi sebagai berikut :

- | | |
|--|-----------------------|
| a. <i>Total Capital Investment</i> (TCI) | = US\$ 62,555,026.78 |
| b. Total penjualan per tahun | = US\$ 449,569,884.72 |
| c. Biaya produksi per tahun | = US\$ 389,746,877.47 |
| d. Laba bersih per tahun | = US\$ 44,867,255.43 |
| e. <i>Annual Cash Flow</i> (ACF) | = US\$ 49,701,052.95 |
| f. <i>Pay Out time</i> | = 2 tahun |
| g. <i>Rate of return on investment</i> | = 71,72 % |
| h. <i>Break Even Point</i> | = 35,89 % |
| i. <i>Service life</i> | = 11 tahun |

Kata Kunci : Pabrik, Natrium Karbonat, Proses Solvay, Analisa Ekonomi
Kepustakaan : 42 (1947-2015)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur selalu dipanjatkan kepada Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan karunia-Nya jualah akhirnya penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir dengan judul "**Prarencana Pabrik Pembuatan Natrium Karbonat dengan Kapasitas 220.000 Ton/Tahun**". Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama penggerjaan Tugas Akhir ini, terutama kepada:

- 1) Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 2) Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Wakil Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Bapak Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA, selaku dosen pembimbing tugas akhir (skripsi).
- 4) Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan mata kuliah serta membimbing dari awal sampai akhir kuliah.
- 5) Orang tua, keluarga, teman-teman dan semua pihak yang terlibat dan turut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi rekan mahasiswa dan untuk semua pihak yang membaca. Aamiin.

Indralaya, Januari 2018

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dukungan dari berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk dan bantuan, serta dorongan dari berbagai pihak baik yang bersifat moral maupun materil. Penulis mengucapkan rasa terimakasih kepada:

Allah SWT dengan segala rahmat dan karunia-Nya yang memberikan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini

1. Kedua orang tua kami tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya mengalir demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
2. Pak Dr. Ir. H. M. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Leily Nurul Komariah, S.T, M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Bpk Dr. Ir. H. Muhammad Faizal, DEA selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Seluruh dosen dan Staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
6. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini turut memberi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Inderalaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	2
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan.....	3
1.4. Sifat-sifat Fisika dan Kimia	5
BAB II PERENCANAAN PABRIK	13
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	13
2.2. Penentuan Kapasitas Produksi	14
2.3. Pemilihan Proses	15
2.4. Pemilihan Bahan Baku	16
2.5. Uraian Proses	16
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....	19
3.1. Lokasi Pabrik	19
3.2. Tata Letak Pabrik	21
3.3. Luas Area	22
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....	28
4.1. Neraca Massa	28
4.2. Neraca Panas	37
BAB V UTILITAS.....	47
5.1. Unit Pengolahan Air.....	47
5.2. Unit Pengadaan Steam	52
5.3. Unit Pengadaan Tenaga Listrik	52
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	55

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	58
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN.....	111
7.1. Struktur Organisasi	111
7.2. Manajemen Perusahaan.....	112
7.3. Kepegawaian	112
7.4. Sistem Kerja.....	112
7.5. Metode Penentuan Jumlah Buruh	114
BAB VIII ANALISA EKONOMI	118
8.1. Keuntungan (Profitability)	119
8.2. Lama Pengembalian Modal.....	120
8.3. Total Modal Akhir.....	122
8.4. Laju Pengembalian Modal	125
8.5. Break Even Point.....	126
BAB IX KESIMPULAN.....	130
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN.....	134

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Kebutuhan Natrium Karbonat per Tahun.....	14
Tabel 2.2. Perbandingan Proses Pembuatan Natrium Karbonat	16
Tabel 5.1. Data Kebutuhan Air Pendingin Peralatan	48
Tabel 5.2. Data Kebutuhan Air Proses Peralatan	50
Tabel 5.3. Data Kebutuhan Air Domestik.....	51
Tabel 5.4. Data Kebutuhan Steam.....	52
Tabel 5.5. Data Kebutuhan Listrik Peralatan	52
Tabel 5.6. Data Kebutuhan <i>Refrigrant</i>	57
Tabel 7.1. Pembagian Jam Kerja Pekerja Shift.....	113
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan.....	115
Tabel 8.1. Angsuran Pengembalian Modal	121
Tabel 8.2 Kesimpulan Analisa Ekonomi	128

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1. Grafik Kebutuhan Natrium Karbonat dari Tahun 2011 - 2016.	14
Gambar 2.2. Flow Diagram Proses Pembuatan Natrium Karbonat	18
Gambar 3.1. Peta Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik Jawa Timur.....	23
Gambar 3.2. Peta RTRW Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik Jawa Timur	24
Gambar 3.3. Peta Lokasi Pabrik Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik Jawa Timur.....	25
Gambar 3.4. Layout Pabrik Pembuatan Natrium Karbonat	26
Gambar 3.5. Layout Peralatan Pembuatan Natrium Karbonat.....	27
Gambar 7.1. Diagram Struktur Organisasi Perusahaan	117
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	127

DAFTAR NOTASI

1. Tanki dan Silo Bin

- C : Tebal korosi yang diizinkan, m
D_T : Diameter tangki, m
E : Efisiensi pengelasan, %
H_s : Tinggi silinder, m
H_T : Tinggi total tangki, m
h : Tinggi head, m
P : Tekanan operasi, atm
T : Temperatur operasi, °K
S : Working stress yang diizinkan, atm
t : Tebal tangki, m
V_s : Volume silinder, m³
V_e : Volume ellipsoidal, m³
V_k : Volume kerucut alat, m³
V_t : Volume tangki, m³

2. Mixing Tank

- C : Corrosion maksimum, in
Dt : Diameter tangki, m
Di : Diameter impeller, m
E : Joint effisiensi
g : Lebar baffle pengaduk, m
h : Tinggi head, m
H_L : Tinggi liquid, m
H_s : Tinggi silinder, m
H_T : Tinggi tangki, m
N : Kecepatan putaran pengaduk, rpm
P : Tekanan desain, psi

r	: Panjang blade pengaduk, m
rb	: Posisi baffle dari dinding tanki, m
r _i	: jari-jari vessel, in
S	: Working stress allowable, psi
t	: tebal dinding tangki, m
V _s	: Volume silinder, m ³
V _E	: Volume ellipsoidal, m ³
V _t	: Volume tangki total, m ³
W _b	: Lebar baffle, m
ρ	: Densitas, kg/m ³
μ	: Viskositas, kg/m .s

3. Clarifier

A	: Vessel Area Minimum, m ²
C	: Corrosion maksimum, in
D	: Diameter vessel minimum,m
E	: Joint effisiensi
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/m³

ρ_l : Densitas liquid, kg/m³

4. Cooler, Heater, dan Partial Condenser

A : Area perpindahan panas, ft²

a_o, a_p : Area alir pada annulus, inner pipe, ft²

a_s, a_t : Area alir pada shell and tube, ft²

a'' : External surface per 1 in, ft²/in ft

B : Baffle spacing, in

C'' : Clearence antar tube, in

C_p : Spesific heat, Btu/lb °F

D : Diameter dalam tube, in

D_e : Diameter ekuivalen, in

D_S : Diameter shell, in

f : Faktor friksi, ft²/in²

G, G_s : Laju alir pada tube, shell, lb/h.ft²

g : Percepatan gravitasi

h : Koefisien perpindahan panas, Btu/hr.ft².°F

h_l, h_o : Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar tube

j_H : Faktor perpindahan panas

k : Konduktivitas termal, Btu/hr.ft².°F

L : Panjang tube pipa, ft

LMTD : Logaritmic Mean Temperature Difference, °F

N : Jumlah baffle

N_t : Jumlah tube

P_T : Tube pitch, in

ΔP_T : Return drop shell, psi

ΔP_S : Penurunan tekanan pada shell, psi

ΔP_t : Penurunan tekanan pada tube, psi

ID : Inside diameter, ft

- OD : Outside diameter, ft
 Q : Beban panas heat exchanger, Btu/hr
 Rd : Dirt factor, hr.ft².°F/Btu
 Re : 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
 Ta : Temperatur rata-rata fluida panas, °F
 ta : Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
 tf : Temperatur film, °F
 tw : Temperatur pipa bagian luar, °F
 Δt : Beda temperatur yang sebenarnya, °F
 U : Koefisien perpindahan panas
 U_c, U_D : Clean overall coefficient, Design overall coefficient, Btu.hr.ft².°F
 V : Kecepatan alir, ft/s
 W : Kecepatan alir massa fluida panas, lb/hr
 w : Kecepatan alir massa fluida dingin, lb/hr
 μ : Viskositas, Cp

5. Blower

- cfm : cubic per minute, ft³/min
 Hp : Power, Hp
 m : Mass flow rate, lb/jam
 ΔP : Beda tekanan, psi
 Q : Laju alir volumetric, ft³/min
 ρ : Densitas fluida, lb/ft³
 η : Effisiensi, %

6. Kompresor

- N_s : Jumlah stage

G_v, g_l : Volumetrik, flowrate gas, liquid, kg/jam

Cfm : Cubic feed per menit

P_w : Power yang dibutuhkan, HP

P : Tekanan, Psi

K : Ratio cp/cv , dimensionless

R_c : ratio kompresor, dimensionless

ρ_v, ρ_l : Densitas gas, liquid, kg/m³

7. Belt Conveyor

C : Material factor, dimensionless

K : Kapasitas, ton/jam

THP : Ton per Hour, ton/jam

H : Panjang Belt, ft

W : Berat material, kg/jam

P : Power, Hp

V : Tinggi Belt, ft

8. Knock Out Drum

A : Vessel Area Minimum, m²

C : Corrosion maksimum, in

D : Diameter vessel minimum,m

E : Joint effisiensi

H_L : Tinggi liquid, m

Ht : Tinggi vessel,m

P : Tekanan desain, psi

Q_v : Laju alir volumetric massa, m³/jam

Q_L : Liquid volumetric flowrate, m³/jam

S : Working stress allowable, psi

t : tebal dinding tangki, m

U_v : Kecepatan uap maksimum, m/s

V_t : Volume Vessel, m^3
 Vh : Volume head, m^3
 Vt : 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

9. Solvay Tower

A : Cross sectional area tower, m^2
 BM_{avg} : BM rata-rata, $kg/kmol$
 C : Corrosion maksimum, in
 D : Diameter kolom, m
 D_G, D_L : Diffusivity gas dan liquid, m^2/s
 E : Joint effisiensi
 ρ_g, ρ_L : Densitas gas dan liquid, kg/m^3
 F_g, F_L : Koefisien mass transfer gas dan liquid, $kmol/m^2.s$
 G : Superficial molar gas mass velocity, $kmol/m^2 s$
 G' : Superficial gas mass velocity, $kg/m^2 s$
 Ht_G : Tinggi transfer unit fase gas, m
 Ht_L : Tinggi transfer unit fase liquid, m
 Ht_{og} : Overall tinggi transfer unit overall fase gas
 L : Total laju liquid, $kg/m^2 s$
 L' : Superficial liquid mass velocity, $kg/m^2 s$
 m : Ratio distribusi kesetimbangan
 P : Tekanan desain, psi
 S : Working stress allowable, psi
 Sc_g, Sc_l : Schmidt number of gas, liquid
 Z : Tinggi packing, m
 μ_g, μ_L : Viskositas gas dan liquid $kg/m.s$

- ε : Energy of molecular attraction
 ε_{Lo} : Fractional liquid volume, m^2/m^3
 ΔP : Perbedaan tekanan, N/m^2
 σ_L : Liquid surface tension, N/m
 φ_{lt} : Total hold-up liquid

10. Rotary Vacum Drum Filter

- A : Luas permukaan filtrasi, ft^2
 C : Konsentrasi. Lb/ft^3
 F : Fraksi filter yang tercelup, %
 g_c : Percepatan gravitasi, ft/s^2
 H_p : Power motor, Hp
 N_{Re} : Reynold Number
 k : Konstanta ratio kapasitas panas udara, dimensionless
 l_{avg} : Ketebalan cake rata-rata pada filter, cm
 L : Panjang drum filter, m
 m_c : Mass of dry solid filter cake, kg
 m_f : Mass of wet filter cake, kg
 P : Tekanan udara, psi
 Q_{fm} : Cubic per minute udara masuk ke dalam vacuum filter, ft^3/min
 R : Jari-jari drum filter, ft
 V : Volumetric flowrate filtrate, ft^3/dt
 t_c : Cicle time, dt
 V_R : Volume filtrate per revolusi, ft^3
 W : Berat jenis slurry, lb/ft^3
 W_c : Berat cake, kg
 W_f : Berat filtrate, kg
 W_s : Berat slurry, kg
 ΔP : Beda tekanan di dalam filter, lbf/ft^3
 α_o : Specific cake resistance, ft/lb
 ρ_s : Densitas slurry, lb/ft^3

- ρ_c : Densitas cake, lb/ft³
 ψ_a : Fraksi area drum filter untuk “air suction”, %
 ψ_a : Fraksi area drum yang tercelup, %
 μ_a : Viskositas udara, lb ft/hr
 μ_s : Viskositas slurry, lb ft/hr

11. Lime Kiln dan Calciner

- G_s : Laju alir udara, kg
 m_{s2} : Laju alir solid masuk, kg
 m_{s2} : Laju alir solid keluar, kg
 D : Diameter rotary tubular kiln, m
 L : Panjang, m
 N : Jumlah putaran, rpm
 α : Kemiringan kiln, °
 θ : Average time of passage, menit
 P : Tekanan, Psi
 t_s : Tebal rotary kiln, cm
 Power : Horse power

12. Pompa

- A : Area alir pipa, in²
 BHP : Brake Horse Power, HP
 D_{opt} : Diameter optimum pipa, in
 f : Faktor friksi
 g : Percepatan gravitasi, ft/s²
 g_c : Konstanta percepatan gravitasi, ft/s²
 H_f : Total friksi, ft
 H_{fs} : Friksi pada dinding pipa, ft
 H_{fc} : Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
 H_{fe} : Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft

H_{ff} : Friksi karena fitting dan valve, ft
 H_d, H_s : Head discharge, suction, ft
 ID : Inside diameter, in
 OD : Outside diameter, in
 K_c, K_e : Contaction, ekspansion contraction, ft
 L : Panjang pipa, m
 Le : Panjang ekuivalen pipa, m
 mf, ms : Kapasitas pompa, laju alir, lb/h
 MHP : Motor Horse Power, HP
 $NPSH$: Net Positive Suction Head, ft . lbf/ lb
 P_{uap} : Tekanan uap, psi
 Q_f : Laju alir volumetrik, ft³/s
 Re : Reynold Number, dimensionless
 V_s : Suction velocity, ft/s
 V_d : Discharge velocity, ft/s
 ΔP : Differential pressure, psi
 ε : Equivalent roughness, ft
 η : Efisiensi pompa
 μ : Viskositas, kg/m.hr
 ρ : Densitas, kg/m³

13. Absorber

A : Cross sectional area tower, m²
 BM_{avg} : BM rata-rata, kg/kmol
 C : Corrosion maksimum, in
 D : Diameter kolom, m
 D_G, D_L : Diffusivity gas dan liquid, m²/s
 E : Joint effisiensi
 ρ_g, ρ_L : Densitas gas dan liquid, kg/m³
 F_g, F_L : Koefisien mass transfer gas dan liquid, kmol/m².s
 G : Superficial molar gas mass velocity, kmol/m² s

- G' : Superficial gas mass velocity, $\text{kg/m}^2 \text{s}$
 Ht_G : Tinggi transfer unit fase gas, m
 Ht_L : Tinggi transfer unit fase liquid, m
 Ht_{og} : Overall tinggi transfer unit overall fase gas
 L : Total laju liquid, $\text{kg/m}^2 \text{s}$
 L' : Superficial liquid mass velocity, $\text{kg/m}^2 \text{s}$
 m : Ratio distribusi kesetimbangan
 P : Tekanan desain, psi
 S : Working stress allowable, psi
 Sc_g, Sc_l : Schmidt number of gas, liquid
 Z : Tinggi packing, m
 μ_g, μ_L : Viskositas gas dan liquid kg/m.s
 ε : Energy of molecular attraction
 ε_{Lo} : Fractional liquid volume, m^2/m^3
 ΔP : Perbedaan tekanan, N/m^2
 σ_L : Liquid surface tension, N/m
 ϕ_{lt} : Total hold-up liquid

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. PERHITUNGAN	
1.1. Neraca Massa.....	134
1.2. Neraca Panas.....	164
1.3. Spesifikasi Peralatan.....	245
1.4. Analisa Ekonomi.....	423
1.5. Perhitungan Luas Area.....	431
2. PATENT	
2.1. Patent Utama	
2.2. Patent Pendukung 1	
2.3. Patent Pendukung 2	
2.4. Patent Pendukung 3	
3. TUGAS KHUSUS	
3.1. Tugas Khusus Penulis	
4. BIODATA	
4.1. Biodata Penulis (Muhammad Arifin dan Amil Muttaqin)	

BAB I

PENDAHULUAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Dalam perkembangan menjadi negara maju di segala bidang, Indonesia diharapkan mampu bersaing dengan negara-negara lain di dunia. Salah satu bidang yang harus terus ditingkatkan ialah sektor industri. Karena sektor industri memegang peran kunci sebagai mesin pembangunan yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sektor lain, misalnya nilai kapitalisasi modal yang tertanam sangat besar, kemampuan menyerap tenaga kerja yang besar, juga kemampuan menciptakan nilai tambah dari setiap input atau bahan dasar yang diolah. Dengan adanya pembangunan di sektor industri diharapkan dapat memperbaiki prekonomian dan pemenuhan kebutuhan bahan industri dapat terpenuhi sehingga tidak perlu mengimpor. Salah satu bahan industri yang masih diimpor dalam skala besar adalah Natrium Karbonat.

Natrium Karbonat atau yang dikenal dengan *soda ash* merupakan salah satu bahan kimia yang memiliki banyak kegunaan. Salah satu kegunaan utamanya adalah dalam industri pembuatan kaca. Dengan sifat basanya, Natrium Karbonat juga sering digunakan dalam industri *water treatment* sebagai pengatur pH atau *water softener*. Natrium Karbonat juga merupakan komposisi penting dalam berbagai minuman, makanan, deterjen, dan berbagai bahan kimia seperti sabun dan pasta gigi serta dipakai dalam proses *dyeing* pada industri tekstil dan pulp.

Dalam perkembangannya, kebutuhan akan Natrium Karbonat di Indonesia dari tahun ketahun terus meningkat. Tetapi, Indonesia masih menggantungkan pemenuhan kebutuhan Natrium Karbonat dari luar negeri. Hingga saat ini, Indonesia masih belum memiliki pabrik Natrium Karbonat. Hal ini dinilai kurang menguntungkan karena proses produksi akan bergantung sepenuhnya pada pasokan dari luar negeri.

Agar ketergantungan ini tidak terus berlanjut maka diperlukan pengembangan-pengembangan dalam proses pembuatan Natrium Karbonat dan pembangunan pabrik Natrium Karbonat di Indonesia. Hal ini dilakukan guna meningkatkan hasil dan mutu produk yang lebih baik. Selain itu pembangunan

pabrik Natrium Karbonat ini juga diharapkan dapat mengatasi permintaan dalam negeri yang dapat meningkatkan devisa negara, mengurangi impor, dan membuka lapangan pekerjaan baru.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Pada tahun (1742-1806), proses komersial skala besar Natrium Karbonat pertama kali diperkenalkan oleh Nicholas LeBlanc diperoleh dengan cara mereaksikan Asam Sulfat sehingga menghasilkan Natrium Sulfat dan Asam Klorida. Natrium Sulfat dibakar dengan batu kapur dan batu bara membentuk Natrium Karbonat. Produk samping Kalsium Sulfida dipisahkan dengan menggunakan air. Proses LeBlanc ini akhirnya dihentikan pada tahun 1916-1917, karena prosesnya yang mahal dan menimbulkan polusi yang cukup signifikan.

Alternatif lain pembuatan natrium karbonat ialah dengan cara alami seperti dari biji trona. Biji trona adalah bahan kristal keras yang muncul setelah 50 juta tahun, ketika tanah disekitar Green River, Wyoming yang ditutupi oleh 600 mil persegi (1.554 kilometer persegi) danaunya menguap dari waktu ke waktu. Danau ini meninggalkan deposit trona murni yang cukup besar antara lapisan batu pasir dan serpih. Secara umum proses pembuatan Natrium Karbonat dari trona ini dilakukan dengan jalan mengkalsinasi trona yang sudah dihancurkan sehingga menghasilkan natrium karbonat.

Pada akhir 1800-an, metode lain menghasilkan Natrium Karbonat ditemukan oleh Ernest Solvay, seorang insinyur kimia Belgia. Metode Solvay segera diadaptasi di Amerika Serikat, dimana ia menggantikan proses LeBlanc. Dalam proses Solvay, karbon dioksida dan amonia dilewatkan dalam larutan pekat natrium klorida. Natrium bikarbonat mentah diendapkan keluar dan dipanaskan untuk membentuk natrium karbonat.

Pabrik pertama yang menggunakan proses Solvay didirikan pada 1983. Dimulai sejak tahun 1900, hampir 90% produk Natrium Karbonat dihasilkan melalui proses ini. Hingga sekarang, sebagian besar industri Natrium Karbonat masih menggunakan proses Solvay dengan melakukan berbagai modifikasi proses.

1.3. Proses Pembuatan Natrium Karbonat

Pembuatan natrium karbonat dapat dilakukan secara alami dan sintetis.

1.3.1. Proses Alami atau Natural

Bahan baku yang digunakan adalah bijih trona ($\text{Na}_3(\text{CO}_3)(\text{HCO}_3)\cdot\text{H}_2\text{O}$). Setelah melalui proses penambangan bijih trona selanjutnya bijih trona dihancurkan dan dilakukan proses kalsinasi sehingga menghasilkan Natrium Karbonat.

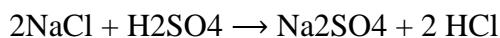
1.3.2. Proses Sintesis

Proses pembuatan Natrium Karbonat secara sintesis dapat dilakukan melalui beberapa cara, antara lain:

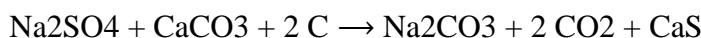
1. Proses LeBlanc
2. Proses Solvay
3. Integrasi Solvay-Merseberg

1.3.2.1. Proses LeBlanc

Pada tahun 1791 kimiawan asal Prancis, Nicolas LeBlanc, mengembangkan teknik untuk pembuatan Natrium Karbonat dengan menggunakan garam, asam sulfat, batu bara, dan batu kapur. Pada dasarnya, garam dan asam sulfat akan direaksikan terlebih dahulu untuk memproduksi asam klorida dan natrium sulfat. Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut:



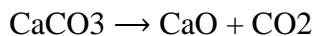
Selanjutnya natrium sulfat dicampur dengan batu bara dan batu kapur, lalu dibakar sehingga menghasilkan 39-45% natrium karbonat, 27-31% kalsium sulfida, 9-11% kalsium oksida, 5-6% batu bara yang tidak bereaksi dan sebagian kecil natrium sulfat, natrium klorida, dan silika. Adapun reaksi pembentukan natrium sulfat adalah sebagai berikut:



Proses LeBlanc digunakan sampai batas waktu tertentu selama perang dunia I dan berlangsung menghilang pada perang dunia II. Hal ini dikarenakan gas asam klorida yang dihasilkan dari proses ini menjadi sumber pencemar udara yang cukup signifikan dan produk samping kalsium sulfida juga dapat mencemari lingkungan.

1.3.2.2. Proses Solvay

Metode ini diciptakan oleh Ernest Solvay dengan jalan mengubah natrium klorida menjadi natrium karbonat dengan menggunakan amoniak. Prosesnya adalah batu kapur (kalsium karbonat) dipanaskan untuk membebaskan karbondioksida.



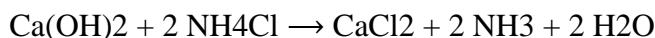
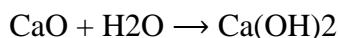
Kemudian larutan natrium klorida dan amoniak dilewatkan sehingga terjadi bubbling CO₂ melalui reaksi berikut:



Natrium bikarbonat yang terbentuk kemudian dirubah menjadi natrium karbonat melalui proses pemanasan yang akan membebaskan air dan karbondioksida.



Sementara itu, amoniak diregenerasi dari produk samping ammonium klorida dengan mereaksikannya dengan batu kapur yang tersisa dari proses pembentukan karbondioksida.



Proses Solvay lebih ekonomis dibandingkan dengan proses LeBlanc karena bahan baku yang dibutuhkan hanya larutan garam dan batu kapur, sementara amoniak bisa di-recycle kembali dan produk samping kalsium klorida juga mempunyai nilai jual. Sejak tahun 1900, 90% natrium karbonat diproduksi melalui proses Solvay.

1.3.2.3. Integrasi Solvay-Merseberg

Sebuah metode untuk memproduksi natrium karbonat dan ammonium sulfat dengan cara me-recycle produk samping dari proses Merseberg dan Solvay merupakan cara terbaru untuk memproduksi natrium karbonat. Cara ini juga sudah termasuk dalam treatment air garam melalui proses desulphatisasi air garam untuk mendapatkan gypsum dan menggunakannya dalam pembuatan natrium karbonat melalui proses solvay. Gypsum direaksikan dengan amonia cair dan karbon dioksida untuk mendapatkan CaCO₃ dan ammonium sulfat. Selanjutnya

CaCO_3 dipisahkan dari larutan amonium sulfat dan diikuti dengan kalsinasi untuk menghasilkan CO_2 dan kapur. Recycle CO_2 dalam proses solvay untuk mendapatkan natrium karbonat. Sedangkan recycle kapur dengan amonium klorida yang dihasilkan dalam proses Solvay digunakan untuk merecovery amonia dan di dapatkan limbah yang mengandung CaCl_2 sebagai produk sampingan.

1.4. Sifat-Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Amoniak

Sifat Fisika

Rumus molekul	: NH_3
Berat Molekul	: 17,031 gr/mol
Wujud	: Gas
Titik Lebur	: -33,35°C
Titik Didih	: -77,7°C
Temperatur Kritis	: 113°C
Tekanan Kritis	: 11,425 kPa
Densitas	: 0,769 kg/m³
Specific Heat	: 2097,2 J/kg.K
$\Delta\hat{H}_f$ (25°C)	: 46,222 kJ/mol

Sifat Kimia

Amoniak cenderung stabil pada temperatur biasa tapi terdekomposisi menjadi hidrogen dan nitrogen pada temperatur tinggi. Pada tekanan atmosfer, dekomposisi terjadi pada 450-500°C. Gas amoniak teroksidasi menjadi air dan nitrogen jika dipanaskan pada temperatur tinggi dengan keberadaan oksida logam, seperti tembaga oksida. Oxydizing agents kuat seperti Kalium Permanganat bisa mengoksidasi amoniak pada temperatur ruangan. Kelarutan amoniak menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Amoniak merupakan basa lemah, dan tak terionisasi dengan sempurna di dalam air.

1.4.2. Natrium Klorida

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: NaCl
Berat Molekul	: 58,44 gr/mol

Wujud	: Kristal
Titik Lebur	: 801oC
Titik Didih	: 1413oC
Densitas	: 2,17 g/cm ³
Specific Heat	: 0,853 J/g.K

Sifat Kimia

Natrium Klorida merupakan garam kuat dan lebih sering disebut dengan garam dapur. Garam larut dalam senyawa polar dan tak larut dalam senyawa non polar. Larutan garam murni mempunyai pH 7. Garam merupakan kristal yang berwarna putih, sedikit abu-abu, dan terkadang kecokelatan tergantung pada gradasi dan bentuk komersilnya.

1.4.3. Kalsium Karbonat

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: CaCO ₃
Berat Molekul	: 100,09 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: 2570oC
Titik Didih	: 2850oC
Densitas	: 2,711 gr/ml
Cp, J/mol.K	: R(12,572 + 2,673.103.T - 3,120.10-5.T ²)

Sifat Kimia

Kalsium karbonat akan mengalami reaksi dekomposisi yang disebut juga kalsinasi dengan melepaskan karbondioksida jika dipanaskan pada temperatur sangat tinggi, biasanya di atas 840oC. Pelepasan karbondioksida ini juga terjadi jika kalsium karbonat direaksikan dengan asam. Kalsium karbonat akan membentuk kalsium bikarbonat jika bereaksi dengan air yang telah dijenuhkan dengan karbondioksida.

1.4.4. Kalsium Oksida

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: CaO
Berat Molekul	: 56,077 gr/mol

Wujud	: Padat
Titik Beku	: 2613 °C
Titik Didih	: 3850 °C
Densitas	: 1,13 gr/ml
Cp, J/mol.K	: $R(6,104 + 0,443 \cdot 103 \cdot T - 1,047 \cdot 10^{-5} \cdot T^2)$

Sifat Kimia

Kalsium oksida biasanya dibuat dengan cara melakukan dekomposisi termal atau kalsinasi dari batu kapur yang mengandung kalsium karbonat. Kalsium oksida melepaskan panas jika direaksikan dengan air menjadi hidratnya yaitu kalsium hidroksida. Hidrat ini bisa dirubah kembali menjadi kalsium oksida dengan melakukan proses dehidrasi.

1.4.5. Karbondioksida

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: CO ₂
Berat Molekul	: 44,01 gr/mol
Wujud	: Gas
Temperatur Kritis	: 31,1 °C
Tekanan Kritis	: 7383 kPa
Densitas	: 1,799 gr/L
Cp, J/mol.K	: $19,795 + 73,43 \cdot 10^{-6}T - 5,602 \cdot 10^{-5}T^2 + 17,153 \cdot 10^{-9}T^3$
Viskositas (298 K)	: 0,015 cP
$\Delta\hat{H}_v$ (273 K)	: 231,3 J/g
$\Delta\hat{H}_f$ (298 K)	: 393,7 kJ/mol

Sifat Kimia

Karbondioksida adalah hasil akhir oksidasi karbon, dan tak terlalu reaktif pada temperatur ruangan. Namun jika dipanaskan pada temperatur di atas 1700°C maka akan menghasilkan CO dalam jumlah yang cukup signifikan (15,8%). Jika karbondioksida dilarutkan di dalam air, akan membentuk Carbonic Acid. pH dari larutan karbondioksida bervariasi antara 3,7 pada 101 kPa hingga 3,2 pada 2,370 kPa. Karbondioksida bereaksi dengan amoniak membentuk ammonium karbamat.

1.4.6. Air

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: H ₂ O
Berat Molekul	: 18,015 gr/mol
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Titik Lebur	: 0°C
Titik Didih	: 100°C
Temperatur Kritis	: 374,3°C
Tekanan Kritis	: 79,9 atm
Panas Penguapan	: 8426,00 kJ/mol
Cp, J/kmol.K	: $32,243 + 19,238 \cdot 10^{-4}T + 10,555 \cdot 10^{-6}T^2 + 3,596 \cdot 10^{-9}T^3$

Sifat Kimia

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H₂O, artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan suhu 273,15 K (0oC). Air merupakan suatu pelarut yang penting karena mampu melarutkan banyak zat kimia lain, seperti garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan senyawa organik.

1.4.7. Amonium Sulfat

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: (NH ₄) ₂ SO ₄
Berat Molekul	: 132,14 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: 235-280°C
Densitas	: 1,769 gr/ml
Cp, J/mol.K	: R(5,128 + 18,148 · 103 · T)

Sifat Kimia

Amonium sulfat atau disebut juga diamonium sulfat larut dengan mudah di dalam air, tapi tidak larut dalam alkohol dan aseton. Saat ia bereaksi dengan material yang bersifat basa maka akan melepaskan gas amonia. Amonium sulfat biasanya

digunakan sebagai pupuk bagi tanah yang bersifat basa. Amonium sulfat terdekomposisi jika dipanaskan pada suhu di atas 250°C membentuk amonium bisulfat. Jika dipanaskan lebih lanjut maka akan terdekomposisi menjadi amoniak, nitrogen, sulfur dioksida dan air.

1.4.8. Natrium Bikarbonat

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: NaHCO ₃
Berat Molekul	: 84,0066 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: 50°C
Densitas	: 2,20 gr/ml
Cp, J/mol.K	: R(5,128 + 18,148.103.T)

Sifat Kimia

Natrium bikarbonat adalah senyawa amfoter. Larutan natrium bikarbonat cenderung bersifat sedikit basa karena terjadi pembentukan asam karbonat dan ion hidroksida. Jika direaksikan dengan asam, natrium bikarbonat akan menghasilkan garam dan asam karbonat yang terdekomposisi menjadi karbondioksida dan air. Natrium bikarbonat bisa digunakan untuk menguji keberadaan gugus karboksilat dalam protein, karena senyawa ini akan bereaksi dengan asam karboksilat menghasilkan karbondioksida.

1.4.9. Ammonium Klorida

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: NH ₄ Cl
Berat Molekul	: 53,49 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Beku	: 338°C
Titik Didih	: 520°C
Densitas	: 1,519 gr/ml
Cp, J/mol.K	: R(5,939 + 16,105.103.T)

Sifat Kimia

Amonium klorida akan menyublim jika dipanaskan. Meskipun demikian, sebenarnya pemanasan ini akan mendekomposisi amonium klorida menjadi gas amoniak dan hidrogen klorida. Amonium klorida bereaksi dengan basa kuat melepaskan gas amoniak. Larutan yang mengandung 5% ammonium klorida mempunyai pH 4,6 – 6,0.

1.4.10. Natrium Karbonat

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: Na ₂ CO ₃
Berat Molekul	: 106 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: 825°C
Densitas	: 2,533 gr/ml
Specific Heat	: 112,3 J/mo.K
ΔH _f	: -1131 kJ/mol

Sifat Kimia

Natrium Karbonat yang dilarutkan dalam air akan bersifat basa. Pada temperatur 25°C, pH dari larutan yang mengandung 1, 5, dan 10 %wt Natrium Karbonat adalah 11,37; 11,58; dan 11,70. Natrium Karbonat bisa digunakan untuk menguji ion Cu, Fe, dan Ca/Zn/Pb karena karakteristiknya yang khas jika direaksikan. Pengujian ini sering disebut dengan nama sodium carbonate test. Jika larutan Natrium Karbonat yang direaksikan dengan garam logam menghasilkan endapan biru, menandakan keberadaan ion Cu²⁺. Endapan hijau menandakan keberadaan ion Fe²⁺. Endapan putih mengindikasikan Ca²⁺/Zn²⁺/Pb²⁺.

1.4.11. Kalsium Hidroksida

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: Ca(OH) ₂
Berat Molekul	: 74,093 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Beku	: 580°C
Densitas	: 2,211 gr/ml

$$C_p, \text{ J/mol.K} : R(9,579 + 5,435 \cdot 103 \cdot T)$$

Sifat Kimia

Jika dipanaskan pada temperatur di atas 512°C , kalsium hidroksida akan terdekomposisi menjadi kalsium oksida dan air. Larutan kalsium hidroksida merupakan basa menengah. Keberadaan karbondioksida dalam jumlah tertentu pada larutan kalsium hidroksida dapat membentuk kalsium karbonat melalui proses yang disebut karbonatasi.

1.4.12. Kalsium Klorida

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: CaCl_2
Berat Molekul	: 110,99 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: $772-775^\circ\text{C}$
Titik Didih	: 1935°C
Densitas	: 2160 kg/m^3
Specific Heat	: 0,67 J/g°C
ΔH_f	: -795,4 kJ/mol

Sifat Kimia

Garam kalsium klorida mudah larut dalam air. Biasanya kalsium klorida digunakan sebagai sumber ion kalsium untuk dipakai dalam proses ion exchanging. Perubahan entalpi sangat berpengaruh pada kelarutan kalsium klorida. Kenaikan temperatur hingga suhu tertentu dapat menurunkan kelarutan kalsium klorida dengan signifikan.

1.4.13. Natrium Sulfat

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: Na_2SO_4
Berat Molekul	: 142,043 gr/mol
Wujud	: Padat
Titik Lebur	: 884°C
Titik Didih	: 1429°C
Densitas	: 2,7 gr/ml

$$\Delta\hat{H}_f : -1387,1 \text{ kJ/mol}$$

Sifat Kimia

Garam natrium sulfat sangat stabil dibawah suhu dan tekanan yang normal. Natrium sulfat mempunyai sifat yang hygroscopic atau daya menyerap kelembaban atau air dari udara. Biasanya kalsium klorida digunakan sebagai sumber ion kalsium untuk dipakai dalam proses ion exchanging. Perubahan entalpi sangat berpengaruh pada kelarutan kalsium klorida. Kenaikan temperatur hingga suhu tertentu dapat menurunkan kelarutan kalsium klorida dengan signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Sharkh, Basel Fathi. 2013. *Method of Producing Soda Ash and Calcium Chloride*. US Patent 8,591,852 B2.
- Biro Pusat Statistik Sumatera Selatan. 2000. *Statistik Perdagangan Dalam Negeri Indonesia*. Palembang: Badan Pusat Statistik.
- Brown, G.G. 1959. *Unit Operation*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Chou, I.M. 1995. *Manufacture of Ammonium Sulfate Fertilizer from FGD-Gypsum*. University of Illinois. Technical Report of Geological Survey.
- Coulson, J., & Richardson, J. (2005). *Chemical Engineering Design*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Davoine, Perrine. 2009. *Process for the Joint Production of Sodium Carbonate and Sodium Bicarbonate*. US Patent 2009/0291038 A1.
- Departemen Teknik Kimia ITB. 2003. *Panduan Pelaksanaan Laboratorium Instruksional I/II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Dickson, A.G. dan C. Goyet. 1994. *Handbook of Methods for the Analysis of the Various Parameters of the Carbon Dioxide System in Sea Water*. U.S. Department of Energy.
- Farnsworth, William H. 1947. *Brine Evaporation System*. US Patent 2,588,099.
- Felder, Richard M. Dan Ronald W. Rousseau. *Elementary Principles of Chemical Process 3rd Update Edition*. Kanada: John Wiley and Sons, Inc.
- Ghosal, Salil K. Dan Siddharta Datta. 2011. *Introduction to Chemical Engineering*. Singapura: Tata McGraw-Hill Education.
- Ghosh, Pushpito Kumar dkk. 2015. *Method of Recycling of By-Products for the Production of Soda Ash and Ammonium Sulphate*. US Patent 2015/0093309 A1.
- Hasinoff, Murray P. 2014. *Process for Converting FGD Gypsum to Ammonium Sulfate and Calcium Carbonate*. US Patent 8,758,719 B2.
- Hassibi, Mohamad. 1999. *An Overview of Lime Slaking and Factors that Affect the Process*. California: Chemco Systems.
- Hoffman, Robert J dkk. 1974. *Method of Producing Sodium Carbonate and Bicarbonate Spherules from Brine*. US Patent 3,855,397.

- Honig, Pieter. 1953. *Principles of Sugar Technology*. New: York. Elsevier Publishing
- Hsin-Ta Hsueh dkk. 2010. *Removal of CO₂ from Flue Gas with Ammonia Solution in a Packed Tower*. National Cheng Kung University, Tainan. J. Enviromen Engineering Management 2D(1), 1-7.
- Hudi, Yaman. 2009. *Perancangan Pabrik Natrium Karbonat dengan Proses Solvay dari Ammonia, Garam dan Batu Kapur dengan Kapasitas 250.000 ton/tahun*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah.
- Ismail, Syarifudin. 1996. *Alat Industri Kimia*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Keener dkk. 1985. *Thermal Decomposition of Sodium Bicarbonate*. University of Cincinnati. Chemical Engineering Commun Vol 33 page 93-105.
- Kern, D. G. 1965. *Process Heat Transfer, International Edition*. Tokyo: McGraw Hill Book Co.
- Kniesburges, Peter. 2014. *Integrated Carbon Dioxide Removal and Ammonia-Soda Process*. European Patent 2757071 A1.
- Kohlhaas, B dan Otto Labahn. 1983. *Cement Engineers' Handbook*. Berlin: Bauverlag GMBH.
- Levenspiel, O. 1973. *Chemical Reaction Engineering*. 2nd edition. New York: John Willey and Sons.
- Madima, Takalani. 2009. *Manufacturing of Synthetic Soda Ash*. Capetown: University of the Western Cape.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriot, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering, Fourth Edition*. Tokyo: McGraw Hill Kogakusha Ltd.
- Michigan Department of Environmental Quality Operator Training and Certification Unit. *Clarifiers*. Michigan: DEQTCU
- Nainggolan, Melva Tiurmada. 2011. *Prarancangan Pabrik Amonium Sulfat*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- O'Neil, M.J. 2013. *The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals*. New Jersey: RSC Publishing.
- Patel, N.K. 2002. *Sodium Carbonate*. Madras: National Programme on Technology Enhanced Learning.

- Paul, Edward L. dkk. 2004. *Handbook of Industrial Mixing*. Kanada: John Wiley and Sons, Inc.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1999). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. New York: The Mc-Graw Hill Companies, Inc.
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition*. New York: McGraw Hill Book Inc.
- Polendo-Loredo, Jose. 1986. *Process For The Secondary Obtention of Sodium Carbonate from Flp Waste Liquor*. US Patent 4563340 A.
- Redjeki, Sri. Tanpa Tahun. *Buku Ajar Proses Absorbsi Gas-Liquid*. (Online): http://elearning.upnjatim.ac.id/courses/JTK3171/document/BAB__II_abs2.pdf?cidReq=JTK3171
- Smith, J., Van Ness, H., & Abbott, M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- S.V. Krishnan, S.V. Sotirchos. 1994. *Effective Diffusivity Changes During Calcination, Carbonation, Recalcination and Sulfation of Limestones*. Chem. Eng. Sci. 49 (1994) 1195 – 1208.
- Treyball R. E. 1988. *Mass Transfer Operation*. 3rd edition. Mc Graw Hill Kogakusha Ltd. Tokyo.
- Triana, Ninik Yuni dan Tri Edi Hardini. 2007. *Prarancangan Pabrik Sodium Thiosulfat Pentahydrat dari Soda Ash dan Belerang Kapasitas 20.000 ton/tahun*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Vohra, Rajinder N. 2004. *Recovery of Common Salt and Marine Chemicals from Brine*. US Patent 6,776,972 B2.
- Wallas, S. M. 1988. *Chemical Process Equipment*. Butterworth Publisher, USA.
- Zou, LindaYuan. 2011. *Utilisation of Desalination Waste*. US Patent 2011/0268633 A1.