

BAB III

PERANCANGAN PROSES

Perancangan Pabrik Aluminium Oksida (Alumina) akan didirikan dengan kapasitas produksi sebesar 250.000 ton/tahun dimana bahan baku yang mendukung pembuatan produk ini berupa aluminium klorida, nitrogen dan oksigen. Dan pabrik ini akan beroperasi selama 24 jam untuk setiap harinya serta operasi pertahunnya 330 hari. Untuk proses pembuatan produk yang berkualitas sesuai dengan yang ada dipasaran maka, diperlukan pemilihan proses yang tepat dan efektif agar produk memiliki kualitas tinggi.

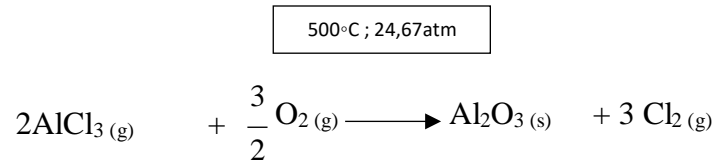
3.1. Uraian Proses

3.1.1. Konsep Proses

a. Dasar Reaksi

Senyawa-senyawa yang digunakan dalam pembuatan Alumina adalah senyawa anorganik. Dimana proses pembuatan Alumina dilakukan di dalam reaktor alir pipa (RAP), dimana bahan baku aluminium klorida fase gas dan oksigen dimasukkan dari arus yang berbeda ke dalam reaktor secara bersamaan. Reaksi pembentukan aluminium oksida dari aluminium klorida dan oksigen secara umum yang terjadi adalah sebagai berikut :

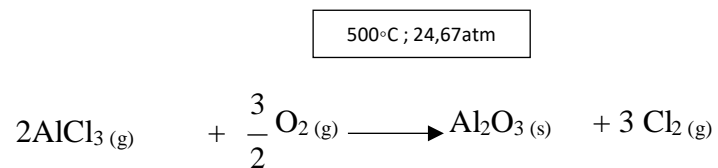
Reaksi pembentukan Aluminium Oksida (alumina) adalah :



b. Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi yang terjadi untuk pembentukan alumina dari aluminium klorida dan nitrogen adalah sebagai berikut :

Reaksi pembentukan aluminium oksida (alumina) adalah :



c. Kondisi Operasi

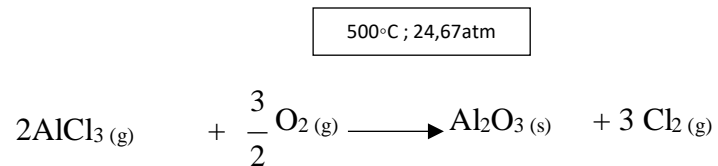
Kondisi operasi di reaktor yang berfungsi untuk membentuk alumina pada suhu 500°C dan tekanan 24,67 atm. Konversi pembentukan alumina sebesar 98 %. Waktu tinggal di reaktor adalah 60 menit.

d. Sifat Reaksi

Tinjauan Termodinamika

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan $P = 1 \text{ tam}$ dan $T = 298 \text{ K}$.

Pada pembentukan aluminium oksida (alumina) terjadi reaksi sebagai berikut :



Harga ΔH°_f untuk masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada tabel 3.1. sebagai berikut :

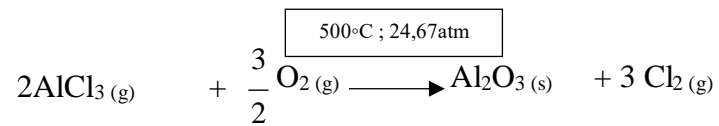
Tabel 3. 1 Harga Berat Molekul dan ΔH°_f masing-masing Komponen

Komponen	Berat Molekul (kg/kmol)	ΔH°_f (kkal/kmol)
AlCl ₃	133	-163,8
N ₂	28	0
O ₂	32	0
Al ₂ O ₃	102	-399,09
Cl ₂	71	0

(Perry's & Green, ed 8, Table 2-178, Hal. 2-186)

Perhitungan ΔH°_R (T = 298 °K) :

$$\Delta H^\circ_R = \Delta H^\circ_{f,\text{produk}} - \Delta H^\circ_{f,\text{reaktan}}$$



$$= (\Delta H^\circ_f, \text{Al}_2\text{O}_3 + \Delta H^\circ_f \text{Cl}_2) - (\Delta H^\circ_f \text{AlCl}_3 + \Delta H^\circ_f \text{O}_2)$$

$$= [-399,09 + (0)] - [-163,8 + (0)] \text{ kcal/mol}$$

$$= -235,29 \text{ kcal/mol}$$

Karena ΔH_R pada reaksi di reaktor bernilai negatif (-), maka reaksi bersifat eksotermis.

Dari perhitungan diatas didapatkan ΔH_R di reaktor:

$$\Delta H_R = -459,39 \text{ kcal/mol}$$

3.1.2. Langkah Proses

Proses pembuatan alumina dapat dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

1. Langkah penyiapan bahan baku
2. Langkah pembentukan produk
3. Langkah pemisahan dan pemurnian produk

a) Langkah penyiapan bahan baku

Aluminium klorida berbentuk padatan dibawa dari truk pengangkut kemudian diangkat menggunakan *bucket elevator*, kemudian akan ditampung terlebih dahulu di dalam *silo* dengan temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Dari *silo*, aluminium klorida berbentuk padatan akan diumpangkan ke dalam tanki dengan bantuan nitrogen sebagai gas inert yang diperoleh dari udara dengan menggunakan *membran* membentuk aluminium klorida fase gas dengan proses sublimasi.

Bahan baku utama selain aluminium klorida adalah Oksigen. Sama seperti Nitrogen, Oksigen diperoleh dari udara dengan bantuan *blower*, untuk menyaring debu dan kotoran yang terkandung di udara digunakan *filter*, kemudian udara di pisah menggunakan *membran* sehingga mendapatkan komponen nitrogen dan oksigen. Nitrogen akan diumpangkan menuju *tanki* dan Oksigen akan diumpangkan menuju reaktor untuk diproses.

b) Langkah Pembentukan Produk

Tahap ini bertujuan untuk membentuk aluminium oksida (alumina) yang merupakan reaksi antara aluminium klorida dan oksigen, dengan produk samping berupa klorin. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor berlangsung pada tekanan 24,67 atm dan temperatur 500°C.

Reaktor yang digunakan adalah RAP (Reaktor Alir Pipa). Aluminium klorida berbentuk gas terlebih dahulu masuk ke *furnace* untuk dinaikkan suhunya dari 195°C menuju suhu 500°C, kemudian menaikkan tekanan menggunakan *kompresor* dari 5 atm menuju 24,67 atm. Setelah itu oksigen yang sudah dipisahkan menggunakan *membran* dengan temperatur 30°C dan tekanan 5 atm terlebih dahulu masuk ke *furnace* untuk dinaikkan suhunya dari 30°C menuju suhu 500°C, kemudian menaikkan tekanan menggunakan kompresor dari 5 atm menuju tekanan 24,67 atm lalu diumpakan menuju reaktor. Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah reaksi eksotermis dan suhu keluar reaktor sebesar 500°C. Reaksi tersebut selain menghasilkan aluminium oksida (Al_2O_3) juga menghasilkan klorin (Cl_2). Hasil yang keluar dari reaktor berupa aluminium klorida, aluminium oksida, oksigen, nitrogen, dan klorin kemudian akan di proses ke alat berikutnya yaitu *filter*.

c) Langkah Pemisahan dan Pemurnian produk

Langkah pemisahan bertujuan untuk memisahkan padatan dan gas. Proses pemisahan ini menggunakan jenis *bag house filter*. Keluaran dari *filter* yang beroperasi pada suhu 30°C dan 1 atm ini ialah produk padatan berupa serbuk yaitu aluminium klorida dan aluminium oksida kemudian gas yaitu nitrogen, oksigen, dan klorin.

Serbuk keluaran *filter* berupa aluminium klorida dan aluminium oksida kemudian menuju *screen*. *Screen* bertujuan untuk memisahkan berdasarkan ukuran mesh. Setelah terpisah kemudian serbuk Aluminium Oksida (Al_2O_3) dengan kemurnian 99% menuju *silo* untuk menampung sementara produk alumina sebelum menuju ke unit *packaging* untuk dikemas kemudian disimpan di gudang penyimpanan sebagai produk utama. Sedangkan komponen gas yang terpisah di *filter* berupa nitrogen, oksigen, dan klorin. Setelah itu menuju membran untuk memisahkan antara nitrogen, oksigen, dan klorin untuk mengambil produk samping berupa klorin. Gas klorin kemudian ditampung menuju *tanki* penyimpanan sebelum menuju ke unit *packaging* untuk dikemas sebagai produk samping.

3.2. Spesifikasi Alat

3.2.1 Alat Besar

a) Reaktor

Kode : R – 01

Fungsi : Mereaksikan Aluminium Klorida (AlCl_3) dan Oksigen (O_2) menghasilkan produk akhir Aluminium Oksida (Al_2O_3) dengan produk samping Klorin (Cl_2)

Jenis : *Plug Flow Reaktor*

Bahan : *Stainless Steel SA 167 Grade 3 Type 304*

Kondisi Operasi

Suhu : 500°C

Tekanan : 24,67 atm

Jumlah : 1 buah

Waktu Tinggal : 60 menit

Harga : \$ 432.550

Dimensi

Diameter : 1,9817 m

Panjang : 15,2841 m

Volume : 12,2198 m³

Tebal dinding : 0,0346 m

Tebal jaket : 0,2281 m

Hi : 20,7583 Btu/hr.ft².°F

Hio : 20,0577 Btu/hr.ft².°F

A : 9322,5811 ft²

ΔH_R : - 3.880.033,5206 kJ/mol

b) Tanki

Kode : T – 01

Fungsi : Tempat mengubah Aluminium Klorida (AlCl_3) padat dan Nitrogen (N_2) menjadi Aluminium Klorida (AlCl_3) gas dengan proses sublimasi

Jenis : *Column with Isolation*Bahan : *Stainless Steel*

Jumlah : 1

Kondisi Operasi

Suhu : 195°C

Tekanan : 5 atm

DimensiVolume Solid Vessel : 83,3907 m³

Diameter Solid Vessel : 4,4988 m

Height of Solid Vessel : 7,0294 m

T head Solid : 0,0173 m

T silinder Solid : 0,0174 m

OD Solid : 4,5337 m

Volume Vapor Vessel : 27,0805 m³

Diameter Vapor Vessel : 3,0922 m

Height of Vapor Vessel : 4,831 m

T head Vapor : 0,00003136 m

T silinder Vapor : 0,00003144 m

OD Vapor : 3,0924 m

Harga : \$ 26.163

c) Filter

Kode : F – 02

Fungsi : Untuk memisahkan padatan Aluminium Klorida (AlCl_3) dan Aluminium Oksida (Al_2O_3) dari campuran gas

Jenis : *Bag House Filter*

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Dimensi

Cloth Area Per Kantong : 60,96 m

Diameter Kantong : 0,6347 m

Tinggi Kantong : 8,9531 m

Volume Kantong : 14,1583 m³

Diameter Housing Filter : 2,54 m

Tinggi Housing Filter : 9,7536 m

Volume Housing Filter : 49,3971 m³

Harga : \$ 2.171

d) Screen

Kode : SC – 01

Fungsi : Untuk memisahkan padatan Aluminium Klorida (AlCl_3) dan Aluminium Oksida (Al_2O_3) dengan ukuran < 10 mesh

Jenis : *Vibrating Screen*

Bahan Konstruksi: *Carbon Steel*

Jumlah : 1

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

Dimensi

Kapasitas : 43.931,4088 kg/jam

Luas Ayakan : 3.799,4732 ft^2

Vibrasi : 1200 – 1800 vibrating/menit

Harga : \$ 154.694

e) Membran

Kode : M – 02

Fungsi : Memisahkan gas Nitrogen (N_2) dan Oksigen (O_2) dari gas Klorin (Cl_2) yang akan disimpan menuju tanki penyimpanan sebagai produk samping

Tipe : *Hollow Fiber*

Jenis : *Silicone Rubber*

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 7 atm

Dimensi

Luas Area Membran : 32,5137 m²

Diameter Tube : 0,00037 m

Panjang Tube : 1,8288 m

Diameter Shell : 0.3226 m

Panjang Shell : 2,4384 m

Total Modul Membran : 13 Modul

Harga : \$ 69.489

3.2.2 Alat Kecil

a) Silo

Nama Alat	Silo 1	Silo 2	Silo 3
Kode	S-01	S-02	S-03
Fungsi	Tempat penyimpanan bahan baku Aluminium Klorida (AlCl_3) sebelum diumpankan menuju tanki (T-01)	Tempat penyimpanan produk akhir Aluminium Oksida (Al_2O_3)	Tempat penyimpanan produk Aluminium Klorida (AlCl_3) setelah bereaksi
Jenis	Silinder vertikal dengan alas berbentuk kerucut	Silinder vertikal dengan alas berbentuk kerucut	Silinder vertikal dengan alas berbentuk kerucut
Jumlah	1	1	1
Kapasitas	1.076,6252 m ³	506,3291 m ³	17,5335 m ³
Harga	\$ 94,142	\$ 66,379	\$ 15,424
Kondisi operasi	Suhu : 30°C	Suhu : 30°C	Suhu : 30°C
	Tekanan : 1 atm	Tekanan : 1 atm	Tekanan : 1 atm

b) Bucket Elevator

Kode : BE-01

Fungsi : Mengangkut bahan baku aluminium klorida (AlCl_3) untuk menuju S-01

Jenis : *Centrifugal Discharge Bucket*

Material : *Carbon Steel SA 283 Grade C*

Kapasitas : 92,7094 ton/jam

Panjang : 0,3556 m

Lebar : 0,1778 m

Tinggi : 7,6200 m

Kecepatan : 473,044 ft/menit

Power motor : 4 Hp

Jumlah *bucket* : 15

Harga : \$ 12.339

Kondisi Operasi :

Suhu : 30°C

Tekanan : 1 atm

c) *Blower*

Nama Alat	Blower 1	Blower 2
Kode	BL-01	BL-02
Fungsi	Menghisap Nitrogen (N ₂) dan Oksigen (O ₂) dari udara	Mengalirkan Nitrogen (N ₂) dan Aluminium Klorida (AlCl ₃) padat menuju T-01
Jenis	<i>Centrifugal Discharge Bucket</i>	<i>Centrifugal Discharge Bucket</i>
Material	<i>Carbon Steel SA 283 Grade C</i>	<i>Carbon Steel SA 283 Grade C</i>
Debit Volumetrik	13,5377 ft ³ /min	1,2681 ft ³ /min
Diameter Optimum Pipa	0,1138 m	0,0489 m
Daya	0,04 Hp	0,5 Hp
Harga	\$ 228	\$ 114
Kondisi Operasi	Suhu : 30°C	Suhu : 30°C
	Tekanan : 1 atm	Tekanan : 1 atm

d) Kompresor

Nama Alat	Kompresor 1	Kompresor 2	Kompresor 3	Kompresor 4	Kompresor 5
Kode	K-01	K-02	K-03	K-04	K-05
Fungsi	Mengalirkan dan menaikkan tekanan udara sebelum menuju M-01	Mengalirkan dan menaikkan tekanan Aluminium Klorida ($AlCl_3$) gas menuju R-01	Mengalirkan dan menaikkan tekanan Oksigen (O_2) sebelum menuju R-01	Mengalirkan dan menaikkan tekanan Oksigen (O_2), Nitrogen (N_2), dan Klorin (Cl_2) menuju M-01	Mengalirkan dan menaikkan tekanan Klorin (Cl_2) sebelum menuju T-02
Jenis	<i>Multi Stage Centrifugal</i>	<i>Multi Stage Centrifugal</i>	<i>Multi Stage Centrifugal</i>	<i>Multi Stage Centrifugal</i>	<i>Multi Stage Centrifugal</i>
Material	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Stainless Steel</i>	<i>Stainless Steel</i>
Power	527,9181 Hp	372,3813 Hp	91,5747 Hp	134,3535 Hp	0,5214 Hp
Harga	\$ 188,741	\$ 148,868	\$ 83,974	\$ 170,689	\$ 1,371
Kondisi Operasi					
Suhu	30°C	500°C	500°C	500°C	30°C
Tekanan Masuk	1 atm	5 atm	5 atm	5 atm	7 atm
Tekanan Keluar	5 atm	24,67 atm	24,67 atm	24,67 atm	10 atm

e) *Cooler*

Kode : CL-01

Fungsi : Menurunkan temperatur output Reaktor (R-01)
sebelum menuju *Bag Filter* (BF-01)

Jenis : *Shell and Tube Heat Exchanger*

Jumlah : 1

Media Pendingin : *Dowtherm A*Bahan Konstruksi : *Stainless Steel 316 AISI (18cr, 10Ni, 2,5Mo)*Luas Transfer Panas (A) : 4234,8768 ft²**Spesifikasi Shell :***ID Shell* : 37 in*Baffle Spacing* : 18,5 in*Pass* : 1**Spesifikasi Tube :***ID Tube* : 0,87 in*OD Tube* : 1 in

BWG : 16

Panjang *Tube* : 24 ft*Pass* : 1

Harga : \$ 52.212

Kondisi Operasi :

Suhu masuk : 152,18 °C

Suhu keluar : 30 °C

Tekanan masuk : 1 atm

f) Membran

Kode : M – 01

Fungsi : Memisahkan gas Nitrogen (N₂) sebesar dan Oksigen (O₂) sebesar dari udara sebelum digunakan dalam proses

Jenis : *Hollow Fiber*

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1

Harga : \$ 67.332

Kondisi Operasi :

Suhu : 30°C

Tekanan : 5 atm

Dimensi :

Luas Area Membran : 32,5137 m²

Diameter *Tube* : 0,00037 m

Panjang *Tube* : 1,8288 m

Diameter *Shell* : 0.3226 m

Panjang *Shell* : 2,4384 m

Total Modul Membran: 13 Modul

g) *Expander*

Kode : E – 01

Fungsi : Mengalirkan dan menurunkan tekanan output R – 01
dari 24,67 atm menjadi 1 atm sebelum menuju BF – 01

Jenis : *Turbine*

Bahan : *Carbon Steel*

Daya : 195 Hp

Harga : \$ 54.125

Kondisi Operasi :

Suhu masuk : 500 °C

Suhu keluar : 152,18 °C

Tekanan masuk : 24,67 atm

Tekanan keluar : 1 atm

h) *Furnace*

Nama Alat	Furnace 1	Furnace 2	Furnace 3
Kode	F-01	F-02	F-03
Fungsi	Memanaskan suhu Nitrogen (N ₂) sebelum menuju ke T-01	Memanaskan suhu Aluminium Klorida (AlCl ₃) gas dan Nitrogen (N ₂) sebelum masuk R-01	Memanaskan suhu Oksigen (O ₂) sebelum diproses menuju R-01
Jenis	<i>Furnace type box</i>	<i>Furnace type box</i>	<i>Furnace type box</i>
Bahan Konstruksi	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>	<i>Carbon Steel</i>
Jumlah	1	1	1
Harga	\$ 63,866	\$ 63,409	\$ 35,532
Spesifikasi Radiasi			
Lebar	5,7912 m	12,8016 m	4,575 m
Tinggi	3,9624 m	9,144 m	3,355 m
Panjang	6,7056 m	7,3152 m	6,096 m
Luas Permukaan	289,8320 m ²	639,7522 m ²	39,5418 m ²
Jumlah <i>Tube</i>	51 buah	75 buah	8 buah
Spesifikasi Konveksi			
Lebar	1,8288 m	1,8288 m	1,8288 m
Tinggi	1,8288 m	1,8288 m	1,8288 m
Panjang	6,096 m	6,096 m	6,096 m
Luas Permukaan	421,5436 m ²	519,6810 m ²	87,3173 m ²
Jumlah <i>Tube</i>	73 buah	90 buah	33 buah
Spesifikasi <i>Stack</i>			
Diameter <i>Stack</i>	1,8288 m	1,8288 m	1,8288 m
Tinggi <i>Stack</i>	17,9832 m	16,1544 m	10,3632 m
Suhu Keluar <i>Stack</i>	588,70°C	579,05°C	587,01°C
Kondisi Operasi			
Suhu Masuk	30°C	195°C	30°C
Suhu Keluar	600°C	500°C	500°C
Tekanan Masuk	5 atm	5 atm	5 atm

i) Tanki Penyimpanan Klorin (Cl_2)

Kode : T – 02

Fungsi : Tempat menyimpan produk samping berupa gas klorin (Cl_2)

Jenis : *Spherical Tank*

Bahan : *Stainless Steel*

Jumlah : 1

Harga : \$ 96.770

Kondisi Operasi

Suhu : 30°C

Tekanan : 10 atm

Waktu penyimpanan : 2 hari

Dimensi

Kapasitas : 146,1281 m³

Diameter Tanki : 6,5360 m

OD : 6,5707 m

3.3. Perencanaan Produksi

3.3.1 Kapasitas Perancangan

Penentuan kapasitas perancangan suatu pabrik berdasarkan pada tingkat kebutuhan Alumina yang ada di Indonesia, serta tersedianya bahan baku juga menentukan kapasitas minimal suatu pabrik yang akan dibangun. Dari pertimbangan yang ada menunjukkan bahwa kebutuhan Alumina setiap tahunnya akan meningkat, hal ini dilihat dari tingkat penggunaan Alumina baik dari bidang industri otomotif, industri kimia, industri kosmetik, dan bahan metalurgi. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan Alumina dan meminimalisir nilai impor maka, didirikanlah pabrik Alumina dengan kapasitas produksi sebesar 250.000 ton/tahun.

3.3.2 Analisis Kebutuhan Bahan Baku

Analisis kebutuhan bahan baku berkaitan dengan ketersediaan bahan baku terhadap kebutuhan kapasitas pabrik. Bahan baku Aluminium

Klorida 99,9% diperoleh dari perusahaan *Jiangsu Xing Chang Jiang Group Co.Ltd.* yang berada di Jiangsu, China, dan *Simagchem Corp.* yang berada di Fujian, China, hal ini dikarenakan tidak adanya produksi Aluminium Klorida di Indonesia. Sedangkan bahan baku Nitrogen dan Oksigen di dapat langsung dari udara.

Tabel 3. 2 Kebutuhan Bahan Baku

Komponen	Kebutuhan (ton/tahun)	Ketersediann Bahan Baku (ton/tahun)
AlCl ₃ (99,9%)	734.258,3814	1.000.000
N ₂	497.001,3119	(tidak terbatas)
O ₂	132.114,2003	(tidak terbatas)

Berdasarkan data yang telah dicantumkan diatas dapat disimpulkan bahwa ketersediaan bahan baku Aluminium Klorida, Nitrogen, dan Oksigen dapat memenuhi kebutuhan pabrik, sehingga proses produksi dapat berjalan sesuai dengan rancangan serta dapat memenuhi kebutuhan Alumina di Indonesia.

3.3.3 Analisis Kebutuhan Alat Proses

Dalam hal analisis kebutuhan peralatan proses ini berkaitan terhadap kemampuan peralatan yang menunjang kelancaran suatu proses

berdasarkan umur peralatan dan Pemeliharaan alat (*maintenance*). Dan diharapkan dengan adanya analisis kebutuhan alat proses ini pabrik dapat mengatur anggaran dan jenis peralatan apa yang cocok digunakan untuk pembuatan produk. Serta mengetahui cara perawatan untuk setiap alatnya.