



BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

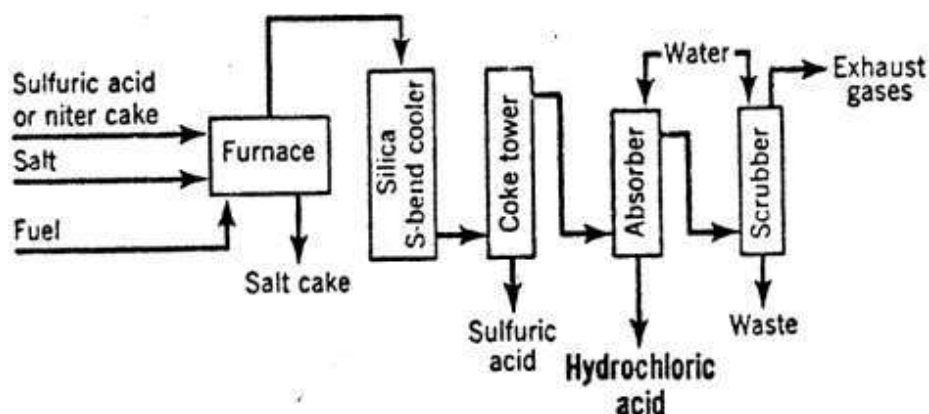
II.1 Macam- Macam Proses

Hidrogen Klorida dapat dibentuk dengan 3 proses yang berbeda dengan bahan baku yang berbeda. Secara garis besar Hidrogen Klorida dapat dibentuk dengan proses

1. Hidrogen Klorida dari Natrium Klorida dan Asam sulfat dengan proses mannheim furnace
2. Hidrogen Klorida dari klorin dan hidrogen dengan proses combustion
3. Hidrogen Klorida dari garam dengan proses hargreaves

II.1.1 Proses Mannheim Furnace

Proses Mannheim Furnace merupakan salah satu metode konvensional yang digunakan dalam industri kimia untuk memproduksi asam klorida (HCl) dan natrium sulfat (Na_2SO_4) melalui reaksi antara garam dapur (NaCl) dengan asam sulfat pekat (H_2SO_4). Secara umum, proses ini terdiri dari beberapa tahapan utama, mulai dari pencampuran bahan baku, reaksi kimia pada suhu tinggi, hingga pemisahan produk gas HCl dan produk padat Na_2SO_4 (salt cake). berikut disajikan diagram alir proses Mannheim Furnace pada Gambar II.1

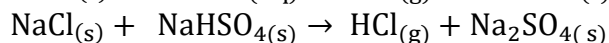
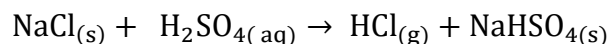


Gambar II. 1 Proses Mannheim Furnace

Pada proses ini, bahan baku yang digunakan adalah natrium klorida (NaCl) dan asam sulfat (H_2SO_4). Mula-mula, garam NaCl direaksikan dengan asam sulfat



yang digunakan sedikit berlebih dengan konsentrasi sekitar 60° Be. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam furnace yang dilengkapi dengan pengaduk jenis rake, yang dikenal sebagai Mannheim Furnace. Reaksi berlangsung pada suhu tinggi, yaitu sekitar 843°C. Reaksi yang terjadi adalah (Keyes:426)



Produk utama yang keluar dari bagian atas furnace berupa gas hidrogen klorida, sedangkan produk dari bagian bawah furnace berupa endapan garam natrium sulfat. Gas hidrogen klorida yang dihasilkan kemudian dialirkan ke silica S-bend cooler untuk menurunkan suhunya hingga sekitar 38°C. Setelah proses pendinginan, gas tersebut dialirkan ke coke tower dengan tujuan untuk menghilangkan sisa asam sulfat yang masih terbawa dalam aliran gas. Gas hidrogen klorida yang telah dimurnikan selanjutnya diserap menggunakan air proses di dalam absorber, sehingga diperoleh larutan Hidrogen Klorida (hydrochloric acid) dengan konsentrasi sekitar 32%. Sementara itu, gas hidrogen klorida yang tidak terserap akan dialirkan ke unit scrubber untuk diolah lebih lanjut sebelum dilepaskan ke udara bebas, sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Yield yang diperoleh pada proses ini mencapai sekitar 98%.

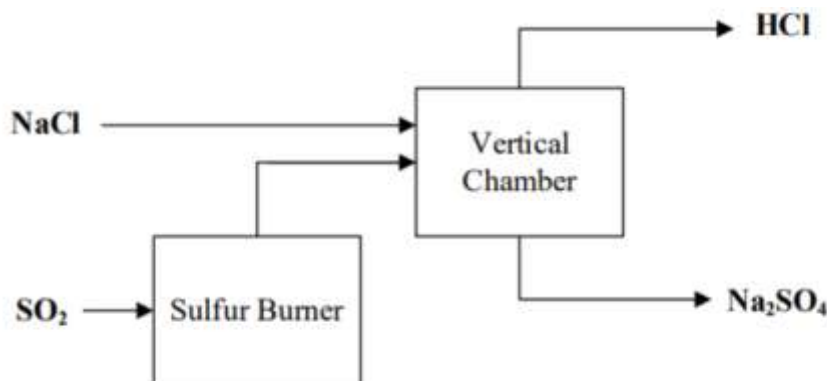
II.1.2 Proseses Hargreaves

Proses Hargreaves merupakan salah satu metode pembuatan asam klorida (HCl) yang memanfaatkan reaksi antara natrium klorida (NaCl), gas sulfur dioksida (SO₂), udara, dan uap air sebagai bahan baku utama. Proses ini dikembangkan sebagai alternatif dari proses Mannheim, dengan keunggulan tidak memerlukan pemanasan eksternal secara langsung karena reaksi yang terjadi bersifat eksotermis dan memanfaatkan panas hasil reaksi itu sendiri. Berikut adalah diagram proses Hargreaves pada gambar II.2



PRA RENCANA PABRIK

” Hydrogen Chloride dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Dengan Proses Mannheim Furnace”



Gambar II. 2 Diagram alir Proses Hargreaves

Pada proses ini bahan baku yang digunakan yaitu NaCl, SO₂, udara dan air. Campuran gas sulfur dioksida basah (wet SO₂) dan udara yang mengandung sejumlah kecil sulfur trioksida (SO₃), dialirkan melalui serangkaian vertikal chamber. Berikut adalah reaksi yang terjadi :



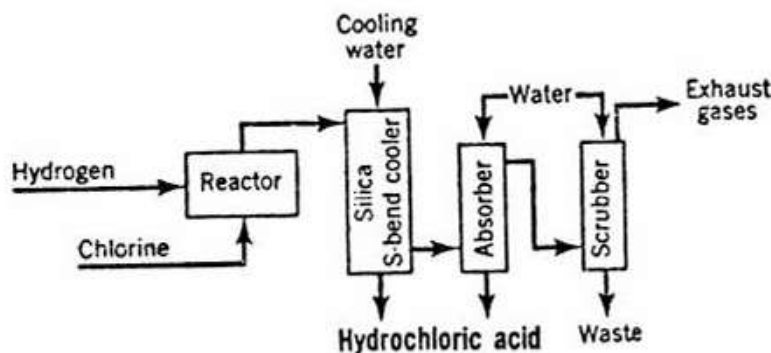
Proses Hargreaves bersifat siklik, dimana gas sulfur dioksida dengan konsentrasi tinggi pertama kali dialirkan ke ruang yang berisi garam bekas (spent salt) yang akan segera dikeluarkan dari sistem. Selanjutnya, aliran gas bergerak secara hampir berlawanan arah (countercurrent) terhadap aliran padatan garam, sehingga sebelum keluar dari sistem, gas akan bersentuhan dengan garam segar yang baru dimasukkan ke dalam rangkaian proses. Mekanisme ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi reaksi dan pemanfaatan bahan baku. Suhu operasi di dalam ruang reaktor mengalami penurunan secara bertahap, yaitu dari sekitar 1.000°F pada sisi garam bekas hingga sekitar 800°F pada sisi garam segar. Pada proses ini menghasilkan Hidrogen klorida dengan konsentrasi sekitar 7–12% dengan produk samping berupa natrium klorida

II.1.3 Proses Combustion

Proses pembuatan asam klorida (HCl) secara sintetis dilakukan melalui reaksi pembakaran (combustion) antara gas hidrogen (H₂) dan gas klorin (Cl₂) di dalam reaktor, yang menghasilkan gas HCl sebagai produk utama. Reaksi ini



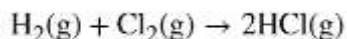
bersifat eksotermis sehingga gas hasil reaksi perlu didinginkan terlebih dahulu sebelum diproses lebih lanjut sampai terbentuk larutan asam klorida sebagai produk akhir. tahapan proses tersebut, berikut disajikan diagram alir proses pembuatan asam klorida melalui reaksi hidrogen dan klorin.



Gambar II. 3 Proses Combustion

Pada proses ini, gas klorin dan gas hidrogen berfungsi sebagai bahan baku utama. Gas klorin dibakar dengan gas hidrogen yang disuplai dalam jumlah berlebih untuk memastikan reaksi berjalan sempurna, menghasilkan hidrogen klorida.

Reaksi yang terjadi (Keyes:427)



Gas hidrogen klorida yang dihasilkan selanjutnya didinginkan menggunakan pendingin silika tipe S-bend. Proses pendinginan ini sekaligus dilanjutkan dengan absorpsi menggunakan air proses, sehingga diperoleh larutan Hidrogen Klorida berkonsentrasi 22° Be atau setara dengan 36%. Sisa gas hidrogen klorida yang belum terserap kemudian dialirkan ke kolom absorber untuk dilakukan absorpsi tahap kedua, menghasilkan larutan dengan kadar 18° Be (28%). Untuk meminimalkan emisi, gas sisa yang masih mengandung hidrogen klorida diolah lebih lanjut dalam scrubber sebelum akhirnya dilepaskan ke udara bebas. Secara keseluruhan, proses ini mampu memberikan yield sebesar 90–99%.



II.2 Pemilihan Proses

II.2.1 Potensi Ekonomi

Selain dari segi teknis pemilihan proses produksi juga dapat dilakukan dengan mempertimbangkan segi ekonomi yang paling menguntungkan. Pada segi ekonomi dapat dilakukan dengan menghitung potensial ekonomi setiap prosesnya, yakni menganalisis hubungan antara harga bahan baku dengan produk yang diperoleh. Tujuannya untuk memberi gambaran bagaimana nilai proses produksi serta keuntungan yang diperoleh dari proses pembentukan Hidrogen Klorida.

II.2.1.1 Proses Mannheim Furnace

Tabel II. 1 Data Berat Molekul dan Harga Bahan dan Produk Proses Mannheim Furnace

Komponen	Berat Molekul	Harga /kg
HCl	36,46	Rp 35,000.00
NaCl	58,44	Rp 16,000.00
H ₂ SO ₄	98	Rp 20,000.00
Na ₂ SO ₄	142	Rp 20,000.00

Potensi ekonomi pabrik yang akan didirikan dapat dilihat melalui perhitungan stoikiometri di bawah, dengan menggunakan basis 1000 kg Natrium Klorida (NaCl) :

Konversi = 98%

	$2 \text{ NaCl}_{(s)}$	+	$\text{H}_2\text{SO}_{4(aq)}$	$\rightarrow$	$2 \text{ HCl}_{(g)}$	+	$\text{Na}_2\text{SO}_{4(s)}$
mula-mula	17,1116		8,5558		-		-
reaksi	16,7693		8,3847		16,7693		8,3847
sisa	0,3422		0,1711		16,7693		8,3847



PRA RENCANA PABRIK

” Hydrogen Chloride dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Dengan Proses Mannheim Furnace”

Tabel II. 2 Tabel Perhitungan Nilai Produk pada Proses Mannheim Furnace

Produk	kmol	BM	Massa (kg)	Nilai Produk
HCl	16,7693	36,4600	611,4100	Rp 15.285.249,83
Na ₂ SO ₄	8,3847	142,0000	1.190,6229	Rp 23.812.457,22

Tabel II. 3 Tabel Perhitungan Nilai Bahan Baku pada Proses Mannheim Furnace

Bahan Baku	kmol	BM	Massa (kg)	Nilai Bahan Baku
NaCl	1,7112	58,4400	100,0000	Rp 9.000.000,00
H ₂ SO ₄	0,8556	98,0000	83,8467	Rp 5.869.267,62

II.2.1.2 Proses Hargreaves

Tabel II. 4 Data Berat Molekul dan Harga Bahan serta Produk pada Proses Hargreaves

Komponen	BM	Harga/kg (Rp)
NaCl	58,44	Rp 16.500,00
SO ₂	64	Rp 21.645,00
O ₂	32	Rp -
H ₂ O	18	Rp -
Na ₂ SO ₄	142	Rp 20.000,00
HCl	36,46	Rp 35.000,00

Potensi ekonomi pabrik yang akan didirikan dapat dilihat melalui perhitungan stoikiometri dibawah, dengan menggunakan basis 100 kg Natrium Klorida (NaCl) :

Konversi = 95%

	$4\text{NaCl}_{(s)} + 2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_{4(s)} + 4\text{HCl}_{(g)}$	
mula-mula	17,1116 8,5558 4,2779 8,5558 0,0000 0,0000	
reaksi	16,2560 8,1280 4,0640 8,1280 4,0640 16,2560	
sisanya	0,8556 0,4278 0,2139 0,4278 4,0640 16,2560	



PRA RENCANA PABRIK

” Hydrogen Chloride dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Dengan Proses Mannheim Furnace”

Tabel II. 5 Tabel Perhitungan Nilai Produk pada Proses Hargreaves

Produk	kmol	BM	Massa (kg)	Nilai Produk
HCl	16,2560	36,46	592,69	Rp 14.817.334,02
Na ₂ SO ₄	4,0640	18	73,15195072	Rp 1.463.039,01

Tabel II. 6Tabel Perhitungan Nilai Bahan Baku pada Proses Hargreaves

Bahan baku	kmol	BM	Massa (kg)	Nilai Produk
NaCl	17,1116	58,44	1000	Rp 9.000.000,00
SO ₂	8,5558	64	548,1348	Rp 11.864.378,59

II.2.1.3 Proses Combustion

Tabel II. 7 Data Berat Molekul dan Harga Bahan serta Produk Proses pada Combustion

Komponen	BM	Harga Rp/kg
H ₂	2	Rp 69,000.00
Cl ₂	71	Rp 11,937.43
HCl	36,46	Rp 35,000.00

Potensi ekonomi pabrik yang akan didirikan dapat dilihat melalui perhitungan stoikiometri dibawah, dengan menggunakan basis 1000 kg Hidrogen (H₂) :

Konversi = 96%

	H _{2(g)}	+	Cl _{2(g)}	→	2 HCl _(g)
mula-mula	500		500		0
reaksi	240		240		480
sisa	80		80		480



PRA RENCANA PABRIK

” *Hydrogen Chloride* dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Dengan Proses *Mannheim Furnace*”

Tabel II. 8 Tabel Perhitungan Nilai Produk pada Proses Combustion

Produk	kmol	BM	Massa (kg)	Harga/kg	Nilai Produk
HCl	247,5	36,46	9023,85	Rp 25.000,00	Rp 225.596.250,00

Tabel II. 9 Tabel Perhitungan Nilai Bahan Baku pada Proses Combustion

Bahan Baku	kmol	BM	Massa (kg)	Harga/kg	Nilai Produk
H ₂	500	2	1000	Rp 69,000.00	Rp 69,000,000.00
Cl ₂	500	71	35500	Rp 11,937.43	Rp 423,778,907.00

II.2.2 Tinjauan Proses

Dari uraian proses yang telah diketengahkan, maka dapat ditabelkan perbedaan dan persamaan dari proses tersebut diatas, adapun tabel tersebut ebagai berikut

Tabel Tabel II. 10 Pemilihan Proses

No	Parameter	Nama proses		
		Mannheim Furnace	Combustion	Hargreaves
1	Bahan baku	NaCl H ₂ SO ₄	H ₂ Cl ₂	NaCl SO ₂ H ₂ O
2	Pengendalian bahan baku utama	Umum	Umum	Khusus (Briquettt garam)
3	Suhu reaksi	843°C	900	427-538°C
4	Reaktor	Furnace	Burner Chamber	Vertical Kiln Series
5.	Ekonomi Potensial	1;3	1:0,8	1:0,5
6	Konsentrasi HCl	32-38%	32-38%	7-12%

(Keyes, halaman 426-429)



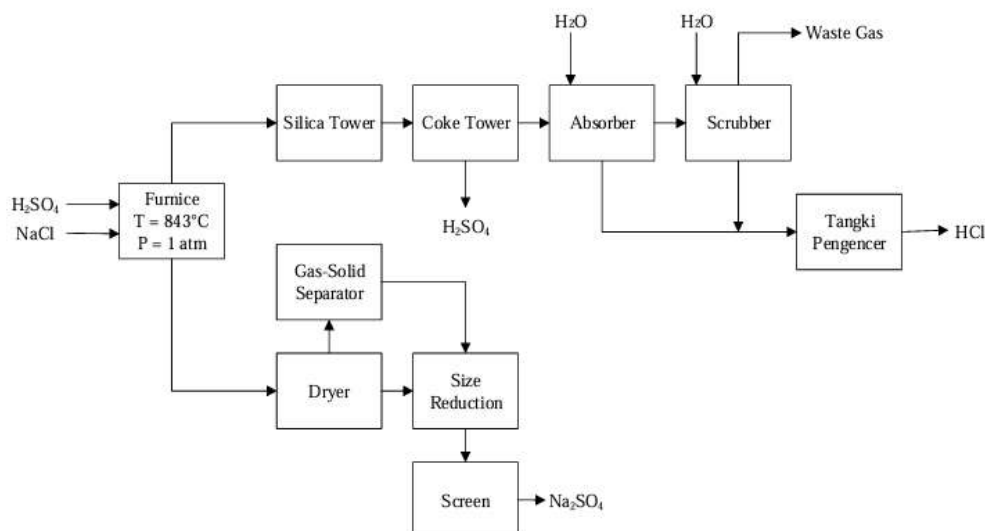
PRA RENCANA PABRIK

"Hydrogen Chloride dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Dengan Proses Mannheim Furnace"

Berdasarkan perbandingan antara proses-proses yang telah dijelaskan ditinjau dari potensial Ekonomi (EP) dan tinjauan proses. Proses yang dipilih untuk produksi Hidrogen Klorida pada prancangan pabrik ini adalah proses Mannheim Furnace dengan alasan pemilihan ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku lebih murah dan mudah di dapat
2. Adanya produk samping berupa natrium sulfat yang biasanya digunakan oleh industri kaca dan kertas sehingga dapat memberi nilai tambah.
3. Kondisi operasi yang digunakan cukup ringan.

II.3 Uraian Proses



Gambar II. 4 Diagram Blok Pembentukan Hidrogen Klorida dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Melalui Proses Mannheim Furnace

Proses pembuatan HCl dengan metode mannheim dibagi menjadi tiga unit proses yang berbeda sebagai berikut

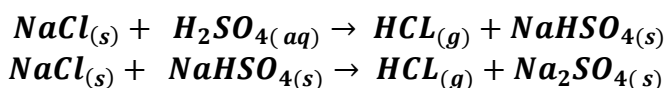
1. Unit Persiapan Bahan Baku
2. Unit Pembentukan Produk HCl
3. Unit Pembentukan Produk Samping Natrium sulfat



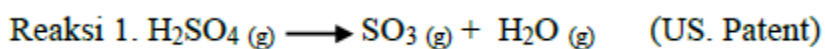
Unit Persiapan Bahan Baku

Pada proses pertama yakni persiapan bahan baku, asam sulfat dengan kadar 98% ditampung dalam tangki penampung (F-110), kemudian dipompa (L-111) menuju tangki pengencer (M-130) untuk memperoleh kadar asam sulfat sebesar 77,65%, selanjutnya dari tangki pengencer dipompa (L-131) menuju ke Mannheim Furnace (Q-210). Secara bersamaan, bahan baku Natrium Klorida (NaCl) dari supplier ditampung dalam gudang penyimpanan (F-120), selanjutnya dengan bantuan belt conveyor (J-121) dan bucket elevator (J-122), NaCl ditampung sementara di hopper (F-123) sebelum diumpankan secara terkontrol ke dalam Mannheim Furnace (Q-210) untuk direaksikan dengan asam sulfat.

Pada Mannheim Furnace (**Q-210**), reaksi yang terjadi adalah reaksi) antara natrium klorida padat dan asam sulfat cair membentuk natrium sulfat dan hidrogen klorida:



H₂SO₄ sisa yang tidak bereaksi akan terdekomposisi menjadi gas SO₃ dan H₂O karena suhu di dalam furnace melebihi titik didihnya:



Dari proses ini dihasilkan dua produk: produk utama berupa gas HCl (bersama SO₃ dan H₂O) yang keluar dari nozzle bagian atas furnace menuju Silica Tower (D-220), dan produk samping berupa padatan Na₂SO₄ (bukan slurry) yang keluar dari nozzle bagian bawah menuju Rotary Cooler (B-213) menggunakan screw conveyor (J-212) untuk didinginkan sampai suhu 40°C.

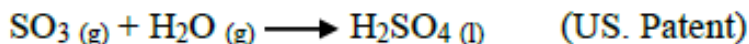
Unit Proses Pemurnian Hidrogen Klorida

Produk gas (HCl, SO₃, dan H₂O) hasil reaksi di furnace (Q-210) dialirkan menuju Silica Tower (D-220) untuk proses pendinginan awal sekaligus penyaringan debu, menggunakan brine sebagai media pendingin, hingga suhu turun menjadi 350°C. Campuran gas kemudian dilewatkan ke Coke Tower (D-230) dengan tujuan membersihkan gas HCl dari acid mist dan partikel halus yang terbawa; di sini SO₃ dan H₂O bereaksi membentuk kembali H₂SO₄ (yang terkondensasi menjadi cairan):



PRA RENCANA PABRIK

” *Hydrogen Chloride* dari Natrium Klorida dan Asam Sulfat Dengan Proses *Mannheim Furnace*”



Produk bagian bawah Coke Tower berupa H_2SO_4 dipompa menuju Cooler I (E-231) untuk didinginkan sebelum disimpan ke tangki penyimpanan (F-232). Sedangkan uap HCl dialirkan menuju Cooler II (E-241) untuk didinginkan terlebih dahulu, lalu masuk ke kolom Absorber (D-240) untuk proses penyerapan dengan air proses, membentuk larutan HCl . Uap HCl yang tidak terserap kemudian dilewatkan ke kolom Scrubber (D-250) untuk proses pengolahan gas buang, dengan penambahan air proses dari unit utilitas. Larutan HCl 32% dari Absorber dan Scrubber digabungkan dan dialirkan kemudian ditampung dalam tangki penyimpanan (F-260) sebagai produk akhir.

Unit Proses by Product Na_2SO_4

Pada Rotary Cooler (E-213), Natrium Sulfat didinginkan dengan udara bebas secara counter-current yang dihisap oleh blower (G-214). Udara dan padatan halus yang terbawa dipisahkan pada Cyclone (H-215); udara dibuang ke atmosfer (setelah didinginkan lebih lanjut di E-216), sedangkan padatan diumpankan oleh screw conveyor (J-311) menuju Ball Mill (C-312) untuk dihaluskan. Setelah itu menuju Screen (C-313) untuk menyeragamkan ukuran sesuai ketentuan mesh yaitu 100 mesh produk yang memenuhi ukuran menuju tangki penyimpanan (F-310), sedangkan produk oversize dikembalikan (recycle) ke Ball Mill untuk digiling ulang.