

**LAPORAN**  
**PERANCANGAN PABRIK NATRIUM KARBONAT DENGAN**  
**PROSES SOLVAY DARI AMONIA, GARAM DAN BATU**  
**KAPUR DENGAN KAPASITAS 250.000 TON/TH**



Oleh :

**Yaman Hudi**  
**D 500 030 029**

**Dosen Pembimbing**

- 1. Denny Vitasari, ST, M. EngSc**
- 2. Ir. H. A. M. Fuadi, MT**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2009



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Natrium karbonat merupakan komoditas kimia yang sekitar 75% produksi dunia adalah abu sintesis yang dibuat dari Natrium klorida melalui Proses Solvay atau proses yang sejenis, sisanya yang 25% di produksi dari Natrium karbonat alami. Dalam dunia perdagangan, Natrium karbonat banyak dimanfaatkan untuk industri kaca, obat – obatan, bahan makanan, *water treatment*, deterjen, industri pulp dan kertas, industri tekstil dan lain – lain (Kirk and Othmer, 1979).

Kebutuhan Natrium karbonat di Indonesia diperkirakan akan mengalami peningkatan setiap tahun. Untuk memenuhi kebutuhan akan Natrium karbonat sampai saat ini harus melalui impor dari luar negeri. Berdasarkan data dari Biro Pusat Statistik, maka Impor Natrium karbonat dari tahun 1999-2002 sebagai berikut :

**Tabel I.1. Data Impor Natrium Karbonat ( ton/tahun )**

No	Tahun	Impor ( ton/tahun)
1	1999	542.209,888
2	2000	617.420,535
3	2001	647.685,327
4	2002	698.851,945
5	2003	559.133,887
6	2004	738.287,849
7	2005	776.529,440
8	2006	566.593,000

(Sumber: Biro Pusat Statistik, 1998-2006)



Untuk memproduksi Natrium karbonat diperkirakan juga kapasitas produksi yang menguntungkan. Kapasitas produksi secara komersial yang telah ada dapat dilihat dalam tabel berikut :

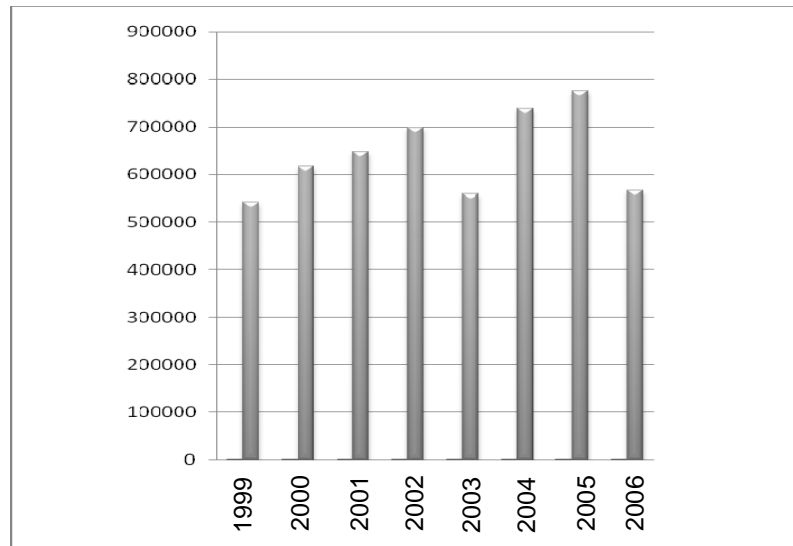
**Tabel 1.2. Pabrik Natrium karbonat di dunia dan jumlah kapasitas (ton/th)**

No	Pabrik	Negara	Kapasitas
1	FMC Wyoming Corp.	Amerika Serikat	4.850.000
2	Solvay Chemicals, Inc	Amerika Serikat	3.800.000
3	OCI Chemical Corp	Amerika Serikat	3.100.000
4	General Che. Corp.	Amerika Serikat	2.800.000
5	Searles valley Minerals, Inc	Amerika Serikat	1.450.000
6	Penrica Sod. Carbonat Prod. PT, Ltd	Australia	400.000
7	Nacional De Alcanis CAN	Brazil	800.000
8	Dalian Chem. Ind. Corp. Liaoning	China	14.210.000
9	Tata Chemical, Ltd, Mithapur	India	875.000
10	Gujarat Heavy Chemicals, Ltd	India	525.000
11	Asahi Glass.co., Ltd	Jepang	400.000
12	Magadi Soda, Co.	Kenya	360.000
13	IndustrialDel Ateati SA	Mexico	290.000
14	ICI Pkistan Ltd	Pakistan	225.000
15	SC Bega Upsom	Rumania	200.000

( Sumber: Mc-Ketta Vol 51, 1978 & USGS Minerals Yearbook 2005)

## 1.2. Penentuan Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi dapat diartikan sebagai jumlah maksimal *output* yang dapat diproduksi dalam satuan waktu tertentu. Pabrik yang didirikan harus mempunyai kapasitas produksi yang optimal yaitu jumlah dan jenis produk yang dihasilkan harus dapat menghasilkan laba yang maksimal dengan biaya minimal.



**Gambar 1.1. Regresi Linier Kebutuhan Natrium Karbonat Indonesia**

Pabrik Natrium karbonat ini rencananya akan didirikan pada tahun 2014. Dari data BPS tahun 1998-2006 di atas dapat diperkirakan kapasitas pabrik dengan cara regresi linier, sehingga didapatkan persamaan:

Jadi kebutuhan Indonesia akan Natrium karbonat pada tahun 2014 sekitar 977.824 ton/tahun. Sedangkan dari tabel 1.2, terlihat bahwa pabrik Natrium karbonat yang sudah berdiri mempunyai kapasitas antara 200.000 - 14.210.000 ton/tahun. Agar mampu untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri dan sebagian untuk diekspor, maka pabrik Natrium karbonat direncanakan dirancang pada kapasitas 250.000 ton/tahun.

Dalam pemilihan kapasitas pabrik Natrium karbonat ada beberapa pertimbangan perlu di perhatikan, yaitu:

- a. Kebutuhan Natrium karbonat di Indonesia

Untuk memenuhi kebutuhan Natrium karbonat di Indonesia selama ini, negara kita masih mengimpor sebesar sekitar 698.851,945 ton per tahun dari berbagai negara, dengan makin banyaknya kegunaan dari



Natrium karbonat maka dimungkinkan untuk mendirikan pabrik Natrium karbonat dengan alasan pangsa pasar cukup baik, juga tidak menutup kemungkinan untuk dapat diekspor.

b. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku Natrium karbonat adalah ammonia, batu kapur dan garam rakyat. Ammonia dapat diperoleh dari PT. Petro Kimia Gresik, batu kapur diperoleh dari daerah sekitar Gresik. Sedangkan untuk garam diperoleh dari PT Garam Industri Surabaya. Sehingga untuk pemenuhan kebutuhan bahan baku tidak perlu dikhawatirkan.

c. Kapasitas minimal

Untuk mengurangi impor Natrium karbonat, maka dalam perancangan ini direncanakan membuat pabrik Natrium karbonat dengan kapasitas 250.000 ton per tahun.

Penentuan kapasitas berdasarkan faktor diatas dapat disimpulkan bahwa kapasitas pabrik sebesar 250.000 ton per tahun diharapkan:

- Dapat mengurangi ketergantungan akan impor Natrium karbonat sehingga menambah pendapatan negara serta bertambahnya peluang kerja.
- Dapat merangsang berdirinya industri - industri lainnya yang menggunakan Natrium karbonat.
- Memenuhi kebutuhan dalam negeri.
- Dapat melakukan ekspor, mengingat kebutuhan Natrium karbonat yang cukup besar di dunia.



### 1.3. Lokasi Pabrik

Dalam menentukan lokasi pabrik perlu dipertimbangkan faktor-faktor penunjang yang satu sama lainnya saling berkaitan. Lokasi suatu pabrik kimia ditentukan oleh beberapa faktor diantaranya: fasilitas, lapangan kerja, sumber bahan baku, sarana transportasi, luas lahan yang dibutuhkan. pengaruh politik - ekonomi dan sebagainya.

Badan usaha yang memproduksi sesuatu biasanya mempunyai pertalian yang erat dengan lingkungan sekitarnya maupun lingkungan yang lebih luas. Badan usaha yang besar berpengaruh terhadap struktur sosial. Infra struktur (jalan - jalan, sumber energi, pemukiman) akan terbebani, demikian juga dengan lingkungan dieksploitasi dengan adanya pemakaian udara dan air serta pembuangan limbah - limbah industri. Pada pendirian instalasi baru, disamping kriteria - kriteria lain faktor - faktor lain harus juga diperhatikan dan dipertimbangkan.

Dari uraian diatas maka kami dapat mengambil keputusan bahwa perancangan pabrik Natrium karbonat ini direncanakan didirikan di Gresik dengan pertimbangan sebagai berikut:

- **Faktor utama**

- a. Penyediaan bahan baku.

Jarak antara tempat produksi dengan lokasi pengambilan bahan baku dapat mempengaruhi kemampuan bersaing dari produk-produk yang dibuat, terutama bila produk tersebut merupakan produk masal yang tidak melalui proses yang rumit.



Pendirian pabrik yang direncanakan berlokasi di Gresik sangat dimungkinkan karena ketersediaan bahan baku sangat tercukupi dan jarak antara pabrik dengan sumber bahan baku sangat mendukung. Sebagai bahan baku proses pembuatan Natrium karbonat adalah ammonia yang dapat diperoleh dari PT. Petro Kimia Gresik, batu kapur yang diperoleh dari daerah sekitar Gresik. Sedangkan untuk garam diperoleh PT. Garam Industri Surabaya. Sehingga untuk pemenuhan kebutuhan bahan baku tidak perlu dikhawatirkan.

b. Daerah pemasaran.

Daerah pemasaran sangat mempengaruhi lokasi pabrik yang akan didirikan karena jarak antara lokasi pabrik dengan daerah pemasaran harus saling mendukung. Suatu pabrik apabila jauh dari daerah pemasaran akan mempengaruhi biaya produksi yang akan berdampak pada segi ekonomis suatu pabrik.

Di pulau Jawa khususnya Gresik merupakan kawasan industri. Ammonia adalah salah satu bahan baku yang digunakan pada industri tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa daerah pemasaran mempunyai prospek yang baik.

c. Sarana transportasi.

Sarana transportasi yang baik dapat menunjang keberhasilan suatu pabrik kimia. Sarana-sarana transportasi antara lain misalnya : jalan yang nyaman dan baik untuk karyawan pabrik, transportasi bahan



bahan dari peralatan yang efisien, serta ekspedisi/pengiriman secara tepat dan ekonomis.

Gresik merupakan daerah yang mudah dijangkau karena sarana transportasi darat yang memadai serta terletak didekat pantai, dapat dibangun suatu pelabuhan. Sehingga pemenuhan bahan baku maupun pemasaran produk dapat berlangsung dengan mudah.

d. Fasilitas air.

Gresik merupakan salah satu kawasan industri di Indonesia, sehingga penyediaan utilitas utamanya air untuk proses dan pendingin tidak mengalami kesulitan, karena dekat dengan sungai.

e. Tenaga kerja.

Lokasi suatu pabrik kimia sangat tergantung pada tersedianya tenaga kerja yang ahli. Ditinjau dari segi ini, lokasi yang dipilih sebaiknya berada dekat dengan lingkungan pendidikan dan sekolah yang baik. Namun situasi lapangan kerja di daerah yang seperti disebutkan itu sering terlalu kompetitif, sehingga tenaga ahli sering sulit didapatkan meskipun ditawarkan dengan upah yang tinggi. Masalah ini dapat dihindari dengan cara pemindahan produksi ke daerah yang industrinya tidak terlalu padat. Jika hal ini dilakukan maka suatu pendidikan internal dan intensif (pelatihan, pendidikan kejujuran, dan pendidikan lanjutan) akan menghasilkan tenaga ahli yang diinginkan.

Di pulau Jawa khususnya di Gresik, pemenuhan akan kebutuhan tenaga kerja tingkat rendah, menengah, maupun tenaga ahli





mudah diperoleh. Diharapkan dengan adanya pabrik ini, dapat mengurangi adanya pengangguran di Indonesia, khususnya di pulau Jawa.

f. **Kemasyarakatan.**

Keadaan sosial kemasyarakatan sudah terbiasa dengan lingkungan industri sehingga pendirian pabrik baru dapat diterima dan dapat beradaptasi dengan mudah dan cepat.

• **Faktor pendukung**

a. **Perijinan dan kebijaksanaan pemerintah.**

Pendirian pabrik merupakan salah satu usaha untuk mewujudkan kebijakan pemerintah mengenai pengembangan industri dan pemerataan kesempatan kerja.

b. **Perluasan pabrik.**

Pendirian pabrik haruslah memperhitungkan rencana perluasan pabrik tersebut dalam jangka waktu 10 sampai 20 tahun kedepan (jangka panjang). Karena apabila suatu saat nanti akan memperluas area dari pabrik tidak mengalami kesulitan dalam mencari lahan perluasan.

c. **Kondisi iklim.**

Kondisi iklim dari suatu area yang akan dibangun pabrik harus mendukung, dalam arti kondisinya tidak terlalu mengganggu jalannya operasi pabrik.



d. Pembuangan limbah.

Penanganan masalah limbah tidak menjadi masalah karena pabrik sudah mempunyai unit pengolahan limbah (UPL) dan selanjutnya limbah yang tidak mencemari lingkungan dialirkan menuju sungai atau laut yang dekat dengan pabrik.

e. Energi.

Penyediaan energi merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan lokasi pabrik. Untuk memenuhi kebutuhan listrik diambil dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan dari generator.

f. Perpajakan.

Pajak yang harus dibayarkan dapat lebih murah, karena Gresik merupakan kawasan industri sehingga pembayaran pajaknya lebih dipermudah.

g. Korosifitas.

Lokasi kawasan industri Gresik tidak berada tepat di daerah tepi laut, sehingga korosifitas yang utamanya disebabkan oleh udara tidak begitu berpengaruh.

h. Perawatan.

Pabrik mempunyai bengkel perawatan sendiri, apabila tidak dapat dilakukan sendiri di Gresik banyak terdapat bengkel yang dapat menangani peralatan-peralatan besar.



i. Biaya konstruksi.

Biaya konstruksi bisa lebih murah, karena kawasan industri Gresik berada di dekat pelabuhan sehingga biaya pengangkutan alat ke lokasi dapat lebih murah.

j. Kondisi daerah lokasi.

Keadaan sekitar lahan pabrik haruslah diamati dan dimengerti, dengan maksud agar pada saat pabrik telah berdiri tidak ada masalah yang akan berkembang.

k. Bahaya banjir dan kebakaran.

Pabrik yang akan didirikan harus memperhatikan keselamatannya. Gresik tidak termasuk daerah rawan banjir, dan di kawasan ini memiliki keselamatan terpadu untuk menjaga dari hal-hal yang berbahaya.



## 1.4. Tinjauan Pustaka

Natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) merupakan senyawa yang mempunyai berat molekul 106, berwarna putih, berupa padatan kristal ada pula yang berbentuk bubuk yang bersifat higroskopik. Nama dagang Natrium karbonat adalah “*Soda abu atau soda ash*” ( Kirk and Othmer,1979).

### 1.4.1.Macam-macam proses

Proses pembuatan Natrium karbonat ada dua macam yaitu secara sintetik dan alami. Secara sintetik terdiri atas proses *Le Blanc* dan *Solvay* sedangkan secara alami disebut sebagai proses Natural. Adapun penjelasan mengenai proses pembuatan Natrium karbonat sebagai berikut :

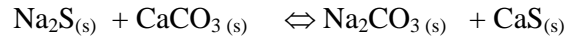
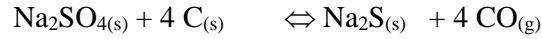
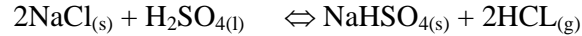
#### a. Proses *Le Blanc*

Proses ini didasarkan atas pemanggangan *salt cake* (kerak garam) dengan karbon dan gamping di dalam tanur putar dan sesudah itu mengeraskan hasilnya dengan air. Produk kasar dari reaksi ini disebut *black ash* (abu hitam). Pengerasan dilakukan pada waktu dingin, pada pengerasan ini berlangsung hidrolisis sebagian sulfida.

Ini kemudian diubah lagi menjadi karbonat melalui pengolahan dengan gas yang mengandung karbon dioksida yang berasal dari tanur abu hitam. Larutan natrium karbonat yang dihasilkan, dipadatkan sehingga menghasilkan Natrium karbonat yang kemudian dikeringkan atau dikalsinasi. ( Austin, 1996)



Reaksi :



(Mc - Ketta,1978)

b. Proses Solvay

Proses Solvay menggunakan *brine* (NaCl), batu kapur (CaCO<sub>3</sub>), sebagai bahan baku dan menggunakan ammonia sebagai *reagen siklus*. Adapun reaktor yang digunakan adalah *Packed tower*. Natrium karbonat yang dihasilkan berupa *light sodium carbonat* dan *dense sodium carbonat* sesuai dengan kebutuhan pabrik yang menggunakannya

Reaksi – reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



(Anonim, 2003)



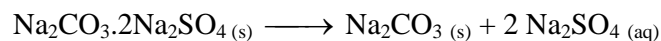
Jika dibandingkan antara proses *Le Blanc* dan *Solvay*, maka proses *Solvay* lebih menguntungkan dikarenakan proses *Solvay* berjalan pada suhu rendah, reaksi berjalan pada fase cair-gas, konversi yang dihasilkan besar, dan Natrium yang dihasilkan lebih berkualitas. *By-product* yang dihasilkan dari proses *Solvay* dapat dijual kembali.

c. Proses Natural

Bahan baku yang digunakan pada proses natural ini adalah *burkeite crystal* ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) yang telah dipisahkan dari impuritasnya. *Crude burkeite crystal* yang terdiri atas  $\text{Li}_2\text{NaPO}_4$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$  dipisahkan sedangkan filtratnya dipekatkan menjadi  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  (garam Glauber's).

Garam Glauber's disaring meninggalkan *mother liquor* yang kaya akan Natrium karbonat. Kristal soda murni diperoleh dengan didinginkan dalam tangki pendingin, kemudian disaring (*filter*) lalu masuk ke pengering (*dryer*).

Reaksi keseluruhan :



(Keyes, 1966)

Dilihat dari ketersediaan bahan baku, proses Natural tidak mungkin dilakukan di Indonesia karena bahan baku yaitu endapan *trona* tidak terdapat di Indonesia. Jadi proses yang mungkin dilakukan di Indonesia adalah proses *Le Blanc* dan *Solvay*.



Berikut ini akan diuraikan keuntungan dan kerugian dari kedua proses di tinjau dari kedua aspek tersebut :

Tabel 1.3. Perbandingan aspek teknis dan ekonomis antara proses Solvay dan Le Blanc

	Proses Le Blanc	Proses Solvay
Aspek Teknis		
a. Proses		
1. bahan baku	NaCl padat,	NaCl jenuh, batu
2. Hasil samping	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kapur/ CaCO <sub>3</sub> CaCl <sub>2</sub>
3. Kemurnian produk	CaS	97%
4. Korosifitas bahan	96,8%	
b. Operasi	Tinggi	Sedang
1. Suhu		70°C
2. Tekanan	Tinggi	4,5 atm
	Tinggi	
Aspek dampak lingkungan	Tinggi	Sedang

(Kirk & Othmer,1993)

#### 1.4.2. Kegunaan produk

Dalam dunia perdagangan, Natrium karbonat banyak dimanfaatkan untuk:

- a. Dalam bidang industri kaca
- b. Dipakai untuk obat – obatan
- c. Dipakai dalam bahan makanan
- d. Digunakan sebagai deterjen, *water treatment*
- e. Dalam bidang industri pulp dan kertas
- f. Dalam bidang indistri tekstil



### 1.4.3. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk

#### 1.4.3.1. Bahan Baku

a. Ammonia

Sifat Fisika :

- Rumus molekul :  $\text{NH}_3$
- Berat Molekul : 17,0305 gr/mol
- Titik didih, 1 atm :  $-33,4^{\circ}\text{C}$
- Titik lebur, 1 atm :  $-77,7^{\circ}\text{C}$
- Tekanan kritis : 1657 psi
- Temperatur kritis :  $133^{\circ}\text{C}$
- Energi bebas Gibbs ( $25^{\circ}\text{C}$ ) :  $-16401$  kJ/mol
- Kapasitas panas ( $25^{\circ}\text{C}$ ) :  $1,2867$  cal/mol  $^{\circ}\text{C}$
- Kelarutan,  $0^{\circ}\text{C}$  : 89,9 gr/ 100 gr  $\text{H}_2\text{O}$
- Kelarutan,  $86^{\circ}\text{C}$  : 7,4 gr/ 100 gr  $\text{H}_2\text{O}$
- Densitas, 1 atm : 0,7708 gr/ ml
- Panas spesifik,  $15^{\circ}\text{C}$  : 1,310 cal/mol

( Kirk and Othmer, 1979)



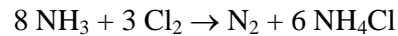


Sifat Kimia :

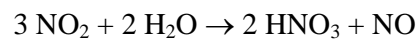
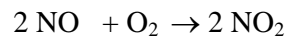
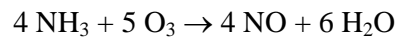
- Pada suhu tinggi bila dioksidasi dengan  $\text{KMnO}_4$  menghasilkan nitrogen dan air :



- Demikian juga oksidasi oleh klorin :



- Dengan katalis Pt-Rhodium dioksidasi menjadi nitrogen oksida dan air untuk menghasilkan asam nitrat :



b. Garam

Sifat Fisika :

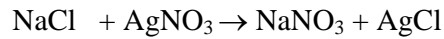
- Rumus molekul : NaCl
- Berat molekul : 58,45 gr/mol
- Titik lebur, 1 atm : 800,4<sup>0</sup> C
- Titik didih, 1 atm : 1413<sup>0</sup> C
- Densitas : 1,13 gr/ml
- Energi bebas Gibbs (25°C) : -201.320 kj/mol
- Kapasitas panas (25°C) : 1,8063 cal/mol<sup>0</sup> C
- Kelarutan, 0<sup>0</sup>C : 35,7 gr/ 100 gr H<sub>2</sub>O
- Kelarutan, 100<sup>0</sup>C : 39,8 gr/ 100 gr H<sub>2</sub>O
- Tekanan uap, 1 atm : 1465<sup>0</sup> C
- Panas penguapan, 1 atm : 40.810 cal/mol

(Kirk and Othmer, 1979)

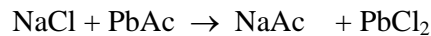


Sifat Kimia :

- Dengan perak nitrat membentuk endapan perak klorida



- Dengan timbal asetat membentuk endapan putih timbal klorida



c. Batu kapur

Sifat fisika :

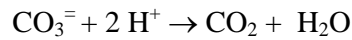
- Rumus molekul :  $\text{CaCO}_3$
- Berat Molekul : 100,09 gr/mol
- Titik lebur, 1 atm :  $2570^0 \text{ C}$
- Titik didih, 1 atm :  $2850^0 \text{ C}$
- Densitas, 1 atm : 2,711 gr/ml
- Energi bebas Gibbs ( $25^0\text{C}$ ) : -1.129.000 kJ/mol
- Kapasitas panas ( $25^0\text{C}$ ) : -5,896 cal/mol<sup>0</sup> C
- Kelarutan ,  $25^0\text{C}$  : 0,0014 gr/ 100 gr H<sub>2</sub>O
- Kelarutan ,  $100^0 \text{ C}$  : 0,002 gr/ 100 gr H<sub>2</sub>O
- Panas penguapan, 1 atm : 12.700 cal/mol
- Ukuran : 30 mesh

(Kirk and Othmer, 1979)

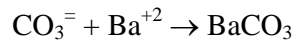


Sifat kimia :

- Asam klorida encer terjadi penguraian dengan berbuih karena karbon dioksida dilepaskan



- Dengan larutan barium klorida terbentuk endapan putih barium karbonat



#### 1.4.3.2. Produk

Natrium karbonat

Sifat fisika :

- Rumus molekul :  $\text{Na}_2\text{CO}_3$
- Berat molekul : 106 gr/mol
- Titik lebur, 1 atm :  $851^0 \text{C}$
- Kelarutan,  $0^0 \text{C}$  : 7,1 g/100 g  $\text{H}_2\text{O}$
- Kelarutan,  $100^0 \text{C}$  : 485 g/100 g  $\text{H}_2\text{O}$
- Densitas,  $20^0 \text{C}$  : 2,533 gr/ ml
- Energi bebas Gibbs ( $25^0 \text{C}$ ) : -1.128.229 kJ/mol
- Tekanan parsial,  $30^0 \text{C}$  : 388,08 psi
- Panas spesifik,  $30^0 \text{C}$  : 0,89 cal/ mol
- Panas penguapan : 7.000 cal/ mol
- Kapasitas panas,  $25^0 \text{C}$  : 4,3350 cal/mol  $^0 \text{C}$

(Kirk and Othmer,1979)



#### 1.4.4. Tinjauan Proses secara umum

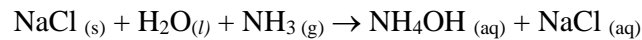
Dengan membandingkan aspek-aspek tersebut maka dipilih proses yang lebih menguntungkan secara komersial yaitu dengan proses Solvay.

Reaksinya adalah sebagai berikut :

Reaksi yang terjadi pada *kiln*:

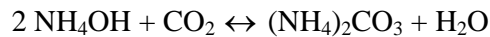


Reaksi yang terjadi dalam converter:

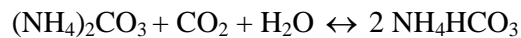


$$\Delta H_{R 298} = -262.513,02 \text{ kkal/kmol}$$

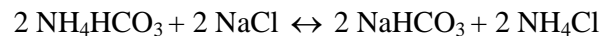
Reaksi yang terjadi dalam reaktor :



$$\Delta H_{R 298} = -2,674,95 \text{ kkal/kmol}$$



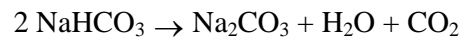
$$\Delta H_{R298} = 34.981,13 \text{ kkal/kmol}$$



$$\Delta H_{R 298} = -140.959,159 \text{ kkal/kmol}$$

Reaktor yang digunakan adalah jenis reactor *packed tower*.

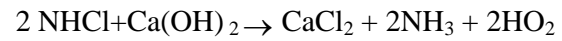
Reaksi yang terjadi dalam calciner :



$$\Delta H_{R 298} = -3.501,764 \text{ kkal/kmol}$$



Reaksi yang terjadi dalam ammonia still :



$$\Delta H_{R 298} = 135.983,52 \text{ kkal/kmol}$$