



---

## BAB II

### SELEKSI DAN URAIAN PROSES

Seleksi proses didasarkan pada aspek teknis dan ekonomis. Proses yang menguntungkan dari dua aspek tersebut kemudian dipilih untuk dilakukan produksi.

#### II.1 Macam-Macam Proses

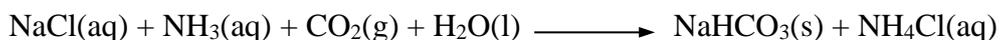
Ada beberapa macam Proses pembuatan Amonium Klorida baik ditinjau dari proses pembuatannya maupun dari bahan baku yang digunakan, yaitu antara lain proses:

1. Proses Amonia - Soda
2. Proses Amonium Sulfit - Natrium Klorida
3. Proses Amonium Sulfat - Natrium Klorida
4. Proses Amonia - Asam klorida

##### II.1.1 Proses Amonia - Soda

Didalam proses ini melibatkan reaksi antara Amonia, Karbondioksida dan Natrium Klorida di dalam air. Bahan-bahan tersebut direaksikan sehingga menghasilkan natrium karbonat dan amonium klorida sebagai hasil sampingnya.

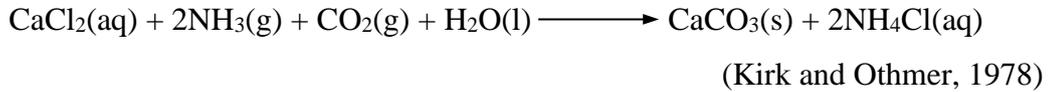
Reaksi yang terjadi adalah :



Campuran antara sodium bikarbonat dan natrium klorida dipisahkan secara filtrasi. Natrium bikarbonat berupa cake mengendap, sedangkan Amonium Klorida direcycle dari filtratnya dengan cara kristalisasi, kemudian diikuti pencucian dan pengeringan. Produk yang dihasilkan dalam proses ini adalah Amonium Klorida dalam bentuk partikel solid. Jika diinginkan Amonium Klorida yang lebih banyak, dapat diperoleh dengan mereaksikan  $\text{CaCl}_2$ .



Reaksi:



### II.1.2 Proses Amonium Sulfat - Natrium Klorida

Dalam proses ini melibatkan reaksi antara Amonium Sulfat dan Natrium Klorida untuk menghasilkan Amonium Klorida sebagai produk utama dan Natrium Sulfat sebagai produk samping . Kedua bahan ini cukup tersedia dan mudah didapat. Proses ini disebut juga Double Decomposition.

Reaksi yang terjadi adalah:

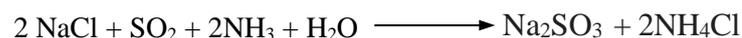


Amonium sulfat dan natrium klorida (5% excess) direaksikan dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) dengan suhu 100°C. Selama proses pencampuran berlangsung dilakukan pengadukan secara cepat, untuk menghindari terjadinya endapan dari natrium sulfat. Natrium sulfat lebih mudah mengendap karena kelarutannya rendah dibandingkan dengan komponen yang lain. Hasil pencampuran dari reaktor yang berupa larutan selanjutnya difilter untuk memisahkan natrium sulfat dengan amonium klorida. Natrium sulfat berupa slurry (padatan tersuspensi) kemudian dicuci untuk menghilangkan kadar amonium klorida yang masih melekat. Amonium klorida yang berupa filtrat kemudian dikristalisasi dan dikeringkan.

(Kirk and Othmer, 1978)

### II.1.3 Proses Amonium Sulfit - Natrium Klorida

Amonium klorida dibuat dengan mereaksikan amonium sulfit dan sodium klorida. Amonium sulfit tidak pernah terisolasi, setelah amonia dan sulfur dioksidasi dalam air yang direaksikan dengan NaCl Reaksi yang terjadi:



Proses ini akan praktis ketika bahan baku tersedia semua dan dalam kemurnian



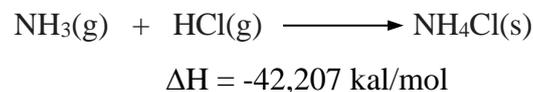
tinggi. Penambahan amonia dan sulfur dioksida dilakukan secara terus menerus kedalam larutan garam. Sulfur dioksida yang digunakan sedikit berlebih sekitar 1,4 – 2,5%. Pada saat akhir reaksi, laju penambahan sulfur dioksida dikurangi sampai kadar bisulfit akhirnya 1,2%. Keseimbangan reaksi terjadi pada suhu 60°C dimana terbentuk endapan natrium sulfit. Natrium sulfit dipisahkan dengan cara sentrifugasi. Larutan amonium klorida yang berada dalam mother liquor masuk ke tangki kristalisasi. Kristal yang terbentuk dicuci kemudian dikeringkan. Produk yang dihasilkan memiliki kemurnian sampai dengan 99%.

(Kirk-Othmer, 1963)

#### II.1.4 Proses Amonia - Asam klorida

Proses ini menghasilkan amonium klorida dengan netralisasi antara asam klorida dan amonia, proses ini disebut juga dengan proses *direct neutralization*. Prosedur ini digunakan di beberapa negara karena dapat memproduksi kristal amonium klorida tanpa impuritis logam.

Reaksi kimia yang terjadi adalah:



Pencampuran asam klorida dan amonia dilakukan dalam reaktor yang dilengkapi dengan pengaduk. Asam klorida ditambahkan sedikit berlebih, sedangkan gas amonia dihembuskan ke dalam reaktor melalui heater. Amonium klorida hasil reaksi dikristalisasi ke dalam kristaliser, kemudian dipisahkan dengan cara sentrifugasi untuk dipisahkan dari mother liquor. Mother liquor direcycle kembali dalam reaktor. Kristal amonium klorida yang didapatkan kemudian dikeringkan dalam rotary dryer. Reaksi yang terjadi eksotermis, panas reaksi yang dihasilkan digunakan untuk menghilangkan sebagian besar air. Dengan suhu reaksi antara 100-130°C. Peralatan yang digunakan nonmetalik atau baja yang sesuai untuk kondisi korosif.



Menghasilkan kristal amonium. klorida dengan konsentrasi 99,7%, hanya mengandung impuritis air pada kristal, dan tidak mengandung impuritis logam.

(Kirk-Othmer, 1978)

(Heath, 1935)

## II.2 Seleksi Proses

Dari empat macam jenis dan uraian pembuatan ammonium klorida, dirangkum pada tabel perbandingan guna menentukan proses yang sesuai baik dari aspek teknis maupun ekonomis.

Tabel 2.2. Perbandingan proses pembuatan amonium klorida

No.	Jenis Proses	Kelebihan	Kekurangan
1	Amonia – Asam klorida	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ketersediaan bahan baku cukup melimpah dan kemurnian produk yang dihasilkan 99,7%</li><li>- Tidak ada produk samping dan impuritis logam</li></ul>	Reaksi berlangsung eksotermis
2	Amonia –Soda	Hasil ammonium klorida dapat ditingkatkan dengan mereaksikan lebih banyak kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2$ )	Ammonium klorida hanya merupakan produk samping, sehingga hasilnya sedikit
3	Amonium sulfat - Natrium Klorida	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kondisi operasi mudah dicapai yaitu 1 atm dan temperatur <math>100^\circ\text{C}</math></li><li>- Ketersediaan bahan baku sangat banyak dan mudah diperoleh</li></ul>	Memerlukan alat pemisahan produk utama dan produk samping

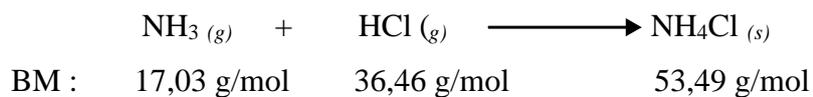


4	Amonium sulfat- Natrium Klorida	Kemurnian produk yang dihasilkan sangat tinggi (99%)	Prosesnya yang panjang dan harga bahan baku yang mahal menyebabkan proses ini kurang ekonomis
---	------------------------------------	--	---

Dari data perbandingan diatas, proses yang akan dipilih dalam pembuatan amonium klorida ini adalah proses Amonium Sulfat dan Natrium Klorida. Dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Menghasilkan kristal amonium klorida dengan konsentrasi minimal 99,7%, hanya mengandung impuritis air pada kristal, dan tidak mengandung impuritis logam dan tidak menghasilkan produk samping. (Heath, 1935).
2. Kondisi operasi pada tekanan sedikit diatas atsmosferic dan suhu menengah (100-130°C) sehingga proses relatif aman (Heath, 1935).
3. Reaksi yang trejadi pada fase gas sehingga meminimalkan efek korosi akibat hidrogen klorida.
4. Bahan baku gas amoniak dan asam klorida mudah didapatkan di untuk kawasan Indonesia khususnya kawasan industri seperti Gresik ini.

### II.3. Kelayakan Ekonomi



Produk yang terbentuk pada reaksi diatas adalah amonium klorida (NH<sub>4</sub>Cl) Jika pada reaksi tersebut amonium klorida yang terbentuk sebanyak 1 kg = 1000gr maka :

$$\begin{aligned} \text{Mol NH}_4\text{Cl yang terbentuk} &= \frac{\text{masa}}{\text{BM}} \\ &= \frac{1000 \text{ gr}}{53,49 \text{ gr/mol}} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} &= \frac{1000 \text{ gr}}{53,49 \text{ gr/mol}} \\ &= 18,69 \text{ mol} \\ \text{Massa NH}_3 \text{ yang bereaksi} &= \text{Mol NH}_3 \times \text{BM} \\ &= 18,69 \text{ mol} \times 17,03 \text{ gr/mol} \\ &= 318,377 \text{ gr} \\ &= 0,318 \text{ kg} \\ \text{Massa HCl yang bereaksi} &= \text{Mol NH}_3 \times \text{BM} \\ &= 18,69 \text{ mol} \times 36,46 \text{ gr/mol} \\ &= 681,6223 \text{ gr} \\ &= 0,682 \text{ kg} \\ \text{Volume HCl} &= \frac{\text{masa HCl}}{\rho_{\text{HCl}}} \\ &= \frac{0,682}{1,49 \text{ kg/L}} \\ &= 0,457 \text{ L} \end{aligned}$$

Tabel 2.3. Harga Senyawa Bahan Baku dan Produk

Senyawa	Harga (Rp)
NH <sub>3</sub>	22.700,00
HCl	10.100,00
NH <sub>4</sub> Cl	19.000,00

Sumber : *PT. Aneka Gas, PT. Petrokimia Gresik, Badan Pusat Statistik*

Jadi berdasarkan Tabel 2.3. untuk menghasilkan 1 Kg amonium klorida  
butuhkan biaya bahan baku sebesar:

$$\begin{aligned} \text{NH}_3 &= 0,318 \text{ Kg} \times \text{Rp. } 22.700,00/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 7.214,00 \\ \text{HCl} &= 0,457 \text{ L} \times \text{Rp. } 10.100,00/\text{L} \\ &= \text{Rp. } 4.616,00 \end{aligned}$$



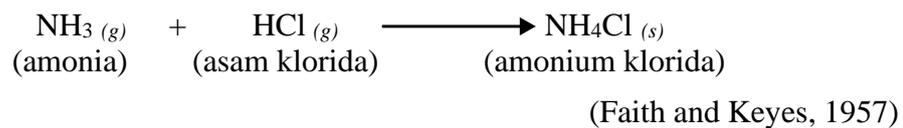
$$\begin{aligned}\text{Profit/keuntungan} &= \text{Harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= (\text{Harga produk utama}) - (\text{Harga bahan baku}) \\ &= (\text{Rp. } 19.000,00) - (\text{Rp. } 7.214,00 + \text{Rp. } 4.616,00) \\ &= \text{Rp. } 7.170,00\end{aligned}$$

Berdasarkan analisa ekonomi awal pembuatan amonium klorida dengan bahan baku Amonia dan Asam klorida mendapatkan keuntungan.

## II.4. Kelayakan Teknis

### II.4.1. Dasar Reaksi

Reaksi pembentukan amonium klorida adalah reaksi yang terjadi antara Amoniak dan Hidrogen klorida dalam fase gas dengan reaksinya sebagai berikut:



### II.4.2. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi endotermis atau eksotermis dan arah reaksi reversible atau irreversible. Secara termodinamika reaksi pembentukan amonium klorida dapat dilihat dari harga entalpi dan konstanta kesetimbangannya.

Reaksi pembentukan amonium klorida:



Harga  $\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen pada suhu 298 K (25°C) dapat dilihat pada tabel 2.4.1 sebagai berikut:

**Tabel 2.4.1 Harga Berat molekul dan  $\Delta H^\circ_f$  masing-masing komponen**

Komponen	Berat Molekul (kg/kmol)	$\Delta H^\circ_f$ (kkal/mol)
NH <sub>3</sub>	17,03	-10,96
HCl	36,46	-22,063
NH <sub>4</sub> Cl	53,49	-75,23

(Perry and Green, 1997)



$$\begin{aligned}\Delta H_{reaksi} &= \sum \Delta H_{produk} - \sum \Delta H_{reaktan} \\ &= \Delta H_f^\circ \text{NH}_4\text{Cl} - (\Delta H_f^\circ \text{NH}_3 + \Delta H_f^\circ \text{NaCl}) \\ &= -75,23 - (-10,96 + (-22,063)) \\ &= -42,207 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

$\Delta H$  menunjukkan panas reaksi yang dihasilkan selama proses berlangsungnya reaksi kimia. Dari hasil perhitungan diperoleh  $\Delta H$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi, maka reaksi bersifat eksotermis.

Harga  $\Delta G_f^0$  untuk masing-masing komponen (suhu 298 K) pada tabel 1.4.2 sebagai berikut

Tabel 1.4.2 Data energi bebas Gibbs komponen bahan baku dan produk

Komponen	$\Delta G_f^0$ (kkal/kmol)
NH <sub>3</sub>	-3,91
HCl	-22,70
NH <sub>4</sub> Cl	-48,50

(Kots, Treichel, & Weaver, 2006)

$$\begin{aligned}\Delta G_{reaksi} &= \sum \Delta G^\circ_{Produk} - \sum \Delta G^\circ_{Reaktan} \\ &= \Delta G^\circ \text{NH}_4\text{Cl} - (\Delta G^\circ \text{NH}_3 + \Delta G^\circ \text{HCl}) \\ &= -48,50 - (-3,91 + (-22,70)) \\ &= -21,89 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

$\Delta G^\circ$  menunjukkan spontan atau tidak spontannya suatu reaksi kimia. Dari hasil perhitungan  $\Delta G^\circ$  bernilai negatif (-) atau  $\Delta Gr < 0$ , hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya membutuhkan sedikit energi. Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 25°C (298 K)

$$\ln K = \frac{\Delta G}{-RT}$$



$$K = \frac{-21,90 \times 10^3 \text{ cal/mol}}{-1,987 \text{ cal mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}$$
$$K = \exp \left( \frac{-21,90 \times 10^3 \text{ cal/mol}}{-1,987 \text{ cal mol}^{-1} \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} \right)$$

$$K = 1,155 \times 10^{16}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 130°C (403 K)

$$\ln \frac{K_{403}}{K_{298}} = \frac{\Delta H}{R} \times \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$K_{403} = K_{298} \times \exp \left( -\frac{\Delta H}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \right)$$

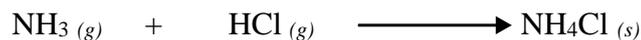
$$K_{403} = 61,155 \times 10^{16} \times \exp \left( -\frac{-42,207}{1,987} \left( \frac{1}{403} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

$$K_{403} = 10,1 \times 10^7$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh harga konstanta kesetimbangan  $K_{298} = 1,155 \times 10^{16}$  dan pada  $K_{298} = 10,1 \times 10^7$ . Karena harga konstanta kesetimbangan  $K > 1$  dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan irreversible atau ke arah produk.

#### II.4.4. Tinjauan Kinetika

Reaksi pembentukan amonium klorida:



Reaksi pembuatan amonium klorida merupakan reaksi orde dua, yang artinya laju reaksi dipengaruhi konsentrasi oleh kedua reaktan. Sehingga persamaan kecepatan reaksinya dinyatakan dengan:  $-r_a = k \cdot C_A \cdot C^2$  Nilai dari konstanta kecepatan reaksinya sebesar  $k = 1,9 \times 10^{-4} \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{det}$

(Richard, *et al.*, 1973)

#### II.5. Uraian Proses

Uraian proses pembuatan amonium klorida dari amonium sulfat dan natrium klorida dapat dilakukan dalam empat tahap

1. Persiapan bahan baku dan proses penguapan
2. Reaksi pembentukan produk



3. Kristalisasi dan pemurnian produk
4. Proses pengemasan

### II.5.1. Persiapan bahan baku dan proses penguapan

Bahan baku asam klorida disimpan dalam tangki penyimpanan *tank* (F-110) pada suhu 30°C, tekanan 1 atm dipompa menuju *Vaporizer* (V-112) untuk diuapkan dengan suhu 80-100°C sesuai titik didih asam klorida dengan tekanan 1 atm pada fase cair jenuh. Kemudian uap asam klorida dinaikkan suhunya hingga 130°C menggunakan pemanas heater (E-113).

Amonia yang berwujud cair jenuh dengan kemurnian 99,5% berat disimpan dalam tangki penyimpanan amonia (F-120) pada kondisi suhu 30°C dan tekanan 11,5 atm. Dari tangki penyimpanan amonia, amonia yang berwujud cair jenuh tersebut dialirkan dengan pompa sentrifugal (V-121) menuju *reduction valve* (V-121) untuk dikondisikan tekanannya dari 11,5 atm menjadi 1 atm. Dengan penurunan tekanan tersebut, amonia berubah fase dari cair jenuh menjadi gas karena amonia cair jenuh dari tangki penyimpanan yang masuk ke valve berada dalam kondisi bubble point. Kemudian amonia dialirkan ke *heat exchanger* (E-122) untuk dinaikkan suhunya dari 30°C menjadi 130°C.

Kemudian gas asam klorida dan gas amonia yang keluar dari *heat exchanger* (E-113) dan (E-122) pada kondisi suhu 130°C dan tekanan 1 atm siap diumpankan ke dalam *Reaktor* (R-210) yang beroperasi pada kondisi suhu 130°C dan tekanan 1 atm.

### II.5.2. Reaksi Pembentukan Produk

Gas amonia dan gas asam klorida dari tangki penyimpan di alirkan ke *reaktor* (R-210) dengan kondisi operasi sekitar 100°C -130°C tekanan 1 atm, reaksi kedua gas ini disebut dengan reaksi *netralisasi*. Dari hasil reaksi ini menghasilkan padatan amonium klorida yang masih mengandung sisa gas amonia, gas asam klorida dan air. Kemudian padatan ini dialirkan menuju



*siklon* (H-310) untuk memisahkan padatan amonium klorida dari sisa gas. Sisa gas tersebut akan di kembalikan ke dalam reaktor sedangkan padatan akan dialirkan menuju *dissolving tank* (M-320). Didalam *dissolving tank* ini terjadi pencampuran antara Amonium Klorida dari *reaktor* (R-210) dan *mother liquor* dari *centrifuge* (H-340). Proses pencampuran dan pelarutan ini bertujuan membentuk larutan jenuh.

### II.5.3. Kristalisasi dan Pemurnian Produk

Larutan jenuh yang keluar dari *dissolving tank* (M-320) dipompa menuju *crystallizer* (S-330) untuk mengkristalkan produk, yang beroperasi pada suhu 40°C. Produk kristal yang bercampur dengan *mother liquor* selanjutnya dipompa menuju *centrifuge* (H-340) untuk memisahkan antara kristal dengan *mother liquor*-nya. *Mother liquor* di *recycle* menuju *dissolving tank* (M-320) sebagai pelarut untuk mempercepat proses penjenuhan larutan.

Kristal basah dari *centrifuge* (H-340) dialirkan menuju *rotary dryer* (B-350) untuk dikeringkan hingga kadar air kristal mencapai 0,05%. Setelah kering kristal dialirkan menuju ke *ball mill* (C-360) untuk diperkecil ukurannya, kemudian dilakukan penyaringan produk dengan *screen ballmill* agar diperoleh ukuran yang seragam yaitu antara 80-100 mesh. Ukuran yang tidak sesuai dimasukkan kembali ke *ball mill* (C-360). Selanjutnya produk kristal kering amonium klorida yang sudah sesuai disimpan didalam *silo* (F-370).

### II.5.4. Proses Pengemasan

Kristal kering amonium sulfat dari *silo* (F-370) dialirkan ke unit pengemasan. Produk amonium dikemas dalam plastik *woven* dengan berat 50 kg dan disimpan di gudang produk.