

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1. Spesifikasi Bahan Baku

a. Ammonium Sulfat

Menurut MSDS (2017), spesifikasi ammonium sulfat sebagai berikut:

Rumus molekul	: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Berat molekul	: 132,14 gr/mol
Bentuk	: Padat, Tidak berwarna
Titik lebur	: 235°C
Densitas	: 1,77 g/cm ³
Sifat	: Tidak mudah terbakar
Kemurnian	: Amonium Sulfat 94,6%
Kelarutan	: Larut dalam air
Impuritas (air)	: $\text{H}_2\text{O} = 1\%$ $\text{H}_2\text{SO}_4 = 0,1\%$

b. Natrium Klorida

Menurut MSDS (2019), spesifikasi natrium klorida sebagai berikut:

Rumus molekul	: NaCl
Berat molekul	: 59,45 gr/mol
Bentuk	: Kristal/padat putih
Titik didih	: 1,461°C
Titik lebur	: 801 °C
Densitas	: 1,769 g/cm ³
Sifat	: Higroskopis dan tidak mudah terbakar
Kemurnian	: 99,78%
Kelarutan	: Larut dalam air dan gliserol
Impuritas (air)	: Natrium Sulfat = 0,14% Yang tidak larut dalam air = 0,8%

2.1.2 Spesifikasi Produk

a. Ammonium Klorida

Menurut MSDS (2017), spesifikasi ammonium klorida ialah sebagai berikut :

Rumus molekul	: NH_4Cl
Berat molekul	: 53,49 gr/mol
Titik didih (pada 1 atm)	: 520°C
Titik lebur	: 338°C
Titik sublimasi	: 350°C
Wujud	: Kristal berwarna putih (25°C , 1 atm)
Sifat	: Higroskopis, cenderung asam dan korosif
Kemurnian	: 99,5%
Kelarutan	: Air, gliserol dan ammonium cair
Impuritas	: $\text{H}_2\text{SO}_4 = 0,08\%$ (maks) $\text{H}_2\text{O} = 0,2\%$ (maks)

2.1.3 Spesifikasi Produk Samping

a. Natrium Sulfat

Menurut MSDS (2019), spesifikasi natrium sulfat ialah sebagai berikut :

Rumus molekul	: Na_2SO_4
Berat molekul	: 142,04 gr/mol
Titik didih (pada 1 atm)	: 1.429°C
Titik lebur	: 884°C
Wujud	: Kristal berwarna putih (25°C , 1 atm)
Kemurnian	: 99,3%
Kelarutan	: Gliserol dan <i>hydrogen iodide</i>
Impuritas	: $\text{NaCl} = 0,11\%$ $\text{NH}_4\text{Cl} = 0,17\%$ $\text{H}_2\text{O} = 0,19\%$

2.2 Sifat Fisika dan Kimia

2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

1. Ammonium Sulfat

a. Sifat Fisika

Menurut Perry (1997) sifat fisika ammonium sulfat adalah sebagai berikut:

- Rumus Kimia : $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- Berat molekul : 132,14
- Titik leleh : Terdekomposisi pada 235°C
- Warna : Abu-abu kecoklatan sampai putih
- Wujud : Kristal padat
- Kelarutan dalam air : 70,6 gram/100 ml air pada suhu 0°C
103,3 gram/ 100ml air pada suhu 100°C
- *Spesific Gravity* : 1,769
- Tidak larut pada pelarut organik, kelarutan menurun ketika ditambahkan amonia

b. Sifat Kimia

Menurut Gowariker (2009) sifat kimia amonium klorida adalah sebagai berikut :

- Pada suhu 280°C dapat terdekomposisi menjadi amonium bisulfat dan amonia.

Reaksi yang terjadi adalah:



- Bereaksi dengan sodium klorida membentuk ammonium klorida dan sodium sulfat. Reaksi yang terjadi adalah:



- Amonium Sulfat direaksikan dengan larutan sodium hidroksida akan menghasilkan gas amonia. Reaksi ini berlangsung dengan adanya pemanasan. Reaksi yang terjadi adalah:



- Amonium Sulfat direaksikan dengan larutan perak nitrat akan menghasilkan endapan putih perak sulfat. Reaksi yang terjadi adalah:



2. Natrium Klorida

a. Sifat Fisika

Menurut Perry (1997) sifat fisika natrium klorida adalah sebagai berikut :

- Rumus : NaCl
- Berat molekul : 58,45
- Titik didih : 1413°C
- Titik leleh : 800,4°C
- Warna : Tidak berwarna
- Wujud : Kristal padat
- *Specific Gravity* : 2,163
- Kelarutan dalam air : 35,7 gram/100 ml air pada 0°C
39,8 gram/100 ml air pada 100°C

b. Sifat Kimia

Menurut Vogel (1989) sifat kimia amonium klorida adalah sebagai berikut:

- Melalui proses elektrolisis sodium klorida dilarutkan dengan air akan menghasilkan gas klorin, gas hidrogen dan sodium hidroksida. Reaksi yang terjadi adalah:



- Sodium klorida direaksikan dengan larutan asam sulfat pekat disertai dengan pemanasan akan terurai sempurna menghasilkan gas asam klorida. Reaksi yang terjadi adalah:



- Sodium klorida direaksikan dengan larutan timbal asetat akan menghasilkan endapan putih timbal klorida. Reaksi yang terjadi adalah:



- Dapat terdekomposisi menjadi sodium dan gas klorin.

Reaksi yang terjadi adalah:



2.2.2 Sifat Fisika dan Kimia Produk

a. Amonium Klorida

1) Sifat Fisika

Menurut Ullman (2003), sifat fisika amonium klorida ialah sebagai berikut :

- Wujud : Padat
- Berat Molekul : 53,49
- Warna : Putih
- Titik leleh : Terdekomposisi pada 350°C
- Titik didih : 520°C
- *Specific Gravity* : 1,53 pada 17°C
- Panas pelarutan : -15,99 kJ/mol
- Panas pembentukan : -298,10 kJ/mol
- Panas integral larutan NH_4Cl pada kondisi jenuh : +15,7 kJ/mol
- Panas differensial larutan NH_4Cl pada kondisi jenuh : +15,2 kJ/mol
- Kelarutan dalam air : 29,7 gr/100 gr air pada 0°C
77,3 gr/100 gr air pada 100°C
- Sedikit larut dalam alkohol
- Larut dalam gliserol dan amonia cair
- Tidak larut dalam *acetone* dan *pyridine*
- Tekanan parsial larutan NH_4Cl jenuh memperlihatkan bahwa amonia

Tabel 2. 1 Kelarutan Amonium Klorida dalam Air (Ullman, 2003)

Temperatur (°C)	Dalam 100 gr air (gram)
0	29,4
20	34,6
40	45,8
60	55,3
80	65,6
100	77,3
115,6	87,3

Tekanan parsial larutan NH_4Cl jenuh menunjukan bahwa amonium klorida sedikit higroskopis.

Tabel 2. 2 Tekanan parsial larutan amonium klorida jenuh (Ullman, 2003)

Temperatur (°C)	Tekanan (kPa)
10	1,0
20	1,9
30	3,3
40	5,4
50	8,8
60	101,3

2) Sifat Kimia

Menurut Vogel (1985) sifat kimia amonium klorida adalah sebagai berikut :

- Larutan ammonium klorida bersifat asam dan cenderung menyerang logam besi dan permukaan logam lainnya (korosif) diantaranya adalah tembaga, perunggu dan kuningan.

- Amonium klorida direaksikan dengan larutan NaOH akan menghasilkan gas amonia.

Reaksi ini berlangsung dengan adanya pemanasan. Reaksi yang terjadi adalah:



- Amonium klorida direaksikan dengan larutan timbal asetat akan menghasilkan endapan putih timbal klorida. Reaksi yang terjadi adalah:



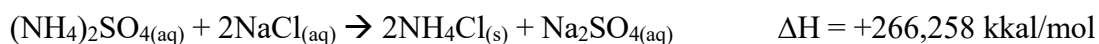
- Pada suhu 338°C dapat terdekomposisi menjadi ammonia dan asam klorida. Reaksi yang terjadi adalah:



2.3 Konsep Reaksi

2.3.1 Dasar Reaksi

Reaksi pembentukan amonium klorida adalah reaksi yang terjadi antara amonium sulfat dengan natrium klorida (proses amonium sulfat-natrium klorida) (Kirik Otmer, 1977) dengan reaksinya yaitu:



Reaksi pembentukan amonium klorida berlangsung pada kondisi operasi reaktor sebagai berikut:

- Temperatur = 100°C
- Tekanan = 1 atm
- Fase = cair-cair
- Sifat reaksi = searah

2.3.2 Sifat Reaksi

Sifat reaksi pembentukan amonium klorida adalah *ireversibel* (searah). Besarnya harga panas reaksi yang terjadi pada suhu 25°C adalah $\Delta H_f^\circ = +0,758$ kkal/gmol, yang artinya reaksi tersebut searah dan membutuhkan panas. Dari harga ΔH_f° yang menunjukkan positif dapat disimpulkan reaksi yang terjadi adalah endotermis (penyerapan panas), hal tersebut mengakibatkan suhu reaktor akan mengalami penurunan terus menerus sehingga diperlukan adanya jaket pemanas untuk mempertahankan suhu reaktor (Faith, Keyes, and Clark's, 1975).

2.3.3 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika adalah suatu tinjauan yang bertujuan untuk mengetahui reaksi itu memerlukan panas atau melepaskan panas. Secara termodinamika reaksi pembentukan amonium klorida dapat dilihat dari harga enthalpi dan konstanta kesetimbangannya (Yaws, 1999).

Diketahui pada suhu 25°C = 298°K:

$$\Delta H_f^\circ \text{NH}_4\text{Cl} = -71,20 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{Na}_2\text{SO}_4 = -330,82 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = -279,33 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ \text{NaCl} = -97,324 \text{ kkal/mol}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{r298} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= (2 \Delta H_f^\circ \text{NH}_4\text{Cl} + \Delta H_f^\circ \text{Na}_2\text{SO}_4) - (\Delta H_f^\circ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2 \Delta H_f^\circ \text{NaCl}) \\ &= \{(2 \times -71,20) + (-330,82)\} - \{(-279,33) + (2 \times -97,324)\} \\ &= 0,758 \text{ kkal/mol} \end{aligned}$$

Menghitung ΔH_r pada suhu reaksi = 100°C = 373°K

$$C_p \text{NH}_4\text{Cl} = 23,53 \text{ kkal/mol.K}$$

$$C_p \text{Na}_2\text{SO}_4 = 32,8 \text{ kkal/mol.K}$$

$$C_p (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 51,6 \text{ kkal/mol.K}$$

$$C_p \text{ NaCl} = 12,36 \text{ kkal/mol.K}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reaktan } 373} &= \Sigma C_p \cdot \Delta T \\ &= 51,6 \times (373-298) + 2 \times 12,36 (373-298) \\ &= 5.724 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{produk } 373} &= \Sigma C_p \cdot \Delta T \\ &= 32,8 \times (373-298) + 2 \times 23,53 (373-298) \\ &= 5.989,5 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{r373} &= \Delta H_{\text{produk } 373} + \Delta H_{r298} - \Delta H_{\text{reaktan } 373} \\ &= 5.989,5 + 0,758 - 5.724 \\ &= 266,258 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

ΔH_{r373} bernilai positif sehingga reaksi pembentukan amonium klorida bersifat endotermis (memerlukan panas).

Pada suhu 25°C (298°K) diperoleh data sebagai berikut:

$$\Delta G_f^\circ \text{ NH}_4\text{Cl} = -48,59 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta G_f^\circ \text{ Na}_2\text{SO}_4 = -381,28 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta G_f^\circ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = -274,02 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta G_f^\circ \text{ NaCl} = -93,92 \text{ kkal/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta G_r &= \Sigma \Delta G_{\text{produk}} - \Sigma \Delta G_{\text{reaktan}} \\ &= (2 \Delta G_f^\circ \text{ NH}_4\text{Cl} + \Delta G_f^\circ \text{ Na}_2\text{SO}_4) - (2 \Delta G_f^\circ \text{ NaCl} + \Delta G_f^\circ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) \\ &= \{(2 \times -48,59) + (-381,28)\} - \{(2 \times -93,92) + (-274,02)\} \\ &= -16,6 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

Dari harga ΔH_{r373} tersebut dapat dilihat bahwa reaksi pembentukan amonium klorida adalah endotermis (memerlukan panas), dan reaksi ini dapat berlangsung karena mempunyai harga $\Delta G_r < 0$.

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 25°C (298°K)

$$\begin{aligned}\ln K_{298} &= \frac{\Delta G^\circ}{-RT} \\ \ln K_{298} &= \frac{-16.600}{-1,987 \times 298} = 28,03 \\ K_{298} &= 1,49 \times 10^{12}\end{aligned}$$

Menghitung harga konstanta keseimbangan pada suhu 100°C (373°K)

$$\ln \left(\frac{k_{373}}{k_{298}} \right) = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_{298}} - \frac{1}{T_{373}} \right)$$

$$\ln \left(\frac{k_{373}}{K_{373}} \right) = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{373} \right)$$

$$\frac{1,49 \cdot 10^{12}}{K_{373}} = \exp(0,257)$$

$$K_{373} = 1,92 \times 10^{12}$$

Karena harga konstanta kesetimbangan sangat besar maka dapat disimpulkan bahwa reaksi berjalan *irreversible* (searah) ke arah produk (ke kanan).

2.3.4 Tinjauan Kinetika

Reaksi amonium klorida merupakan reaksi orde dua sehingga persamaan kecepatan reaksinya dinyatakan dengan (Mon *et al*, 2012):

$$r_A = k \cdot C_A \cdot C_B$$

Diketahui:

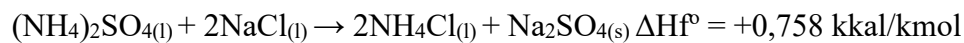
r_A = kecepatan reaksi

C_A = konsentrasi ammonium sulfat (kmol/m³)

C_B = konsentrasi natrium klorida (kmol/m³)

2.3.5 Perbandingan Mol Reaktan

Pada proses pembuatan amonium klorida reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Diketahui perbandingan mol reaktan dari koefisien reaksi masing-masing reaktan secara stoikiometri adalah 1:2 yaitu 1 mol ammonium sulfat bereaksi dengan 2 mol sodium klorida. Untuk menghasilkan 1 ton amonium klorida dibutuhkan amonium sulfat 2600 lb dan natrium klorida 2500 lb, sehingga perbandingan mol reaktan sesungguhnya adalah 1:2,17. Pada reaksi ini amonium sulfat merupakan pereaksi pembatas. Natrium klorida dibuat berlebih dimaksudkan untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan produk (Faith, Keyes, and Clark's, 1975).

2.4 Langkah Proses

Pada pembuatan amonium klorida dengan bahan baku amonium sulfat dan sodium klorida secara garis besar dapat dibagi empat tahap:

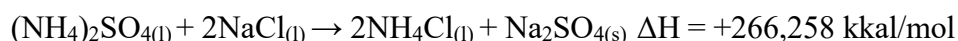
1. Tahap penyiapan bahan baku
2. Tahap pembentukan produk
3. Tahap pemurnian produk
4. Tahap penyimpanan produk

2.4.1. Tahap Penyiapan Bahan Baku

Tahap ini bertujuan untuk mengangkut bahan baku amonium sulfat ((NH₄)₂SO₄) dan natrium klorida (NaCl) dari gudang penyimpanan pada kondisi tekanan 1 atm dan suhu 30°C. Kemudian diumpankan ke mixer melalui *screw conveyor* karena ammonium sulfat dan natrium korida bersifat higroskopis, lalu diangkut oleh *bucket elevator*. Selanjutnya diumpankan air pada mixer untuk menghomogenkan amonium sulfat hingga terbentuk larutan jenuh amonium sulfat dan larutan jenuh natrium klorida. Setelah proses mixing bahan baku masing masing akan melalui HE yang berjenis *double pipe* untuk dinaikkan suhunya menjadi 100°C.

2.4.2. Tahap Pembentukan Produk

Tahap pembentukan produk terjadi dalam reaktor CSTR. Reaktor ini dilengkapi dengan jaket pemanas dialiri steam untuk menjaga kondisi operasi pada temperatur 100°C dan tekanan 1 atm dengan konversi 95%. Pengaduk dalam reaktor berfungsi untuk menjaga agar komposisi larutan dalam reaktor selalu sama dengan komposisi aliran keluar reaktor dan untuk menjaga distribusi suhu larutan dalam reaktor tetap seragam. Reaktor ini digunakan untuk mereaksikan (NH₄)₂SO₄ dan NaCl dengan menggunakan proses kontinyu, sehingga membentuk produk utama berupa amonium klorida dan produk samping natrium sulfat. Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah sebagai berikut:



2.4.3. Tahap Pemurnian Produk

Tahap ini bertujuan untuk memisahkan padatan natrium sulfat dari larutan amonium klorida melalui *rotary filter* jenis drum (P = 1 atm dan T = 73°C), keluaran dari *rotary filter* berupa *cake* Na₂SO₄ dan larutan NH₄Cl. Kemudian *cake* Na₂SO₄ masuk ke *rotary dryer* jenis *direct hit counter current* (RD-01) yang memiliki kemiringan sebesar 12° (P = 1 atm dan T = 100°C) untuk

mengurangi kandungan airnya hingga menjadi kristal kering. Sedangkan filtrat dari *rotary filter* berupa larutan NH_4Cl yang ditampung pada tangki penampungan kemudian dipekatkan menggunakan *evaporator* tipe tabung vertikal dimana *tube*-nya akan berada pada posisi vertikal, dan *feed* masuk melalui *shell evaporator*, kemudian *steam* akan masuk ke dalam tube melalui bagian atas ($P = 0,5 \text{ atm}$ dan $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$). Larutan jenuh dari *evaporator* dialirkan ke kristalizer untuk membentuk kristal amonium klorida pada kondisi operasi tekanan 1 atm dan suhu 40°C . Untuk mempertahankan suhu pada kristalizer dialirkan air pendingin yang dimasukkan lewat jaket kristalizer, jenis kristalizer yang digunakan adalah *single stage*. Kemudian kristal dan *mother liquor* dari kristalizer dialirkan ke *centrifuge* pada kondisi operasi tekanan 1 atm dan suhu 40°C , melalui *screw conveyor*, dalam *centrifuge* kristal dan *mother liquor* akan dipisahkan dan *mother liquor* akan dikembalikan atau di *recycle* ke tangki penampungan menggunakan pompa untuk digunakan kembali. Sedangkan kristal amonium klorida melalui *screw conveyor* dikeringkan ke dalam *rotary dryer* (RD-02) untuk mengurangi kadar airnya sehingga sesuai dengan spesifikasi produk yang diharapkan.

2.4.4. Tahap Penyimpanan Produk

- Penyimpanan produk pada silo 1
- Penyimpanan produk pada silo 2

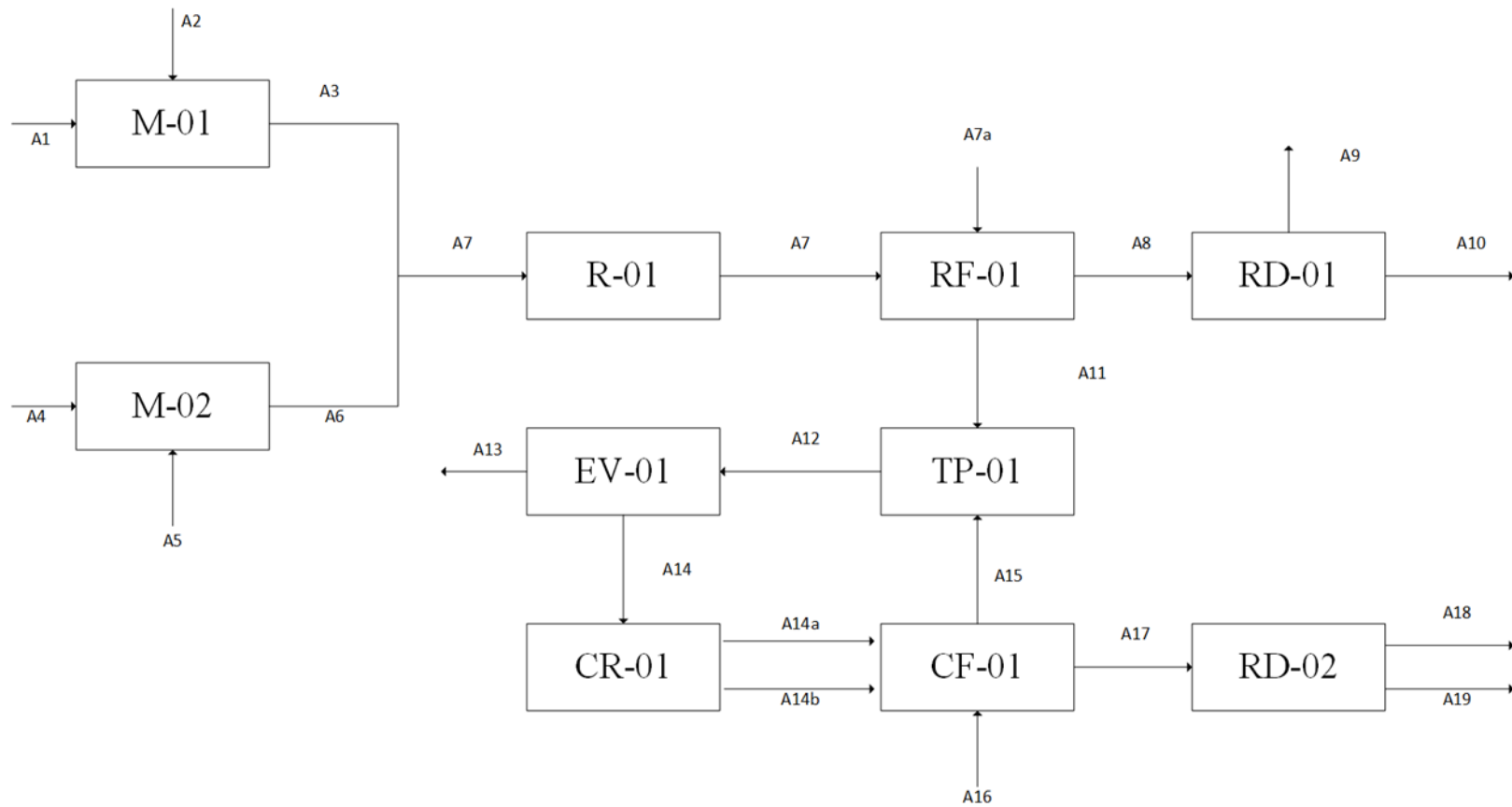
Kristal natrium sulfat dari *rotary dryer* (RD-01) dan kristal ammonium klorida dari *rotary dryer* (RD-02) masing-masing akan dimasukkan ke dalam silo 1 dan 2 melalui *belt conveyor* yang kemudian menuju screener agar ukuran kristal sesuai dengan spesifikasi produk pasaran, lalu kemudian diangkut dengan bucket elevator untuk ditampung di silo dan dimasukkan ke unit pengemasan.

2.5 Diagram Alir Proses

Gambar 2. 1 Diagram Alir (*Flowsheet*) Prarancangan Pabrik Amonium Klorida dengan Proses Amonium Sulfat-Sodium Klorida
Kapasitas 91.000 Ton/tahun

2.6 Diagram Alir Neraca Massa dan Panas

2.6.1 Diagram Alir Neraca Massa



Gambar 2. 2 Diagram Alir Neraca Massa

Keterangan Gambar:

M-01 : Tangki Pelarut $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

M-02 : Tangki Pelarut NaCl

R-01 : Reaktor

TP-01 : Tangki Penampung 1

RF-01 : *Rotary Filter*

RD-01 : *Rotary Dryer 1*

RD-02 : *Rotary Dryer 2*

EV-01 : *Evaporator*

CR-01 : Kristalizer

CF-01 : *Centrifuge*

Keterangan Arus

Arus 1 : Feed $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Arus 2 : H_2O pelarut

Arus 3 : Larutan jenuh $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Arus 4 : Feed NaCl

Arus 5 : H_2O pelarut

Arus 6 : Larutan jenuh NaCl

Arus 7 : Larutan produk

Arus 8 : Padatan terpisah

Arus 9 : H_2O menguap

Arus 10 : Padatan kering keluar (produk samping Na_2SO_4)

Arus 11 : Filtrate

Arus 12 : Larutan pekat NH_4Cl

Arus 13 : H_2O menguap

Arus 14 : Larutan jenuh NH_4Cl pada 100°C

Arus 14a : Kristal terbentuk

Arus 14b : *Mother liquor*

Arus 15 : *Recycle*

Arus 16 : Air pencuci

Arus 17 : Padatan terpisah

Arus 18 : Produk Amonium Klorida

Arus 19 : H_2O menguap

2.6.1.1 Neraca Massa di Tangki Pelarutan (M-01)

Tabel 2. 3 Neraca Massa Tangki Pelarutan (M-01)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
(NH ₄) ₂ SO ₄	14788.05952	0	14788.05952
H ₂ SO ₄	14.86237137	0	14.86237137
H ₂ O	22.29355706	18959.05066	18981.34422
Total	14825.21545	18959.05066	
	33784.26611		33784.26611

2.6.1.2 Neraca Massa di Tangki Pelarutan (M-02)

Tabel 2. 4 Neraca Massa Tangki Pelarutan (M-02)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)
	Arus 4	Arus 5	Arus 6
NaCl	13081.52976	0	13081.52976
CaSO ₄	97.41564714	0	97.41564714
H ₂ O	737.5756141	36246.96525	36984.54086
Total	50163.48627		50163.48627

2.6.1.3 Neraca Massa di Reaktor (R-01)

Tabel 2. 5 Neraca Massa Reaktor (R-01)

Komponen	Masuk		Keluar
	Arus 3	Arus 6	Arus 7
(NH ₄) ₂ SO ₄	14788.05952	0	739.4029759
NaCl	0	13081.52976	654.0764879
NH ₄ Cl	0	0	11375
Na ₂ SO ₄	0	0	15101.10981
H ₂ SO ₄	14.86237137	0	14.86237137
CaSO ₄	0	97.41564714	55965.88509
H ₂ O	18981.34422	36984.54086	97.41564714
Total	83947.75238		83947.75238

2.6.1.4 Neraca Massa di Rotary Filter (RF-01)

Tabel 2. 6 Neraca Massa Rotary Filter (RF-01)

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	7	7a	8	11
(NH ₄) ₂ SO ₄	739.4029759	0	713.4789714	25.92400452
NaCl	654.0764879	0	646.537835	7.538652899
NH ₄ Cl	11375	0	23.85261655	11351.14738
Na ₂ SO ₄	15101.10981	0	15087.99103	13.11877987
H ₂ SO ₄	14.86237137	0	0	14.86237137
H ₂ O	55965.88509	8394.775238	662.7710441	63697.88928
CaSO ₄	97.41564714	0,00	97.41564714	0
Total	92342.52762		92342.52762	

2.6.1.5 Neraca Massa di Evaporator (EV-01)

Tabel 2. 7 Neraca Massa Evaporator (EV-01)

Komponen	Masuk (Kg)	Keluar (Kg)	
	12	13	14
(NH ₄) ₂ SO ₄	49.08969496	0	49.08969
NaCl	10.85189085	0	10.85189
NH ₄ Cl	11948.21774	0	11948.22
Na ₂ SO ₄	19.90381282	0	19.90381
H ₂ O	104349.8822	103011.5152	17.24035
H ₂ SO ₄	17.24035079	0	1338.367
Total	116395.1857	116395.1857	

2.6.1.6 Neraca Massa di Kristalizer (CR-01)

Tabel 2. 8 Neraca Massa Kristalizer (CR-01)

Komponen	Masuk	Keluar	
	14	14a	14b
(NH ₄) ₂ SO ₄ =	49,09	6,45	42,64
NaCl=	10,85	9,67	1.174
NH ₄ Cl larutan	11948.21774	0	1195
Na ₂ SO ₄	19.90381282	13,94	5.924
NH ₄ Cl kristal	0	10753,396	0
H ₂ SO ₄	17.24035079	4,301	12.94
H ₂ O	1338.367054	18,28	1320
Total	13383.671	13383.67054	

2.6.1.7 Neraca Massa di Tangki Penampungan (TP-01)

Tabel 2. 9 Neraca Massa Tangki Penampungan (TP-01)

Komponen	Masuk		Keluar
	11	15	12
(NH ₄) ₂ SO ₄	25,92	23,17	49,09
NaCl	7,54	3,31	10,85
NH ₄ Cl	11351.14738	597,07	11948,21
Na ₂ SO ₄	13.11877987	6,78	19,90
H ₂ O	63697.88928	40651,99	104349,88
H ₂ SO ₄	14.86237137	2,377	17,240
Total	116395.1857	116395.1857	

2.6.1.8 Neraca Massa di Centrifuge (CF-01)

Tabel 2. 10 Neraca Massa Centrifuge (CF-01)

Komponen	Masuk (kg)			Keluar	
	14a	14b	16	15	17
(NH ₄) ₂ SO ₄	6,452	42,6	0	42,64	6.452038
NaCl	9,678	1,17	0	1,174	9.678056
NH ₄ Cl	10753,396	1194,821	0	1195	10753.4
Na ₂ SO ₄	13,979	5,924	0	5,924	13.97941
H ₂ SO ₄	4,301	12,938	0	12,94	4.301358
H ₂ O	18,280	1320,086	133,83	1320	152.1175
Total		13517.50724		13518	

2.6.1.9 Neraca Massa di Rotary Dryer (RD-01)

Tabel 2. 11 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-01)

Komponen	Masuk		Keluar
	8	9	10
(NH ₄) ₂ SO ₄	713,47	0	713.479
NaCl	646,53	0	646.5378
NH ₄ Cl	23,852	0	23.85262
Na ₂ SO ₄	15087,991	0	15087.99
H ₂ SO ₄	4,3013	0	4.639397
H ₂ O	662,771	658,132	97.41565
Total	17232.047		17232.04715

2.6.1.10 Neraca Massa di Rotary Dryer (RD-02)

Tabel 2. 12 Neraca Massa Rotary Dryer (RD-02)

Komponen	Masuk		Keluar
	17	19	18
(NH4)2SO4	6,45	0	6,45
NaCl	9,67	0	9,67
NH4Cl	10753,39	0	10753,95
Na2SO4	13,9	0	13,97
H2SO4	4,30	0	4,301
H2O	152,11	150,59	152,11
Total	10939.92431		10939.92431

2.6.1.11 Neraca Massa Overall

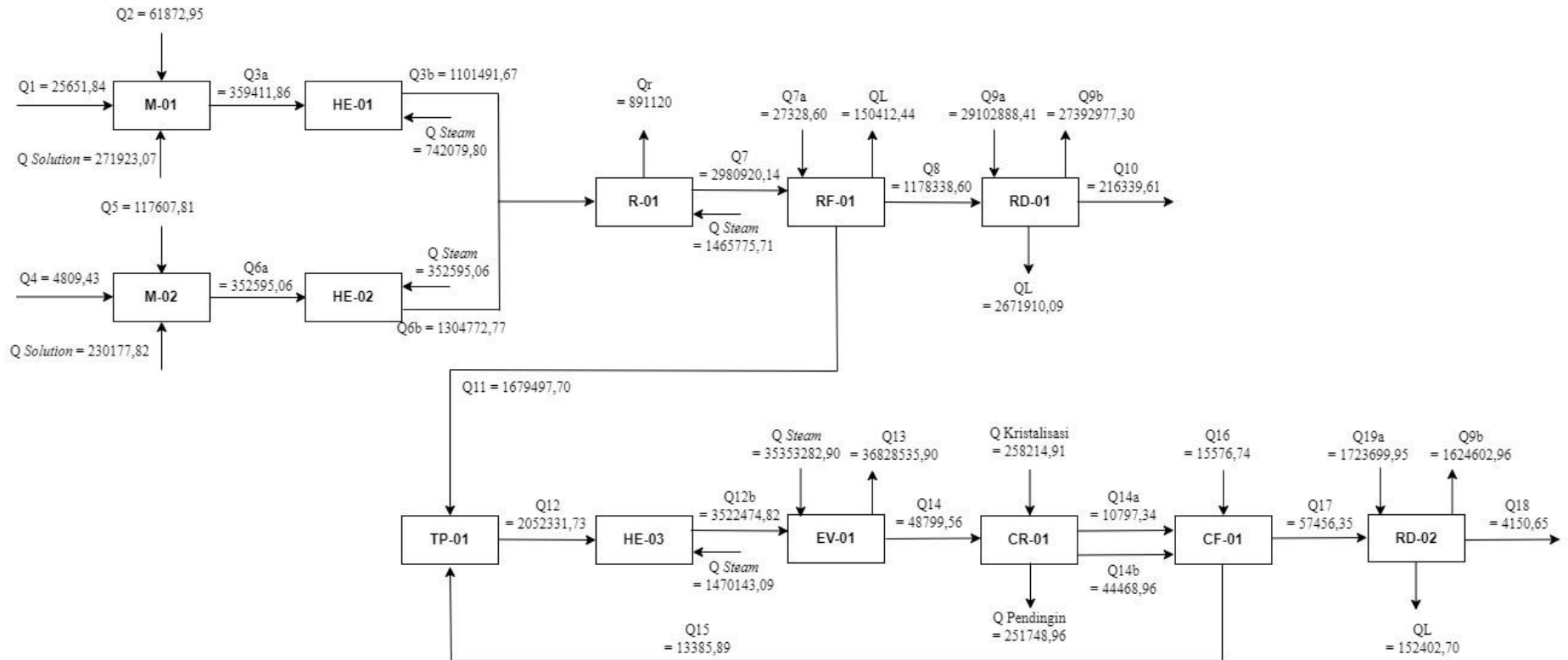
Tabel 2. 13 Neraca Massa Overall

Komponen	Input	Output
Aliran 1	14825.21545	
Aliran 2	18959.05066	
Aliran 3	33784.26611	33784.26611
Aliran 4	13916.52102	
Aliran 5	36246.96525	
Aliran 6	50163.48627	50163.48627
Aliran 7	83947.75238	83947.75238
Aliran 7a	8394.775238	
Aliran 8	17232.04715	17232.04715
Aliran 9		658.1316468
Aliran 10		16573.9155
Aliran 11	75110.48047	75110.48047
Aliran 12	116395.1857	116395.1857
Aliran 13		103011.5152
Aliran 14	13383.67054	13383.67054
Aliran 14A	10806.0876	10806.0876
Aliran 14B	2577.582937	2577.582937
Aliran 15	41284.70523	2577.582937
Aliran 16	133.8367054	
Aliran 17	10939.92431	10939.92431
Aliran 18		10789.328
Aliran 19		150.5963037
Total	548101.553	548101.553

Efisiensi Produksi = (Produk/Bahan Baku) x 100%

Efisiensi Produksi = 80,99%

2.6.2 Diagram Alir Neraca Panas



Gambar 2. 3 Diagram Alir Neraca Panas

Keterangan Gambar:

M-01, 02	: Tangki Pencampuran $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan NaCl	RD-01, 02	: <i>Rotary Dryer</i>
HE-01, 03	: <i>Heat Exchanger</i> NaCl	EV-01,	: <i>Evaporator</i>
HE-02	: <i>Heat Exchanger</i> $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	CR-01	: Kristaliser
R-01	: Reaktor CSTR	CF-01	: <i>Centrifuge</i>
RF-01	: <i>Rotary Filter</i>	TP-01	: Tangki Pelarutan NaCl

Keterangan Arus:

Arus 1	= panas $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ masuk
Arus 2	= panas air pelarut untuk membuat larutan jenuh $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Arus 3a	= panas larutan jenuh $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ masuk <i>heat exchanger</i>
Arus 3b	= panas larutan jenuh $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ masuk reaktor
Arus 4	= panas NaCl masuk
Arus 5	= panas air pelarut untuk membuat larutan jenuh NaCl
Arus 6a	= panas larutan jenuh NaCl masuk <i>heat exchanger</i>
Arus 6b	= panas larutan jenuh NaCl masuk reaktor
Arus 7	= panas yang dibawa arus produk reaktor masuk ke RF-01
Arus 7a	= panas yang dibawa air pencuci
Arus 8	= panas yang dibawa keluar Na_2SO_4 keluar RF-01
Arus 9a	= panas yang dibawa masuk udara kering
Arus 9b	= panas yang dibawa keluar uap air
Arus 10	= panas yang dibawa keluar kristal Na_2SO_4 kering
Arus 11	= panas yang dibawa filtrat keluar RF-01
Arus 12a	= panas yang dibawa masuk ke HE-03
Arus 12b	= panas yang dibawa keluar dari HE-03
Arus 13	= panas yang keluar dari EV-01
Arus 14	= panas yang dibawa kristal dan <i>mother liquor</i> masuk CR-01
Arus 14a	= panas yang dibawa larutan masuk ke CF-01
Arus 14b	= panas yang dibawa kristal dan <i>mother liquor</i> keluar CR-01
Arus 15	= panas <i>recycle</i>
Arus 16	= panas yang dibawa air pencucian kristal masuk
Arus 17	= panas yang dibawa kristal keluar

- Arus 18 = panas yang dibawa keluar kristal NH_4Cl kering
 Arus 19a = panas yang dibawa masuk udara kering
 Arus 19b = panas yang dibawa keluar uap air

2.6.2.1 Neraca Panas di Tangki Pelarutan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (M-01)

Tabel 2. 14 Neraca Panas Tangki Pelarutan (M-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q1	29341.94068	
Q2	397175.0663	
Qsolt	307734.8746	
Q3		734251.8816

2.6.2.2 Neraca Panas di *Heat Exchanger* (HE-01)

Tabel 2. 15 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q3a	734251.8816	
Q3b		6372645.393
Qsteam	5935151.065	

2.6.2.3 Neraca Panas di Tangki Pelarutan NaCl (M-02)

Tabel 2. 16 Neraca Panas Tangki Pelarutan (M-02)

Panas	Q input(kkal)	Q output (kkal)
Q4	29028.15939	
Q5	759341.3343	
Qsolt	260511.5593	
Q6		1048881.053

2.6.2.4 Neraca Panas di *Heat Exchanger* (HE-02)

Tabel 2. 17 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-02)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q6a	1048881.053	
Q6b		11557050.63
Qsteam	11061231.13	

2.6.2.5 Neraca Panas di Reaktor (R-01)

Tabel 2. 18 Neraca Panas Reaktor (R-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q3b	6372645.393	
Q6b	11557050.63	
Q7		18175556.23
Qs	487605.5284	
Qr		241745.3271

2.6.2.6 Neraca Panas di *Rotary Filter* (RF-01)

Tabel 2. 19 Neraca Panas *Rotary Filter* (RF-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q7	18175556.23	
Q7a	175862.9939	
Q8		1835141.922
Q11		398667.6446
QL		16117609.65

2.6.2.7 Neraca Panas di *Rotary Dryer* (RD-01)

Tabel 2. 20 Neraca Panas *Rotary Dryer* (RD-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q8	398667.6446	
Q10		256411.08
Q9a	1309117.512	
Q9b		1451374.077

2.6.2.8 Neraca Panas di Tangki Penampungan (TP-01)

Tabel 2. 21 Neraca Panas Tangki Penampungan (TP-01)

Panas	Q Input (kkal)	Q output (kkal)
Q11	16117610.34	
Q15b	2555289.705	
Q12		18672856.9

2.6.2.9 Neraca Panas di *Heat Exchanger* (HE-03)

Tabel 2. 22 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-03)

Panas	Input (kkal)	Output (kkal)
Q12a	18672856.9	58156463.32
Q12b		
Qsteam	41561690.97	

2.6.2.10 Neraca Panas di *Evaporator* (EV-01)

Tabel 2. 23 Neraca Panas *Evaporator* (EV-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q12	41944649.93	22135643.05 26483754.39
Qs	17669772.86	
Q13		
Q14		

2.6.2.11 Neraca Panas di Kristalizer (CR-01)

Tabel 2. 24 Neraca Panas Kristalizer (CR-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q14	648964.349	64798.60341 90458.12192 735709.2824
Panas kristalisasi	242001.6587	
Q14 a		
Q14b		
Q pendingin		

2.6.2.12 Neraca Panas di *Centrifuge* (CF-01)

Tabel 2. 25 Neraca Panas *Centrifuge* (CF-01)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q14a	64798.60341	91391.28205 73963.00272
Q14b	90458.12192	
Q15		
Q16	10097.55945	
Q17		

2.6.2.13 Neraca Panas di *Rotary Dryer* (RD-02)

Tabel 2. 26 Neraca Panas *Rotary Dryer* (RD-02)

Panas	Q input (kkal)	Q output (kkal)
Q17	73963.00414	
Q18		85365.68312
Q19a	350971.6971	
Q19b		339569.0181

2.6.2.14 Neraca Panas *Overall*

Tabel 2. 27 Neraca Panas *Overall*

Komponen	Input	Output
M-01		
Q1	29341.94068	0
Q2	397175.0663	0
Qsolt	307734.8746	0
Q3	0	734251.8816
HE-01		
Q3a	734251.8816	0
Q3b	0	6372645.393
Qsteam	5935151.065	0
M-02		
Q4	29028.15939	0
Q5	759341.3343	0
Qsolt	260511.5593	0
Q6	0	1048881.053
HE-02		
Q6a	1048881.053	0
Q6b	0	11557050.63
Qsteam	11061231.13	0
R-01		
Q3b	6372645.393	0
Q6b	11557050.63	0
Q7	0	18175556.23
Qs	487605.5284	0
Qr	0	241745.3271
RF-01		
Q7	18175556.23	0
Q7a	175862.9939	0
Q8	0	1835141.922
Q11	0	398667.6446
QL	0	16117609.65

RD-01		
Q8	398667.6446	0
Q10	0	256411.08
Q9a	1309117.512	0
Q9b	0	1451374.077
TP		
Q11	16117610.34	0
Q15b	2555289.705	0
Q12	0	18672856.9
HE-03		
Q12a	18672856.9	0
Q12b	0	58156463.32
Qsteam	41561690.97	0
EV		
Q12	41944649.93	0
Qs	17669772.86	0
Q13	0	22135643.05
Q14	0	26483754.39
CR		
Q14	648964.349	0
Panas kristalisasi	242001.6587	0
Q14 a	0	64798.60341
Q14b	0	90458.12192
Q pendingin	0	735709.2824
CF		
Q14a	64798.60341	0
Q14b	90458.12192	0
Q15	0	91391.28205
Q16	10097.55945	0
Q17	0	73963.00272
RD-02		
Q17	73963.00414	0
Q18	0	85365.68312
Q19a	350971.6971	0
Q19b	0	339569.0181
Total	274432292.8	274432292.8

Panas Hilang = (Total Panas Hilang/Total Panas) x 100%

= **17.55%**

Efisiensi Panas = 100%-Panas Hilang

= **82.44%**

2.7 Lay Out Pabrik dan Peralatan Proses

2.7.1 Layout Pabrik

Layout pabrik adalah rencana dari keseluruhan tata letak fasilitas dalam industri yang termasuk penempatan personil, pemindahan material, alat-alat proses operasi, dan alat pendukung lainnya, sehingga dengan menggunakan fasilitas-fasilitas yang ada dalam perusahaan dapat menciptakan suatu kegiatan yang optimum (James A Moore, 2000). Sedangkan menurut Yamit (1996) perencanaan layout adalah rencana pengaturan semua fasilitas produksi guna memperlancar produksi yang efektif dan efisien. Sehingga layout pabrik sangat diperlukan dalam keberjalanan pabrik sehingga penggunaan area pabrik dan kelancaran proses produksi terjamin.

Layout pabrik biasanya meliputi tempat bekerjanya karyawan, tempat peralatan, tempat penimbunan bahan, baik bahan baku maupun produk. Tata letak pabrik harus memperkirakan penentuan penempatan alat-alat produksi, sehingga alur proses produksi dapat berjalan dengan lancar serta faktor keamanan, keselamatan dan kenyamanan bagi karyawan dapat terjamin. Selain peralatan yang tercantum dalam *flow sheet* proses, beberapa bangunan fisik lain seperti kantor, bengkel, poliklinik, laboratorium, kantin, pos penjagaan dan sebagainya hendaknya ditempatkan pada bagian yang tidak mengganggu, ditinjau dari segi lalu lintas barang, control dan keamanan.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan menurut Weliza (2022) dalam perancangan tata letak pabrik amonium klorida, adalah:

a) Kemungkinan perluasan di masa depan

Perluasan pabrik harus sudah diperhitungkan sejak awal agar tidak terjadi masalah terkait kebutuhan tempat tidak timbul di waktu yang akan datang. Sejumlah area khusus sudah disiapkan untuk dipakai sebagai perluasan pabrik maupun mengolah produknya sendiri ke produk yang lain. Salah satu kendala yang dapat terjadi adalah terkait harga, sehingga dapat membatasi kemampuan penyediaan area. Jika harga tanah tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan dan penempatan peralatan sehingga menghemat tempat.

b) Keselamatan Pekerja dan letak alat

Keselamatan pekerja perlu diperhatikan untuk menjaga kelancaran pabrik, sehingga letak setiap alat produksi harus disusun secara urut dari segi teknis sesuai dengan urutan setiap proses kerja. Selain itu penerangan ruangan dan ventilasi yang baik juga perlu diperhatikan agar tidak terjadi kecelakaan kerja bagi pekerja.

c) Bentuk pondasi, kerangka, atap dan tembok bangunan

Bentuk bangunan, jarak antar bangunan yang satu dengan bangunan yang lain, pemasangan dan distribusi yang baik dari gas, udara, *steam* dan listrik akan memudahkan kerja dan perawatannya.

d) Kemungkinan timbulnya bahaya seperti kebakaran dan ledakan

Keamanan terhadap kemungkinan adanya bahaya kebakaran, ledakan dan asap/gas beracun harus benar-benar diperhatikan dalam prarancangan tata letak pabrik. Untuk itu harus dilakukan penempatan alat-alat pengaman seperti *hydrant*, penampung air yang cukup, penahan ledakan. Tangki penyimpanan bahan baku atau produk berbahaya harus diletakkan di area yang khusus.

e) Kemudahan Akses dan Alternatif

Operator harus memiliki akses yang mudah ke lokasi alat ukur dan peralatan kontrol untuk mengurangi kecelakaan kerja. Selain itu dibutuhkan adanya jalan pintas guna memberikan pertolongan dan menyediakan jalan bagi karyawan untuk menyelamatkan diri.

f) Lokasi Kantor

Lokasi perkantoran mudah dijangkau dari jalan utama untuk efisiensi waktu.

Secara umum *layout* pabrik ini dapat dibagi menjadi beberapa daerah denah utama, yaitu:

1) Daerah administrasi/perkantoran, laboratorium dan ruang control

- a. Daerah administrasi merupakan kegiatan administrasi pabrik
- b. Daerah laboratorium dan ruang *control* merupakan pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual

2) Daerah proses

Daerah proses merupakan tempat alat-alat proses diletakkan dan proses berlangsung

3) Daerah pergudangan dan bengkel

Gudang merupakan tempat penyimpanan bahan kimia pendukung proses, barang dan suku cadang alat proses. Bengkel digunakan untuk perbaikan alat-alat dan pembuatan alat-alat penunjang proses.

4) Daerah utilitas

Merupakan daerah dimana terjadi kegiatan penyediaan sarana pendukung proses.

5) Daerah fasilitas umum

Merupakan daerah penunjang segala aktivitas pabrik dalam pemenuhan kepentingan pekerja seperti tempat parkir, masjid dan kantin.

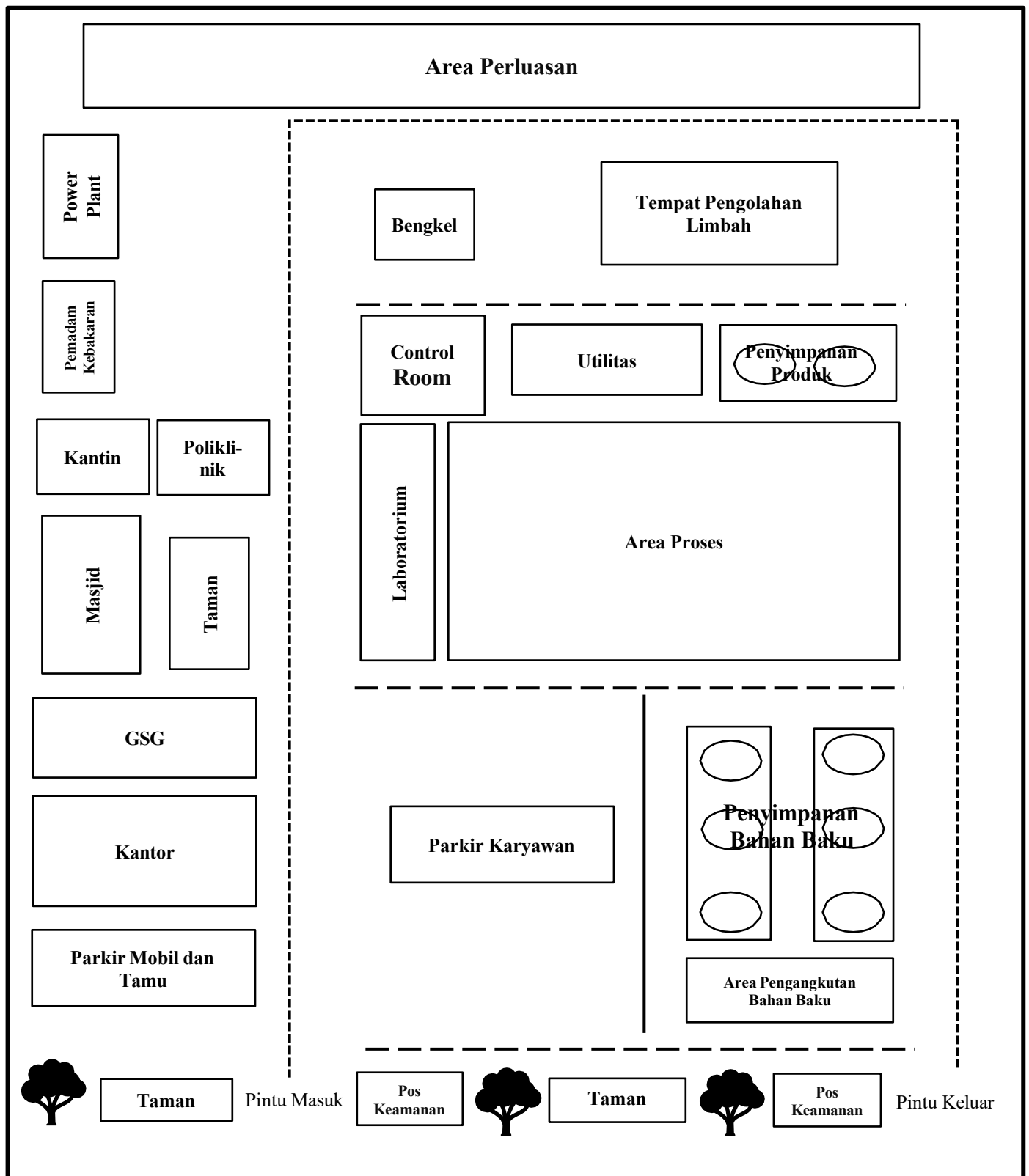
6) Daerah pengolahan limbah

Merupakan daerah pembuangan dan pengolahan limbah yang berasal dari aktivitas pabrik. Daerah ini ditempatkan di tempat yang jauh dari bangunan kantin, poliklinik, masjid dan daerah administrasi

Tabel 2. 28 Perincian luas tanah sebagai Bangunan Pabrik

Bangunan	Luas (m²)
Pos Keamanan	50
Masjid	400
Laboratorium	400
Kantor	1.000
Bengkel	300
Gudang Penyimpanan	1.500
Pengolahan Limbah	800
Kantin	300
Gedung Serbaguna	800
Power Plant	300
Utilitas	900
Jalan	3.000
Area Produksi	3.000
Taman dan lahan parkir	1.500
Pemadam Kebakaran	300
<i>Control Room</i>	400
Poliklinik	300
Total	15.250

Adapun *layout* pabrik dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 4 *Layout* Pabrik

2.7.2 *Layout* Proses

Layout proses merupakan pengaturan letak fasilitas berdasarkan fungsi kerja setiap alat produksi (Suprpti, 2009). Dalam menentukan *layout* proses pada Pabrik Amonium Klorida terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Pengaliran bahan baku yang baik akan menunjang kelancaran dan keamanan proses produksi. Diperhatikan juga elevasi pipa dimana untuk pipa diatas tanah sebaiknya pemasangan dilakukan diketinggian 3 meter atau lebih sedangkan untuk pemipaan pada permukaan tanah perlu diatur sedemikian sehingga tidak akan mengganggu lalu lintas pekerja.

2. Pencahayaan

Penerangan pada area pabrik harus memadai dan pada tempat-tempat proses yang berbahaya dan beresiko tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.

3. Aliran Udara

Aliran udara didalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan agar lancar. Hal tersebut bertujuan menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat yang dapat mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang berbahaya sehingga dapat membahayakan keselamatan para pekerja.

4. Jarak Antar Proses

Penentuan jarak antar alat proses perlu diperhatikan temperatur serta tekanan pada setiap alat. Untuk alat proses dengan temperatur dan tekanan tinggi dipisahkan dari alat-alat proses lainnya sehingga apabila terjadi hal yang tidak diinginkan seperti ledakan atau kebakaran tidak membahayakan alat proses yang lain.

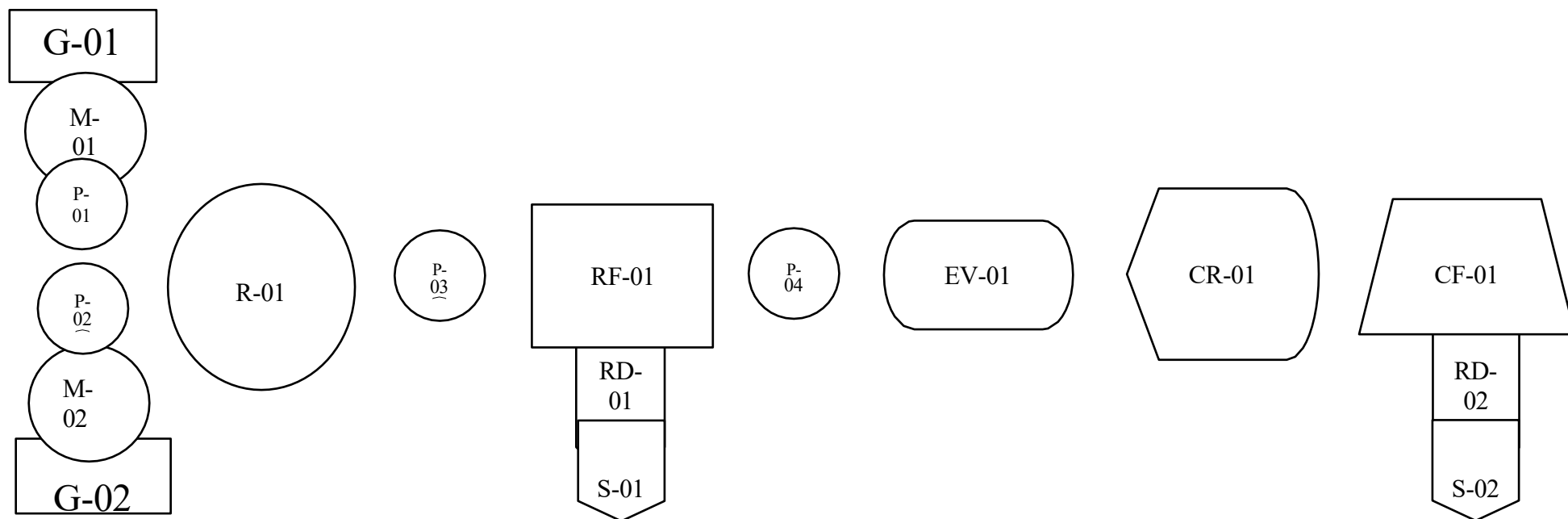
5. Pertimbangan Ekonomi

Penempatan alat-alat proses pada pabrik diupayakan dapat menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik sehingga akan menguntungkan dalam segi ekonomi.

6. Lalu Lintas Manusia

Dalam perancangan *layout* proses pabrik, perlu diperhatikan agar para pekerja dalam mencapai seluruh alat proses dapat dengan mudah dan tepat supaya jika terjadi gangguan alat proses dapat segera diperbaiki, dan keamanan pekerja selama menjalankan pekerjaan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan.

Layout peralatan proses pada perancangan pabrik Amonium Klorida dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. 5 *Layout* Peralatan Proses

Keterangan:

G = Gudang

P = Pompa

M = Tangki Pelarutan

R = Reaktor

RF = *Rotary Filter* RD

= *Rotary Dryer* S =

Silo

EV = *Evaporator*

CR = Kristalizer

CF = *Centrifuge*