

BAB II DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

a. Asam Nitrat (HNO_3)

Asam nitrat merupakan bahan baku utama pada produksi amonium nitrat. Asam nitrat yang digunakan diproduksi oleh PT Nitrate Indonesia. Spesifikasi asam nitrat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Asam Nitrat

Parameter	Satuan	Nilai
Kadar asam nitrat	%w/w	min 60
Kadar air	%w/w	max 40
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	30 (min)
Tekanan	Atm	1-1,2

b. Amonia (NH_3)

Amonia merupakan senyawa nitrogen yang sangat penting dan banyak dibutuhkan untuk berbagai industri yaitu bahan baku pupuk, senyawa-senyawa nitrat, bahan peledak, pendingin, zat warna dan sebagainya. Amonia yang digunakan diproduksi oleh PT Pupuk Kalimantan Timur. Bahan baku amonia yang digunakan dalam pembuatan amonium nitrat adalah dalam wujud gas, sehingga amonia cair dimasukkan ke unit vaporizer untuk mengubah fasa cair menjadi fasa gas. Spesifikasi amonia ditunjukkan pada Tabel 2.2 (P3DN).

Tabel 2.2 Spesifikasi Amonia

Parameter	Satuan	Nilai
Bentuk	-	cair
Kadar amonia	%w/w	min 99,92
Kadar air	%w/w	Max 0,5
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	-33,3
Tekanan	atm	1-1,2

2.1.2 Spesifikasi Bahan Pembantu

a. Coating Agent (External Additive)

Penambahan *coating agent* bertujuan untuk menghindari terjadinya penggumpalan atau pecahnya butiran amonium nitrat saat disimpan pada waktu yang cukup lama. *Coating agent* digunakan pada produk amonium nitrat yang sudah siap dikemas dan disimpan pada *warehouse*. *Coating Agent* yang digunakan berbentuk *powder*. Produk flake amonium nitrat yang memiliki ukuran produk utama (1-2 mm) akan mengalami penambahan bahan *external additive* atau *coating agent* sebesar 3% pada produk akhir. Coating agent yang digunakan berupa trikalsium fosfat dengan spesifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Material Safety Data, 2008).

Tabel 2.3 Spesifikasi Trikalsium Fosfat

Parameter	Nilai
Rumus molekul	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
Berat molekul	310,18 g/mol
Titik Leleh	$>1670^\circ\text{C}$
Wujud	Bubuk berwarna putih

2.1.3 Spesifikasi Produk

a. Amonium Nitrat (NH_4O_3)

Amonium nitrat berbentuk flake berwarna putih. Spesifikasi produk amonium nitrat yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Amonium Nitrat

Parameter	Nilai
Wujud	Padatan
Kenampakan	Butir/Putih
Kemurnian	96,8%
Kadar air	0,2%
Kadar trikalsium fosfat	3%
Bulk density	720-770 kg/m^3

2.1.4 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

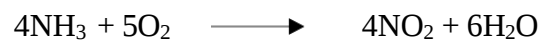
a. Amonia

Sifat Fisika (Perry et al., 1984)

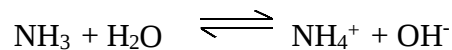
- Rumus molekul : NH_3
- Berat molekul : 17,03 g/mol
- Warna : Tidak berwarna
- Titik didih : $-33,34^\circ\text{C}$
- Titik leleh : $-77,7^\circ\text{C}$
- Densitas : 0,934 gr/liter (25°C)
- Tekanan kritis : 111,3 atm
- Specific gravity : 0,817 (-79°C)

Sifat kimia (Othmer, 1992)

- Ammonia akan mengalami reaksi oksidasi pada suhu $750^\circ\text{C} - 800^\circ\text{C}$ dengan reaksi:



- Keberadaan amonia di dalam air dapat sebagai gas amonia terlarut (NH_3) dan ion amonium (NH_4^+), maka total amonia dalam air adalah jumlah dari NH_3 ditambah NH_4^+ . Bentuk yang paling dominan ditentukan oleh pH dan suhu air, reaksi antara kedua bentuk sebagai berikut:



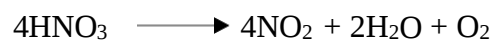
b. Asam Nitrat

Sifat fisika (Perry's, 2019)

- Rumus molekul : HNO_3
- Berat molekul : 63,02 gr/mol
- Wujud : Cair
- Titik didih : 120°C (60% HNO_3)
- Titik leleh : -42°C (1 atm)
- Temperature kritis : $246,85^\circ\text{C}$
- Tekanan kritis : 82 atm
- Specific gravity : 1,502

Sifat kimia (Othmer, 1965)

- Asam nitrat tidak stabil terhadap panas dan cahaya matahari, sehingga akan terurai sebagai berikut:



Untuk mengurangi penguraiannya, asam nitrat biasanya disimpan di botol berwarna gelap

- Dalam larutan pekatnya, asam nitrat mengalami ionisasi:



2.1.5 Sifat Fisika dan Kimia Produk

a. Ammonium Nitrat

Menurut (Material Safety Data Sheet, 2017), sifat fisika dan Kimia ammonium nitrat sebagai berikut:

Sifat fisika

- Rumus molekul : NH_4NO_3
- Berat molekul : 80,04 g/mol
- Wujud : Padatan
- Titik didih : 210°C
- Titik leleh : $169,6^\circ\text{C}$
- Densitas : 1.725 kg/m^3 (25°C)
- Viskositas : 1,5 cP
- Specific gravity : 1,725 (25°C)

Sifat kimia (Othmer, 1992)

- Sangat reaktif terhadap beberapa logam, minyak dan phosphor.
- Amonium nitrat merupakan oksidator kuat, jika dipanaskan ammonium nitrat kering dengan suhu diantara 170°C dan sekitar 250°C , terjadi reaksi eksotermik.
- Pemanasan ammonium nitrat dalam tempat yang tertutup dengan suhu 240°C - 300°C dapat menimbulkan ledakan.
- Reaksi dekomposisi terjadi pada rentang suhu 210 - 260°C dengan reaksi sebagai berikut:

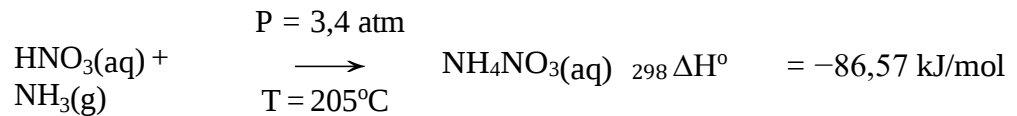


2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Pembentukan amonium nitrat merupakan reaksi heterogen fasa gas cair tanpa katalis didasarkan pada konsep reaksi netralisasi yaitu asam dan basa, dalam hal ini yang terjadi adalah reaksi antara asam kuat dan basa lemah.

Reaksi untuk proses netralisasi ini adalah sebagai berikut:



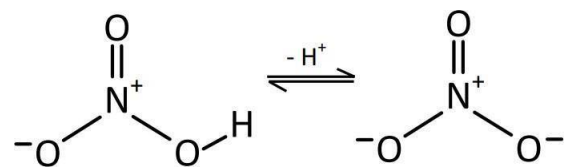
Proses netralisasi dijalankan pada suhu 205 °C dan tekanan 3,4 atm. Pada kondisi ini diperoleh produk dengan yield 99,8% (Faith et al., 1975). Reaksi terjadi dengan fase gas-cair yang berlangsung pada packed bed reaktor, tanpa katalis. Reaksi ini bersifat irreversible eksotermis, kalor yang dihasilkan dari reaksi digunakan untuk menguapkan air yang terkandung dalam reaktan sehingga suhu tetap berada dalam range suhu yang diinginkan. Dengan demikian tidak dibutuhkan pendingin tambahan serta tidak ada kalor yang hilang.

2.2.2 Mekanisme Reaksi

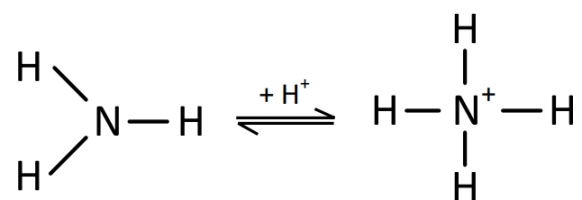
Reaksi yang terjadi dalam pembentukan amonium nitrat dari amonium dan asam nitrat adalah reaksi netralisasi asam-basa, mekanisme reaksi yang terjadi sebagai berikut:

Mekanisme Reaksi yang terjadi adalah:

- a. HNO_3 dalam keadaan larutan akan berbentuk ion-ionnya

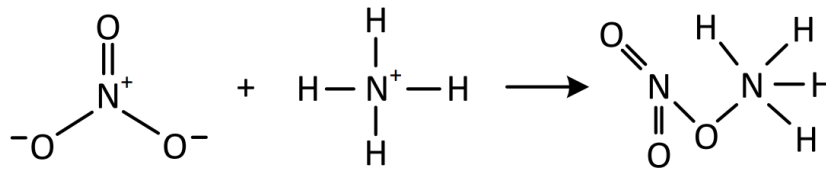


- b. Ion positif akan menyerang elektron bebas yang dimiliki oleh amonia, membentuk ion Amonium.



- c. Ion Amonium yang reaktif dan bermuatan positif akan bergabung dengan ion

nitrat yang bermuatan negatif, membentuk amonium nitrat.



Mekanisme reaksi netralisasi ini berdasarkan teori *Bronsted-Lowry*, dimana asam merupakan proton donor dan basa merupakan proton akseptor. Asam nitrat (HNO_3) akan melepas proton (H^+) sehingga akan terbentuk NO_3^- (basa konjungat dari HNO_3). Proton yang terbentuk akan bereaksi dengan basa (NH_3) membentuk basa konjungat NH_4^+ . NH_4^+ ini akan bereaksi dengan basa konjungat NO_3^- membentuk amonium nitrat.

Reaksi di atas merupakan reaksi netralisasi yang umumnya berlangsung sangat cepat, sehingga reaksi antara gas amonia dan cairan asam nitrat kecepatan reaksinya ditentukan oleh kecepatan difusi gas amonia melalui lapisan gas ke “*interface*”, batas antara lapisan gas dan larutan.

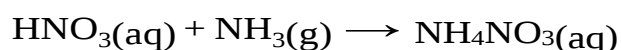
2.2.3 Kondisi Operasi

Reaksi netralisasi senyawa asam nitrat dan amonia merupakan reaksi antara fasa cair dan gas yang berlangsung secara eksotermis dan berlangsung dalam *Packed Bed Reactor* suhu 205°C dan tekanan 3,4 atm (Andersen & Wenzel, 1961).

2.2.4 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika ditunjukkan untuk mengetahui sifat reaksi yang terjadi, apakah reaksi menghasilkan panas (eksotermis) atau membutuhkan panas (endotermis) dan mengetahui arah reaksi apakah searah (irreversible) atau bolak-balik (reversible). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan melakukan perhitungan panas pembentukan standart (ΔH_f°) pada $P=1 \text{ atm}$ dan $T=298,15^\circ\text{K}$

Reaksi pembentukan ammonium nitrat:



Untuk mencari nilai ΔH_{298} memerlukan data sebagai berikut:

Tabel 2.5 Data ΔH°_f pada $T = 298^{\circ}\text{K}$

Properti (298K)	NH_3	HNO_3	NH_4NO_3
ΔH_f (kJ/mol)	-45,90	-207,36	-339,87

Perhitungan:

$$\Delta H_{298} = \Delta H_{f,298} \text{ produk} - \Delta H_{f,298} \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_{298} = \Delta H_{f,298} \text{ NH}_4\text{NO}_3 - (\Delta H_{f,298} \text{ HNO}_3 + \Delta H_{f,298} \text{ NH}_3)$$

$$\Delta H_{298} = -339,87 - ((-207,36) + (-45,94))$$

$$\Delta H_{298} = -86,2 \text{ kJ/mol}$$

Dari perhitungan diatas terbukti bahwa reaksi pembentukan Amonium Nitrat mempunyai harga ΔH negatif yang berarti reaksi ini adalah eksotermis.

Reaksi pembentukan Amonium Nitrat berlangsung searah (irreversible) (Faith et al., 1975). Penentuan arah reaksi berdasar dengan menghitung nilai konstanta keseimbangan reaksi (K).

Tabel 2.6 Data ΔG pada $T = 298^{\circ}\text{K}$

Properti (298K)	NH_3	HNO_3	NH_4NO_3
ΔG (kJ/mol)	-16,40	-207,36	-339,87

Persamaan konstanta keseimbangan reaksi (K):

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K \dots\dots (\text{Persamaan 13-11. Smith Van Ness})$$

$$\Delta G^{\circ} = \Delta G^{\circ} \text{ produk} - \Delta G^{\circ} \text{ reaktan}$$

$$= \Delta G_{f,298} \text{ NH}_4\text{NO}_3 - (\Delta G_{f,298} \text{ HNO}_3 + \Delta G_{f,298} \text{ NH}_3)$$

$$= -190,71 - (-111,34) - (-16,4)$$

$$= -62,97 \text{ kJ/mol}$$

$$-62,97 = -0,008314 \times 298,15 \times \ln K$$

$$\ln K = 25,4032 \text{ kJ/mol}$$

$$K_{298} = 1,07766 \times 10^{11} \text{ kJ/mol}$$

Harga K untuk suhu operasi ($T = 478.15 \text{ K}$) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\ln \frac{K_{478}}{K_{298}} = \frac{-\Delta H_{298}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

$$\ln \frac{K_{478}}{K_{298}} = \frac{-(-86,2)}{0,008314} \left(\frac{1}{478,15} - \frac{1}{298,15} \right)$$

$$\ln \frac{K_{478}}{K_{298}} = (10368,05) \times (-0,00126)$$

$$\ln \frac{K_{298}}{K_{478}} = -13,0909$$

$$\frac{K_{478}}{K_{298}} = \frac{e^{-13,0909}}{10^{11}} = 1,07766 \times 10^{-6}$$

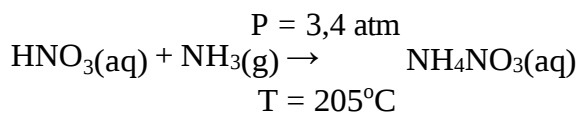
$$K_{478} = 222.412,0317$$

Nilai K memberikan gambaran terkait arah reaksi, dimana ambang batas arah reaksinya adalah sebagai berikut (Cracolice & Peter, 2016).

- Jika tetapan kesetimbangan sangat besar ($K > 100$), reaksi maju (ke kanan) lebih disukai yang berarti jumlah produk mendominasi.
- Jika tetapan kesetimbangan sangat kecil ($K < 0,01$) reaksi sebaliknya (ke kiri) lebih disukai yang berarti jumlah reaktan mendominasi.
- Jika $0,01 < \text{nilai } K < 100$, maka semua spesies pada sistem tersebut berada pada keadaan kesetimbangan.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai K adalah 222, Dimana hal ini menunjukkan bahwa reaksi yang berlangsung di reaktor secara searah atau irreversible.

2.2.5 Tinjauan Kinetika



Reaksi pembentukan Amonium Nitrat merupakan reaksi netralisasi yang umumnya berlangsung sangat cepat. Penentuan tipe reaksi dapat diketahui dengan menghitung nilai parameter film conversion (MH). Nilai MH dapat dihitung dengan persamaan (Lavenspiel, 1972)

$$M^2H = \frac{\text{konversi maksimum dalam lapisan film}}{\text{maksimum perpindahan massa secara difusi dalam lapisan film}}$$

$$M^2H = \frac{k_2 C_B}{k_{AL}} \times D_{AL}$$

Dimana :

MH : Film conversion parameter, Hatta Modulus

K : Konstanta kecepatan reaksi ($\text{m}^3/\text{kmol.s}$)

CB : Konsentrasi zat B (kmol/m^3) ($6,648 \text{ kmol}/\text{m}^3$)

DAL : Difusivitas gas A dalam larutan (m^2/s) ($7,956\text{E}-07 \text{ m}^2/\text{s}$)

kAL : Koefisien transfer massa gas A dalam larutan (m/s) ($0,00908 \text{ m/s}$)

Jika

$MH < 0,02$: Tipe reaksi sangat lambat

$0,02 < MH < 2$: Keadaan intermediate

$MH > 2$: Tipe reaksi sangat cepat dan reaksi terjadi di film

Harga konstanta kecepatan reaksi (k) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Uhde, 2019)

$$k = 9,33 \times 10^{12} e^{-21300/RT}$$

$$k = 9,33 \times 10^{12} e^{-21300/1,987 \times 478,15}$$

$$k = 1.711,60 \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{s}$$

Nilai MH sebagai berikut.

$$M^2H = \frac{1.711,60 \times 6,648}{0,00908} \times 7,956\text{E} - 07$$

$$M^2H = 109,84$$

$$MH = 10,48$$

$MH > 2$ maka termasuk tipe reaksi kimia sangat cepat dan reaksi terjadi di film.

NH_3 termasuk *highly soluble* gas maka tahanan gas film yang mengontrol (Levenspiel, 1972).

2.3 Langkah Proses

Terdapat empat proses pada metode *Stengel* untuk memproduksi amonium nitrat adalah sebagai berikut (Andersen & Wenzel, 1961) :

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap pembentukan produk
3. Tahap pemurnian produk
4. Tahap pembutiran produk

2.3.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

a. Pengumpanan Amonia

Ammonia cair disuplai dari PT. Pupuk Kalimantan Timur dengan kemurnian 99,5% berat lalu ditampung pada *Storage Tank* (T-11) yang dilengkapi dengan sistem refrigasi untuk menjaga kondisi ammonia cair pada suhu $-33,31^\circ\text{C}$ dan tekanan 1 atm. Sebelum diumpankan ke reaktor, ammonia cair dialirkan terlebih dahulu dari tangki penyimpanan (T-11) menuju *Vaporizer* (V-01) untuk mengubah fase yang sebelumnya cair menjadi gas. Keluaran dari *Vaporizer* (V-01) berupa gas

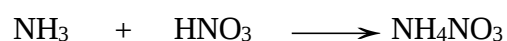
ammonia dengan temperature $-18,15^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 1 atm. Kemudian gas amonia diumpankan menuju ke Compressor (K-01) untuk menaikkan tekanannya hingga 3,4 atm dengan suhu $3,32^{\circ}\text{C}$. Lalu gas ammonia akan dialirkan menuju Heater (HE-01) untuk dilakukan pemanasan hingga temperature 107°C dan tekanan 3,4 atm.

b. Pengumpanan Asam Nitrat

Asam nitrat 60% disuplai dari PT. Nitrate Indonesia yang kemudian ditampung dalam Storage Tank (T-01) dengan kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Kemudian dialirkan menggunakan pompa menuju Heater (HE-01) untuk dilakukan pemanasan hingga suhunya mencapai 149°C dan tekanan 3,4 atm sebelum dimasukkan ke dalam reaktor.

2.3.2 Tahap Reaksi

Gas ammonia yang sudah dipanaskan di Heater (HE-02) dengan kondisi temperature 107°C dan tekanan 3,4 atm diumpankan menuju Reactor (R-01) melalui bagian samping. Sedangkan asam nitrat dengan kondisi temperature 149°C dan tekanan 3,4 atm diumpankan melalui bagian atas Reactor (R-01) dan melewati distributor untuk menyebarkan larutan asam nitrat. Ammonia dan asam nitrat akan bereaksi di dalam Reaktor (R-01) yang berjenis Packed Bed Reaktor yang dilengkapi dengan packing untuk memperbesar kontak dengan kondisi operasi 205°C , 3,4 atm. Reaksi yang terjadi di dalam Reactor (R-01) bersifat eksotermis dan reversible karena harga ΔH yang bernilai negative. Karena reaksinya bersifat eksotermis maka diperlukan jaket pendingin untuk menjaga kondisi operasi Reactor sebesar temperature 205°C , 3,4 atm. Hal tersebut dilakukan karena apabila terjadi kenaikan temperature dapat menyebabkan degradasi produk dan membentuk dinitrogen oksida. Hasil produk keluaran dari Reactor (R-01) berupa lelehan ammonium nitrat dengan konsentrasi 84% pada suhu $237,7^{\circ}\text{C}$.



2.3.3 Tahap Pemurnian Produk

Lelehan ammonium nitrat dari keluaran reaktor (R-01) akan mengalir secara gravitasi menuju Cyclone Separator (S-01) dengan tujuan untuk mengurangi kadar air yang ada pada ammonium nitrat. Ammonium nitrat cair akan terlempar ke dinding separator akibat gaya sentrifugal dan akan mengalir menuju dasar separator. Untuk mengurangi kadar air, dihembuskan udara panas pada bagian bawah separator. Udara panas akan kontak dengan ammonium nitrat untuk menghilangkan kadar air hingga 0,2%. Udara panas yang dihembuskan sebelumnya difilter terlebih dahulu

menggunakan filter (F-01) dengan bantuan blower (B-01) untuk menghilangkan pengotornya. Setelah dilakukan filtrasi, udara akan ditukarkan panasnya dengan hasil atas dari *cyclone separator* hingga suhunya naik menjadi 204,4 °C. Hasil atas dari *cyclone separator* akan dikeluarkan melalui bagian atas *Cyclone Separator* (S-01) dengan suhu sebesar 232,2°C. Hasil keluaran tersebut masih mengandung ammonia berlebih, uap air, dan udara panas yang akan dilakukan pertukaran panas dengan udara dari (F-01) dan selanjutnya gas tersebut akan dialirkan menuju Condenser (C-01) untuk dilakukan perubahan fasa.

Udara panas yang keluar dari *Cyclone Separator* (S-01) masih mengandung sedikit air dan amonia yang akan dilakukan proses kondensasi di Condensor (C-01). Sebelum dialirkan ke Condensor, udara panas tersebut akan diturunkan suhunya menjadi 102,8 °C menggunakan *Heat Exchanger* (HE-03) dengan media pendingin berupa udara dari Filter (F-01) dengan suhu 30 °C dan tekanan 1 atm. Udara keluar heat exchanger dengan suhu 204°C dan tekanan 0,60 atm akan diteruskan menuju cyclone separator sebagai udara panas untuk mengeringkan ammonium nitrat. Hasil keluaran dari *Heat Exchanger* (HE-03) akan dialirkan menuju Condenser (C-01) untuk dilakukan perubahan fasa dari gas menjadi cair keluaran agar udara panas dari *Cyclone Separator* (S-01) tidak lepas ke lingkungan sehingga dapat menimbulkan gangguan. Hasil dari Condenser (C-01) akan dialirkan menuju IPAL untuk dilakukan pengolahan limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

2.3.4 Tahap Penyelesaian

Lelehan ammonium nitrat akan dialirkan secara gravitasi menuju Werl Box (WB-01) untuk dilakukan penampungan sementara. Lelehan ammonium nitrat tersebut akan dialirkan menuju *Water Cooling Belt Conveyor* (CB-01). Pada *Water Cooling Belt Conveyor* tersebut, lelehan ammonium nitrat akan didinginkan sehingga membentuk lembaran padat. Lembaran ammonium nitrat padat tersebut lalu akan diumpankan menuju Grinder (G-01) menggunakan *Belt Conveyor* (BC-01) untuk dilakukan pengecilan ukuran dengan cara dihancurkan. Setelah lembaran ammonium dihancurkan, produk akan diumpankan menuju *Vibrating Screen* (SC- 01) dengan 3 rentang ukuran. Produk yang ukurannya kurang dari 5 *mesh* atau *oversize* akan diumpankan kembali menuju grinder untuk dihancurkan kembali melalui *Belt Conveyor*. Sedangkan produk yang lebih halus atau melebihi 20 *mesh* akan dimasukkan ke Silo untuk dijadikan hasil samping yang masih bisa untuk dijual. Produk yang ukurannya sudah sesuai akan diteruskan menuju *Coating Drum* (CD-

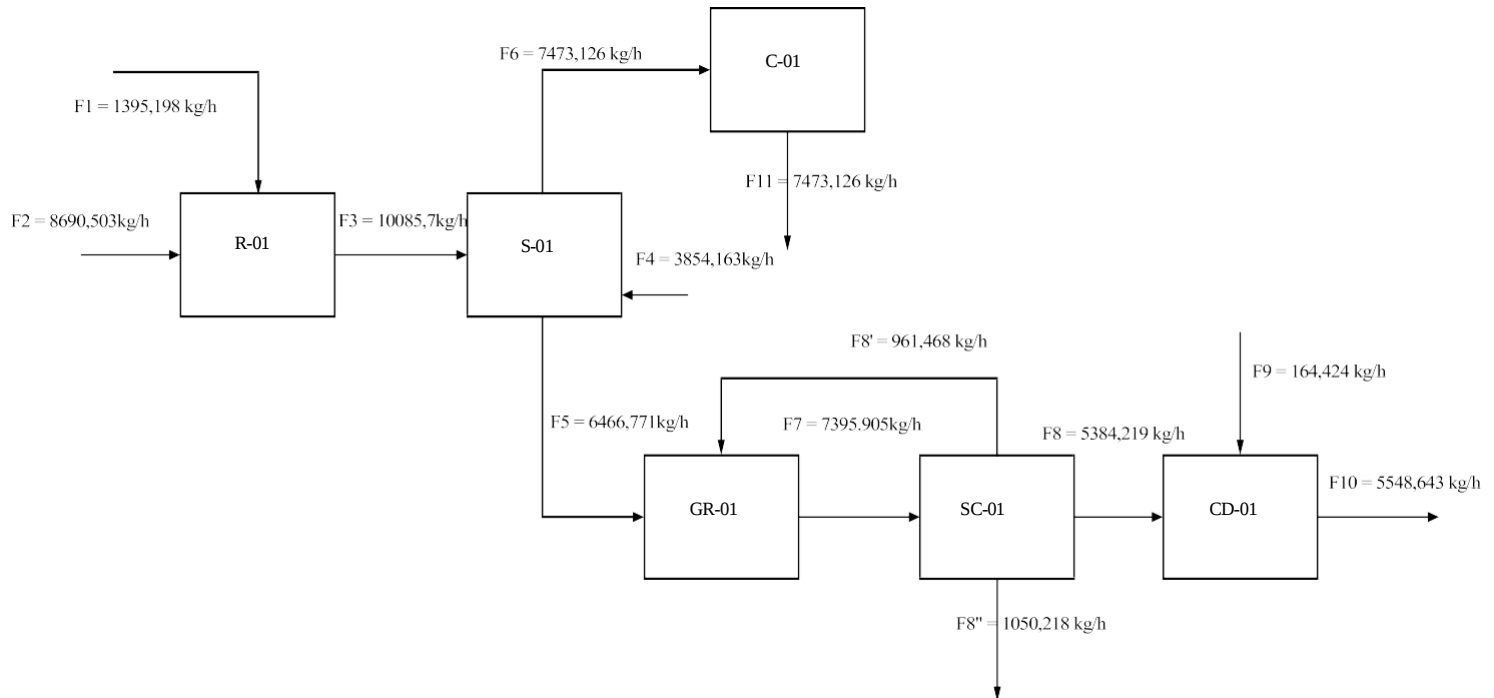
01) melalui Belt Conveyor (BC-02) bersamaan dengan penambahan *Coating Agent* sebanyak 3%. Pada *Coating Drum*, drum akan berputar sehingga ammonium nitrat akan terlapisi dengan Coating Agent sehingga ammonium nitrat tidak lengket satu sama lain. Hasil keluaran dari *Coating Drum* (CD-01) akan diteruskan menuju Silo Product (SL-01) menggunakan *Bucket Elevator* (BE-01) dan diteruskan lagi menggunakan *Belt Conveyor* (BC-03) untuk disimpan sementara sebelum dilakukan proses pengantongan (BG-01). Pengantongan dilakukan dengan menggunakan kemasan dengan kapasitas 100 pon. (Dorsey, 1955)

2.4 Process Flow Diagram Amonium Nitrat

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa

Basis produksi Amonium Nitrat 52.000 ton/tahun : 1 jam produksi bahan masuk NH_3 sebesar 1.394,08 kg/jam dan HNO_3 sebesar 5.170 kg/jam.



Gambar 2.1 Blok Diagram Neraca Massa

Keterangan

- R-01 : Reaktor
- S-01 : Separator
- C-01 : Condensor
- GR-01 : Grinder
- SC-01 : Screen
- CD-01 : *Coating Drum*

Berikut ini adalah rangkuman dari neraca massa pabrik ammonium nitrat dengan kapasitas 52.000 ton/tahun. Perhitungan lengkapnya terlampir pada lampiran A.

2.5.1.1 Neraca Massa di Sekitar Reaktor (R-01)

Tabel 2.7 Neraca Massa di Sekitar Reaktor R-101

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 1	Arus 2	Arus 3
NH ₃	0,000	1.394,08	20,91
HNO ₃	5.170,85	0,000	90,22
NH ₄ NO ₃	0,000	0,000	6.453,84
H ₂ O	3.519,65	1,12	3520,77
Total	10.085,7		10.085,7

2.5.1.2 Neraca Massa di Sekitar *Cyclone Sparator*

Tabel 2.8 Neraca Massa di Sekitar *Cyclone Separator*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6
NH ₄ NO ₃	6.453,84	0,00	6.453,84	0,00
H ₂ O Terikat NH ₄ NO ₃	1.229,30	0,00	12,93	0,00
H ₂ O	2.291,47	0,00	0,00	3.507,84
NH ₃	20,91	0,00	0,00	20,91
HNO ₃	90,22	0,00	0,00	90,22
N ₂	0,00	3.044,78	0,00	3.044,78
O ₂	0,00	809,374	0,00	809,374
Total	13.939,897		13.939,897	

2.5.1.3 Neraca Massa di Sekitar Condenser

Tabel 2.9 Neraca Massa di Sekitar Condenser

Komponen	Masuk	Keluar
	Arus 6	Arus 11
H ₂ O	3.507,84	3.507,84
NH ₃	20,91	20,91
HNO ₃	90,22	90,22
N ₂	3.044,79	3.044,79

O ₂	809.374	809.374
Total	7.473,13	7.473,13

2.5.1.1 Neraca Massa di Sekitar *Grinder*

Tabel 2.10 Neraca Massa di Sekitar *Grinder*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 5	Arus '	Arus 7
NH ₄ NO ₃	6.453,84	927.275	7.381,113
H ₂ O	12,34	1,858	14,294
Total	7.395,905		7.395,905

2.5.1.2 Neraca Massa di Sekitar Screen

Tabel 2.11 Neraca Massa di Sekitar Screen

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Arus 7	Arus 8	Arus 8'	Arus 8''
NH ₄ NO ₃	7.381,113	5.373,450	959,545	1.048,118
H ₂ O	14,792	10,768	1,923	2,100
Total	7.395,905		7.395,905	

2.5.1.3 Neraca Massa di Sekitar *Coating Drum*

Tabel 2.12 Neraca Massa di Sekitar *Coating Drum*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Arus 8	Arus 9	Arus 10
NH ₄ NO ₃	5.373,450	0,000	5.373,450
H ₂ O	10,768	0,200	10,968
Ca ₃ (PO ₄) ₂	0,000	164,024	16,024
CaO	0,000	0.199	0,200
Total	5.548,643		5.548,643

2.5.1.4 Neraca Massa Overall

Tabel 2.13 Neraca Massa Overall

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Reaktor (R-101)		
F1		
• HNO ₃	1.394,082	
• H ₂ O	1,116	
F2		
• NH ₃	5.170,849	
• H ₂ O	3.519,654	
Separator		
F4		
• N ₂	3.044,789	
• O ₂	809,374	
Screen		
F8"		
• NH ₄ NO ₃		1.048,118
• H ₂ O		2,100
Coating Drum		
F9		
• H ₂ O	0.199	
• Ca ₃ (PO ₄) ₂	164.024	
• CaO	0.199	
F10		
• NH ₄ NO ₃		5.373,45
• H ₂ O		10,968
• Ca ₃ (PO ₄) ₂		164,024
• CaO		0,199
Condensor		
F11		

• N ₂		3.044,78
• O ₂		809,37
• NH ₃		20.91
• HNO ₃		90.22
• H ₂ O		3.507,836
TOTAL	14.104,29	14.104,29

- Produk Utama

Massa NH₄NO₃ = 6.421,568 kg/h
 Massa NH₄NO₃ = 15.4117,635 kg/day
 Massa NH₄NO₃ = 154,118 ton/day
 Massa NH₄NO₃ = 50.858,82 ton/tahun

- Produk Samping

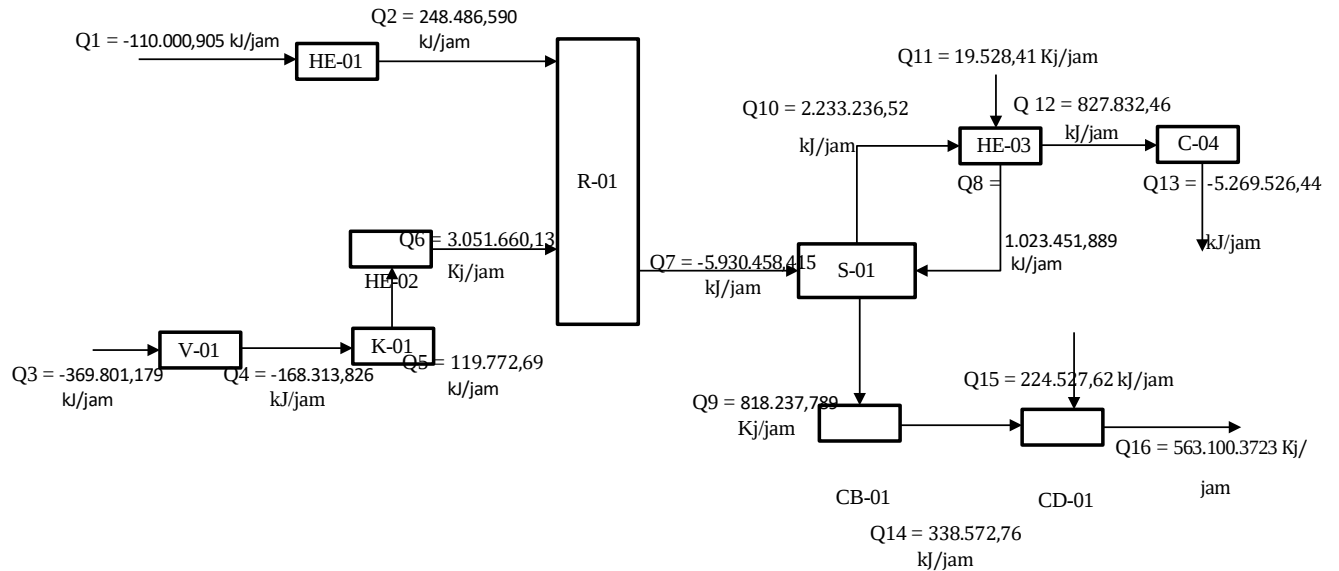
Massa H₂O = 13,069 kg/h
 Massa H₂O = 313,649 kg/day
 Massa H₂O = 0,314 ton/day
 Massa H₂O = 103,504 ton/tahun

- Coating Agent

Massa Ca₃(PO₄)₂ = 164,424 kg/h Massa
 Ca₃(PO₄)₂ = 3.946,177 kg/day
 Massa Ca₃(PO₄)₂ = 3,946 ton/day Massa
 Ca₃(PO₄)₂ = 1.302,238 ton/tahun

2.5.2 Neraca Panas

Basis produksi Amonium Nitrat 52.000 ton/tahun : 1 jam produksi bahan masuk NH_3 sebesar 1.394,08 kg/jam dan HNO_3 sebesar 5.170 kg/jam, temperature referensi di 205°C.



Gambar 2.2 Blok Diagram Neraca Panas

Keterangan

HE-01 : Heater

V-01 : Vaporizer

K-01 : Compressor

HE-02 : Heater

R-01 : Reaktor

S-01 : Separator

HE-03 : Heat Exchanger

C-01 : Condensor

CB-01 : Cooling Belt

CD-01 : Coating Drum

Berikut ini adalah rangkuman dari neraca massa pabrik ammonium nitrat dengan kapasitas 52.000 ton/tahun. Perhitungan lengkapnya terlampir pada lampiran B.

2.5.2.1 Neraca Panas di Sekitar Heater I, HE-01

Tabel 2.14 Neraca Panas di Sekitar Heater I

Aliran	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 1	HNO ₃ (l)	-109922.380	
	H ₂ O(l)	-78.525	
Arus 2	HNO ₃ (l)		248314.469
	H ₂ O(l)		172.120
	Q pemanas	358487.495	
	Total	248486.590	248486.590

2.5.2.2 Neraca Panas di Sekitar Vaporizer, V-01

Tabel 2.15 Neraca Panas di Sekitar Vaporizer

Arus	Komponen	Panas Bahan Masuk (kJ/jam)	Panas Bahan Keluar (kJ/jam)
Arus 3	NH ₃ (g)	-369524.779	
	H ₂ O(g)	-276.399	
Arus 4	NH ₃ (l)		-168193.098
	H ₂ O(l)		-120.728
	Q Pemanas	201487.353	
	Total	-168313.826	-168313.826

2.5.2.3 Neraca Panas di Sekitar Kompresor, K-01

Tabel 2.16 Neraca Panas di Sekitar Kompresor

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 4	NH ₃ (g)	45462.300	
	H ₂ O(g)	73749.611	
	NH ₃ (g)		45676.410

Arus 5	H ₂ O(g)	74096.282
	Q Pemanas	560.781
	Total	119772.692

2.5.2.4 Neraca Panas di Sekitar Heater II, HE-02

Tabel 2.17 Neraca Panas di Sekitar Heater II

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 5	NH ₃ (g)	45676.41	
	H ₂ O(g)	74096.28	
Arus 6	NH ₃ (g)		1216809.70
	H ₂ O(g)		1834850.43
	Q Pemanas	2931887.44	
	Total	3051660.13	3051660.13

2.5.2.5 Neraca Panas di Sekitar Reaktor, R-01

Tabel 2.18 Neraca Panas di Sekitar Reaktor

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 2	HNO ₃ (l)	248314.469	
	H ₂ O(l)	172.120	
Arus 6	NH ₃ (g)	1216809.703	
	H ₂ O(g)	1834850.432	
Arus 7	NH ₃ (g)		-6983332.112
	HNO ₃ (g)		10151.223
	NH ₄ NO ₃ (aq)		19270.584
	H ₂ O(l)		-114947.695
	H ₂ O(g)		1138399.584
	Q Reaksi		930628.950
	Q Pemanas	-8299976.189	

Total	-4999829.465	-4999829.465
--------------	---------------------	---------------------

2.5.2.6 Neraca Panas di Sekitar Separator, S-01

Tabel 2.19 Neraca Panas di Sekitar Separator

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 7	NH ₃ (g)	10151.223	
	HNO ₃ (g)	19270.584	
	NH ₄ NO ₃ (aq)	-114947.695	
	H ₂ O(l)	1138399.584	
	H ₂ O(g)	930628.950	
Arus 8	N ₂ (g)	570550.8915	
	O ₂ (g)	136713.9283	
Arus 9	NH ₄ NO ₃ (s)		1952070.717
	H ₂ O(l)		9598.829
Arus 10	NH ₃ (g)		9864.792
	HNO ₃ (g)		18703.307
	H ₂ O(g)		1386430.635
	O ₂ (g)		158492.486
	N ₂ (g)		659745.303
	Q Penguapan	1504138.60	
Total		4194906.069	4194906.069

2.5.2.7 Neraca Panas di Sekitar Heat Exchanger I, HE-03

Tabel 2.20 Neraca Panas di Sekitar Heat Exchanger I

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 10	NH ₃ (g)	9864.792	
	HNO ₃ (g)	18703.307	
	H ₂ O(g)	1386430.635	
	N ₂ (g)	158492.486	

	O ₂ (g)	659745.303	
Arus 11	N ₂ (g)	15800.32872	
	O ₂ (g)	3728.079722	
	NH ₃ (g)		3528.626
	HNO ₃ (g)		6423.125
Arus 12	H ₂ O(g)		513018.131
	N ₂ (g)		246371.634
	O ₂ (g)		58490.942
Arus 8	N ₂ (g)		570550.891
	O ₂ (g)		136713.928
	Q Loss		717667.66
	Total	2252764.931	2252764.931

2.5.2.8 Neraca Panas di Sekitar Condensor, C-01

Tabel 2.21 Neraca Panas di Sekitar Condensor

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	NH ₃ (g)	3.528,63	
	HNO ₃ (g)	6.423,12	
Arus 12	H ₂ O(g)	513.018,13	
	N ₂ (g)	246.371,63	
	O ₂ (g)	58.490,94	
	NH ₃ (g)		-4.287,61
	HNO ₃ (g)		-7.120,07
Arus 13	H ₂ O(g)		-668.053,83
	N ₂ (g)		-4.067.063,50
	O ₂ (g)		-523.001,42
	Q Pendingin		13.686.092,20
	Total	827.832,46	827.832,46

2.5.2.9 Neraca Panas di Sekitar Cooling Belt, CB-01

Tabel 2.22 Neraca Panas di Sekitar Cooling Belt

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 9	NH ₄ NO ₃ (s)	1952070.717	
	H ₂ O(l)	9598.829	
Arus 14	NH ₄ NO ₃ (s)		336951.217
	H ₂ O(l)		1621.540
	Q Pendingin	-1623096.789	
	Total	338572.757	338572.757

2.5.2.10 Neraca Panas di Sekitar Coating Drum

Tabel 2.23 Neraca Panas di Sekitar Coating Drum

Arus	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Arus 14	NH ₄ NO ₃ (s)	336951.217	
	H ₂ O(l)	1621.540	
Arus 15	Ca ₃ (PO ₄) ₃ (s)	224386.616	
	CaO	50.401	
	HO ₂ (l)	90.598	
	NH ₄ NO ₃ (s)		299437.315
Arus 16	H ₂ O(l)		1441.407
	Ca ₂ (PO ₄) ₃ (s)		3857.210
	CaO		4.792
	Q Loss		258359.65
	Total	563100.3723	563100.3723

2.5.2.11 Neraca Panas Overall

Tabel 2.24 Neraca Panas Overall

Neraca Panas Total			
Aliran	Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
V-01	NH ₃ (l)		369524.779

	H ₂ O(l)	276.399	
	Q Pemanas	201487.353	
K-01	Q kompresi	58312.921	
HE-01	HNO ₃ (l)	358487.495	
	H ₂ O(l)	45676.410	
	Q Pemanas	74096.282	
HE-02	Q Pemanas	2931887.443	
R-01	Q Reaksi	6983332.112	
	Q Pemanas		8299976.189
S-01	Q penguapan	1504138.602	
HE-03	N ₂ (g)	15800.329	
	O ₂ (g)	3728.080	
	Q Loss		717667.656
C-01	NH ₃ (l)	4287.610	
	HNO ₃ (l)	7120.069	
	H ₂ O(l)	668053.835	
	N ₂ (l)	4067063.502	
	O ₂ (l)	523001.423	
	Q Pendingin		6097358.894
CB-01	Q Pendingin		1623096.789
CD-01	NH ₄ NO ₃ (s)		299437.315
	H ₂ O(l)	90.598	1441.407
	Ca ₃ (PO ₄) ₃ (s)	224386.616	3857.210
	CaO(s)	50.401	4.792
	Q Loss		258359.648
	Total	17671001.078	17671001.078

$$Q \text{ Loss} = 976027.30 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Efisiensi} = (Q \text{ total} - Q \text{ loss}) : Q \text{ total} \times 100\%$$

$$= (17671001.078 - 976027.30) : 17671001.078 \times 100\%$$

$$= 94,48\%$$

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Layout Pabrik

Lay out (tata letak) merupakan posisi dari bagian-bagian pabrik yang meliputi tempat peralatan, tempat penyimpanan bahan baku, tempat kerja karyawan, dan produk yang ditinjau dari hubungan satu dengan yang lainnya. Tata letak pabrik harus dirancang sedemikian rupa untuk efisiensi dan kelancaran proses produksi.

Penentuan tata letak pabrik wajib memikirkan penempatan alat-alat produksi dalam rangka memenuhi keamanan, keselamatan dan kenyamanan bagi para karyawan. Tata letak pabrik yang dianggap paling optimal berdasarkan alasan tingkat hubungan dan kedekatan antar fasilitas sesuai sistem penilaian dengan metode ARC (*Activity Relationship Chart*), metode ARD (*Activity Relationship Diagram*), dan metode AAD (*Area Allocating Diagram*). Fasilitas kantor yang berada di depan pintu masuk pabrik yang berdekatan dengan fasilitas penerimaan dan fasilitas pengiriman, fasilitas pengiriman dan penerimaan terletak berdekatan yang berdekatan langsung dengan halaman parkir, gudang bahan berdekatan langsung dengan gudang peralatan, fasilitas produksi berada ditengah-tengah fasilitas pabrik yang berdekatan dengan gudang bahan, laboratorium, gudang produk jadi, ruang peralatan dan ruang pengawasan, pembangkit listrik berada di belakang pabrik yang berdekatan dengan fasilitas ruang peralatan dan ruang pengawasan, dan bak penampungan berdekatan langsung dengan pengolahan limbah yang berada di belakang fasilitas pabrik. Beberapa bangunan fisik seperti kantor, tempat ibadah, poliklinik, laboratotium, *fire safety*, pos penjagaan dan sebagainya akan ditempatkan pada bagian yang tidak mengganggu, ditinjau dari segi lalu lintas barang, control dan juga keamanan (Ahmad et al., 2018). Beberapa hal yang wajib diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik adalah:

a. Luas area yang tersedia

Harga tanah menjadi hal yang membatasi kemampuan penyediaan lahan. Maka, pemakaian tempat disesuaikan dengan lahan yang tersedia. Jika harganya tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan hingga peralatan tertentu diletakkan diatas peralatan yang lain ataupun lantai ruangan yang diatur (misalnya dibuat bertingkat) agar menghemat luas tempat.

b. Kemungkinan perluasan pabrik dan penambahan jumlah bangunan

Area perluasan pabrik harus direncanakan sejak awal agar masalah kebutuhan tempat tidak timbul dimasa yang akan datang. Sejumlah area khusus perlu disiapkan untuk perluasan pabrik, penambahan peralatan untuk menambah kapasitas pabrik atau mengolah produk menjadi produk lain.

c. Keamanan

Keamanan terhadap potensi adanya bencana kebakaran, ledakan asap atau gas beracun harus diperhatikan dalam penentuan tata letak pabrik. Maka, tata letak pabrik harus memetakan area khusus serta perlunya jarak antara bangunan satu dengan yang lainnya yang bertujuan untuk memberi ruang leluasa demi keselamatan.

d. Instalasi dan utilitas

Pemasangan dan distribusi yang baik dari gas, udara, *steam*, dan listrik yang baik akan membantu kemudahan kerja dan perawatannya. Penempatan pesawat yang benar akan membantu kemudahan kerja dan perawatannya. Penempatan peralatan proses secara tepat akan membuat petugas pabrik mudah mencapainya, menjamin kelancaran operasi serta memberikan kemudahan perawatan peralatan.

e. Area pengolahan limbah

Pabrik harus memperhatikan aspek sosial dan ikut menjaga kelestarian lingkungannya, yaitu dengan memperhatikan masalah pembuangan limbah hasil produksinya. Batas maksimal kandungan komponen berbahaya pada limbah harus diperhatikan dengan baik. Maka, penambahan fasilitas pengolahan limbah sangat diperlukan untuk mengolah limbah sehingga setelah dibuang, limbah tersebut tidak membahayakan bagi komunitas lingkungan sekitar.

f. Jarak tersedia dan jarak yang dibutuhkan

Alat – alat proses perlu diletakkan pada jarak yang teratur dan nyaman sesuai dengan karakteristik alat dan bahan, sehingga potensi bahaya kecelakaan dapat dihindarkan. Sebagian besar aliran bahan cair dan gas di *plant* menggunakan pipa dan harus memperhatikan regulasi yang tepat dalam membuat desain. Posisi alat proses diusahakan tidak terlalu dekat atau terlalu jauh untuk mempermudah pengangkatan bahan dan perbaikan alat (Ahmad et al., 2018).

Secara garis besar, *lay out* pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama, yaitu:

a. Daerah administrasi (perkantoran), laboratorium, dan ruang control

Daerah administrasi merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik yang mengatur

jalannya operasi. Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses, kualitas, dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual.

b. Daerah proses

Daerah tempat alat proses diletakkan untuk menjalankan proses produksi.

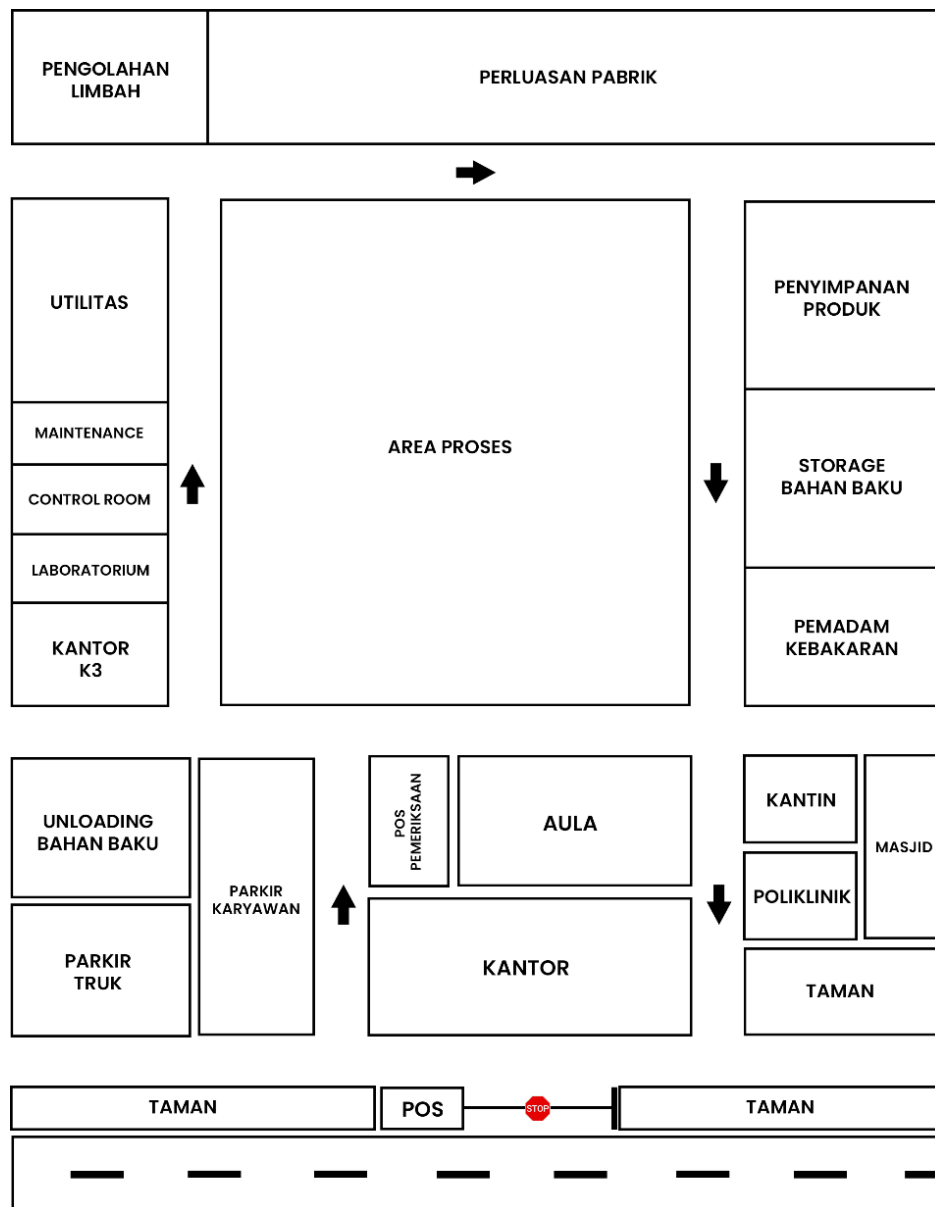
c. Daerah gudang umum, *maintenance*, dan garasi

Daerah untuk menyimpan peralatan bekas, menyimpan bahan tertentu, apabila alat harus dibawa keluar dari daerah proses untuk diperbaiki.

d. Daerah utilitas

Daerah sarana pendukung operasi seperti penyediaan air, *steam*, listrik, dan unit pengolahan limbah (Ahmad et al., 2018).

2.6.2 Pemetaan



Gambar 2.3 Layout Pabrik

Tabel 2.25 Keterangan Bagian Pabrik

No	Bagian	Aktivitas
1	<i>Production</i>	Produksi
2	<i>Production Service</i>	Gudang Bahan Baku
3		Gudang Produk
5		<i>Control room</i>
6		Utilitas
7		Laboratorium
8		Area pengolahan limbah
9	<i>General Service</i>	Kantor
10		Kantor K3
11		Pos pemeriksaan
12		Pos keamanan
13		Area perluasan
14		Taman
15		Jalan
16		Area parkir truk
17	<i>Personal Service</i>	Area parkir tamu dan karyawan
18		Masjid
19		Kantin
20		Poliklinik
21	<i>Physical Plant Service</i>	Unit <i>maintenance</i> alat
23		Unit pemadam kebakaran

Perincian penggunaan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.26 dan Tabel 2.27.

Tabel 2.26 Perincian Penggunaan Tanah Bagian Indoor

No	Nama Bangunan	Luas Bangunan (m ²)
1.	Pos Keamanan	30

2.	Pos Pemeriksaan	30
3.	Gedung Kantor Utama	500
4.	Kantin	200
5.	Laboratorium	200
6.	Unit Pemadam Kebakaran	300
7.	Gedung Penyimpanan Bahan Baku	800
8.	Gudang Penyimpanan Produk	800
9.	Kantor K3	300
10.	Unit Maintenance	150
11.	Control Room	300
12.	Masjid	300
13.	Aula	450
14.	Poliklinik	200
Total		4.560

Tabel 2.27 Perincian Penggunaan Tanah Bagian Outdoor

No	Bangunan <i>Outdoor</i>	Luas (m²)
1.	Area Parkir Tamu dan Karyawan	600
2.	Area Parkir Truk	700
3.	Area <i>Loading</i> Bahan Baku	500
4.	Area Produksi	6.000
5.	Area Utilitas	1.200
6.	Area Pengolahan Limbah	500
7.	Area Perluasan	4.000
8.	Jalan	800
9.	Taman	800
Total		15.100

Dalam penentuan *lay out* peralatan proses pada pabrik ammonium nitrat ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

1) Aliran Bahan Baku dan Produk

Penentuan aliran bahan baku yang tepat akan menunjang kelancaran dan keamanan produksi, serta memberikan keuntungan nilai ekonomi yang tinggi. Semakin dekat penempatan bahan baku dan produk dengan jalur transportasi, akan menambah efisiensi pengeluaran dana yang dikeluarkan. Perlu diperhatikan elevasi pipa, untuk pipa diatas tanah sebaiknya diberikan ketinggian 3 meter atau lebih, sedangkan untuk pipa pada permukaan perlu diatur posisinya supaya tidak mengganggu lalu lintas pekerja. Dan dipastikan pipadiberikan warna yang berbeda sehingga mengetahui mana pipa yang harus dijauhkan dengan bahan-bahan yang mudah menyulut atau membuat ledakan.

2) Aliran Udara

Aliran udara didalam dan disekitar area proses perlu diperhatikan supaya lancar. Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya stagnasi udara pada suatu tempat yang mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang berbahaya sehingga dapat menimbulkan ancaman bagi para pekerja. Disamping itu juga perlu diperhatikan arah hembusan angin.

3) Cahaya

Penerapan diseluruh pabrik harus memadai serta tempat – tempat yang sekiranya beresiko tinggi terjadi bahaya juga harus diberikan penerangan tambahan.

4) Lalu Lintas Manusia

Dalam perancangan *Layout* perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan tepat dan mudah supaya apabila ada gangguan alat proses dapat segera diperbaiki. Selain itu, keamanan pekerjaan selama menjalankan tugasnya perlu diperhatikan.

5) Jarak Antar Proses

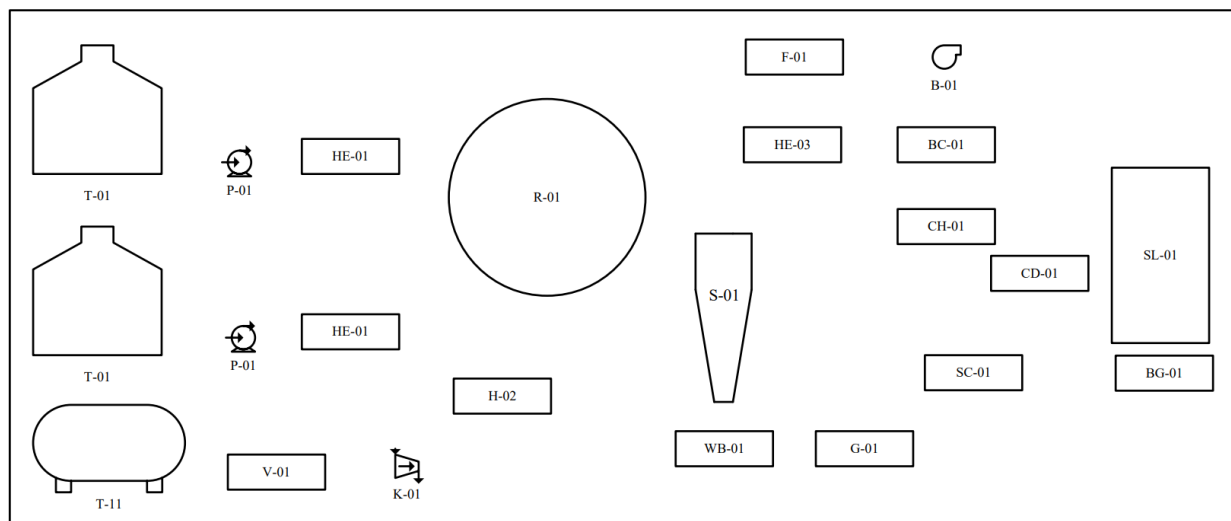
Untuk alat proses yang mempunyai temperatur dan tekanan operasi yang tinggi, sebaiknya dipisahkan dari alat – alat proses lainnya sehingga tidak

membahayakan alat – alat lain apabila timbul ledakan atau kebakaran pada alat tersebut.

6) Pertimbangan Ekonomi

Dalam menerapkan alat – alat proses pada pabrik diusahakan agar dapat menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik berguna untuk menguntungkan dari segi ekonomi.

Adapun pemetaan peralatan prarancangan pabrik ammonium nitrat dengan kapasitas 52.000 ton/tahun dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Keterangan:

- T-11 : Amonia Day Tank
- T-01 : Nitric Acid Acid Day Tank
- R-01 : Reactor
- K-01 : Compressor Amonia
- C-01 : Condenser
- HE-01 : 1ST Heater Nitric Acid
- HE-02 : 2ND Heater Amonia
- HE-03 : 3RD Heat Exchanger
- P-01 : Nitric Acid Unloading Pump
- V-01 : Vaporizer Amonia
- S-01 : Cyclone Separator
- WB-01 : Werl Box

G-01 : Grinder
SC-01 : Screen
B-01 : Air Blower
F-01 : Air Filter
CH-01 : Coating Hopper
CD-01 : *Coating Drum*
SL-01 : Silo Product
BG-01 : Product Bagging