

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

A. Natrium Hidroksida

Sifat Fisika

- Berbentuk kristal tak berwarna
- Rumus molekul : NaOH
- Berat molekul : 40 g/mol
- Titik leleh : 323°C
- Titik didih : 1388°C
- Densitas : 2,13 gr/cm³

Sifat Kimia

- Merupakan senyawa basa kuat, bersifat korosif
- Memiliki kelarutan yang baik dalam air dan etanol
- Mudah menyerap air dan CO₂ yang berada di udara
- Dapat bereaksi dengan asam kuat dan air.

(Patnaik, 2001)

B. Asam Nitrat

Sifat Fisika

- Berbentuk cairan dan tidak memiliki warna
- Rumus molekul : HNO₃
- Berat molekul : 63,02 gr/mol
- Densitas : 1,503 g/L
- Titik didih : 83°C
- Titik beku : -42°C

Sifat Kimia

- Termasuk golongan asam kuat, mudah bereaksi dengan alkali, oksida dengan membentuk garam
- Merupakan zat pengoksidasi kuat
- Bersifat beracun jika terhirup dan korosif terhadap logam

(Perry & Green, 1997)

2.1.2 Spesifikasi Produk

A. Produk Utama

Natrium Nitrat

Sifat Fisika

- Berbentuk kristal atau butiran putih bening
- Tak berwarna dan tak berbau
- Rumus molekul : NaNO_3
- Titik lebur : 308°C
- Titik didih : 380°C
- Densitas : $2,257 \text{ gr/cm}^3$
- Viskositas : $2.85 \text{ cP } (317^\circ\text{C})$

Sifat Kimia

- Senyawa ini menunjukkan kelarutan yang tinggi dalam air dan amonia, sementara hanya sedikit larut dalam etanol
- Dapat meledak jika terkena panas atau api dalam waktu lama
- Digunakan sebagai bahan pengawet dan bahan peledak

(Patnaik, 2001)

B. Produk Samping

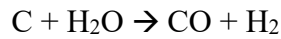
Air

Sifat Fisika

- Tidak berwarna dan tak berbau
- Fase : Cair
- Massa jenis : $0,9584 \text{ g/mL}$
- Titik didih : 100°C
- Titik beku : 0°C
- Massa molar : $18,016 \text{ g/mol}$

Sifat Kimia

- Memiliki pH yang netral
- Digunakan sebagai pelarut universal
- Merupakan senyawa anorganik polar, tidak dapat bercampur dengan pelarut nonpolar
- Direaksikan dengan karbon membentuk karbon monoksida dan hidrogen dengan reaksi sebagai berikut :

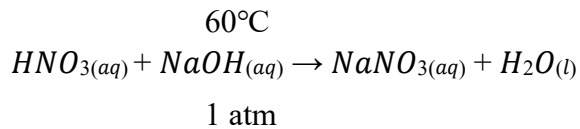


(Patnaik, 2001)

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

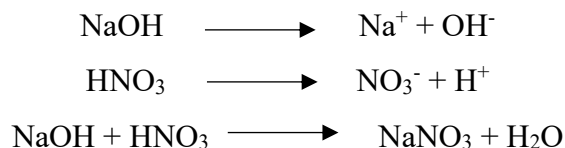
Reaksi netralisasi antara NaOH dan HNO₃ merupakan dasar dari proses pembuatan natrium nitrat, sebagaimana persamaan reaksinya berikut :



Proses produksi pada Sodium Nitrat menggunakan bahan baku Sodium Hidroksida (30%) yang direaksikan dengan Asam Nitrat (60%) dalam RATB dengan jenis kontinu pada fase cair-cair tanpa menggunakan katalis. Operasi reaktor yang dirancang untuk menghasilkan reaksi optimum adalah pada suhu 60°C dengan tekanan 1 atm, dengan rasio mol reaktan HNO₃ dan NaOH sebesar 1:1. Mengingat reaksi menghasilkan panas (eksotermis), maka pengendalian suhu pada reaktor sangat penting agar mencapai konversi sempurna, diperlukan sistem pendingin. Proses pendinginan dilakukan dengan mensirkulasikan air di dalam jaket reaktor, yang berfungsi untuk menarik dan menghilangkan panas yang dilepaskan selama reaksi kimia (Kirk & Othmer, 1998).

2.2.2 Mekanisme Reaksi

Reaksi antara natrium hidroksida dan asam nitrat merupakan reaksi netralisasi. Asam nitrat menyumbangkan ion hidrogen (H⁺) yang akan bergabung dengan ion hidroksida (OH⁻) dari natrium hidroksida membentuk air (H₂O). Sementara itu, ion natrium (Na⁺) dan ion nitrat (NO₃⁻) akan bergabung membentuk natrium nitrat (NaNO₃). Reaksi netralisasi NaOH dan HNO₃ menjadi NaNO₃ dan H₂O berdasarkan urutan mekanisme reaksi sebagai berikut:



2.2.3 Tinjauan Termodinamika

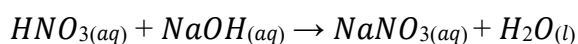
Termodinamika ditinjau untuk menentukan secara kuantitatif besarnya energi yang terlibat dalam suatu proses, baik yang dibutuhkan maupun yang dilepaskan. Untuk mengidentifikasi apakah suatu reaksi menghasilkan (eksotermis) atau membutuhkan

(endotermis) panas, dapat dilakukan perhitungan berdasarkan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K baik dari segi reaktan maupun produknya. Dalam konteks termodinamika, karakteristik pembentukan Sodium Nitrat dapat dianalisis melalui perubahan entalpi dan nilai konstanta kesetimbangannya..

Tabel 2. 1 Harga ΔH°_f (Patnaik, 2001)

Komponen	ΔH°_f (kcal/mol)	ΔG° (kcal/mol)
NaNO ₃	-111,82	-87,73
H ₂ O	-68,32	-56,69
HNO ₃	-41,61	-19,31
NaOH	-101,7	-90,7

Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembentukan Sodium Nitrat:



a. Menghitung ΔH°_r

$$\Delta H^\circ_f \text{ reaksi} = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_f \text{ reaksi} &= [\Delta H^\circ_f NaNO_3 + \Delta H^\circ_f H_2O] - [\Delta H^\circ_f HNO_3 + \Delta H^\circ_f NaOH] \\ &= [(-111,82) + (-68,32)] - [(-41,61) + (-101,7)] \\ &= -36,83 \text{ kcal/mol} \\ &= -154,0967 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh ΔH°_r bernilai negatif (-), maka reaksinya bersifat eksotermis (melepaskan kalor).

b. Menghitung ΔG°

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

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ &= [\Delta G^\circ NaNO_3 + \Delta G^\circ H_2O] - [\Delta G^\circ HNO_3 + \Delta G^\circ NaOH] \\ &= [(-87,73) + (-56,69)] - [(-19,31) + (-90,7)] \\ &= -34,41 \text{ kcal/mol} \\ &= -143,97144 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Lalu, K standar menggunakan suhu standar (298K)

$$\ln K_{298,15} = \frac{-\Delta G^\circ}{RT}$$

$$\begin{aligned} \ln K_{298,15} &= \frac{-(-143,97144 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{8,314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 298,15 \text{ K}} \\ &= 58,080656 \end{aligned}$$

$$K_{298,15} = 1,6753 \times 10^{25}$$

- K pada suhu 333,15K

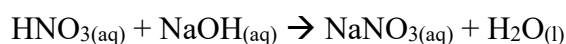
$$\begin{aligned}\ln \frac{K_2}{K_1} &= -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\ \ln \frac{K_{333,15}}{K_{298,15}} &= -\frac{-154,0967}{8,314} \left(\frac{1}{333,15} - \frac{1}{298,15} \right) \\ &= (-18,5346) \times (-0,00035) \\ \ln \frac{K_{333,15}}{K_{298,15}} &= 0,00653096 \\ \frac{K_{333,15}}{K_{298,15}} &= 1,00655233 \\ K_{333,15} &= 1,00655 \times 1,6754 \times 10^{25} \\ K_{333,15} &= 1,68634 \times 10^{25}\end{aligned}$$

Harga konstanta kesetimbangan (K) ialah suatu nilai yang menunjukkan perbandingan antara konsentrasi produk dengan reaktan pada saat suatu reaksi kimia berada dalam keadaan kesetimbangan. Nilai ini sangat penting karena mengindikasikan seberapa jauh reaksi telah berjalan menuju pembentukan produk yang diinginkan. Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan nilai harga konstanta kesetimbangan reaksi (K) sebesar 1,68634, di mana nilai yang diperoleh lebih dari 1. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi produk lebih besar daripada reaktan pada saat kesetimbangan.

Lalu dapat dikatakan bahwa reaksi pembentukan natrium nitrat ini dianggap sebagai reaksi searah (*irreversible*), dimana reaksi cenderung bergeser ke arah kanan dan membentuk lebih banyak produk. Pada kondisi ini, hampir semua reaktan akan berubah menjadi produk, dan jumlah reaktan yang tersisa sangat sedikit sehingga dapat diabaikan. Selain harga K, faktor lain seperti suhu, tekanan, dan konsentrasi awal reaktan juga dapat mempengaruhi arah pergeseran reaksi.

2.2.4 Tinjauan Kinetika

Kinetika reaksi merupakan suatu konsep reaksi yang mempelajari tentang laju atau kecepatan suatu reaksi kimia. Kinetika reaksi dapat mempengaruhi beberapa aspek pada kondisi operasi suatu proses kimia seperti suhu, tekanan, konsentrasi reaktan serta desain alat yang akan digunakan dalam proses terjadi. Hal - hal yang perlu dipertimbangkan dalam kinetika reaksi yakni nilai konstanta dari kecepatan reaksi (k), dan kecepatan dari suatu zat untuk bereaksi menjadi suatu produk atau biasa disebut kecepatan reaksi (-ra). Pembentukan natrium nitrat melalui reaksi antara asam nitrat dan natrium hidroksida dapat direpresentasikan dalam persamaan kimia berikut:



Reaksi antara natrium hidroksida dan asam nitrat untuk menghasilkan natrium nitrat termasuk dalam jenis reaksi orde kedua dan berjalan searah (*irreversible*). Besaran konstanta laju reaksi untuk pembentukan natrium nitrat adalah $k = 1,3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{mol.s}$ (Koiranen et al., 2017).

Dengan demikian, persamaan matematika berikut dapat digunakan untuk menentukan kecepatan reaksi.

$$(-r_a) = k \cdot C_A \cdot C_B \dots \dots \dots (2.1)$$

$$= k[C_{A0}(1 - X_A) \cdot (C_{B0} - (C_{A0} \cdot X_A))] \dots \dots \dots (2.2)$$

(Levenspiel, 1998)

Keterangan:

$(-r_a)$ = kecepatan reaksi zat A (NaNO_3)

K = konstanta kecepatan reaksi (L/mol.jam)

C_A = konsentrasi NaOH pada waktu t (mol/L)

C_B = konsentrasi HNO_3 pada waktu t (mol/L)

C_{A0} = konsentrasi NaOH mula-mula (sebelum bereaksi) (mol/L)

C_{B0} = konsentrasi HNO_3 mula-mula (sebelum bereaksi) (mol/L)

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam proses produksi Natrium Nitrat yakni Asam Nitrat (HNO_3) dan Natrium Hidroksida (NaOH). Asam Nitrat yang digunakan dalam proses produksi natrium nitrat memiliki kemurnian sebesar 58% yang akan disimpan pada tangki penyimpanan (T-01). Kemudian Sodium Hidroksida yang digunakan dalam proses produksi natrium nitrat yang memiliki kemurnian sebesar 48% akan disimpan pada tangki penyimpanan (T-02). Kondisi operasi pada proses penyimpanan bahan baku ini yaitu dalam suhu 30°C serta tekanan 1 atm.

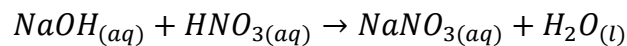
2.3.2 Tahap Persiapan Bahan Baku

Sebelum dialirkan menuju reaktor, perlu dilakukan pelarutan atau pengenceran terlebih dahulu menggunakan air demineralisasi (H_2O) untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan. Bahan baku diencerkan menggunakan mixer (M-01). Kemudian bahan baku yang telah dilakukan pengenceran, akan dialirkan menggunakan pompa secara terus menerus (kontinyu) pada reaktor (R-01) untuk dilakukan proses reaksi.

2.3.3 Tahap Pembentukan Produk

Reaksi pembentukan produk ini menggunakan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB). Proses ini dimulai dari bahan baku yang berada di tangki penyimpanan (T-01) yakni berupa Asam Nitrat dan Sodium Hidroksida yang berada pada tangki penyimpanan (T-02) akan dipompakan menggunakan pompa (P-01 dan P-02) menuju kedalam *Heat Exchanger* (HE-01 dan HE-02) untuk dilakukan proses *pre-heater* sehingga suhu dari bahan baku akan naik menjadi 60°C kemudian akan dialirkan secara kontinyu kedalam reaktor (R-01) yang dilengkapi dengan jaket pendingin.

Reaksi yang terjadi pada reaktor berada dalam kondisi operasi suhu 60°C dengan tekanan sebesar 1 atm. Reaksi yang terjadi antara Asam Nitrat dengan Sodium Hidroksida bersifat eksotermis yang artinya pada proses reaksi ini berlangsung akan menghasilkan panas yang berlebih. Suhu operasi reaktor yang ideal adalah 60°C. Untuk mencapai dan mempertahankan kondisi ini, panas yang berlebihan akibat reaksi akan dialirkan ke jaket pendingin dan diserap oleh air pendingin yang bersirkulasi di dalamnya. (Othmer,1998). Reaksi yang berlangsung dalam reaktor sebagai berikut:



Output hasil reaksi dari reaktor (R-01) yakni berupa larutan sodium nitrat pekat (*slurry*) dalam suhu 60°C yang kemudian akan dialirkan menggunakan pompa (P-03) menuju evaporator untuk dilakukan proses pemurnian sehingga mendapatkan produk Sodium Nitrat dengan kemurnian tinggi (pekat).

2.3.4 Tahap Pemurnian dan Pemisahan Produk

Larutan Natrium Nitrat yang dihasilkan masih mengandung impuritas, maka dari itu perlu dilakukan pemurnian. Larutan natrium nitrat yang keluar dari reaktor (R-01) kemudian akan dipompakan menuju ke evaporator. Evaporator yang digunakan berjenis *triple effect evaporator* yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan air dan sisa asam nitrat yang ada dalam larutan natrium nitrat dengan cara dilakukan proses pemanasan menggunakan *steam* sehingga kadar air berkurang.

Umpan yang berupa larutan natrium nitrat yang akan dialirkan ke dalam evaporator (EV-01) pada kondisi suhu 60°C. Lalu hasil *output* berupa larutan natrium nitrat dari evaporator pertama kemudian dialirkan menuju evaporator kedua (EV-02) pada kondisi operasi suhu 111°C. Kemudian output dari evaporator kedua akan dialirkan menuju evaporator ketiga (EV-03) dengan kondisi operasi suhu 93°C. Prinsipnya, larutan natrium nitrat dipanaskan hingga jenuh, kemudian didinginkan

secara perlahan. Saat suhu turun, kelarutan natrium nitrat menurun sehingga kristal natrium nitrat mulai terbentuk.

Produk atas evaporator (EV-03) berupa uap air yang kemudian akan dilakukan proses kondensasi yang terjadi di dalam kondensor (CD-01). Kemudian untuk produk bawah dari evaporator (EV-03) berupa natrium nitrat pekat pada kondisi suhu 63°C akan dipompakan menggunakan pompa (P-04) menuju *crystallizer* (CR-01). *Crystallizer* ini beroperasi pada kondisi operasi suhu 50°C serta tekanan 1 atm untuk memisahkan zat padat dari larutannya melalui proses kristalisasi. Jenis *crystallizer* yang digunakan adalah *cooling crystallizer*, dimana prinsipnya memanfaatkan penurunan suhu untuk menginduksi pembentukan kristal dari suatu larutan. Nantinya, larutan umpan diturunkan sampai suhu sekitar 40 - 45°C secara bertahap menggunakan air pendingin. Ketika larutan mencapai keadaan lewat jenuh (*supersaturated*), molekul - molekul zat terlarut mulai beragregasi dan membentuk inti kristal.

Setelah terbentuk kristal natrium nitrat, kristal yang terbentuk akan keluar dari *crystallizer* pada suhu 40°C dan kemudian dipisahkan dari larutan induk menggunakan *centrifuge* (CF-01). Larutan induk atau *mother liquor* adalah cairan yang tersisa setelah proses kristalisasi, di mana sebagian besar zat terlarut (dalam hal ini natrium nitrat) telah mengendap menjadi kristal. Larutan ini masih mengandung sejumlah zat terlarut yang belum mengkristal, serta kemungkinan juga mengandung impuritas yang tidak ikut mengkristal. Usai tahap pemisahan, larutan induk akan ditransfer ke unit pengolahan air (*water treatment*). Di sisi lain, kristal sodium nitrat yang dihasilkan akan dipindahkan menuju pengering putar (*rotary dryer*) menggunakan *screw conveyor* (SC-01) untuk mengurangi kandungan air yang masih menempel pada permukaan kristal.

2.3.5 Tahap Pengeringan Produk

Tahap pengeringan produk bertujuan untuk menghilangkan kadar air atau pelarut lain yang masih tertinggal pada permukaan kristal setelah proses pemurnian. Tahap ini juga berfungsi untuk menghasilkan produk dengan kemurnian dan kualitas yang lebih memadai, seperti kristal basah natrium nitrat yang semula memiliki kemurnian 94% menjadi kristal kering natrium nitrat dengan kadar kemurnian sebesar 98%.

Kristal basah natrium nitrat dengan kemurnian 90% ini akan dimasukkan ke *rotary dryer* (RD-01). *Rotary dryer* memanfaatkan udara lingkungan yang disaring dahulu

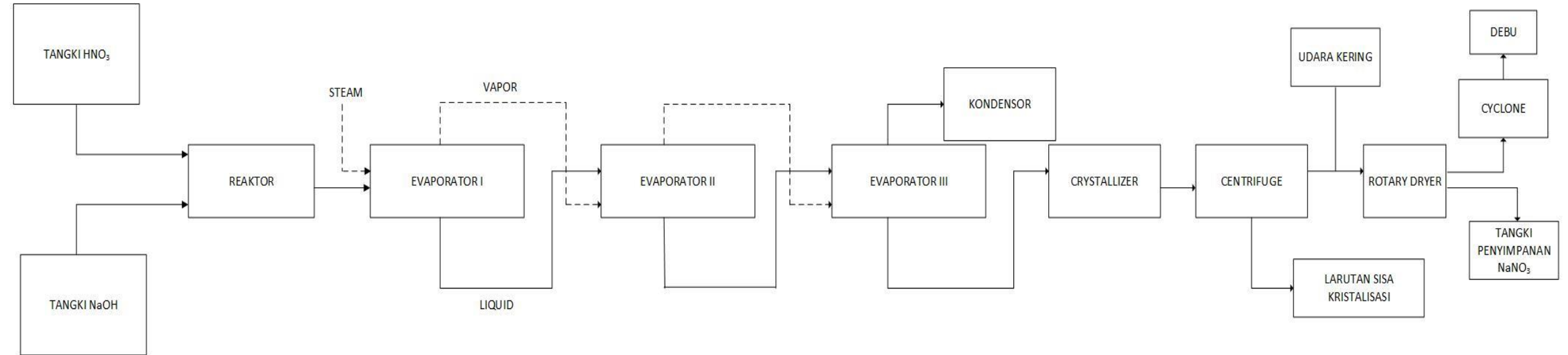
dalam filter udara, lalu dialirkan dengan bantuan blower (BL-01) dan dilakukan *pre-heater* dengan memanfaatkan panas dari *heat exchanger* (HE-03). Proses pengeringan kristal ini dilakukan pada kondisi suhu 95°C. Air yang terkandung dalam kristal natrium nitrat ini akan menguap akibat panas yang diberikan. Lalu uap air akan terbawa oleh aliran udara panas. Hasil proses pengeringan berupa kristal sodium nitrat yang keluar dari *rotary dryer* dengan kemurnian 98%. Kristal natrium nitrat yang telah kering akan keluar dari ujung silinder yang berlawanan dengan tempat masuknya umpan. Produk kering ini akan diangkut menggunakan *belt conveyor* (BC-01) untuk proses selanjutnya.

2.3.6 Tahap Penghalusan Produk

Setelah proses pengeringan, kristal natrium nitrat biasanya masih memiliki ukuran dan bentuk yang beragam. Untuk mendapatkan produk dengan ukuran partikel yang lebih seragam dan memenuhi spesifikasi tertentu, diperlukan tahap penghalusan. Produk natrium nitrat yang telah kering, selanjutnya akan melewati proses penggilingan menggunakan *ball mill* (BM-01). Sodium nitrat yang telah halus selanjutnya akan melewati proses penyaringan menggunakan *vibrating screen* (VS-01) untuk menyeragamkan ukuran partikel menjadi 100 *mesh*. Ukuran kristal natrium nitrat yang sesuai dengan spesifikasi akan jatuh ke bawah dan dikumpulkan sebagai produk utama. Sedangkan partikel yang tertahan di atas ayakan akan dikumpulkan dan dikembalikan ke proses penggilingan untuk dihaluskan kembali.

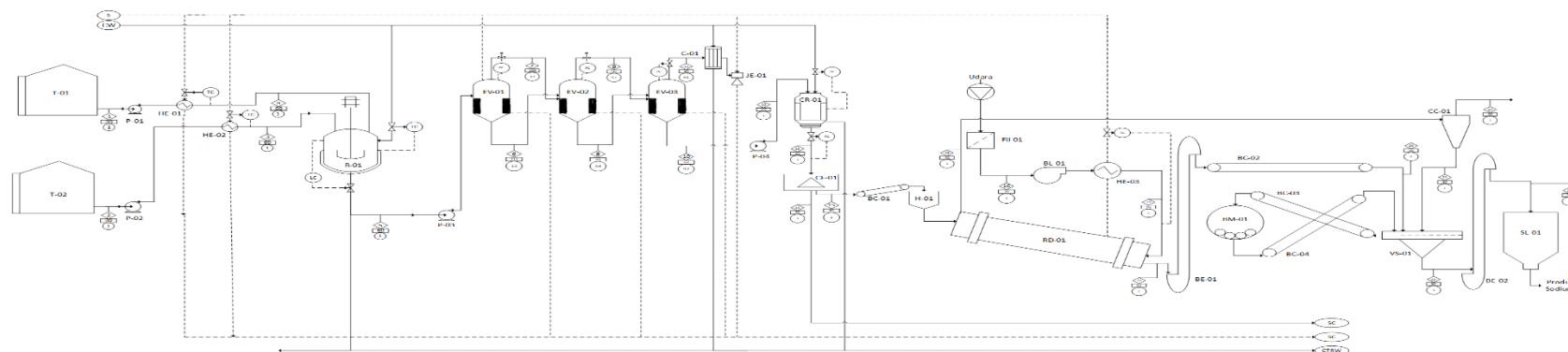
2.3.7 Tahap Pengemasan Produk

Natrium nitrat yang lolos penyaringan berukuran ≤ 100 mesh akan disimpan pada tangki penyimpanan produk berupa silo (SL-01). Lalu natrium nitrat dari silo akan dikemas menggunakan *packer machine*. Natrium nitrat yang telah dikemas, selanjutnya selanjutnya siap untuk dipasarkan.



Gambar 2. 1 Blok Diagram Alir Proses

PRA DESAIN INDUSTRI NATRIUM NITRAT DENGAN KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES SINTESIS KIMIA



Komponen	Aliran (Kg/jam)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
HNO ₃	2034,4		2034,4		40,687	40,687		40,687		40,687		40,687	40,687	40,152	0,406			0,0041	0,402	0,402	0,0041	0,405	0,405	0,0001
NaOH		1683,6		1683,6	417,79	417,79		417,79		417,79		417,79	417,79	412,29	4,165			0,0416	4,123	4,123	0,0416	4,164	4,164	0,0008
HNO ₃ (l)					2689,9	2689,9		2689,9		2689,9		2689,9	884,09	875,25	8,841			0,0884	8,752	8,752	0,0884	8,839	8,839	0,0018
H ₂ O (l)	1473,2	1823,9	1473,2	1823,9	3866,7	3297,1		2727,5		2012,9		2012,9	1932,4	1932,4	80,439				76,976	76,976		83,675	83,675	
H ₂ O (Uap)							569,62			1139,2			1853,8			331,52	331,52	6,6996			6,6996			328,28
NaNO ₃ (s)													2681,3		1797,2			17,972	1779,2	1779,2	17,613	1796,9	1796,9	0,3594
H ₂ O (s)													2012,9											
Udara Kering															5100,3	5100,3	5100,3							5100,3
Total	3508	3508	3508	3508	7015	6445	569,6	5876	1139	5161	1854	5161	7969	3260	1891	5432	5432	5125	1869	1869	24,45	1894	1894	5429



TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

PRA DESAIN INDUSTRI NATRIUM NITRAT DENGAN KAPASITAS
15.000 TON/TAHUN MENGGUNAKAN PROSES SINTESIS KIMIA

Digambar oleh:
Salma Ikmalannas (40040121650011)

Dosen Pembimbing:
Dr. Ir. Fahmi Arifan, S.T., M.Eng., M.M., IPM., ASEAN Eng.

BC : Belt Conveyor
BE : Bucket Elevator
BL : Blower
BM : Ball Mill
C : Condensor
CC : Cyclone
CF : Centrifuge
CR : Crystallizer
CW : Cooling Water
CTRW : Cooling Tower Return Water
EV : Evaporator
F : Filter
H : Hopper
HE : Heat Exchanger
JE : Jet Ejector
P : Pompa
R : Reaktor
RD : Rotary Dryer
S : Steam
SC : Steam Condensat
SL : Silo
T : Tangki
VS : Vibrating Screen
WT : Water Treatment

— : Aliran Proses
- - - : Aliran Steam

PC : Pressure Control
FC : Flow Control
TC : Temperature Control
LC : Level Control

○ : Nomor Aliran
□ : Suhu (°C)
◇ : Tekanan (atm)

Gambar 2. 2 Diagram Alir Proses Pembuatan Sodium Nitrat

2.4 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.4.1 Neraca Massa

1. *Mixer* HNO₃ 60%

Fungsi : Asam nitrat dan air dicampur sebagai bahan utama dalam produksi sodium nitrat.

Tabel 2. 2 Neraca Massa Mixer HNO₃

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
HNO ₃	2034,367	2034,367
H ₂ O	1473,163	1473,163
Total	3507,530	3507,530

2. *Mixer* NaOH 42%

Fungsi : Natrium hidroksida dan air dicampur sebagai bahan utama dalam produksi sodium nitrat.

Tabel 2. 3 Neraca Massa Mixer NaOH

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
NaOH	1683,614	1683,614
H ₂ O	1823,916	1823,916
Total	3507,530	3507,530

3. Reaktor

Fungsi : Untuk mereaksikan reaktan agar membentuk produk berupa sodium nitrat dan air dengan target konversi sebesar 98%.

Tabel 2. 4 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Input (kg)		Output (kg)
	Aliran (3)	Aliran (6)	Aliran (7)
HNO ₃	2034,367	0	40,687
NaOH	0	1683,614	417,786
NaNO ₃	0	0	2689,886
H ₂ O	1473,163	1823,916	3866,701
Total	7015,060		7015,060

4. Evaporator

Fungsi : Untuk meningkatkan konsentrasi larutan sodium nitrat dari 45% hingga 62%.

Tabel 2. 5 Neraca Massa Evaporator

Komponen	Input (kg)	Output (kg)	
	Aliran (7)	Aliran (12)	Aliran (13)
HNO ₃	40,687	40,687	0
NaOH	417,786	417,786	0
NaNO ₃	2689,886	2689,886	0
H ₂ O	3866,701	2012,885	1853,816
Total	7015,060	7015,060	

5. Crystallizer

Fungsi : Untuk membentuk kristal sodium nitrat

Tabel 2. 6 Neraca Massa Crystallizer

Komponen	Input (kg)	Output (kg)	
	Aliran (14)	Aliran (15)	Aliran (15')
HNO ₃	40,558	0,406	40,152
NaOH	416,453	4,165	412,289
NaNO ₃	2681,306	1797,215	884,090
H ₂ O	2012,885	80,439	1932,446
Total	5151,202	5151,202	

6. Centrifuge

Fungsi : Untuk mendapatkan kristal sodium nitrat dengan memisahkan hasil samping kristalisasi.

Tabel 2. 7 Neraca Massa Centrifuge

Komponen	Input (kg)	Output (kg)	
	Aliran (15)	Aliran (16)	Aliran (17)
HNO ₃	40,558	40,152	0,406
NaOH	416,453	412,289	4,165
NaNO ₃	2681,306	0	0
NaNO ₃ cair	0	875,249	8,841
Kristal NaNO ₃	0	0	1797,215
H ₂ O	2012,885	1932,446	80,439

Total	5151,202	5151,202
--------------	-----------------	-----------------

7. *Rotary Dryer*

Fungsi : Untuk menurunkan kandungan air dalam kristal sodium nitrat menjadi 1%

Tabel 2. 8 Neraca Massa Rotary Dryer

Komponen	Input (kg)		Output (kg)	
	Aliran (18)	Aliran (19)	Aliran (21)	Aliran (20)
HNO ₃	0,406	0	0,402	0,004
NaOH	4,165	0	4,123	0,042
NaNO ₃ cair	8,841	0	8,752	0,088
Kristal NaNO ₃	1797,215	0	1779,243	17,972
Air yang ikut terkristal	80,439	0	76,976	0
Udara kering	0	5100,268	0	5100,268
H ₂ O Uap	0	331,517	0	334,981
Total	7322,850		7322,850	

8. *Cyclone*

Fungsi : Untuk mengumpulkan residu dari debu NaNO₃ setelah dari *rotary dryer*

Tabel 2. 9 Neraca Massa Cyclone

Komponen	Input (kg)	Output (kg)	
	Aliran (21)	Aliran (22)	Aliran (23)
HNO ₃	0,0041	0,0040	0,0001
NaOH	0,0416	0,0408	0,0008
NaNO ₃ cair	0,0884	0,0866	0,0018
Kristal NaNO ₃	17,9722	17,6127	0,3594
Air yang ikut terkristal	0	0	0
Udara kering	5100,2676	0	5100,2676
H ₂ O Uap	334,9810	6,6996	328,2814
Total	5453,355	5453,355	

9. *Storage*

Fungsi : Sebagai tempat penyimpanan dari produk yang dihasilkan, berupa natrium nitrat.

Tabel 2. 10 Neraca Massa Storage

Komponen	Input (kg)		Output (kg)
	Aliran (21)	Aliran (22)	Aliran (24)
HNO ₃	0,402	0,004	0,405
NaOH	4,123	0,041	4,164
NaNO ₃ cair	8,752	0,087	8,839
Kristal NaNO ₃	1779,243	17,613	1796,856
Air yang ikut terkristal	76,976	0	83,675
H ₂ O Uap	0	6,700	0
Total	1893,939		1893,939

10. Neraca Massa Overall

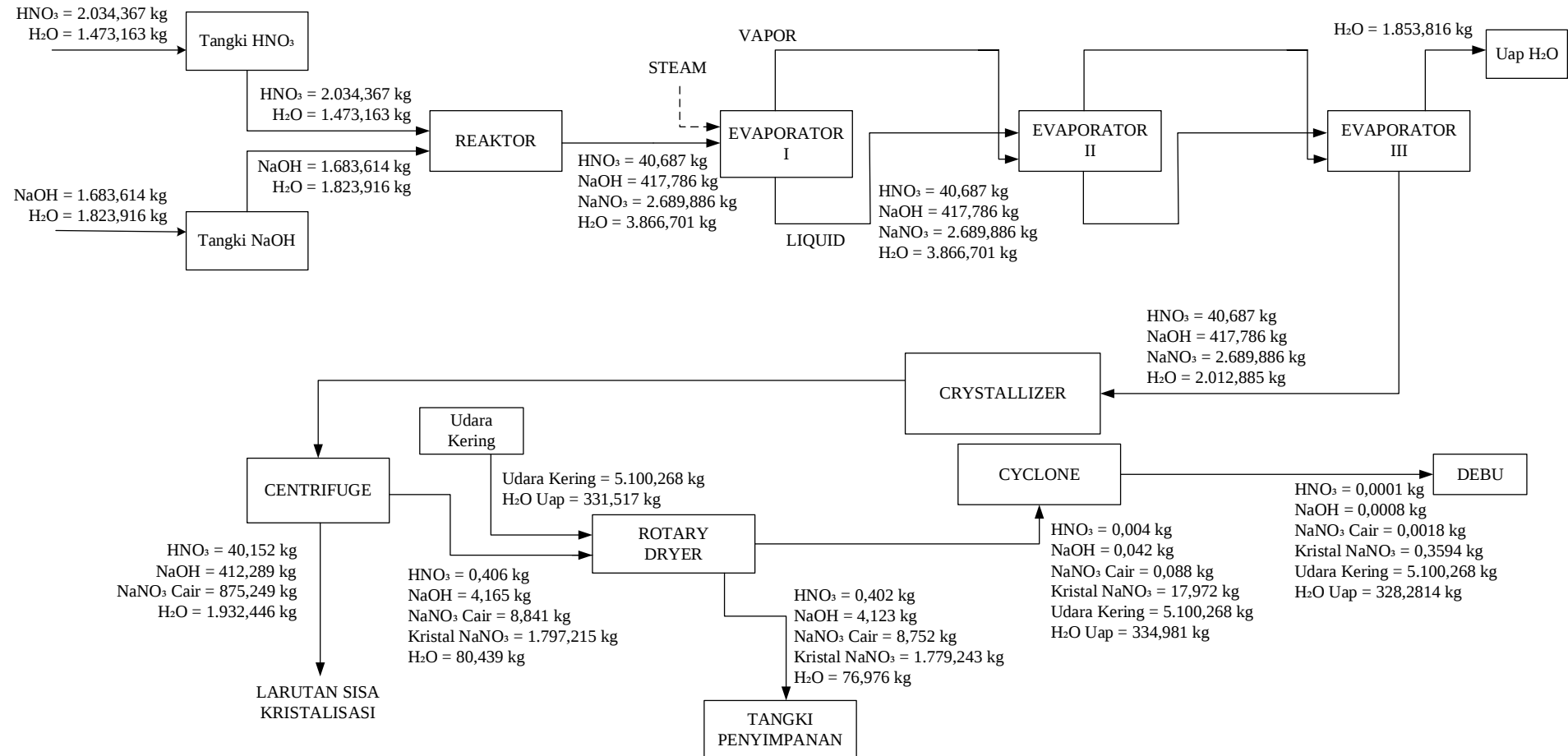
Tabel 2. 11 Neraca Massa Overall

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
1. Tangki HNO₃		
HNO ₃	2.034,367	
H ₂ O	1.473,163	
2. Tangki NaOH		
NaOH	1.683,614	
H ₂ O	1.823,916	
4. Evaporator		
H ₂ O		1.853,816
5. Centrifuge		
Larutan sisa kristalisasi		3.270,178
3. Rotary Dryer		
Udara kering	5.100,268	
H ₂ O uap	331,517	
6. Cyclone		
Debu keluar cyclone		5.428,911
7. Tangki Penyimpanan		

Produk		1.893,939
Total	12.446,845	12.446,845

$$\% \text{ Efisiensi massa produk} = \frac{\text{Hasil Produk}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = 98\%$$



Gambar 2. 3 Diagram Neraca Massa Overall

2.4.3 Neraca Panas

1. *Heater* HNO₃

Fungsi : Pemanasan awal larutan HNO₃ sebelum dialirkan menuju reaktor

Tabel 2. 12 Neraca Panas Heater HNO₃

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
H	11831,25	82818,75
Qs	74723,68	-
Qloss	-	3736,18
Total	86554,93	86554,93

2. *Heater* NaOH

Fungsi : Pemanasan awal larutan NaOH sebelum dialirkan menuju reaktor

Tabel 2. 13 Neraca Panas NaOH

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
H	12116,41	84814,88
Qs	76524,71	-
Qloss	-	3826,24
Total	88641,12	88641,12

3. Reaktor

Fungsi : Untuk mereaksikan reaktan agar membentuk produk berupa sodium nitrat dan air dengan target konversi sebesar 98%.

Tabel 2. 14 Neraca Panas Reaktor

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
Q bahan	167633,63	165831,57
ΔH reaksi	202000,88	203802,95
Total	369634,51	369634,51

4. Evaporator

Fungsi : Untuk meningkatkan konsentrasi larutan sodium nitrat dari 45% hingga 62%.

Tabel 2. 15 Neraca Panas Evaporator

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
Evaporator I		

HNO ₃	625,161	1.538,819
NaOH	5.205,611	12.813,485
NaNO ₃	24.666,253	60.715,383
H ₂ O	135.334,541	279.886,251
Steam	586.969,466	
Uap H ₂ O		397.847,095
Total	752.801,032	752.801,032
Evaporator II		
HNO ₃	1.538,819	1.219,783
NaOH	12.813,485	10.156,926
NaNO ₃	60.715,383	48.127,549
H ₂ O	279.886,251	179.659,581
Uap H ₂ O	330.482,472	446.272,570
Total	685.436,409	685.436,409
Evaporator III		
HNO ₃	1.219,783	685,896
NaOH	10.156,926	5.711,338
NaNO ₃	48.127,549	27.062,588
H ₂ O	179.659,581	77.295,322
Uap H ₂ O	369.920,590	498.329,285
Total	609.084,429	609.084,429

5. Kondensor

Fungsi : Untuk mengubah sebagian fase uap menjadi fase cairan sekaligus mengontrol tekanan di evaporator.

Tabel 2. 16 Neraca Panas Kondensor

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
H ₂ O Uap	1066871,05	206237,0196
H ₂ O Kondensat		853496,8436
Q serap		7137,19
Total	1066871,05	1066871,05

6. Crystallizer

Fungsi : Untuk membentuk kristal sodium nitrat

Tabel 2. 17 Neraca Panas Crystallizer

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
HNO ₃	685,896	267,072
NaOH	5711,338	2223,860
NaNO ₃	27062,588	10537,531
H ₂ O	77295,322	30193,279
Qkristalisasi	92631,329	
Qserap		160164,731
Total	203386,473	203386,473

7. Rotary Dryer

Fungsi : Untuk menurunkan kandungan air dalam kristal sodium nitrat menjadi 1%

Tabel 2. 18 Neraca Panas Rotary Dryer

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
ΔH feed	8853,09	20976,46
ΔH udara	145515,15	125673,37
Q loss		7718,41
Total	154368,24	154368,24

8. Heater Udara

Komponen	Input (kkal)	Output (kkal)
H	237.411,848	323.630,933
Qs	90.756,932	-
Qloss	-	4.537,847
Jumlah	328.168,780	328.168,780

9. Neraca Panas Overall**Tabel 2. 19** Neraca Panas Overall

Komponen	Input (kg)	Output (kg)
1. Tangki HNO₃		
Q HNO ₃	11.831,250	
Q steam	74.723,683	
Q loss		3.736,184
2. Tangki NaOH		

Q NaOH	12.116,412	
Q steam	76.524,707	
Q loss		3.826,235
3. Reaktor		
AH reaksi	202.000,880	
Q serap		203.802,945
4. Evaporator I		
Q steam	586.969,466	
Q loss		67.364,623
5. Evaporator II		
Q loss		76.351,981
6. Crystallizer		
Q kristalisasi	92.631,329	
Q serap		160.164,731
7. Kondensor		
Q kondensat		850.326,356
Q serap		7.137,191
8. Heater Udara		
Q udara	237.411,848	
Q steam	90.756,932	
Q loss		4.537,847
9. Rotary Dryer		
Q loss		7.718,412
Total	1.384.966,506	1.384.966,506

$$\% \text{ Efisiensi Panas} = \frac{\text{Heat Loss (Q Loss)}}{\text{Panas Masuk (Q In)}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Efisiensi Panas} = 92\%$$

Gambar 2. 4 Diagram Neraca Panas Overall

2.5 Tata Letak Pabrik dan Peralatan Proses

2.5.1 Tata Letak Pabrik

Setelah merancang diagram alir, dilakukan penataan ruang pabrik yang meliputi penetapan posisi gedung dan penempatan mesin-mesin proses. Untuk mencapai efisiensi produksi dan keselamatan para pekerja, pabrik perlu dirancang dengan tata letak yang strategis. Desain tata letak pabrik mencakup perencanaan fasilitas fisik, penataan mesin, peralatan, serta ruang kerja, yang bertujuan untuk mengefisienkan perpindahan barang dan data, dan proses kerja untuk mencapai target perusahaan. (Wignjosuebrotto, 2009)

Tata letak pabrik secara umum dibagi menjadi beberapa area utama, antara lain :

1. Daerah Administrasi atau Perkantoran

Dengan menempatkan bagian administrasi di bagian depan pabrik, manajemen dapat meningkatkan keamanan dan efisiensi. Lokasi ini memudahkan pengawasan dan meminimalkan risiko gangguan terhadap proses produksi di area belakang, yang mungkin melibatkan aktivitas berbahaya.

2. Daerah Proses

Area ini merupakan pusat peralatan produksi, yang tata letak alur prosesnya dirancang untuk kemudahan operasional. Langkah ini diimplementasikan untuk memfasilitasi proses pemindahan bahan baku dari tangki penyimpanan, memperlancar pengiriman produk ke area penyimpanan, dan memberikan kemudahan dalam pengawasan serta pemeliharaan peralatan.

3. Daerah Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

Untuk memudahkan kegiatan logistik, area penyimpanan bahan baku dan produk jadi ditempatkan di ruang terbuka yang memiliki aksesibilitas tinggi bagi kendaraan pengangkut. Lokasinya dekat dengan area produksi untuk kelancaran pasokan.

4. Daerah Kontrol dan Laboratorium

Area kontrol sebagai pusat pengendalian proses, sedangkan laboratorium berfungsi dalam mengawasi kualitas dan kuantitas bahan serta produk. Lokasinya yang strategis di dekat area produksi memungkinkan respons cepat terhadap masalah yang mungkin timbul selama proses berlangsung.

5. Daerah Pergudangan dan Bengkel

Gudang dimanfaatkan sebagai lokasi penyimpanan baik berupa bahan kimia yang digunakan dalam proses produksi, termasuk juga suku cadang untuk peralatan proses. Sementara itu, bengkel digunakan untuk memperbaiki peralatan yang rusak serta fabrikasi alat-alat yang menunjang jalannya proses produksi.

6. Daerah Utilitas

Utilitas seperti air, uap, dan listrik berperan sebagai sarana penunjang operasional. Penempatan utilitas yang berdekatan dengan area proses produksi akan mengoptimalkan sistem perpipaan dan menekan biaya instalasi pipa.

7. Daerah Pengolahan Limbah

Zona penanganan limbah adalah lokasi dimana sisa residu dari alur produksi diproses sebelum dibuang, sebaiknya terletak jauh dari kantor administrasi dan fasilitas umum. Hal tersebut bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif limbah terhadap kesehatan dan kenyamanan orang-orang yang beraktivitas di area tersebut.

8. Fasilitas Umum

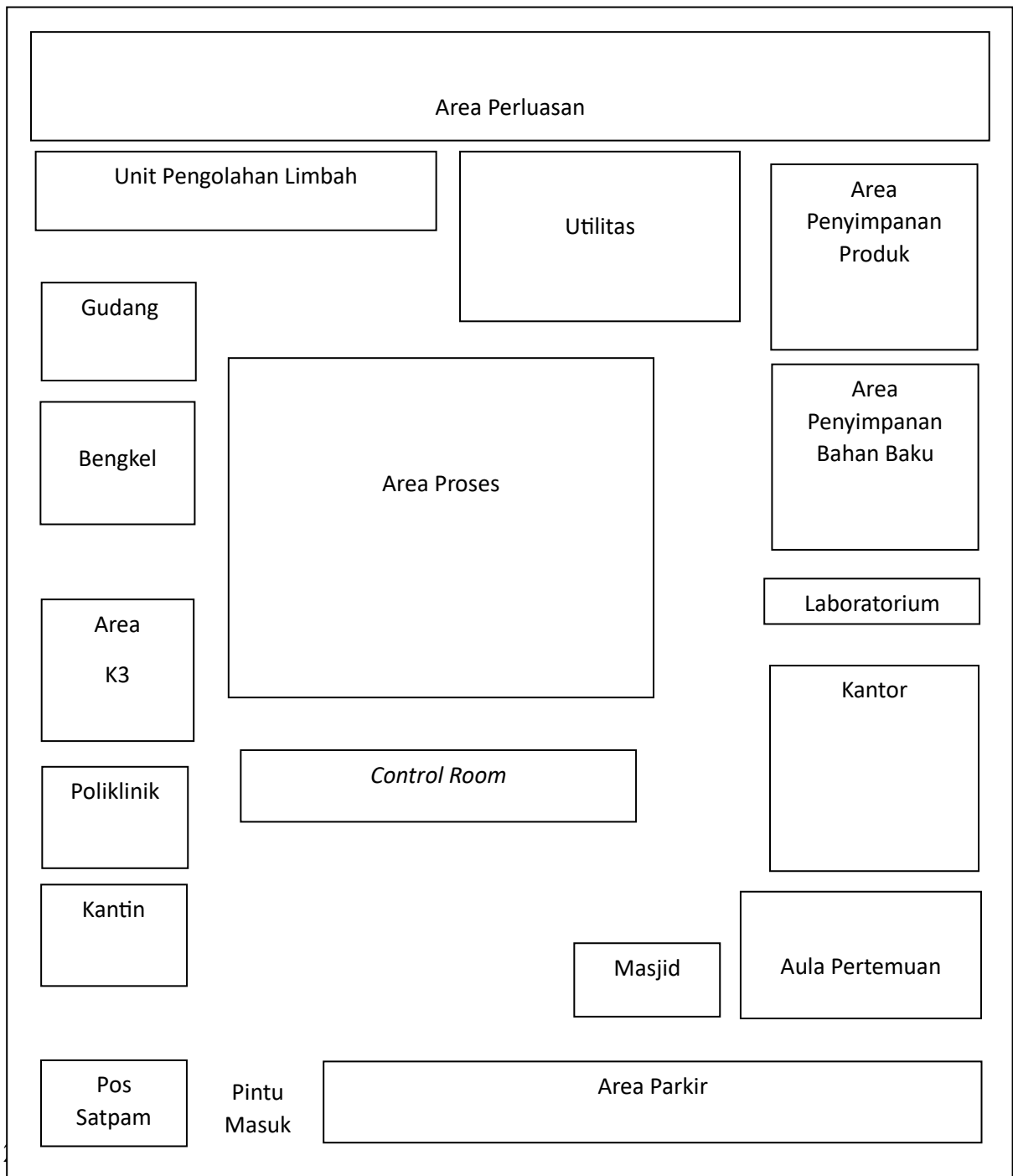
Fasilitas umum, seperti tempat ibadah, kantin, parkir, dan poliklinik, disediakan untuk memenuhi kebutuhan para pekerja.

Detail dari tata letak pabrik dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 20 Tata Letak Pabrik

No	Jenis Bangunan	Luas (m ²)
1.	Pos Keamanan	40
2.	Gedung Kantor Utama	400
3.	Kantin	200
4.	Masjid	150
5.	Poliklinik	100
6.	Aula Pertemuan	250
7.	Area Parkir	500
8.	Kantor RnD dan Perpustakaan	200
9.	Jalan, Taman	800
10.	CCR (Ruang Kontrol)	150
11.	Laboratorium	150
12.	Kantor K3	100

13.	Unit Pemadam Kebakaran	200
14.	Unit Penyimpanan Bahan Baku	600
15.	Unit Penyimpanan Produk	600
16.	Area Proses	2.500
17.	Utilitas	1.000
18.	Area Pengolahan Limbah	900
19.	Gudang	250
20.	Bengkel	250
21.	Daerah Perluasan Pabrik	2.300



Gambar 2. 5 Tata Letak Pabrik

2.5.3 Tata Letak Peralatan Proses

Perencanaan tata ruang peralatan proses dalam pabrik harus dilakukan secara harus diatur sedemikian rupa untuk mencapai efisiensi operasional. Beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan meliputi::

- a. Jarak Antar Alat Proses

Keselamatan kerja menjadi prioritas utama dalam penataan peralatan. Oleh karena itu, alat-alat utama diatur dengan jarak 20-30 meter dan alat pendukung ditempatkan di antara keduanya. Untuk peralatan yang mudah meledak atau terbakar, jarak antar alat harus diperbesar secara signifikan.

b. Aliran Bahan Baku dan Produk

Tata letak peralatan untuk produksi harus dirancang untuk aliran bahan dan produk yang efisien, memastikan keamanan dan kelancaran produksi, serta mengoptimalkan keuntungan. Sistem perpipaan dan pompa harus diatur agar tidak menghalangi pergerakan pekerja.

c. Aliran Udara

Untuk mencegah akumulasi bahan kimia berbahaya, yang bisa terjadi akibat udara yang tidak bergerak, desain tata letak ruangan harus memastikan sirkulasi udara yang baik.

d. Cahaya

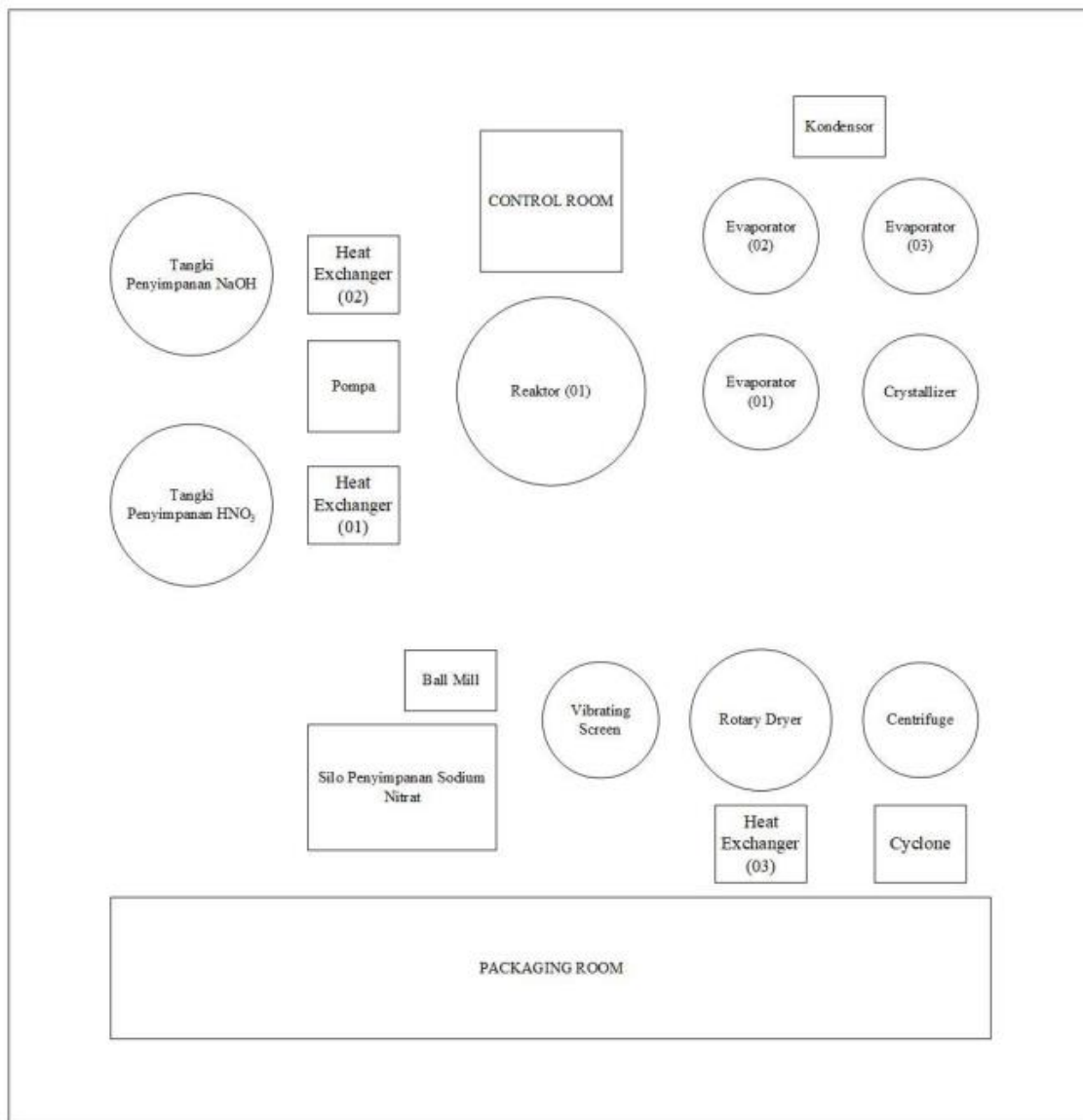
Cahaya berfungsi untuk menjadi penerangan yang mencukupi merupakan kebutuhan esensial di seluruh fasilitas pabrik. Secara khusus, area proses dengan potensi risiko kecelakaan yang tinggi wajib mendapatkan penerangan yang memadai.

e. Mobilisasi

Guna memastikan kelancaran produksi, desain tata letak peralatan pabrik harus mengutamakan kemudahan akses bagi pekerja. Aksesibilitas peralatan yang cepat dan mudah bagi pekerja penting untuk perbaikan segera jika terjadi masalah.

f. Pertimbangan Ekonomi

Tujuan dari perencanaan tata letak pabrik adalah untuk mencapai efisiensi biaya konstruksi dan penggunaan material. Dengan demikian, pengeluaran modal dapat diminimalkan dengan menghindari biaya bahan dan proses yang berlebihan.



Gambar 2. 6 Tata Letak Peralatan Proses