

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.2.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama

Bahan baku pembuatan soda ash menggunakan dual proses ini adalah NaCl, H₂O, NH₃ dan CO₂. Seluruh kebutuhan bahan baku utama NaCl memanfaatkan Impor dari Australia Rio Tinto Dampier Salt Limited (DSL) dengan kapasitas lebih dari 2 juta ton/ tahun. Untuk bahan baku utama H₂O didapatkan dari daerah laut Bontang untuk didesalinasi. Untuk Bahan Baku NH₃ didapatkan dari PT Pupuk Kaltim yang memiliki kapasitas produksi amonia sebesar lebih dari 2 juta ton/tahun. Serta untuk bahan baku CO₂ didapatkan dari PT. Pupuk Kaltim dengan kapasitas produksi dari gas buang (eksisting) lebih dari 2 juta ton/ tahun .

a. Spesifikasi Natrium klorida/ NaCl (Rio Tinto, 2026)

- Komposisi: NaCl 96% & H₂O 4%
- Bentuk fisik: Padatan
- Warna: Bening putih
- Bau: Tak berbau
- Densitas: 2,16 g/ cm³
- Bulk Density: 1,15 g/cm³
- Titik lebur: 801°C
- Titik didih: 1.413°C
- pH: 7
- Berat molekul: 58,44 g/mol
- Densitas: 2,16 g/cm³ (pada 25 °C)
- Kelarutan dalam air: 360 g/L
- Tidak mudah menyala
- Produk stabil di bawah kondisi penyimpanan dan penggunaan normal
- Reaktif atau tidak tercampurkan dengan bahan organik, logam, bromin, trifluorida, dan litium
- Tidak diproduksi pada kondisi penyimpanan dan penggunaan normal

b. Spesifikasi Air (H₂O)

Sifat Fisika menurut (MSDS, 2026):

- Wujud: Cair

- Warna: Tidak berwarna
- Bau: Tidak tersedia
- Titik didih: 100,0 °C (pada 1.013 hPa)
- Titik lebur: 0,0 °C
- pH: 6,0 – 8,0 (pada 25 °C)
- Berat molekul: 18,02 g/mol
- Densitas: 1,000 g/cm³ (pada 3,98 °C)
- Kelarutan dalam air: Tercampur sepenuhnya
- Tekanan uap: Tidak tersedia
- Koefisien partisi (Log Pow): -0,467 (diperkirakan tidak ada potensi bioakumulasi)

Sifat Kimia menurut (MSDS, 2026):

- Bukan bahan berbahaya menurut Peraturan (EC) No 1272/2008.
- Tidak mengandung komponen PBT atau vPvB pada kadar $\geq 0,1\%$.
- Dapat bereaksi hebat dengan zat-zat yang umumnya dikenal bereaksi dengan air.
- Stabil secara kimia pada kondisi normal.
- Produk penguraian berbahaya tidak diketahui (lihat bagian 5 jika terjadi kebakaran).

c. Spesifikasi Amonia (NH₃)

Sifat Fisika menurut (PT Pupuk Kaltim, 2026):

- Wujud: gas (atmosfer)
- Warna: Tidak berwarna
- Bau: Tajam menyengat (ambang bau: 5 ppm)
- Berat molekul: 17.04
- Titik lebur: -77,72°C (-107,9°F)
- Titik didih: 33,35°C pada 760 mmHg
- Tekanan uap: 400 mmHg pada -49,72°F
- Kerapatan uap relatif (20°C): 0,6
- Berat jenis: 0,682 (pada -33°C, liquid)
- Persen volatilitas berdasarkan volume: 100%

Sifat Kimia menurut (PT Pupuk Kaltim, 2026):

- pH: sekitar 11,6
- Suhu penyalaan otomatis: 651°C
- Titik nyala: 132,4°C

- Rentang batas terbakar: 16-25% (volume di udara)
- Kelarutan: larut dalam air
- Stabilitas kimia: stabil pada suhu dan tekanan standar
- Reaktivitas/ Inkompabilitas: Membentuk senyawa eksplosif dengan kalsium hipoklorit, pemutih, merkuri, senyawa halogen, dan interhalogen. Kontak dengan oksidator kuat dapat mengakibatkan kebakaran dan ledakan
- Produk penguraian berbahaya: Produk pembakaran normal adalah nitrogen dan air

d. Spesifikasi Karbondioksida (CO₂)

Sifat Fisika menurut (MSDS, 2026):

- Wujud: Gas (pada 20 °C / 101,3 kPa)
- Warna: Tidak berwarna
- Bau: Tidak ada sifat peringatan bau
- Titik lebur: -78,5 °C (dry ice menyublim)
- Titik didih: -56,6 °C
- pH: Tidak berlaku (gas)
- Berat molekul: 44 g/mol
- Densitas relatif (gas, udara=1): 1,52
- Kelarutan dalam air: 2.000 mg/L (larut sempurna)
- Tekanan uap (20 °C): 57,3 bar(a)
- Koefisien partisi (Log Kow): 0,83

Sifat Kimia menurut (MSDS, 2026):

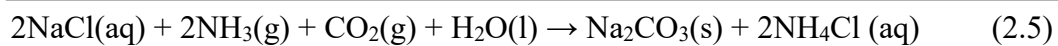
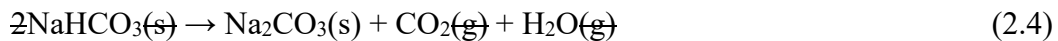
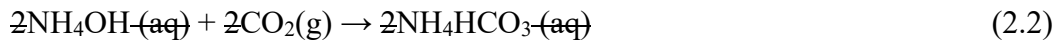
- Gas tidak mudah terbakar (non-flammable).
- Tidak bersifat oksidator.
- Stabil secara kimia pada kondisi normal.
- Tidak ada reaksi berbahaya yang diketahui.
- Pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan asfiksia (sesak napas) dan efek toksik akut.
- Kontak dengan cairan (CO₂ cair) dapat menyebabkan luka bakar dingin (*frostbite*).

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Pembuatan soda ash (Na₂CO₃) pada dasarnya dilakukan dengan proses karbonasi-amoniiasi larutan garam dapur (NaCl) menggunakan proses *Dual Process Solvay*. Prinsip dasar proses ini adalah mereaksikan larutan *brine* (NaCl jenuh) dengan gas amonia (NH₃) dan gas

karbondioksida (CO_2) sehingga terbentuk endapan Natrium bikarbonat (NaHCO_3) yang selanjutnya dikalsinasi menjadi natrium karbonat (Na_2CO_3). Secara keseluruhan, mekanisme reaksi pembentukan soda ash berlangsung melalui lima tahapan reaksi berurutan sebagai berikut:



Tahap pertama adalah pelarutan gas amonia ke dalam fase cair. Gas NH_3 yang diumpankan diserap (diabsorpsi) oleh air (H_2O) yang terdapat dalam larutan *brine* sehingga membentuk amonium hidroksida (NH_4OH) dalam fase cair (Sudibyo, 2022) seperti dinyatakan pada Persamaan (2.1). Tahap kedua adalah karbonasi larutan amoniakal. Gas CO_2 yang diumpankan ke dalam larutan yang telah mengandung NH_4OH akan bereaksi membentuk amonium bikarbonat (NH_4HCO_3) (Liu, dkk, 2009) sesuai dengan Persamaan (2.2). Tahap ketiga adalah reaksi metatesis (pertukaran ion) antara amonium bikarbonat dengan natrium klorida. Ion Na^+ dari NaCl bertukar tempat dengan ion NH_4^+ dari NH_4HCO_3 , menghasilkan endapan Natrium bikarbonat (NaHCO_3) yang relatif tidak larut pada kondisi operasi, serta produk samping amonium klorida (NH_4Cl) yang tetap berada dalam fase larutan (Kasprzycka-Guttman, T., 1996), seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.3).

Tahap keempat adalah kalsinasi (pemanasan) endapan Natrium bikarbonat yang telah dipisahkan melalui penyaringan. Pemanasan NaHCO_3 pada suhu tinggi menyebabkan dekomposisi termal menjadi natrium karbonat (produk akhir yang diinginkan), disertai pelepasan gas CO_2 dan uap air (Simanjuntak, dkk, 2014), sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (2.4). Gas CO_2 hasil kalsinasi ini umumnya direcycle kembali ke tahap karbonasi (Persamaan 2.2) untuk efisiensi proses. Apabila Persamaan (2.1) hingga (2.4) dijumlahkan, akan diperoleh reaksi keseluruhan (*overall reaction*) pembentukan soda ash dari bahan baku NaCl , NH_3 , CO_2 , dan H_2O , seperti dituliskan pada Persamaan (2.5) Reaksi total pada Persamaan (2.5) inilah yang menjadi reaksi utama yang dijadikan acuan dalam tinjauan termodinamika dan neraca massa-energi pabrik soda ash, dengan kondisi operasi reaksi dekomposisi berlangsung pada suhu sekitar 200°C ($473,15\text{ K}$) dengan tekanan sekitar atmosferik.

2.2.2 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika bertujuan untuk menentukan sifat reaksi pembentukan soda ash, yaitu apakah reaksi berlangsung secara eksotermis atau endotermis (ditinjau dari harga ΔH°),

apakah reaksi berlangsung spontan (ditinjau dari harga ΔG°), serta apakah reaksi bersifat *reversible* (bolak-balik) atau *irreversible* (searah) berdasarkan harga konstanta kesetimbangan (K) (Febriyanti, 2019; Raff, 2014; Kuzmic, P. 2012). Reaksi yang ditinjau adalah reaksi dekomposisi pembentukan soda ash pada Persamaan (2.4)

a. Panas Reaksi (ΔH Reaksi)

Penentuan jenis reaksi (eksotermis/endotermis) dilakukan dengan menghitung panas reaksi standar ($\Delta H^\circ R$) menggunakan data panas pembentukan standar ($\Delta H_f^\circ 298$) dari setiap komponen pada suhu referensi 298,15 K (25°C), berdasarkan Hukum Hess, yaitu:

$$\Delta H^\circ R = \sum (n_i \cdot \Delta H_{f, \text{produk}}^\circ) - \sum (n_j \cdot \Delta H_{f, \text{reaktan}}^\circ)$$

dengan n adalah koefisien stoikiometri masing-masing komponen (Smith, Van Ness, & Abbott, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 2001). Data panas pembentukan standar ($\Delta H_f^\circ 298$) tiap komponen, yang diperoleh dari Perry's Chemical Engineers' Handbook (Perry & Green, 2008), disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Entalpi Pembentukan Standar $\Delta H_f^\circ 298$ (Perry, 2008)

Komponen	$\Delta H_f^\circ 298$ (kkal/kmol)
NaHCO ₃ (s)	-226.000,00
CO ₂ (g)	-94.046,50
H ₂ O (g)	-57.790,20
Na ₂ CO ₃ (s)	-269.460,00

Berdasarkan reaksi pada Persamaan (2.4), reaksi melibatkan 2 mol NaHCO₃(s) sebagai reaktan, serta 1 mol CO₂(g); 1 mol H₂O(g); dan 1 mol Na₂CO₃ produk. Perhitungan $\Delta H^\circ R$ pada 298,15 K adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta H^\circ R \text{ reaksi} &= \sum \Delta H_f^\circ \text{produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{reaktan} \\
 &= [(1 \times (-269.460,00)) + (1 \times (-94.046,50) + (1 \times (-57.790,20)))] \\
 &\quad - [(2 \times (-226.000,00))] \\
 &= (-269.460,00 - 94.046,00 - 57.790,20) - (-452.000,00) \\
 &= (-421.296,70) - (-452.000,00) \\
 &= 30.703,30 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Karena reaksi dekomposisi pada pabrik beroperasi pada suhu 200°C (473,15 K), bukan pada suhu standar 298,15 K, maka harga $\Delta H^\circ R$ perlu dikoreksi terhadap suhu operasi

menggunakan data kapasitas panas ($\int C_p dT$) tiap komponen dari 298,15 K hingga 473,15 K, mengikuti siklus Hukum Hess (Himmelblau & Riggs, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 2012):

$$\Delta H_{R(T)} = \Delta H_{R(298,15\text{ K})} + \sum (n_{\text{produk}} \int C_p dT) - \sum (n_{\text{reaktan}} \int C_p dT)$$

Tabel 2.2 Data $\int C_p dT$ Tiap Komponen dari 298,15 K ke 473,15 K (kkal/kmol)

Komponen	$\int C_p dT$ (kkal/kmol)
NaHCO ₃ (s)	2715,60
CO ₂ (g)	7.180,48
H ₂ O (g)	6.124,46
Na ₂ CO ₃ (s)	15.883,66

$$\begin{aligned} \Sigma \int C_p dT \text{ produk} &= (1 \times 15.883,66) + (1 \times 7.180,48) + (1 \times 6.124,46) \\ &= 29.188,60 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \int C_p dT \text{ reaktan} &= (2 \times 2.715,60) \\ &= 5.431,20 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta(\int C_p dT) &= 29.188,60 - 5.431,20 \\ &= 23.757,40 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

Sehingga harga $\Delta H^\circ R$ pada suhu operasi 473,15 K adalah:

$$\begin{aligned} \Delta H_{R(473,15\text{ K})} &= \Delta H_{R(298,15\text{ K})} + \Delta(\int C_p dT) \\ &= 30.703,30 + 23.757,40 \\ &= 54.460,70 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh harga $\Delta H^\circ R$ pada suhu operasi 473,15 K sebesar 54.460,70 kkal/kmol (bernilai positif). Hal ini menunjukkan bahwa reaksi pembentukan soda ash menyerap kalor dari lingkungan, sehingga reaksi bersifat endotermis (Smith, Van Ness, & Abbott, 2001).

b. Energi Bebas Gibbs (ΔG Reaksi) dan Kespontanan Reaksi

Kespontanan reaksi ditentukan dengan menghitung harga energi bebas Gibbs standar ($\Delta G^\circ R$) pada suhu 298,15 K menggunakan data energi bebas pembentukan standar ($\Delta G_f^\circ 298$) tiap komponen, mengikuti persamaan umum:

$$\Delta G^\circ R = \sum (n_i \cdot \Delta G_{f,\text{produk}}^\circ) - \sum (n_j \cdot \Delta G_{f,\text{reaktan}}^\circ)$$

Data energi bebas pembentukan standar (ΔG_f° 298) tiap komponen pada suhu 298,15 K, yang diperoleh dari Yaws, *Chemical Properties Handbook* (Yaws, 1999), disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Data Energi Bebas Pembentukan Standar ΔG_f° 298 (Yaws, 1999)

Komponen	ΔG_f° 298 (kkal/kmol)
NaHCO ₃ (s)	-202.660,00
CO ₂ (g)	-94.263,97
H ₂ O (g)	-54.636,77
Na ₂ CO ₃ (s)	-249.550,00

Perhitungan ΔG° R pada 298,15 K:

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ \text{R reaksi} &= \Sigma \Delta G_f^\circ \text{produk} - \Sigma \Delta G_f^\circ \text{reaktan} \\
 &= [(1 \times (-249.550,00)) + (1 \times -94.263,97) + (1 \times -54.636,77)] \\
 &\quad - [(2 \times (-202.660))] \\
 &= (-398.450,74) - (-405.320) \\
 &= 6.869,26 \text{ kkal/kmol}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan harga ΔG° R bernilai positif (6.869,26 kkal/kmol), yang menandakan bahwa reaksi pembentukan soda ash berlangsung secara tidak spontan pada kondisi standar sehingga perlu perlakuan khusus seperti pengendalian panas (Smith, Van Ness, & Abbott, 2001).

c. Konstanta Keseimbangan Reaksi (K) dan Arah Reaksi

Hubungan antara energi bebas Gibbs standar dan konstanta keseimbangan termodinamika (K) dinyatakan melalui persamaan (Smith, Van Ness, & Abbott, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 2001):

$$\Delta G^\circ = -R \cdot T \cdot \ln K$$

dengan R adalah tetapan gas universal ($R = 1,987 \text{ kkal}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$) dan T adalah suhu absolut (K). Konstanta keseimbangan pada suhu standar 298,15 K dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \ln K_{298,15} &= -\Delta G^\circ / (R \cdot T) \\
 &= -(6.869,10) / (1,987 \times 298,15) \\
 &= -11,60 \\
 K_{298,15} &= \exp (-11,60) \\
 &= 9,21 \times 10^{-6}
 \end{aligned}$$

Karena reaksi pada pabrik beroperasi pada suhu 200°C (473,15 K), harga konstanta kesetimbangan pada suhu operasi dihitung menggunakan persamaan van't Hoff (Smith, Van Ness, & Abbott, Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 2001):

$$\ln (K_2 / K_1) = -(\Delta H^\circ R / R) \cdot (1/T_2 - 1/T_1)$$

dengan $T_1 = 298,15$ K, $T_2 = 473,15$ K, dan $\Delta H^\circ R$ menggunakan harga ΔH pada 298,15 K (30.703,30 kkal/kmol), sesuai konvensi persamaan van't Hoff. Perhitungan selengkapnya:

$$\begin{aligned} 1/T_2 - 1/T_1 &= 1/473,15 - 1/298,15 = -1,24 \times 10^{-3} \\ \ln (K_2/K_1) &= -(54.460,70 / 1,987) \times (-1,24 \times 10^{-3}) \\ &= 34,00 \\ K_2/K_1 &= \exp (34,00) = 5,84 \times 10^{14} \\ K_{473,15} &= K_{298,15} \times (K_2/K_1) \\ &= 9,21 \times 10^{-06} \times 5,84 \times 10^{09} \\ &= 5,38 \times 10^{09} \end{aligned}$$

Suatu reaksi dapat diketahui bersifat *reversible* (bolak-balik) atau *irreversible* (searah) dengan meninjau harga konstanta kesetimbangannya (K). Konstanta kesetimbangan merupakan perbandingan antara konstanta kecepatan reaksi ke arah kanan dengan konstanta kecepatan reaksi ke arah kiri. Reaksi bersifat *irreversible* apabila harga konstanta kesetimbangannya jauh lebih besar dari satu ($K > 1$). Sebaliknya, reaksi bersifat *reversible* apabila harga konstanta kesetimbangannya kurang dari satu, menurut Smith (1981).

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh harga $K_{473,15} = 5,38 \times 10^{09}$. Harga konstanta kesetimbangan tersebut jauh lebih besar dari satu ($K > 1$), sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan soda ash berjalan secara *irreversible* (searah) menuju produk. Pada harga $\Delta G^\circ R$ dan $\Delta H^\circ R$ yang sama-sama bernilai positif, menunjukkan reaksi berlangsung tidak spontan dan endotermis, sehingga kesetimbangan reaksi dapat condong ke arah pembentukan produk Na_2CO_3 sebagai produk utama dengan menjaga kestabilan penyaluran panas saat reaksi agar konstanta kesetimbangan tetap lebih dari 1.

Sebagai rangkuman, tinjauan termodinamika terhadap reaksi total pembentukan soda ash pada Persamaan (2.4) menunjukkan bahwa reaksi bersifat endotermis ($\Delta H^\circ R = 30.703,30$ kkal/kmol pada 473,15 K), berlangsung tidak spontan ($\Delta G^\circ R = 9,21 \times 10^{-06}$ kkal/kmol pada 298,15 K), dan berjalan *irreversible* ke arah produk ($K_{473,15} = 5,38 \times 10^{09} > 1$). Dengan demikian, secara termodinamika proses dekomposisi NaHCO_3 menjadi Na_2CO_3 merupakan proses yang menguntungkan menggunakan kondisi operasi tersebut.

2.2.3 Tinjauan Kinetika Reaksi

Evaluasi kinetika reaksi dilakukan untuk memahami bagaimana variasi suhu memengaruhi kecepatan suatu reaksi. Dalam konteks produksi *soda ash* melalui proses karbonasi, analisis kinetika ini dapat dimodelkan menggunakan pendekatan persamaan Arrhenius di bawah ini:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Keterangan:

k = Kecepatan reaksi (s^{-1})

A = Frekuensi tumbukan (s^{-1})

E_a = Energi aktivasi (kJ/mol)

R = Konstanta gas (8,314 J/mol.K) = 0,008314 kJ/mol.K

T = Suhu (K)

Diketahui data kinetika reaksi dekomposisi dari Harms 2013:

A = $1,43 \times 10^{11} /s$

E_a = 102 kJ/mol

T = 200 °C $\approx$ 473,15 K

R = 0,008314 kJ/mol.K

$$k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

$$k = 1,43 \times 10^{11} /s \exp\left(-\frac{\frac{102 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \text{ kJ/mol.K}}}{473,15 \text{ K}}\right)$$

$$k = 0,784099 /s$$

Perolehan nilai konstanta laju reaksi $k = 0,78/s$ pada suhu 200°C adalah bahwa dekomposisi Natrium bikarbonat (NaHCO_3) secara kinetika intrinsik berlangsung sangat cepat dan dapat selesai hanya dalam hitungan detik membentuk senyawa Natrium karbonat (Na_2CO_3)

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Proses Produksi

Pada proses pembuatan Natrium karbonat menggunakan metode *Dual Process* terbagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Pelarutan Sodium klorida (NaCl)

NaCl bersuhu 30°C dari penyimpanan (F-101) dialirkan menuju *Dissolver* (D-101) menggunakan bantuan *belt conveyor* (CV-101) dan *bucket elevator* (EL-101). NaCl dilarutkan menggunakan air bersuhu 44°C sehingga dinamakan *Brine*.

2. Tahap Absorpsi

Brine akan diumpankan menuju Absorber (R-201) yang akan dikontakkan oleh gas NH_3 dari tanki F-102 bersuhu -33°C . Selain gas *Brine* juga akan dikontakkan dengan gas $\text{CO}_2 + \text{NH}_3$ hasil *recycle* yang telah dikompresi oleh K-402 suhu 180°C . Dalam reaksi sesuai persamaan 2.1; 2.2; 2.3 maka produk yang terbentuk adalah NH_4OH ; NH_4HCO_3 ; NaHCO_3 ; dan NH_4Cl bersuhu 60°C (eksotermis) yang kemudian didinginkan oleh pendingin (E-202) menjadi 35°C yang akan dilanjutkan ke *Carbonation Tower* oleh pompa (P-202).

3. Tahap Karbonasi

Umpan dari pompa (P-202) dimasukkan ke dalam *Carbonation Tower* (R-202) untuk dikontakkan oleh gas CO_2 agar membentuk reaksi sesuai persamaan 2.2; 2.3 pada kondisi operasi 35°C yang berlangsung secara eksotermis, membentuk produk utama berupa NaHCO_3 dan NH_4Cl . Produk akan diumpankan menuju *Rotary Drum Vacuum Filter* (S-301).

4. Tahap Separasi

Umpan dari outlet *Carbonation Tower* (R-202) akan dimasukkan ke dalam *Rotary Drum Vacuum Filter* (S-301) guna memisahkan senyawa *slurry* NaHCO_3 yang akan dikalsinasi pada reaktor *Pyrolysis* (R-203) sedangkan *mother liquor* yang dominan air dan NH_4Cl akan dialirkan menuju Tanki Kristalizer (CR-301) dan dipisahkan oleh *Centrifuge* (CF-301).

5. Tahap Dekomposisi NaHCO_3

Untuk mendapatkan produk *Soda Ash* maka diperlukan reaksi dekomposisi Sodium karbonat menjadi Sodium karbonat (*Soda Ash*) sesuai persamaan 2.4. *Slurry* NaHCO_3 dialirkan menggunakan *Screw Conveyor* (CV-201) menuju reaktor *screw calsiner* (R-203) yang beroperasi secara endotermis dalam suhu 200°C . Produk hasil reaksinya adalah Na_2CO_3 yang akan disalurkan langsung menuju tahap pendinginan oleh pendingin (SC-401) hingga 48°C kemudian penghancuran dan pengemasan, sedangkan gas CO_2 dan H_2O akan digunakan kembali untuk proses produksi.

6. Tahap Pemekatan *Mother Liquor*

Mother liquor dominan NH_4Cl dan H_2O dialirkan menuju Tanki Evaporator (EV-301) untuk dikurangi kadar airnya (pemekatan) sebanyak 44% pada suhu 100°C tekanan. Hasil pemekatan *mother liquor* selanjutnya akan didinginkan oleh Pendingin (E-303) sebelum masuk ke Tanki Kristalizer (CR-301).

7. Tahap Perolehan

Untuk membentuk padatan kristal NH_4Cl perlu dilakukan kristalisasi pendinginan pada Tanki Kritallizer (CR-301) agar pembentukan kristal semakin banyak dan homogen, pada operasi ini digunakan suhu 35°C . Terbentuk kristal NH_4Cl dengan impuritas kristal lainnya seperti NaHCO_3 . Untuk mendapatkan padatan kristal NH_4Cl maka digunakan unit *Centrifuge* jenis *Decanter* yang menggunakan gaya sentrifugal untuk memisahkan kristal padat NH_4Cl yang dialirkan ke evaporator lanjutan (EC-301) bersuhu 100°C tekanan 1 atm untuk dihilangkan sisa kadar airnya kemudian ke pendingin agar suhunya turun ke 40°C . *Mother liquor* yang telah dipisahkan dari kristal akan dipompa (P-301) menuju ke Tanki Kristalizer (CR-301) agar dapat dikristalkan kembali.

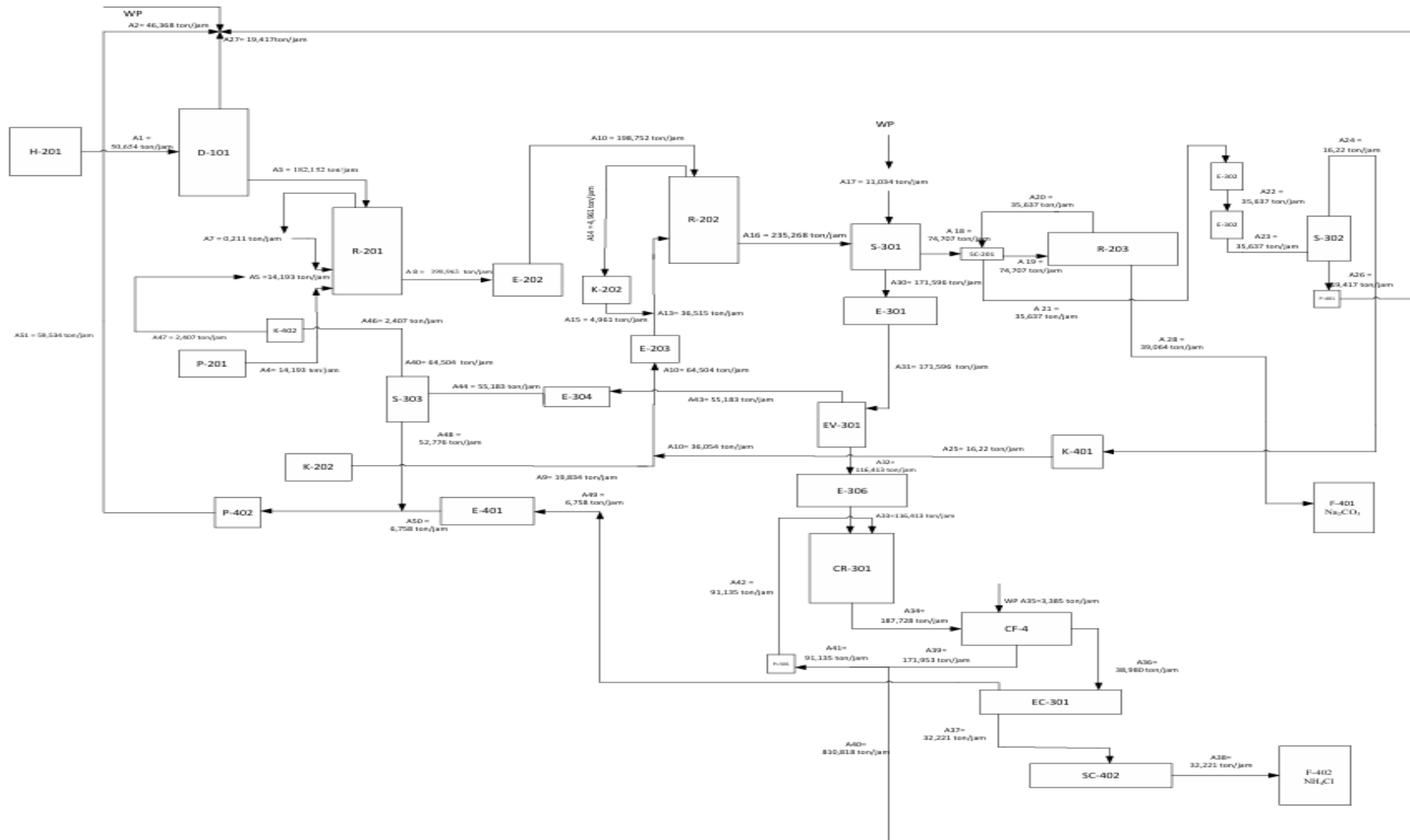
8. Tahap *Grinding Sizing* dan Penyimpanan

Padatan Na_2CO_3 yang telah didinginkan oleh Pendingin (SC-401) akan dialirkan menuju *Ball Mill* (X-401) agar dihancurkan menjadi ukuran 100 mesh. Dilakukan terus menerus hingga dapat melewati ukuran 100 mesh pada ayakan (Z-401), jikalau belum sesuai akan dialirkan kembali menuju ke *Ball Mill* (X-401) menggunakan *Bucket Elevator* (EL-401). Produk Na_2CO_3 yang sudah sesuai spesifikasi akan dialirkan menuju Silo Penyimpanan (F-401) menggunakan bantuan *Bucket Elevator* (EL-402).

Kristal NH_4Cl yang sudah didinginkan oleh pendingin (SC-2) akan dialirkan menuju *Ball Mill* (X-402) agar dihancurkan menjadi ukuran 100 mesh. Dilakukan terus menerus hingga dapat melewati ukuran 100 mesh pada ayakan (Z-402), jikalau belum sesuai akan dialirkan kembali menuju ke *Ball Mill* (X-402) menggunakan *Bucket Elevator* (EL-403). Produk NH_4Cl yang sudah sesuai spesifikasi akan dialirkan menuju Silo Penyimpanan (F-402) menggunakan bantuan *Bucket Elevator* (EL-404).

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa



Gambar 2.2 Diagram Alir Neraca Massa

Keterangan:

- Arus 1 : Umpan NaCl padat dari Hopper (H-101) masuk Dissolver Tank (D-101)
- Arus 2 : Air proses (H_2O) sebagai pelarut masuk Dissolver Tank (D-101)
- Arus 3 : Larutan NaCl jenuh keluar Dissolver Tank (D-101) menuju Absorber (R-201)
- Arus 4 : Amonia cair dipompa oleh P-201 menuju vaporizer E-201
- Arus 5 : Aliran amonia gas menuju mixer tee aliran 5 yang menemukan gas recycle $CO_2 + NH_3$ dari arus 47 dan 7
- Arus 6 : Aliran gas/larutan sisa dari Dissolver (D-101) menuju kompresor K-201
- Arus 7 : Aliran gas/larutan sisa dari Dissolver (D-101) menuju Absorber (R-201)
- Arus 8 : Larutan amoniakal keluar Absorber (R-201) menuju Cooler (E-202)
- Arus 9 : Larutan amoniakal keluar Cooler (E-202)
- Arus 10 : Larutan amoniakal (hasil pendinginan) masuk Carbonation Tower (R-202)
- Arus 11 : Gas CO_2 dikompresi oleh K-202 menuju mixer tee arus 12 dengan hasil recycle gas CO_2
- Arus 12 : Kumpulan gas CO_2 dialirkan menuju E-203 untuk didinginkan
- Arus 13 : Keluaran E-203 lalu dimix oleh keluaran arus 15 berisikan gas CO_2 menuju ke Carbonation Tower R-202
- Arus 14 : Aliran keluaran gas sisa dari R-202
- Arus 15 : Aliran keluar Kompresor 3 (K-203)
- Arus 16 : Slurry $NaHCO_3$ keluar Carbonation Tower (R-202) menuju Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)
- Arus 17 : Air Pencuci di Rotary Drum Vacuum Filter
- Arus 18 : Cake $NaHCO_3$ keluar Rotary Drum Vacuum Filter (S-301) menuju Screw Conveyor (HC-201)
- Arus 19 : Cake $NaHCO_3$ dari Screw Conveyor (HC-201) masuk Reaktor Screw Kalsiner (R-203)
- Arus 20 : Gas/uap keluar Reaktor Screw Kalsiner (R-203)
- Arus 21 : Gas/uap keluar dari Screw Conveyor (HC-201)

- Arus 22 : Keluaran cooler E-302 gas CO₂ dan kondensat H₂O dan masuk ke E-303
- Arus 23 : Pendinginan gas CO₂ dan kondensat H₂O lebih lanjut di E-303
- Arus 24 : Gas/udara keluar Separator (S-302)
- Arus 25 : Gas CO₂ dari Kompresor (K-401)
- Arus 26 : Kondensat air yang akan dipompa oleh P-401
- Arus 27 : Aliran recycle dari Separator (S-302) kembali ke Dissolver (D-101)
- Arus 28 : Produk Na₂CO₃ keluaran R-203 masuk ke cooler conveyor SC-401
- Arus 29 : Keluaran produk Na₂CO₃ dari SC-401 setelah didinginkan
- Arus 30 : Filtrat / mother liquor keluar Rotary Drum Vacuum Filter (S-301) menuju Heater (E-301)
- Arus 31 : Mother liquor setelah dipanaskan (E-301) menuju Evaporator (EV-301)
- Arus 32 : Larutan pekat NH₄Cl keluar Evaporator (EV-301) menuju Cooler (E-306)
- Arus 33 : Larutan pekat NH₄Cl setelah didinginkan (E-306) menuju Crystallizer (CR-301)
- Arus 34 : Slurry kristal NH₄Cl keluar Crystallizer (CR-301)
- Arus 35 : Air pencuci untuk centrifuge (CF-301)
- Arus 36 : Kristal NH₄Cl keluar Dryer Conveyor (EC-301)
- Arus 37 : Kristal NH₄Cl setelah dikurangi kadar air oleh EC-301
- Arus 38 : Kristal NH₄Cl dari Cooling Conveyor (SC-402) menuju Tangki Produk (F-402)
- Arus 39 : Mother liquor keluar Centrifuge (CF-301)
- Arus 39 : Menuju ke titik purging
- Arus 40 : Aliran dikelola diunit pengolahan limbah
- Arus 41 : Mother liquor dipompa oleh P-301 menuju ke kristallizer (CR-301)
- Arus 42 : Mother liquor (recycle) keluar Pompa 4 (P-301)
- Arus 43 : Uap air dan gas CO₂ – NH₃ keluar Evaporator (EV-301)
- Arus 44 : Uap air dan gas CO₂ – NH₃ keluar dari E-304
- Arus 45 : Uap air dan gas CO₂ – NH₃ keluar dari E-305 menuju ke separator 2 (E-305)

- Arus 46 : Gas CO₂ dan NH₃ keluar Separator 2 (S-303)
- Arus 47 : Gas menuju Kompresor 5 (K-402)
- Arus 48 : kondensat air keluar menuju mixer tee arus 50
- Arus 49 : Aliran uap air melalui Cooler (E-401)
- Arus 50 : Aliran air keluar Cooler (E-401)
- Arus 51 : Aliran air keluar P-402 menuju proses recycle ke Dissolver Tank (D-101)

1. Storage (F-101)

Tabel 2.4 Neraca Massa Storage (F-101)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran F-101	Aliran CV-101
NaCl (s)	48,705	48,705
H ₂ O (l)	1,948	1,948
Total	50,654	50,654

2. Belt Conveyor (CV-101)

Tabel 2.5 Neraca Massa Belt Conveyor (CV-101)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran CV-101	Hopper 1
NaCl (s)	48,705	48,705
H ₂ O (l)	1,948	1,948
Total	50,654	50,654

3. Hopper (H-101)

Tabel 2.6 Neraca Massa Hopper (H-101)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Hopper 1	Aliran 1
NaCl (s)	48,705	48,705
H ₂ O (l)	1,948	1,948
Total	50,654	50,654

4. Dissolver (D-101)

Tabel 2.7 Neraca Massa Dissolver (D-101)

Komponen	Input (Ton/jam)				Output (Ton/jam)
	Aliran 1	Aliran 2	Aliran 27	Aliran 48	Aliran 3
NaCl (s)	48,705				
H ₂ O (l)	1,948	52,547	19,417	59,534	133,447
NaCl (aq)					48,705
Total		182,152			182,152

5. Vaporizer (E-201)

Tabel 2.8 Neraca Massa Vaporizer (E-201)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 4	Aliran 5
NH ₃ (g)		14,053
H ₂ O (g)		0,141
NH ₃ (l)	14,053	
H ₂ O (l)	0,141	
Total	14,193	14,193

6. Kompresor 1 (K-201)

Tabel 2.9 Neraca Massa Kompresor 1 (K-201)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 6	Aliran 7
NH ₃ (g)	0,163	0,163
CO ₂ (g)	0,048	0,048
Total	0,211	0,211

7. Pompa 1 (P-201)

Tabel 2.10 Neraca Massa Pompa 1 (P-201)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	F-102	Aliran 4
NH ₃ (l)	14,053	14,053
H ₂ O (l)	0,141	0,141
Total	14,193	14,193

8. Absorber (R-201)

Tabel 2.11 Neraca Massa Absorber (R-201)

Komponen	Input (Ton/jam)				Output (Ton/jam)
	Aliran 3	Aliran 5	Aliran 47	Aliran 7	Aliran 8
H ₂ O (l)	133,447				116,548
H ₂ O (g)		0,141			
NaCl (aq)	48,705				48,243
NH ₃ (g)		14,053	2,055	0,163	
CO ₂ (g)			0,352	0,048	
NH ₄ OH (aq)					32,868
NH ₄ HCO ₃ (aq)					0,006
NaHCO ₃ (aq)					0,664

Komponen	Input (Ton/jam)				Output (Ton/jam)
	Aliran 3	Aliran 5	Aliran 47	Aliran 7	Aliran 8
NH ₄ Cl (aq)					0,423
Total		198,963			198,963

9. Cooler 1 (E-202)

Tabel 2.12 Neraca Massa Cooler 1 (E-202)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 8	Aliran 9
H ₂ O (l)	116,548	116,548
NaCl (aq)	48,243	48,243
NH ₄ OH (aq)	32,868	32,868
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,006	0,006
NaHCO ₃ (aq)	0,664	0,664
NH ₄ Cl (aq)	0,423	0,423
Total	198,752	198,752

10. Pompa 2 (P-202)**Tabel 2.13** Neraca Massa Pompa 2 (P-202)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 9	Aliran 10
H ₂ O (l)	116,548	116,548
NaCl (aq)	48,243	48,243
NH ₄ OH (aq)	32,868	32,868
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,006	0,006
NaHCO ₃ (aq)	0,664	0,664
NH ₄ Cl (aq)	0,423	0,423
Total	198,752	198,752

11. Kompresor 2 (K-202)**Tabel 2.14** Neraca Massa Kompresor 2 (K-202)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	CO ₂ Feed	Aliran 11
CO ₂ (g)	20,094	20,094
H ₂ O (g)	0,201	0,201
Total	20,295	20,295

12. Mixer Tee

Tabel 2.15 Neraca Massa Mixer Tee

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)
	Aliran 11	Aliran 25	Aliran 12
CO ₂ (g)	20,094	16,220	36,314
H ₂ O (g)	0,201		0,201
Total	36,515		36,515

13. Cooler 2 (E-203)

Tabel 2.16 Neraca Massa Cooler 2 (E-203)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 12	Aliran 13
CO ₂ (g)	36,314	36,314
H ₂ O (g)	0,201	0,201
Total	36,515	36,515

14. Carbonation Tower (R-202)

Tabel 2.17 Neraca Massa Carbonation Tower (R-202)

Komponen	Input (Ton/jam)			Output (Ton/jam)	
	Aliran 10	Aliran 13	Aliran 15	Aliran 16	Aliran 14
H ₂ O (l)	116,548			116,749	
H ₂ O (g)		0,201			

Komponen	Input (Ton/jam)			Output (Ton/jam)	
	Aliran 10	Aliran 13	Aliran 15	Aliran 16	Aliran 14
NaCl (aq)	48,243			0,482	
NH ₄ OH (aq)	32,868			3,950	
CO ₂ (g)		36,314	4,961		4,961
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,006			0,632	
NaHCO ₃ (aq)	0,664			69,318	
NH ₄ Cl(aq)	0,423			44,138	
Total		240,229		240,229	

15. Kompresor 3 (K-203)

Tabel 2.18 Neraca Massa Kompresor 3 (K-203)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 14	Aliran 15
CO ₂ (g)	4,961	4,961
Total	4,961	4,961

16. Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)

Tabel 2.19 Neraca Massa Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)	
	Aliran 16	Aliran 17	Aliran 30	Aliran 18
H ₂ O (l)	116,749	11,034	115,005	12,778

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)	
	Aliran 16	Aliran 17	Aliran 30	Aliran 18
NaCl (aq)	0,482		0,482	
NH ₄ OH (aq)	3,950		3,950	
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,632		0,632	
NaHCO ₃ (aq)	69,318		7,389	
NaHCO ₃ (s)				61,928
NH ₄ Cl(aq)	44,138		44,138	
Total	246,302		246,302	

17. Heater Conveyor (HC-201)

Tabel 2.20 Neraca Massa Heater Conveyor (HC-201)

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)	
	Aliran 18	Aliran 20	Aliran 19	Aliran 21
H ₂ O (l)	12,778		12,778	
NaHCO ₃ (s)	61,928		61,928	
CO ₂ (g)		16,220		16,220
H ₂ O (g)		19,417		19,417
Total	110,343		110,343	

18. Reaktor Screw Kalsiner (R-203)

Tabel 2.21 Neraca Massa Reaktor Screw Kalsiner (R-203)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)	
	Aliran 19	Aliran 28	Aliran 20
H ₂ O (l)	12,778	0,001	
NaHCO ₃ (s)	61,928	0,006	
CO ₂ (g)			16,220
H ₂ O (g)			19,417
Na ₂ CO ₃ (s)		39,063	
Total	74,707	74,707	

19. Cooler 3 (E-302)

Tabel 2.22 Neraca Massa Cooler 3 (E-302)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 21	Aliran 22
CO ₂ (g)	16,220	16,220
H ₂ O (g)	19,417	
H ₂ O (l)		19,417
Total	35,637	35,637

20. Cooler 4 (E-303)**Tabel 2.23** Neraca Massa Cooler 4 (E-303)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 22	Aliran 23
CO ₂ (g)	16,220	16,220
H ₂ O (g)	19,417	
H ₂ O (l)		19,417
Total	35,637	35,637

21. Cooling Conveyor 1 (SC-401)**Tabel 2.24** Neraca Massa Cooling Conveyor 1 (SC-401)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 28	Aliran 29
Na ₂ CO ₃ (s)	39,063	39,063
NaHCO ₃ (s)	0,006	0,006
H ₂ O (l)	0,001	0,001
Total	39,070	39,070

22. Separator 1 (S-302)**Tabel 2.25** Neraca Massa Separator 1 (S-302)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)	
	Aliran 23	Aliran 26	Aliran 24
CO ₂ (g)	16,220		16,220
H ₂ O (l)	19,417	19,417	
Total	35,637		35,637

23. Pompa 3 (P-401)**Tabel 2.26** Neraca Massa Pompa 3 (P-401)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 26	Aliran 27
H ₂ O (l)	19,417	19,417
Total	19,417	19,417

24. Kompresor 4 (K-401)**Tabel 2.27** Neraca Massa Kompresor 4 (K-401)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 24	Aliran 25
CO ₂ (g)	16,220	16,220
Total	16,220	16,220

25. Heater (E-301)**Tabel 2.28** Neraca Massa Heater (E-301)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 30	Aliran 31
NH ₄ Cl(aq)	44,138	44,138
H ₂ O (l)	115,005	115,005
NaCl (aq)	0,482	0,482
NH ₄ OH (aq)	3,950	0,000
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,632	0,000
NaHCO ₃ (aq)	7,389	7,389
NH ₃ (g)		2,055
CO ₂ (g)		0,352
H ₂ O (g)		2,174
Total	171,596	171,596

26. Evaporator (EV-301)**Tabel 2.29** Neraca Massa Evaporator (EV-301)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)	
	Aliran 31	Aliran 32	Aliran 43
NH ₄ Cl(aq)	44,138	44,138	
H ₂ O (l)	115,005	64,403	

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)	
	Aliran 31	Aliran 32	Aliran 43
NaCl (aq)	0,482	0,482	
NH ₄ OH (aq)	0,000	0,000	
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,000	0,000	
NaHCO ₃ (aq)	7,389	7,389	
NH ₃ (g)	2,055		2,055
CO ₂ (g)	0,352		0,352
H ₂ O (g)	2,174		52,776
Total	171,596	171,596	

27. Cooler 5 (E-304)

Tabel 2.30 Neraca Massa Cooler 5 (E-304)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 43	Aliran 44
NH ₃ (g)	2,055	2,055
CO ₂ (g)	0,352	0,352
H ₂ O (g)	52,776	
H ₂ O (l)		52,776
Total	55,183	55,183

28. Cooler 6 (E-305)**Tabel 2.31** Neraca Massa Cooler 6 (E-305)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 44	Aliran 45
NH ₃ (g)	2,055	2,055
CO ₂ (g)	0,352	0,352
H ₂ O (l)	52,776	52,776
Total	55,183	55,183

29. Cooler 7 (E-306)**Tabel 2.32** Neraca Massa Cooler 7 (E-306)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 32	Aliran 33
NH ₄ Cl(aq)	44,138	44,138
H ₂ O (l)	64,403	64,403
NaCl (aq)	0,482	0,482
NH ₄ OH (aq)	0,000	0,000
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,000	0,000
NaHCO ₃ (aq)	7,389	7,389
Total	116,413	116,413

30. Separator 2 (S-303)**Tabel 2.33** Neraca Massa Separator 2 (S-303)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)	
	Aliran 45	Aliran 46	Aliran 48
NH ₃ (g)	2,055	2,055	
CO ₂ (g)	0,352	0,352	
H ₂ O (l)	52,776		52,776
Total	55,183	55,183	

31. Kompresor 5 (K-402)**Tabel 2.34** Neraca Massa Kompresor 5 (K-402)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 46	Aliran 47
NH ₃ (g)	2,055	2,055
CO ₂ (g)	0,352	0,352
Total	2,407	2,407

32. Crystallizer (CR-301)**Tabel 2.35** Neraca Massa Crystallizer (CR-301)

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)
	Aliran 33	Aliran 42	Aliran 34
NH ₄ Cl(aq)	44,138	13,536	23,849

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)
	Aliran 33	Aliran 42	Aliran 34
H ₂ O (l)	64,403	68,743	133,146
NaCl (aq)	0,482	0,544	1,026
NH ₄ OH (aq)	0,000	0,000	0,001
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,000	0,000	0,000
NaHCO ₃ (aq)	7,389	8,311	15,680
NaHCO ₃ (s)			0,020
NH ₄ Cl(s)			33,825
Total	207,548		207,548

33. Centrifuge (CF-301)

Tabel 2.36 Neraca Massa Centrifuge (CF-301)

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)	
	Aliran 34	Aliran 35	Aliran 39	Aliran 36
NH ₄ Cl(aq)	23,849		25,540	
H ₂ O (l)	133,146	3,385	129,704	6,827
NaCl (aq)	1,026		1,026	
NH ₄ OH (aq)	0,001		0,001	
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,000		0,000	
NaHCO ₃ (aq)	15,680		15,681	

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)	
	Aliran 34	Aliran 35	Aliran 39	Aliran 36
NaHCO ₃ (s)	0,020			0,019
NH ₄ Cl(s)	33,825			32,134
Total	210,932		210,932	

34. Purge

Tabel 2.37 Neraca Massa Purge

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)	
	Aliran 39	Aliran 41	Aliran 40	
NH ₄ Cl(aq)	25,540	13,536	12,004	
H ₂ O (l)	129,704	68,743	60,961	
NaCl (aq)	1,026	0,544	0,482	
NH ₄ OH (aq)	0,001	0,000	0,000	
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,000	0,000	0,000	
NaHCO ₃ (aq)	15,681	8,311	7,370	
Total	171,953		171,953	

35. Pompa 4 (P-301)**Tabel 2.38** Neraca Massa Pompa 4 (P-301)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 41	Aliran 42
NH ₄ Cl(aq)	13,536	13,536
H ₂ O (l)	68,743	68,743
NaCl (aq)	0,544	0,544
NH ₄ OH (aq)	0,000	0,000
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,000	0,000
NaHCO ₃ (aq)	8,311	8,311
Total	91,135	91,135

36. Dryer Conveyor (EC-301)**Tabel 2.39** Neraca Massa Dryer Conveyor (EC-301)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)	
	Aliran 36	Aliran 37	Aliran 49
H ₂ O (l)	6,827	0,068	
H ₂ O (g)			6,758
NaHCO ₃ (s)	0,019	0,019	
NH ₄ Cl(s)	32,134	32,134	
Total	38,980	38,980	

37. Cooling Conveyor 2 (SC-402)**Tabel 2.40** Neraca Massa Cooling Conveyor 2 (SC-402)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 37	Aliran 38
H ₂ O (l)	0,068	0,068
NaHCO ₃ (s)	0,019	0,019
NH ₄ Cl(s)	32,134	32,134
Total	32,221	32,221

38. Cooler 8 (E-401)**Tabel 2.41** Neraca Massa Cooler 8 (E-401)

Komponen	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
	Aliran 49	Aliran 50
H ₂ O (g)	6,758	
H ₂ O (l)		6,758
Total	6,758	6,758

39. Pompa 5 (P-402)**Tabel 2.42** Neraca Massa Pompa 5 (P-402)

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)
	Aliran 50	Aliran 48	Aliran 51
H ₂ O (l)	6,758	52,776	59,534

Komponen	Input (Ton/jam)		Output (Ton/jam)
	Aliran 50	Aliran 48	Aliran 51
Total	59,534		59,534

40. Neraca Massa Overall

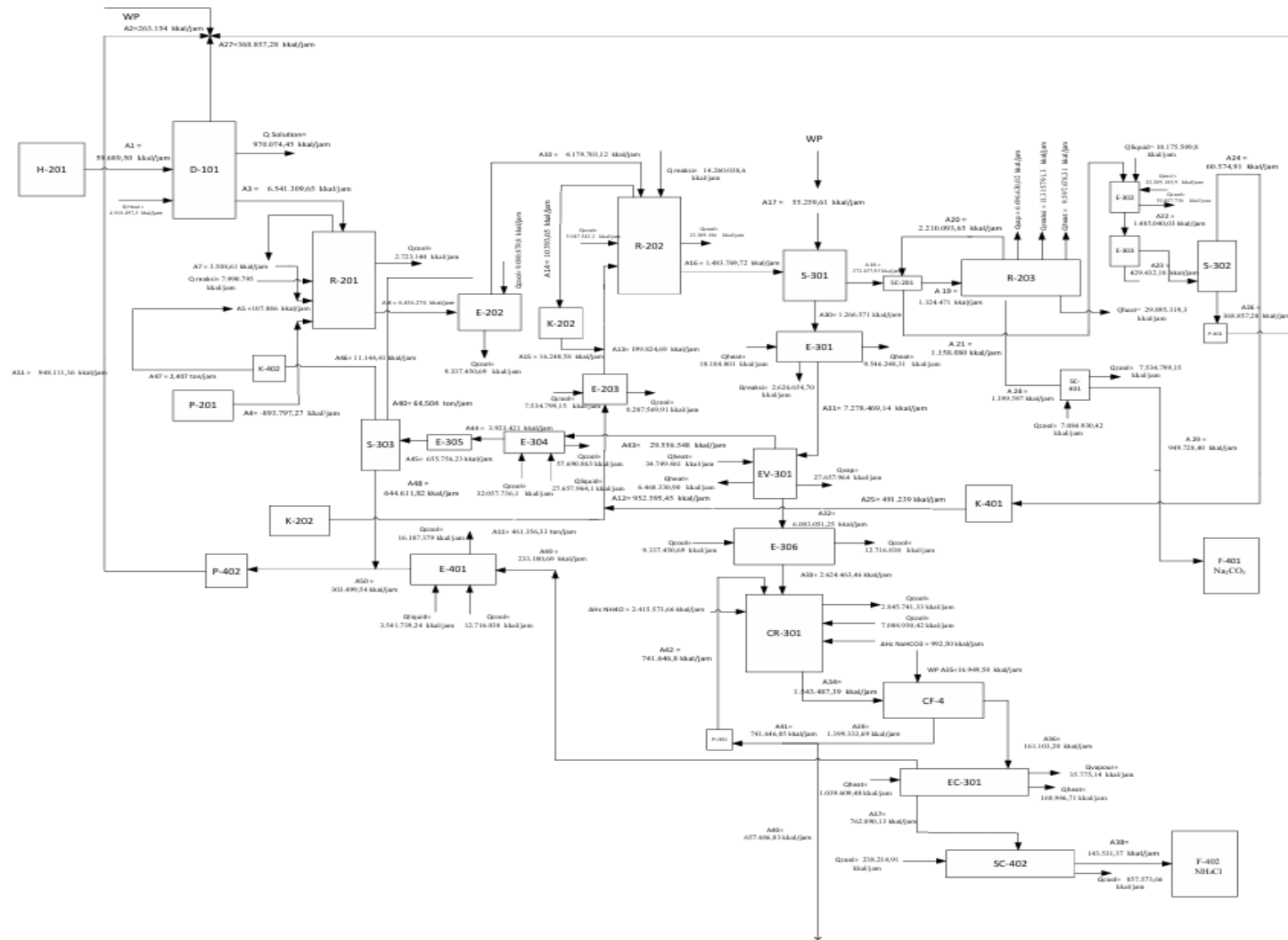
Tabel 2.43 Neraca Massa Overall (Keseluruhan Proses)

No	Alat	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
1	Storage (F-101)	50,654	50,654
2	Belt Conveyor (CV-101)	50,654	50,654
3	Hopper (H-101)	50,654	50,654
4	Dissolver (D-101)	182,152	182,152
5	Vaporizer (E-201)	14,193	14,193
6	Kompresor 1 (K-201)	0,211	0,211
7	Pompa 1 (P-201)	14,193	14,193
8	Absorber (R-201)	198,963	198,963
9	Cooler 1 (E-202)	198,752	198,752
10	Pompa 2 (P-202)	198,752	198,752
11	Kompresor 2 (K-202)	20,295	20,295
12	Mixer Tee	36,515	36,515
13	Cooler 2 (E-203)	36,515	36,515

No	Alat	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
14	Carbonation Tower (R-202)	240,229	240,229
15	Kompresor 3 (K-203)	4,961	4,961
16	Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)	246,302	246,302
17	Heater Conveyor (HC-201)	110,343	110,343
18	Reaktor Screw Kalsiner (R-203)	74,707	74,707
19	Cooler 3 (E-302)	35,637	35,637
20	Cooler 4 (E-303)	35,637	35,637
21	Cooling Conveyor 1 (SC-401)	39,070	39,070
22	Separator 1 (S-302)	35,637	35,637
23	Pompa 3 (P-401)	19,417	19,417
24	Kompresor 4 (K-401)	16,220	16,220
25	Heater (E-301)	171,596	171,596
26	Evaporator (EV-301)	171,596	171,596
27	Cooler 5 (E-304)	55,183	55,183
28	Cooler 6 (E-305)	55,183	55,183
29	Cooler 7 (E-306)	116,413	116,413
30	Separator 2 (S-303)	55,183	55,183
31	Kompresor 5 (K-402)	2,407	2,407
32	Crystallizer (CR-301)	207,548	207,548

No	Alat	Input (Ton/jam)	Output (Ton/jam)
33	Centrifuge (CF-301)	210,932	210,932
34	Purge	171,953	171,953
35	Pompa 4 (P-301)	91,135	91,135
36	Dryer Conveyor (EC-301)	38,980	38,980
37	Cooling Conveyor 2 (SC-402)	32,221	32,221
38	Cooler 8 (E-401)	6,758	6,758
39	Pompa 5 (P-402)	59,534	59,534
Total		3.357,285	3.357,285

2.5.2 Neraca Panas



Gambar 2.3 Diagram Alir Neraca Panas

Keterangan:

- Arus 1 : Umpan NaCl padat dari Hopper (H-101) masuk Dissolver Tank (D-101)
- Arus 2 : Air proses (H_2O) sebagai pelarut masuk Dissolver Tank (D-101)
- Arus 3 : Larutan NaCl jenuh keluar Dissolver Tank (D-101) menuju Absorber (R-201)
- Arus 4 : Amonia cair dipompa oleh P-201 menuju vaporizer E-201
- Arus 5 : Aliran amonia gas menuju mixer tee aliran 5 yang menemukan gas recycle $CO_2 + NH_3$ dari arus 47 dan 7
- Arus 6 : Aliran gas/larutan sisa dari Dissolver (D-101) menuju kompresor K-201
- Arus 7 : Aliran gas/larutan sisa dari Dissolver (D-101) menuju Absorber (R-201)
- Arus 8 : Larutan amoniakal keluar Absorber (R-201) menuju Cooler (E-202)
- Arus 9 : Larutan amoniakal keluar Cooler (E-202)
- Arus 10 : Larutan amoniakal (hasil pendinginan) masuk Carbonation Tower (R-202)
- Arus 11 : Gas CO_2 dikompresi oleh K-202 menuju mixer tee arus 12 dengan hasil recycle gas CO_2
- Arus 12 : Kumpulan gas CO_2 dialirkan menuju E-203 untuk didinginkan
- Arus 13 : Keluaran E-203 lalu dimix oleh keluaran arus 15 berisikan gas CO_2 menuju ke Carbonation Tower R-202
- Arus 14 : Aliran keluaran gas sisa dari R-202
- Arus 15 : Aliran keluar Kompresor 3 (K-203)
- Arus 16 : Slurry $NaHCO_3$ keluar Carbonation Tower (R-202) menuju Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)
- Arus 17 : Air Pencuci di Rotary Drum Vacuum Filter
- Arus 18 : Cake $NaHCO_3$ keluar Rotary Drum Vacuum Filter (S-301) menuju Screw Conveyor (HC-201)
- Arus 19 : Cake $NaHCO_3$ dari Screw Conveyor (HC-201) masuk Reaktor Screw Kalsiner (R-203)
- Arus 20 : Gas/uap keluar Reaktor Screw Kalsiner (R-203)
- Arus 21 : Gas/uap keluar dari Screw Conveyor (HC-201)

- Arus 22 : Keluaran cooler E-302 gas CO₂ dan kondensat H₂O dan masuk ke E-303
- Arus 23 : Pendinginan gas CO₂ dan kondensat H₂O lebih lanjut di E-303
- Arus 24 : Gas/udara keluar Separator (S-302)
- Arus 25 : Gas CO₂ dari Kompresor (K-401)
- Arus 26 : Kondensat air yang akan dipompa oleh P-401
- Arus 27 : Aliran recycle dari Separator (S-302) kembali ke Dissolver (D-101)
- Arus 28 : Produk Na₂CO₃ keluaran R-203 masuk ke cooler conveyor SC-401
- Arus 29 : Keluaran produk Na₂CO₃ dari SC-401 setelah didinginkan
- Arus 30 : Filtrat / mother liquor keluar Rotary Drum Vacuum Filter (S-301) menuju Heater (E-301)
- Arus 31 : Mother liquor setelah dipanaskan (E-301) menuju Evaporator (EV-301)
- Arus 32 : Larutan pekat NH₄Cl keluar Evaporator (EV-301) menuju Cooler (E-306)
- Arus 33 : Larutan pekat NH₄Cl setelah didinginkan (E-306) menuju Crystallizer (CR-301)
- Arus 34 : Slurry kristal NH₄Cl keluar Crystallizer (CR-301)
- Arus 35 : Air pencuci untuk centrifuge (CF-301)
- Arus 36 : Kristal NH₄Cl keluar Dryer Conveyor (EC-301)
- Arus 37 : Kristal NH₄Cl setelah dikurangi kadar air oleh EC-301
- Arus 38 : Kristal NH₄Cl dari Cooling Conveyor (SC-402) menuju Tangki Produk (F-402)
- Arus 39 : Mother liquor keluar Centrifuge (CF-301)
- Arus 39 : Menuju ke titik purging
- Arus 40 : Aliran dikelola diunit pengolahan limbah
- Arus 41 : Mother liquor dipompa oleh P-301 menuju ke kristallizer (CR-301)
- Arus 42 : Mother liquor (recycle) keluar Pompa 4 (P-301)
- Arus 43 : Uap air dan gas CO₂ – NH₃ keluar Evaporator (EV-301)
- Arus 44 : Uap air dan gas CO₂ – NH₃ keluar dari E-304
- Arus 45 : Uap air dan gas CO₂ – NH₃ keluar dari E-305 menuju ke separator 2 (E-305)

Arus 46	:	Gas CO ₂ dan NH ₃ keluar Separator 2 (S-303)
Arus 47	:	Gas menuju Kompresor 5 (K-402)
Arus 48	:	kondensat air keluar menuju mixer tee arus 50
Arus 49	:	Aliran uap air melalui Cooler (E-401)
Arus 50	:	Aliran air keluar Cooler (E-401)
Arus 51	:	Aliran air keluar P-402 menuju proses recycle ke Dissolver Tank (D-101)
Q Solution	D-101	Panas pelarutan (heat of solution) NaCl dalam air
Q Heat	D-101	Panas yang dibawa larutan (pelarutan NaCl) masuk Dissolver Tank
Q cool	R-201	Beban pendinginan larutan amoniakal setelah Absorber
Q reaksi	R-202	Panas reaksi karbonasi (pembentukan NaHCO ₃) di Carbonation Tower
Q cool	R-202	Beban pendinginan pada Carbonation Tower (reaksi eksotermis)
Q cool	E-202	Beban pendinginan larutan sebelum Carbonation Tower
Q cool	E-203	Beban pendinginan saat penguapan amoni cair
Q cool	E-302 / E-303	Beban pendinginan produk gas H ₂ O dan CO ₂ keluar Reaktor Screw Kalsiner
Q liquid	E-302 / E-303	Panas laten fraksi cair pada aliran H ₂ O di E-302
Q cool	SC-401	Beban pendinginan pada Cooling Conveyor produk
Q heat	E-301	Beban pemanasan mother liquor sebelum Evaporator
Q reaksi	E-301 / EV-301	Panas reaksi/pelepasan pada pemanasan mother liquor
Q vapour	EV-301	Panas penguapan air Evaporator
Q heat	EV-301	Beban pemanasan pada Evaporator

Q liquid	E-304	Panas sensibel cairan & beban pendinginan uap dari Evaporator
Q cool	E-306	Beban pendinginan larutan pekat NH_4Cl sebelum Crystallizer
Q cool	CR-301 / CF-301	Beban pendinginan pada Crystallizer dan Centrifuge
$\Delta H_c \text{ NaHCO}_3$	CR-301	Panas kristalisasi sisa NaHCO_3
$\Delta H_c \text{ NH}_4\text{Cl}$	EC-301	Panas kristalisasi NH_4Cl Crystallizer CR-301
Q heat	EC-301	Beban pemanasan pada Dryer Conveyor
Q cool	SC-402	Beban pendinginan kristal NH_4Cl produk
Q vapour	EC-301	Panas yang dilepas saat pemanasan produk NH_4Cl padat Cooling Conveyor SC-2
Q cool	E-401	Beban pendinginan & panas sensibel cairan pada E-401

1. Storage NaCl (F-101)

Tabel 2.44 Neraca Panas Storage NaCl (F-101)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran F-101	Aliran CV-101
NaCl (s)	49.932,97	49.932,97
H ₂ O (l)	9.756,53	9.756,53
Total	59.689,50	59.689,50

2. Belt Conveyor (CV-101)

Tabel 2.45 Neraca Panas Belt Conveyor (CV-101)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran CV-101	Hopper 1
NaCl (s)	49.932,97	49.932,97
H ₂ O (l)	9.756,53	9.756,53
Total	59.689,50	59.689,50

3. Hopper (H-101)

Tabel 2.46 Neraca Panas Hopper (H-101)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Hopper 1	Aliran 1
NaCl (s)	49.932,97	49.932,97
H ₂ O (l)	9.756,53	9.756,53
Total	59.689,50	59.689,50

4. Dissolver (D-101)

Tabel 2.47 Neraca Panas Dissolver (D-101)

Komponen	Input (kkal/jam)				Output (kkal/jam)
	Aliran 1	Aliran 2	Aliran 27	Aliran 48	Aliran 3
NaCl (s)	49.932,97				

Komponen	Input (kkal/jam)				Output (kkal/jam)
	Aliran 1	Aliran 2	Aliran 27	Aliran 48	Aliran 3
H ₂ O (l)	9.756,53	263.154,02	368.857,28	948.111,36	2.535.084,19
NaCl (aq)					190.409,68
ΔH_S					970.074,45
Q _{heat}	4.901.497,50				2.845.741,33
Total		6.541.309,65			6.541.309,65

5. Vaporizer (E-201)

Tabel 2.48 Neraca Panas Vaporizer (E-201)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 4	Aliran 5
NH ₃ (g)		106.927,10
H ₂ O (g)		958,88
NH ₃ (l)	-885.525,28	
H ₂ O (l)	-8.271,99	
Q _{vap}		4.562.746,31
Q _{heat}	8.287.569,91	2.723.140,35
Total	7.393.772,64	7.393.772,64

6. Kompresor 1 (K-201)

Tabel 2.49 Neraca Panas Kompresor 1 (K-201)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 6	Aliran 7
NH ₃ (g)	2.908,20	3.126,17
CO ₂ (g)	355,72	382,44
W	244,68	
Total	3.508,61	3.508,61

7. Pompa 1 (P-201)

Tabel 2.50 Neraca Panas Pompa 1 (P-201)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	F-102	Aliran 4
NH ₃ (l)	-885.525,28	-885.525,28
H ₂ O (l)	-8.271,99	-8.271,99
Total	-893.797,27	-893.797,27

8. Absorber (R-201)**Tabel 2.51** Neraca Panas Absorber (R-201)

Komponen	Input (kkal/jam)				Output (kkal/jam)	
	Aliran 3	Aliran 5	Aliran 47	Aliran 7	Aliran 8	Aliran 6
H ₂ O (l)	2.535.084,19				4.072.909,43	
H ₂ O (g)		958,88				
NaCl (aq)	190.409,68				348.796,41	
NH ₃ (g)		106.927,10	170.246,32	3.126,17		2.908,20
CO ₂ (g)			70.636,04	382,44		355,72
NH ₄ OH (aq)					271.314,20	
NH ₄ HCO ₃ (aq)					25,72	
NaHCO ₃ (aq)					55,08	
NH ₄ Cl (aq)					4.461,69	
Qreaksi	7.990.795,05					
Qcool	2.723.140,35				9.090.879,76	
Total		13.791.706,22			13.791.706,22	

9. Cooler 1 (E-202)

Tabel 2.52 Neraca Panas Cooler 1 (E-202)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 8	Aliran 9
H ₂ O (l)	4.072.909,43	3.608.447,02
NaCl (aq)	348.796,41	308.631,96
NH ₄ OH (aq)	25,72	252.346,10
NH ₄ HCO ₃ (aq)	25,72	21,51
NaHCO ₃ (aq)	55,08	5.794,85
NH ₄ Cl (aq)	4.461,69	4.461,69
Q cool	9.090.879,76	9.337.450,69
Total	13.517.153,81	13.517.153,81

10. Pompa 2 (P-202)

Tabel 2.53 Neraca Panas Pompa 2 (P-202)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 9	Aliran 10
H ₂ O (l)	3.608.447,02	3.608.447,02
NaCl (aq)	308.631,96	308.631,96
NH ₄ OH (aq)	252.346,10	252.346,10
NH ₄ HCO ₃ (aq)	21,51	21,51

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 9	Aliran 10
NaHCO ₃ (aq)	5.794,85	5.794,85
NH ₄ Cl (aq)	4.461,69	4.461,69
Total	4.179.703,12	4.179.703,12

11. Kompresor 2 (K-202)

Tabel 2.54 Neraca Panas Kompresor 2 (K-202)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	CO ₂ Feed	Aliran 11
CO ₂ (g)	54.283,93	451.795,17
H ₂ O (g)	1.006,32	9.561,16
W	406.066,08	
Total	461.356,33	461.356,33

12. Mixer Tee

Tabel 2.55 Neraca Panas Mixer Tee

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)
	Aliran 11	Aliran 25	Aliran 12
CO ₂ (g)	451.795,17	491.239,12	941.608,13
H ₂ O (g)	9.561,16		10.987,32
Total	952.595,45		952.595,45

13. Cooler 2 (E-203)**Tabel 2.56** Neraca Panas Cooler 2 (E-203)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 12	Aliran 13
CO ₂ (g)	941.608,13	197.464,43
H ₂ O (g)	10.987,32	2.360,26
Q Cool	7.534.799,15	8.287.569,91
Total	8.487.394,60	8.487.394,60

14. Carbonation Tower (R-202)**Tabel 2.57** Neraca Panas Carbonation Tower (R-202)

Komponen	Input (kkal/jam)			Output (kkal/jam)	
	Aliran 10	Aliran 13	Aliran 15	Aliran 16	Aliran 14
H ₂ O (l)	3.608.447,02			1.168.547,44	
H ₂ O (g)		2.360,26		0,00	
NaCl (aq)	308.631,96			990,42	
NH ₄ OH (aq)	252.346,10			9.447,59	
CO ₂ (g)		197.464,43	16.240,58	0,00	10.393,65
NH ₄ HCO ₃ (aq)	21,51			2.248,43	
NaHCO ₃ (aq)	5.794,85			172.755,11	
NH ₄ Cl(aq)	4.461,69			129.780,73	

Komponen	Input (kkal/jam)			Output (kkal/jam)	
	Aliran 10	Aliran 13	Aliran 15	Aliran 16	Aliran 14
Qreaksi	14.260.038,62				
Qcool	5.047.542,25			22.209.185,89	
Total	23.703.349,26			23.703.349,26	

15. Kompresor 3 (K-203)

Tabel 2.58 Neraca Panas Kompresor 3 (K-203)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)	
	Aliran 14		Aliran 15	
CO ₂ (g)	10.393,65		16.240,58	
W	5.846,93			
Total	16.240,58		16.240,58	

16. Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)

Tabel 2.59 Neraca Panas Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)	
	Aliran 16	Aliran 17	Aliran 30	Aliran 18
H ₂ O (l)	1.168.547,44	55.259,61	1.111.232,29	123.470,25
NaCl (aq)	990,42		956,00	
NH ₄ OH (aq)	9.447,59		9.119,37	
NH ₄ HCO ₃ (aq)	2.248,43		2.248,43	

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)	
	Aliran 16	Aliran 17	Aliran 30	Aliran 18
NaHCO ₃ (aq)	172.755,11		17.777,72	
NaHCO ₃ (s)				148.987,67
NH ₄ Cl(aq)	129.780,73		125.237,59	
Total	1.539.029,33		1.539.029,33	

17. Heater Conveyor (HC-201)

Tabel 2.60 Heater Conveyor (HC-201)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)	
	Aliran 18	Aliran 20	Aliran 19	Aliran 21
H ₂ O (l)	123.470,25		599.206,91	
NaHCO ₃ (s)	148.987,67		725.264,26	
CO ₂ (g)		632.486,10		311.021,04
H ₂ O (g)		1.577.607,55		847.059,37
Total	2.482.551,58		2.482.551,58	

18. Reaktor Screw Kalsiner (R-203)

Tabel 2.61 Neraca Panas Reaktor Screw Kalsiner (R-203)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)	
	Aliran 19	Aliran 28	Aliran 20	
H ₂ O (l)	599.206,91	228,34		

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)	
	Aliran 19	Aliran 28	Aliran 20
NaHCO ₃ (s)	725.264,26	270,09	
CO ₂ (g)			632.486,10
H ₂ O (g)			1.577.607,55
Na ₂ CO ₃ (s)		1.399.098,70	
Qvap		6.696.630,02	
Qreaksi		11.315.791,31	
Qheat	29.895.319,25	9.597.678,31	
Total	31.219.790,43	31.219.790,43	

19. Cooler 3 (E-302)

Tabel 2.62 Neraca Panas Cooler 3 (E-302)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 21	Aliran 22
CO ₂ (g)	311.021,04	225.731,64
H ₂ O (g)	847.059,37	
H ₂ O (l)		1.259.308,39
Qliqu	10.175.509,80	
QCool	22.209.185,89	32.057.736,06
Total	33.542.776,09	33.542.776,09

20. Cooler 4 (E-303)**Tabel 2.63** Neraca Panas Cooler 4 (E-303)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 22	Aliran 23
CO ₂ (g)	225.731,64	60.574,91
H ₂ O (g)	1.259.308,39	
H ₂ O (l)		368.857,28
QCool	857.573,66	1.913.181,51
Total	2.342.613,69	2.342.613,69

21. Cooling Conveyor 1 (SC-401)**Tabel 2.64** Neraca Panas Cooling Conveyor 1 (SC-401)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 28	Aliran 29
Na ₂ CO ₃ (s)	1.399.098,70	949.663,52
NaHCO ₃ (s)	270,09	35,50
H ₂ O (l)	228,34	29,37
QCool	7.084.930,42	7.534.799,15
Total	8.484.527,54	8.484.527,54

22. Separator 1 (S-302)

Tabel 2.65 Neraca Panas Separator 1 (S-302)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)	
	Aliran 23	Aliran 26	Aliran 24
CO ₂ (g)	60.574,91		60.574,91
H ₂ O (l)	368.857,28	368.857,28	
Total	429.432,18	429.432,18	

23. Pompa 3 (P-401)

Tabel 2.66 Neraca Panas Pompa 3 (P-401)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 26	Aliran 27
H ₂ O (l)	368.857,28	368.857,28
Total	368.857,28	368.857,28

24. Kompresor 4 (K-401)

Tabel 2.67 Neraca Panas Kompresor 4 (K-401)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 24	Aliran 25
CO ₂ (g)	60.574,91	491.239,12
W	430.664,22	
Total	491.239,12	491.239,12

25. Heater (E-301)**Tabel 2.68** Neraca Panas Heater (E-301)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 30	Aliran 31
NH ₄ Cl(aq)	125.237,59	745.676,24
H ₂ O (l)	1.111.232,29	6.310.926,01
NaCl (aq)	956,00	5.507,64
NH ₄ OH (aq)	9.119,37	5,25
NH ₄ HCO ₃ (aq)	2.248,43	0,38
NaHCO ₃ (aq)	17.777,72	101.289,36
NH ₃ (g)		58.124,13
CO ₂ (g)		2.302,48
H ₂ O (g)		54.637,66
Qreaksi		2.626.654,70
Qheat	18.184.800,75	9.546.248,31
Total	19.451.372,15	19.451.372,15

26. Evaporator (EV-301)

Tabel 2.69 Neraca Panas Evaporator (EV-301)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)	
	Aliran 31	Aliran 32	Aliran 43
NH ₄ Cl(aq)	745.676,24	1.035.959,82	
H ₂ O (l)	6.310.926,01	4.821.415,80	
NaCl (aq)	5.507,64	7.546,07	
NH ₄ OH (aq)	5,25	7,19	
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,38	0,53	
NaHCO ₃ (aq)	101.289,36	138.121,85	
NH ₃ (g)	58.124,13		79.821,48
CO ₂ (g)	2.302,48		5.666,80
H ₂ O (g)	54.637,66		1.813.095,42
Q _{vap}			27.657.964,12
Q _{heat}	34.749.460,83	6.468.330,90	
Total	42.027.929,98	42.027.929,98	

27. Cooler 5 (E-304)

Tabel 2. 70 Neraca Panas Cooler 5 (E-304)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 43	Aliran 44
NH ₃ (g)	79.821,48	63.519,20
CO ₂ (g)	5.666,80	4.507,44
H ₂ O (g)	1.813.095,42	
H ₂ O (l)		3.855.394,59
Qliqui	27.657.964,12	
Qcool	32.057.736,06	57.690.862,65
Total	61.614.283,88	61.614.283,88

28. Cooler 6 (E-305)

Tabel 2.71 Neraca Panas Cooler 6 (E-305)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 44	Aliran 45
NH ₃ (g)	63.519,20	10.407,94
CO ₂ (g)	4.507,44	736,47
H ₂ O (l)	3.855.394,59	644.611,82
Qcool	1.633.832,50	4.901.497,50
Total	5.557.253,73	5.557.253,73

29. Cooler 7 (E-306)**Tabel 2.72** Neraca Panas Cooler 7 (E-306)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 32	Aliran 33
NH ₄ Cl(aq)	1.035.959,82	438.086,84
H ₂ O (l)	4.821.415,80	2.122.312,40
NaCl (aq)	7.546,07	3.287,05
NH ₄ OH (aq)	7,19	3,13
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,53	0,42
NaHCO ₃ (aq)	138.121,85	60.773,61
Qcool	9.337.450,69	12.716.038,49
Total	15.340.501,94	15.340.501,94

30. Separator 2 (S-303)**Tabel 2.73** Neraca Panas Separator 2 (S-303)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)	
	Aliran 45	Aliran 46	Aliran 48
NH ₃ (g)	10.407,94	10.407,94	
CO ₂ (g)	736,47	736,47	
H ₂ O (l)	644.611,82		644.611,82
Total	655.756,23	655.756,23	

31. Kompresor 5 (K-402)

Tabel 2.74 Neraca Panas Kompresor 5 (K-402)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 46	Aliran 47
NH ₃ (g)	10.407,94	170.246,32
CO ₂ (g)	736,47	70.636,04
W	229.737,95	
Total	240.882,36	240.882,36

32. Crystallizer (CR-301)

Tabel 2.75 Neraca Panas Crystallizer (CR-301)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)
	Aliran 33	Aliran 42	Aliran 34
NH ₄ Cl(aq)	438.086,84	39.370,47	70.124,89
H ₂ O (l)	2.122.312,40	680.679,33	1.332.665,44
NaCl (aq)	3.287,05	1.104,85	2.107,29
NH ₄ OH (aq)	3,13	1,05	2,01
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,42	0,47	0,89
NaHCO ₃ (aq)	60.773,61	20.490,68	39.078,53
NaHCO ₃ (s)			50,68
NH ₄ Cl(s)			99.457,66

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)
	Aliran 33	Aliran 42	Aliran 34
$\Delta H_c \text{ NaHCO}_3$	992,50		
$\Delta H_c \text{ NH}_4\text{Cl}$	2.415.573,66		
Qcool	2.845.741,33		7.084.930,42
Total	8.628.417,80		8.628.417,80

33. Centrifuge (CF-301)

Tabel 2.76 Neraca Panas Centrifuge (CF-301)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)	
	Aliran 34	Aliran 35	Aliran 39	Aliran 36
$\text{NH}_4\text{Cl(aq)}$	70.124,89		74.283,90	
$\text{H}_2\text{O (l)}$	1.332.665,44	16.949,50	1.284.300,62	67.594,77
NaCl (aq)	2.107,29		2.084,62	
$\text{NH}_4\text{OH (aq)}$	2,01		1,99	
$\text{NH}_4\text{HCO}_3\text{(aq)}$	0,89		0,89	
$\text{NaHCO}_3\text{(aq)}$	39.078,53		38.661,67	
$\text{NaHCO}_3\text{(s)}$	50,68			47,63
$\text{NH}_4\text{Cl(s)}$	99.457,66			93.460,80
Total	1.560.436,88		1.560.436,88	

34. Purge

Tabel 2.77 Neraca Panas Purge

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)	
	Aliran 39	Aliran 41	Aliran 40
NH ₄ Cl(aq)	74.283,90	39.370,47	34.913,43
H ₂ O (l)	1.284.300,62	680.679,33	603.621,29
NaCl (aq)	2.084,62	1.104,85	979,77
NH ₄ OH (aq)	1,99	1,05	0,93
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,89	0,47	0,42
NaHCO ₃ (aq)	38.661,67	20.490,68	18.170,98
Total	1.399.333,69	1.399.333,69	

35. Pompa 4 (P-301)

Tabel 2.78 Neraca Panas Pompa 4 (P-301)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 41	Aliran 42
NH ₄ Cl(aq)	39.370,47	39.370,47
H ₂ O (l)	680.679,33	680.679,33
NaCl (aq)	1.104,85	1.104,85
NH ₄ OH (aq)	1,05	1,05
NH ₄ HCO ₃ (aq)	0,47	0,47

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 41	Aliran 42
NaHCO ₃ (aq)	20.490,68	20.490,68
Total	741.646,85	741.646,85

36. Rotary Dryer (EC-301)

Tabel 2.79 Neraca Panas Rotary Dryer (EC-301)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)	
	Aliran 36	Aliran 37	Aliran 49
H ₂ O (l)	67.594,77	5.130,82	
H ₂ O (g)			233.100,69
NaHCO ₃ (s)	47,63	362,53	
NH ₄ Cl(s)	93.460,80	757.396,78	
Q _{vap}		35.775,14	
Q _{heat}	1.039.609,48	168.946,71	
Total	1.200.712,68	1.200.712,68	

37. Cooling Conveyor 2 (SC-402)

Tabel 2.80 Neraca Panas Cooling Conveyor 2 (SC-402)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 37	Aliran 38
H ₂ O (l)	5.130,82	1.024,27

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 37	Aliran 38
NaHCO ₃ (s)	362,53	72,22
NH ₄ Cl(s)	757.396,78	142.434,88
Qcool	238.214,91	857.573,66
Total	1.001.105,03	1.001.105,03

38. Cooler 8 (E-401)

Tabel 2.81 Neraca Panas Cooler 8 (E-401)

Komponen	Input (kkal/jam)	Output (kkal/jam)
	Aliran 49	Aliran 50
H ₂ O (g)	233.100,69	
H ₂ O (l)		303.499,54
Qliqu	3.541.739,24	
Qcool	12.716.038,49	16.187.378,88
Total	16.490.878,42	16.490.878,42

39. Pompa 5 (P-402)**Tabel 2.82** Neraca Panas Pompa 5 (P-402)

Komponen	Input (kkal/jam)		Output (kkal/jam)
	Aliran 50	Aliran 48	Aliran 51
H ₂ O (l)	303.499,54	644.611,82	948.111,36
Total		948.111,36	948.111,36

40. Neraca Panas Overall (Keseluruhan Proses)

Tabel 2. 83 Neraca Panas Overall (Keseluruhan Proses)

No	Alat	Q Input (kkal/jam)	Q Output (kkal/jam)
1	Storage NaCl (F-101)	59.689,50	59.689,50
2	Belt Conveyor (CV-101)	59.689,50	59.689,50
3	Hopper (H-101)	59.689,50	59.689,50
4	Dissolver (D-101)	6.541.309,65	6.541.309,65
5	Vaporizer (E-201)	7.393.772,64	7.393.772,64
6	Kompresor 1 (K-201)	3.508,61	3.508,61
7	Pompa 1 (P-201)	-893.797,27	-893.797,27
8	Absorber (R-201)	13.791.706,22	13.791.706,22
9	Cooler 1 (E-202)	13.517.153,81	13.517.153,81
10	Pompa 1 (P-201)	4.179.703,12	4.179.703,12

No	Alat	Q Input (kkal/jam)	Q Output (kkal/jam)
11	Kompresor 2 (K-202)	461.356,33	461.356,33
12	Mixer Tee	952.595,45	952.595,45
13	Cooler 2 (E-203)	8.487.394,60	8.487.394,60
14	Carbonation Tower (R-202)	23.703.349,26	23.703.349,26
15	Kompresor 3 (K-203)	16.240,58	16.240,58
16	Rotary Drum Vacuum Filter (S-301)	1.539.029,33	1.539.029,33
17	Heater Conveyor (HC-201)	2.482.551,58	2.482.551,58
18	Reaktor Screw Kalsiner (R-203)	31.219.790,43	31.219.790,43
19	Cooler 3 (E-302)	33.542.776,09	33.542.776,09
20	Cooler 4 (E-303)	2.342.613,69	2.342.613,69
21	Cooling Conveyor 1 (SC-401)	8.484.527,54	8.484.527,54
22	Separator 1 (S-302)	429.432,18	429.432,18
23	Pompa 3 (P-401)	368.857,28	368.857,28
24	Kompresor 4 (K-401)	491.239,12	491.239,12
25	Heater (E-301)	19.451.372,15	19.451.372,15
26	Evaporator (EV-301)	42.027.929,98	42.027.929,98
27	Cooler 5 (E-304)	61.614.283,88	61.614.283,88

No	Alat	Q Input (kkal/jam)	Q Output (kkal/jam)
28	Cooler 6 (E-305)	5.557.253,73	5.557.253,73
29	Cooler 7 (E-306)	15.340.501,94	15.340.501,94
30	Separator 2 (S-303)	655.756,23	655.756,23
31	Kompresor 5 (K-402)	240.882,36	240.882,36
32	Crystallizer (CR-301)	8.628.417,80	8.628.417,80
33	Centrifuge (CF-301)	1.560.436,88	1.560.436,88
34	Titik Purge	1.399.333,69	1.399.333,69
35	Pompa 4 (P-301)	741.646,85	741.646,85
36	Dryer Conveyor (EC-301)	1.200.712,68	1.200.712,68
37	Cooling Conveyor 2 (SC-402)	1.001.105,03	1.001.105,03
38	Cooler 8 (E-401)	16.490.878,42	16.490.878,42
39	Pompa 5 (P-402)	948.111,36	948.111,36
Total		336.092.801,76	336.092.801,76

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Tata Letak Pabrik

Setelah penyusunan diagram alir, dilakukan penyusunan layout pabrik yang mencakup perencanaan tata letak bangunan pabrik dan tata letak peralatan proses. Dalam tata letak bangunan pabrik, peralatan pabrik harus ditempatkan sedemikian rupa agar mampu menunjang proses produksi secara efisien. Selain menunjang proses produksi, tata letak pabrik sangat penting untuk kelancaran dan keselamatan para pekerja selama proses produksi berlangsung. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyusunan tata letak pabrik:

- a. Lahan kosong untuk perencanaan perluasan produksi.
- b. Letak bangunan pabrik disesuaikan dengan urutan proses.
- c. Letak bangunan proses dengan area perkantoran terpisah.
- d. Menempatkan bahan-bahan berbahaya di area terisolasi.
- e. Sistem konstruksi proses yang direncanakan adalah tertutup dikarenakan untuk menghindari pengaruh cuaca yang menyebabkan kegiatan produksi terganggu.
- f. Harga tanah cukup mahal sehingga memerlukan efisiensi dalam perencanaan pengaturan ruang atau lahan.

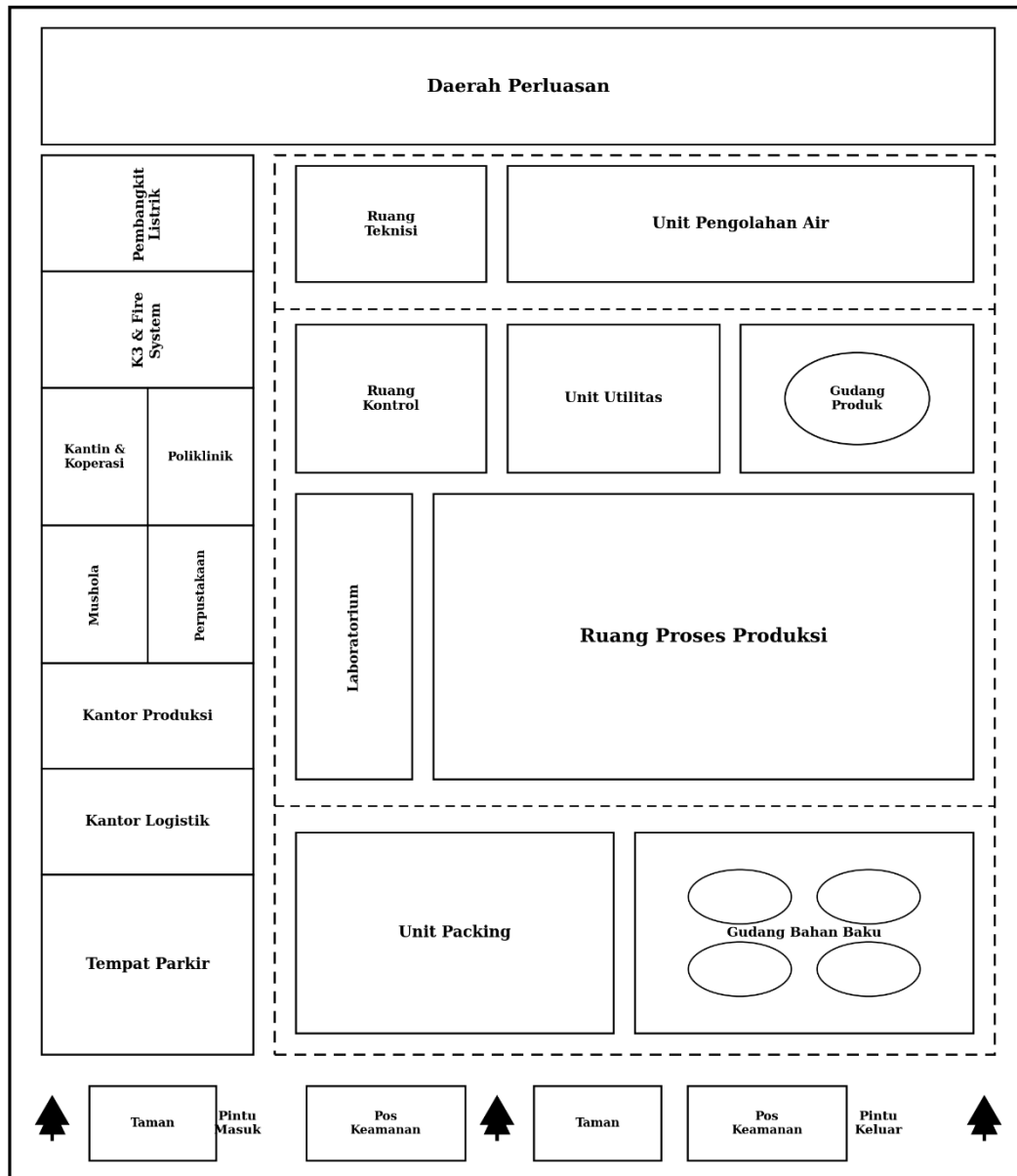
Secara garis besar, tata letak pabrik dibagi kedalam beberapa bagian utama, yaitu:

- a. Daerah perkantoran digunakan untuk mobilisasi keperluan administrasi perusahaan.
- b. Daerah proses sebagai lokasi peletakan alat dan berjalannya proses produksi natrium karbonat.
- c. Daerah penyimpanan umum dan bengkel, sebagai lokasi menyimpan bahan baku dan produk natrium karbonat serta kepentingan bengkel untuk maintenance peralatan.
- d. Daerah laboratorium dan ruang kontrol, sebagai pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual. Laboratorium dan kontrol ini diletakkan dekat dengan daerah proses apabila terjadi sesuatu masalah di daerah proses agar cepat teratasi.
- e. Daerah parkir dan loading bahan baku sebagai lokasi parkir karyawan dan lokasi mobilitas truk bahan baku ke gudang bahan baku.
- f. Daerah utilitas merupakan daerah penyedia bahan pendukung proses, seperti unit penyediaan air dan listrik.

Tabel 2.84 Perincian Luas Tanah Sebagai Bangunan Pabrik

Bangunan / Zona	Luas (m ²)
Pos Keamanan	50
Pembangkit Listrik	3.000
K3 & Fire System	500
Kantin & Koperasi	400
Poliklinik	300
Mushola	200

Bangunan / Zona	Luas (m ²)
Perpustakaan	150
Kantor Produksi	400
Kantor Logistik	300
Tempat Parkir	3.000
Ruang Teknisi	300
Unit Pengolahan Air	3.000
Ruang Kontrol	300
Unit Utilitas	4.000
Gudang Produk	15.000
Laboratorium	400
Ruang Proses Produksi	40.000
Unit Packing	5.000
Gudang Bahan Baku	15.000
Taman	1.000
Jalan	30.000
Daerah Perluasan	46.960
Total	169.260



Gambar 2.4 Layout Pabrik Natrium Karbonat

2.6.1 Tata Letak Peralatan Proses

Dalam penyusunan tata letak pabrik Natrium Karbonat perlu memperhatikan beberapa faktor, yaitu:

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Layout dilakukan untuk menambah efisiensi dan keamanan proses produksi serta memberikan keuntungan secara ekonomi. Penataan peralatan produksi dilakukan dengan memperhatikan aliran bahan baku dan produk. Aliran bahan baku yang menggunakan pompa

dan sistem perpipaan harus ditempatkan sedemikian rupa agar tidak mengganggu lalu lintas pekerja.

2. Ekonomi

Penempatan peralatan proses berorientasi ekonomi untuk memastikan kelancaran dan keamanan produksi pabrik dengan biaya minimal. Tata letak proses harus mempertimbangkan aspek ekonomi berikut:

- a. Keselamatan dan keamanan pekerja harus sudah dipenuhi.
- b. Memastikan bahwa dengan biaya minimal proses produksi tetap dapat berjalan lancar dan aman.
- c. Efektivitas dalam memanfaatkan area pembangunan sehingga tidak terjadi pemborosan tempat.
- d. Biaya bahan dan proses minimal yang mengarah pada pengurangan pengeluaran modal yang tidak diperlukan.

3. Aliran Udara

Aliran udara di dalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan kelancarannya. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat sehingga mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan pekerja.

4. Cahaya

Cahaya berfungsi sebagai penerangan seluruh pabrik. Seluruh pabrik harus mendapat penerangan yang memadai, khususnya pada area proses dengan risiko tinggi untuk menghindari terjadinya kecelakaan.

5. Mobilisasi

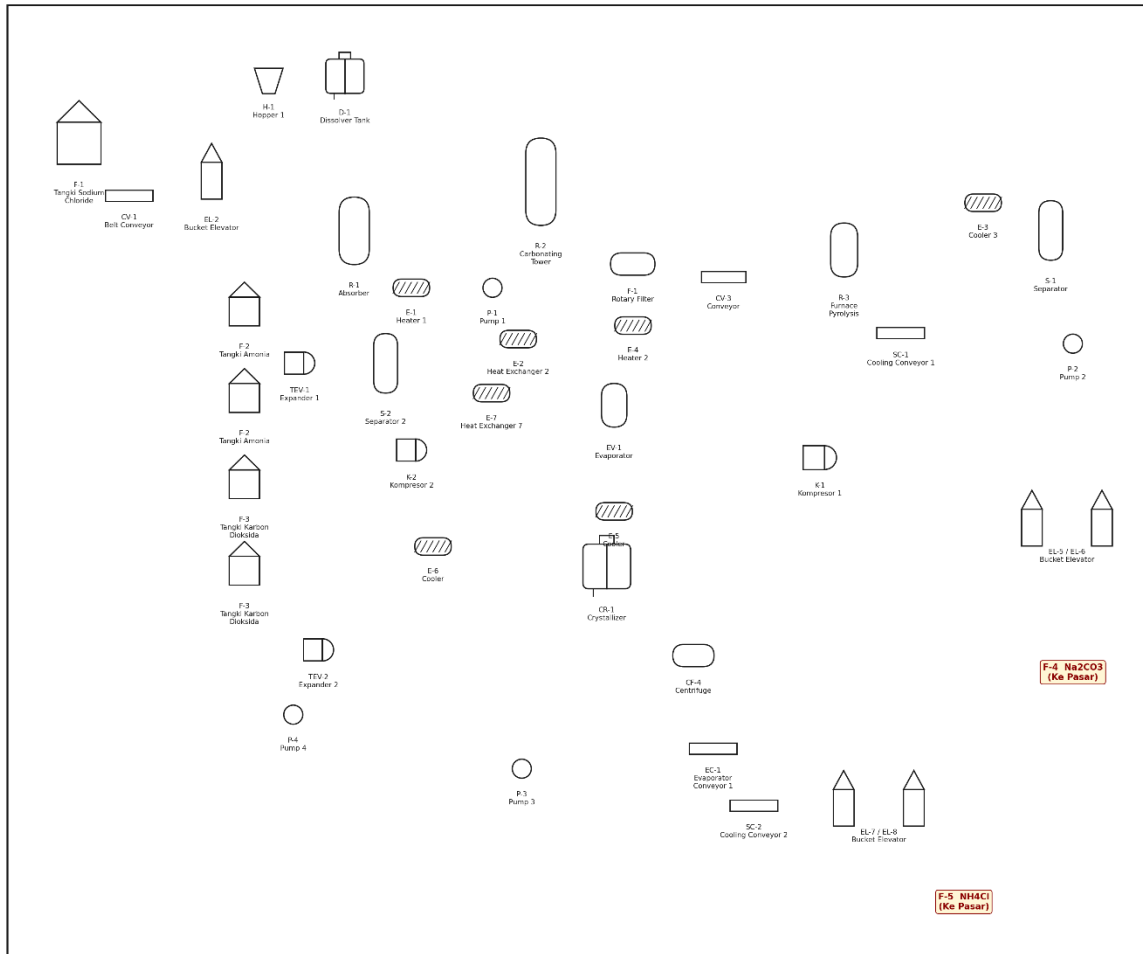
Perancangan layout peralatan pabrik harus diperhatikan agar pelaksanaan produksi berjalan lancar. Pekerja diharapkan dapat mengakses seluruh peralatan produksi dengan cepat dan mudah. Sehingga jika terdapat masalah pada peralatan proses dapat segera diperbaiki. Selain itu, keselamatan pekerja saat menjalankan tugas juga menjadi prioritas.

6. Jarak Antar Proses

Alat proses dengan suhu dan tekanan operasi tinggi harus dipisahkan dari peralatan proses ataupun bahan baku yang sensitif dengan suhu atau tekanan agar tidak membahayakan keselamatan pekerja dan peralatan proses lainnya jika terjadi ledakan atau kebakaran.

7. Operasional Alat

Alat dengan kontrol khusus (*valve, sampling location, instrument*) harus diletakkan dekat dengan *control room* dan diawasi operator. Kebutuhan ruang alat juga perlu diperhatikan.



Gambar 2.5 Layout Peralatan Proses Pabrik Natrium Karbonat