

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Bahan baku utama dalam pembuatan sodium sulfat adalah natrium klorida (NaCl) dan asam sulfat (H₂SO₄). Selain itu, digunakan bahan baku pendukung berupa kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) dan sodium karbonat (Na₂CO₃). Spesifikasi bahan baku dan produk yang digunakan dalam proses ini mengacu pada *Perry's Chemical Engineers' Handbook* edisi ke-7.

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama

1. Natrium Klorida (NaCl)

- Wujud : Cair
- Warna : Putih
- Berat molekul : 59,43 g/mol
- Kemurnian : 99,46 % berat
- Impuritas : Air (maksimum 0,1 %)

2. Asam Sulfat (H₂SO₄)

- Wujud : Cair
- Berat molekul : 98 g/mol
- Warna : Bening hingga kekuningan
- Kemurnian : 98 % berat
- Impuritas : 98 % H₂SO₄ dan 2 % H₂O

2.1.2 Spesifikasi Bahan Penunjang

1. Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂)

- Wujud : Padat kristal putih
- Berat molekul : 74,07 g/mol
- Titik lebur : 580 °C
- Kelarutan : Larut dalam gliserol dan asam

2. Sodium Karbonat (Na₂CO₃)

- Wujud : Padat
- Warna : Putih hingga abu-abu

- Berat molekul : 107,94 g/mol
- Kelarutan : 7 g per 100 g H₂O

2.1.3 Spesifikasi Produk

1. Natrium Sulfat Dekahidrat

Natrium Sulfat Dekahidrat (Na₂SO₄·10H₂O) dengan sebutan lain yaitu garam Glauber atau salt mirabilis. Penggunaan natrium Sulfat banyak digunakan pada industri pembuatan pulp kertas (proses kraft). Berikut sifat fisika dan kimia dari Na₂SO₄·10H₂O (MSDS, 2022).

a) Sifat Fisis

- Wujud : Padat
- Warna : Tidak berwarna
- Kelarutan dalam air : 35,9 g/100 ml
- Titik Lebur, °C : 32,38
- Titik Didih, °C : 1429
- Densitas, pada 25°C : 2,664 gr/cm

b) Sifat Kimia

- Tereaksi dari garam dan asam sulfat (proses Mannheim)
- Tereaksi dari gas SO₂ dan O₂ (proses Hargreave-Robinson)
- Reaksi natrium sulfat sebagai produk samping industri rayon
- Pembuatan natrium sulfat pada industri krom dan phenol

2. Asam Klorida

Asam klorida (HCl) adalah larutan akuatik dari gas hidrogen klorida, berupa cairan bening hingga kekuningan, berbau menyengat, korosif, dan merupakan asam kuat yang terionisasi sempurna dalam air (MSDS,2022).

a) Sifat Fisis :

- Wujud : Cairan
- Warna : Bening hingga kuning pucat
- Titik Lebur : 115°C
- Titik Didih : 108°C
- Densitas : 1,18 g/cm³

b) Sifat Kimia :

- Asam kuat dan monoprotik: Terdisosiasi sempurna dalam air membentuk ion H^+ (atau H_3O^+) dan Cl^- .
- Bersifat korosif: Dapat merusak jaringan hidup dan melarutkan logam seperti Fe dan Zn.
- Reaksi netralisasi: Bereaksi dengan basa menghasilkan garam klorida dan air, contoh: $(HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O)$.
- Reaksi dengan logam: Bereaksi dengan logam aktif menghasilkan gas hidrogen dan garam klorida : $(Zn + 2HCl \rightarrow ZnCl_2 + H_2)$.

2.1.4 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

1. Bahan Baku Utama

- **Natrium Klorida (NaCl)**

Nama lain dari Natrium Klorida (NaCl) yaitu garam dapur. Garam ini merupakan garam yang mempengaruhi salinitas laut dan cairan ekstraselular padasebagian besar organisme multiseluler. Berikut sifat fisika dan kimia dari NaCl (MSDS, 2019).

a) Sifat Fisis

- Wujud : Butiran padat
- Warna : Putih
- Kelarutan dalam air : 35,9 gr/100ml
- Titik Didih, °C : 1413
- Titik Lebur, °C : 801
- Densitas, pada 25°C : 2,16 gr/cm

b) Sifat Kimia

- Larut dalam air dingin dan air panas. Larut dalam gliserol, dan ammonia, serta sangat sedikit larut dalam alkohol.
- Merupakan larutan elektrolit kuat karena terionisasi sempurna
- Bersifat higroskopis (menyerap air).
- Jika bereaksi dengan perak nitrat akan membentuk endapan perak klorida

- **Asam Sulfat**

Asam Sulfat (H_2SO_4) termasuk ke dalam asam kuat. Senyawa ini dapat larut dalam air di semua perbandingan. Berikut sifat fisika dan kimia dari asam sulfat (MSDS, 2017).

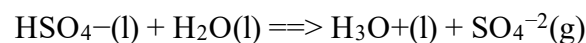
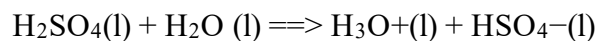
a) Sifat Fisis

- Wujud : Cair

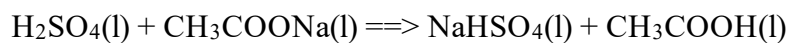
- Warna : Jernih
- Kelarutan dalam air : Larut sempurna
- Titik Beku, °C : 10,49
- Titik Didih, °C : 340
- Densitas, pada 25°C, gr/cm : 1,84
- Viskositas, pada 25°C, cP : 26,7

b) Sifat Kimia

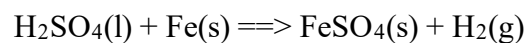
- Bereaksi dengan air menghasilkan ion hydrogen



- Bereaksi dengan basa



- Bereaksi dengan logam



2. Bahan Baku Pendukung

- **Kalsium Hidroksida**

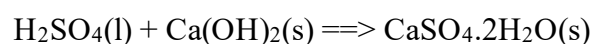
Kalsium Hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dapat dihasilkan dengan mereaksikan larutan kalsium klorida dengan sodium hidroksida dalam bentuk endapan. Berikut sifat fisika dan kimia dari $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (MSDS, 2022).

a) Sifat Fisis

- Wujud : Padatan kristal
- Warna : Putih
- Kelarutan : Larut dalam hidrogen
- Titik Beku, °C : 580
- Titik Didih, °C : 2850
- Densitas, pada 25°C, gr/cm : 3,34

b) Sifat Kimia

- Bereaksi dengan Asam Sulfat menghasilkan gipsum



- **Sodium Karbonat**

Sodium Karbonat (Na_2CO_3) merupakan garam sodium yang berasal dari asam karbonat yang mudah larut dalam air. Berikut sifat fisika dan kimia dari Na_2CO_3 (MSDS, 2019).

a) Sifat Fisis

- Wujud : Padatan Bubuk
- Warna : Putih
- Kelarutan : 50,5 g/100 ml air
- Titik Lebur, °C : 851
- Densitas, pada 25°C, gr/cm : 2,533

b) Sifat Kimia

- Kemurnian 99,9% dengan air 0,1%
- Larut dalam air dan gliserol
- Tidak larut dalam alkohol dan eter
- Tidak mudah terbakar

2.1.5 Sifat Fisika dan Kimia Produk

1. Sodium Sulfat Dekahidrat (Produk Utama)

Sodium Sulfat Dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dengan sebutan lain yaitu garam Glauber atau salt mirabilis. Penggunaan sodium Sulfat banyak digunakan pada industri pembuatan pulp kertas (proses kraft). Berikut sifat fisika dan kimia dari $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (MSDS, 2022).

a) Sifat Fisis

- Wujud : Padat
- Warna : Tidak berwarna
- Kelarutan dalam air : 35,9 g/100 ml
- Titik Lebur, °C : 32,38
- Titik Didih, °C : 1429
- Densitas, pada 25°C : 2,664 gr/cm

b) Sifat Kimia

- Tereaksi dari garam dan asam sulfat (proses Mannheim)
- Tereaksi dari gas SO_2 dan O_2 (proses Hargreave-Robinson)
- Reaksi sodium sulfat sebagai produk samping industri rayon
- Pembuatan sodium sulfat pada industri krom dan phenol

2. Asam Klorida (Produk Samping)

Asam Klorida (HCl) termasuk senyawa yang bersifat asam kuat. Berikut sifat fisika dan kimia dari HCl (MSDS, 2021).

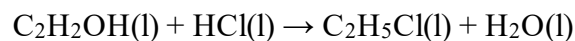
a) Sifat Fisis

- Wujud : Gas

- Warna : Tidak berwarna
- Kelarutan dalam air : 82,31 g/100 ml
- Titik Lebur, °C : -27,32
- Titik Didih, °C : 110
- Densitas, pada 25°C, gr/l : 1,5

b) Sifat Kimia

- Mudah larut dalam pelarut air
- Reaksi hidroklorinasi dengan etil alkohol



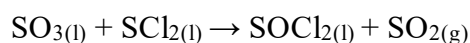
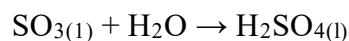
3. Sulfur Trioksida (Produk Buang)

a) Sifat Fisis

- Wujud : Cair
- Warna : Tidak Berwarna
- Temperatur Kritis °C : 44,6
- Densitas, pada 25°C, gc/cm : 1,92

b) Sifat Kimia

Fase padat dari sulfur trioksida berwarna putih namun pada temperatur ruangan dan tekanan atmosfer senyawa ini memiliki fase cair yang tidak berwarna. SO₃ dapat bereaksi dengan air membentuk asam sulfat dan bereaksi dengan sulfur diklorida menghasilkan reagent tionil klorida. Berikut merupakan reaksi dari SO₃.



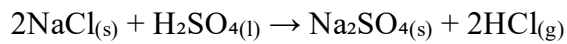
2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar dan Fase Reaksi

Proses yang digunakan dalam pembuatan sodium sulfat adalah Proses Mannheim. Pada proses ini, sodium sulfat dibuat dengan menggunakan bahan baku utama berupa garam (*common salt*) yang banyak tersedia di daerah pantai hampir di seluruh wilayah Indonesia. Garam tersebut umumnya mengandung NaCl sebagai komponen utama, serta pengotor berupa CaCl₂, MgSO₄, CaSO₄, H₂O, dan zat pengotor lainnya. Ketersediaan bahan baku yang melimpah, teknologi yang telah mapan, serta kemudahan pengoperasian menjadikan proses Mannheim dipilih sebagai proses yang paling sesuai untuk produksi sodium sulfat. Garam tersebut selanjutnya diolah melalui tahapan reaksi dan pemurnian hingga diperoleh produk sodium sulfat sesuai spesifikasi.

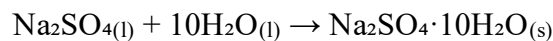
Menurut Faith et al. (1975), mekanisme reaksi pada Proses Mannheim berlangsung melalui dua tahap reaksi. Reaksi pertama menghasilkan sodium sulfat dan gas hidrogen klorida sebagai produk samping, sedangkan reaksi kedua merupakan proses pembentukan kristal sodium sulfat dekahidrat. Reaksi dapat dilihat sebagai berikut:

- Reaksi utama pembentukan sodium sulfat:



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

- Reaksi kristalisasi sodium sulfat menjadi dekahidrat:



$$\text{Yield} = 95 \%$$

2.2.2 Penggunaan Katalis

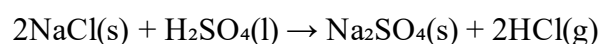
Pada perancangan pabrik sodium sulfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ini, proses produksi tidak menggunakan katalis pada kedua tahap reaksi. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa reaksi utama dalam proses Mannheim, yaitu reaksi antara natrium klorida dan asam sulfat, telah mampu berlangsung secara efektif pada suhu operasi tinggi di dalam furnace sehingga menghasilkan yield yang mencapai 98%. Selain itu, tahap lanjutan berupa proses hidrasi natrium sulfat menjadi natrium sulfat dekahidrat juga menunjukkan yield yang tinggi, yaitu sebesar 95%, tanpa memerlukan bantuan katalis.

Tingginya nilai yield pada kedua tahap tersebut menunjukkan bahwa reaksi telah berjalan mendekati kondisi optimum secara kinetika maupun termodinamika. Dengan demikian, penggunaan katalis tidak memberikan keuntungan signifikan terhadap peningkatan konversi maupun selektivitas, serta justru berpotensi menambah kompleksitas proses dan biaya operasional, seperti kebutuhan regenerasi atau penggantian katalis. Oleh karena itu, proses dirancang tanpa penggunaan katalis untuk menjaga kesederhanaan operasi dan efisiensi biaya.

2.2.3 Mekanisme Reaksi

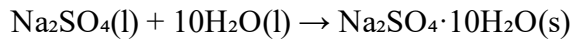
Menurut Faith et al. (1975), mekanisme reaksi pada Proses Mannheim berlangsung melalui dua tahap reaksi. Reaksi pertama menghasilkan sodium sulfat dan gas hidrogen klorida sebagai produk samping, sedangkan reaksi kedua merupakan proses pembentukan kristal sodium sulfat dekahidrat. Reaksi dapat dilihat sebagai berikut:

- Reaksi utama pembentukan sodium sulfat:



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

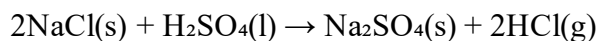
- Reaksi kristalisasi sodium sulfat:



$$\text{Yield} = 95 \%$$

2.2.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

Untuk menentukan apakah reaksi pembentukan sodium sulfat bersifat eksotermis atau endotermis, dilakukan perhitungan berdasarkan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K (Yaws, 1999). Reaksi yang ditinjau adalah:



Data panas pembentukan standar:

- $\Delta H^\circ_f \text{NaCl}(\text{s}) = -411,20 \text{ kJ/kmol}$
- $\Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{SO}_4(\text{l}) = -819,9 \text{ kJ/kmol}$
- $\Delta H^\circ_f \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{s}) = -1387,10 \text{ kJ/kmol}$
- $\Delta H^\circ_f \text{HCl}(\text{g}) = -92,30 \text{ kJ/kmol}$
- $\Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = -286 \text{ kJ/kmol}$

Panas reaksi dihitung menggunakan persamaan:

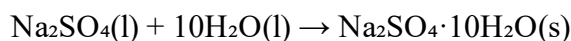
$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{produk} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = [(-1387,10) + 2(-92,30)] - [2(-411,20) + (-819,9)]$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = -1477,4 - 1635,9$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = -3113,3 \text{ kJ/kmol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan sodium sulfat di dalam furnace bersifat eksotermis. Akan tetapi, dalam pembentukan sodium sulfat dehidrat berdasarkan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,15 K (Yaws, 1999). Reaksi yang ditinjau adalah:



Panas reaksi dihitung menggunakan persamaan:

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

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = [(-4320) - [(-1387,10) + 10(-286)]]$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = -4320 - [-1387,10 - 2860]$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = -4320 - [-4247,1]$$

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = -72,9 \text{ kJ/kmol} = -72900 \text{ J/mol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan sodium sulfat dekahidrat di dalam crystallizer bersifat eksotermis. Sifat reaksi reversible atau irreversible dapat ditentukan secara termodinamika menggunakan persamaan Van't Hoff (Smith dan Van Ness, 2001):

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

Jika perubahan entalpi standar (ΔH°) diasumsikan konstan terhadap suhu, maka hubungan antara konstanta kesetimbangan dan suhu dinyatakan sebagai:

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

Penentuan harga K didapatkan dari perhitungan menggunakan energi bebas Gibbs (*Gibbs Heat of Formation*) (Yaws, 1999).

$$\Delta G^\circ_f \text{ NaCl(aq)} = -384,10 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{ H}_2\text{SO}_4(\text{l}) = -653,47 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{ Na}_2\text{SO}_4(\text{s}) = -1270,20 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{ HCl(g)} = -95,30 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}} = [(-1270,20) + 2(-95,30)] - [(-653,47) + 2(-384,10)]$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}} = -1460,80 - (-1421,67)$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}} = -39,13 \text{ kJ/mol} = -39130 \text{ J/mol}$$

Penentuan reaksi :

Data :

$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = -72,9 \text{ kJ/kmol} = -72900 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{\text{reaksi}} = -39,13 \text{ kJ/mol} = -39130 \text{ J/mol}$$

$$R = 8,314 \text{ J} = 0,008314 \text{ kJ/mol}\cdot\text{K}$$

$$T_1 = 298,15 \text{ K}$$

$$T_2 = 1116,15 \text{ K}$$

$$K_1 = 7,2 \times 10^6$$

Hitung K_1 standar pada suhu 298,15 K:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$

$$K_1 = e^{-\frac{\Delta G^\circ}{RT}}$$

$$K_1 = e^{-\frac{-39130}{8,314 \times 298}}$$

$$K_1 = e^{\frac{-39130}{2477,6}}$$

$$K_1 = e^{15.79}$$

$$K_1 = 7,2 \times 10^6$$

Hitung bagian suhu :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{1116,15} - \frac{1}{298,15} \\ &= 0.000896 - 0.003354 \\ &= -0.002458 \end{aligned}$$

Substitusi :

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

$$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = \frac{-72900}{8.314} \times (-0.002458)$$

$$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = -(-8770) \times (-0.002458)$$

$$\ln\left(\frac{K_2}{K_1}\right) = -21.56$$

$$\frac{K_2}{K_1} = e^{-21.56}$$

$$e^{-21.56} = 4.3 \times 10^{-10}$$

$$K_2 = K_1 \times 4.3 \times 10^{-10}$$

$$K_2 = 7.2 \times 10^6 \times 4.3 \times 10^{-10}$$

$$K_2 = 3.1 \times 10^{-3}$$

Nilai konstanta kesetimbangan (K) yang diperoleh menunjukkan bahwa $K < 1$, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan sodium sulfat bersifat *reversible*. Konstanta kecepatan reaksi (k) pada reaksi pembentukan sodium sulfat dapat diperkirakan menggunakan persamaan Arrhenius:

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT)$$

dengan:

- k = konstanta kecepatan reaksi (L/mol·s)
- k_0 = faktor pra-eksponensial (L/mol·s)
- E_a = energi aktivasi (kcal/mol)
- R = konstanta gas ideal (kcal/mol·K)
- T = suhu (K)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi antara lain:

1. Suhu

Semakin tinggi suhu, maka nilai konstanta kecepatan reaksi (k) akan semakin besar sehingga laju reaksi meningkat.

2. Luas permukaan

Ukuran partikel mempengaruhi luas bidang sentuh antar reaktan. Semakin besar luas permukaan, maka kemungkinan terjadinya tumbukan efektif semakin tinggi sehingga laju reaksi meningkat. Berdasarkan perhitungan, pada suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (373 K) diperoleh nilai konstanta kecepatan reaksi:

$$k = 1,54223 \times 10^{-5} \text{ L/mol}\cdot\text{s}$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa peningkatan suhu akan meningkatkan nilai konstanta kecepatan reaksi, sedangkan penurunan suhu akan menurunkan laju reaksi.

2.2.5 Kondisi Operasi

Mannheim Furnace merupakan unit utama tempat berlangsungnya proses pembentukan sodium sulfat. Reaksi terjadi pada fase cair secara isothermal dengan kondisi operasi suhu 843°C dan tekanan 1 atm . Pemilihan kondisi operasi tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- a. Suhu furnace ditetapkan sebesar $843\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan tekanan 1 atm untuk menjaga agar reaksi berlangsung pada fase cair serta memungkinkan terjadinya dekomposisi asam sulfat secara optimal.
- b. Penambahan bahan pendukung berupa sodium karbonat dan kalsium hidroksida bertujuan untuk mengendapkan sisa garam dan pengotor yang tidak diinginkan dalam produk sodium sulfat. Endapan yang terbentuk kemudian dipisahkan melalui tangki pengendap. Suhu maksimum bahan pengendap yang diperbolehkan adalah $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu reaksi campuran dengan sodium sulfat mencapai $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Tahap Proses

Secara garis besar, terdapat beberapa tahapan dalam pembuatan sodium sulfat dekahidrat. Tahapan-tahapan proses dalam pembuatan sodium sulfat dekahidrat yaitu sebagai berikut:

- a. Tahap Persiapan Bahan Baku
- b. Proses Reaksi
- c. Proses Kristalisasi

d. Proses Pengeringan

2.3.2 Langkah Proses

2.3.2.1 Persiapan Bahan Baku

Persiapan bahan baku bertujuan untuk mengondisikan bahan baku supaya bahan baku yang akan digunakan sesuai dengan persyaratan kondisi operasi dalam proses. Terdapat beberapa aspek yang dibutuhkan dalam persiapan bahan baku ini yaitu kondisi penyimpanan bahan baku dan proses fisis yang diperlukan untuk mengubah kondisi bahan baku agar sesuai dengan kondisi reaksi. Sodium sulfat dibuat dengan menggunakan bahan baku garam *common salt* (NaCl) dengan komposisi terdiri atas NaCl, CaCl₂, MgSO₄, CaSO₄, H₂O, dan zat pengotor. Sedangkan Asam Sulfat dengan fasa cair dengan kemurnian 98% disimpan dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm dalam tangki penyimpanan. Garam dan asam sulfat ini nantinya akan diolah sebagai bahan baku untuk membuat Sodium sulfat dekahidrat.

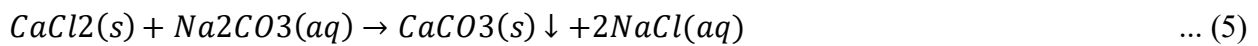
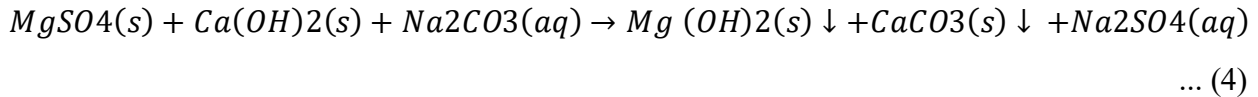
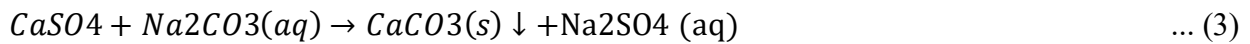
2.3.2.2 Proses Reaksi

Proses ini diawali dengan proses garam dengan kandungan NaCl 99,46% dari bin penyimpanan (Bin-01) akan diumpangkan ke Ball Mill (BM-01) , diumpangkan pada furnace (F-01) dengan menggunakan screw conveyor (SC-01). Secara bersamaan Asam Sulfat dengan kadar 98% dipompakan dari tangki penyimpanan menuju furnace (F-01). Kedua bahan baku tersebut dipanaskan dalam furnace (F-01) dengan kondisi operasi suhu 843°C dan tekanan 1 atm. Reaksi ini terjadi dalam fase solid-liquid dengan konversi total 98% dan H₂SO₄ sebagai limiting reaktannya. Hal ini dikarenakan H₂SO₄ memiliki titik didih 340°C yang mana kondisi tersebut berada pada kondisi di bawah suhu operasi di furnace (F-01), dengan demikian H₂SO₄ akan terdekomposisi. Reaksi pembentukan sodium sulfat dan dekomposisi asam sulfat adalah sebagai berikut:



Produk padatan Na₂SO₄ panas keluar dari nozzle bagian bawah menuju cooling screw conveyor (SC-02) untuk didinginkan dengan suhu 50°C. Pendinginan dilakukan menggunakan aliran udara terkontrol secara counter-current yang dihembuskan oleh blower (G-117). Sementara itu, produk atas berupa gas HCl dikeluarkan melalui nozzle bagian atas menuju kondensor untuk didinginkan hingga sekitar 52°C sebelum diproses lebih lanjut. Na₂SO₄ *shurry* dan campuran garam kemudian ditambahkan dengan Na₂CO₃ dan Ca(OH)₂ di Neutralization Tank sebagai penetralisir sisa asam sulfat dan sebagai senyawa pengikat campuran garam, bersamaan dengan

itu terdapat penambahan water process sebagai pelarut dan membentuk larutan Na_2SO_4 32% (Faith, W.L et al., 1975) dengan reaksi sebagai berikut:



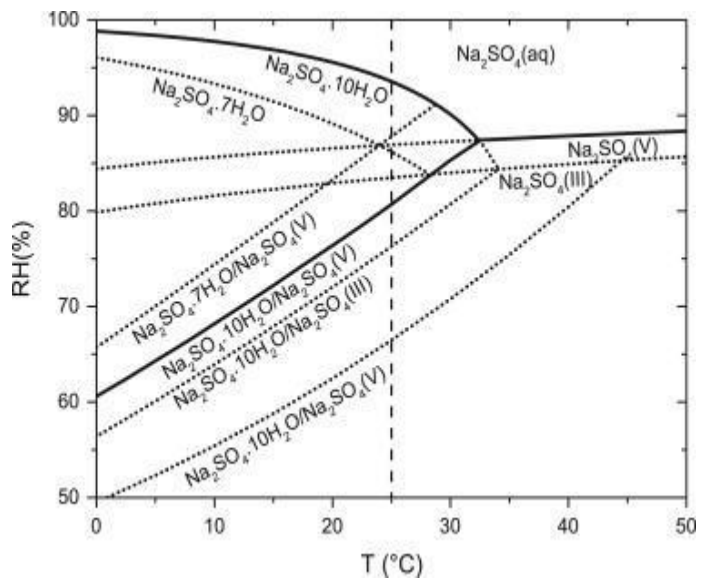
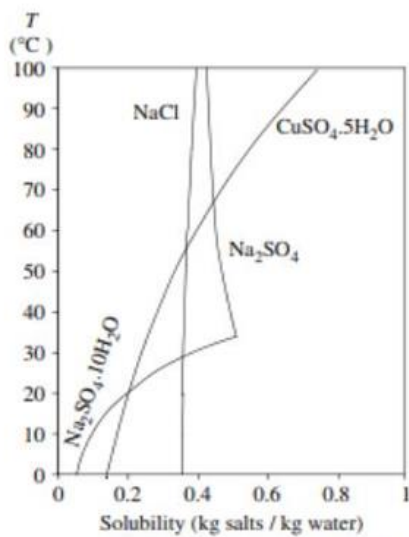
Selanjutnya, campuran yang terbentuk dipompa menuju Filter Press (FP-01). Pada filter ini terjadi pemisahan cake, cake akan dibuang ke pengolahan limbah padat, sedangkan larutan berupa sodium sulfat jenuh dipompa menuju crystalizer (CR-01). Sedangkan untuk produk samping dari reaksi pembentukan Na_2SO_4 berupa gas HCl keluaran dari furnace (F-01). Gas ini akan diteruskan ke spray condensate (CD-01) untuk diubah fasanya menjadi HCl dalam fase liquid. Kemudian HCl yang sudah cair ini akan disimpan dalam tangki penyimpanan HCl.

2.3.2.3 Proses Kristalisasi

Setelah itu, larutan Na_2SO_4 hasil pemisahan akan dialirkan menuju tahap perubahan fasa kristal menggunakan crystallizer (CR-01) dengan reaksi sebagai berikut:



Pembentukan kristal $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ dapat diperoleh apabila suhu yang disyaratkan terpenuhi, yaitu dengan cara menurunkan suhunya hingga mencapai suhu kristalisasinya yaitu 5°C yang bertujuan untuk meningkatkan jumlah kristal yang terbentuk dengan media pendinginnya berupa air pendingin dengan suhu -6°C . Menurut Robin Smith, (2001) Kurva pembentukan inti kristal $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 2.1 Kurva Pembentukan Inti Kristal (Robin Smith, 2001)

Kurva kelarutan pada sebelah kiri menunjukkan bahwa pada suhu 26°C, kelarutan $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ adalah sekitar 0,36 kg/kg air dan kurva sebelah kanan menunjukkan bahwa larutan natrium sulfat hasil proses reaksi didinginkan di dalam crystallizer (CR-01) hingga suhu 26°C. Suhu ini berada di bawah suhu transisi sistem $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ sebesar 32,4°C sehingga sodium sulfat dekahidrat $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ merupakan fase kristal yang stabil. Pada suhu tersebut, kelarutan natrium sulfat menurun sehingga apabila konsentrasi larutan melebihi kelarutan jenuhnya, akan terbentuk kondisi supersaturasi. Kondisi supersaturasi ini menjadi gaya pendorong terjadinya nukleasi dan pertumbuhan kristal $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Suspensi kristal yang keluar dari crystallizer (CR-01) selanjutnya dialirkan menuju centrifuge (CF-01) untuk memisahkan kristal sodium sulfat dekahidrat dari larutan induk (*mother liquor*). *Mother liquor* selanjutnya dialirkan menuju unit pengolahan air untuk diolah kembali sebelum dibuang ke unit limbah.

2.3.2.4 Proses Pengeringan

Melalui screw conveyor kristal $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ selanjutnya dipindahkan ke rotary dryer (RD-01). Suhu operasi rotary dryer (RD-01) adalah 26°C dengan udara sebagai media pemanasnya. Udara yang telah digunakan untuk proses pengeringan kristal kemudian dialirkan menuju cyclone (CC-223) sebelum akhirnya dibuang ke atmosfer. Kristal $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ yang tertangkap oleh cyclone (CC-223) kemudian dialirkan menuju cooling screw conveyor dan akan bertemu dengan produk keluaran dari rotary dryer. Pada cooling screw conveyor kristal sodium

sulfat akan didinginkan hingga suhu 32°C. Kristal sodium sulfat kemudian masuk ke ball mill (BM-01) untuk dijadikan powder. Setelah itu masuk ke screen (S-01), screen ini memiliki spesifikasi ayakan berukuran 100 mesh dimana kristal yang tidak sesuai ukurannya akan diseragamkan kembali dengan menggunakan ball mill (BM-01). Kristal akan disaring kembali dengan menggunakan screen dan diteruskan ke bin storage/silo untuk penyimpanan produk $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

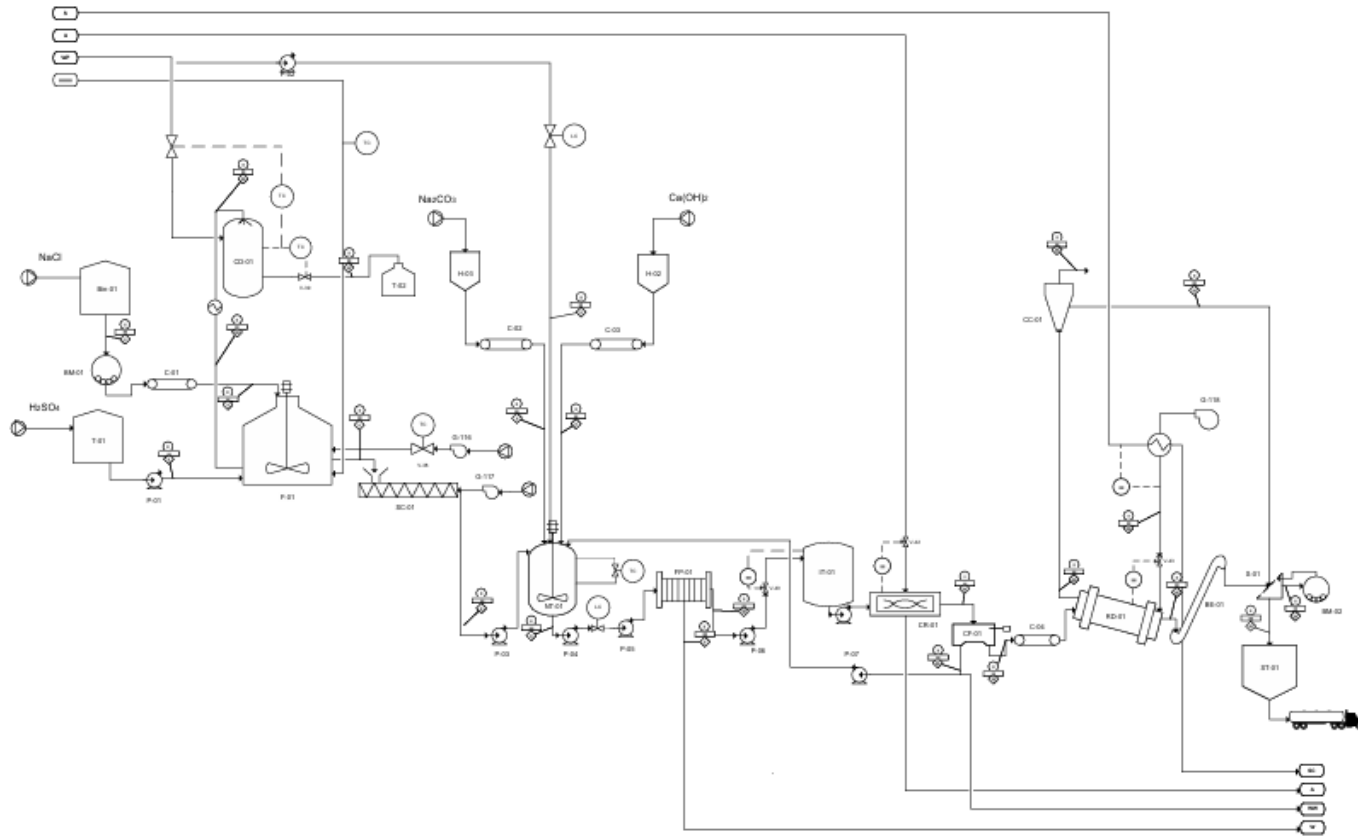
2.3.2.5 Penyimpanan dan Distribusi

Penyimpanan dan distribusi produk pada pabrik natrium sulfat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dan asam klorida (HCl) sebagai produk samping memerlukan penanganan yang berbeda sesuai dengan sifat fisik dan kimianya. Natrium sulfat dekahidrat disimpan dalam bentuk padatan kristal pada kondisi suhu relatif rendah dan kelembaban terkontrol untuk mencegah terjadinya dehidrasi menjadi bentuk anhidrat. Penyimpanan umumnya dilakukan di dalam silo atau gudang tertutup dengan sistem ventilasi yang baik serta dilengkapi dengan pengendalian kelembaban. Dalam distribusinya, produk ini dikemas dalam karung atau bulk bag dan diangkut menggunakan truk tertutup untuk menjaga kualitas produk dari pengaruh lingkungan.

Sementara itu, HCl sebagai produk samping disimpan dalam bentuk larutan dalam tangki penyimpanan berbahan tahan korosi seperti PVC, FRP, atau baja berlapis karet, mengingat sifatnya yang sangat korosif. Tangki dilengkapi dengan sistem ventilasi dan scrubber untuk mengendalikan emisi gas HCl yang dapat membahayakan lingkungan dan keselamatan kerja. Distribusi HCl dilakukan menggunakan tangki khusus (tank truck) yang dirancang tahan terhadap korosi dan kebocoran, serta dilengkapi dengan sistem pengamanan yang ketat.

2.4 Diagram Alir

**PROCESS FLOW DIAGRAM PRA RANCANGAN PABRIK SODIUM SULFAT DEKAHIDRAT ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)
MENGUNAKAN PROSES MANNHEIM DENGAN KAPASITAS 16.000 TON/TAHUN**



PROSES FLOW DIAGRAM					
PRA RANCANGAN PABRIK SODIUM SULFAT DEKAHIDRAT ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) BERKAPASITAS 16.000 TON/TAHUN					
DOKUMEN PEMBIMBING :		DR. ENG. YUDA PURNAMA S.T., I.M., M.ENG. NIP. 196101019610101			
DOKUMEN OLEH :		DOKTER HANURA AL CEFARI NIP. 199403019940301			
KETERANGAN :					
T-01	TANGKAIK	P-01	POMPA	◻	TEMPERATUR
E-01	HEAT EXCHANGER	C-01	CYCLONE CAJONG	○	TILIKAN
CC-01	CONVEYOR	BM-01	RECYCLING	◇	MARKER ALIRAN
Q-116	BLOWER	C-02	CYCLONE SAKSA	○	LEVEL CONTROL
Q-117	BLOWER	BM-02	RECYCLING	○	TEMPERATUR CONTROL
Q-118	BLOWER	P-04	POMPA	○	ANALYSIS CONTROL
E-02	HEAT EXCHANGER	P-05	POMPA	○	PRESSURE CONTROL
CC-02	CONVEYOR	P-06	POMPA	○	ITEM
BM-02	MARKER	P-07	POMPA	○	AMBIK
BE-01	BELT ELEVATOR	NT-01	METALIZATION TANK	○	WATER BRACKEN
CC-01	CYCLONE	CC-01	RECYCLING CONVEYOR	○	METABOL
Q-102	BLOWER	Q-117	BLOWER	○	COOLING WATER
C-01	CONVEYOR	Q-118	BLOWER	○	WASH WATER
BE-01	BELT ELEVATOR	T-01	TANGKAIK	○	WASH WATER
BE-02	BELT ELEVATOR	C-01	CYCLONE SAKSA	○	WASH
P-01	POMPA	BM-01	RECYCLING	○	COOLING WATER
P-02	POMPA	BM-02	RECYCLING	○	RECYCLING ITEM
FP-01	FLUID PRESS	E-01	HEAT EXCHANGER	○	ITEM
CC-01	CONVEYOR			○	ITEM

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN		
TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI		
UNIVERSITAS DIPONEGORO		
SEMARANG		
2026		

Gambar 2.2 Process Flow Diagram (PFD)

2.5 Neraca Massa dan Panas

2.5.1 Neraca Massa

Data- data perencanaan produksi

1. Kapasitas Produksi Na_2SO_4	=	16000	ton/tahun
2. Kapasitas Produksi Na_2SO_4	=	49,376163	kmol
3. Hari Kerja	=	330	hari
4. Jam Kerja	=	24	jam
5. Jumlah Produksi	=	2020,202	kg/jam
6. Basis Perhitungan	=	1	jam operasi
7. Conversion	=	98%	mol $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ /mol NaCl

(Faith, WL, Keyes BD, Clark RL, 1975)

Spesifikasi Bahan Baku

Common salt

NaCl	=	97,46	%
CaCl ₂	=	0,723	%
CaSO ₄	=	0,409	%
MgSO ₄	=	0,040	%
H ₂ O	=	0,630	%
Impuritas	=	0,738	%

Larutan asam sulfat

H ₂ SO ₄	=	98	%
H ₂ O	=	2	%

Spesifikasi Bahan Pembantu

NaCO ₃	=	100	%
Ca(OH) ₂	=	100	%

Bahan Masuk

NaCl	=	2885,54297	ton/tahun
	=	8,7440696	ton/hari
	=	17,4881392	ton/hari
	=	0,72867247	ton/jam

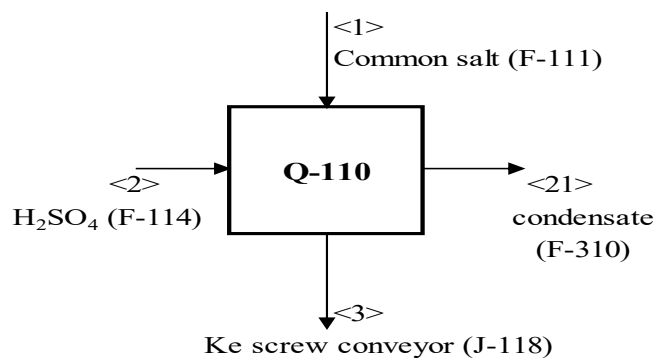
$$= 728,672467 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 &= 4840,87853 \text{ ton/tahun} \\ &= 14,6693289 \text{ ton/hari} \\ &= 0,61122204 \text{ ton/jam} \\ &= 611,222036 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Tabel 2.1 Berat Molekul masing-masing komponen

Komponen	Nama Senyawa	Berat Molekul (kg/mol)
NaCl	Natrium klorida	58,44
H ₂ SO ₄	Asam Sulfat	98,0408
H ₂ O	Air	18,0058
HCl	Asam Klorida	36,4579
Na ₂ SO ₄	Natrium Sulfat	143,985
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	Natrium Sulfat Dekahidrat	324,043
CaSO ₄	Kalsium Sulfat	136,103
MgSO ₄	Magnesium Sulfat	120,33
Na ₂ CO ₃	Natrium Karbonat	107,9407
Ca(OH) ₂	Kalsium Hidroksida	74,0738
Mg(OH) ₂	Magnesium Hidroksida	58,3008
CaCl ₂	Kalsium Klorida	110,978
CaCO ₃	Kalsium Karbonat	100,059
SO ₃	Sulfur Trioksida	80,035

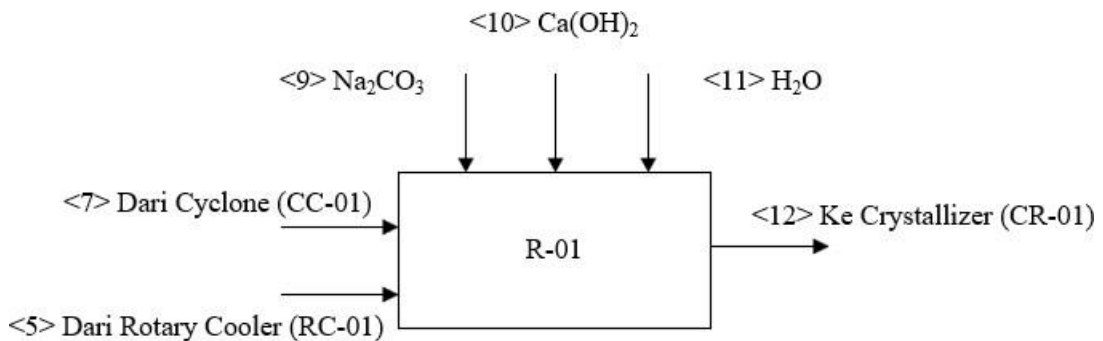
1. Neraca Massa Furnace



Tabel 2.2 Neraca Massa Furnace

Komponen	Masuk (kg)		Keluar	
	<1>	<2>	<3>	<21>
NaCl	710,16419		14,203284	
CaCl ₂	5,2683019		5,2683019	
CaSO ₄	2,9802704		2,9802704	
MgSO ₄	0,291469		0,291469	
H ₂ O	4,5906365	12,224441		19,6093
H ₂ SO ₄		598,9976		
SO ₃				12,4203
Na ₂ SO ₄			857,35738	
HCl				434,176
Impuritas	5,3776028		5,3776028	
Total		1339,894503		1351,684395

2. Neraca Massa Netralization Tank

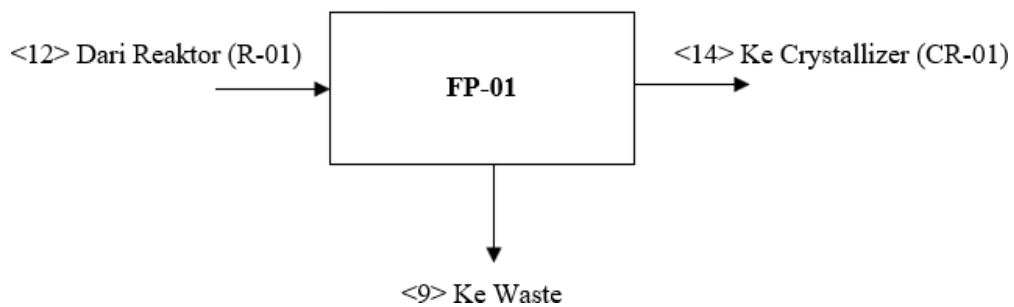


Tabel 2.3 Neraca Massa Netralization Tank

Komponen	Masuk (kg)				Keluar (kg)
	<3>	<4>	<5>	<6>	<7>
NaCl	14,203284				19,75176297
CaCl ₂	5,2683019				
CaSO ₄	2,9802704				
MgSO ₄	0,291469				
Na ₂ SO ₄	857,35738				860,8590106
Na ₂ CO ₃		7,7491713			

Ca(OH) ₂			0,179425		
H ₂ O				1566,28	1566,284242
CaCO ₃					7,183336108
Mg(OH) ₂					0,14121894
Impuritas	5,3776028				5,377602804
Total	885,47831	7,7491713	0,179425	1566,28	2459,697173
		2459,69			2459,69

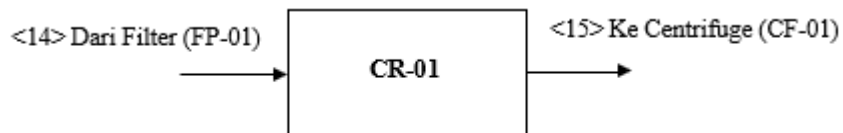
3. Neraca Massa Filter Press



Tabel 2.4 Neraca Massa Filter Press

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg)	
	<7>	<8> Cake	<9> Filtrat
NaCl	19,751763		19,751763
Na ₂ SO ₄	860,85901		860,85901
CaCO ₃	7,1833361	7,1833361	
H ₂ O	1566,2842	15,662842	1550,6214
Mg(OH) ₂	0,1412189	0,1412189	
Impuritas	5,3776028		5,3776028
Total	2459,5972	22,987397	2436,6098
	2459,5972		2459,5972

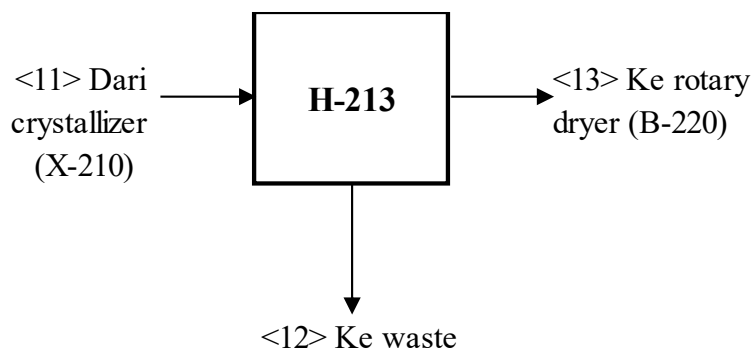
4. Neraca Massa Crystallizer



Tabel 2.5 Neraca Massa Crystallizer

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg)
	<10>	<11>
NaCl	19,751763	19,751763
Na ₂ SO ₄	860,85901	10,532811
H ₂ O	1550,6214	487,260
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O		1913,6872
Impuritas	5,3776028	5,3776028
Total	2436,6098	2436,6098

5. Neraca Massa Centrifuge



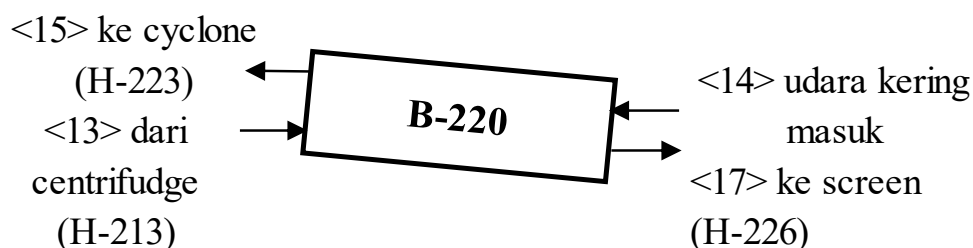
Tabel 2.6 Neraca Massa Centrifuge

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg)	
	<10>	<11>	<12>
NaCl	19,751763	11,800573	7,9511898
Na ₂ SO ₄	10,532811	6,2927649	4,2400456
H ₂ O	487,26039	291,11082	196,14957
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	1913,6872	19,136872	1894,5503
Impuritas	5,3776028	3,2128168	2,164786
Total	2436,6098	331,55385	2105,0559

2436,6098

2436,609776

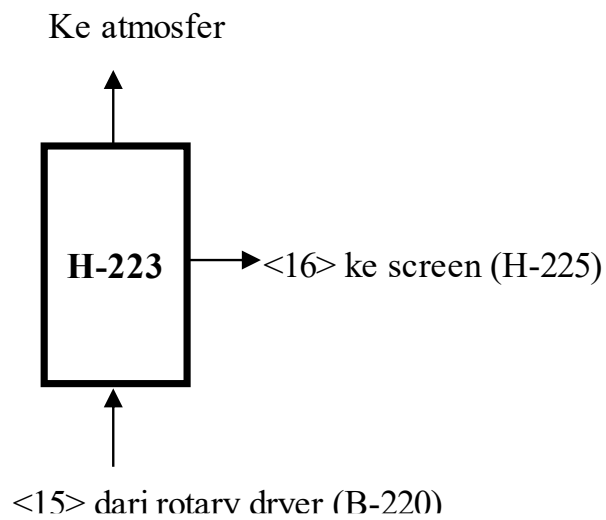
6. Neraca Massa Rotary Dryer



Tabel 2.7 Neraca Massa Rotary Dryer

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	<12>	<16>	<13>	<17>
NaCl	7,9511898		0,0795119	7,87168
Na ₂ SO ₄	4,2400456		0,0424005	4,19765
H ₂ O	196,14957	9,060891	199,106	6,105
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	1894,5503		18,945503	1875,6
Impuritas	2,164786		0,0216479	2,14314
Udara Kering		6040,5940	6040,5940	
Total	2105,0559	6049,6549	6258,7889	1895,92
	8154,710812		8154,710812	

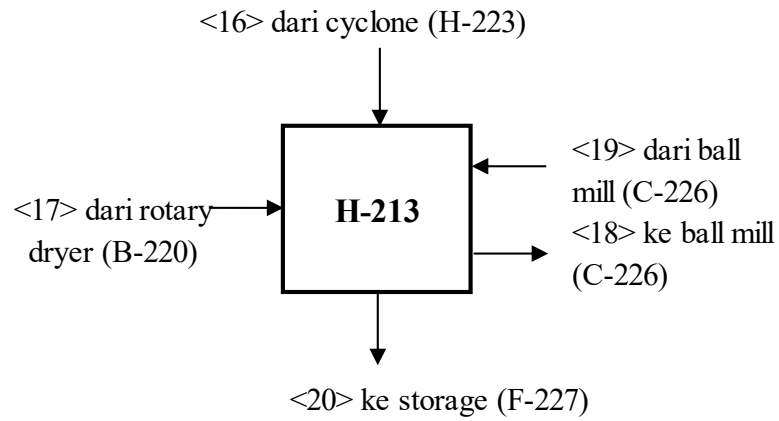
7. Neraca Massa Cyclone



Tabel 2.8 Neraca Massa Cyclone

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg)	
	<13>	Ke atm	<14>
NaCl	0,0795119	0,0119268	0,06759
Na ₂ SO ₄	0,0424005	0,0063601	0,03604
H ₂ O	199,106	199,065	0,04064
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	18,945503	2,8418255	16,1037
Impuritas	0,0216479	0,0032472	0,0184
Udara	6040,5940	6040,5940	
Total	6258,7889	6242,5225	16,2663
	6258,7889	6258,78855	

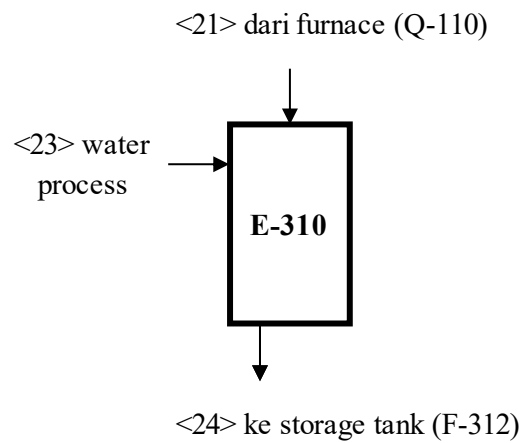
8. Neraca Massa Screen



Tabel 2.9 Neraca Massa Screen

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	<14>	<17>	ke ball mill	<18>
NaCl	0,0675851	7,8716779	7,1453367	0,79393
Na ₂ SO ₄	0,0360404	4,1976451	3,810317	0,42337
H ₂ O	0,0406372	6,105	5,5307695	0,61453
Na ₂ SO ₄ .10H ₂ O	16,103678	1875,6048	1702,5377	189,171
Impuritas	0,0184007	2,1431382	1,945385	0,21615
Total	16,266341	1895,922	1720,9695	191,219
	1912,188299		1912,188299	

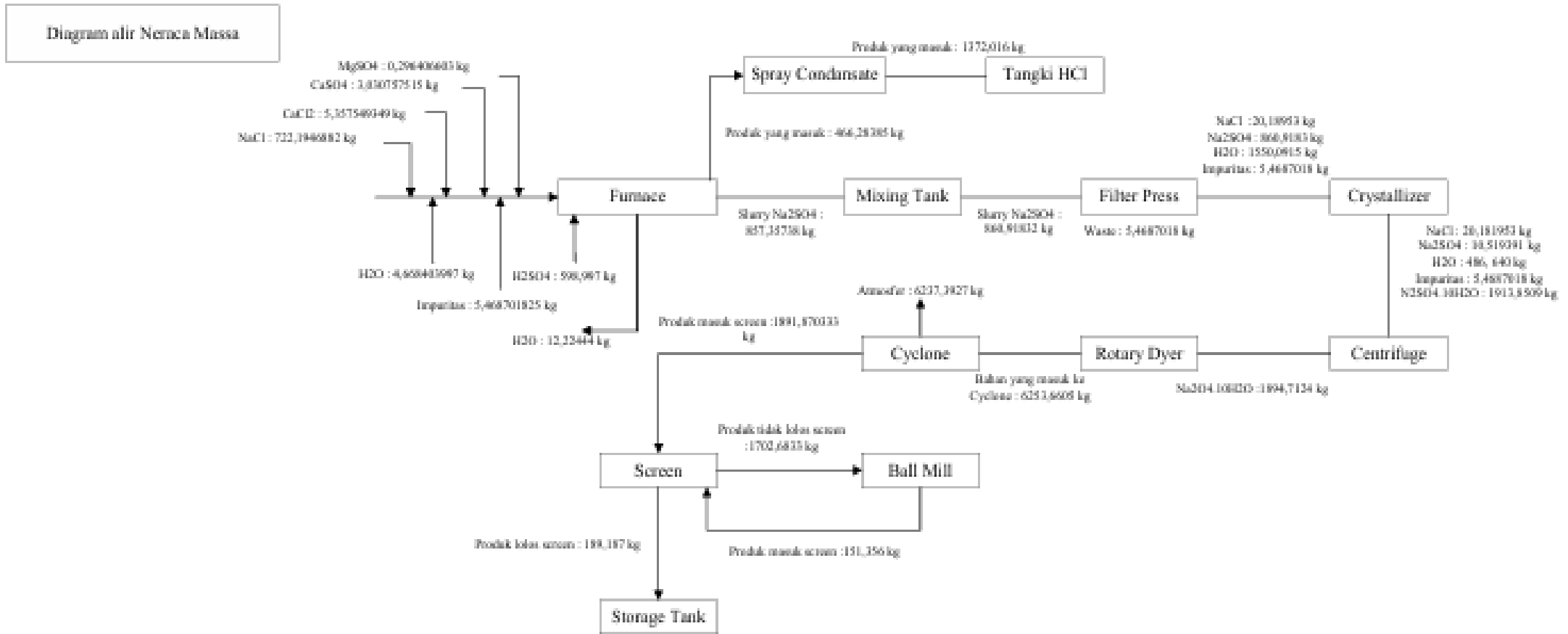
9. Neraca Massa Spray Condensate



Tabel 2.10 Neraca Massa Spray Condensate

Komponen	Masuk (kg)		Keluar
	<21>	<22>	<23>
H ₂ O	19,609322	905,80992	922,625
H ₂ SO ₄			15,214539
SO ₃	12,420295		
HCl	434,17647		434,17647
Total	466,20609	905,80992	1372,016
	1372,016012		1372,016

2.5.2.8 Blok Diagram Alir Neraca Massa



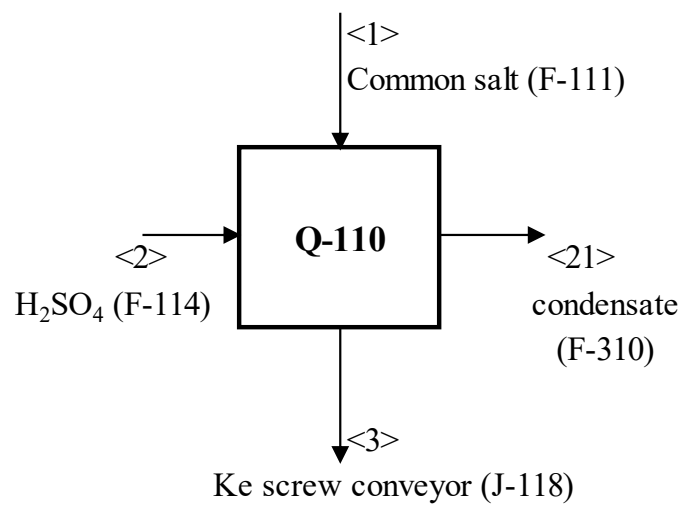
Gambar 2.3 Blok Diagram Neraca Massa

2.5.2 Neraca Panas

Kapasitas : 16000 ton/tahun = 2020,202 kg/jam
 Waktu Operasi : 330 hari/tahun
 Basis Perhitungan : 1 jam operasi
 Konversi reaksi : 98% mol Na₂SO₄.10 H₂O/mol NaCl

2.5.2.1 Furnace (Q-110)

Fungsi : Mereaksikan NaCl dengan H₂SO₄ untuk membentuk Na₂SO₄

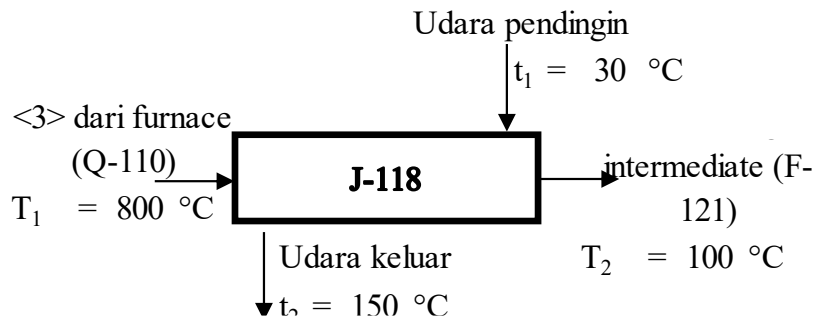


Tabel 2.11 Neraca Energi Furnace

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Panas dari fuel (Q_{fuel})	1405481,917	
Enthalpy masuk furnace	1377,295	
Enthalpy masuk spray condensate		1181017,421
Enthalpy masuk screw conveyor		154865,576
Total panas hilang (Q_{loss})		70342,961
Panas reaksi (Δr_{xn})		633,254
TOTAL	1406859,212	1406859,212

2.5.2.2 Screw Conveyor (J-118)

Fungsi : Mengalirkan dan mendinginkan *Slurry* Na₂SO₄ menuju Tangki penampung sementara

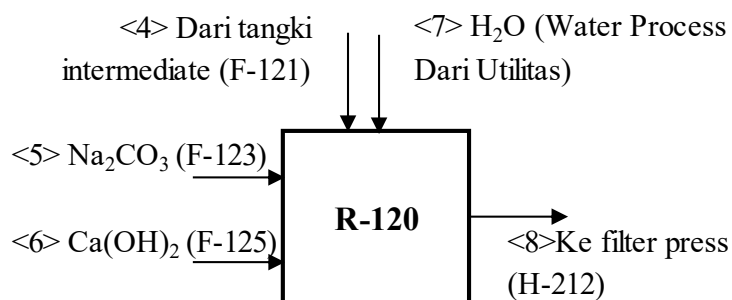


Tabel 2.12 Neraca Energi Screw Conveyor

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Enthalpy masuk dari furnace	154865,576	
Enthalpy pendingin udara masuk	5829,841	
Enthalpy ke reaktor pencampur		14949,391
Enthalpy pendingin udara keluar		145746,025
TOTAL	160695,417	160695,417

2.5.2.3 Netralization Tank

Fungsi : Mengendapkan campuran garam dan *impurities* dengan mereaksikannya dengan Na_2CO_3 dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$

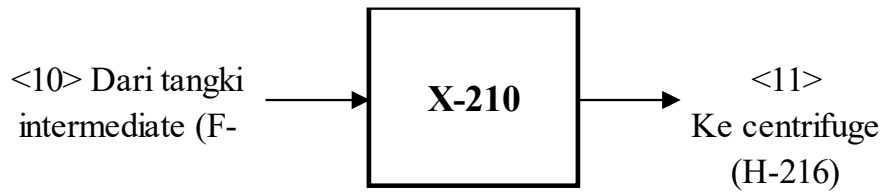


Tabel 2.13 Neraca Energi Netralization Tank

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Enthalpy masuk dari Screw Conveyor	14949,391	
Enthalpy masuk dari Soda lime	4237,880	
Total Panas reaksi (Δr_{xn})		-855,535
Enthalpy keluar ke Filter Press		20042,807
TOTAL	19187,272	19187,272

2.5.2.4 Crystallizer (X-210)

Fungsi : Mengkristalkan larutan Na_2SO_4 menjadi $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ dengan pendingin ammonia

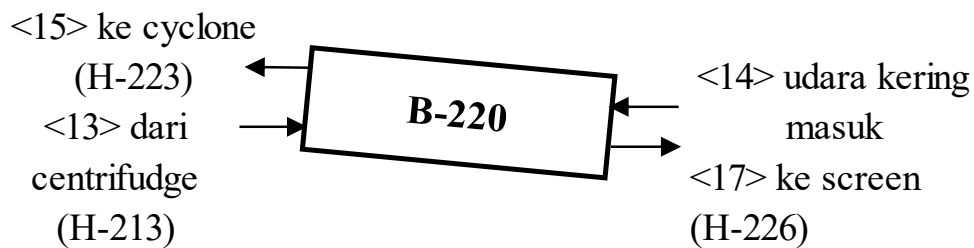


Tabel 2.14 Neraca Energi Crystallizer

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Enthalpy dari filter press	75933,553	
ΔH amoniak masuk	-241800,799	
Enthalpy keluar ke centrifuge		-59887,833
ΔH amoniak keluar		-97507,803
Total panas reaksi (Δ_{rxn})		-178,248
Total panas hilang (Q_{loss})		-8293,362
TOTAL	-165867,246	-165867,246

2.5.2.5 Rotary Dryer (B-220)

Fungsi : Mengeringkan kristal $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ dengan udara sampai suhu yang telah ditentukan



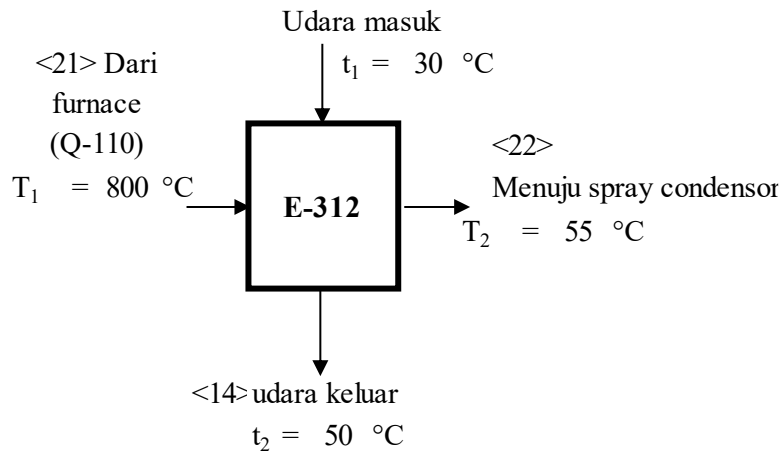
Tabel 2.15 Neraca Energi Rotary Dryer

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
ΔH aliran dari centrifuge	-25307,469	
ΔH udara masuk	157358,662	
ΔH aliran menuju storage		6312,800
ΔH aliran menuju cyclone		119135,833

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Q_{loss}		6602,560
TOTAL	132051,193	132051,193

2.5.2.6 Heat Exchanger (E-311)

Fungsi : Mendinginkan hasil samping berupa gas HCl dengan udara dengan sistem penukar panas

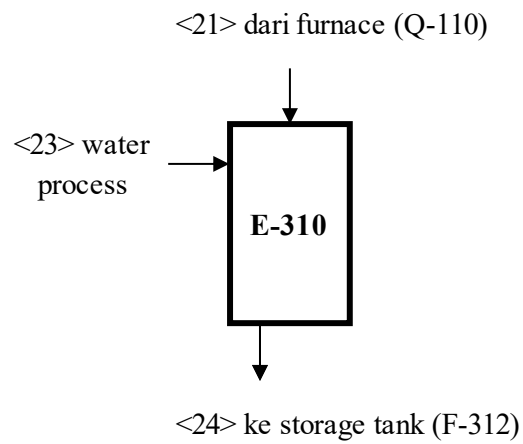


Tabel 2.16 Neraca Energi Heat Exchanger

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Enthalpy masuk HE	1181017,422	
Enthalpy udara masuk	288944,084	
Enthalpy menuju spray condensate		24949,230
Enthalpy udara keluar		1445012,276
TOTAL	1469961,506	1469961,506

2.5.2.7 Spray Condensor (E-310)

Fungsi : Mengubah fase HCl dari gas menjadi liquid dengan penyemprotan air

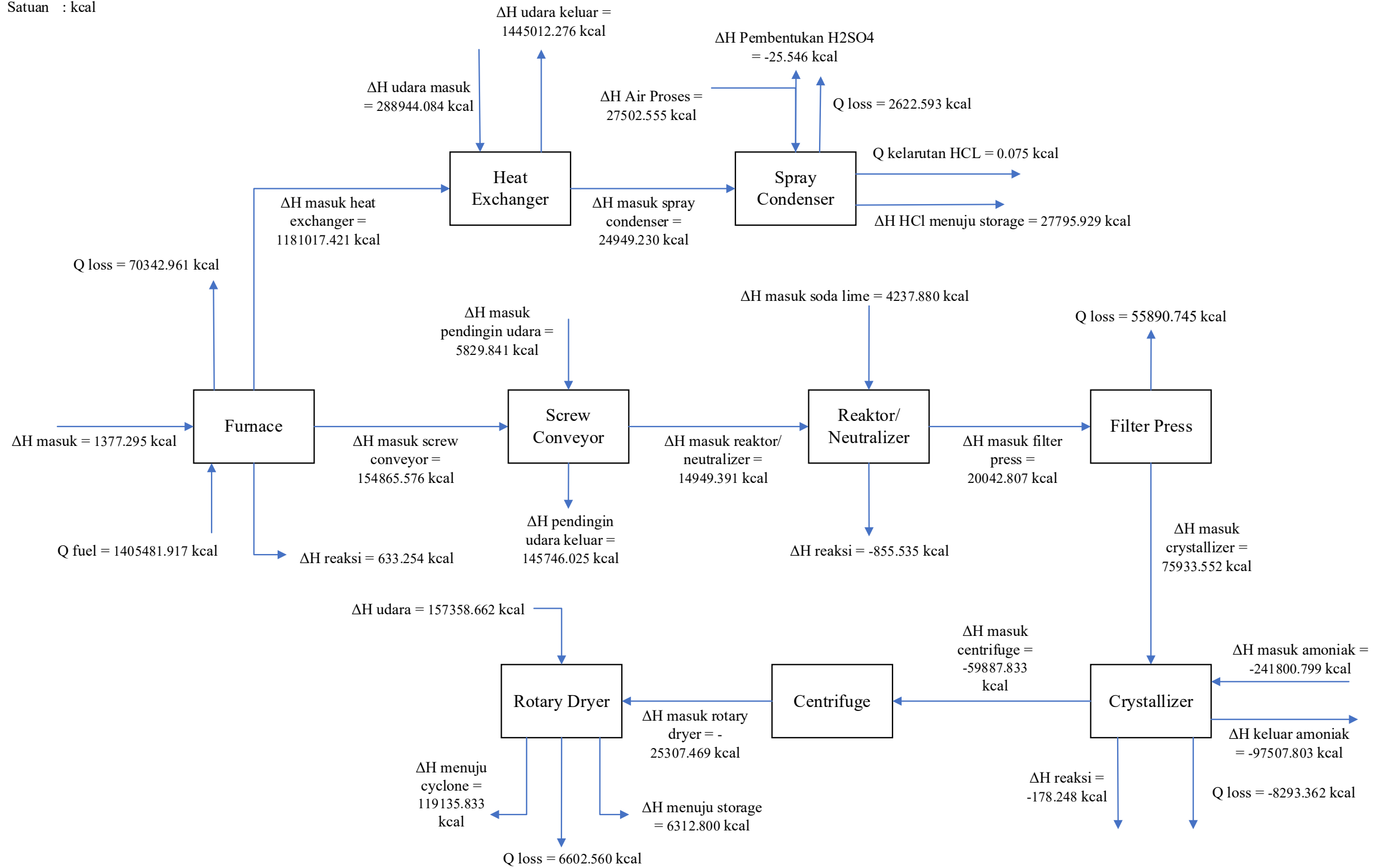


Tabel 2.17 Neraca Energi Spray Condensate

Komponen	Masuk (kcal)	Keluar (kcal)
Enthalpy aliran feed	24949,230	
Enthalpy water process	27502,555	
Enthalpy HCl menuju storage		27795,929
Panas kelarutan HCl		0,075
Enthalpy pembentukan H ₂ SO ₄		-25,546
Q _{loss}		2622,593
TOTAL	52451,785	52451,785

2.5.2.8 Blok Diagram Alir Neraca Massa

Basis : 1 Jam
Satuan : kcal



Gambar 2.4 Blok Diagram Alir Neraca Massa

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Tata Letak Pabrik

Pabrik merupakan bangunan industri dimana para pekerja mengolah bahan mentah atau bahan baku menjadi produk dengan nilai yang efisien dan efektif. Perencanaan fasilitas pabrik (manufacturing facilities planning) terdiri dari perencanaan lokasi tata letak (plant location) dan desain pabrik (plant design) (Ullman, 2012).

Tata letak merupakan tata letak fasilitas yang dapat diartikan bagaimana tata cara membuat sebuah rancangan pabrik yang disertai dengan pengaturan fasilitas yang terencana, dengan demikian akan menghasilkan kegiatan produksi yang aman dan kondusif. Faktor-faktor yang menjadi pertimbangan yaitu pemanfaatan luas area dalam pembuatan layout yang digunakan sebagai tempat mesin atau fasilitas lainnya yang berkaitan dengan produksi. Kelancaran dalam pemindahan suatu material. Dengan merencanakan tata letak yang baik dapat menentukan efisiensi dalam bentuk proses produksi, dan kesuksesan kerja dalam suatu industri. Untuk mencapai kondisi yang optimal, maka dalam menentukan tata letak pabrik perlu mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

1. Luas Area yang Tersedia

Harga tanah merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan kemampuan suatu pabrik menyediakan area tanah. Penggunaan tempat harus disesuaikan dengan area yang tersedia, apabila harga tanah cukup tinggi maka penggunaan lahan harus efisien.

2. Perluasan Pabrik dan Kemungkinan Penambahan Bangunan

Perluasan pabrik ini harus sudah masuk dalam perhitungan sejak awal sehingga masalah kebutuhan akan tempat tidak timbul di masa yang akan datang. Sejumlah area khusus harus sudah dipersiapkan untuk tempat perluasan pabrik, penambahan peralatan dan pengolahan produk, maupun penambahan lahan perkebunan untuk menambah kapasitas.

3. Keamanan

Penentuan tata letak pabrik harus memperhatikan masalah keamanan mengenai kemungkinan adanya bahaya kerja seperti ledakan, kebakaran, asap atau gas beracun harus ditanggulangi dengan tepat dan cepat untuk mengurangi dampak yang lebih besar. Oleh karena itu, perlu diperhatikan dalam penempatan alat-alat pengaman seperti hydrant, alat penahan ledakan, alat sensor gas beracun dan penampung air yang cukup. Tangki penyimpanan bahan atau produk yang berbahaya harus diletakkan di area yang khusus serta perlu adanya jarak antar bangunan. Hal ini dimaksudkan agar dapat dikontrol dengan baik serta dapat memberikan pertolongan dan jalan bagi karyawan untuk menyelamatkan diri.

4. Instalasi dan Utilitas

Penempatan, pemasangan dan distribusi yang baik dari udara, steam, listrik dan utilitas lainnya akan membantu mempermudah proses produksi dan peralatannya. Penempatan peralatan proses sedemikian rupa sehingga petugas dengan mudah mencapainya dan dapat menjamin kelancaran operasi.

5. Area Pengolahan Limbah

Pabrik harus memperhatikan aspek sosial dan ikut menjaga kelestarian lingkungan, yaitu dengan memperhatikan masalah buangan limbah hasil produksinya. Batas maksimal kandungan komponen berbahaya pada limbah harus diperhatikan dengan baik. Untuk itu penambahan fasilitas pengolahan limbah sangat diperlukan, sehingga buangan limbah tersebut tidak berbahaya bagi komunitas yang ada di sekitarnya.

6. Jarak yang Tersedia dan Jarak yang Dibutuhkan

Alat-alat proses perlu diletakkan pada jarak yang teratur dan aman sesuai dengan karakteristik alat dan bahan sehingga kemungkinan bahaya kecelakaan dapat diminimalisir. Sebagian besar gerakan bahan cairan dan gas di plant menggunakan piping dan harus memperhatikan regulasi yang tepat dalam desain. Letak alat proses diusahakan tidak terlalu dekat atau terlalu jauh untuk mempermudah pengangkutan dan perbaikan.

Secara garis besar, tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama :

a) Daerah administrasi/Perkantoran

Daerah administrasi/perkantoran merupakan pusat kegiatan administrasi perusahaan yang mengatur kelancaran operasi dan kegiatan-kegiatan lainnya. Daerah ini ditempatkan di bagian depan pabrik agar kegiatan administrasi tidak mengganggu kegiatan dan keamanan pabrik serta harus terletak jauh dari areal proses yang berbahaya.

b) Daerah Fasilitas Umum

Untuk menunjang kinerja para pekerja, diperlukan fasilitas umum yang memadai. Daerah fasilitas umum merupakan daerah penunjang segala aktivitas pabrik dalam pemenuhan kepentingan pekerja, seperti tempat parkir, tempat ibadah, kantin, toilet dan pos keamanan.

c) Daerah Proses

Daerah proses merupakan daerah tempat alat-alat proses dan tempat proses produksi berlangsung. Tempat yang tepat untuk daerah proses ini terletak di bagian tengah pabrik. Letak aliran proses direncanakan sedemikian rupa sehingga memudahkan pemindahan bahan baku dari tangki penyimpanan dan pengiriman produk ke daerah penyimpanan serta memudahkan pengawasan dan pemeliharaan terhadap alat-alat proses.

d) Daerah Laboratorium dan Ruang Kontrol

Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendali proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual. Daerah laboratorium merupakan pusat kontrol kualitas bahan baku, produk dan limbah proses, sedangkan daerah ruang kontrol merupakan pusat kontrol berjalannya proses yang diinginkan.

e) Daerah Pemeliharaan

Daerah pemeliharaan merupakan tempat penyimpanan suku cadang alat proses sekaligus tempat untuk melakukan perbaikan, pemeliharaan atau perawatan semua peralatan yang dipakai dalam proses.

f) Daerah Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

Persediaan bahan baku dan produk yang memadai harus ditempatkan di lokasi yang strategis. Daerah ini terdiri dari area tangki penyimpanan bahan baku dan produk yang terletak di lingkungan terbuka dan berada di dalam daerah yang dapat terjangkau oleh angkutan pembawa bahan baku dan produk. Daerah ini ditempatkan di dekat areal proses supaya suplai bahan baku proses dan penyimpanan produk lebih mudah dan efisien.

g) Daerah Utilitas

Daerah utilitas merupakan daerah tempat penyediaan air, steam, listrik, bahan bakar, dan udara tekan. Daerah ini ditempatkan dekat dengan daerah proses agar sistem pemipaan lebih ekonomis, tetapi mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan maka jarak antara areal utilitas dengan areal proses harus diatur.

h) Daerah Pengolahan Limbah

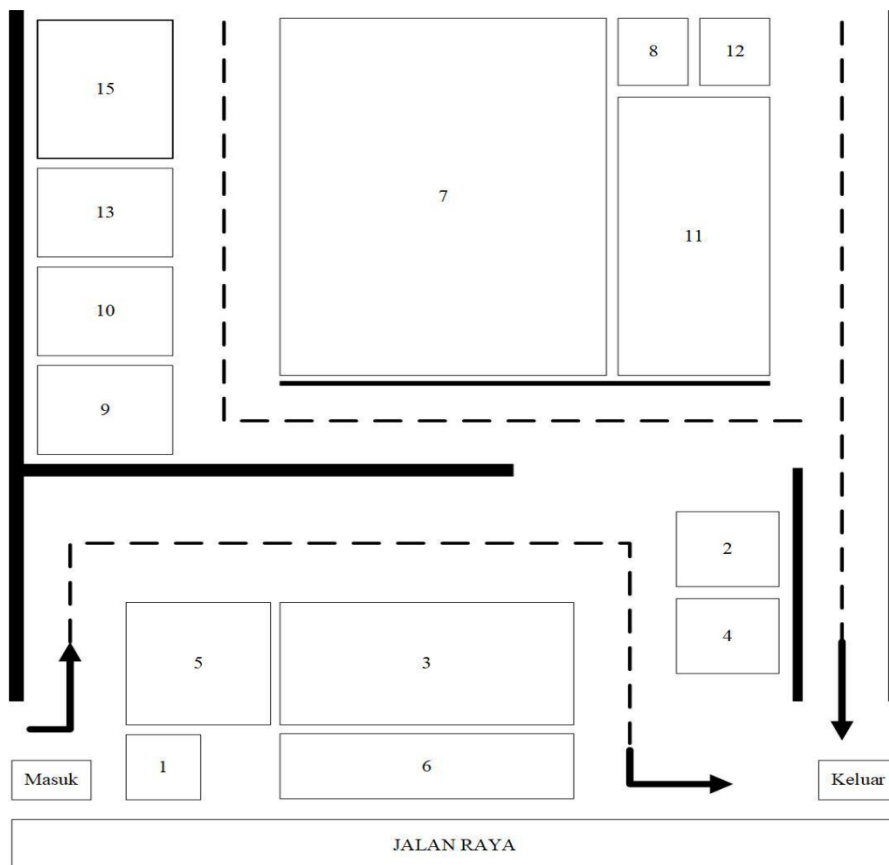
Daerah ini merupakan daerah pembuangan dan pengolahan limbah hasil proses produksi. Adapun perincian luas tanah sebagai bangunan pabrik adalah sebagai berikut:

Tabel 2.18 Luas Bangunan Pabrik

No	Nama Bangunan	Luas m ²
1	Pos Keamanan	20
2	Kantin	120
3	Kantor	500
4	Mushola	40
5	Tempat Parkir	230
6	Taman	80
7	Area Proses	500

No	Nama Bangunan	Luas m ²
8	Ruang Kontrol	240
9	Laboratorium	120
10	Gudang	320
11	Parkir Truk	650
12	Bengkel	130
13	Pengolahan Limbah	550
14	Perluasan	5000
15	Utilitas	1500
TOTAL		10000

Dari perhitungan luas area diatas, direncanakan pengadaan tanah untuk pembangunan pabrik sekitar 10.000 m². Susunan area-area bagian pabrik dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Layout Pabrik

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik, yaitu:

1. Aliran bahan baku dan produk

Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar serta kelancaran serta keamanan produksi dapat terjamin.

2. Aliran udara

Aliran udara di dalam dan di sekitar area proses perlu diperhatikan supaya lancar. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya stagnasi (pemampatan) udara pada suatu tempat yang dapat membahayakan keselamatan kerja.

3. Cahaya

Penerangan seluruh area pabrik harus memadai. Pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.

4. Lalu lintas manusia

Perlu diperhatikan agar pekerja dapat menjangkau seluruh area proses dengan cepat dan mudah sehingga jika terjadi gangguan pada peralatan proses dapat segera diperbaiki. Selain itu keamanan seluruh pekerja selama menjalani tugasnya harus diprioritaskan

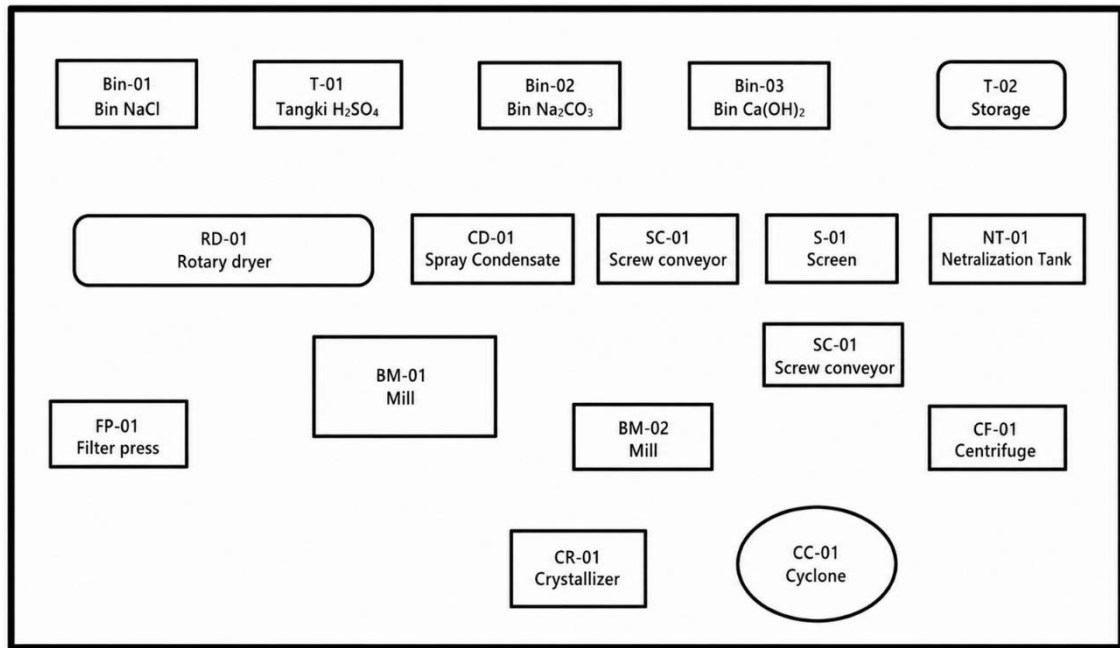
5. Biaya operasi

Dalam penempatan alat-alat proses pada pabrik diusahakan dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran dan keamanan produksi sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

6. Jarak antar alat proses

Untuk alat proses yang memiliki tekanan dan suhu operasi tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran tidak membahayakan alat proses yang lain dan kerusakan dapat dikurangi.

Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, berikut adalah tata letak peralatan yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 sebagai berikut:



Gambar 2.6 Tata Letak Alat

- Bin-01 = Bin NaCl
- T-01 = Tangki H₂SO₄
- NT-01 = Netralization Tank
- CD-01 = Spray Condensate
- RD-01 = Rotary dryer
- CC-01 = Cyclone
- Bin-02 = Bin Na₂CO₃
- Bin-03 = Bin Ca(OH)₂
- FP-01 = Filter press
- CF-01 = Centrifuge
- CR-01 = Crystallizer
- SC-01 = Screw conveyor
- BM-01 = Mill
- BM-02 = Mill
- S-01 = Screen
- T-02 = Storage