

## BAB II

### DESKRIPSI PROSES

#### 2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

##### 2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

###### a. Benzil Sianida ( $C_8H_7N$ )

Benzil sianida adalah bahan baku dalam sintesis asam fenil asetat. Asam fenil asetat yang relevan diproduksi oleh Sheetal Chemicals, sebagaimana dilaporkan oleh Sheetal Chemicals pada tahun 2016. Spesifikasi teknis benzil sianida dapat dirujuk pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Spesifikasi Benzil Sianida (Sheetal Chemicals, 2016).

| Komposisi       | Satuan | Nilai |
|-----------------|--------|-------|
| Benzil Sianida  | %      | 99.0  |
| Benzyl Chloride | % Max  | 0.2   |
| Benzyl Alcohol  | % Max  | 0.3   |
| Moisture        | % Max  | 0.2   |

###### b. Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ )

Asam sulfat adalah senyawa kimia yang sering kali dimanfaatkan sebagai material dasar dalam produksi berbagai barang di sektor industri kimia. PT. Petrokimia Gresik merupakan salah satu produsen asam sulfat sebagai bahan baku untuk memproduksi asam fenil asetat dalam bentuk cair. Berdasarkan informasi dari Satona (2025), spesifikasi asam sulfat disajikan dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Spesifikasi Asam Sulfat (Satona, 2025).

| Komposisi          | Satuan | Nilai   |
|--------------------|--------|---------|
| $H_2SO_4$          | % Min  | 98      |
| Chlorida           | ppm    | Maks 10 |
| Nitrate ( $NO_3$ ) | ppm    | Maks 5  |
| Besi (Fe)          | ppm    | Maks 50 |
| Timbal (Pb)        | ppm    | Maks 50 |

##### 2.1.2 Spesifikasi Bahan Pembantu

###### a. Air ( $H_2O$ )

Air yang digunakan untuk produksi asam fenil asetat diperoleh dari Sungai Bengawan Solo yang berjarak  $\pm 10$  km dari lokasi pabrik.

### 2.1.3 Spesifikasi Produk

#### a. Asam Fenil Asetat ( $C_8H_8O_2$ ) (Produk Utama)

Asam fenil asetat berbentuk padat. Menurut Sheetal Chemicals, 2016. Spesifikasi produk asam fenil asetat yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Spesifikasi Asam Fenil Asetat (Sheetal Chemicals, 2016)

| Parameter         | Satuan | Nilai        |
|-------------------|--------|--------------|
| Bentuk            |        |              |
| Asam fenil asetat | %      | 99.0         |
| Moisture          | %      | Max 1.0      |
| Mol               |        | 136.05       |
| Densitas          |        | 1.081 (80°C) |
| Melt Point        | °C     | 76 - 77      |
| Timbal (Pb)       | ppm    | Max 10       |
| Arsen (As)        | ppm    | Max 10       |
| Besi (Fe)         | ppm    | Max 10       |

#### b. Ammonium Sulfat ( $(NH_4)_2SO_4$ ) (Produk Samping)

Proses produksi asam fenil asetat menghasilkan produk samping yaitu ammonium sulfat. Menurut PT. Petrokimia Gresik, 2021. Spesifikasi ammonium sulfat dapat dilihat pada tabel 2.4

**Tabel 2.4** Spesifikasi Ammonium Sulfat (PT. Petrokimia Gresik, 2021)

| Parameter               | Satuan            | Nilai  |
|-------------------------|-------------------|--------|
| Bentuk                  | -                 | Padat  |
| Berat molekul           | gr/mol            | 132,14 |
| Titik lebur             | °C                | 235    |
| Densitas                | g/cm <sup>3</sup> | 1,77   |
| Kemurnian               | %                 |        |
| Impuritas ( $H_2O$ )    | %                 | 1      |
| Impuritas ( $H_2SO_4$ ) | %                 | 0,1    |

### 2.1.4 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

#### a. Bezil Sianida

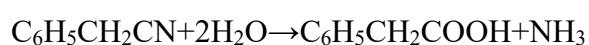
Sifat Fisika (AK Scientific, Inc, 2019)

- Wujud fisik : Cairan jernih tidak berwarna hingga kuning muda
- Rumus molekul :  $C_8H_7N$

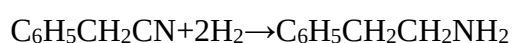
- Berat molekul : 117,15 g/mol
- Titik didih : 233–234 °C
- Titik leleh/beku : –24 °C
- Massa jenis relative : 1,01
- Indeks bias : 1,522–1,524

Sifat Kimia (AK Scientific, Inc, 2019)

- Benzil sianida ( $C_6H_5CH_2CN$ ) merupakan senyawa nitril aromatik yang relatif stabil pada kondisi normal, namun dapat mengalami reaksi hidrolisis pada kondisi asam atau basa kuat menghasilkan asam fenilasetat atau garamnya. Reaksi hidrolisis secara umum adalah sebagai berikut:



- Pada kondisi asam kuat, benzil sianida dapat terprotonasi dan mengalami reaksi lanjutan menjadi amida sebagai produk antara sebelum terbentuk asam karboksilat.
- Gugus nitril ( $-CN$ ) pada benzil sianida bersifat reaktif terhadap reaksi reduksi, menghasilkan amina primer, yaitu benzilamina, sesuai reaksi berikut:



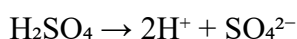
#### b. Asam Sulfat

Sifat Fisika (Fisher Scientific, 2014)

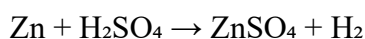
- Wujud fisik : Cair
- Penampakan : Tidak berwarna
- Bau : Tidak berbau
- pH :  $\pm 1$  (larutan 1 N)
- Titik leleh : 10 °C
- Titik didih : 290 °C
- Tekanan uap : 1 mmHg pada 146 °C
- Massa jenis relative : 1,840
- Viskositas : 21 mPa·s pada 25 °C
- Rumus molekul :  $H_2SO_4$
- Berat molekul : 98,07 g/mol

Sifat Kimia (Fisher Scientific, 2014)

- Asam sulfat merupakan asam kuat yang terionisasi hampir sempurna di dalam air membentuk ion hidrogen dan ion sulfat, dengan reaksi sebagai berikut:



- Asam sulfat bersifat sangat higroskopis dan memiliki daya dehidrasi yang kuat sehingga mampu menyerap air dan menghilangkan unsur air dari berbagai senyawa organik.
- Asam sulfat bereaksi dengan logam aktif seperti seng menghasilkan gas hidrogen dan garam sulfat, sesuai reaksi berikut:



- Asam sulfat pekat juga dapat bertindak sebagai agen pengoksidasi pada suhu tinggi dan bereaksi sangat eksotermis apabila dicampurkan dengan air.

#### c. Air

Sifat Fisika (Airgas USA, LLC, 2021)

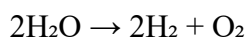
- Wujud fisik : Cair
- Penampakan : Jernih
- Warna : Tidak berwarna
- Bau : Tidak berbau
- pH :  $\pm 7$  (netral, pada 25 °C)
- Titik leleh : 0 °C
- Titik didih : 100 °C
- Tekanan uap : 23,8 mmHg pada 25 °C
- Massa jenis relative : 1,00 (pada 4 °C)
- Viskositas : 0,89 mPa·s pada 25 °C
- Rumus molekul :  $\text{H}_2\text{O}$
- Berat molekul : 18,02 g/mol

Sifat Kimia (Airgas USA, LLC, 2021)

- Air merupakan senyawa polar yang dapat mengalami autoionisasi membentuk ion hidrogen dan ion hidroksida sebagai berikut:



- Air berperan sebagai pelarut universal bagi banyak senyawa ionik dan polar karena konstanta dielektriknya yang tinggi
- Air dapat bertindak sebagai reaktan dalam berbagai reaksi kimia, seperti reaksi hidrasi, hidrolisis, dan reaksi asam–basa.
- Pada kondisi tertentu, air dapat mengalami elektrolisis menghasilkan gas hidrogen dan oksigen sesuai reaksi berikut:



## 2.1.5 Sifat Fisika dan Kimia Produk

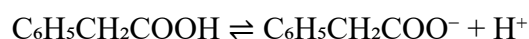
### 1. Asam Fenil Asetat

Sifat Fisika (LGC Standards, 2025)

- Wujud fisik : Padat
- Penampakan : Padat berwarna putih hingga putih kusam (off-white)
- Bau : Tidak sedap
- Titik leleh : 76,5 °C
- Titik didih : 265 °C
- Titik nyala : 100 °C
- Tekanan uap : 1 mmHg pada 97 °C
- Massa jenis relative : 1,091 pada 77 °C
- Rumus molekul :  $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_2$
- Berat molekul : 136,15 g/mol

Sifat Kimia (LGC Standards, 2025)

- Asam fenil asetat merupakan asam karboksilat aromatik yang bersifat asam lemah dan dapat terionisasi dalam air membentuk ion fenilasetat dan ion hidrogen, sesuai reaksi berikut:

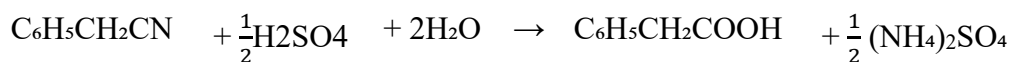


- Asam fenil asetat dapat bereaksi dengan basa membentuk garam fenilasetat dan air melalui reaksi netralisasi.
- Asam fenil asetat juga dapat mengalami reaksi esterifikasi dengan alkohol pada kondisi asam menghasilkan ester fenilasetat, yang banyak digunakan sebagai senyawa antara dalam industri kimia dan farmasi.

## 2.2 Konsep Proses

### 2.2.1 Dasar Reaksi

Pembentukan asam fenil asetat merupakan reaksi hidrolisis nitril yang berlangsung dalam fase cair, tanpa katalis logam berat, berdasarkan konversi benzil sianida menjadi asam karboksilat dan amonia. Reaksi hidrolisis nitril dalam suasana asam merupakan salah satu reaksi dasar dalam kimia organik yang banyak digunakan dalam skala industri (Smith, 2020; McMurry, 2016). Reaksi ini bersifat irreversible dan eksotermis, serta merupakan salah satu metode industri yang umum digunakan untuk produksi asam fenil asetat (Perry & Green, 2008). Reaksi utama untuk proses hidrolisis ini adalah sebagai berikut:



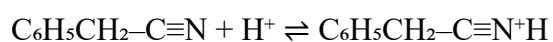
Proses pembentukan asam fenil asetat melalui hidrolisis benzil sianida dijalankan pada suhu sekitar 105°C dan tekanan  $\pm 1$  atm. Pada kondisi ini diperoleh produk dengan yield mencapai 90%. Reaksi hidrolisis nitril umumnya berlangsung dalam fase cair dan dapat dioperasikan dalam reaktor berpengaduk kontinu (CSTR) maupun tubular reactor, tergantung pada kebutuhan desain proses (Perry & Green, 2008). Reaksi ini juga tidak memerlukan katalis logam berat karena dapat berlangsung efektif dalam suasana asam kuat (Clayden et al., 2012). Reaksi ini bersifat *irreversible* dan eksotermis, dengan perubahan entalpi standar sebesar  $\Delta H^\circ_{298} = -4.780,82$  kJ/mol, sehingga panas yang dihasilkan dari reaksi dapat dimanfaatkan untuk membantu mempertahankan suhu operasi pada rentang yang diinginkan. Kalor reaksi ini juga dapat digunakan untuk mendukung kebutuhan energi proses, sehingga kebutuhan pendinginan eksternal dapat diminimalkan dan kehilangan kalor ke lingkungan menjadi sangat kecil (Towler & Sinnott, 2013).

### 2.2.2 Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi pembentukan asam fenil asetat dari benzil sianida merupakan reaksi hidrolisis gugus nitril dalam suasana asam kuat. Reaksi ini termasuk reaksi substitusi nukleofilik pada karbon elektrofilik, di mana protonasi awal oleh asam sulfat meningkatkan sifat elektrofilik karbon nitril sehingga dapat diserang oleh nukleofil (Clayden et al., 2012; Smith, 2020) berupa molekul air, mekanisme reaksi yang terjadi sebagai berikut:

#### a. Protonasi gugus nitril oleh asam sulfat

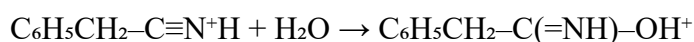
Pada tahap awal, gugus nitril ( $-\text{C}\equiv\text{N}$ ) pada benzil sianida mengalami protonasi oleh ion  $\text{H}^+$  yang berasal dari asam sulfat. Atom nitrogen pada nitril memiliki pasangan elektron bebas sehingga dapat berikatan dengan proton dan membentuk ion nitrilium (nitrilium ion). Protonasi ini menyebabkan peningkatan polaritas ikatan rangkap tiga  $\text{C}\equiv\text{N}$ , sehingga karbon nitril kehilangan densitas elektron dan menjadi sangat elektrofilik (McMurry, 2016). Akibatnya, karbon tersebut lebih rentan terhadap serangan nukleofil. Reaksi tahap ini dapat dituliskan sebagai:



Tahap ini bersifat kesetimbangan dan berfungsi sebagai langkah aktivasi untuk meningkatkan reaktivitas substrat.

#### b. Serangan nukleofilik oleh air

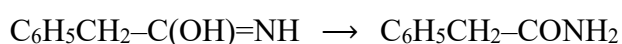
Setelah terbentuk ion nitrilium, molekul air bertindak sebagai nukleofil. Atom oksigen pada air memiliki pasangan elektron bebas yang menyerang karbon nitril yang telah terprotonasi. Serangan ini menghasilkan intermediat bermuatan positif yang dikenal sebagai imidate atau imidic acid intermediate. Intermediat ini memiliki struktur dengan gugus hidroksil dan ikatan rangkap C=N, yang bersifat tidak stabil karena distribusi muatan dan resonansi elektron yang belum optimal (Solomons et al., 2017). Reaksi tahap ini:



Tahap ini merupakan langkah inti reaksi substitusi nukleofilik, di mana nukleofil menggantikan karakter nitril melalui pembentukan ikatan baru dengan karbon.

#### c. Transfer proton dan pembentukan amida

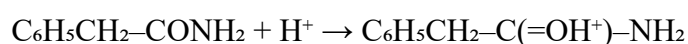
Intermediat imidic acid selanjutnya mengalami transfer proton intramolekul dan tautomerisasi, di mana proton berpindah dari gugus -OH ke atom nitrogen, disertai dengan pergeseran ikatan rangkap dari C=N menjadi C=O. Proses ini menghasilkan benzil amida ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{CONH}_2$ ) sebagai produk antara yang lebih stabil. Amida lebih stabil dibandingkan intermediat sebelumnya karena adanya resonansi antara pasangan elektron nitrogen dan gugus karbonil (Wade, 2013), yang menurunkan energi sistem secara keseluruhan. Reaksi tahap ini dapat dituliskan sebagai:



Tahap ini menandai konversi gugus nitril menjadi gugus amida, yang merupakan langkah antara sebelum pembentukan asam karboksilat.

#### d. Protonasi gugus karbonil pada amida

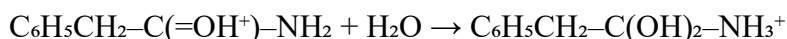
Amida yang terbentuk relatif stabil sehingga memerlukan aktivasi lanjutan untuk dapat terhidrolisis menjadi asam karboksilat. Aktivasi dilakukan melalui protonasi pada atom oksigen karbonil, karena oksigen memiliki densitas elektron tinggi dan lebih mudah menerima proton dibandingkan nitrogen amida. Protonasi ini meningkatkan elektrofilitas karbon karbonil, sehingga karbon menjadi lebih reaktif terhadap serangan nukleofil oleh molekul air (Clayden et al., 2012). Reaksi tahap ini:



#### e. Serangan nukleofilik air dan pembentukan intermediat tetrahedral

Setelah karbon karbonil teraktivasi, molekul air kembali bertindak sebagai nukleofil dan menyerang karbon elektofilik pada gugus amida terprotonasi. Serangan ini menghasilkan intermediat tetrahedral, yang memiliki dua gugus hidroksil dan satu gugus amonium terikat pada karbon pusat. Struktur ini bersifat energetik tinggi dan tidak stabil,

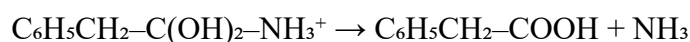
sehingga cenderung mengalami reorganisasi untuk mencapai keadaan energi yang lebih rendah (Smith, 2020). Reaksi tahap ini:



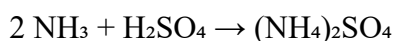
Tahap ini merupakan langkah penting menuju pelepasan gugus amino dan pembentukan gugus karboksilat.

f. Pelepasan amonia dan pembentukan asam fenil asetat

Intermediat tetrahedral yang terbentuk selanjutnya mengalami reorganisasi struktur, di mana gugus amonium ( $\text{-NH}_3^+$ ) bertindak sebagai leaving group dan terlepas sebagai amonia ( $\text{NH}_3$ ). Bersamaan dengan itu, ikatan rangkap karbonil ( $\text{C=O}$ ) terbentuk kembali, menghasilkan asam fenil asetat ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ ) sebagai produk utama reaksi (McMurry, 2016). Reaksi tahap ini:



Amonia yang dilepaskan selanjutnya bereaksi dengan asam sulfat di dalam medium reaksi membentuk amonium sulfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) sebagai produk samping:



Tahap akhir ini menandai selesainya konversi nitril menjadi asam karboksilat, sekaligus menjelaskan terbentuknya produk samping amonium sulfat yang sering ditemukan dalam proses industri.

### 2.2.3 Kondisi Operasi

### 2.2.4 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika dilakukan untuk menentukan apakah reaksi pembentukan asam fenil asetat bersifat eksotermis (melepas panas) atau endotermis (memerlukan panas). Selain itu, kajian ini juga digunakan untuk menilai apakah reaksi berlangsung secara irreversible atau reversible, dengan mengacu pada perhitungan entalpi pembentukan standar serta energi Gibbs pada kondisi tekanan 1 atm dan Temperatur  $25^\circ\text{C}$  ( $298^\circ\text{K}$ ).

**Tabel 2.5** Nilai  $\Delta H^\circ_f$  dan  $\Delta G^\circ_f$  (Green & Southard, 2019)

| Komponen       | Rumus Kimia                    | $\Delta H_f$ (kJ/mol) | $\Delta G_f$ (kJ/mol) |
|----------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Benzil sianida | $\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$ | 156,66                | 237,3                 |
| Asam sulfat    | $\text{H}_2\text{SO}_4$        | -735,13               | -653,47               |
| Air            | $\text{H}_2\text{O}$           | -241,80               | -228,6                |



|                   |                                                 |          |          |
|-------------------|-------------------------------------------------|----------|----------|
| Asam fenil asetat | C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | -322,80  | -213,35  |
| Ammonium sulfat   | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | -1.387,1 | -1.270,2 |

Nilai panas reaksi standar sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}_{R\ 298} &= \Delta H^{\circ}_{f(\text{produk})} - \Delta H^{\circ}_{f(\text{reaktan})} \\ &= (-322,8 + (\frac{1}{2} \times -1.387,10)) - (156,66 + (\frac{1}{2} \times -735,13) + (2 \times -241,8)) \\ &= -21,845 \text{ (reaksi eksotermis)}\end{aligned}$$

Nilai energi gibbs standar sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{R\ 298} &= \Delta G^{\circ}_{f(\text{produk})} - \Delta G^{\circ}_{f(\text{reaktan})} \\ &= (-213,35 + (\frac{1}{2} \times -1.270,20)) - (237,30 + (\frac{1}{2} \times -653,47) + (2 \times -228)) \\ &= -301,615 \text{ (reaksi spontan)}\end{aligned}$$

Tetapan kesetimbangan reaksi standar dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$K_{298} = \exp\left(-\frac{\Delta G^{\circ}_R}{R \times T_0}\right)$$

$$K_{298} = \exp\left(-\frac{-301,615 \text{ kJ/mol}}{8,314 \times 10^{-3} \times 298K}\right)$$

$$K_{298} = 8,04 \times 10^{52}$$

Pada T = 378 K, tetapan kesetimbangan reaksi dihitung melalui persamaan berikut

$$\frac{K}{K_{298}} = \exp\left(\frac{\Delta H^{\circ}_R}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

$$K = 8,04 \times 10^{52} \times \left(-\frac{321,845 \text{ kJ/mol}}{8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol.K}} \left(\frac{1}{378 \text{ K}} - \frac{1}{298K}\right)\right)$$

$$K = 9,23 \times 10^{40}$$

### 2.2.5 Tinjauan Kinetika

Berdasarkan (McCabe, 1985), asam sulfat dan air bersifat excess sehingga persamaan kecepatan reaksi berikut:

$$(-r_{C_8H_7N}) = k \times C_{C_8H_7N}$$

Penentuan nilai tetapan kecepatan reaksi pembentukan asam fenil asetat dihitung menggunakan collision theory berikut ini:

#### 1. Collision Diameter C<sub>8</sub>H<sub>7</sub>N (σ C<sub>8</sub>H<sub>7</sub>N)

Tabel 2.6 Data Atomic Volume (Treybal, 1980)

| Atom     | Atomic Volume, m <sup>3</sup> |
|----------|-------------------------------|
| Karbon   | 0,0148                        |
| Hidrogen | 0,0037                        |

|          |        |
|----------|--------|
| Oksigen  | 0,0074 |
| Nitrogen | 0,0156 |

$$\sigma_{C_8H_7N} = 1,18 \times V_{C_8H_7N}^{\frac{1}{3}}$$

dimana,

$$V_{C_8H_7N} = \sum n \times \text{atomic volume}$$

$$V_{C_8H_7N} = (8 \times 0,0148) + (7 \times 0,0037) + 0,0074$$

$$\begin{aligned}\sigma_{C_8H_7N} &= (1,18 \times 0,15993)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,062894 \text{ nm} \\ &= 6,29 \times 10^{-11} \text{ m}\end{aligned}$$

## 2. Frekuensi Tumbukan

Frekuensi tumbukan (McCabe, 1985), dihitung menggunakan persamaan:

$$A = \sigma_{C_8H_7N}^2 (8 \cdot \pi \cdot R_g \cdot T \cdot \frac{M_{C_8H_7N}}{M_{C_8H_7N}})$$

Sehingga, diperoleh nilai frekuensi tumbukan sebagai berikut:

$$A = (6,29 \times 10^{-11})^2 \left( 8 \times 3,14 \times 8,314 \times 378 \times \frac{117}{117} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$A = 1,56 \times 10^{-16}$$

$$A = 1,56 \times 10^{-16} \times 6,02 \times 10^{26}$$

$$A = 9,40 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{det}$$

$$A = 3,36 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{kmol} \cdot \text{jam}$$

## 3. Energi Aktivasi

Energi aktivasi dihitung berdasarkan data energi ikat (Smith, 1970)

**Tabel 2.7** Data Energi Ikat (Smith, 1970)

| Komponen                                        | H (kJ/mol) |
|-------------------------------------------------|------------|
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 8.272,03   |
| H <sub>2</sub> O                                | 859,82     |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 2.833,62   |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 8.380,70   |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 5.955,15   |

$$E = \Delta H$$

$$\Delta H = \sum (\text{koefisien} \times H \text{ produk}) - \sum (\text{koefisien} \times H \text{ reaktan})$$

$$= ((2 \times 8.272,03) + (4 \times 859,82) + 2.833,62) - ((2 \times 8.380,70) + 5.955,15)$$

$$\begin{aligned}
&= 100,41 \text{ kJ/mol} \\
&= 100,41 \text{ kJ/mol} \times 0,238846 \text{ kkal/kJ} \times 1.000 \text{ mol/kmol} \\
&= 23.982,53 \text{ kkal/kmol}
\end{aligned}$$

Nilai frekuensi tumbukan dan energi aktivasi distribusi ke persamaan

$$k = A \exp \left( \frac{-E}{R_g \times T} \right)$$

sehingga, diperoleh tetapan kecepatan reaksi pada  $T = 378 \text{ K}$ , yaitu:

$$k = (3,36 \times 10^{14}) \exp \frac{-23.982,53 \text{ kkal/kmol}}{1,987 \text{ kkal/mol} \times 378}$$

$$k = 4,59 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

## 2.3 Langkah Proses

### 2.3.1 Tahapan Persiapan Bahan Baku

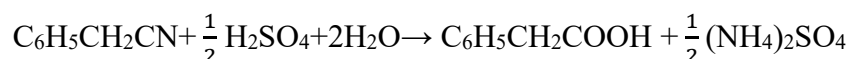
Bahan baku berupa benzil sianida, asam sulfat, dan air dengan perbandingan molar 1 : 0,5 : 2 disimpan dalam tangki penyimpanan masing-masing, yaitu TK-101 untuk benzil sianida dan TK-102 untuk asam sulfat, sedangkan air diumpankan langsung ke sistem. Seluruh bahan baku berada pada kondisi operasi sekitar  $30^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm untuk menjaga kestabilan bahan serta memudahkan penanganan selama proses berlangsung. Dari tangki penyimpanan, bahan baku dialirkan menuju reaktor utama R-101 menggunakan pompa P-101 A/B hingga mencapai tekanan sekitar 1,5 bar. Pemilihan tekanan ini bertujuan untuk mengatasi kehilangan tekanan sepanjang sistem perpipaan serta memastikan tekanan umpan lebih tinggi dibandingkan tekanan reaktor, sehingga aliran dapat berlangsung secara kontinu dan stabil. Laju alir masing-masing komponen dikontrol menggunakan *flow indicator controller* (FIC), sedangkan ketinggian cairan dalam tangki dijaga menggunakan *level indicator controller* (LIC) guna mempertahankan kontinuitas suplai bahan baku.

Sebelum memasuki reaktor, bahan baku segar terlebih dahulu dicampurkan dengan aliran *recycle* yang berasal dari unit pemurnian, yaitu filtrat dari *rotary drum filter* (RD-101/RD-102) yang bercampur dengan hasil atas evaporator EV-101/EV-102. Arus *recycle* ini masih mengandung benzil sianida, air, dan asam sulfat dengan kondisi operasi sekitar  $40^\circ\text{C}$  dan tekanan 1–1,5 bar, sehingga setelah pencampuran diperoleh suhu campuran sekitar  $30\text{--}40^\circ\text{C}$ . Kondisi ini dipilih untuk menjaga viskositas campuran tetap rendah, meningkatkan homogenitas, serta mencegah terjadinya reaksi prematur sebelum memasuki reaktor. Temperatur campuran dipantau menggunakan *temperature indicator controller* (TIC), sedangkan tekanan sistem dipantau dengan *pressure indicator* (PI) dan

dikendalikan melalui operasi pompa. Dengan sistem pengendalian tersebut, umpan yang masuk ke reaktor R-101 memiliki kondisi yang homogen, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan proses, sehingga mendukung efisiensi reaksi pada tahap selanjutnya.

### 2.3.2 Tahap Reaksi

Benzil sianida, asam sulfat, dan air yang telah dipersiapkan pada tahap sebelumnya selanjutnya diumpankan ke dalam reaktor R-101 untuk mengalami reaksi pembentukan asam fenil asetat. Reaktor yang digunakan adalah *continuous stirred tank reactor* (CSTR) atau reaktor alir tangki berpengaduk, yang dipilih karena mampu menghasilkan campuran yang homogen serta menjaga kondisi operasi yang seragam di seluruh volume reaktor. Di dalam reaktor ini terjadi reaksi hidrolisis benzil sianida dalam medium asam yang menghasilkan asam fenil asetat sebagai produk utama dan ammonium sulfat sebagai produk samping. Secara umum, reaksi dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi dijalankan pada kondisi operasi suhu sekitar 105°C dan tekanan 1,5 bar, dengan konversi benzil sianida mencapai sekitar 90%. Pemilihan suhu operasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan laju reaksi hidrolisis yang secara kinetika berjalan lebih cepat pada suhu tinggi, namun tetap dibatasi agar tidak menyebabkan degradasi produk. Tekanan operasi dipertahankan pada 1,5 bar untuk menjaga fase cair tetap stabil selama reaksi berlangsung serta mencegah penguapan komponen yang terlibat. Untuk menjamin homogenitas campuran dan mempercepat perpindahan massa antar fase, reaktor dilengkapi dengan sistem pengadukan dengan kecepatan yang disesuaikan sehingga tidak menimbulkan vortex berlebih namun cukup untuk mempertahankan pencampuran yang efektif.

Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis sehingga menghasilkan panas selama berlangsungnya reaksi. Oleh karena itu, reaktor R-101 dilengkapi dengan sistem pendingin berupa jaket yang menggunakan media *cooling water* (CW) untuk menyerap panas reaksi dan menjaga suhu tetap pada kondisi operasi yang diinginkan. Pengendalian suhu dilakukan menggunakan *temperature indicator controller* (TIC) yang mengatur laju alir *cooling water* ke dalam jaket reaktor. Selain itu, tekanan dalam reaktor dipantau menggunakan *pressure indicator* (PI) untuk memastikan tetap berada pada kisaran operasi yang aman, sedangkan laju alir umpan ke reaktor dikontrol menggunakan *flow indicator controller* (FIC) agar waktu tinggal reaktan di dalam reaktor tetap optimal. Dengan sistem

pengendalian tersebut, kondisi operasi di dalam reaktor dapat dipertahankan stabil sehingga konversi reaksi tinggi dan pembentukan produk samping dapat diminimalkan.

### 2.3.3 Tahap Pemekatan dan Kristalisasi Awal

Produk keluaran dari reaktor R-101, pada kondisi sekitar 105°C dan tekanan 1,5 bar, selanjutnya dialirkan menuju unit pemekatan dan kristalisasi yang terdiri dari dua jalur pengolahan yang disusun secara berurutan, bukan paralel, karena keduanya memanfaatkan perbedaan kelarutan (solubility) antara asam fenil asetat dan ammonium sulfat untuk memisahkan keduanya secara bertahap melalui kristalisasi fraksional.

Pada jalur pertama, seluruh produk reaksi dialirkan ke evaporator EV-101 untuk dipekatkan dengan menguapkan sebagian kandungan airnya, menggunakan steam bertekanan tinggi pada suhu pemanas 161°C hingga 230°C dan tekanan 6,5 atm sebagai media pemanas, sementara tekanan operasi pada sisi proses evaporator itu sendiri dipertahankan pada kisaran 1-1,5 bar agar penguapan berlangsung efektif tanpa menyebabkan degradasi produk. Uap (vapor) yang terbentuk dialirkan ke heat exchanger E-101 untuk dikondensasikan kembali menjadi cairan menggunakan *cooling water* (CW) yang disuplai oleh pompa P-104 A/B atau P-105 A/B, dan kondensatnya dikembalikan ke reaktor R-101. Berkurangnya jumlah air pelarut akibat penguapan ini menyebabkan konsentrasi seluruh zat terlarut meningkat, namun karena asam fenil asetat memiliki kelarutan yang jauh lebih rendah dibandingkan ammonium sulfat pada rentang suhu operasi yang sama, konsentrasi asam fenil asetat lebih dahulu mencapai kondisi lewat jenuh atau *supersaturated*, sementara ammonium sulfat pada konsentrasi tersebut masih berada di bawah batas kelarutannya dan tetap larut sempurna. Cairan pekat dari EV-101 ini kemudian dialirkan ke crystallizer CR-101, yang dioperasikan pada suhu sekitar 40°C dengan bantuan *cooling water* yang dikendalikan menggunakan *temperature indicator controller* (TIC), sehingga mendorong terbentuknya inti kristal asam fenil asetat yang tumbuh menjadi kristal padat dengan ukuran yang seragam, sedangkan ammonium sulfat tetap berada dalam fase cair sebagai bagian dari *mother liquor*. *Level indicator controller* (LIC) menjaga kestabilan volume *crystallizer*, sedangkan *pressure indicator* (PI) memantau tekanan sistem. Slurry yang terbentuk di CR-101 langsung dialirkan ke unit filtrasi RD-101 tanpa melalui *heat exchanger* tambahan.

Pada jalur kedua, filtrat hasil filtrasi di RD-101, yaitu *mother liquor* yang masih banyak mengandung ammonium sulfat terlarut beserta sisa benzil sianida dan asam sulfat, dialirkan langsung menuju evaporator EV-102 untuk dipekatkan lebih lanjut. EV-102 dioperasikan pada kondisi suhu dan tekanan yang sama dengan EV-101, mengingat kedua

jalur evaporasi-kristalisasi pada proses ini dirancang secara simetris. Uap hasil penguapan di EV-102 dialirkan ke *heat exchanger* E-102 untuk dikondensasikan dengan *cooling water*, dan kondensatnya juga dikembalikan ke reaktor R-101. Penguapan lebih lanjut ini membuat konsentrasi ammonium sulfat akhirnya juga melampaui batas kelarutannya sendiri dan mencapai kondisi lewat jenuh. Cairan pekat dari EV-102 kemudian dialirkan ke *crystallizer* CR-102, yang dioperasikan pada kondisi yang sama dengan CR-101 (sekitar 40°C, *cooling water*, TIC, LIC, dan PI), di mana ammonium sulfat membentuk inti kristal dan tumbuh menjadi kristal padat. Slurry kristal ammonium sulfat dari CR-102 ini kemudian langsung dialirkan ke unit filtrasi RD-102.

Dengan rangkaian dua tahap pemekatan dan kristalisasi yang berurutan ini, campuran asam fenil asetat dan ammonium sulfat dapat dipisahkan secara fraksional, yaitu teknik pemisahan yang memanfaatkan perbedaan kelarutan masing-masing zat untuk mengkristalkannya satu per satu secara bertahap, bukan sekaligus dalam satu tahap. Komponen yang kelarutannya lebih rendah, yaitu asam fenil asetat, mengkristal dan diambil terlebih dahulu pada tahap pertama (EV-101–CR-101), sedangkan komponen yang kelarutannya lebih tinggi, yaitu ammonium sulfat, tetap terlarut dan ikut terbawa ke tahap kedua hingga akhirnya mengkristal pada tahap kedua (EV-102–CR-102), menghasilkan dua produk kristal yang relatif terpisah dengan kemurnian yang baik.

#### **2.3.4 Tahap Pemisahan Padat-Cair**

Slurry hasil dari unit *crystallizer* CR-101 yang mengandung kristal asam fenil asetat serta fase cair berupa campuran benzil sianida, asam sulfat, air, dan ammonium sulfat terlarut selanjutnya dialirkan menuju unit pemisahan padat - cair menggunakan *rotary drum vacuum filter* RD-101. Unit ini berfungsi untuk memisahkan kristal padatan dari fase cair secara kontinu. Proses filtrasi dilakukan dengan memanfaatkan tekanan vakum 0,8 bar, yang dipilih untuk meningkatkan laju pemisahan serta menghasilkan cake dengan kandungan cairan yang lebih rendah. Selama operasi, slurry dialirkan secara kontinu ke permukaan drum yang berputar, di mana fase cair akan terhisap melalui media filter, sedangkan padatan tertahan di permukaan sebagai cake. Tekanan sistem dipantau menggunakan *pressure indicator* (PI), sedangkan laju alir slurry dikontrol menggunakan *flow indicator controller* (FIC) untuk menjaga kestabilan proses filtrasi.

Filtrat yang dihasilkan dari RD-101 berupa fase cair yang masih mengandung benzil sianida, asam sulfat, air, asam fenil asetat terlarut, serta ammonium sulfat terlarut, sehingga tidak langsung dibuang melainkan dialirkan kembali ke unit evaporator EV-102 sebagai bagian dari sistem *recycle*. Pengembalian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi

pemanfaatan bahan baku serta mengurangi kehilangan komponen yang masih bernilai. Aliran filtrat diatur menggunakan *flow indicator controller* (FIC) untuk menjaga keseimbangan massa dalam sistem. Sementara itu, padatan berupa kristal asam fenil asetat yang diperoleh sebagai cake selanjutnya dialirkan menuju tahap pengeringan. Untuk menjaga kestabilan operasi, unit ini dilengkapi dengan *level indicator controller* (LIC) untuk mengontrol volume slurry yang masuk sehingga proses berlangsung kontinu.

Pemilihan *rotary drum vacuum filter* didasarkan pada kemampuannya dalam menangani slurry dalam jumlah besar secara kontinu serta menghasilkan padatan dengan kadar cairan yang relatif rendah. Selain itu, penggunaan sistem vakum mempercepat proses pemisahan dan meningkatkan efisiensi operasi, sehingga sesuai untuk kapasitas produksi pabrik ini. Dengan demikian, tahap pemisahan padat-cair ini menghasilkan kristal asam fenil asetat dengan kadar cairan yang lebih rendah dan siap untuk diproses lebih lanjut pada tahap pengeringan.

### **2.3.5 Tahap Pengeringan dan Penyimpanan Produk**

Slurry hasil dari unit *crystallizer* CR-101 yang mengandung kristal asam fenil asetat serta fase cair berupa campuran benzil sianida, asam sulfat, air, dan ammonium sulfat terlarut selanjutnya dialirkan menuju unit pemisahan padat-cair menggunakan *rotary drum vacuum filter* RD-101. Pada jalur kedua, slurry dari *crystallizer* CR-102 yang mengandung kristal ammonium sulfat dipisahkan menggunakan *rotary drum vacuum filter* RD-102. Kedua unit ini berfungsi untuk memisahkan fase padat dari fase cair secara kontinu. Proses filtrasi dilakukan dengan memanfaatkan tekanan vakum sekitar 0,8 bar, yang dipilih untuk meningkatkan laju pemisahan serta menghasilkan cake dengan kandungan cairan yang lebih rendah. Selama operasi, slurry dialirkan secara kontinu ke permukaan drum yang berputar, di mana fase cair akan terhisap melalui media filter, sedangkan padatan tertahan di permukaan sebagai cake. Tekanan sistem dipantau menggunakan *pressure indicator* (PI), sedangkan laju alir slurry dikontrol menggunakan *flow indicator controller* (FIC) untuk menjaga kestabilan proses filtrasi.

Filtrat yang dihasilkan dari RD-101 dan RD-102 berupa fase cair yang masih mengandung benzil sianida, asam sulfat, air, serta komponen terlarut lainnya, sehingga tidak langsung dibuang melainkan dialirkan kembali ke unit *evaporator* EV-101/EV-102 sebagai bagian dari sistem *recycle*. Pengembalian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan bahan baku serta mengurangi kehilangan komponen yang masih bernilai. Aliran filtrat diatur menggunakan *flow indicator controller* (FIC) untuk menjaga keseimbangan massa dalam sistem. Sementara itu, padatan hasil filtrasi berupa kristal

asam fenil asetat dari RD-101 dan kristal ammonium sulfat dari RD-102 selanjutnya dialirkan menuju tahap pengeringan. Untuk menjaga kestabilan operasi, unit ini dilengkapi dengan *level indicator controller* (LIC) untuk mengontrol volume slurry yang masuk sehingga proses berlangsung kontinu.

Pemilihan *rotary drum vacuum filter* didasarkan pada kemampuannya dalam menangani slurry dalam jumlah besar secara kontinu serta menghasilkan padatan dengan kadar cairan yang relatif rendah. Selain itu, penggunaan sistem vakum mempercepat proses pemisahan dan meningkatkan efisiensi operasi, sehingga sesuai untuk kapasitas produksi pabrik ini. Dengan demikian, tahap pemisahan padat-cair ini mampu memisahkan produk utama dan produk samping secara efektif serta menghasilkan padatan dengan kadar cairan rendah yang siap untuk diproses lebih lanjut pada tahap pengeringan.

### **2.3.6 Tahap *Recycle* dan Penanganan Aliran Samping**

Tahap *recycle* dan penanganan aliran samping dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan bahan baku serta mengurangi limbah yang dihasilkan dari proses produksi. Berdasarkan *process flow diagram*, aliran *recycle* utama berasal dari hasil atas unit *evaporator* EV-101 dan EV-102, serta filtrat dari *rotary drum vacuum filter* RD-101 dan RD-102. Aliran ini masih mengandung komponen bernilai seperti benzil sianida, asam sulfat, dan air, sehingga tidak dibuang melainkan dikembalikan ke tahap awal proses sebelum reaktor R-101. Aliran *recycle* berada pada kondisi sekitar 40°C dan tekanan 1–1,5 bar, dan laju alirnya dikontrol menggunakan *flow indicator controller* (FIC) untuk menjaga rasio *recycle* terhadap umpan segar tetap optimal. Penerapan sistem *recycle* ini bertujuan untuk meningkatkan konversi keseluruhan proses, mengurangi konsumsi bahan baku segar, serta menjaga kestabilan komposisi umpan ke reaktor.

Selain aliran *recycle*, proses ini juga menghasilkan aliran samping berupa produk ammonium sulfat dari jalur CR-102, RD-102, FD-102 serta gas buang dari unit pengeringan dan pembakaran. Ammonium sulfat yang terbentuk dipisahkan dan ditangani sebagai produk samping bernilai tambah, sehingga tidak menjadi limbah. Sementara itu, gas buang dari unit *flash dryer* FD-101, FD-102 dan *furnace* F-101 dialirkan menuju sistem pemisahan seperti separator V-101 sebelum dilepas ke atmosfer. Temperatur dan laju alir gas dipantau menggunakan *temperature indicator controller* (TIC) dan *flow controller* untuk memastikan operasi berlangsung aman dan memenuhi batas emisi yang ditetapkan.

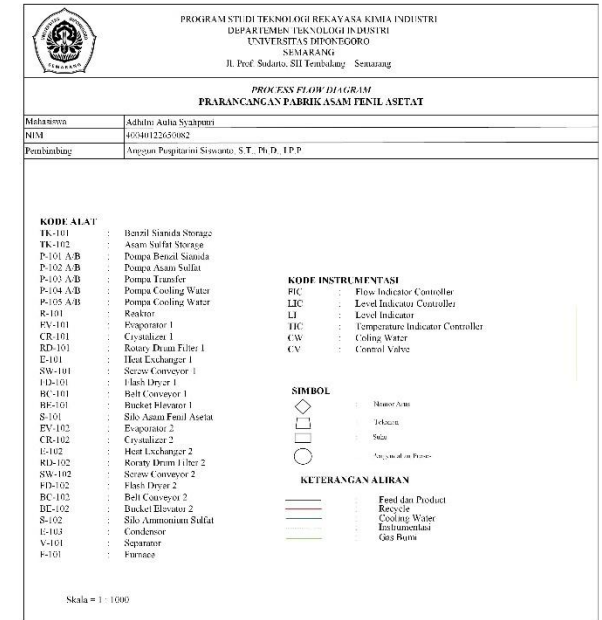
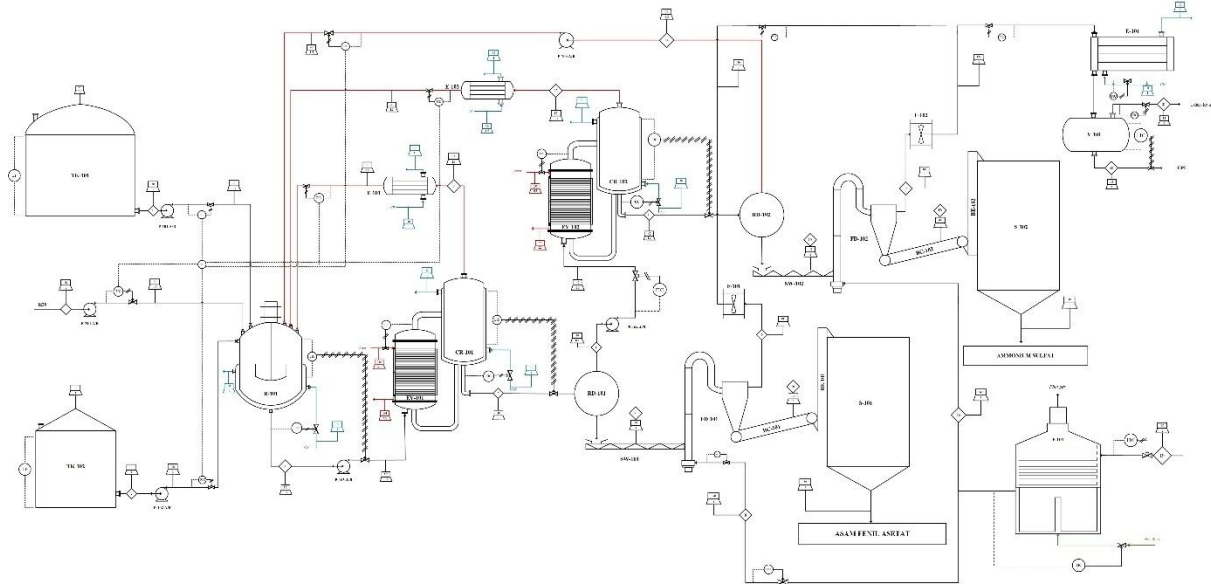
Pengendalian proses pada tahap ini difokuskan pada kestabilan aliran *recycle* dan keamanan penanganan aliran samping. *Flow controller* (FIC) digunakan untuk mengatur



laju alir *recycle* agar tidak mengganggu keseimbangan massa sistem, sedangkan *pressure indicator* (PI) dan *temperature indicator* (TI) digunakan untuk memantau kondisi operasi pada jalur cairan dan gas. Selain itu, sistem ventilasi dan pembuangan gas dirancang untuk mencegah akumulasi tekanan berlebih serta memastikan emisi yang dilepas aman bagi lingkungan. Dengan pengelolaan yang tepat, tahap ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan, tetapi juga mendukung aspek keberlanjutan dan operasional pabrik.

## 2.4 Process Flow Diagram Asam Fenil Asetat

### PROCESS FLOW DIAGRAM PRARANCANGAN PABRIK ASAM FENIL ASETAT METODE HIDROLISIS BENZIL SIANIDA DENGAN ASAM SULFAT KAPASITAS 16.000 TON/TAHUN

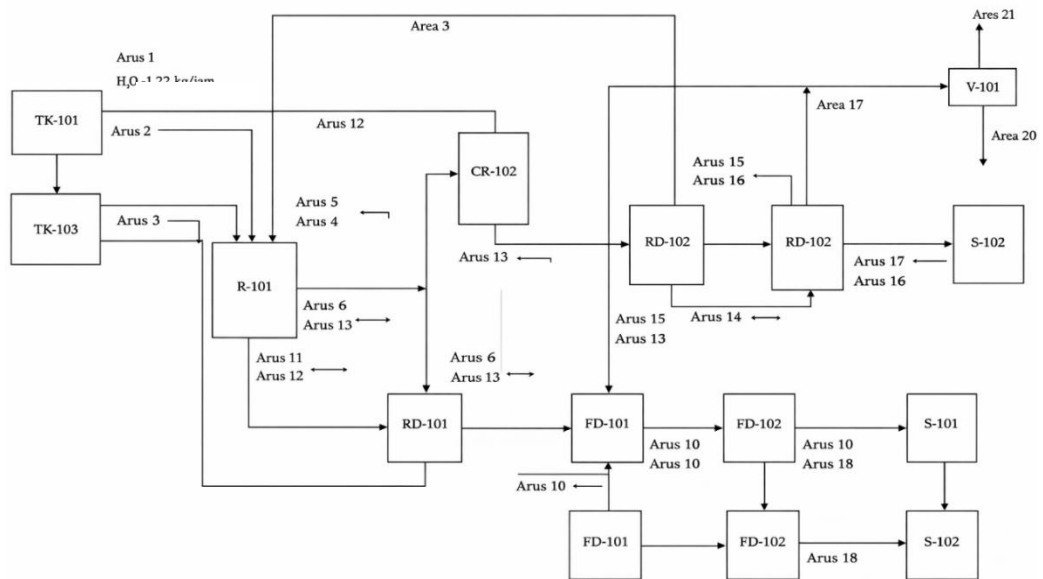


| Komponen  | Laju Alir Massa (Kg/Jam) |          |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |           |            |            |
|-----------|--------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
|           | Arus 1                   | Arus 2   | Arus 3     | Arus 4     | Arus 5     | Arus 6     | Arus 7     | Arus 8     | Arus 9     | Arus 10    | Arus 11    | Arus 12    | Arus 13    | Arus 14    | Arus 15    | Arus 16    | Arus 17    | Arus 18    | Arus 19   | Arus 20    | Arus 21    |
| 8H7N      | 1911,7647                |          |            | 193,1075   | 38,6215    | 154,4860   | 23,1729055 |            | 19,8708    | 3,3021     | 131,313131 | 26,2626263 | 105,050505 | 89,2929293 | 15,7575758 |            | 13,7940603 | 1,96351541 |           | 33,6648209 |            |
| H2O       | 19,3107546               | 645,5257 | 17,5726    | 110,766342 | 88,6130734 | 22,1532683 | 3,32299025 |            | 3,28976035 | 0,0332299  | 18,8302781 | 15,0642225 | 3,76605562 | 3,20114728 | 0,56490834 |            | 0,55925926 | 0,00564908 |           | 3,84901961 |            |
| H2SO4     |                          |          | 861,059559 | 150,765298 | 30,1530597 | 120,612239 | 18,0918358 |            | 15,5137446 | 2,57809124 | 102,520403 | 20,5040806 | 82,0163223 | 69,713874  | 12,3024484 |            | 10,7694685 | 1,5329799  |           | 26,283213  |            |
| C8H18O2   |                          |          |            | 2401,62854 |            | 2401,62854 | 2041,38426 |            |            | 2041,38426 | 360,244281 |            | 360,244281 |            | 360,244281 |            |            | 360,244281 |           |            |            |
| (NH4)2SO4 |                          |          |            | 980,392157 |            | 980,392157 |            |            |            |            | 980,392157 |            | 980,392157 |            | 980,392157 |            |            | 980,392157 |           |            |            |
| N2        |                          |          |            |            |            |            |            | 326,309452 | 326,309452 |            |            |            |            |            |            | 238,688856 | 238,688856 |            | 3460,584  |            | 596,970473 |
| O2        |                          |          |            |            |            |            |            | 99,1319854 | 99,1319854 |            |            |            |            |            |            | 72,5130703 | 72,5130703 |            | 1060,9422 |            | 165,344877 |
| Total     | 1931,0755                | 645,5257 | 878,632203 | 3836,6599  | 157,3876   | 3679,2722  | 2085,97199 | 425,4414   | 464,1157   | 2047,2977  | 1593,30025 | 61,8309293 | 1531,46932 | 162,207951 | 1369,26137 | 311,201927 | 336,324715 | 1344,13858 | 3460,584  | 63,7970535 | 762,315351 |

Gambar 2.1 Diagram Alir Proses Pembuatan Asam Fenil Asetat

## 2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

### 2.5.1 Neraca Massa



**Gambar 2.2** Diagram Alir Neraca Massa

Keterangan

TK-101 : Tangki Penyimpanan Benzil Sianida

TK-102 : Tangki Penyimpanan Asam Sulfat

R-101 : Reaktor

RD-101/102 : Rotary Drum

CR-101/102 : Crystallizer

FD-101/102 : Flash Dryer

V-101 : Separator

S-101/102 : Silo

Berikut ini adalah rangkuman dari neraca massa pabrik asam fenil asetat dengan kapasitas 16.000 ton/tahun. Perhitungan lengkapnya terlampir pada lampiran A.

#### 2.5.1.1 Neraca Massa di Reaktor (R-101)

**Tabel 2.8** Neraca Massa Reaktor (R-101)

| Komponen    | Input (kg/jam) |          |          |         |         |         | Output (kg/jam) |
|-------------|----------------|----------|----------|---------|---------|---------|-----------------|
|             | Arus 1         | Arus 2   | Arus 3   | Arus 5  | Arus 12 | Arus 14 | Arus 4          |
| $C_8H_7N$   | 1911.7647      |          |          | 38.6215 | 26.2626 | 89.2929 | 193.1075        |
| $H_2O$      | 19.3108        | 645.5257 | 17.5726  | 88.6131 | 15.0642 | 3.2011  | 110.7663        |
| $H_2SO_4$   |                |          | 861.0596 | 30.1531 | 20.5041 | 69.7139 | 150.7653        |
| $C_8H_8O_2$ |                |          |          |         |         |         | 2401.6285       |

|                                                 |           |          |          |          |         |          |           |
|-------------------------------------------------|-----------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------|
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |           |          |          |          |         |          | 980.3922  |
| Total                                           | 1931.0755 | 645.5257 | 878.6322 | 157.3876 | 61.8309 | 162.2080 | 3836.6599 |
|                                                 | 3836.6599 |          |          |          |         |          | 3836.6599 |

### 2.5.1.2 Neraca Massa di *Crystallizer* (CR-101)

**Tabel 2.9** Neraca Massa Crystallizer (CR-101)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) | Output (Kg/jam) |           |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------|
|                                                 | Arus 4         | Arus 5          | Arus 6    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 193.1075       | 38.6215         | 154.4860  |
| H <sub>2</sub> O                                | 110.7663       | 88.6131         | 22.1533   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 150.7653       | 30.1531         | 120.6122  |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 2401.6285      | -               | 2401.6285 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 980.3922       | -               | 980.3922  |
| Total                                           | 3836.6599      | 157.3876        | 3679.2722 |
|                                                 | 3836.6599      | 3836.6599       |           |

### 2.5.1.3 Neraca Massa di *Rotary Drum* (RD-101)

**Tabel 2.10** Neraca Massa Rotary Drum (RD-101)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) | Output (Kg/jam) |           |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|-----------|
|                                                 | Arus 6         | Arus 11         | Arus 7    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 154.4860368    | 131.31313       | 23.172906 |
| H <sub>2</sub> O                                | 22.15326834    | 18.830278       | 3.3229903 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 120.6122387    | 102.5204        | 18.091836 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 2401.628542    | 360.24428       | 2041.3843 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 980.3921569    | 980.39216       | -         |
| Total                                           | 3679.272243    | 1593.3003       | 2085.972  |
|                                                 | 3679.272243    | 3679.272243     |           |

### 2.5.1.4 Neraca Massa di *Flash Dryer* (FD-101)

**Tabel 2.11** Neraca Massa Flash Dryer (FD-101)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) |           | Output (kg/jam) |            |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------------|------------|
|                                                 | Arus 7         | Arus 8    | Arus 9          | Arus 10    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 23.17290553    |           | 19.870761       | 3.30214498 |
| H <sub>2</sub> O                                | 3.322990251    |           | 3.2897603       | 0.0332299  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 18.09183581    |           | 15.513745       | 2.57809124 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 2041.384261    |           |                 | 2041.38426 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                |           |                 |            |
| Udara                                           |                | 432.50319 | 432.50319       |            |

|       |             |           |             |            |
|-------|-------------|-----------|-------------|------------|
| Total | 2085.971993 | 432.50319 | 471.17746   | 2047.29773 |
|       | 2518.475183 |           | 2518.475183 |            |

#### 2.5.1.5 Neraca Massa di *Crystallizer* (CR-102)

**Tabel 2.12** Neraca Massa Crystallizer (CR-102)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) | Output (Kg/jam) |             |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------|
|                                                 | Arus 11        | Arus 12         | Arus 13     |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 131.3131313    | 26.262626       | 105.05051   |
| H <sub>2</sub> O                                | 18.83027809    | 15.064222       | 3.7660556   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 102.5204029    | 20.504081       | 82.016322   |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 360.2442814    | -               | 360.24428   |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 980.3921569    | -               | 980.39216   |
| Total                                           | 1593.300251    | 61.830929       | 1531.4693   |
|                                                 | 1593.300251    |                 | 1593.300251 |

#### 2.5.1.6 Neraca Massa di *Rotary Drum* (RD-102)

**Tabel 2.13** Neraca Massa Rotary Drum (RD-102)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) | Output (Kg/jam) |             |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|-------------|
|                                                 | Arus 13        | Arus 14         | Arus 15     |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 105.0505051    | 89.292929       | 15.757576   |
| H <sub>2</sub> O                                | 3.766055618    | 3.2011473       | 0.5649083   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 82.01632235    | 69.713874       | 12.302448   |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 360.2442814    |                 | 360.24428   |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 980.3921569    |                 | 980.39      |
| Total                                           | 1531.469321    | 162.20795       | 1369.2614   |
|                                                 | 1531.469321    |                 | 1531.469321 |

#### 2.5.1.7 Neraca Massa di *Flash Dryer* (FD-102)

**Tabel 2.14** Neraca Massa Flash Dryer (FD-102)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) |           | Output (kg/jam) |            |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------------|------------|
|                                                 | Arus 15        | Arus 16   | Arus 17         | Arus 18    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 15.75757576    |           | 13.79406        | 1.96351541 |
| H <sub>2</sub> O                                | 0.564908343    |           | 0.5592593       | 0.00564908 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 12.30244835    |           | 10.769468       | 1.5329799  |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 360.2442814    |           |                 | 360.244281 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 980.39         |           |                 | 980.39     |
| Udara                                           |                | 312.92843 | 312.92843       |            |
| Total                                           | 1369.261371    | 312.92843 | 338.05122       | 1344.13858 |

|             |             |
|-------------|-------------|
| 1682.189799 | 1682.189799 |
|-------------|-------------|

### 2.5.1.8 Neraca Massa di Separator (V-102)

**Tabel 2.15** Neraca Massa Separator (V-101)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) |           | Output (kg/jam) |            |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------|-----------------|------------|
|                                                 | Arus 9         | Arus 17   | Arus 20         | Arus 21    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 19.87076055    | 13.79406  | 33.664821       |            |
| H <sub>2</sub> O                                | 3.289760349    | 0.5592593 | 3.8490196       |            |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 15.51374457    | 10.769468 | 26.283213       |            |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    |                |           |                 |            |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                |           |                 |            |
| Udara                                           | 432.5031905    | 312.92843 |                 | 745.431619 |
| Total                                           | 471.1774559    | 338.05122 | 63.797054       | 745.431619 |
|                                                 | 809.2286724    |           | 809.2286724     |            |

### 2.5.1.9 Neraca Massa Overall

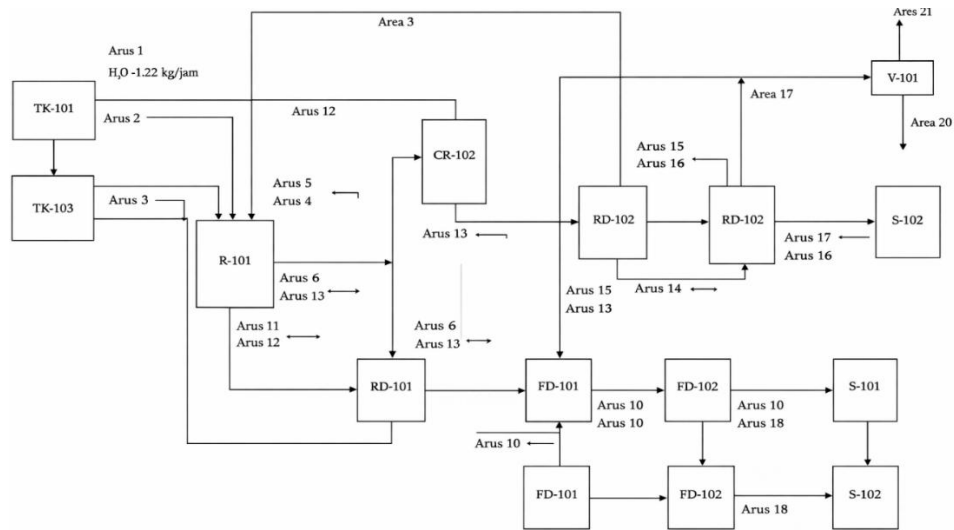
**Tabel 2.16** Neraca Massa Overall

| Komponen                                        | Input (kg/jam) |             |           |            |          | Output (kg/jam) |             |             |             |
|-------------------------------------------------|----------------|-------------|-----------|------------|----------|-----------------|-------------|-------------|-------------|
|                                                 | Arus 1         | Arus 2      | Arus 3    | Arus 5     | Arus 10  | Arus 12         | Arus 14     | Arus 18     | Arus 20     |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 1911.764706    |             |           | 38.6215092 | 3.302145 | 26.2626263      | 89.29292929 | 1.963515409 | 33.66482089 |
| H <sub>2</sub> O                                | 19.3107546     | 645.5257    | 17.572644 | 88.6130734 | 0.03323  | 15.0642225      | 3.201147275 | 0.005649083 | 3.849019608 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  |                |             | 861.05956 | 30.1530597 | 2.578091 | 20.5040806      | 69.71387399 | 1.5329799   | 26.28321302 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    |                |             |           |            | 1659.958 |                 |             | 360.2442814 |             |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                |             |           |            |          |                 |             | 980.39      |             |
| Udara                                           |                |             |           |            |          |                 |             |             |             |
| Total                                           | 1931.07546     | 645.5257    | 878.6322  | 157.387642 | 1665.871 | 61.8309293      | 162.2079506 | 1344.138583 | 63.79705352 |
|                                                 |                | 3455.233363 |           |            |          |                 | 3455.233363 |             |             |

$$\text{Efisiensi \%} = \frac{\text{Produk}}{\text{Total Bahan Masuk}} \times 100\%$$

$$= 95,273 \%$$

## 2.5.2 Neraca Panas



**Gambar 2.3** Diagram Alir Neraca Panas

Keterangan

TK-101 : Tangki Penyimpanan Benzil Sianida

TK-102 : Tangki Penyimpanan Asam Sulfat

R-101 : Reaktor

RD-101/102 : *Rotary Drum*

CR-101/102 : *Evaporative Crystallizer*

FD-101/102 : *Flash Dryer*

V-101 : Separator

S-101/102 : Silo

### 2.5.2.1 Neraca Panas di Reaktor (R-101)

**Tabel 2.17** Neraca Panas Reaktor (R-101)

| Komponen                                        | Input (kg/jam) |          |         |         |          | Output (kg/jam) |         |          |         |  |
|-------------------------------------------------|----------------|----------|---------|---------|----------|-----------------|---------|----------|---------|--|
|                                                 | Arus 1         | Arus 2   | Arus 3  | Arus 5  | Arus 10  | Arus 12         | Arus 14 | Arus 18  | Arus 20 |  |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 1911,765       |          |         | 38,622  | 3,302    | 26,263          | 89,293  | 1,964    | 33,665  |  |
| H <sub>2</sub> O                                | 19,311         | 645,526  | 17,573  | 88,613  | 0,033    | 15,064          | 3,201   | 0,006    | 3,849   |  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  |                |          | 861,060 | 30,153  | 2,578    | 20,504          | 69,714  | 1,533    | 26,283  |  |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    |                |          |         |         | 1659,958 |                 |         | 360,244  |         |  |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                |          |         |         |          |                 |         | 980,392  |         |  |
| Udara                                           |                |          |         |         |          |                 |         |          |         |  |
| Total                                           | 1931,075       | 645,526  | 878,632 | 157,388 | 1665,871 | 61,831          | 162,208 | 1344,139 | 63,797  |  |
|                                                 |                | 3455,233 |         |         |          | 3455,233        |         |          |         |  |



### 2.5.2.2 Neraca Panas di Evaporator (EV-101)

**Tabel 2.18** Neraca Massa di Evaporator (EV-101)

| Kompoen                                         | Panas Masuk (Kj/Jam) |             | Panas Keluar (Kj/Jam) |            |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|------------|
|                                                 | Arus 4in             | Q pemanas   | Arus 5 out            | Arus 6 out |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 28244.47             |             | 2052.0                | 8207.87    |
| H <sub>2</sub> O                                | 17870.55             |             | 10503.4               | 2625.86    |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 37051.76             |             | 1301.7                | 5206.78    |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 350017.82            |             |                       | 130906.16  |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 39469.43             |             |                       | 15114.00   |
| Total                                           | 472654.02            | -296736.259 | 13857.1               | 162060.67  |
|                                                 | 175917.76            |             | 175917.76             |            |

### 2.5.2.3 Neraca Panas di Cristalizer (CR-101)

**Tabel 2.19** Neraca Panas Cristalizer (CR-101)

| Kompoen                                         | Panas Masuk (Kj/Jam) |             | Panas Keluar (Kj/Jam) |  |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|--|
|                                                 | Arus 6 in            | Q pendingin | Arus 6 out            |  |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 26666.97209          |             | 4136.46983            |  |
| H <sub>2</sub> O                                | 8644.20224           |             | 1392.007962           |  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 16899.38562          |             | 2603.829584           |  |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 418425.1596          |             | 62498.82419           |  |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 47606.74469          |             | 6976.68408            |  |
| Total                                           | 518242.4642          | 440634.6485 | 77607.81565           |  |
|                                                 | 518242.4642          |             | 518242.4642           |  |

### 2.5.2.4 Neraca Panas di Rotary Drum (RD-101)

**Tabel 2.20** Neraca Panas Rotary Drum (RD-101)

| Komponen                                        | Arus 6 in   | Arus 11 out | Arus 7 out  |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 4136.46983  | 3515.999356 | 620.4704745 |
| H <sub>2</sub> O                                | 1392.007962 | 1183.206767 | 208.8011942 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 2603.829584 | 2213.255147 | 390.5744376 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 62498.82419 | 9374.823629 | 53124.00057 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 6976.68408  | 6976.68408  |             |
| Total                                           | 77607.81565 | 23263.96898 | 54343.84667 |
|                                                 | 77607.81565 | 77607.81565 |             |

### 2.5.2.5 Neraca Panas di *Flash Dryer* (FD-101)

**Tabel 2.21** Neraca Panas Flash Dryer (FD-101)

| Kompoen                                         | Panas Masuk (Kj/Jam) |            | Panas Keluar (Kj/Jam) |            |
|-------------------------------------------------|----------------------|------------|-----------------------|------------|
|                                                 | Arus 7               | Arus 8     | Arus 9                | Arus 10    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 620.4704745          |            | 5077.199088           | 238.039704 |
| H <sub>2</sub> O                                | 208.8011942          |            | 1902.341518           | 5.55617859 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 390.5744376          |            | 3214.018609           | 150.226182 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 53124.00057          |            |                       | 92466.0742 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |                      |            |                       |            |
| Udara                                           |                      | 1435056.23 | 1386346.622           |            |
| Total                                           | 54343.84667          | 1435056.23 | 1396540.181           | 92859.8963 |
|                                                 | 1489400.077          |            | 1489400.077           |            |

### 2.5.2.6 Neraca Panas di Evaporator (EV-102)

**Tabel 2.22** Neraca Panas di Evaporator (EV-102)

| Komponen                                        | Arus 11 in  | Q pemanas   | Arus 12 out | Arus 13 out |
|-------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 3515.999356 |             | 6300.793526 | 25203.1741  |
| H <sub>2</sub> O                                | 1183.206767 |             | 8185.862724 | 2046.46568  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 2213.255147 |             | 3989.16366  | 15956.6546  |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 9374.823629 |             |             | 87236.969   |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 6976.68408  |             |             | 66354.1921  |
| Total                                           | 23263.96898 | 192009.3065 | 18475.81991 | 196797.456  |
|                                                 | 215273.2754 |             | 215273.2754 |             |

### 2.5.2.7 Neraca Panas di *Crystallizer* (CR-102)

**Tabel 2.23** Neraca Panas Cristalizer (CR-102)

| Kompoen                                         | Panas Masuk (Kj/Jam) | Panas Keluar (Kj/Jam) |             |
|-------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
|                                                 | Arus 13in            | Qpendingin            | Arus 13out  |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 22390.37462          |                       | 2812.799484 |
| H <sub>2</sub> O                                | 1809.824328          |                       | 236.6413535 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 14186.05052          |                       | 1770.604117 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 77862.14538          |                       | 9374.823629 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 59377.50802          |                       | 6976.68408  |
| Total                                           | 175625.9029          | 154454.3502           | 21171.55266 |
|                                                 | 175625.9029          | 175625.9029           |             |

### 2.5.2.8 Neraca Panas di *Rotary Drum* (RD-102)

**Tabel 2.24** Neraca Panas Rotary Drum (RD-102)

| Kompoen                                         | Panas Masuk (Kj/Jam) | Panas Keluar (Kj/Jam) |             |
|-------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
|                                                 | Arus 13              | Arus 14               | Arus 15     |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 2812.799484          | 2390.879562           | 421.9199227 |
| H <sub>2</sub> O                                | 236.6413535          | 201.1451505           | 35.49620302 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 1770.604117          | 1505.0135             | 265.5906176 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 9374.823629          |                       | 9374.823629 |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 6976.68408           |                       | 6976.68408  |
| Total                                           | 21171.55266          | 4097.038212           | 17074.51445 |
|                                                 | 21171.55266          | 21171.55266           |             |

### 2.5.2.9 Neraca Panas di *Flash Dryer* (FD-102)

**Tabel 2.25** Neraca Panas Flash Dryer (FD-102)

| Kompoen                                         | Panas Masuk (Kj/Jam) |             | Panas Keluar (Kj/Jam) |            |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|------------|
|                                                 | Arus 15              | Arus 16     | Arus 17               | Arus 18    |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N                 | 421.9199227          |             | 133538.9859           | 141.542733 |
| H <sub>2</sub> O                                | 35.49620302          |             | 844698.6147           | 0.94455036 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 265.5906176          |             | 333508.1929           | 89.3272177 |
| C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>    | 9374.823629          |             |                       |            |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | 6976.68408           |             |                       | -1259660.3 |
| Udara                                           |                      | 1038304.227 | 1003061.432           |            |
| Total                                           | 17074.51445          | 1038304.227 | 2314807.225           | -1259428.5 |
|                                                 | 1055378.741          | 1055378.741 |                       |            |

### 2.5.2.10 Neraca Panas di *Heat Exchanger* (E-101)

**Tabel 2.26** Neraca Panas di Heat Exchanger (E-101)

| Kompoen                         | Panas Masuk (Kj/Jam) | Panas Keluar (Kj/Jam) |             |
|---------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------|
|                                 | Arus 5in             | Qpendingin            | Arus 5out   |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N | 2051.96737           |                       | 1034.117458 |
| H <sub>2</sub> O                | 10503.42996          |                       | 5568.031846 |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 1301.694702          |                       | 650.957396  |
| Total                           | 13857.09203          | 6603.985331           | 7253.1067   |
|                                 | 13857.09203          | 13857.09203           |             |

### 2.5.2.11 Neraca Panas di *Heat Exchanger* (E-102)

**Tabel 2. 27** Neraca Panas Heat Exchanger (E-102)

| Kompoen                         | Panas Masuk (Kj/Jam) |             | Panas Keluar (Kj/Jam) |  |
|---------------------------------|----------------------|-------------|-----------------------|--|
|                                 | Arus 5in             | Qpendingin  | Arus 5out             |  |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N | 5597.593655          |             | 703.1998711           |  |
| H <sub>2</sub> O                | 7239.29731           |             | 946.5654139           |  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 3546.51263           |             | 442.6510293           |  |
| Total                           | 16383.4036           | 14290.98728 | 2092.416314           |  |
|                                 | 16383.4036           |             | 16383.4036            |  |

### 2.5.2.12 Neraca Panas di Condenser Partial (S-101)

**Tabel 2.28** Neraca Panas Condenser Partial (S-101)

| Kompoen                         | Panas Masuk (Kj/Jam) |            | Panas Keluar (Kj/Jam) |  |
|---------------------------------|----------------------|------------|-----------------------|--|
|                                 | Arus 22in            | Qpendingin | Arus 22out            |  |
| N <sub>2</sub>                  | 86558.04701          |            |                       |  |
| O <sub>2</sub>                  | 20701.66789          |            |                       |  |
| C <sub>8</sub> H <sub>7</sub> N | 6416.090913          |            | 354.2535805           |  |
| H <sub>2</sub> O                | 1059.703222          |            | 90.2833958            |  |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 3631.777061          |            | 176.3201703           |  |
| Total                           | 118367.2861          | 117746.429 | 620.8571465           |  |
|                                 | 118367.2861          |            | 118367.2861           |  |

### 2.5.2.13 Neraca Panas di Furnace (H-101)

**Tabel 2.29** Neraca Panas Furnace (H-101)

| Kompoen        | Panas Masuk (Kj/Jam) |             | Panas Keluar (Kj/Jam) |  |
|----------------|----------------------|-------------|-----------------------|--|
|                | Arus 19in            | Qpendingin  | Arus 19out            |  |
| N <sub>2</sub> | 4156.090152          |             | 216123.8436           |  |
| O <sub>2</sub> | 1120.322743          |             | 60180.06564           |  |
| Total          | 5276.412894          | 271027.4964 | 276303.9092           |  |
|                |                      | 276303.9092 | 276303.9092           |  |

#### 2.5.2.14 Neraca Panas Overall

**Tabel 2.30** Neraca Panas Overall

| Arus                  | Input (kJ/jam)    | Output (kJ/jam)   |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Arus 1                | 114802,86         |                   |
| Arus 2                | 163223,79         |                   |
| Arus 3                | 42341,58          |                   |
| Q pengenceran R-101   |                   |                   |
| Q reaksi R-101        | -4780,82          |                   |
| Arus stream EV-101    |                   | -296736,259       |
| Arus stream EV-102    | 192009,31         |                   |
| Udara panas FD-101    |                   |                   |
| Udara panas FD-102    |                   |                   |
| Arus 19               | 5276,412894       |                   |
| Q furnace             | 271027,4964       |                   |
| Qloss                 | 449184,88         |                   |
| Arus pendingin R-101  |                   | 426306,70         |
| Arus pendingin CR-101 |                   | 440634,6485       |
| Arus pendingin CR-102 |                   | 154454,3502       |
| Arus pendingin E-101  |                   | 6603,985331       |
| Arus pendingin E-102  |                   | 14290,98728       |
| Arus pendingin        |                   |                   |
| Condenser             |                   | 117746,429        |
| Arus 10               |                   | 92859,89631       |
| Arus 18               |                   |                   |
| Flue gas              |                   | 276303,9092       |
| Arus 22               |                   | 620,8571465       |
| <b>Total</b>          | <b>1233085,51</b> | <b>1233085,51</b> |

$$\% \text{ Heat Loss} = \frac{\text{Panas yang dilepaskan}}{\text{Panas output}} \times 100 = 0,65\%$$

$$\% \text{ Efisiensi Neraca Panas} = 100\% - 0,65\% = 99,35\%$$

## 2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

### 2.6.1 Layout Pabrik

*Layout* (tata letak) merupakan pengaturan posisi seluruh komponen pabrik yang mencakup area kerja karyawan, penempatan peralatan, serta lokasi penyimpanan bahan baku dan produk, yang semuanya disusun berdasarkan keterkaitan antar satu dengan yang lainnya. Dalam perancangan pabrik asam fenil asetat, tata letak harus direncanakan secara cermat agar proses produksi dapat berjalan secara efisien dan lancar.

Penyusunan tata letak pabrik perlu mempertimbangkan penempatan peralatan produksi yang tepat demi terjaminnya aspek keamanan, keselamatan, dan kenyamanan seluruh karyawan. Tata letak yang optimal ditentukan berdasarkan tingkat keterkaitan dan kedekatan antar fasilitas yang dievaluasi menggunakan metode ARC (*Activity Relationship Chart*), ARD (*Activity Relationship Diagram*), dan AAD (*Area Allocating Diagram*). Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, fasilitas perkantoran ditempatkan di bagian depan pabrik yang berdekatan dengan area penerimaan dan pengiriman barang. Area penerimaan dan pengiriman sendiri diposisikan berdekatan dengan lahan parkir, sementara gudang bahan baku diletakkan bersebelahan dengan gudang peralatan. Fasilitas proses produksi ditempatkan di bagian tengah pabrik dengan akses mudah ke gudang bahan, laboratorium, gudang produk jadi, serta ruang peralatan dan pengawasan. Pembangkit listrik diposisikan di bagian belakang pabrik agar berdekatan dengan ruang peralatan dan pengawasan, sedangkan bak penampungan ditempatkan berdekatan dengan unit pengolahan limbah yang juga berada di sisi belakang pabrik. Fasilitas penunjang seperti kantor, tempat ibadah, poliklinik, laboratorium, *fire safety*, dan pos penjagaan ditempatkan pada lokasi yang tidak mengganggu arus lalu lintas barang, aktivitas kontrol, maupun aspek keamanan pabrik (Ahmad et al., 2018). Sejumlah hal penting yang harus diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik asam fenil asetat adalah sebagai berikut:

- a. Kemungkinan perluasan pabrik dan penambahan bangunan

Perencanaan tata letak pabrik perlu mempertimbangkan potensi pengembangan di masa mendatang. Oleh karena itu, area khusus harus disediakan sejak tahap perancangan awal untuk mengantisipasi perluasan pabrik, penambahan bangunan, maupun pemasangan peralatan baru guna meningkatkan kapasitas produksi atau mengolah produk turunan lainnya. Perencanaan yang matang akan mencegah keterbatasan lahan pada tahap pengembangan berikutnya.

- b. Aspek keselamatan dan keamanan

Faktor keselamatan terhadap risiko kebakaran, ledakan, serta paparan asap atau gas beracun merupakan hal yang sangat penting dalam penentuan tata letak pabrik. Tata letak harus mengatur pembagian area secara jelas serta jarak aman antarbangunan untuk meminimalkan risiko kecelakaan dan memberikan ruang evakuasi yang memadai. Pada pabrik asam fenil asetat, penggunaan toluena yang bersifat mudah terbakar menuntut penempatan unit penyimpanan bahan baku pada lokasi yang jauh dari sumber panas dan area berisiko tinggi.

c. Ketersediaan dan pemanfaatan luas lahan

Harga lahan menjadi salah satu faktor pembatas dalam penyediaan area pabrik. Oleh sebab itu, pemanfaatan ruang harus disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia. Apabila biaya lahan relatif tinggi, diperlukan efisiensi tata ruang, seperti pengaturan peralatan secara vertikal, penempatan peralatan di atas peralatan lain, atau penggunaan bangunan bertingkat guna mengoptimalkan penggunaan lahan.

d. Instalasi dan utilitas

Sistem pemasangan dan distribusi utilitas seperti gas, udara tekan, uap, dan listrik harus dirancang secara baik untuk menunjang kelancaran operasi serta memudahkan perawatan. Penempatan peralatan proses yang tepat akan meningkatkan aksesibilitas bagi operator, menjamin kelangsungan proses produksi, serta mempermudah kegiatan pemeliharaan dan perbaikan peralatan.

e. Area pengolahan limbah

Pabrik wajib memperhatikan aspek lingkungan dan tanggung jawab sosial dengan mengelola limbah hasil produksi secara aman. Kandungan zat berbahaya dalam limbah harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan fasilitas pengolahan limbah yang memadai agar limbah cair maupun gas yang dibuang tidak membahayakan lingkungan sekitar. Limbah pada pabrik asam fenil asetat berupa limbah cair dari proses ekstraksi dan limbah gas dari reaktor harus diolah terlebih dahulu melalui unit IPAL dan gas scrubber sebelum dilepaskan ke lingkungan.

f. Jarak antarperalatan dan kebutuhan ruang

Penempatan peralatan proses harus memperhatikan jarak yang aman dan nyaman sesuai dengan karakteristik bahan dan peralatan yang digunakan guna meminimalkan potensi kecelakaan kerja. Sebagian besar aliran bahan cair dan gas menggunakan sistem perpipaan, sehingga desain tata letak harus mengikuti regulasi dan standar yang berlaku. Posisi peralatan diusahakan tidak terlalu rapat maupun terlalu berjauhan agar memudahkan proses pemindahan bahan, inspeksi, serta perawatan peralatan (Ahmad et al., 2018).

g. Area administrasi, laboratorium, dan ruang control

Area administrasi berfungsi sebagai pusat kegiatan manajerial dan pengelolaan operasional pabrik. Laboratorium dan ruang kontrol berperan sebagai pusat pengendalian proses produksi serta pengawasan mutu dan kuantitas bahan baku maupun produk akhir.

h. Area Proses

Area proses merupakan lokasi penempatan peralatan utama untuk menjalankan proses produksi asam fenil asetat. Area ini meliputi unit reaksi oksidasi katalitik toluena, unit pemisahan, unit pemurnian melalui proses distilasi dan kristalisasi, serta unit penukar panas yang berfungsi meningkatkan efisiensi energi.

i. Area gudang, pemeliharaan, dan garasi

Area ini digunakan untuk penyimpanan peralatan cadangan atau bekas, penyimpanan material tertentu, serta sebagai tempat perawatan dan perbaikan peralatan yang perlu dikeluarkan dari area proses.

j. Area utilitas

Area utilitas merupakan sarana pendukung operasional pabrik yang meliputi penyediaan air proses, uap, dan listrik. Pada pabrik asam fenil asetat, area utilitas mencakup unit penyediaan air, steam boiler, generator listrik cadangan, sistem pendinginan, serta unit pengolahan limbah cair dan gas (Ahmad et al., 2018).

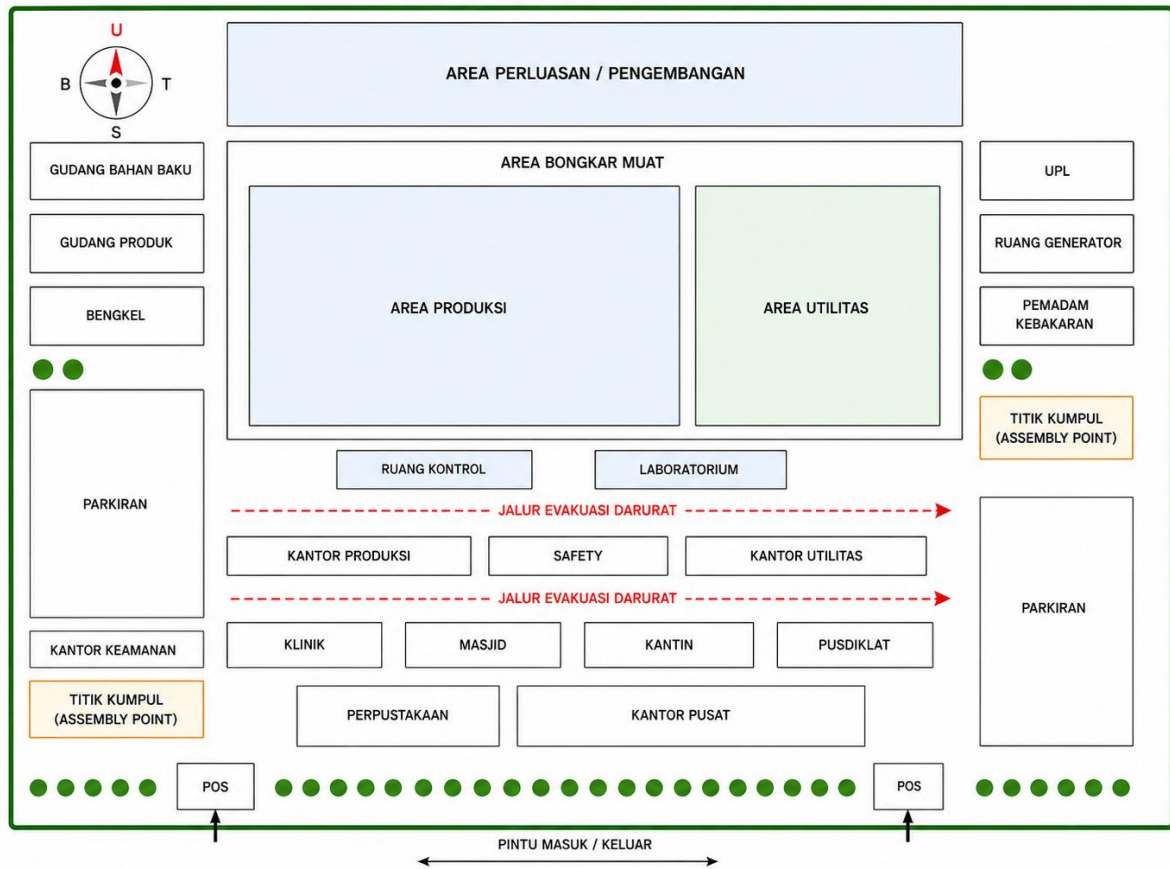


## 2.6.2 Pemetaan

### LAYOUT PABRIK ASAM FENIL ASETAT

SKALA 1 : 100

( 1 cm pada gambar = 1 m sebenarnya )



Gambar 2.4 Layout Pabrik

**Tabel 2. 31** Keterangan Bagian Pabrik

| No. | Bagian                 | Aktivitas/Fungsi                       |
|-----|------------------------|----------------------------------------|
| 1   | Production             | Area produksi                          |
|     |                        | Area bongkar muat                      |
|     |                        | Gudang bahan / gudang produk           |
| 2   | Prodction Service      | Ruang kontrol                          |
|     |                        | Area utilitas                          |
|     |                        | Laboratorium                           |
|     |                        | UPL (Pengolahan limbah)                |
| 3   | General Service        | Kantor pusat                           |
|     |                        | Kantor produksi                        |
|     |                        | Kantor utilitas                        |
|     |                        | Pos keamanan                           |
|     |                        | Area perluasan / pengembangan          |
|     |                        | Jalan & jalur evakuasi                 |
| 4   | Physical Plant Service | Area parkir                            |
|     |                        | Garasi                                 |
|     |                        | Bengkel ( <i>maintenance</i> )         |
|     |                        | Ruang generator                        |
| 5   | Personal Service       | Unit pemadam kebakaran                 |
|     |                        | Klinik                                 |
|     |                        | Masjid                                 |
| 6   | Supporting Facility    | Kantin                                 |
|     |                        | Perpustakaan                           |
| 7   | Safety                 | Pusdiklat                              |
|     |                        | Titik kumpul ( <i>Assembly point</i> ) |

Perincian penggunaan tanah sebagai berikut:

**Tabel 2.32** Perincian Penggunaan Tanah Bagian *Indoor*

| No | Nama Bangunan                     | Luas Bangunan (m <sup>2</sup> ) |
|----|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1  | Pos Keamanan (Depan dan Belakang) | 60                              |
| 2  | Pos Pemeriksaan                   | 30                              |
| 3  | Kantor Pusat                      | 500                             |

|       |                              |       |
|-------|------------------------------|-------|
| 4     | Kantor Produksi              | 300   |
| 5     | Kantor Utilitas              | 300   |
| 6     | Kantor K3 / Safety           | 300   |
| 7     | Laboratorium                 | 200   |
| 8     | Ruang Kontrol (Control Room) | 300   |
| 9     | Kantin                       | 200   |
| 10    | Masjid                       | 300   |
| 11    | Klinik/Poliklinik            | 200   |
| 12    | Aula/Pusdiklat               | 450   |
| 13    | Unit Maintenance             | 150   |
| 14    | Garasi                       | 150   |
| 15    | Ruang Generator              | 300   |
| 16    | Unit Pemadam Kebakaran       | 300   |
| 17    | Gudang Bahan Baku            | 800   |
| 18    | Gudang Produk                | 800   |
| Total |                              | 5.640 |

**Tabel 2.33** Perincian Penggunaan Tanah Bagian *Outdoor*

| No    | Nama Bangunan                                  | Luas Bangunan (m <sup>2</sup> ) |
|-------|------------------------------------------------|---------------------------------|
| 1     | Area parkir kendaraan karyawan dan tamu        | 5.000                           |
| 2     | Area parkir kendaraan operasional dan truk     | 4.000                           |
| 3     | Area bongkar muat bahan baku / produk          | 5.000                           |
| 4     | Area produksi proses utama                     | 38.000                          |
| 5     | Area utilitas                                  | 14.000                          |
| 6     | Area pengolahan limbah (UPL)                   | 4.500                           |
| 7     | Jalan internal, fire lane, dan jalur sirkulasi | 24.000                          |
| 8     | Area perluasan / pengembangan                  | 45.000                          |
| 9     | Area titik kumpul (assembly point)             | 800                             |
| 10    | Taman, green belt, buffer zone, dan drainase   | 30.000                          |
| Total |                                                | 170.300                         |

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

### 1) Aliran bahan baku dan produk

Penentuan aliran bahan baku yang tepat akan menunjang kelancaran dan keamanan produksi serta memberikan keuntungan ekonomi yang tinggi. Pada pabrik asam fenil asetat, bahan baku utama berupa benzil sianida dan asam sulfat disimpan pada tangki penyimpanan (TK-101 dan TK-102) yang ditempatkan dekat dengan area produksi untuk memperpendek jarak perpindahan menuju reaktor (R-101). Aliran proses dirancang secara berurutan dan linear dari penyimpanan, reaksi, hingga pemurnian melalui unit evaporator, crystallizer, rotary drum filter, dan flash dryer hingga diperoleh produk akhir. Penempatan area bongkar muat, gudang, dan unit proses yang saling berdekatan serta terhubung dengan jalur transportasi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi waktu dan biaya operasional.

Selain itu, sistem perpipaan dirancang sesingkat mungkin untuk meminimalkan kehilangan tekanan dan mempermudah pengendalian proses. Pipa di atas tanah dipasang pada ketinggian minimal 3 meter agar tidak mengganggu lalu lintas pekerja dan kendaraan, sedangkan pipa di permukaan diatur agar tidak menghambat mobilitas. Jalur perpipaan ditempatkan pada pipe rack agar lebih rapi dan mudah dalam pemeliharaan. Setiap pipa juga diberikan kode warna sesuai jenis fluida untuk memudahkan identifikasi serta meningkatkan keselamatan kerja, terutama dalam mencegah potensi kebakaran atau ledakan. Dengan pengaturan aliran yang baik, proses produksi dapat berjalan secara efisien, aman, dan terintegrasi dengan layout pabrik yang telah dirancang.

### 2) Aliran udara

Aliran udara di dalam dan di sekitar area proses perlu diperhatikan untuk mencegah terjadinya stagnasi yang dapat menyebabkan akumulasi gas berbahaya. Pada pabrik asam fenil asetat, area produksi dirancang terbuka (*outdoor*) sehingga sirkulasi udara dapat berlangsung secara alami dan kontinu. Penempatan unit proses, utilitas, dan UPL juga mempertimbangkan arah angin dominan agar emisi gas tidak mengarah ke area pekerja seperti kantor dan fasilitas umum. Selain itu, keberadaan green belt dan ruang terbuka di sekitar pabrik berfungsi membantu penyebaran udara serta mengurangi konsentrasi zat berbahaya. Dengan pengaturan ini, kualitas udara tetap terjaga dan risiko terhadap keselamatan pekerja dapat diminimalkan.

### 3) Pencahaya

Pencahaya pada area pabrik harus dirancang memadai untuk menunjang kegiatan operasional serta menjamin keselamatan kerja. Pada pabrik asam fenil

asetat, area outdoor seperti produksi dan utilitas memanfaatkan pencahayaan alami pada siang hari, sedangkan area indoor seperti ruang kontrol, laboratorium, dan kantor dilengkapi pencahayaan buatan yang cukup. Pada area yang berisiko tinggi, seperti unit reaktor dan pemurnian, diberikan penerangan tambahan serta sistem pencahayaan darurat untuk mengantisipasi kondisi gangguan listrik. Dengan pencahayaan yang baik, aktivitas operasi, inspeksi, dan pemeliharaan dapat dilakukan secara optimal serta meminimalkan potensi kecelakaan kerja.

#### 4) Lalu lintas manusia

Dalam perancangan layout pabrik perlu diperhatikan lalu lintas manusia agar pekerja dapat mencapai seluruh unit proses dengan mudah, cepat, dan aman. Pada pabrik asam fenil asetat, jalur akses dirancang terintegrasi dengan jalan internal yang menghubungkan area produksi, utilitas, gudang, dan fasilitas pendukung. Pemisahan jalur antara pekerja dan kendaraan operasional juga diperhatikan untuk mengurangi risiko kecelakaan. Selain itu, disediakan jalur evakuasi dan titik kumpul pada area terbuka yang mudah dijangkau dari seluruh bagian pabrik. Dengan pengaturan ini, kegiatan operasional, inspeksi, dan penanganan keadaan darurat dapat dilakukan secara efektif dan aman.

#### 5) Jarak antar proses

Jarak antar unit proses perlu diperhatikan untuk menjamin keselamatan dan kelancaran operasional, terutama pada peralatan yang beroperasi pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Pada pabrik asam fenil asetat, unit proses seperti reaktor, evaporator, dan unit pemurnian ditempatkan dengan jarak yang cukup untuk mencegah dampak langsung apabila terjadi kebakaran atau ledakan. Selain itu, pemisahan antara area produksi, utilitas, dan UPL juga dilakukan untuk mengurangi risiko penyebaran bahaya. Penyediaan ruang terbuka, buffer zone, serta jalur akses seperti fire lane memungkinkan penanganan keadaan darurat dapat dilakukan dengan cepat. Dengan pengaturan jarak yang tepat, risiko kecelakaan dapat diminimalkan dan keselamatan pabrik lebih terjamin.

#### 6) Pertimbangan ekonomi

Penentuan layout peralatan proses juga mempertimbangkan aspek ekonomi tanpa mengabaikan faktor keselamatan dan operasional. Pada pabrik asam fenil asetat, penempatan unit proses, gudang, dan utilitas diatur sedekat mungkin untuk meminimalkan panjang jalur perpipaan dan biaya instalasi. Aliran bahan yang sederhana dan terarah juga dapat mengurangi kehilangan energi serta meningkatkan

efisiensi proses. Selain itu, penyediaan area perluasan memungkinkan pengembangan kapasitas di masa mendatang tanpa memerlukan perubahan tata letak yang signifikan. Dengan demikian, layout yang dirancang dapat memberikan efisiensi biaya investasi maupun operasional secara keseluruhan.

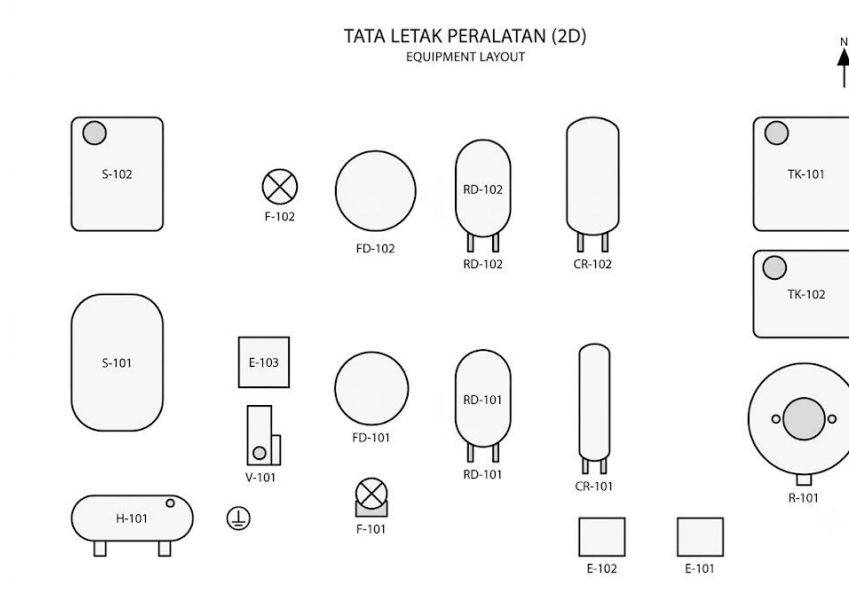
#### 7) Keselamatan dan keamanan

Aspek keselamatan dan keamanan merupakan faktor utama dalam perancangan layout pabrik asam fenil asetat mengingat adanya bahan kimia yang berpotensi berbahaya. Penempatan unit proses berisiko seperti reaktor dan unit pemurnian diatur dengan jarak yang aman serta dilengkapi dengan sistem proteksi seperti hydrant, unit pemadam kebakaran, dan jalur evakuasi. Selain itu, area produksi dipisahkan dari area kantor dan fasilitas umum untuk meminimalkan dampak apabila terjadi kecelakaan. Penyediaan titik kumpul pada area terbuka serta sistem pengolahan limbah (UPL) juga menjadi bagian penting dalam menjaga keselamatan pekerja dan lingkungan. Dengan penerapan aspek keselamatan yang baik, risiko kecelakaan dapat diminimalkan dan operasional pabrik dapat berjalan dengan lebih aman dan terkendali.

#### 8) Kemudahan operasi dan pemeliharaan

Layout pabrik juga dirancang untuk mendukung kemudahan operasi dan pemeliharaan peralatan agar proses dapat berjalan secara optimal dan berkelanjutan. Pada pabrik asam fenil asetat, setiap unit proses ditempatkan dengan mempertimbangkan akses yang cukup bagi operator dan teknisi untuk melakukan pengawasan, inspeksi, serta perbaikan. Penyediaan ruang di sekitar peralatan memungkinkan kegiatan maintenance dapat dilakukan tanpa mengganggu unit lain. Selain itu, penataan jalur perpipaan, peralatan, dan fasilitas pendukung dibuat teratur dan mudah dijangkau untuk meminimalkan waktu henti (*downtime*) serta meningkatkan efisiensi operasional. Dengan demikian, kegiatan operasi dan pemeliharaan dapat dilakukan secara lebih efektif, aman, dan ekonomis.

Adapun pemetaan peralatan prarancangan pabrik asam fenil asetat dengan kapasitas 16.000 ton/tahun dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.5** Tata Letak Peralatan

Keterangan:

|               |                                   |
|---------------|-----------------------------------|
| TK-101        | : Tangki benzil sianida           |
| TK-102        | : Tangki asam sulfat              |
| R-101         | : Reaktor                         |
| CR-101/CR-102 | : <i>Evaporative crystallizer</i> |
| RD-101/RD-102 | : <i>Rotary drum</i>              |
| FD-101/FD-102 | : <i>Flash dryer</i>              |
| F-101/F-102   | : <i>Exhaust fan</i>              |
| H-101         | : Furnace                         |
| S-101         | : Silo asam fenil asetat          |
| S-102         | : Silo ammonium sulfat            |
| HE-101/HE-102 | : <i>Heat Exchanger</i>           |
| E-101         | : Condensor                       |
| V-101         | : Separator                       |