

## **BAB II**

### **DESKRIPSI PROSES**

#### **2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk**

##### **2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku Produksi**

###### **A. Propilena**

- Rumus Molekul :  $C_3H_6$
- Berat Molekul : 42,0804 kg/mol
- Kemurnian : min 99,4 % mol
- Impuritas : Propana 0,6 % mol
- Bau : Khas

###### **B. Udara Proses**

- Suhu : 30° C
- Tekanan : 1 atm
- Komposisi :  $N \pm 79\% \text{ mol}$   
 $O_2 \pm 21 \% \text{ mol}$   
Partikulat padat  $\pm 0,02 \% \text{ massa}$

###### **C. Steam**

- Suhu : 330°C
- Tekanan : 1,8 atm
- Kondisi : Superheated

##### **2.1.2 Spesifikasi Bahan Penunjang Produksi**

###### **A. Katalis $Bi_2Mo_3O_{12}$ (Bismuth (III) Molybdate)**

- Bentuk : Kristal
- Warna : Abu – Abu
- Berat Molekul : 897,77 gr/mol
- Ukuran : 0,47 cm
- Porositas : 0,411
- Bulk Density : 5,9 – 6,07 gr/cm<sup>3</sup>

###### **B. Katalis $MoWO_6$ (Molybdenum Tungsten Trioxide)**

- Bentuk : Kristal
- Warna : Putih atau Abu – Abu

- Berat Molekul : 1 375,8064 gr/mol
- Ukuran : 0,47 cm
- Porositas : 0,411
- Bulk Density : 15,34 gr/cm<sup>3</sup>

C. Solven Air

- Rumus Molekul : H<sub>2</sub>O
- Fase : Cairan
- Berat Molekul : 18 gr/mol
- kemurnian : min 99,99 %

### 2.1.3 Spesifikasi Produk

A. Asam Akrilat

- Rumus Molekul : C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>
- Bentuk : cairan tidak berwarna
- Berat Molekul : 72,064 gr/mol
- Bau : khas
- Kemurnian : min 99,5 % mol
- Impuritas : asam asetat maks 0,3 % mol  
air maks 0,2 % mol

## 2.2 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk

### 2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

A. Propilen

1. Sifat Fisika Propilen

- Rumus Kimia : C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>
- Fase : Gas tidak berwarna
- Berat Molekul : 42,0804 gr/mol
- Titik Didih : 48°C
- Titik Beku : - 185°Cp
- Densitas : 0,612 g/cc (pada suhu 223°K)
- Viskositas : 11,17 Cp

2. Sifat Kimia Propilen

- Khlorinasi

Alkil Klorida dapat di sintesa menggunakan metode khlorinasi dan non katalitik terhadap senyawa propilen ber fase gas pada suhu

500°C dalam reaktor adiabatik. Prinsip reaksi ini terdiri dari substitusi sebuah tomklorinasi terhadap atom atom.

- Oksidasi

Propilen dapat dioksidasi menjadi akrolein dengan adanya katalis CuO. Umpan masuk reaktor dengan komposisi 20% volume propilen, 20% volume udara dan 60% volume steam dengan waktu kontak satu detik. Pengambilan produk akrolein adalah dengan *quench scrubbing effluent* reaktor menggunakan campuran air dan propilen.

- Adisi Hidrogen (Hidrogenasi)

Propilen dapat bereaksi dengan hidrogen ( $H_2$ ) di bawah kondisi tertentu (misalnya, menggunakan katalis seperti nikel atau platinum) untuk menghasilkan propana ( $C_3H_8$ ). Reaksi ini menghilangkan ikatan ganda, mengubah propilen menjadi hidrokarbon jenuh.

- Adisi Halogen (Halogenasi)

Propilen dapat bereaksi dengan halogen, seperti klorin ( $Cl_2$ ) atau bromin ( $Br_2$ ), untuk membentuk senyawa dihalogenasi. Reaksi ini terjadi pada posisi yang memungkinkan adisi atom halogen pada masing-masing karbon yang terikat pada ikatan ganda.

- Polimerisasi

Propilen dapat dipolimerisasi untuk membentuk polipropilena, salah satu plastik yang paling banyak digunakan. Polimerisasi terjadi dengan membuka ikatan ganda propilen dan menghubungkan molekul-molekul propilen menjadi rantai panjang.

- Hidrasi

Propilen dengan adanya katalis  $H_2SO_4$  akan bereaksi membentuk isopropyl alcohol

- Disproporsinasi

Merupakan reaksi dimana suatu senyawa mengalami perubahan oksidasi, dimana pada kasus propilen terjadi pada suhu 450°C dan tekanan 17 atm akan menghasilkan etilen dan butilen, Proses berlangsung dengan katalis tungsten.

- Ammoksidasi

Propilen bereaksi dengan ammonia dan udara pada suhu 300-450°C tekanan 5-30 psig dengan katalis *bismuth phosphor molybdate on silica gel*

- Hidroperoksida

Propilen bereaksi dengan tert-butil hidroperoksida dengan bantuan katalis  $\text{MoO}_3$  membentuk propilen oksida dan hasil samping tertbutil alcohol.

## B. Oksigen dari Udara

Udara diasumsikan terdiri dari 79% mol  $\text{N}_2$  dan 23% mol  $\text{O}_2$

### 1. Sifat Fisika Udara

**Tabel 2. 1** Sifat Fisika Udara

| Parameter                     | $\text{N}_2$ | $\text{O}_2$ |
|-------------------------------|--------------|--------------|
| Wujud                         | Gas          | Gas          |
| Berat Molekul                 | 28,031       | 32,01        |
| Spesific Gravity              | 12,5         | 1,71         |
| Titik Didih                   | -195,9       | -183,3       |
| Titik Beku                    | -209,68      | -214,8       |
| Suhu Kritis                   | 126,2        | 154,6        |
| Tekanan Kritis                | 3,3          | 50,5         |
| Volume Kritis                 | 0,089        | 0,73         |
| Densitas ( $\text{Kg/cm}^2$ ) | 809          | 1149         |

### 2. Sifat Kimia Oksigen

- Oksigen adalah komponen penting dalam proses pembakaran. Ia bereaksi dengan bahan bakar (seperti hidrokarbon) untuk menghasilkan panas, cahaya, dan produk seperti karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ).
- Oksigen bertindak sebagai agen pengoksidasi yang kuat. Ia dapat menerima elektron dari unsur atau senyawa lain, menyebabkan oksidasi. Contohnya adalah karat pada besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).
- Oksigen sangat reaktif, terutama dalam bentuk molekul  $\text{O}_2$ . Ia mudah bereaksi dengan banyak unsur dan senyawa, seperti logam

(membentuk oksida) dan non-logam kecuali dengan gas He, Ne, dan Ar.

- d. Oksigen dapat membentuk ozon ( $O_3$ ) ketika terkena sinar ultraviolet atau percikan listrik. Ozon adalah molekul penting di atmosfer yang melindungi Bumi dari radiasi UV.
- e. Oksigen larut dalam air, yang penting untuk kehidupan akuatik. Kelarutannya berkurang dengan meningkatnya suhu.
- f. Oksigen akan melepas elektron negatif valensi dua dalam kombinasi dengan elemen kimia lainnya.
- g. Pada suhu rendah dan ada katalis, oksigen akan bereaksi dengan kimia organik menghasilkan oxygenated hydrocarbon.

### 2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Produk

#### A. Asam Akrilat

##### 1. Sifat Fisika Asam Akrilat

|                      |                                        |
|----------------------|----------------------------------------|
| Rumus Kimia          | : $C_3H_4O_2$                          |
| Berat Molekul        | : 72 Kg/mol                            |
| Wujud                | : Liquid                               |
| Titik Didih          | : $141^\circ C$                        |
| Titik Leleh          | : $13,5^\circ C$                       |
| Densitas             | : 1,045 g/cc (pada suhu $25^\circ C$ ) |
| Tekanan Kritis       | : 5,06 MPa                             |
| Suhu Kritis          | : $380^\circ C$                        |
| Viskositas Kinematis | : 1,1 cks (pada suhu $25^\circ C$ )    |

##### 2. Sifat Kimia Asam Akrilat

Asam akrilik memiliki karakteristik reaksi yang khas dari asam tak jenuh dan asam karboksilat alifatik atau ester. Senyawa ini juga memiliki tingkat reaktivitas yang tergolong tinggi hal ini disebabkan oleh adanya dua inti tak jenuh yang terletak pada posisi terkonjugasi atom karbon, yang terpolarisasi oleh gugus karbonil. Hal ini menyebabkan asam akrilik berperilaku seperti elektrofil, sehingga memungkinkan terjadinya penambahan berbagai macam nukleofil dan senyawa hidrogen aktif ke gugus vinilnya. Selain itu, ikatan rangkap karbon-karbon pada asam akrilik dapat mengalami reaksi adisi yang dimulai dengan radikal, reaksi Diels-Alder dengan diena, serta reaksi polimerisasi.

Asam akrilik memiliki kecenderungan yang sangat tinggi untuk berpolimerisasi. Proses polimerisasi ini dapat dikatalisis oleh panas, cahaya, dan peroksida, namun dapat dihambat oleh adanya stabilisator seperti eter monometil dari hidrokuinon atau hidrokinon itu sendiri. Perlu dicatat bahwa penghambat fenolik ini hanya efektif jika terdapat oksigen. Polimerisasi asam akrilat bersifat sangat eksotermis dan spontan, sehingga pelepasan energi yang dihasilkan selama proses ini sangat besar. Hal ini menjadikan polimerisasi asam akrilik sebagai reaksi yang perlu dikontrol dengan hati-hati untuk menghindari reaksi yang tidak diinginkan atau bahkan ledakan.

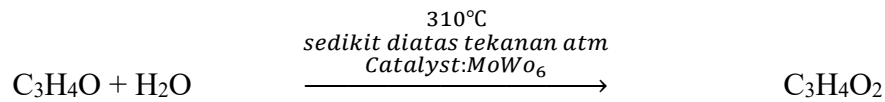
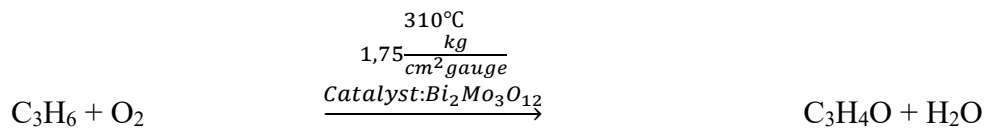
Secara keseluruhan, asam akrilik adalah senyawa yang sangat reaktif dan serbaguna, dengan aplikasi yang luas dalam sintesis kimia dan industri polimer. Kemampuannya untuk bereaksi dengan berbagai jenis senyawa dan kondisi reaksi menjadikannya bahan yang penting dalam pembuatan berbagai produk kimia.

## **2.3 Konsep Proses**

### **2.3.1 Dasar dan Fase Reaksi**

Ada prosesnya, pembuatan asam akrilat dilakukan dalam fase gas dengan menggunakan katalis padat, sehingga proses ini dikategorikan sebagai reaksi katalitik heterogen. Proses ini melibatkan oksidasi dua tahap dari propilena, di mana reaksi oksidasi sengaja dibagi kedalam dua tahap utama dengan tujuan untuk meningkatkan selektivitas produk yang dihasilkan. Reaksi oksidasi ini bersifat eksotermik, artinya melepaskan energi dalam bentuk panas selama berlangsungnya reaksi sehingga selama berlangsungnya reaksi diperlukan sistem pendingin yang mampu menopang keseluruhan proses.

Terdapat beberapa metode kimia untuk menghasilkan asam akrilat, namun yang paling umum digunakan pada dunia industri adalah melalui metode oksidasi parsial propilena. Proses ini biasanya dilakukan dalam dua tahap utama yakni : pertama, propilena dioksidasi menjadi akrolein, kemudian akrolein dioksidasi lebih lanjut menjadi asam akrilat. Setiap tahap reaksi ini umumnya menggunakan katalis yang berbeda dan berlangsung dalam kondisi operasi yang berbeda. Berikut adalah stoikiometri reaksi yang terjadi:



### 2.3.2 Kebutuhan Katalis Pada Proses Produksi

Katalis yang digunakan pada pembentukan asam akrilat pada reaktor 1 yaitu katalis A yang memiliki komposisi  $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ , Muatan 220cc, berbentuk pelet dengan ukuran 4,7mm. Lalu, pada reaktor 2 digunakan katalis B dengan komposisi  $\text{MoWo}_6$ , sampel katalis 73cc berbentuk pelet dengan ukuran 4,7 mm

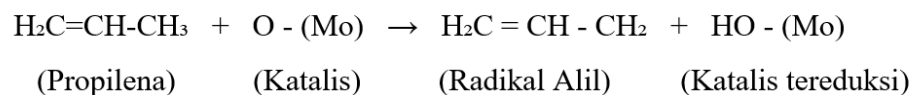
### 2.3.3 Mekanisme Reaksi

Proses pembentukan asam akrilat menggunakan metode oksidasi propilena terbagi kedalam dua mekanisme reaksi utama sebagai berikut :

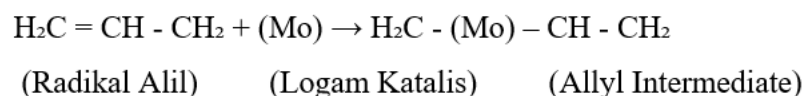
#### 1. Oksidasi propilena menjadi acrolein

Propilena sebagai bahan baku teradsorpsi pada permukaan katalis yang menyebabkan atom hidrogen alilik (pada C – 3 propilena) diambil oleh atom oksigen dan membentuk intermediate allylic / radical allylic, kemudian oksigen yang terdapat pada permukaan katalis teradsorpsi ke dalam intermediate allylic, menyebabkan terbentuknya allyl alcohol, yang dilanjutkan tahap dehidrogenasi atau proses oksidasi lanjutan yang nantinya akan membentuk acrolein ( $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$ )

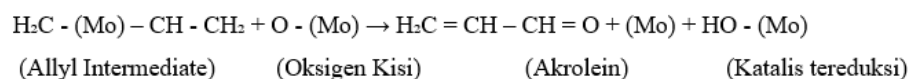
#### A. Adsorpsi Hidrogen Alilik



#### B. Pembentukan Itermediet Alil



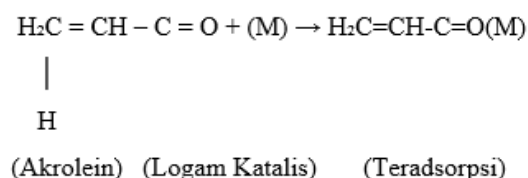
#### C. Pembentukan Akrolein



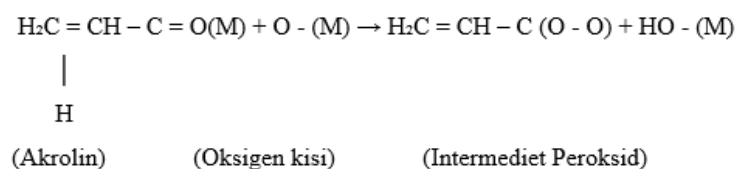
## 2. Oksidasi Akrolein Menjadi Asam Akrilat

Pada oksidasi acrolein menjadi asam akrilat reaksi yang terjadi mempunyai mekanisme reaksi yang serupa dengan reaksi pembentukan propilena menjadi acrolein, yaitu penyisipan oksigen dari kisi – kisi katalis

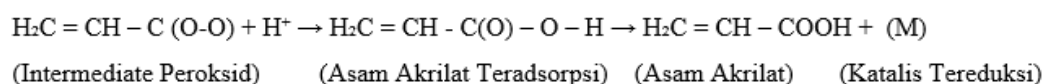
### A. Adsorpsi Akroline



### B. Transfer Oksigen



### C. Pembentukan Asam Akrilat





### 2.3.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

#### a. Tinjauan Termodinamika

Apabila ditinjau dari sisi termodinamikanya, reaksi yang terjadi pada pembentukan asam akrilat dengan metode oksidasi propilena, tergolong kedalam reaksi eksotermis dikarenakan melepaskan panas dan termasuk kedalam reaksi searah (*Irreversible*). Untuk mengetahui apakah reaksi tersebut tergolong eksotermis ataupun endotermis dan berlangsung searah (*irreversible*) ataupun dua arah (*reversible*), dapat diketahui dengan melakukan perhitungan nilai entalpi ( $\Delta H$ ) dan harga konstanta kesetimbangan reaksi (K) pada suhu operasi. Berikut dibawah ini merupakan penjabaran perhitungan baik ataupun data tiap senyawa yang digunakan dalam perhitungan entalpi pada reaksi pembentukan asam akrilat dengan oksidasi propilena yang ditunjukkan pada tabel berikut ini (Yaws, 1999)

**Tabel 2. 2** Data Entalpi Senyawa

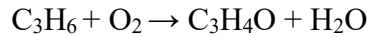
| <b>Formula</b>                               | <b>Name</b>       | <b>MW<br/>(g/mol)</b> | <b>A</b> | <b>B</b>              | <b>C</b>              | <b><math>\Delta H_f</math><br/>(kJ/mol)</b> | <b><math>\Delta G_f</math><br/>(kJ/mol)</b> |
|----------------------------------------------|-------------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | Propylene         | 42,081                | 37,334   | -0,065191             | $2,81 \cdot 10^{-5}$  | 20,42                                       | 62,72                                       |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | Propane           | 44,095                | -80,697  | $-9,05 \cdot 10^{-2}$ | $4,21 \cdot 10^{-5}$  | -103,85                                     | -23,47                                      |
| O <sub>2</sub>                               | Oxygen            | 31,999                | 0        | 0                     | 0                     | 0                                           | 0                                           |
| N <sub>2</sub>                               | Nitrogen          | 28,013                | 0        | 0                     | 0                     | 0                                           | 0                                           |
| H <sub>2</sub> O                             | Water             | 18,015                | -238,41  | $-1,23 \cdot 10^{-2}$ | $2,77 \cdot 10^{-6}$  | -241,8                                      | -228,6                                      |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | Acrolein          | 56,064                | -66,702  | $-5,95 \cdot 10^{-2}$ | $3,87 \cdot 10^{-5}$  | -81                                         | -55,98                                      |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | Acetic<br>Acid    | 60,053                | -422,584 | $-4,84 \cdot 10^{-2}$ | $2,33 \cdot 10^{-5}$  | -434,84                                     | -376,69                                     |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | Acrylic<br>Acid   | 72,064                | -325,038 | $-4,41 \cdot 10^{-2}$ | $2,09 \cdot 10^{-5}$  | -336,23                                     | -286,06                                     |
| CO <sub>2</sub>                              | Carbon<br>Dioxide | 44,010                | -393,422 | $1,59 \cdot 10^{-4}$  | $-1,40 \cdot 10^{-6}$ | -393,5                                      | -394,4                                      |

Maka, dapat dihitung nilai AH keseluruhan reaksi yang terjadi di reactor pada kondisi standar (298 K) dan kondisi operasi pada reaktor | 320°C (589,15K) dan reaktor 2 280°C (553,15 K).

### 1. Entalpi Pada Setiap Reaksi

- Reaktor 1

Reaksi utama :



$$T_{\text{standar}} = 298 \text{ K} \quad R = 0,008314$$

Perhitungan  $\Delta H_{f298}$

$$\begin{aligned} \Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}} + \Delta H_{f \text{ H}_2\text{O}}) - (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_6} + \Delta H_{f \text{ O}_2}) \\ &= (-81,004 + (-241,80)) - (20,42 + 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -343,22 \text{ kJ/Mol (reaksi eksotermis)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{f298} &= \Delta G_{f \text{ produk}} - \Delta G_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta G_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}} + \Delta G_{f \text{ H}_2\text{O}}) - (\Delta G_{f \text{ C}_3\text{H}_6} + \Delta G_{f \text{ O}_2}) \\ &= (-55,98 + (-228,6)) - (62,72 + 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -347,3 \text{ kJ/Mol (reaksi berlangsung spontan)} \end{aligned}$$

$$K_{298} = 7,56 \times 10^{60}$$

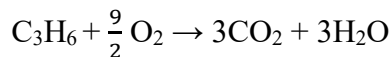
$$T_{\text{operasi}} = 320^\circ\text{C} (593^\circ\text{K})$$

$$\ln \left( \frac{K_{593}}{K_{298}} \right) = \left( \frac{\Delta H_{f298}}{R} \right) \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\left( \frac{K_{593}}{K_{298}} \right) = e^{-502,7864}$$

$$\begin{aligned} K_{593} &= K_{298} \times e^{-502,7864} \\ &= 8,89\text{E}+30 \text{ K} > 1 \text{ (reaksi Irreversible)} \end{aligned}$$

Reaksi samping :



$$\begin{aligned} \Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_{f \text{ CO}_2} + \Delta H_{f \text{ H}_2\text{O}}) - (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_6} + \Delta H_{f \text{ O}_2}) \\ &= (3 \cdot (-393,50) + 3 \cdot (-241,80)) - (20,42 + \frac{9}{2} \cdot 0) \text{ KJ/mol} \\ &= -1442,72 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta G_{f \text{ CO}_2} + \Delta G_{f \text{ H}_2\text{O}}) - (\Delta G_{f \text{ C}_3\text{H}_6} + \Delta G_{f \text{ O}_2}) \end{aligned}$$

$$= (3 \cdot (-394,4) + 3 \cdot (-228,6)) - (62,72 + \frac{9}{2} \cdot 0) \text{ KJ/mol}$$

$$= -1926,32 \text{ kJ/mol}$$

$$K_{298} = 2,95 \times 10^{258}$$

$$T_{\text{operasi}} = 320^\circ\text{C} (593^\circ\text{K})$$

$$\ln\left(\frac{K_{593}}{K_{298}}\right) = \left(\frac{\Delta H_{f298}}{R}\right)\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298}\right)$$

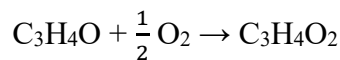
$$\left(\frac{K_{593}}{K_{298}}\right) = e^{-502,7864}$$

$$K_{593} = K_{298} \times e^{-502,7864}$$

$$= 1,71 \times 10^{132} \text{ K} > 1 \text{ (reaksi Irreversible)}$$

- Reaktor 2

Reaksi utama



$$\Delta H_{f298} = \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}}$$

$$= (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2) - (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta H_f \text{O}_2)$$

$$= (-336,23) - (-81,00 + \frac{1}{2} \cdot 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -255,23 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{f298} = \Delta G_{f \text{ produk}} - \Delta G_{f \text{ reaktan}}$$

$$= (\Delta G_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2) - (\Delta G_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta G_f \text{O}_2)$$

$$= (-286,06) - (-55,98 + \frac{1}{2} \cdot 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -230,08 \text{ kJ/mol}$$

$$K_{298} = 2,14 \times 10^{40}$$

$$T_{\text{operasi}} = 280^\circ\text{C} (593^\circ\text{K})$$

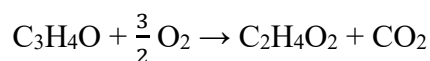
$$\ln\left(\frac{K_{593}}{K_{298}}\right) = \left(\frac{\Delta H_{f298}}{R}\right)\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298}\right)$$

$$\left(\frac{K_{593}}{K_{298}}\right) = e^{-502,7864}$$

$$K_{593} = K_{298} \times e^{-502,7864}$$

$$= 5,02 \times 10^{19} \text{ K} > 1 \text{ (reaksi Irreversible)}$$

Reaksi samping :



$$\Delta H_{f298} = \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}}$$

$$= (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H_f \text{CO}_2) - (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta H_f \text{O}_2)$$

$$= (-434,84) + (-393,5)) - (-81 + \frac{3}{2} \cdot 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -747,34 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_{f298} = \Delta G_{f \text{ produk}} - \Delta G_{f \text{ reaktan}}$$

$$= (\Delta G_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2} + \Delta G_{f \text{ CO}_2}) - (\Delta G_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}} + \Delta G_{f \text{ O}_2})$$

$$= (-376,69) + (-394,4)) - (-55,98 + \frac{3}{2} \cdot 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -715,11 \text{ kJ/mol}$$

$$K_{298} = 2,25 \times 10^{125}$$

$$T_{\text{operasi}} = 280^\circ\text{C} (593^\circ\text{K})$$

$$\ln \left( \frac{K_{593}}{K_{298}} \right) = \left( \frac{\Delta H_{f298}}{R} \right) \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\left( \frac{K_{593}}{K_{298}} \right) = e^{-502,7864}$$

$$K_{593} = K_{298} \times e^{-502,7864}$$

$$= 8,80 \times 10^{64} \text{ K} > 1 \text{ (reaksi Irreversible)}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, semua reaksi yang terjadi di dalam reaktor memiliki nilai entalpi negatif, hal ini menandakan reaksi yang berlangsung bersifat eksotermis. Sehingga dari proses tersebut dibutuhkan pendingin seperti cooling water, atau zat pendingin lainnya pada reaktor untuk mempertahankan suhu operasi reaktor.

Selain itu, dalam penentuan harga K diperoleh hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa nilai K untuk semua reaksi lebih dari 1, yang menandakan bahwa reaksi tersebut berlangsung secara *irreversible* atau searah di dalam reaktor

## b. Tinjauan Kinetika

Kinetika dalam suatu reaksi dapat dinyatakan dalam persamaan Arrhenius yang memberikan nilai dasar mengenai hubungan antara energi aktivasi dan laju reaksi dengan rumus berikut :

$$k = k_0 e^{\left( \frac{E_a}{RT} \right)}$$

Keterangan :

T = Suhu

R = Konstanta gas (1,987 kal/gmol.K)

Nilai P pada P pada Po<sub>2</sub> dapat dievaluasi menggunakan persamaan :

$$P_{PR} = y_{PR} \times P$$

$$P_{O_2} = y_{O_2} \times P$$

$$P_{AK} = y_{AK} \times P$$

Keterangan :

$$Y_{O_2} = \text{Fraksi mol oksigen}$$

$$Y_{PR} = \text{Fraksi mol propilena}$$

$$Y_{AK} = \text{Fraksi mol akrolein}$$

$$P = \text{Tekanan total}$$

Untuk mencari  $-r_A$  diperoleh dari :

$$r_1 = k_1 \cdot P_{PR} \cdot P_{O_2}$$

$$r_2 = k_2 \cdot P_{PR} \cdot P_{O_2}$$

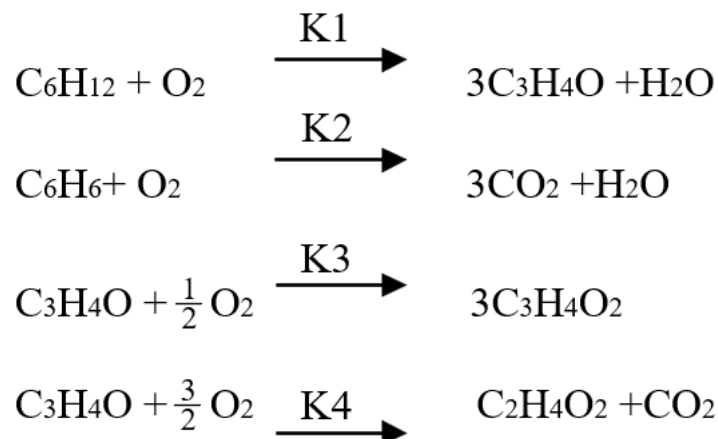
$$r_3 = k_3 \cdot P_{ak} \cdot P_{O_2}$$

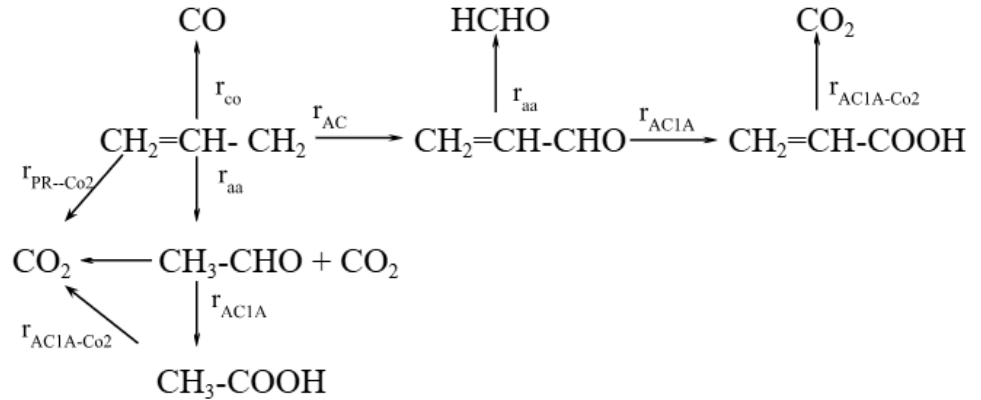
$$r_4 = k_4 \cdot P_{ak} \cdot P_{O_2}$$

$$-r_A \text{ (reaktor 1)} = r_1 + r_2$$

$$-r_A \text{ (reaktor 2)} = r_3 + r_4$$

Reaksi pembentukan asam akrilat dengan proses oksidasi propilena merupakan reaksi oksidasi katalitik dengan penggunaan katalis  $Bi_2Mo_3O_{12}$  dan  $MoWO_6$ . Selain asam akrilat yang dihasilkan sebagai produk utama reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa  $C_2H_4O_2$ ,  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Untuk keempat reaksi dalam proses pembentukan asam akrilat terdapat persamaan reaksi sebagai berikut :





**Tabel 2. 3** Nilai  $k_0$  dan  $E_a$  tiap reaksi

| No | $K_0$ (mol/kg s bar) | $E_a$ (kJ/mol) |
|----|----------------------|----------------|
| 1  | $1,60 \times 10^7$   | 114,0          |
| 2  | 0,34                 | 38,1           |
| 3  | $2,32 \times 10^3$   | 72,5           |
| 4  | $1,47 \times 10^7$   | 72,25          |

(Redlingshofer et al., 2003)

### 2.3.5 Kondisi Operasi

Reaksi pembentukan asam akrilat merupakan reaksi eksotermis dengan tekanan operasi sekitar  $1,76 \text{ kg/cm}^2$  *gauge* atau lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Sedangkan suhu operasi sekitar  $280\text{-}330^\circ\text{C}$ . Karena reaksinya merupakan fase gas dan bersifat eksotermis, maka digunakan reaktor jenis multitubular *fixed bed* reaktor yang dilengkapi dengan sistem sirkulasi larutan pendingin melalui pipa (*tube*) yang terdapat di dalam reaktor (Kirk-Othmer, 1989).

## 2.4 Uraian mekanisme proses produksi

### 2.4.1 Diagram Alir

Pembuatan asam akrilat berbahan baku propilena dengan proses oksidasi secara umum terbagi kedalam 3 tahapan proses, yaitu :

- Tahap Persiapan bahan Baku
- Tahap Oksidasi Propilena
- Tahap Separasi

### 2.4.2 Deskripsi Proses

#### a. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku untuk yang di umpankan ke reaktor 1 terdiri dari propilena, udara dan uap air (steam). Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan campuran umpan reaktor 1 dengan komposisi tertentu dan kondisi fase uap pada suhu 30°C tekanan 2 atm.

##### 1. Bahan Baku Propilene

Propilena dialirkan melalui pipa dari PT. Pertamina (ROPP) RU VI dengan kondisi gas tekanan 11 atm dan suhu 46°C. Propilena dialirkan ke Expander (EX-O1) dengan tujuan menurunkan tekanan propilena menjadi 1,7 atm. Keluar dari Expander, propilena dipanaskan kedalam Furnace (F-01) hingga mencapai suhu 330°C dan dilanjutkan menuju Three Way Valve – 02 sehingga bercampur dengan udara dan steam. Bahan baku propilena kemudian memasuki reaktor pertama untuk dikonversi menjadi acrolein (R-01) dan kemudian dilanjutkan ke reaktor kedua (R-02) dimana pada proses transportasinya dibantu dengan menggunakan Blower (BLW-01).

##### 2. Bahan Baku Udara

Udara yang digunakan adalah udara bebas, kering, dan mempunyai temprature ruang dengan tekanan 1 atm absolut, udara dikompresi hingga tekanan 1,4 atm dengan kompresor Sentrifugal (C-01). Proses kompresi berjalan secara adiabatik, sehingga suhu udara pada saat keluar kompresor naik menjadi 70°C. Untuk memenuhi syarat umpan masuk Reaktor 1, udara di panaskan dengan Furnace (F-01) hingga mencapai suhu 330°C.

##### 3. Bahan baku *steam*

*Steam* yang digunakan merupakan uap air *saturated*, dalam proses oksidasi *steam* uap air ini berguna sebagai *diluent* (zat yang ditambahkan untuk mengurangi konsentrasi campuran reaktan atau produk tanpa ikut bereaksi) bagi campuran udara-propilena. Karena sifat propilena dan udara yang bersifat eksplosif dan mudah terbakar. Maka diperlukan *steam* uap air sebagai *diluent*. Penyediaan uap air dilakukan oleh unit utilitas dengan kondisi uap air suhunya sekitar 330°C dan tekanan 2 atm. Pencampuran dilakukan dengan mencampurkan udara dengan *steam* uap air terlebih dahulu, kemudian propilena dicampurkan.



## **b. Reaksi Oksidasi Propilena**

Proses oksidasi propilena dirancang untuk mengubah propilena dan udara menjadi asam akrilat beserta beberapa produk samping. Reaksi ini terjadi dalam fase gas dengan kondisi operasi yang berbeda di dua reaktor. Pada reaktor pertama (R-01), reaksi berlangsung pada suhu 322°C dan tekanan 1,76 atm, kemudian dilanjutkan di reaktor kedua (R-02) dengan suhu 280°C dan tekanan 1,5 atm.

Produksi asam akrilat melalui oksidasi propilena dilakukan dalam dua tahap reaksi oksidasi berurutan. Proses ini menggunakan reaktor multitubular fixed-bed sebagai tempat berlangsungnya reaksi. Karena sifat reaksi yang eksotermik (melepaskan panas), sistem pendingin diperlukan dengan menggunakan thermal fluid berupa molten salt (komposisi: 53%  $\text{KNO}_3$ , 40%  $\text{NaNO}_2$ , dan 7%  $\text{NaNO}_3$ ). Molten salt bersirkulasi melalui shell reaktor, sementara campuran gas reaktan dialirkan melalui tube-tube reaktor yang berisi katalis oksida logam seperti Mo-Bi-V .

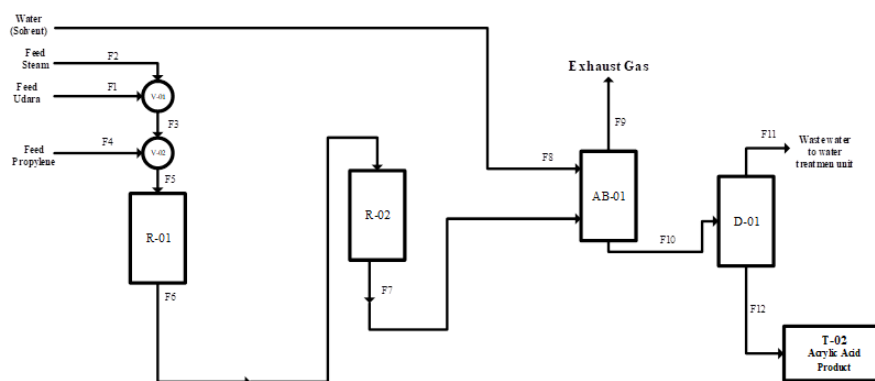
Reaktor dirancang untuk beroperasi secara isothermal non-adiabatik, di mana suhu dijaga konstan di seluruh bagian reaktor dengan tetap memungkinkan pertukaran panas dengan lingkungan. Pada praktiknya, reaktor pertama (R-01) dioperasikan pada suhu keluaran 322°C, sedangkan reaktor kedua (R-02) pada suhu 280°C. Selain menghasilkan produk utama asam akrilat, proses ini juga memproduksi beberapa produk samping seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan asam asetat yang terbentuk melalui reaksi oksidasi berlebih dan jalur reaksi paralel. Untuk memaksimalkan yield asam akrilat yang biasanya mencapai 80-90% dalam proses industri modern, kontrol operasi yang ketat terhadap parameter seperti suhu, tekanan, dan komposisi umpan mutlak diperlukan sepanjang proses berlangsung.

## **c. Tahap Separasi**

Produk keluaran reaktor yang masih berupa fase gas kemudian didinginkan melalui bantuan serangkaian alat penukar panas. Aliran gas tersebut pertama-tama melewati *heat exchanger* 2 (HE-02) dan *cooler* 1 (CO-01) untuk menurunkan suhunya secara bertahap hingga mencapai 70°C sebelum masuk ke dalam *absorber* (ABS-01). Dalam unit *absorber* ini, terjadi proses pemisahan antara produk yang diinginkan dengan gas-gas inert seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan

siswa propana ( $C_3H_8$ ) yang tidak bereaksi. Proses absorpsi ini menggunakan air sebagai pelarut (*solvent*) untuk mengembunkan produk utama dari fase gas menjadi fase cair. Hasil bawah *absorber* berupa campuran asam akrilat, asam asetat, dan air keluar pada suhu  $40^\circ\text{C}$  dengan tekanan 2 atm, sedangkan gas buang (*exhaust gas*) keluar melalui bagian atas absorber pada suhu  $60^\circ\text{C}$ . Campuran berfase cair yang diperoleh kemudian dipanaskan kembali melalui *heat exchanger* 1 dan 2 (HE-01 dan HE-02) untuk mencapai kondisi cair jenuh sebelum memasuki kolom distilasi (D-01). Kolom distilasi ini beroperasi pada kondisi vakum dengan tekanan yang bervariasi sepanjang kolom - tekanan di puncak kolom dijaga pada 0,23 atm sedangkan di dasar kolom sebesar 1,31 atm. Dalam kolom distilasi ini terjadi pemurnian produk untuk memisahkan asam akrilat dari pengotor utamanya yaitu air dan asam asetat. Proses ini menghasilkan produk akhir asam akrilat dengan kemurnian tinggi mencapai 99,5%, dengan komposisi pengotor hanya 0,2% air dan 0,3% asam asetat.

## 2.5 Diagram Blok



Gambar 2.1 Diagram Blok

## 2.6 Neraca Massa

### 2.6.1 Rangkuman Neraca Massa

#### 1. Neraca Massa di Sekitar Three Way Valve (V-01)

**Tabel 2. 4** Neraca Massa Sekitar Three Way Valve

| Komponen                                     | Masuk                   |              |                         |              | Keluar                  |              |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
|                                              | F <sub>1</sub> (kg/jam) |              | F <sub>2</sub> (kg/jam) |              | F <sub>3</sub> (kg/jam) |              |
|                                              | Flowrate                | Fraksi       | Flowrate                | Fraksi       | Flowrate                | Fraksi       |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| O <sub>2</sub>                               | 20300,64                | 0,233        | 0,000                   | 0,000        | 20300,64                | 0,168        |
| N <sub>2</sub>                               | 66847,96                | 0,767        | 0,000                   | 0,000        | 66847,96                | 0,553        |
| H <sub>2</sub> O                             | 0,000                   | 0,000        | 33834,41                | 1,000        | 33834,41                | 0,280        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| CO <sub>2</sub>                              | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| <b>Total</b>                                 | <b>87148,61</b>         | <b>1,000</b> | <b>33834,41</b>         | <b>1,000</b> | <b>120983,01</b>        | <b>1,000</b> |
|                                              | <b>120983,01</b>        |              |                         |              | <b>120983,01</b>        |              |

#### 2. Neraca Massa di Sekitar Three Way Valve (V-02)

**Tabel 2. 5** Neraca Massa di Sekitar TWV (V-02)

| Komponen                                     | Masuk                   |              |                         |              | Keluar                  |              |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
|                                              | F <sub>3</sub> (kg/jam) |              | F <sub>4</sub> (kg/jam) |              | F <sub>5</sub> (kg/jam) |              |
|                                              | Flowrate                | Fraksi       | Flowrate                | Fraksi       | Flowrate                | Fraksi       |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 0,000                   | 0,000        | 8458,60                 | 0,994        | 8458,60                 | 0,065        |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 0,000                   | 0,000        | 51,06                   | 0,006        | 51,06                   | 0,000        |
| O <sub>2</sub>                               | 20300,64                | 0,168        | 0,000                   | 0,000        | 20300,64                | 0,157        |
| N <sub>2</sub>                               | 66847,96                | 0,553        | 0,000                   | 0,000        | 66847,96                | 0,516        |
| H <sub>2</sub> O                             | 33834,41                | 0,280        | 0,000                   | 0,000        | 33834,41                | 0,261        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| <b>Total</b>                                 | <b>120983,01</b>        | <b>1,000</b> | <b>8509,66</b>          | <b>1,000</b> | <b>129492,67</b>        | <b>1,000</b> |
|                                              | <b>129492,67</b>        |              |                         |              | <b>129492,67</b>        |              |

### 3. Neraca Massa di Sekitar Reaktor Fix-Bed Multitube (R-01)

**Tabel 2.6** Neraca Massa di Sekitar Fix Bed Multitube (R-01)

| Komponen                                     | Masuk                   |              | Keluar                  |              |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
|                                              | F <sub>5</sub> (kg/jam) |              | F <sub>6</sub> (kg/jam) |              |
|                                              | Flowrate                | Fraksi       | Flowrate                | Fraksi       |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 8458,60                 | 0,065        | 308,11                  | 0,005        |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 51,06                   | 0,000        | 51,06                   | 0,000        |
| O <sub>2</sub>                               | 20300,64                | 0,157        | 12616,04                | 0,089        |
| N <sub>2</sub>                               | 66847,96                | 0,516        | 66847,96                | 0,516        |
| H <sub>2</sub> O                             | 33834,41                | 0,261        | 37802,14                | 0,294        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 0,000                   | 0,000        | 10115,55                | 0,069        |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000        | 0,000                   | 0,000        |
| CO <sub>2</sub>                              | 0,000                   | 0,000        | 1751,79                 | 0,026        |
| <b>Total</b>                                 | <b>129492,67</b>        | <b>1,000</b> | <b>129492,65</b>        | <b>1,000</b> |
|                                              | <b>129492,67</b>        |              | <b>129492,67</b>        |              |

#### 4. Neraca Massa di Sekitar Reaktor Fix-Bed Multitube (R-02)

**Tabel 2.7** Neraca Massa di Sekitar Fix Bed Multitube (R-02)

| Komponen                                     | Masuk                   |        | Keluar                  |        |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|
|                                              | F <sub>6</sub> (kg/jam) |        | F <sub>7</sub> (kg/jam) |        |
|                                              | Flowrate                | Fraksi | Flowrate                | Fraksi |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 308,11                  | 0,005  | 308,11                  | 0,005  |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 51,06                   | 0,000  | 51,06                   | 0,000  |
| O <sub>2</sub>                               | 12616,04                | 0,089  | 9384,55                 | 0,066  |
| N <sub>2</sub>                               | 66847,96                | 0,516  | 66847,96                | 0,516  |
| H <sub>2</sub> O                             | 37802,14                | 0,294  | 37802,14                | 0,294  |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 10115,55                | 0,069  | 391,29                  | 0,004  |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000  | 856,06                  | 0,008  |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,000                   | 0,000  | 11472,29                | 0,074  |
| CO <sub>2</sub>                              | 1751,79                 | 0,026  | 2379,15                 | 0,032  |
| Total                                        | 129492,65               | 1,000  | 129492,62               | 1,000  |
|                                              | 129492,65               |        | 129492,65               |        |

#### 5. Neraca Massa di Sekitar Absorber (AB-01)

**Tabel 2.8** Neraca Massa di Sekitar Absorber (AB-01)

| Komponen                                     | Masuk                   |        |                         |        | Keluar                  |        |                          |        |
|----------------------------------------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|-------------------------|--------|--------------------------|--------|
|                                              | F <sub>7</sub> (kg/jam) |        | F <sub>8</sub> (kg/jam) |        | F <sub>9</sub> (kg/jam) |        | F <sub>10</sub> (kg/jam) |        |
|                                              | Flowrate                | Fraksi | Flowrate                | Fraksi | Flowrate                | Fraksi | Flowrate                 | Fraksi |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 308,11                  | 0,005  | 0,000                   | 0,000  | 308,11                  | 0,007  | 0,00                     | 0,00   |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 51,06                   | 0,000  | 0,000                   | 0,000  | 51,06                   | 0,001  | 0,00                     | 0,00   |
| O <sub>2</sub>                               | 9384,55                 | 0,066  | 0,000                   | 0,000  | 9384,55                 | 0,094  | 0,00                     | 0,00   |
| N <sub>2</sub>                               | 66847,96                | 0,516  | 0,000                   | 0,000  | 66847,96                | 0,731  | 0,00                     | 0,00   |
| H <sub>2</sub> O                             | 37802,14                | 0,294  | 31973,51                | 1,000  | 10466,35                | 0,115  | 59309,30                 | 0,85   |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 391,29                  | 0,004  | 0,000                   | 0,000  | 391,29                  | 0,006  | 0,00                     | 0,00   |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 856,06                  | 0,008  | 0,000                   | 0,000  | 8,56                    | 0,000  | 847,50                   | 0,01   |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 11472,29                | 0,074  | 0,000                   | 0,000  | 114,72                  | 0,001  | 11357,57                 | 0,13   |
| CO <sub>2</sub>                              | 2379,15                 | 0,032  | 0,000                   | 0,000  | 2379,15                 | 0,045  | 0,00                     | 0,00   |
| Total                                        | 129492,62               | 1,000  | 31973,51                | 1,000  | 89951,76                | 1,000  | 71514,37                 | 1,00   |
|                                              | 161466,13               |        |                         |        | 161466,13               |        |                          |        |

## 6. Neraca Massa di Sekitar Kolom Destilasi (D-01)

**Tabel 2.9** Neraca Massa di Sekitar Kolom Destilasi (D-01)

| Komponen                                     | Masuk                    |              | Keluar                   |                 |                          |              |
|----------------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|--------------|
|                                              | F <sub>10</sub> (kg/jam) |              | F <sub>11</sub> (kg/jam) |                 | F <sub>12</sub> (kg/jam) |              |
|                                              | Flowrate                 | Fraksi       | Flowrate                 | Fraksi          | Flowrate                 | Fraksi       |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 0,000                    | 0,000        | 0,000                    | 0,000           | 0,000                    | 0,000        |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 0,000                    | 0,000        | 0,000                    | 0,000           | 0,000                    | 0,000        |
| O <sub>2</sub>                               | 0,000                    | 0,000        | 0,000                    | 0,000           | 0,000                    | 0,000        |
| N <sub>2</sub>                               | 0,000                    | 0,000        | 0,000                    | 0,000           | 0,000                    | 0,000        |
| H <sub>2</sub> O                             | 59309,30                 | 0,850        | 59287,08                 | 0,978           | 22,22                    | 0,002        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 0,000                    | 0,000        | 0,000                    | 0,000           | 0,000                    | 0,000        |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 847,50                   | 0,015        | 814,17                   | 0,017           | 33,33                    | 0,003        |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 11357,57                 | 0,135        | 302,02                   | 0,005           | 11055,56                 | 0,995        |
| CO <sub>2</sub>                              | 0,000                    | 0,000        | 0,000                    | 0,000           | 0,000                    | 0,000        |
| <b>Total</b>                                 | <b>71514,37</b>          | <b>1,000</b> | <b>60403,26</b>          | <b>1,000</b>    | <b>11111,11</b>          | <b>1,000</b> |
|                                              | <b>71514,37</b>          |              |                          | <b>71514,37</b> |                          |              |

## 7. Neraca Massa Total

**Tabel 2.10** Neraca Massa Total

| Komponen                                     | Masuk            |                 |                |                 | Keluar           |                 |                 |
|----------------------------------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|                                              | F1               | F2              | F4             | F8              | F9               | F11             | F12             |
|                                              | (kg/jam)         |                 |                |                 | (kg/jam)         |                 |                 |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>                | 0,00             | 0,00            | 8458,60        | 0,00            | 308,11           | 0,00            | 0,00            |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 0,00             | 0,00            | 51,06          | 0,00            | 51,06            | 0,00            | 0,00            |
| O <sub>2</sub>                               | 20300,64         | 0,00            | 0,00           | 0,00            | 9384,55          | 0,00            | 0,00            |
| N <sub>2</sub>                               | 66847,96         | 0,00            | 0,00           | 0,00            | 66847,96         | 0,00            | 0,00            |
| H <sub>2</sub> O                             | 0,00             | 33834,41        | 0,00           | 31973,51        | 10466,35         | 59287,09        | 22,22           |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O              | 0,00             | 0,00            | 0,00           | 0,00            | 391,29           | 0,00            | 0,00            |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,00             | 0,00            | 0,00           | 0,00            | 8,57             | 814,18          | 33,33           |
| C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> | 0,00             | 0,00            | 0,00           | 0,00            | 114,73           | 302,03          | 11055,56        |
| CO <sub>2</sub>                              | 0,00             | 0,00            | 0,00           | 0,00            | 2379,16          | 0,00            | 0,00            |
| <b>Total</b>                                 | <b>87148,61</b>  | <b>33834,41</b> | <b>8509,66</b> | <b>31973,51</b> | <b>89951,79</b>  | <b>60403,29</b> | <b>11111,11</b> |
|                                              | <b>161466,19</b> |                 |                |                 | <b>161466,19</b> |                 |                 |

## 2.6.2 Rangkuman Neraca Panas

### 1. Neraca Energi di Sekitar Kompresor (C-01)

**Tabel 2.11** Neraca Energi di Sekitar Kompresor

| Komponen       | H Masuk (kJ/Jam)  | H Keluar (kJ/Jam) |
|----------------|-------------------|-------------------|
| H <sub>3</sub> | 440437,4422       |                   |
| H <sub>4</sub> |                   | 4030328,57        |
| W <sub>s</sub> | 3589891,1323      |                   |
| <b>H Total</b> | <b>4030328,57</b> | <b>4030328,57</b> |

### 2. Neraca Energi di Sekitar Ekspander (EX-01)

**Tabel 2.12** Neraca Energi di Sekitar Ekspander

| Komponen       | H Masuk (kJ/Jam) | H Keluar (kJ/Jam) |
|----------------|------------------|-------------------|
| H <sub>7</sub> | 292061,7609      |                   |
| H <sub>8</sub> |                  | 46959,4091        |
| W <sub>s</sub> |                  | 245102,3517       |
| <b>H Total</b> | <b>292061,76</b> | <b>292061,76</b>  |

### 3. Neraca Energi di Sekitar *Furnace* (F-01)

**Tabel 2.13** Neraca Energi di Sekitar *Furnace*

| Komponen       | H Masuk (kJ/Jam)   | H Keluar (kJ/Jam)  |
|----------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>1</sub> | 5926679,3542       |                    |
| H <sub>2</sub> |                    | 19946967,8409      |
| H <sub>4</sub> | 4031255,6076       |                    |
| H <sub>5</sub> |                    | 25997162,8374      |
| H <sub>8</sub> | 46959,40909        |                    |
| H <sub>9</sub> |                    | 5322786,719        |
| H Pemanas      | 41262023,03        |                    |
| <b>H Total</b> | <b>51266917,40</b> | <b>51266917,40</b> |

#### 4. Neraca Energi di Sekitar *Three Way Valve* (V-01)

**Tabel 2.14** Neraca Energi di Sekitar TWV (V-01)

| Komponen       | H Masuk (kJ/Jam)   | H Keluar (kJ/Jam)  |
|----------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>2</sub> | 19946967,8409      |                    |
| H <sub>5</sub> | 25997162,8374      |                    |
| H <sub>6</sub> |                    | 45944130,68        |
| <b>H Total</b> | <b>45944130,68</b> | <b>45944130,68</b> |

#### 5. Neraca Energi di Sekitar *Three Way Valve* (V-02)

**Tabel 2.15** Neraca Energi di Sekitar TWV (V-02)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)   | H Keluar (kJ/Jam)  |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>6</sub>  | 45944130,6776      |                    |
| H <sub>9</sub>  | 5322786,7186       |                    |
| H <sub>10</sub> |                    | 51266917,40        |
| <b>H Total</b>  | <b>51266917,40</b> | <b>51266917,40</b> |

#### 6. Neraca Energi di Sekitar Reaktor (R-01)

**Tabel 2.16** Neraca Energi di Sekitar Reaktor (R-01)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)    | H Keluar (kJ/Jam)   |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| H <sub>10</sub> | 45485698,2          |                     |
| H <sub>11</sub> |                     | 51656400,4119       |
| H Reaksi        | 94462515,4          |                     |
| H Pendingin     |                     | 94073032,3512       |
| <b>H Total</b>  | <b>145729432,76</b> | <b>145729432,76</b> |

#### 7. Neraca Energi di Sekitar *Blower* (BW-01)

**Tabel 2.17** Neraca Energi di Sekitar Blower (BW-01)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)   | H Keluar (kJ/Jam)  |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>11</sub> | 51656400,4119      |                    |
| H <sub>12</sub> |                    | 52252250,9071      |
| H Blower        | 595850,4952        |                    |
| <b>H Total</b>  | <b>52252250,91</b> | <b>52252250,91</b> |



## 8. Neraca Energi di Sekitar *Heat Exchanger* (HE-01)

**Tabel 2.18** Neraca Energi di Sekitar Heat Exchanger (HE-01)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)     | H Keluar (kJ/Jam)    |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| H <sub>12</sub> | 52252250,9071        |                      |
| H <sub>13</sub> |                      | 43950482,7453        |
| H Pendingin     |                      | 8301768,1618         |
| <b>H Total</b>  | <b>52252250,9071</b> | <b>52252250,9071</b> |

## 9. Neraca Energi di Sekitar Reaktor (R-02)

**Tabel 2.19** Neraca Energi di Sekitar Reaktor (R-02)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)   | H Keluar (kJ/Jam)  |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>13</sub> | 43950481,8         |                    |
| H <sub>14</sub> |                    | 43915080,5547      |
| H Reaksi        | 52916204,4118      |                    |
| H Pendingin     |                    | 52951606,6025      |
| <b>H Total</b>  | <b>96866687,16</b> | <b>96866687,16</b> |

## 10. Neraca Energi di Sekitar *Heat Exchanger* (HE-02)

**Tabel 2.20** Neraca Energi di Sekitar Heat Exchanger (HE-02)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)   | H Keluar (kJ/Jam)  |
|-----------------|--------------------|--------------------|
| H <sub>14</sub> | 43915080,5547      |                    |
| H <sub>15</sub> |                    | 30512503,7030      |
| H Pendingin     |                    | 13402576,8517311   |
| <b>H Total</b>  | <b>43915080,55</b> | <b>43915080,55</b> |

## 11. Neraca Energi di Sekitar *Cooler* (CO-01)

**Tabel 2.21** Neraca Energi di Sekitar Cooler (CO-01)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)     | H Keluar (kJ/Jam)    |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| H <sub>15</sub> | 30512503,7030        |                      |
| H <sub>16</sub> |                      | 7487936,5702         |
| H Pendingin     |                      | 23024567,1328        |
| <b>H Total</b>  | <b>30512503,7030</b> | <b>30512503,7030</b> |

## 12. Neraca Energi di Sekitar *Absorber* (AB-01)

**Tabel 2.22** Neraca Energi di Sekitar Absorber (AB-01)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)  | H Keluar (kJ/Jam) |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| H <sub>16</sub> | 7487936,5702      |                   |
| H <sub>17</sub> |                   | 4027013,8568      |
| H <sub>18</sub> | 670127,2411       |                   |
| H <sub>19</sub> |                   | 4131049,9545      |
| <b>H Total</b>  | <b>8158063,81</b> | <b>8158063,81</b> |

## 13. Neraca Energi di Sekitar Kolom Distilasi (D-01)

**Tabel 2.23** Neraca Energi di Sekitar Kolom Destilasi (D-01)

| Komponen               | H Masuk (kJ/Jam)    | H Keluar (kJ/Jam)   |
|------------------------|---------------------|---------------------|
| H <sub>F</sub>         | 25835394,9680       |                     |
| H <sub>R</sub>         |                     | 3915253,4112        |
| H <sub>D</sub>         |                     | 9864027,61          |
| H <sub>kondensor</sub> |                     | 120433017,6605      |
| H <sub>Reboiler</sub>  | 108376903,7155      |                     |
| <b>H Total</b>         | <b>134212298,68</b> | <b>134212298,68</b> |

## 14. Neraca Energi di Sekitar *Cooler* (CO-02)

**Tabel 2.24** Neraca Energi di Sekitar Cooler (CO-02)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)    | H Keluar (kJ/Jam)   |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| H <sub>25</sub> | 3915253,4112        |                     |
| H <sub>26</sub> |                     | 584369,1014         |
| H Pendingin     |                     | 3330884,3098        |
| <b>H Total</b>  | <b>3915253,4112</b> | <b>3915253,4112</b> |

### 15. Neraca Energi di Sekitar *Cooler* (CO-03)

**Tabel 2.25** Neraca Energi di Sekitar Cooler (CO-03)

| Komponen        | H Masuk (kJ/Jam)  | H Keluar (kJ/Jam) |
|-----------------|-------------------|-------------------|
| H <sub>22</sub> | 9864027,61        |                   |
| H <sub>23</sub> |                   | 6298173,2914      |
| H Pendingin     |                   | 3565854,3204      |
| <b>H Total</b>  | <b>9864027,61</b> | <b>9864027,61</b> |

### 16. Neraca Energi Overall

**Tabel 2.26** Neraca Energi Overall

| Alat              | Komponen       | Input          | Output         |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Kompresor</b>  | H3             | 440538,7491    |                |
|                   | W <sub>s</sub> | 3590716,8588   |                |
| <b>Expander</b>   | H7             | 292061,7609    |                |
|                   | W <sub>s</sub> |                | 245102,3517    |
| <b>Furnace</b>    | H1             | 5926679,3542   |                |
|                   | Q Pemanas      | 41262023,03    |                |
| <b>Reaktor 01</b> | Q Reaksi       | 94462515,3669  |                |
|                   | Q Pendingin    |                | 94073032,3512  |
| <b>Blower</b>     | Q Blower       | 595850,4952    |                |
| <b>Reaktor 02</b> | Q Reaksi       | 53511914,8728  |                |
|                   | Q Pendingin    |                | 52951606,6025  |
| <b>Cooler 01</b>  | Q Pendingin    |                | 23024567,1328  |
| <b>Absorber</b>   | H17            |                | 4027013,8568   |
|                   | H18            | 670127,2411    |                |
| <b>Destilasi</b>  | Condenser      |                | 120433017,6605 |
|                   | Reboiler       | 108376903,7155 |                |
| <b>Cooler 02</b>  | H26            |                | 584369,1014    |
|                   | Q Pendingin    |                | 3330884,3098   |
| <b>Cooler 03</b>  | H23            |                | 6298173,2914   |
|                   | Q Pendingin    |                | 3565854,3204   |

| Alat    | Komponen      | Input         |
|---------|---------------|---------------|
| H Total | 309129331,445 | 308533620,979 |

## 2.7 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

### 2.7.1 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik bertujuan untuk mengelola bagian – bagian dari perusahaan dan pabrik yang meliputi daerah proses dan utilitas, area penyimpanan, perkantoran, area perluasan pabrik dan bangunan – bangunan serta ruang pendukung lainnya.

Tata letak pabrik harus dengan baik dalam upaya untuk mempeerlancar operasi pabrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan lahan untuk pabrik. Selain itu, dalam mendesai tata letak pabrik harus mempertimbangkan beberapa aspek lain seperti keamanan, keselamatan, dan ruang terbuka. Sehingga rasa nyaman dana man saat bekerja dapat meningkat.

Berikut ini adalah hal – hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan tata letak pabrik adalah :

#### 1. Area pengembangan pabrik

Dalam mendesain tata letak pabrik harus melakukan pertimbangan luas area, pengembangan pabrik untuk di masa yang akan datang.

Area pengembangan pabrik dipersiapkan untuk digunakan apabila terjadi penambahan alat proses, peningkatan kapasitas produksi pabrik maupun pengembangan produk turunan lainnya.

#### 2. Antisipasi akan bahaya yang dapat muncul

Dalam melakukan perancangan tata letak pabrik harus melakukan antisipasi terhadap bahaya yang dapat mungkin terjadi selama proses produksi di pabrik seperti kebakaran, ledakan, asap, api maupun gas beracun dan lainnya. Untuk itu, diperlukan pengadaan unit pemadam kebakaran yang berada di sekitar lokasi pabrik. Selain itu, diperlukan pertimbangan letak area pabrik yang di letakkan di daerah yang terpisah dengan area perkantoran dan bangunan penunjang lainnya. Untuk unit atau peralatan yang memiliki potensi bahaya meledak perlu diperhatikan tata letak secara khusus.

#### 3. Luas dan harga jual lahan

Pemilihan lahan harus mempertimbangkan kebutuhan ruang untuk fasilitas produksi, gudang, kantor, dan area pendukung lainnya. Luas lahan harus memadai untuk operasi saat ini dan memiliki cadangan untuk ekspansi di masa depan. Selain itu,

harga jual lahan harus sesuai dengan anggaran perusahaan, dengan mempertimbangkan lokasi strategis (dekat dengan pemasok, pasar, atau jalur distribusi).

Faktor lain seperti kondisi tanah, topografi, dan peraturan zonasi juga perlu dianalisis untuk memastikan lahan layak digunakan tanpa memerlukan biaya tambahan yang besar.

#### 4. Instalasi dan Utilitas

Utilitas merupakan pendukung vital operasional pabrik, sehingga penempatannya harus strategis hal ini bertujuan agar memudahkan tercapainya kelancaran proses dan maintenance.

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

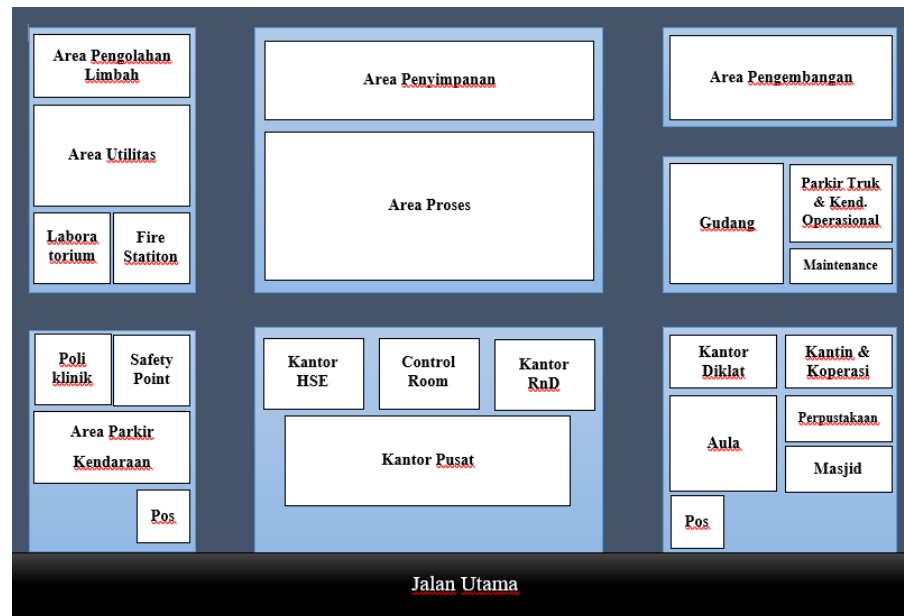
1. Daerah administrasi, perkantoran, poliklinik, perpustakaan dan ruang control.  
Merupakan pusat kegiatan administrasi dan perkantoran pabrik. Poliklinik sebagai pusat pemberian fasilitas kesehatan dan pertolongan pertama apabila terjadi kecelakaan kerja. Perpustakaan sebagai pusat pengetahuan dan informasi pabrik. Ruang control sebagai pusat pengendali proses
2. Daerah proses  
Daerah proses merupakan tempat alat — alat proses diletakkan dan tempat berlangsungnya proses.
3. Daerah pergudangan, bengkel, dan garasi  
Gudang peralatan, bengkel, garasi, gudang penampungan produk dan tempat berdirinya tangki-tangki bahan baku.
4. Daerah utilitas, pengolahan limbah, fire station dan laboratorium.  
Unit utilitasi untuk sarana pendukung proses seperti: penyediaan air, penyediaan steam, pembangkit tenaga listrik dan unit pengolahan limbah. Fire station sebagai unit antisipasi bahaya. Laboratorium sebagai pusat penelitian dan pengontrolan kualitas bahan baku maupun produk.

Untuk pabrik asam akrilat ini, daftar bangunan beserta luasnya dapat dilihat dari Tabel 2.5 berikut ini :

**Tabel 2.27** Rincian Luas Bangunan Pabrik

| Area                                    | Luas (m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------------|------------------------|
| Poli Klinik                             | 500                    |
| Control Room                            | 500                    |
| Kantor <i>Research and Development</i>  | 400                    |
| Kantor Diklat                           | 400                    |
| Kantor <i>Health Safety Environment</i> | 400                    |
| Perpustakaan                            | 200                    |
| Laboratorium                            | 500                    |
| Fire Station                            | 100                    |
| Gudang                                  | 250                    |
| Maintanance                             | 100                    |
| Pos Keamanan                            | 100                    |
| Unit Utilitas                           | 1500                   |
| Unit Proses                             | 6500                   |
| Unit Waste Management                   | 1500                   |
| Storage                                 | 1500                   |
| Area Pengembangan                       | 1000                   |
| Safety Point                            | 100                    |
| Area Parkir Kendaraan Operasional       | 300                    |
| Area Parkir Kendaraan Umum              | 400                    |
| Taman                                   | 500                    |
| Green Area                              | 500                    |
| Jalan                                   | 2000                   |
| Kantor Pusat                            | 800                    |
| Aula                                    | 500                    |
| Masjid                                  | 300                    |
| Kantin & Koperasi                       | 250                    |
| Total                                   | 21.100                 |

Pada pra rancangan pabrik asam akrilat ini, tata letak ruang pabrik dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini



**Gambar 2.2** Tata Letak Pabrik

Tata letak peralatan proses merupakan letak alat-alat proses produksi tata letak alat proses harus didesain sedemikian rupa bertujuan :

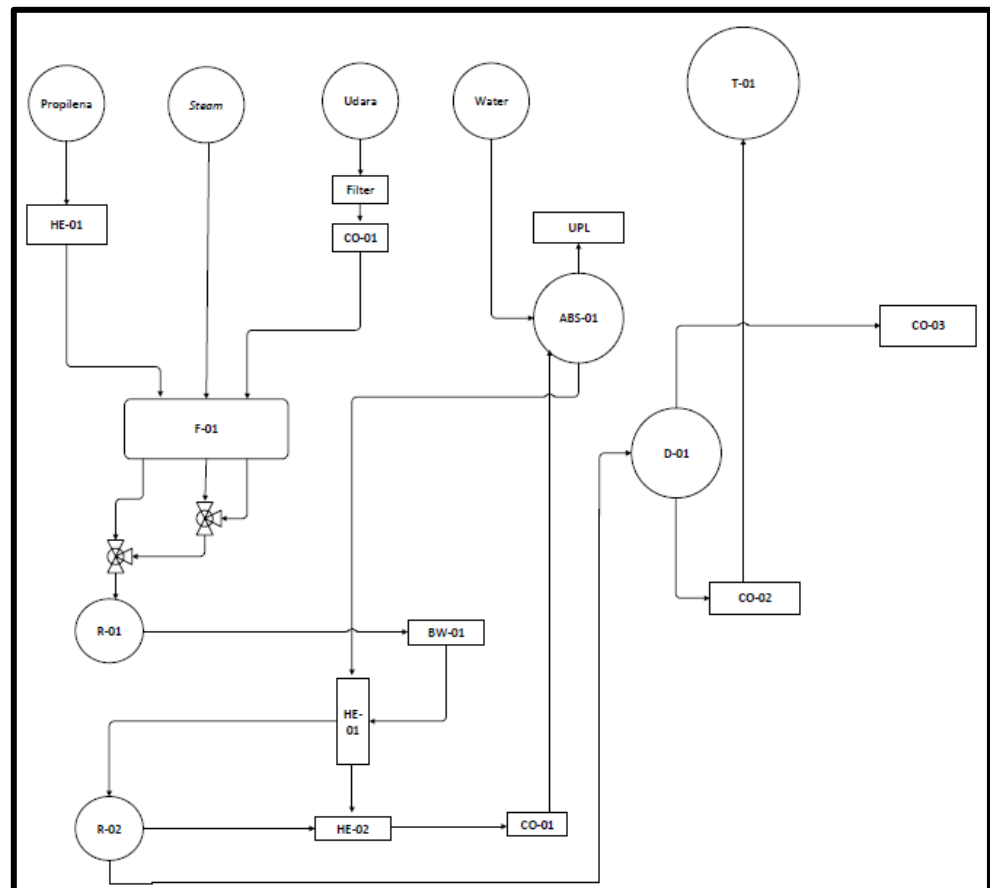
- a. Kelancaran proses produksi dapat terjamin
- b. Penggunaan luas lahan menjadi efektif
- c. Biaya Material Handling menjadi rendah
- d. Mengurangi pengeluaran biaya untuk Capital investment

Dalam menentukan tata letak peralatan proses pada pabrik asam akrilat ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Aliran Bahan Baku Produk
2. Jalur pemipaan dari bahan baku hingga produk harus didesain dengan tepat sehingga dapat memudahkan tercapainya keamanan dan kelancaran proses serta memberikan keuntungan ekonomis.
3. Sistem Penerangan
4. Pencahayaan seluruh pabrik harus memadai terutama untuk proses yang tingkat memiliki daya dan resiko tinggi.
5. Lalu lintas manusia dan barang
6. Dalam desain tata letak peralatan proses perlu diperhatikan untuk lalu lintas bekerja sehingga dapat meningkatkan efisiensi pekerjaan dan waktu serta meningkatkan keamanan pekerja.
7. Pertimbangan ekonomi

8. Dalam desain tata letak alat-alat proses perlu dioptimalkan sehingga dapat memberikan keuntungan produksi.
9. Jarak antar alat proses

Penataan alat proses dengan jarak yang lebih jauh untuk alat proses terutama peralatan proses dengan kondisi tekanan dan temperatur tinggi terhadap peralatan lainnya harus diperhatikan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat keamanan dan pencegahan terhadap timbulnya bahaya saat proses produksi. Pra rancang pabrik asam akrilat ini tata letak peralatan proses dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut :

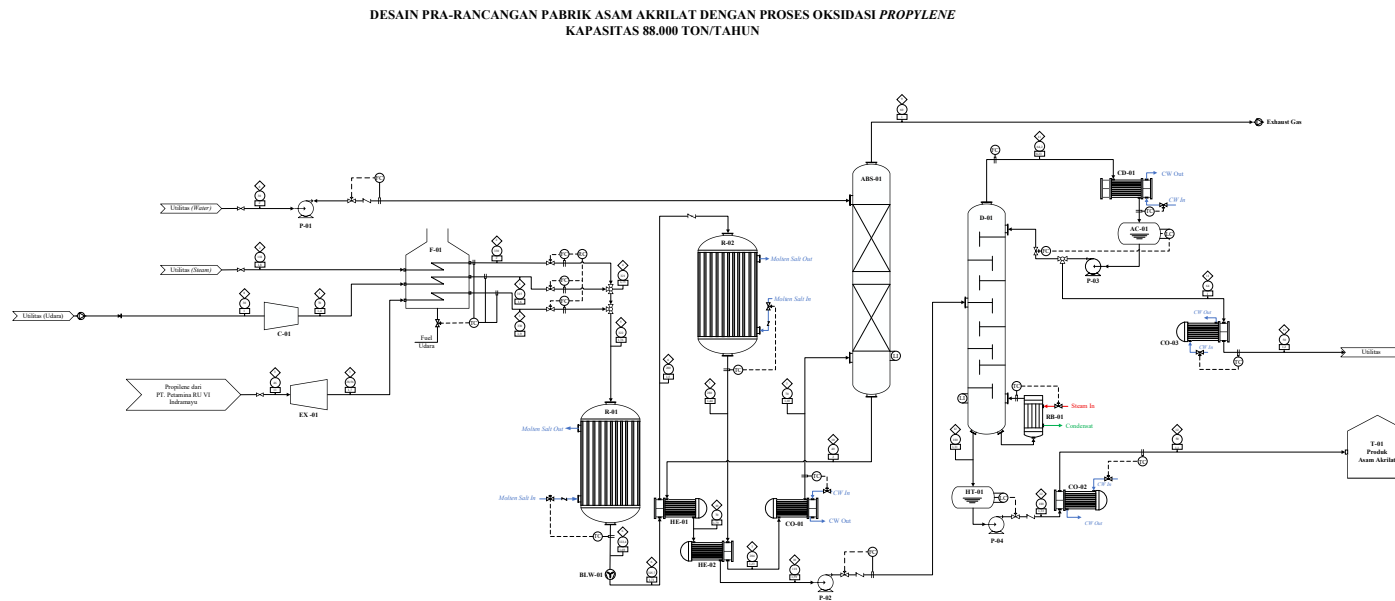


**Gambar 2.3** Tata Letak Peralatan Proses



## 2.8 Diagram Alir Proses Produksi Asam Akrilat

**Gambar 2. 4** Digaram Alir Proses Produksi Asam Akrilat



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | KIMIA INDUSTRI                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | SEKOLAH VOKASI                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | UNIVERSITAS DIPONEGORO           |
| <b>DIAGRAM ALIR DESAIN PROYEK PABRIK ASAM AKRILAT DARI PROPYLENE DENGAN PROSES OKSIDASI KAPASITAS 88.000 TON/TAHUN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                  |
| <b>Digambar Oleh:</b><br>Lulu Firdha Fakhra (40808212420090)<br>Ahmad Hani Yumanto (40808212420090)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                  |
| Dosen Pembimbing I : Anggun Pujiastuti Siswanto, S.T., Ph.D.<br>Dosen Pembimbing II : Prof. Ir. Abdullah M.S., Ph.D.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                  |
| <b>Keterangan Gambar:</b><br>○ : Nomor Arus<br>○ : Temperatur (°C)<br>□ : Tekanan (atm)<br>ABS-01 : Packed Absorber Column<br>AC-1 : Accumulator<br>BL-W-01 : Blower<br>C-01 : Compressor<br>CD-01 : Condenser-01<br>CD-02 : Condenser-02<br>CO-01 : Cooler-01<br>CO-02 : Cooler-02<br>CO-03 : Cooler-03<br>D-01 : Packed Distillation Column<br>EX-01 : Expander<br>F-01 : Furnace<br>HE-01 : Heat Exchanger-01<br>HE-02 : Heat Exchanger-02<br>HT-01 : Holding Tank-01<br>P-01 : Pompa-01<br>P-02 : Pompa-02<br>P-03 : Pompa-03<br>P-04 : Pompa-04<br>R-01 : Reaktor Multitubular Fixed Bed-01<br>R-02 : Reaktor Multitubular Fixed Bed-02<br>RB-01 : Reaktor<br>T-01 : Tanki Penampungan Produk Asam Akrilat |                                  |