

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku Produksi

A. Propilen

- 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 : $N \pm 79\%$ mol
 $O_2 \pm 21\%$ mol
Partikulat padat $\pm 0,02\%$ massa

C. *Steam*

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

(MSDS, 2022)

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/cm³
- B. Katalis MoWO₆ (*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/cm³
- C. Solven Air
 - Rumus Molekul : H₂O
 - Fase : Cairan
 - Berat Molekul : 18 gr/mol
 - kemurnian : min 99,99 %

(MSDS, 2022)

2.1.3 Spesifikasi Produk

- A. Asam Akrilat
 - Rumus Molekul : C₃H₄O₂
 - 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

(MSDS, 2022)

2.2 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku dan Produk

2.2.1 Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

A. Propilen

1. Sifat Fisika

Rumus Kimia	: C ₃ H ₆
Fase	: Gas tidak berwarna
Berat Molekul	: 42,0804 gr/mol
Titik Didih	: 0,47 cm
Titik Beku	: - 48°C
Densitas	: - 185°C
Tekanan Kritis	: 0,612 g/cc (pada suhu 223°K)
Viskositas	: 11,17 Cp

2. Sifat Kimia

- 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 tomkhlorinasi 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 serubbing effluent* reaktor menggunakan campuran air dan propilen.

- Adisi Hidrogen (Hidrogenasi)

Propilen dapat bereaksi dengan hidrogen (H₂) 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 $450^\circ C$ dan tekanan 17 atm akan menghasilkan etilen dan butilen, Proses berlangsung dengan katalis tungsten.

- Ammoksidasi

Propilen bereaksi dengan ammonia dan udara pada suhu $300-450^\circ C$ tekanan 5-30 psig dengan katalis *bismuth phosphor molibdate on silica gel*

- Hidroperoksida

Propilen bereaksi dengan tert-butyl hidroperoksida dengan bantuan katalis MoO_3 membentuk propilen oksida dan hasil samping tertbutyl alcohol.

(MSDS, 2022)

B. Oksigen dari Udara

Udara diasumsikan terdiri dari 79% mol N_2 dan 23% mol O_2

1. Sifat Fisika

Tabel 2. 1 Sifat Fisika Udara

Parameter	N_2	O_2
Wujud	Gas	Gas
Berat Molekul	28,031	32,01
Spesific Gravity	12,5	1,71
Titik Didih	-195,9	-1833
Titik Beku	-209,68	-214,8
Suhu Kritis	126,2	154,6
Tekanan Kritis	3,3	50,5
Volune Kritis	0,089	0,73
Densitas (Kg/cm^2)	809	1149

2. Sifat Kimia

- Oksigen adalah komponen penting dalam proses pembakaran. Ia bereaksi dengan bahan bakar (seperti hidrokarbon) untuk menghasilkan panas, cahaya, dan produk seperti karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O).
- Oksigen bertindak sebagai agen pengoksidasi yang kuat. Ia dapat menerima elektron dari unsur atau senyawa lain, menyebabkan oksidasi. Contohnya adalah karat pada besi (Fe_2O_3).
- Oksigen sangat reaktif, terutama dalam bentuk molekul 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.
- h. Nitrogen merupakan gas yang relatif inert (tidak reaktif) karena memiliki ikatan rangkap tiga yang sangat kuat pada molekul N_2 , sehingga sulit bereaksi dengan zat lain pada kondisi normal
- i. Nitrogen tidak mendukung proses pembakaran, bahkan sering digunakan untuk mencegah oksidasi atau kebakaran karena sifatnya yang stabil
- j. Nitrogen dapat bereaksi dengan unsur lain pada kondisi tertentu, seperti hidrogen (H_2) membentuk amonia (NH_3) melalui proses Haber.
- k. Nitrogen dapat larut dalam air sehingga kelarutannya lebih rendah dibandingkan oksige

A. Asam Akrilat

1. Sifat Fisika

Rumus Kimia	: $C_3H_4O_2$
Berat Molekul	: 72 Kg/mol
Wujud	: Liquid
Titik Didih	: $141^\circ C$

Titik Leleh	: 13,5° C
Densitas	: 1,045 g/cc (pada suhu 25°C)
Tekanan Kritis	: 5,06 MPa
Suhu Kritis	: 380° C
Viskositas Kinematis	: 1,1 cks (pada suhu 25°C)

2. Sifat Kimia

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 hidrokuinon 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.

(MSDS, 2022)

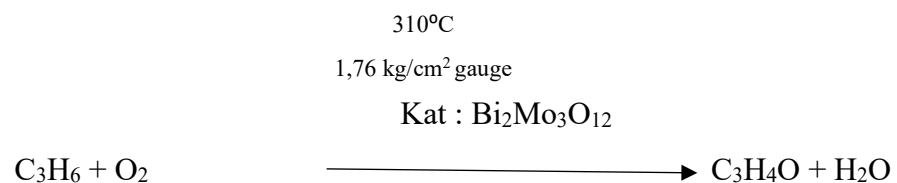
2.3 Konsep Proses

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:

Reaksi Utama Pada Reaktor 1



Reaksi Utama Pada Reaktor 2

310°C
Sedikit diatas tekanan atm
Kat : MoWo



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 MoWO_6 , sampel katalis 73cc berbentuk pelet dengan ukuran 4,7 mm

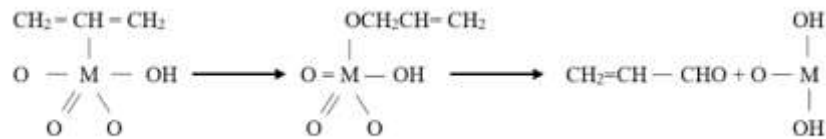
2.3.3 Mekanisme Reaksi

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

1. Oksidasi propilen menjadi akrolein

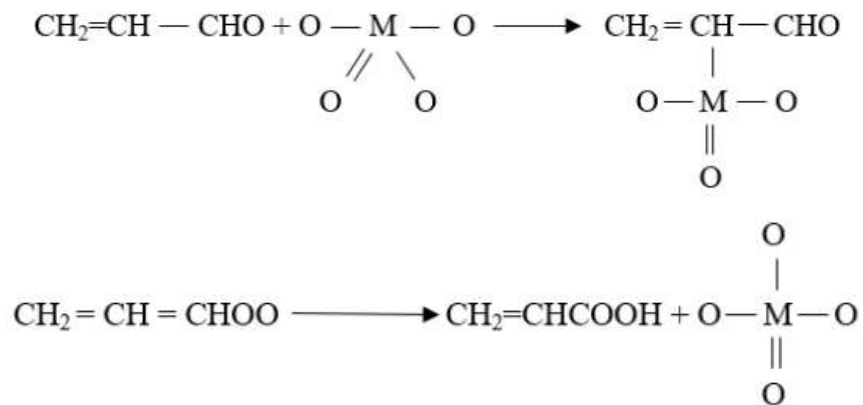
Propilena sebagai bahan baku teradsorpsi pada permukaan katalis yang menyebabkan atom hidrogen alilik (pada C – 3 propilen) diambil oleh atom oksigen dan membentuk *intermediate allylic / radical allylic*, kemudian oksigen yang terdapat pada permukaan katalis teradsorpsi ke dalam *intermediate allylic*,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





2. Oksidasi Akrolein Menjadi Asam Akrilat

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



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 propilen, 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 (ΔH) 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

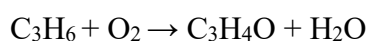
Formula	Name	MW (g/mol)	A	B	C	ΔH_f^{298} (kJ/mol)	$\Delta H^{298,15}$ (kJ/mol)
C ₃ H ₆	<i>Propylene</i>	42,081	37,334	-0,065191	2,81.10 ⁻⁵	20,42	3,73.10 ¹
C ₃ H ₈	<i>Propane</i>	44,095	-80,697	-9,05.10 ⁻²	4,21.10 ⁻⁵	-103,85	-80,697
O ₂	<i>Oxygen</i>	31,999	0	0	0	0	0
N ₂	<i>Nitrogen</i>	28,013	0	0	0	0	0
H ₂ O	<i>Water</i>	18,015	-238,41	-1,23.10 ⁻²	2,77.10 ⁻⁶	-241,8	-238,41
C ₃ H ₄ O	<i>Acrolein</i>	56,064	-66,702	-5,95.10 ⁻²	3,87.10 ⁻⁵	-81	-66,702
C ₂ H ₄ O ₂	<i>Acetic Acid</i>	60,053	-422,584	-4,84.10 ⁻²	2,33.10 ⁻⁵	-434,84	-4,23E.10 ²
C ₃ H ₄ O ₂	<i>Acrylic Acid</i>	72,064	-325,038	-4,41.10 ⁻²	2,09.10 ⁻⁵	-336,23	-325,038
CO ₂	<i>Carbon Dioxide</i>	44,010	-393,422	1,59.10 ⁻⁴	-1,40.10 ⁻⁶	-393,5	-393,422

Maka, dapat dihitung nilai ΔH keseluruhan reaksi yang terjadi di reaktor pada kondisi standar (298 K) dan kondisi operasi pada reaktor 1 311,34C (584.5K) dan reaktor 2 255,99°C (529,14 K).

1. Entalpi Saat kondisi Standard (298 K)

- Reaktor 1

Reaksi utama :



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

Reaksi samping :

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_6 + \frac{9}{2} \text{O}_2 &\rightarrow 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \\ \Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_{f \text{ CO}_2} + \Delta H_{f \text{ H}_2\text{O}}) - (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_6} + \Delta H_{f \text{ O}_2}) \\ &= (3 \cdot (-393,50) + 3 \cdot (-241,80)) - (20,42 + \frac{9}{2} \cdot 0) \\ &= -1926,32 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Delta H \text{ Total} &= (-343,22 - 1926,32) \text{ kJ/mol} \\ &= -2269,54 \text{ kJ/mol (eksotermis)} \end{aligned}$$

- Reaktor 2

Reaksi utama

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2 &\rightarrow \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2 \\ \Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}_2}) - (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}} + \Delta H_{f \text{ O}_2}) \\ &= (-336,23) - (-81,00 + \frac{1}{2} \cdot 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -255,23 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi samping :

$$\begin{aligned} \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \frac{3}{2} \text{O}_2 &\rightarrow \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \text{CO}_2 \\ \Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_{f \text{ C}_2\text{H}_4\text{O}_2} + \Delta H_{f \text{ CO}_2}) - (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}} + \Delta H_{f \text{ O}_2}) \\ &= (-434,84) + (-393,50) - (-81,00 + \frac{3}{2} \cdot 0) \\ &= -747,34 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$= -492,11 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Maka } \Delta H \text{ total} = (-255,23 - 492,11)$$

$$= -747,34$$

2. Entalpi Saat Kondisi Operasi

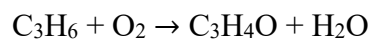
Tabel 2. 3 Data Entalpi Senyawa

Komponen	A	B	C	Hf
<i>Propylene</i>	37,334	-0,065191	2,81E-05	8,8248269
<i>Propane</i>	-66,702	-5,95E-02	4,21E-05	-8,71E+01
<i>Oxygen</i>	0	0	0	0
<i>Nitrogen</i>	0	0	0	0
<i>Water</i>	-238,41	-1,23E-02	2,77E-06	- 244,62549
<i>Acrolein</i>	-66,702	-5,95E-02	3,87E-05	- 88,239947
<i>Acetic Acid</i>	-422,584	-4,84E-02	2,33E-05	- 442,87405
<i>Acrylic Acid</i>	-325,038	-4,41E-02	2,09E-05	- 343,64074
<i>Carbon Dioxide</i>	-393,422	1,59E-04	-1,40E-06	- 393,80558

(Yaws,1999)

- Reaktor 1 (584,5)

Reaksi utama :



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

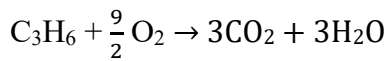
$$= (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_4\text{O}} + \Delta H_{f \text{ H}_2\text{O}}) - (\Delta H_{f \text{ C}_3\text{H}_6} +$$

$\Delta H_{f \text{ O}_2}$)

$$= (-88,24 + (-244,62)) - (8,82 + 0) \text{ KJ/mol}$$

$$= -341,69 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi samping :

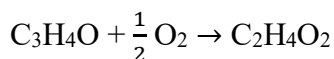


$$\begin{aligned}\Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_f \text{CO}_2 + \Delta H_f \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_6 + \\ &\quad \Delta H_f \text{O}_2) \\ &= (3 \cdot (-393,81) + 3 \cdot (-244,62)) - (8,82 + 92,0) \\ &\text{kJ/mol} \\ &= -1924,12 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } \Delta H \text{ Total} &= (-341,69 - 1924,12) \text{ kJ/mol} \\ &= -2266,81 \text{ kJ/mol (eksotermis)}\end{aligned}$$

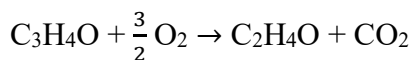
- Reaktor 2 (529,14 K)

Reaksi utama :



$$\begin{aligned}\Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_f \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) - (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta H_f \text{O}_2) \\ &= (-342,49) - (-87,33 + \frac{1}{2} \cdot 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -255,16 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Reaksi samping :



$$\begin{aligned}\Delta H_{f298} &= \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}} \\ &= (\Delta H_f \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H_f \text{CO}_2) - (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \\ &\quad \Delta H_f \text{O}_2) \\ &= (-342,49) + (-393,73) - (-87,33 + \frac{3}{2} \cdot 0) \\ &\text{kJ/mol} \\ &= -748,03 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } \Delta H \text{ Total} &= (-255,16 - 748,03) \text{ kJ/mol} \\ &= -1003,19 \text{ kJ/mol (eksotermis)}\end{aligned}$$

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, berikut ini data setiap senyawa yang digunakan dalam penentuan harga K diperoleh dari Yaws (1999), sebagai berikut :

Tabel 2. 4 Data Energi Gibbs Senyawa saat Suhu 298 K

Senyawa	ΔG_{298} (kJ/mol)
C ₃ H ₆	62,72
C ₃ H ₈	-23.47
O ₂	0
N ₂	0
H ₂ O	-228.60
C ₃ H ₄ O	-55.98
C ₂ H ₄ O ₂	-376,69
CO ₂	-394,40

Dari persamaan Van't Hoff :

$$\frac{d \ln K}{dt} = \frac{-\Delta H}{RT}$$

Dimana :

K = Konstanta kesetimbangan

T = Suhu, °K

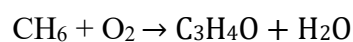
ΔH = Panas reaksi kJ/mol

Dapat dilihat bahwa jika suhu semakin tinggi maka tetapan kesetimbangannya semakin besar dan konversinya semakin besar. Berdasarkan data pada tabel 2.2, dapat dihitung nilai K keseluruhan reaksi pada reaktor, sebagai berikut jika ditinjau dari energi gibbs.

1. Nilai K saat kondisi standar (298 K)

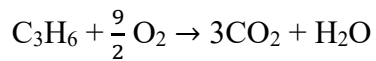
- Reaktor 1

Reaksi utama :



$$\begin{aligned}\Delta G_{f298} &= (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta G_f \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_6 + \Delta G_f \text{O}_2) \\ &= (-55,98 + (-228,6)) - (67,72 + 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -347,3 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Reaksi samping :



$$\begin{aligned}\Delta G_{f298} &= (\Delta G_f 3\text{CO}_2 + \Delta G_f \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_6 + \Delta G_f \frac{9}{2}\text{O}_2) \\ &= (3 \cdot (-394,40) + 3 \cdot (-228,60)) - (62,72 + 9/2 \times 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -1931,72 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Maka } \Delta G \text{ total} &= (-347,3 - 1.931,72) \text{ kJ/mol} \\ &= -2279,02 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

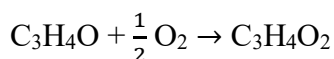
Maka dapat dihitung harga konstanta kesetimbangan pada reaktor 1 dengan suhu 298 K (K₀) adalah :

$$\begin{aligned}\ln (K_0) &= \frac{\Delta G_{298}}{-RT_0} \\ &= \frac{-229.02 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}}{-8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \times 298 \text{ K}} \\ &= 919,86 \\ K_0 &= e^{919,8603} \\ K_0 &= 1.03 \times 10^{399}\end{aligned}$$

Reaksi irreversibel karena reaktan 100% menjadi produk dimana nilai K jauh lebih dari 1

- Reaktor 2

Reaksi utama :



$$\begin{aligned}\Delta G_{f298} &= (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2) - (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta G_f \text{O}_2) \\ &= (-286,06) - (-55,98 + 1/2 (0)) \text{ kJ/mol} \\ &= -230,08\end{aligned}$$

Reaksi samping :

$$\begin{aligned} \Delta G_{298} &= (\Delta G_f \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta G_f \text{CO}_2) - (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} \\ &+ \Delta G_f \frac{3}{2} \text{O}_2) \\ &= (-376,69 + (-394,40)) - (-55,98 + 3 \cdot 2 \cdot (0)) \\ &= -715,11 \end{aligned}$$

kJ/mol

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Delta G \text{ total} &= (-230,08 - 715,11) \text{ kJ/mol} \\ &= -945,19 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung harga konstanta kesetimbangan pada reaktor 2 dengan suhu 298 K (K_0) adalah :

$$\begin{aligned} \ln(K_0) &= \frac{\Delta G_{298}}{-RT_0} \\ &= \frac{-945,19 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}}{-8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \times 298 \text{ K}} \\ &= 381,498 \end{aligned}$$

$$K_0 = 4,81 \times 10^{165}$$

Reaksi irreversibel karena reaktan 100% menjadi produk dimana nilai K jauh lebih dari 1.

2. Nilai K saat kondisi operasional

Tabel 2. 5 Data Energi Gibbs Senyawa saat Kondisi Operasi

Senyawa	ΔG_{298} (kJ/mol)
C_3H_6	20,42
C_3H_8	-103,85
O_2	0
N_2	0
H_2O	-241,8
$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$	-81
$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	-434,84
CO_2	-336,23

Adapun untuk suhu operasi nilai K dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{d \ln K}{dt} = \frac{-\Delta H_{298}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Dimana :

K = Konstanta laju reaksi

K_0 = Konstanta laju reaksi pada suhu referensi T_0

$-\Delta H_{298}$ = Perubahan entalpi reaksi pada suhu 298 K, kJ/mol

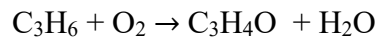
R = Konstanta gas (8,314 j/molK)

T = Suhu operasi

T_0 = Suhu referensi

- Reaktor 1 (595,57 K)

Reaksi utama :



$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{-(-343,22 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{j}}{\text{mol}})}{\frac{8,314 \text{j}}{\text{mol}}} \left(\frac{1}{595,57} - \frac{1}{298} \right)$$

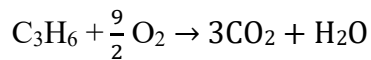
$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{343220 \frac{\text{j}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{j}}{\text{mol}}} 0,001679 - 0,003356$$

$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = 41273,79 \times - 0,001677$$

$$K = 1,05 \times 10^{-30} \times 1,05 \times 10^{40}$$

$$K = 1,10 \times 10^{-10}$$

Reaksi samping



$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{-(-1926,32 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{j}}{\text{mol}})}{\frac{8,314 \text{j}}{\text{mol}}} \left(\frac{1}{595,57} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{1926320 \frac{\text{j}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{j}}{\text{mol}}} 0,001679 - 0,003356$$

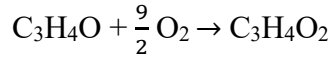
$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = 2,314 \times 10^{-13}$$

$$K = 2,314 \times 10^{-13} \times 1,05 \times 10^{40}$$

$$K = 2,54 \times 10^{27}$$

- Reaktor 2 (553,15 K)

Reaksi utama :



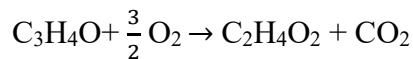
$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{-(-255,23 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{mol}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} \left(\frac{1}{595,57} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{255230 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} 0,001679 - 0,003356$$

$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = 4,43 \times 10^{-23}$$

$$K = 4,87 \times 10^{17}$$

Reaksi samping :



$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{-(-743,34 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{mol}})}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} \left(\frac{1}{595,57} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = \frac{734340 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}}} 0,001679 - 0,003356$$

$$\ln \frac{k}{1,05 \times 10^{40}} = 2,84 \times 10^{-7}$$

$$K = 3,13 \times 10^{33}$$

Dari hasil perhitungan diatas 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 P_{O_2} 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} = Fraksi mol oksigen

Y_{PR} = Fraksi mol propilena

Y_{AK} = Fraksi mol akrolein

P = Tekanan total

Untuk mencari $-r_A$ diperoleh dari :

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

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

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

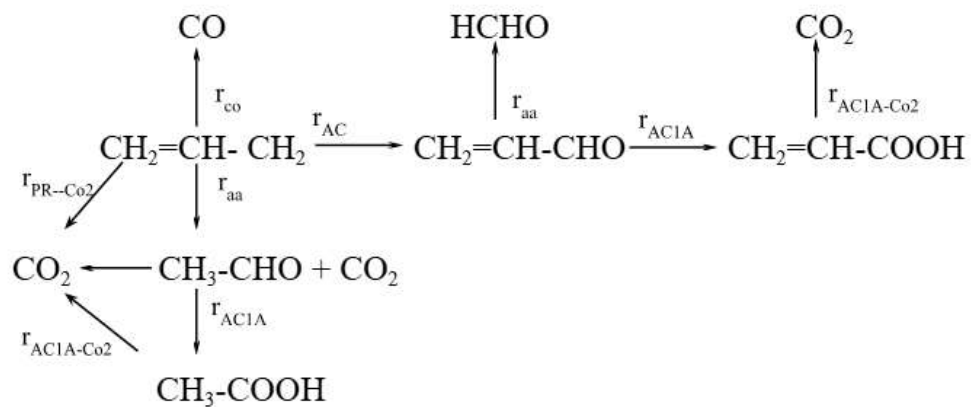
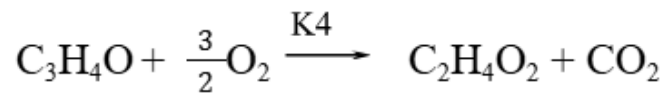
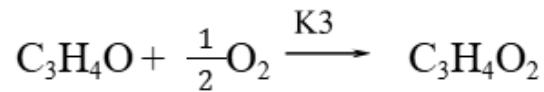
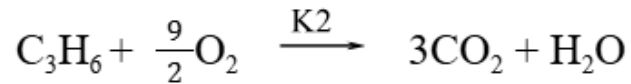
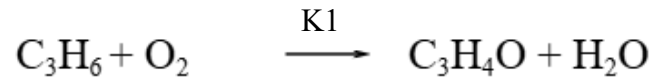
$$r_4 = k_4 \cdot P_{ak} \cdot P_{O_2}$$

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

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

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. 6 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	$1,47 \times 10^7$	1,4

(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 280-330°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 (*shell*) 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 :

- a. Tahap Persiapan bahan Baku
- b. Tahap Oksidasi Propilen
- c. Tahap Separasi

2.4.2 Deskripsi Proses

a. Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku untuk yang di umpankan ke reaktor 1 terdiri dari propilen, udara dan uap air (*steam*). Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan campuran umpan reaktor 1 dengan komposisi tertentu dan kondisi fase uap pada suhu 330°C tekanan 2 atm.

1. Bahan Baku Propilen

Propilen dialirkan melalui pipa dari PT. Pertamina (ROPP) RU VI dengan kondisi gas tekanan 11 atm dan suhu 46,7°C. Propilen dialirkan ke *Expander* (EX-01) dengan tujuan menurunkan tekanan propilen menjadi 2 atm. Keluar dari *Expander*, propilen dipanaskan kedalam *Furnace* (F-01) hingga mencapai suhu 300°C dan dilanjutkan menuju *Three Way Valve* – 02 sehingga bercampur dengan udara dan *steam*. Bahan baku propilena kemudian memasuki reaktor pertama untuk dikonversi menjadi akrolein (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 70.67°C . Untuk memenuhi syarat umpan masuk Reaktor 1, udara di panaskan dengan *Furnace* (F-01) hingga mencapai suhu 300°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-propilen. Karena sifat propilen 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 propilen dicampurkan.

b. Reaksi Oksidasi Propilena

Proses oksidasi propilen dirancang untuk mengubah propilen 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 $311,34^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 1,75 atm, kemudian dilanjutkan di reaktor kedua (R-02) dengan suhu $255,98^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 1,58 atm. Mekanisme reaksi tersebut dapat diamati pada persamaan reaksi (2.1) dan (2.2).

Produksi asam akrilat melalui oksidasi propilen 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% KNO_3 , 40% NaNO_2 , dan 7% 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 .

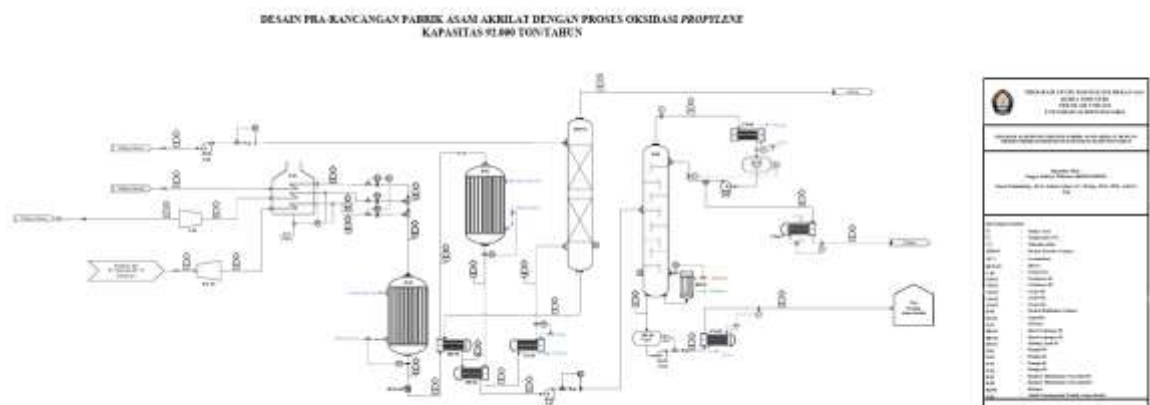
Reaktor dirancang untuk beroperasi secara isothermal non-adiabatik, di mana suhu dijaga konstan di seluruh bagian reaktor dengan tetap memungkinkan pertukaran panas dengan lingkungan. Pada praktiknya, reaktor pertama (R-01) dioperasikan pada suhu keluaran 325°C , sedangkan reaktor kedua (R-02) pada suhu 280°C . Selain menghasilkan produk utama asam akrilat, proses ini juga memproduksi beberapa produk samping seperti CO_2 , H_2O , 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 65°C sebelum masuk ke dalam *absorber* (ABS-01). Dalam unit *absorber* ini, terjadi proses pemisahan antara produk yang diinginkan dengan gas-gas inert seperti CO_2 , N_2 , O_2 , dan sisa 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°C dengan tekanan 1,28 atm, sedangkan gas buang (*exhaust gas*)

keluar melalui bagian atas *absorber* pada suhu 58,1°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 175 mmHg (0,23 atm) sedangkan di dasar kolom sebesar 300 mmHg. 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. 5 Neraca Massa di Sekitar TWV (V-02)

Komponen	Masuk		Keluar
	F ₁ (kg/jam)	F ₂ (kg/jam)	F ₃ (kg/jam)

	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi
C ₃ H ₆	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₃ H ₈	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O ₂	21228,28	0,233	0,000	0,000	21228,28	0,168
N ₂	69902,58	0,767	0,000	0,000	69902,58	0,553
H ₂ O	0,000	0,000	35380,47	1,000	35380,47	0,280
C ₃ H ₄ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₂ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₃ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	91130,87	1,000	35380,47	1,000	126511,34	1,000
			126511,34		126511,34	

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

Tabel 2. 7 Neraca Massa di Sekitar TWV (V-02)

Komponen	Masuk				Keluar	
	F ₃ (kg/jam)		F ₄ (kg/jam)		F ₅ (kg/jam)	
	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi
C ₃ H ₆	0,000	0,000	8845,12	0,994	8845,12	0,065
C ₃ H ₈	0,000	0,000	53,39	0,006	53,39	0,000
O ₂	21228,28	0,168	0,000	0,000	21228,28	0,157
N ₂	69902,58	0,553	0,000	0,000	69902,58	0,516
H ₂ O	35380,47	0,280	0,000	0,000	35380,47	0,261
C ₃ H ₄ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₂ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	126511,34	1,000	8898,51	1,000	135409,84	1,000
			135409,84		135409,84	

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

Tabel 2.8 Neraca Massa di Sekitar *Fix Bed Multitube* (R-01)

Komponen	Masuk	Keluar
	F ₅ (kg/jam)	F ₆ (kg/jam)

	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi
C ₃ H ₆	8845,12	0,065	92,79	0,001
C ₃ H ₈	53,39	0,000	53,39	0,000
O ₂	21228,28	0,157	12407,45	0,092
N ₂	69902,58	0,516	69902,58	0,516
H ₂ O	35380,47	0,261	39824,16	0,294
C ₃ H ₄ O	0,000	0,000	10577,78	0,078
C ₂ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₃ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000
CO ₂	0,000	0,000	2551,67	0,019
Total	135409,84	1,000	135409,84	1,000
	135409,84		135409,84	

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

Tabel 2.9 Neraca Massa di Sekitar *Fix Bed Multitube* (R-02)

Komponen	Masuk		Keluar	
	F ₆ (kg/jam)		F ₇ (kg/jam)	
	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi
C ₃ H ₆	92,79	0,001	92,79	0,001
C ₃ H ₈	53,39	0,000	53,39	0,000
O ₂	12407,45	0,092	8803,40	0,065
N ₂	69902,58	0,516	69902,58	0,516
H ₂ O	39824,16	0,294	39824,16	0,294
C ₃ H ₄ O	10577,78	0,078	146,49	0,001
C ₂ H ₄ O ₂	0,000	0,000	1176,57	0,009
C ₃ H ₄ O ₂	0,000	0,000	11996,52	0,089
CO ₂	2551,67	0,019	3413,91	0,025
Total	135409,83	1,000	135409,83	1,000
	135409,83		135409,83	

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

Tabel 2.10 Neraca Massa di Sekitar *Absorber* (AB-01)

Komponen	Masuk				Keluar			
	F ₇ (kg/jam)		F ₈ (kg/jam)		F ₉ (kg/jam)		F ₁₀ (kg/jam)	
	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi
C ₃ H ₆	92,79	0,001	0,000	0,000	92,79	0,001	0,000	0,000
C ₃ H ₈	53,39	0,000	0,000	0,000	53,39	0,001	0,000	0,000
O ₂	8803,40	0,065	0,000	0,000	8803,40	0,094	0,000	0,000
N ₂	69902,58	0,516	0,000	0,000	69902,58	0,747	0,000	0,000
H ₂ O	39824,16	0,294	33434,54	1,000	10988,81	0,117	62269,90	0,827
C ₃ H ₄ O	146,49	0,001	0,000	0,000	146,49	0,002	0,000	0,000
C ₂ H ₄ O ₂	1176,57	0,009	0,000	0,000	11,77	0,000	1164,80	0,015
C ₃ H ₄ O ₂	11996,52	0,089	0,000	0,000	119,97	0,001	11876,56	0,158
CO ₂	3413,91	0,025	0,000	0,000	3413,91	0,036	0,000	0,000
Total	135409,82	1,000	33434,54	1,000	93533,10	1,000	75311,26	1,00
	168844,36				168844,36			

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

Tabel 2.11 Neraca Massa di Sekitar Kolom Destilasi (D-01)

Komponen	Masuk		Keluar			
	F ₁₀ (kg/jam)		F ₁₁ (kg/jam)		F ₁₂ (kg/jam)	
	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi	Flowrate	Fraksi
C ₃ H ₆	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₃ H ₈	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
N ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
H ₂ O	62269,90	0,827	62246,66	0,977	23,23	0,002
C ₃ H ₄ O	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C ₂ H ₄ O ₂	1164,80	0,015	1129,96	0,018	34,85	0,003
C ₃ H ₄ O ₂	11876,56	0,158	318,48	0,005	11558,08	0,995
CO ₂	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	75311,26	1,00	63695,10	1,00	11616,16	1,000

75311,26

75311,26

7. Neraca Massa Total

Tabel 2.12 Neraca Massa Total

Komponen	Masuk				Keluar		
	F1	F2	F4	F8	F9	F11	F12
	(kg/jam)				(kg/jam)		
C ₃ H ₆	0,000	0,000	8845,12	0,00	92,79	0,000	0,000
C ₃ H ₈	0,000	0,000	53,39	0,00	53,39	0,000	0,000
O ₂	21228,28	0,000	0,00	0,00	8803,40	0,000	0,000
N ₂	69902,58	0,000	0,00	0,00	69902,58	0,000	0,000
H ₂ O	0,000	35380,47	0,00	33434,54	10988,81	62269,90	23,23
C ₃ H ₄ O	0,000	0,000	0,00	0,00	146,49	0,000	0,000
C ₂ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,00	0,00	11,77	1129,96	34,85
C ₃ H ₄ O ₂	0,000	0,000	0,00	0,00	119,97	318,48	11558,08
CO ₂	0,000	0,000	0,00	0,00	3413,91	0,000	0,000
Total	91130,87	35380,47	8898,51	33434,54	93533,10	63695,10	11616,16
	168844,4				168844,4		

2.6.2 Rangkuman Neraca Panas

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

Tabel 2.13 Neraca Energi di Sekitar Kompresor

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₃	460563,2377	
H ₄		4214494,4988
W _s	3753931,2615	
H Total	4214494,50	4214494,50

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

Tabel 2.14 Neraca Energi di Sekitar Ekspander

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₇	305337,2955	

H ₈		49093,9277
W _s		256243,3676
H Total	305337,30	305337,30

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

Tabel 2.15 Neraca Energi di Sekitar *Furnace*

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁	6196073,8703	
H ₂		20853648,1973
H ₄	4214494,4988	
H ₅		27178852,0573
H ₈	49093,92768	
H ₉		5322786,719
H Pemanas	43137569,53	
H Total	53597231,82	53597231,82

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

Tabel 2.16 Neraca Energi di Sekitar TWV (V-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₂	20853648,1973	
H ₅	27178852,0573	
H ₆		48032500,2538
H Total	48032500,25	48032500,25

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

Tabel 2.17 Neraca Energi di Sekitar TWV (V-02)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₆	48032500,2538	
H ₉	5564731,5695	
H ₁₀		53597231,8233

H Total	53597231,82	53597231,82
----------------	--------------------	--------------------

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

Tabel 2.18 Neraca Energi di Sekitar Reaktor (R-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₀	53597231,8233	
H ₁₁		54004418,6125
H Reaksi	98756266,0654	
H Pendingin		98349079,2762
H Total	152353497,89	152353497,88

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

Tabel 2.19 Neraca Energi di Sekitar *Blower* (BW-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₁	54004418,6125	
H ₁₂		54627353,2211
H <i>Blower</i>	622934,6086	
H Total	54627353,22	54627353,22

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

Tabel 2.20 Neraca Energi di Sekitar *Heat Exchanger* (HE-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₂	54627353,2211	
H ₁₃		45948231,9610
H Pendingin		8679121,26004162
H Total	54627353,22	54627353,22

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

Tabel 2.21 Neraca Energi di Sekitar Reaktor (R-02)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₃	45948231,9610	

H ₁₄		45911220,5799
H Reaksi	55321486,4306	
H Pendingin		55358497,8117
H Total	101269718,39	101269718,38

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

Tabel 2.22 Neraca Energi di Sekitar *Heat Exchanger* (HE-02)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₄	45911220,5799	
H ₁₅		31899435,6895
H Pendingin		13402576,8517311
H Total	43915080,55	43915080,55

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

Tabel 2.23 Neraca Energi di Sekitar *Cooler* (CO-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₅	31899435,6895	
H ₁₆		7828297,3234
H Pendingin		24071138,3661
H Total	31899435,6895	31899435,6895

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

Tabel 2.24 Neraca Energi di Sekitar *Absorber* (AB-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₁₆	7828297,3234	
H ₁₇	7	4210059,9412
H ₁₈	700587,5703	
H ₁₉		4318824,9525
H Total	8528884,89	8528884,89

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

Tabel 2.25 Neraca Energi di Sekitar Kolom Destilasi (D-01)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H _F	27009731,1029	
H _R		4093219,4753
H _D		10312392,50
H _{kondensor}		125907245,7360
H _{Reboiler}	113303126,6116	
H Total	140312857,71	140312857,71

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

Tabel 2.26 Neraca Energi di Sekitar Cooler (CO-02)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₂₅	4093219,4753	
H ₂₆		610931,3333
H Pendingin		3482288,1420
H Total	4093219,4753	4093219,4753

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

Tabel 2.27 Neraca Energi di Sekitar Cooler (CO-03)

Komponen	H Masuk (kJ/Jam)	H Keluar (kJ/Jam)
H ₂₂	10312392,5033	
H ₂₃		6584453,8956
H Pendingin		3727938,6077
H Total	10312392,50	10312392,50

16. Neraca Energi Overall

Tabel 2.28 Neraca Energi Overall

Alat	Komponen	Input	Output
Kompresor	H3	460563,2377	
	Ws	3753931,2615	
Expander	H7	305337,2955	
	Ws		256243,3676
Furnace	H1	6196073,8703	
	Q Pemanas	43137569,53	
Reaktor 01	Q Reaksi	98756266,0654	
	Q Pendingin		98349079,2762
Blower	Q Blower	622934,6086	
Reaktor 02	Q Reaksi	55321486,4306	
	Q Pendingin		55358497,8117
Cooler 01	Q Pendingin		24071138,3661
Absorber	H17		4210059,9412
	H18	700587,5703	
Destilasi	Condenser		125907245,7360
	Reboiler	113303126,6116	
Cooler 02	H26		610931,3333
	Q Pendingin		3482288,1420
Cooler 03	H23		6584453,8956
	Q Pendingin		3727938,6077
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 memperlancar operasi pabrik dan meningkatkan efisiensi penggunaan lahan untuk pabrik. Selain itu, dalam mendesain tata letak pabrik harus mempertimbangkan beberapa aspek lain seperti keamanan, keselamatan, dan ruang terbuka. Sehingga rasa nyaman dan aman 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.

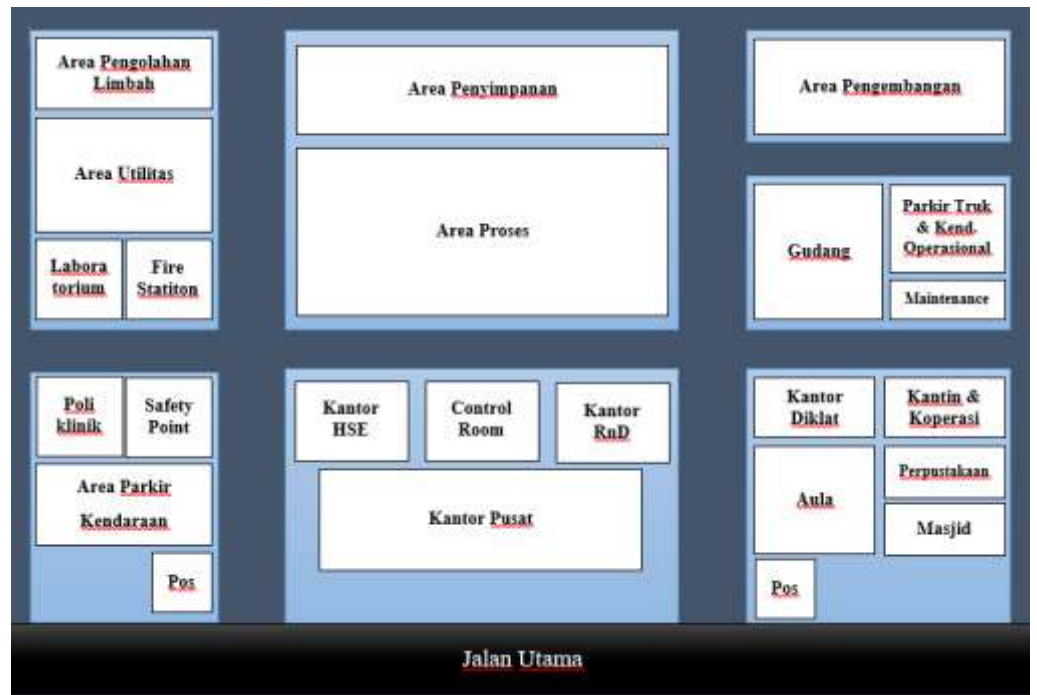
Unit utilitasi untuk sarana pendukung proses seperti: penyediaan air, penyediaan *steam*, pembangkit tenaga listrik dan unit pengolahan limbah. *Fire station* sebagai unit antisipasi bahaya. Laboratorium sebagai pusat penelitian dan pengontrolan kualitas bahan baku maupun produk.

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

Tabel 2.28 Rincian Luas Bnagunan Pabrik

Area	Luas (m ³)
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 <i>Waste Management</i>	1500
<i>Storage</i>	1500
Area Pengembangan	1000
<i>Safety Point</i>	100
Area Parkir Kendaraan Operasional	300
Area Parkir Kendaraan Umum	400
Taman	500
<i>Green Area</i>	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 2.3 dibawah ini



Gambar 2. 2 Tata Letak Pabrik

2.7.2 Tata Letak Peralatan Proses

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 :

