

Tabel 2.1 Spesifikasi Bahan Udara

Parameter	N ₂	O
Wujud	Gas	Gas
Berat Molekul (kg/mol)	28,031	32,01
Specific Gravity	12,5	1,71
Titik Didih (°C)	-195,9	-1833
Titik Beku (°C)	-209,68	-214,8
Suhu Kritis (K)	126,2	154,6
Tekanan Kritis (bar)	3,3	50,5
Volume Kritis (m ³ /mol)	0,089	0,73
Densitas (kg/cm ²)	809	1149

3. Steam

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

• **Bahan Baku Penunjang**

1. Katalis Bi₂Mo₃O₁₂ (Bismuth (III) Molybdate)

Menurut Elements, 2015. Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

- Bentuk : Kristal abu-abu
- Berat Molekul : 897,77 g/mol
- Ukuran : 0,47 cm
- Porositas : 0,411
- Bulk Density : 5,9 – 6,07 g/cm³

2. Katalis MoWo₆ (Molybdenum Tungsten Trioxide)

Menurut Elements, 2000. Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

- Bentuk : Padat
- Berat Molekul : 1375.8064 g/mol

- Ukuran : 0,47 cm
- Porositas : 0,411
- Bulk Density : 15,34 g/cm³

3. Solven Air

- Rumus Molekul : H₂O
- Berat Molekul : 118 g/mol
- Bentuk : Cairan tidak berwarna
- Kemurnian : min 99,99%

2.1.2 Spesifikasi Produk Utama

1. Asam Akrilat

Menurut Prasad and Kumar, 1988. Spesifikasinya adalah sebagai berikut:

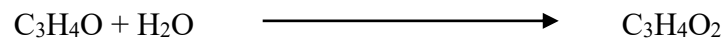
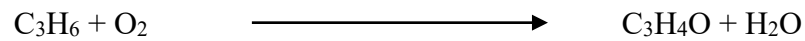
1. Rumus Molekul : C₃H₄O₂
2. Berat Molekul : 72,064 kg/mol
3. Bau : Khas
4. Kemurnian : min 99,5% mol
5. Impuritas : Asam Asetat maks. 0,3% mol
Air maks. 0,2% mol
6. Wujud : Cair tidak berwarna
7. Titik Didih : 141°C
8. Titik Leleh : 13,5 °C
9. Densitas : 1,045 g/cc (pada suhu 25°C)
10. Tekanan Kritis: 5,06 MPa
11. Suhu Kritis : 380 °C
12. Viskositas : 1,1 cks (pada suhu 25°C)
13. Kelarutan : Larut dalam air, sedikit larut dalam aseton, tidak dalam dietil etir

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Pembuatan asam akrilat berlangsung pada fase gas dengan menggunakan katalis padat, sehingga digolongkan dalam reaksi katalitik hydrogen. Proses pembuatan asam akrilat dari propilena merupakan oksidasi dua tahap. Reaksi oksidasi dilakukan dalam dua tahap dengan tujuan untuk memperbesar selektivitas dan reaksi ini termasuk ke dalam reaksi eksotermis.

Mekanisme biasa untuk memproduksi asam akrilat menggunakan proses dua langkah dimana propilena pertama-tama dioksidasi menjadi akrolein dan kemudian dioksidasi lebih lanjut menjadi asam akrilat, setiap langkah reaksi biasanya berlangsung pada katalis terpisah dan pada operasi yang berbeda kondisi. Menurut Kirk dan Othmer, 1992. Pada proses ini digunakan katalis stoikiometri dengan reaksi seperti dibawah ini.



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 (Kirk and Othmer, 1992).

2.3 Mekanisme Reaksi

2.3.1 Kondisi Operasi

2.2.3.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika memiliki tujuan untuk mengetahui sifat reaksi selama proses berlangsung. Besar ΔH menentukan

besarnya jumlah energi yang dibutuhkan dan dihasilkan. Data tiap senyawa yang digunakan dalam perhitungan entalpi pada reaksi pembentukan asam akrilat dengan oksidasi propilena tersaji pada Tabel 2.2 berikut ini (Yaws, 1999).

Tabel 2.2 Data Entalpi Senyawa

Formula	MW (g/mol)	A	B	C	ΔH_{298} (kJ/mol)
C ₃ H ₆	42,081	37,334	-0,065191	0,000028085	20,42
C ₃ H ₈	44,095	-80,697	-0,0905	0,000042104	-103,85
O ₂	31,999	0	0	0	0
N ₂	28,013	0	0	0	0
H ₂ O	18,015	-238,41	-0,01225	0,000002765	-241,8
C ₃ H ₄ O	56,064	-66,702	-0,059478	0,000038716	-81
C ₂ H ₄ O ₂	60,053	-422,584	-0,048354	0,000023337	-434,84
C ₃ H ₄ O ₂	72,064	-325,038	-0,044058	0,000020926	-336,23
CO ₂	44,01	-393,422	0,00015913	-0,000001395	-393,5

Maka, dapat dihitung nilai ΔH keseluruhan reaksi yang terjadi di reaktor pada kondisi standar (298 K) dan kondisi operasi pada reaktor 1 322,4°C (595.57 K) dan reaktor 2 280°C (553,15 K).

1) Entalpi Saat Kondisi Standard (298 K)

- Reaktor 1

Reaksi Utama:



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

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

$$= (-81,004 + (-241,80)) - (20,42 + 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -343,22 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi Samping :



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

$$= (\Delta H_f \text{ CO}_2 + \Delta H_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H_f \text{ C}_3\text{H}_6 + \Delta H_f \text{ O}_2)$$

$$= (3 \cdot (-393,50) + 3 \cdot (-241,80)) - (20,42 + 4,5 \cdot 0)$$

$$\text{kJ/mol}$$

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

- Reaktor 2

Reaksi Utama:



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

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

$$= (-336,23) - (-81,00 + 0,5 \cdot 0) \text{ kJ/mol}$$

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

Reaksi Samping:



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

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

$$= (-434,84) + (-393,50) - (-336,23 + 1,5 \cdot 0)$$

$$\text{kJ/mol}$$

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

$$\text{Maka } \Delta H \text{ Total} = (-255,23 - 492,11) \text{ kJ/mol}$$

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

2) Entalpi Saat Kondisi Operasi

- Reaktor 1 (595,57 K)

$$\Delta H_{C_3H_6} = 37,334 + (-6,5191 \cdot 10^{-2} \times 595,57) + (2,8085 \cdot 10^{-5} \times 595,57^2)$$

$$= 8,47 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{C_3H_4O} = -66,702 + (-5,9478 \cdot 10^{-3} \times 595,57) + (3,8716 \cdot 10^{-5} \times 595,57^2)$$

$$= -88,39 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{H_2O} = -238,41 + (-1,225 \cdot 10^{-2} \times 595,57) + (2,765 \cdot 10^{-6} \times 595,57^2)$$

$$= -244,72 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_{CO_2} = -393,422 + (1,5913 \cdot 10^{-4} \times 595,57) + (-1,395 \cdot 10^{-6} \times 595,57^2)$$

$$= -393,82 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi Utama:



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

$$= (\Delta H_{fC_3H_4O} + \Delta H_{fH_2O}) - (\Delta H_{fC_3H_6} + \Delta H_{fO_2})$$

$$= (-88,39 + (-244,72)) - (8,47 + 0)$$

$$= -341,59 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi Samping:



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

$$= (\Delta H_{fCO_2} + \Delta H_{fH_2O}) - (\Delta H_{fC_3H_6} + \Delta H_{fO_2})$$

$$= (3 \cdot (-393,82) + 3 \cdot (-244,72)) - (8,47 + 4,5 \cdot 0)$$

$$\text{kJ/mol}$$

$$= -1924,11 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Maka } \Delta H_{\text{Total}} = (-341,59 - 1924,11) \text{ kJ/mol}$$

$$= -2265,7 \text{ kJ/mol (eksotermis)}$$

- Reaktor 2 (553,15 K)

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2} &= -422,584 + (-4,8354 \cdot 10^{-2} \times 553,15) + \\ &\quad (2,3337 \cdot 10^{-5} \times 553,15^2) \\ &= -442,19 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_3\text{H}_4\text{O}} &= -66,702 + (-5,9478 \cdot 10^{-3} \times 553,15) + \\ &\quad (3,8716 \cdot 10^{-5} \times 553,15^2) \\ &= -87,76 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2} &= -325,038 + (-4,4058 \cdot 10^{-2} \times 553,15) + \\ &\quad (2,0926 \cdot 10^{-6} \times 553,15^2) \\ &= -343,01 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{CO}_2} &= -393,422 + (1,5913 \cdot 10^{-4} \times 553,15) + (- \\ &\quad 1,395 \cdot 10^{-6} \times 553,15^2) \\ &= -393,76 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi Utama:



$$\begin{aligned} \Delta H_{f298} &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2) - (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta H_f \text{O}_2) \\ &= (-343,01) - (-87,76 + 0,5 \cdot 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -255,25 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Reaksi Samping:



$$\begin{aligned} \Delta H_{f298} &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H_f \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + \Delta H_f \text{CO}_2) - (\Delta H_f \text{C}_3\text{H}_4\text{O} + \Delta H_f \text{O}_2) \\ &= (-442,19) + (-393,76) - (-87,76 + 1,5 \cdot 0) \text{ kJ/mol} \\ &= -748,195 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } \Delta H_{\text{Total}} &= (-255,25 - 748,195) \text{ kJ/mol} \\ &= -1003,44 \text{ kJ/mol (eksotermis)} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, untuk semua reaksi yang berlangsung di reaktor, diperoleh nilai entalpi yang negatif. Hal ini menandakan reaksi dalam reaktor bersifat eksotermis atau melapaskan panas. Dengan demikian, dari proses tersebut akan dibutuhkan pendingin seperti cooling water, ataupun zat pendingin lainnya pada reaktor untuk mempertahankan suhu operasi reaktor.

Selain itu, Tabel 2.3 merupakan data tiap senyawa yang digunakan dalam penentuan harga K (Yaws, 1999).

Tabel 2.3 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
C ₃ H ₄ O ₂	-286,06
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

Terlihat bahwa jika suhu semakin tinggi maka tetapan kesetimbangan semakin besar. Berdasarkan data pada table 2.2, dapat dihitung nilai K keseluruhan reaksi pada reactor, seperti berikut ini apabila ditinjau dari energi gibbs.

Dihitung dari nilai K keseluruhan reaksi pada reaktor, berikut ini

apabila ditinjau dari energi gibbs (ΔG):

1) Nilai K saat Kondisi Standar (298 K)

- **Reaktor 1**

Reaksi Utama:



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

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

$$= (-55,98 + (-228,6)) - (67,72 + 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -347,3 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi Samping:



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

$$= (\Delta G_f 3\text{CO}_2 + \Delta G_f \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G_f \text{C}_3\text{H}_6 + \Delta G_f 4,5\text{O}_2)$$

$$= (3 \cdot (-394,40) + 3 \cdot (-228,60)) - (67,72 + 4,5 \cdot 0) \text{ kJ/mol}$$

$$= -1931,72 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{Maka, } \Delta G \text{ Total} = (-347,3 - 1.931,72) \text{ kJ/mol}$$

$$= -2279,02 \text{ kJ/mol}$$

Maka dapat dihitung, harga konstanta kesetimbangan pada reaktor 1 dengan suhu 298 K (K_0) adalah :

$$\ln(K_0) = \frac{\Delta G}{-RT_0} = \frac{-2.279,02 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}}{-8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.k}} \times 298 \text{ K}}$$

$$K_0 = 8,892 \times 10^{39} \text{ (Irreversible)}$$

2.2.3.2 Tinjauan Kinetika Reaksi

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

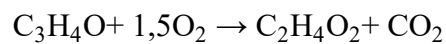
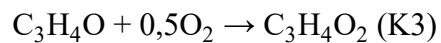
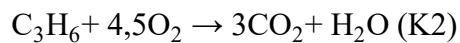
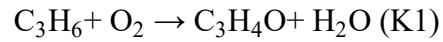
$$k = k_0 e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)}$$

Keterangan:

T: Suhu (K)

R: Konstanta Gas (1,987 kal/gmol.K)

Reaksi pembentukan asam akrilat dengan proses oksidasi propilena merupakan reaksi oksidasi katalitik menggunakan katalis $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ dan MoWO_6 . Selain produk utama, dihasilkan produk samping berupa $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, CO_2 dan H_2O . Persamaan kecepatan reaksi untuk ke-empat reaksi dalam proses pembentukan asam akrilat, sebagai berikut:

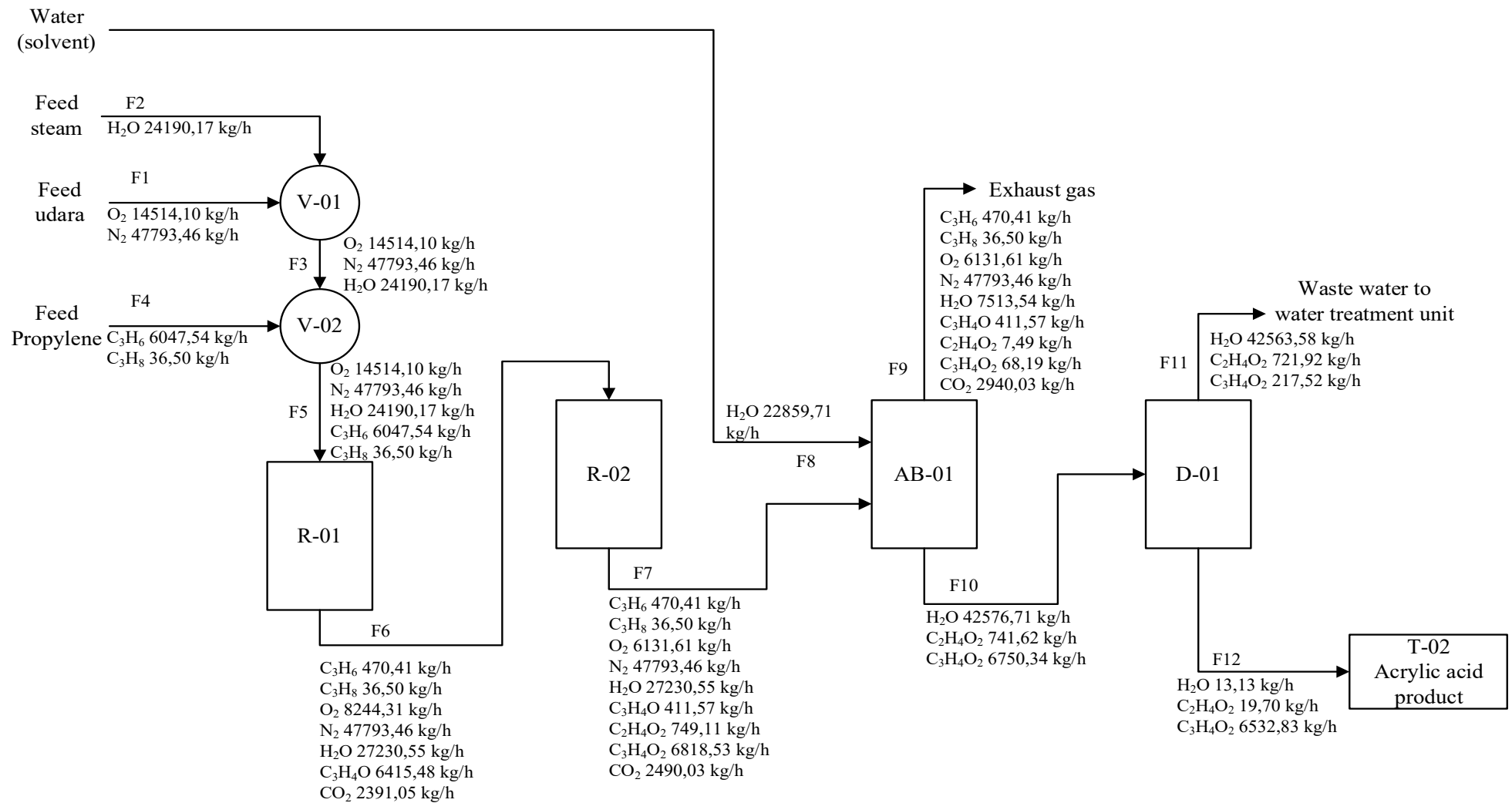


Tabel 2.4 Nilai K_0 dan E_a Tiap Reaksi

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

2.3.2 Diagram Alir

Diagram alir proses produksi pembuatan asam akrilat dengan metode oksidasi *propylene*, Dapat dilihat pada Gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1 Diagram Blok Pembuatan Asam Akrilat

2.2.2 Neraca Massa dan Neraca Panas

1. Neraca Massa

- Neraca Massa Three Way Valve (V-01)**

Pada unit Three Way Valve (V-01), dua aliran masuk (F1 dan F2) digabungkan menjadi satu aliran keluar (F3). Rincian lengkap komposisi dan laju massa masing-masing aliran dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Neraca Massa TWV (V-01)

Komponen	Input		Output
	F1	F2	F3
	kg/hr	kg/hr	kg/hr
C ₃ H ₆	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₈	0,00	0,00	0,00
O ₂	13975,8292	0,00	13975,8292
N ₂	46020,9908	0,00	46020,9908
H ₂ O	0,00	23293,0488	23293,0488
C ₃ H ₄ O	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄ O ₂	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₄ O ₂	0,00	0,00	0,00
CO ₂	0,00	0,00	0,00
Total	59996,8200	23293,0488	83289,8688
Total Massa	83289,8688		83289,8688

- Neraca Massa Three Way Valve (V-02)**

Pada unit Three Way Valve (V-02), dua aliran masuk (F1 dan F2) digabungkan menjadi satu aliran keluar (F3). Rincian lengkap komposisi dan laju massa masing-masing aliran dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.6 Neraca Massa TWV (V-02)

Komponen	Input		Output
	F1	F2	F3
	kg/hr	kg/hr	kg/hr
C ₃ H ₆	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₈	0,00	0,00	0,00
O ₂	13975,8292	0,00	13975,8292
N ₂	46020,9908	0,00	46020,9908

Komponen	Input		Output
	F1 kg/hr	F2 kg/hr	F3 kg/hr
H ₂ O	0,00	23293,0488	23293,0488
C ₃ H ₄ O	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄ O ₂	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₄ O ₂	0,00	0,00	0,00
CO ₂	0,00	0,00	0,00
Total	59996,8200	23293,0488	83289,8688
Total Massa	83289,8688		83289,8688

- **Neraca Massa Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-01)**

Neraca Massa Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-01) dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Neraca Massa Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-01)

Komponen	Input	Output
	F5	F6
	kg/hr	kg/hr
C ₃ H ₆	5823,2622	452,9683
C ₃ H ₈	35,1505	35,1505
O ₂	13975,8293	7938,5620
N ₂	46020,9908	46020,9908
H ₂ O	23293,0488	26220,6732
C ₃ H ₄ O	0,0000	6177,5567
C ₂ H ₄ O ₂	0,0000	0,00
C ₃ H ₄ O ₂	0,0000	0,00
CO ₂	0,0000	2302,3800
Total	89148,28	89148,28

- **Neraca Massa Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-02)**

Neraca Massa Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-02) dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Neraca Massa Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-02)

Komponen	Input F6 kg/hr	Output F7 kg/hr
C ₃ H ₆	452,9683	452,9683
C ₃ H ₈	35,1505	35,1505
O ₂	7938,5620	5904,2162
N ₂	46020,9908	46020,9908
H ₂ O	26220,6732	26220,6732

Komponen	Input F6 kg/hr	Output F7 kg/hr
C ₃ H ₄ O	6177,5567	396,3026
C ₂ H ₄ O ₂	0	721,3260
C ₃ H ₄ O ₂	0	6565,6566
CO ₂	2302,3800	2830,9975
Total	89148,281	89148,282

- **Neraca Massa Absorber (AB-01)**

Neraca Massa Absorber (AB-01) dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Neraca Massa Absorber (AB-01)

Komponen	Input		Output	
	F7 kg/hr	F8 (Wetting Liquid) kg/hr	F9 (Atas) kg/hr	F10 (Bawah) kg/hr
C ₃ H ₆	452,9683	0	452,9683	0,0000
C ₃ H ₈	35,1505	0	35,1505	0,0000
O ₂	5904,2162	0	5904,2162	0,0000
N ₂	46020,9908	0	46020,9908	0,0000
H ₂ O	26220,6732	22011,9311	7234,8906	40997,7136
C ₃ H ₄ O	396,3026	0	396,3026	0,0000
C ₂ H ₄ O ₂	721,3260	0	7,2133	714,1127
C ₃ H ₄ O ₂	6565,6566	0	65,6566	6500,0000
CO ₂	2830,9975	0	2830,9975	0,0000
Total	89148,28151	22011,93108	62948,3862	48211,82634
Total Massa	111160,21		111160,21	

- **Neraca Massa Kolom Destilasi (D-01)**

Neraca Massa Kolom Destilasi (D-01) dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Neraca Massa Kolom Destilasi (D-01)

Komponen	Input		Output	
	F10 kg/hr	F11 (Atas) kg/hr	F12 (Bawah/Produk) kg/hr	
C ₃ H ₆	0,0000	0,0000	0,0000	
C ₃ H ₈	0,0000	0,0000	0,0000	
O ₂	0,0000	0,0000	0,0000	
N ₂	0,0000	0,0000	0,0000	
H ₂ O	40997,7136	40985,0693	12,6443	
C ₃ H ₄ O	0,0000	0,0000	0,0000	
C ₂ H ₄ O ₂	714,1127	695,1462	18,9665	
C ₃ H ₄ O ₂	6500,0000	209,4483	6290,5517	

Komponen	Input	Output	
	F10 kg/hr	F11 (Atas) kg/hr	F12 (Bawah/Produk) kg/hr
CO ₂	0,0000	0,0000	0,0000
Total	48211,8263	41889,6639	6322,1625
Total Massa		48211,83	48211,83

- **Neraca Massa Total**

$$\boxed{\text{F1}+\text{F2}+\text{F4}+\text{F8} = \text{F9}+\text{F11}+\text{F12}}$$

Neraca Massa Total dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Neraca Massa *Input Overall*

Komponen	F1	F2	F4	F8
	Kg			
C ₃ H ₆	0,00	0,00	6047,54	0,00
C ₃ H ₈	0,00	0,00	36,50	0,00
O ₂	14514,10	0,00	0,00	0,00
N ₂	47793,46	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,00	24190,17	0,00	22859,71
C ₃ H ₄ O	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₂ H ₄ O ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₄ O ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
Jumlah	62307,56	24190,17	6084,05	22859,71
Total	115441,48			

Tabel 2.12 Neraca Massa *Output Overall*

Komponen	F9	F11	F12
	Kg		
C ₃ H ₆	470,41	0,00	0,00
C ₃ H ₈	36,50	0,00	0,00
O ₂	6131,61	0,00	0,00
N ₂	47793,46	0,00	0,00
H ₂ O	7513,54	42563,58	13,13
C ₃ H ₄ O	411,57	0,00	0,00
C ₂ H ₄ O ₂	7,49	721,92	19,70
C ₃ H ₄ O ₂	68,19	217,52	6532,83
CO ₂	2940,03	0,00	0,00
Jumlah	65372,80	43503,02	6565,66
Total	115441,48		

2. Neraca Panas

- **Neraca Panas Kompresor (C-01)**

Neraca Panas Kompresor (C-01) dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Neraca Panas Kompresor (C-01)

Komponen	Input		Output
	H3 (kJ/Jam)		H4 (kJ/Jam)
O ₂	66852,8293		620785,9166
N ₂	248041,2653		2295412,1598
Ws		2601303,9846	
Total	314894,0946	2601303,9846	2916198,0764
Total Massa		2916198,08	2916198,08

- **Neraca Panas *Expander* (EX-01)**

Neraca Panas *Expander* (EX-01) dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Neraca Panas *Expander* (EX-01)

Komponen	Input		Output
	H7 (kJ/Jam)		H8 (kJ/Jam)
C ₃ H ₆	619670,4950		33345,5638
C ₃ H ₈	4130,2004		220,7017
Ws			590234,4299
Total	623800,6954	0,0000	623800,6954
Total Massa		623800,70	623800,70

- **Neraca Panas *Furnace* (F-01)**

Neraca Panas *Furnace* (F-01) dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15 Neraca Massa *Furnace* (F-01)

Komponen	Input (kJ/hr)	Output (kJ/hr)
H1	4236349,9980	
H2		14257956,6269
H4	2916198,0764	
H5		18582594,7640
H8	33566,2655	
H9		3804691,659
H Pemanas	29459128,71	
Total	36645243,0500	36645243,05

- **Neraca Panas *Three Way Valve* (V-01)**

Neraca Panas *Three Way Valve* (V-01) dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16 Neraca Panas *Three Way Valve* (V-01)

Komponen	Input (kJ/hr)		Output (kJ/hr)
	H5	H2	H6
O ₂	4024982,6794		4117564,0620
N ₂	14557612,0846		14884026,0173
H ₂ O		14257956,6269	13838961,3111
Propylene			
Propane			
Total	18582594,7640	14257956,6269	32840551,3904
Total Massa	32840551,39		32840551,39

- **Neraca Panas *Three Way Valve* (V-02)**

Neraca Panas *Three Way Valve* (V-02) dapat dilihat pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17 Neraca Panas *Three Way Valve* (V-02)

Komponen	Input (kJ/hr)		Output (kJ/hr)
	H6	H9	H10
O ₂	4117564,0620		4132376,0560
N ₂	14884026,0173		14936219,0076
H ₂ O	13838961,3111		13888670,8087
Propylene		3779035,4770	3663117,8608
Propane		25656,1821	24859,3164
Total	32840551,3904	3804691,6591	36645243,0495
Total Massa	36645243,05		36645243,05

- **Neraca Panas *Blower* (BW-01)**

Neraca Panas *Blower* (BW-01) dapat dilihat pada Tabel 2.18.

Tabel 2.18 Neraca Panas *Blower* (BW-01)

Komponen	H11	H12
	Hin (kJ/Jam)	Hout (kJ/Jam)
C ₃ H ₆	284939,2859	288801,0476
C ₃ H ₈	24859,3164	25200,5629
O ₂	2347275,6294	2374094,8375
N ₂	14936219,0076	15102537,0448
H ₂ O	15634290,8028	15812671,6691
C ₃ H ₄ O	2991766,0947	3033670,6165
C ₂ H ₄ O ₂	0,0000	0,0000

Komponen	H11 Hin (kJ/Jam)	H12 Hout (kJ/Jam)
C ₃ H ₄ O ₂	0,0000	0,0000
CO ₂	689624,9103	697858,8639
Blower	425859,5954	
Total	36908975,0471	425859,5954
Total Massa	37334834,64	37334834,64

- **Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-01)**

Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-01) dapat dilihat pada Tabel 2.19.

Tabel 2.19 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-01)

Komponen	Input		Output	
	H12 (kJ/Jam)	H18 (kJ/Jam)	H13 (kJ/Jam)	H19 (kJ/Jam)
C ₃ H ₆	288801,0476	0,0000	236032,5545	0,0000
C ₃ H ₈	25200,5629	0,0000	20543,3863	0,0000
O ₂	2374094,8375	0,0000	2000199,0069	0,0000
N ₂	15102537,0448	0,0000	12776151,8726	0,0000
H ₂ O	15812671,6691	2672992,7632	13326832,0107	8107551,2842
C ₃ H ₄ O	3033670,6165	0,0000	2463619,4795	0,0000
C ₂ H ₄ O ₂	0,0000	24041,6554	0,0000	74356,8446
C ₃ H ₄ O ₂	0,0000	211277,2908	0,0000	654272,7943
CO ₂	697858,8639	0,0000	583587,1180	0,0000
Total	37334834,6425	2908311,7094	31406965,4287	8836180,9232
Total Massa	40243146,35		40243146,35	

- **Neraca Panas Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-01)**

Neraca Panas Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-01) dapat dilihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Neraca Panas Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-01)

Komponen	Input (kJ/hr)	Qc	Output (kJ/hr)	
	Hr		H298	Hp
C ₃ H ₆	3663117,8608			284939,2859
C ₃ H ₈	24859,3164			24859,3164
O ₂	4132376,0560			2347275,6294
N ₂	14936219,0076			14936219,0076
H ₂ O	13888670,8087			15634290,8028
C ₃ H ₄ O	0,0000			2991766,0947
C ₂ H ₄ O ₂	0,0000			0,0000
C ₃ H ₄ O ₂	0,0000			0,0000
CO ₂	0,0000			689624,9103

Komponen	Input (kJ/hr)		Output (kJ/hr)	
	Hr	Qc	H298	Hp
ΔH 298 Reaksi (1')	33591764,5364			
Pendingin			71149313,6206	
Total	108058288,6677	0,0000	71149313,6206	36908975,0471
Total Massa	108058288,67		108058288,67	

- **Neraca Panas Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-02)**

Neraca Panas Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-02) dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Neraca Panas Reaktor *Fix-Bed Multitube* (R-02)

Komponen	Input (kJ/hr)		Output (kJ/hr)	
	Hr	Qc	H298	Hp
C ₃ H ₆	236032,5545			236032,5545
C ₃ H ₈	20543,3863			20543,3863
O ₂	2000199,0069			1487625,5071
N ₂	12776151,8726			12776151,8726
H ₂ O	13326832,0107			13326832,0107
C ₃ H ₄ O	2463619,4795			158046,1169
C ₂ H ₄ O ₂	0,0000			259012,4017
C ₃ H ₄ O ₂	0,0000			2401877,5312
CO ₂	583587,1180			717576,4446
ΔH 298 Reaksi (1)	32231779,6105			
ΔH 298 Reaksi (1')				
Pendingin			32255047,2136	
Total	63638745,0392	0,0000	32255047,2136	31383697,8256
Total Massa	63638745,04		63638745,04	

- **Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-02)**

Neraca Panas *Heat Exchanger* (R-02) dapat dilihat pada Tabel 2.22.

Tabel 2.22 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-02)

Komponen	Input		Output	
	H14 (kJ/Jam)	H20 (kJ/Jam)	H15 (kJ/Jam)	H21 (kJ/Jam)
C ₃ H ₆	236032,5545	0,0000	168384,5672	0,0000
C ₃ H ₈	20543,3863	0,0000	14595,1896	0,0000
O ₂	1487625,5071	0,0000	1110421,5939	0,0000
N ₂	12776151,8726	0,0000	9591843,4415	0,0000
H ₂ O	13326832,0107	8107551,2842	9956035,1417	15410599,3919

Komponen	Input		Output	
	H14 (kJ/Jam)	H20 (kJ/Jam)	H15 (kJ/Jam)	H21 (kJ/Jam)
C ₃ H ₄ O	158046,1169	0,0000	111816,6796	0,0000
C ₂ H ₄ O ₂	259012,4017	74356,8446	184658,0212	144446,3772
C ₃ H ₄ O ₂	2401877,5312	654272,7943	1724679,7263	1272926,8562
CO ₂	717576,4446	0,0000	529471,7624	0,0000
Total	31383697,8256	8836180,9232	23391906,1234	16827972,6253
Total Massa	40219878,75		40219878,75	

- **Neraca Massa Cooler (CO-01)**

Neraca Panas Cooler (CO-01) dapat dilihat pada Tabel 2.23.

Tabel 2.23 Neraca Panas Cooler (CO-01)

Komponen	Input	Output
	Hin (kJ/Jam)	Hout (kJ/Jam)
C ₃ H ₆	168384,5672	34268,3071
C ₃ H ₈	14595,1896	2930,6858
O ₂	1110421,5939	255300,1282
N ₂	9591843,4415	2234757,6347
H ₂ O	9956035,1417	2296502,8746
C ₃ H ₄ O	111816,6796	22706,8055
C ₂ H ₄ O ₂	184658,0212	37534,0206
C ₃ H ₄ O ₂	1724679,7263	352376,5705
CO ₂	529471,7624	117603,2356
Pendingin		18037925,8608
Total	23391906,1234	23391906,1234
Total Massa		

- **Neraca Panas Absorber (AB-01)**

Neraca Panas Absorber (AB-01) dapat dilihat pada Tabel 2.24.

Tabel 2.24 Neraca Panas Absorber (AB-01)

Komponen	Input (kJ/hr)		Output (kJ/hr)	
	INPUT (H16)	INPUT (H 18)	OUTPUT (H19)	OUTPUT (H17)
C ₃ H ₆	34268,3071		0,0000	30175,6554
C ₃ H ₈	2930,6858		0,0000	2579,1354
O ₂	255300,1282		0,0000	225870,4394
N ₂	2234757,6347		0,0000	1978014,7418
H ₂ O	2296502,8746	479002,3835	2672992,7632	560690,1924
C ₃ H ₄ O	22706,8055		0,0000	20011,9281
C ₂ H ₄ O ₂	37534,0206		24041,6554	330,5118
C ₃ H ₄ O ₂	352376,5705		211277,2908	3101,9625
CO ₂	117603,2356		0,0000	103896,3699
Total	5353980,2627	479002,3835	2908311,7094	2924670,9367

Total Massa	5832982,65	5832982,65
--------------------	-------------------	-------------------

- **Neraca Panas Kolom Destilasi (D-01)**

Neraca Panas Kolom Destilasi (D-01) dapat dilihat pada Tabel 2.25.

Tabel 2.25 Neraca Panas Kolom Distilasi (D-01)

Komponen	H input Kj/jam)	H Output Kj/jam)
HF	16827972,6253	
HR		2313558,8339
HD		7047123,46
Condensor		86100508,1067
Reboiler	78633217,7710	
Total	95461190,3963	95461190,4

- **Neraca Panas Cooler (CO-02)**

Neraca Panas Cooler (CO-02) dapat dilihat pada Tabel 2.26.

Tabel 2.26 Neraca Panas Cooler (CO-02)

Komponen	Input Hin (kJ/Jam)	Output Hout (kJ/Jam)
H ₂ O	8599,3318	1372,5521
C ₂ H ₄ O ₂	7143,8882	1070,2818
C ₃ H ₄ O ₂	2297815,6139	342866,1805
Pendingin		1968249,8194
Total	2313558,8339	2313558,8339

- **Neraca Panas Cooler (CO-03)**

Neraca Panas Cooler (CO-03) dapat dilihat pada Tabel 2.27 dibawah ini:

Tabel 2.27 Neraca Panas Cooler (CO-03)

Komponen	Input Hin (kJ/Jam)	Qc (kJ/Jam)	Output Hout (kJ/Jam)
H ₂ O	6967093,1553		4448963,7771
C ₂ H ₄ O ₂	61981,7108		39227,2090
C ₃ H ₄ O ₂	18048,5897		11415,9694
Pendingin			2547516,5003
Total	7047123,4558	0,0000	7047123,4558
Total Massa	7047123,46		7047123,46

- **Neraca Panas *Overall***

Neraca Panas *Overall* dapat dilihat pada Tabel 2.28 dibawah ini:

Tabel 2.28 Neraca Panas *Overall*

Alat	Komponen	Input	Output
Kompresor	H3	314894,0946	
	Ws	2601303,985	
Expander	H7	623800,6954	
	Ws		590234,4299
Furnace	H1	4236349,998	
	Q Pemanas	29459128,71	
Reaktor 01	Q Reaksi	71413045,62	
	Q Pendingin		71149313,62
Blower	Q Blower	425859,5954	
Reaktor 02	Q Reaksi	32231779,61	
	Q Pendingin		32255047,21
Cooler 01	Q Pendingin		18037925,86
Absorber	H17		2924670,937
	H18	479002,3835	
Destilasi	Condenser		86100508,11
	Reboiler	78633217,77	
Cooler 02	H26		345309,0145
	Q Pendingin		1968249,819
Cooler 03	H23		4499606,955
	Q Pendingin		2547516,5
Total		220418382,5	220418382,5

2.4 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.4.1 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik dirancang untuk mengatur berbagai bagian dari fasilitas industri, termasuk area proses dan utilitas, ruang penyimpanan, kantor, area ekspansi, serta bangunan dan ruang penunjang lainnya. Desain tata letak yang optimal bertujuan untuk memperlancar jalannya operasi pabrik serta memaksimalkan efisiensi penggunaan lahan. Selain itu, sejumlah faktor penting seperti keamanan, keselamatan kerja, dan keberadaan ruang terbuka juga perlu diperhatikan agar lingkungan kerja menjadi lebih nyaman dan aman. Menurut Perry and Green, 2008. Ada

beberapa aspek utama yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan tata letak pabrik meliputi:

1. Area Ekspansi Pabrik

Dalam perencanaan tata letak, perlu mempertimbangkan kemungkinan perluasan di masa depan, baik untuk penambahan peralatan proses, peningkatan kapasitas produksi, maupun pengembangan produk turunan. Oleh karena itu, sebagian lahan perlu disiapkan sebagai ruang pengembangan.

2. Antisipasi Potensi Bahaya

Tata letak pabrik harus dirancang dengan mempertimbangkan risiko seperti kebakaran, ledakan, kebocoran gas beracun, dan lainnya. Karena itu, diperlukan penempatan unit pemadam kebakaran di lokasi strategis, serta penataan yang memisahkan area proses berisiko tinggi dari area perkantoran dan fasilitas pendukung lainnya.

3. Luas dan Nilai Ekonomi Lahan

Harga tanah menjadi salah satu pertimbangan dalam perencanaan, sehingga efisiensi penggunaan lahan sangat penting. Tata ruang harus mengakomodasi kebutuhan operasional tanpa pemborosan area, agar investasi dalam pembelian lahan tetap ekonomis.

4. Instalasi dan Utilitas

Tata letak peralatan, sistem perpipaan, dan unit utilitas harus dirancang secara teratur dan efisien guna mendukung kelancaran operasi dan mempermudah perawatan rutin.

Secara umum, wilayah pabrik dibagi ke dalam beberapa zona utama sebagai berikut:

1. Zona Administrasi dan Pendukung

Termasuk kantor, poliklinik, perpustakaan, dan ruang kontrol. Kantor sebagai pusat administrasi, poliklinik menyediakan layanan

kesehatan dan penanganan kecelakaan kerja, perpustakaan menjadi pusat informasi, dan ruang kontrol berfungsi untuk mengawasi jalannya proses produksi.

2. Zona Proses Produksi

Merupakan lokasi utama tempat peralatan produksi dipasang dan proses berlangsung.

3. Zona Gudang, Bengkel, dan Garasi

Meliputi area penyimpanan bahan baku dan produk, bengkel perawatan, serta garasi kendaraan operasional.

4. Zona Utilitas, Pengolahan Limbah, Pemadam Kebakaran, dan Laboratorium

Menyediakan sarana penunjang proses seperti air, uap, listrik, serta instalasi pengolahan limbah. Fire station untuk penanggulangan darurat, dan laboratorium untuk pengujian mutu bahan serta produk.

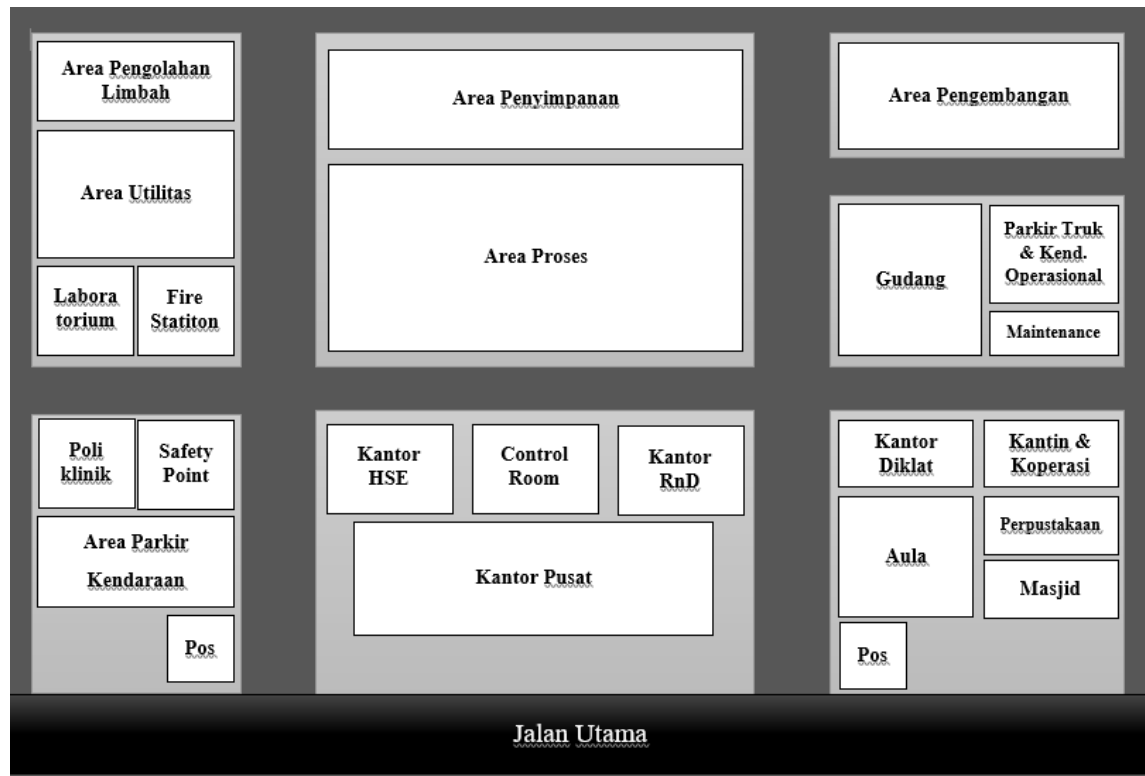
Untuk tata letak pabrik asam akrilat ini, rincian bangunan beserta luasnya dapat dilihat pada Tabel 2.29.

Tabel 2.29 Tata Letak Pabrik

Area	Luas (m ³)
Kantor Pusat	800
Aula	500
Poli Klinik	400
Control Room	400
Kantor RnD	400
Kantor Diklat	400
Kantor HSE	400
Kantin & Koperasi	250
Perpustakaan	200
Masjid	300
Laboratorium	400

Area	Luas (m ³)
Fire Station	100
Gudang	250
Maintaince	100
Pos Keamanan	50
Area Utilitas	1.500
Arca Proses	5.000
Area Pengolahan Limbah	1.200
Area Penyimpanan	1.200
Area Pengembangan	900
Safety Point	100
Area Parkir Kendaraan Operasional	300
Area Parkir Kendaraan Umum	400
Taman	500
Jalan	2.000
Total	17250

Pada Pra-rancangan pabrik asam akrilat ini, tata letak ruang pabrik dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Tata Letak Pabrik

2.4.2 Tata Letak Peralatan Proses

Tata letak peralatan proses dalam pabrik kimia merupakan pengaturan posisi alat-alat produksi yang dirancang secara sistematis untuk memastikan kelancaran operasi, efisiensi penggunaan lahan, minimalisasi biaya *material handling*, serta pengurangan investasi modal yang tidak diperlukan (Peters and Timmerhaus, 2003). Dalam konteks pabrik asam akrilat, desain layout peralatan proses menjadi krusial untuk mendukung keselamatan, efisiensi, dan kelangsungan operasional pabrik.

Menurut Peters and Timmerhaus, 2003. Ada beberapa aspek penting yang harus diperhatikan dalam merancang tata letak peralatan proses meliputi:

1. Alur Perpindahan Bahan Baku dan Produk

Sistem perpipaan harus dirancang seefisien mungkin agar aliran bahan dari bahan baku hingga produk akhir berlangsung

lancar, aman, dan ekonomis. Desain jalur alir yang optimal juga menghindari konflik antar proses dan mempermudah pemeliharaan.

2. Pencahayaan Fasilitas

Sistem penerangan yang memadai sangat diperlukan, terutama pada area dengan risiko tinggi seperti reaktor atau unit distilasi. Pencahayaan yang baik meningkatkan visibilitas kerja dan mengurangi risiko kecelakaan.

3. Lalu Lintas Manusia dan Material

Jalur pergerakan pekerja dan alat angkut harus dirancang untuk meminimalkan gangguan dan tumpang tindih dengan operasi proses. Penataan ini mendukung efisiensi waktu kerja dan keselamatan personel.

4. Aspek Ekonomi

Tata letak alat harus dirancang untuk memaksimalkan produktivitas dan mengurangi biaya investasi maupun operasional, termasuk biaya perpipaan dan energi.

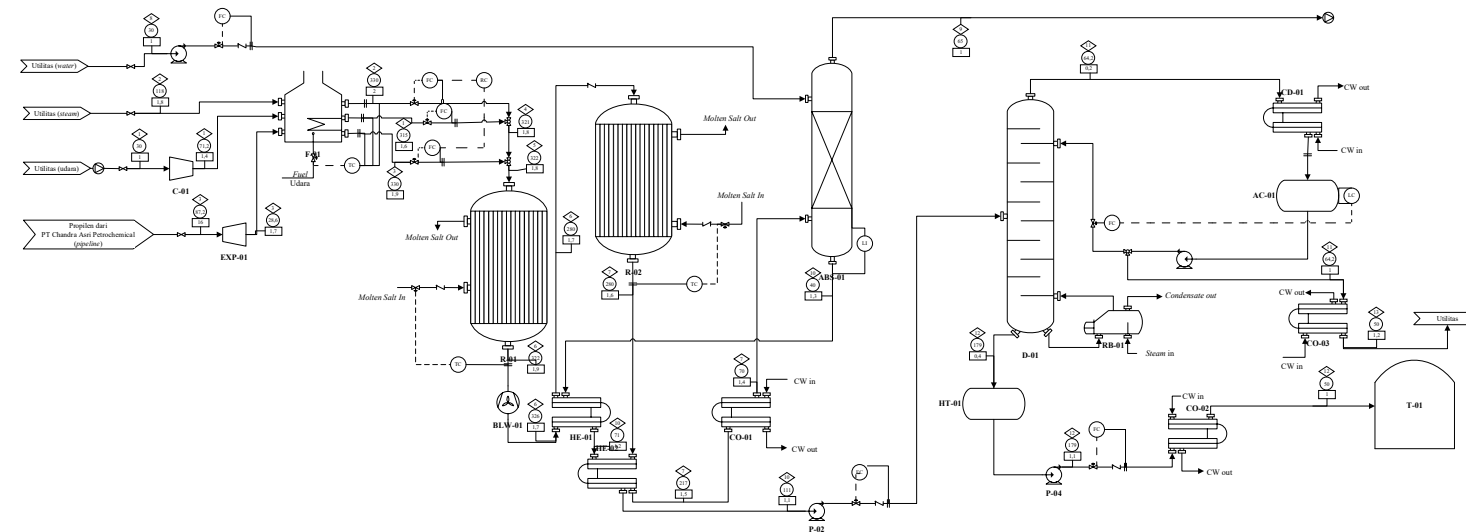
5. Jarak Antar Peralatan Proses

Peralatan yang beroperasi pada kondisi ekstrem, seperti tekanan atau suhu tinggi, harus diberi jarak aman dari peralatan lain untuk mencegah dampak kecelakaan menyebar ke unit lain. Hal ini penting dalam konteks proses asam akrilat yang melibatkan bahan reaktif dan mudah terbakar.

Penempatan peralatan proses produksi asam akrilat seperti reaktor, kolom distilasi, absorber, dan lainnya, secara keseluruhan harus mengikuti prinsip keamanan proses (*Safety Process*) dan efektivitas alur kerja. Tata letak tersebut dapat divisualisasikan dalam gambar atau diagram alir proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.

2.5 Diagram Alir Proses Produksi Asam Akrilat

**DIAGRAM ALIR PROSES PRARANCANGAN PABRIK ASAM AKRILAT
METODE OKSIDASI *PROPHYLENE* KAPASITAS 52.000 TON/TAHUN**



Gambar 2.4 Diagram Alir Proses Produksi Asam Akrilat

	PROGRAM STUDI S-Tr TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG 2025
DIAGRAM ALIR PROSES PRARANCANGAN PABRIK ASAM AKRILAT METODE OKSIDASI <i>PROPHYLENE</i> KAPASITAS 52.000 TON/TAHUN	
Dikerjakan Oleh	Alifa Nur Shabrina (40040121650088)
Dosen Pembimbing	Heny Kusumayanti, S.T., M.T.
KETERANGAN: AC : ACCUMULATOR BLW : BLOWER C : COMPRESSOR CD : CONDENSOR CO : COOLER CW : COOLER WATER D : KOLOM DESTILASI EXP : EXPANDER F : FURNACE FC : FLOW CONTROL HE : HEAT EXCHANGER HT : HEAT TRACING P : POMPA R : REAKTOR FIX BED MULTITUBE RB : REBOILER RC : RATIO CONTROL T : TANGKI PENYIMPANAN TC : TEMPERATURE CONTROL ◊ : ALUR PROSES ○ : SUHU □ : TEKINAN	