

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1. Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1. Spesifikasi Bahan Baku

a Gliserol

Berdasarkan data dari Yaws, (1999), spesifikasi gliserol sebagai berikut :

Fase penyimpanan : Cair

Rumus molekul : $C_3H_8O_3$

Berat molekul : 92,09 g/mol

Titik didih (1 atm) : 290 °C

Titik lebur (1 atm) : 17,09 °C

Kemurnian : 99,8%

b Hidrogen

Berdasarkan data dari Yaws, (1999), spesifikasi gas hidrogen sebagai berikut :

Fase : Gas

Rumus molekul : H_2

Berat molekul : 2 g/mol

Titik didih : -259 °C

Titik leleh : -253 °C

Kemurnian : 100%

2.1.2 Spesifikasi Bahan Pendukung

a Air

Berdasarkan data dari Yaws, (1999), spesifikasi air sebagai berikut :

Fase penyimpanan : Cair

Rumus molekul : H_2O

Berat Molekul : 18 g/mol

Titik didih (1 atm) : 100 °C

Titik lebur (1 atm) : 0 °C

Kemurnian : 100%

b Katalis (Ru/C)

Berdasarkan data dari Singare & Lokhande, (2009), spesifikasi katalis

Reterium Karbon sebagai berikut :

Fase : Butiran/Padatan

Logam aktif (Ru) : 5% dari Acetol

Support (C) : Karbon aktif

Ukuran Partikel : 50-200 μm

Ukuran Pori : 2-50 nm

c Katalis (Asam Sulfat)

Berdasarkan data dari Singare & Lokhande,(2009), spesifikasi katalis H_2SO_4 sebagai berikut :

Fase : Cair

Rumus kimia : H_2SO_4

Berat molekul : 98 g/mol

Titik didih : 337 $^{\circ}\text{C}$

Titik leleh : 10 $^{\circ}\text{C}$

Kemurnian : 95-98 %

d Amberlyst-15

Berdasarkan data dari (Fauziah & Ramadhan, (2020), spesifikasi resin penukar kation asam kuat sebagai berikut :

Fase : Butiran/padatan

Rumus Kimia : $(\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3\text{S})_x$

Titik didih (1 atm) : 516,7 $^{\circ}\text{C}$

Titik nyala : 266,3 $^{\circ}\text{C}$

Kemurnian : Kering, H plus lebih besar dari atau sama dengan 4,7 mmol/g

Kepadatan : 0,75 g/cm³

Luas permukaan : 53 m²/g

Diameter pori : 5×10^{-3} m

Ukuran : 0,7-0,95 mm

Umur Katalis : 3 tahun

e Amberlite IR-400

Berdasarkan data dari (Fauziah & Ramadhan, (2020), spesifikasi resin penukar kation basa kuat sebagai berikut :

Fase : Butir/Padatan

Rumus kimia : $\text{C}_{29}\text{H}_{34}\text{ClN}$

Titik nyala : 345 $^{\circ}\text{C}$

Kepadatan : 640 g/cm³

Luas permukaan : 30-50 m²/g

pH operasional : 0-14

Umur katalis : 5 tahun

2.1.3. Spesifikasi Produk

2.1.3.1. Spesifikasi Produk Utama

a Propilen Glikol

Berdasarkan data dari Ma et al., (2023), spesifikasi propilen glikol sebagai berikut:

Fase : Cair

Rumus kimia : $C_3H_8O_2$

Berat molekul : 76 g/mol

Titik didih : 187,5°C

Kemurnian : 99,5%

2.1.3.2. Spesifikasi Produk Intermediate

a Acetol

Berdasarkan data dari Ma et al., (2023), spesifikasi propilen glikol sebagai berikut:

Fase penyimpanan : Cair

Rumus molekul : $C_3H_6O_2$

Berat Molekul : 74 g/mol

Titik didih (1 atm) : 56,5°C

Titik beku : -94,6°C

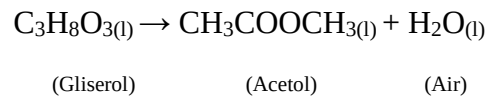
Kemurnian : 95%

2.2. Konsep Dasar

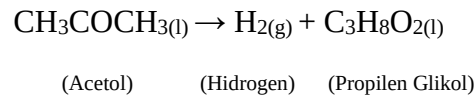
2.2.1. Dasar Reaksi

Proses pembuatan propilen glikol dari gliserol memanfaatkan jalur hidrogenolisis, yang dimulai dari dehidrasi gliserol dalam kondisi asam. Tahap dehidrasi ini bertujuan untuk mengubah gliserol menjadi produk intermediat berupa acetol yang melalui pemecahan molekul air (H_2O) dengan bantuan katalis H_2SO_4 . Selanjutnya, proses hidrogenasi dilakukan untuk menghasilkan propilen glikol melalui penambahan H_2 dengan katalis Ru/C. persamaan reaksi pembentukan propilen glikol sebagai berikut:

(i) Reaksi Dehidrasi

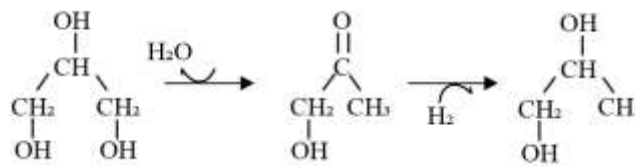


(ii) Reaksi Hidrogenasi



2.2.2. Mekanisme Reaksi

Proses pembuatan propilen glikol melalui hidrogenolisis melibatkan dua tahap yaitu, dehidrasi dan hidrogenasi. Pada tahap dehidrasi, gliserol direaksikan dengan katalis asam sulfat (H_2SO_4) untuk menghasilkan asetol (produk intermediate). Kemudian, asetol mengalami reaksi hidrogenasi dengan gas hidrogen (H_2) untuk membentuk propilen glikol sebagai produk akhir. Berikut reaksi dehidrasi-hidrogenasi propilen glikol pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Reaksi Dehidrasi dan Hidrogenasi Propilen Glikol
(Gatti et al., 2023)

Proses dehidrasi berperan sebagai tahap awal dalam mengubah gliserol menjadi produk antara asetol melalui pelepasan molekul air dengan bantuan katalis H_2SO_4 . Mekanismenya meliputi:

a. Adsorpsi Gliserol

Gliserol terikat pada permukaan katalis H_2SO_4 , memungkinkan atom hidrogen dari asam sulfat berinteraksi dengan atom oksigen pada gugus hidroksil gliserol.

b. Protonasi Gugus Hidroksil

Interaksi ini meningkatkan polarisasi ikatan O-H gliserol, membuatnya lebih mudah terputus.

c. Pembentukan Karbokation

Pasangan elektron bebas pada atom oksigen yang terprotonasi bergeser membentuk ikatan rangkap dengan atom karbon tetangga, menghasilkan struktur karbokation intermediat.

d. Pelepasan Air

Struktur karbokation kemudian melepaskan molekul air (H_2O), meninggalkan senyawa asetol sebagai produk akhir dehidrasi.

Sehingga, pada proses ini menggabungkan reaksi kimia terkatalisis untuk memecah gliserol secara selektif menjadi asetol, yang selanjutnya digunakan dalam tahap hidrogenasi untuk menghasilkan propilen glikol.

Proses hidrogenasi merupakan tahap konversi asetol menjadi propilen glikol melalui penambahan gas hidrogen (H_2) ke ikatan rangkap karbon-oksigen pada asetol. Mekanisme ini difasilitasi oleh katalis ruthenium/karbon (Ru/C), yang berperan dalam memutus ikatan rangkap dan mengikat atom hidrogen ke struktur karbon. Hasil akhir dari reaksi ini adalah propilen glikol sebagai produk utama. Adapun tahapan reaksi hidrogenolisis gliserol pada Tabel 2.1. dan parameter model kinetika reaksi hidrogenolisis gliserol pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Tahapan Reaksi Hidrogenolisis Gliserol

Tahapan	Kinetika	Adsorpsi/Desorpsi
$H_2 + 2(H)_1 \rightleftharpoons 2H(H)_1$	-	bH
$G + (H)_2 \rightleftharpoons G(H)_2$	-	bG
$G(H)_2 \rightarrow A(H)_2 + H_2O$	K_1	-
$2H(H)_1 + A(H)_2 \rightarrow PG(H)_2 + 2(H)_1$	K_2	-
$A(H)_2 \rightleftharpoons A + (H)_2$	-	b_A^{-1}
$PG(H)_2 \rightleftharpoons P + (H)_2$	-	b_{PG}^{-1}

*Keterangan : G = Gliserol, A = Acetol, PG = Propilen Glikol, $(H)_1$ = Situs aktif 1, $(H)_2$ = Situs aktif 2

Tabel 2. 2 Parameter Model Kinetika Reaksi Hidrogenolisis Gliserol

Kinetika	Parameter	
	Faktor Pra-Ekspensial	Energi Aktivasi
	(mol/kg.s)	(kJ/mol)
K_1	$1,54 \times 10^7$	86,56
K_2	$7,16 \times 10^6$	57,8
b_G	2,22	36,42
b_A	8,73	25,94
b_{PG}	5,80	25,77
b_H	$1,86 \times 10^{-5}$ Mpa	36,24

2.2.3. Fase Reaksi

Dalam pembuatan propilen glikol, kami menggunakan reaktor membran dan reaktor *fluidized bed* dengan fase cair. Kemudian proses ini bersifat endotermik yang ditandai dengan nilai perubahan entalpi yang positif ($\Delta H = +$)

2.2.4. Konsisi Operasi

Menurut (US Patent No.5, 2014, 1992) Dalam proses pembuatan propilen glikol dari gliserol dan air, tahap dehidrasi dilakukan pada suhu 270°C dengan tekanan 4,9 atm. Pada kondisi ini, sistem berada dalam fase cair-cair dan reaksi berlangsung secara kontinu menggunakan katalis asam (H_2SO_4). Reaksi dehidrasi bersifat tak dapat balik (irreversible), sedangkan reaksi hidrogenasi bersifat reversible dan dijalankan pada suhu 380°C dengan tekanan 49 atm. Tingkat konversi yang diperoleh mencapai 95,0%.

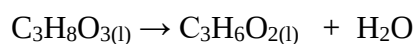
2.2.5. Tinjauan Termodinamika

Sifat reaksi yang bersifat eksoterm atau endoterm dapat diketahui melalui perhitungan panas reaksi standar (ΔH_r). Nilai entalpi pembentukan standar (ΔH°_f) dari masing-masing zat pada suhu 298 K tercantum dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 3 Nilai Entalpi dan Energi Gibbs Komponen (Yaws, 1999)

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔH°_G (kJ/mol)
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	-582,8	-448,49
H_2O	-421,8	-228,6
$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$	-217,57	-153,05
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2$	-421,5	-304,48

I. Reaksi Dehidrasi



$$\Delta H_r^\circ = \sum \Delta H^\circ f \text{ produk} - \Delta H^\circ f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_r^\circ = ((\Delta H^\circ f(C_3H_6O_2) + \Delta H^\circ f(H_2O)) - (\Delta H^\circ f(C_3H_8O_3))$$

$$\Delta H_r^\circ = (-639,37) - (-582,8)$$

$$\Delta H_r^\circ = -56,57 \text{ kJ/mol}$$

II. Reaksi Hidrogenasi



$$\Delta H_r^\circ = \sum \Delta H^\circ f \text{ produk} - \Delta H^\circ f \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_r^\circ = (\Delta H^\circ f(C_3H_8O_2) - (\Delta H^\circ f(H_2O) + (\Delta H^\circ f(C_3H_6O_2)))$$

$$\Delta H_r^\circ = (-421,5) - (-639,37)$$

$$\Delta H_r^\circ = 217,87 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_r^\circ \text{ total} = (-56,67) \text{ kJ/mol} + 217,87 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_r^\circ \text{ total} = 161,3 \text{ kJ/mol}$$

Karena nilai ΔH_r° bernilai positif, reaksi pembentukan propilen glikol termasuk reaksi endotermis. Untuk menentukan arah berlangsungnya reaksi dari sudut pandang termodinamika, digunakan prinsip kesetimbangan kimia. Nilai konstanta kesetimbangan reaksi (K) dapat dihitung menggunakan rumus berikut :

$$\Delta H^\circ G = -R.T. \ln K \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H_f}{RT^2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

$\Delta H^\circ G$ = Energi bebas gibbs standar J/mol

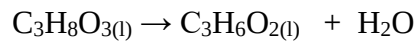
R = Konstanta gas ideal 8,314 J/mol.K

T = Temperatur (K)

$\Delta H^\circ f$ = Konstanta kesetimbangan reaksi

Berdasarkan persamaan (2.2), dapat dijelaskan bahwa ketika nilai ΔH_r° negatif atau reaksi bersifat eksotermis, maka konstanta kesetimbangan reaksi (K) akan menurun seiring dengan kenaikan temperatur. Sebaliknya, jika ΔH_r° bernilai positif atau reaksinya endotermis, maka konstanta kesetimbangan (K) akan meningkat dengan naiknya temperatur. Mengacu pada data ΔG° pada suhu 298 K, besarnya energi bebas Gibbs standar (ΔG°) dapat dihitung :

I. Reaksi Dehidrasi



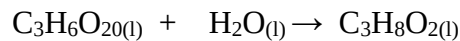
$$\Delta H^\circ G = \sum \Delta H^\circ G \text{ produk} - \Delta H^\circ G \text{ reaktan}$$

$$\Delta H^\circ G = ((\Delta H^\circ G(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2) + \Delta H^\circ G(\text{H}_2\text{O})) - (\Delta H^\circ G(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3))$$

$$\Delta H^\circ G = (-381,65) - (-448,49)$$

$$\Delta H^\circ G = 66,84 \text{ kJ/mol}$$

II. Reaksi Hidrogenasi



$$\Delta H^\circ G = \sum \Delta H^\circ G \text{ produk} - \Delta H^\circ G \text{ reaktan}$$

$$\Delta H^\circ G = (\Delta H^\circ G(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_2) - (\Delta H^\circ G(\text{H}_2\text{O}) + (\Delta H^\circ G(\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2))$$

$$\Delta H^\circ G = (-304,48) - (-381,65)$$

$$\Delta H^\circ G = +77,17$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) dapat ditentukan harga konstanta kesetimbangan reaksi sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ G = -R \cdot T \cdot \ln K^\circ$$

I. Reaksi Dehidrasi

$$\ln K^\circ = \frac{\Delta H^\circ G}{RT}$$

$$\ln K^\circ = \frac{66,84}{2477,572}$$

$$\ln K^\circ = 1,027$$

$$K_{298} = 1,032$$

II. Reaksi Hidrogenasi

$$\ln K^\circ = \frac{\Delta H^\circ G}{RT}$$

$$\ln K^\circ = \frac{77,17}{2477,572}$$

$$\ln K^\circ = 0,0311$$

$$K_{298} = 1,032$$

Sehingga nilai K pada suhu operasi ($543.15\text{K} = 270^\circ\text{C}$) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

I. Reaksi Dehidrasi

$$\ln \frac{K}{K^\circ} = \frac{\Delta H_{298}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^\circ} \right)$$

$$\ln \frac{K}{1,032} = \frac{-56,57}{8,314} \times (0,002 - 0,0034)$$

$$\ln \frac{K}{1,032} = 0,007$$

$$K = 1,010$$

II. Reaksi Hidrogenasi

$$\ln \frac{K}{K^\circ} = \frac{\Delta H_{298}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^\circ} \right)$$

$$\ln \frac{K}{1,032} = \frac{217,87}{8,314} \times (0,002 - 0,0034)$$

$$\ln \frac{K}{1,032} = -0,027$$

$$K = 0,961$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses dehidrasi berlangsung secara ireversibel, artinya reaksi hanya terjadi dalam satu arah dan tidak dapat kembali ke keadaan semula. Sementara itu, proses hidrogenasi berlangsung secara reversible, yaitu reaksi dapat berlangsung ke dua arah baik ke arah pembentukan produk maupun kembali ke reaktan sehingga tercapai suatu keadaan kesetimbangan.

2.2.6. Kinetika Reaksi

Menurut Chan & Seider, (2004), dalam pembentukan propilen glikol terdapat model kinetika reaksi, yaitu:

$$-r_A = \frac{da}{dt}$$

$$-r_A = kCA$$

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$$

Keterangan :

k = Konstanta kecepatan reaksi

A = Faktor per-exponential

r = Konstanta gas ideal

E = Energi aktivasi

T = Temperatur

(I) Reaksi Dehidrasi

Diketahui :

$$A = 1,54 \times 10^7 \text{ mol/kg.s}$$

$$E = 86,56 \text{ kJ/mol}$$

$$r = 1,986 \text{ BTU/lb.mol.R}$$

$$T = 973 \text{ K}$$

Sehingga,

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{rT}\right)$$

$$k = 1,5411 \cdot \exp\left(-\frac{1,986}{973}\right)$$

$$k = 0,9808$$

(II) Reaksi Hidrogenisasi

Diketahui :

$$A = 1,54 \times 10^7 \text{ mol/kg.s}$$

$$E = 86,56 \text{ kJ/mol}$$

$$r = 1,986 \text{ BTU/lb.mol.R}$$

$$T = 973 \text{ K}$$

Sehingga :

$$k = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{rT}\right)$$

$$k = 7,1611 \cdot \exp\left(-\frac{37214,135}{973}\right)$$

$$k = 0,9428$$

2.3. Langkah Proses

Adapun tahapan-tahapan untuk membuat propilen glikol dari gliserol, sebagai berikut:

- Persiapan bahan baku
- Proses pembentukan *acetol*
- Proses pemurnian *acetol*
- Proses pembentukan propilen glikol
- Proses pemurnian propilen glikol

2.3.1. Deskripsi Proses

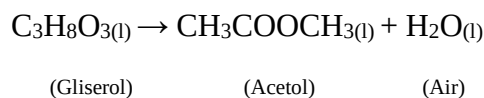
a. Persiapan Bahan Baku

Pada tahap ini, persiapan gliserol dan air dilakukan sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Bahan baku dari tangki gliserol (T-01) dan tangki air (T-02) berada dalam fase cair dengan suhu 30°C dan tekanan 1 atm, kemudian

dipompa menuju mixer (M-01). Di dalam mixer, gliserol dan air dicampur dengan perbandingan 5,3 : 1. Campuran hasil mixer kemudian dipompa (P-04) ke unit penukar ion (ion exchanger) untuk menghilangkan kandungan NaCl yang ada pada gliserol. Setelah keluar dari penukar ion, aliran tersebut dipompa kembali (P-09) agar sesuai dengan kondisi operasi reaktor, yaitu suhu 270°C dan tekanan 4,9 atm. Sebelum masuk ke reaktor, bahan baku dipanaskan terlebih dahulu menggunakan penukar panas (heat exchanger, HE-01). Karena suhu keluaran dari HE-01 masih belum mencapai suhu yang dibutuhkan, diperlukan pemanas tambahan berupa furnace (F-01) untuk mencapai suhu reaksi di dalam reaktor.

b. Proses Pembentukan Acetol

Reaksi dehidrasi gliserol menjadi *acetol* (produk *intermediate*) berlangsung di dalam reaktor membran katalitik. Reaksi yang terjadi adalah:



Reaksi ini melibatkan pelepasan molekul air (H₂O) dari gliserol dengan bantuan katalis asam (H₂SO₄) yang berasal dari tangki (T-03). Pembentukan acetol terjadi secara endotermik, sehingga kondisi operasinya harus dipertahankan dengan menggunakan pemanas berupa furnace. Panas yang dibutuhkan untuk reaksi diperoleh dari aliran acetol yang melewati bagian bawah reaktor membran yang terhubung ke furnace. Suhu acetol dinaikkan hingga 280°C saat melewati furnace. Produk yang keluar dari reaktor masih berupa campuran acetol dan air. Karena tahap hidrogenasi membutuhkan acetol tanpa kandungan air, maka acetol harus dimurnikan terlebih dahulu dari kotoran dan air menggunakan kolom distilasi (D-01).

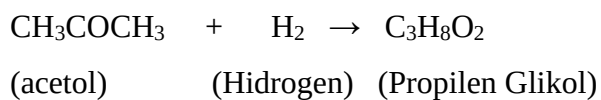
c. Proses Pemurnian Acetol

Produk keluaran dari reaktor membran yang terdiri dari campuran acetol dan air perlu dipisahkan untuk memperoleh acetol murni. Produk tersebut pertama-tama didinginkan menggunakan pendingin (CO-01) hingga mencapai suhu 80°C, kemudian dialirkan ke kolom distilasi (D-01). Di dalam kolom distilasi terjadi kesetimbangan antara fase uap dan cair, di mana acetol berada pada fase uap sedangkan air tetap dalam fase cair. Proses distilasi berlangsung pada tekanan 1 atm dengan suhu di bagian atas kolom sekitar 67°C dan suhu di bagian bawah kolom sekitar 95°C. Acetol dengan suhu sekitar 58°C menguap

ke bagian atas kolom, sementara air dengan suhu 100°C terkumpul sebagai produk bawah kolom. Acetol yang keluar dari bagian atas kemudian dikondensasikan menggunakan finfan (CD-01) menjadi cairan, lalu dialirkan ke akumulator (ACC-01). Dari akumulator, acetol dipompa menuju reaktor hidrogenasi (R-02), sementara sebagian dialirkan kembali sebagai reflux. Air hasil bagian bawah kolom distilasi dipompa ke unit utilitas untuk proses pemurnian lebih lanjut.

d. Proses Pembentukan Propilen Glikol

Proses hidrogenasi acetol untuk menghasilkan propilen glikol berlangsung di dalam reaktor fluidized bed dengan menggunakan katalis Ru/C. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Reaksi hidrogenasi merupakan proses pemutusan ikatan karbon dalam molekul acetol dengan bantuan gas hidrogen (H₂), sehingga menghasilkan propilen glikol. Dalam reaktor hidrogenasi, digunakan katalis heterogen Ru/C yang berperan dalam mempermudah aktivasi hidrogen. Acetol akan teradsorpsi pada permukaan katalis dan membentuk senyawa antara berupa ikatan alkoksi, yang kemudian terurai dan menghasilkan propilen glikol. Proses ini berlangsung dalam fase gas pada suhu 380°C dan tekanan 49 atm. Uap keluaran reaktor yang terdiri dari propilen glikol, acetol, dan gas H₂ dialirkan ke kondensor (CD-02) untuk mengubah fase propilen glikol dan acetol menjadi cair, sehingga dapat dipisahkan dari gas hidrogen. Hasil kondensasi kemudian ditampung di separator (S-01). Gas hidrogen yang tidak bereaksi dialirkan ke kompresor untuk dicampur dengan hidrogen segar dan dikembalikan ke reaktor hidrogenasi (R-02). Sementara itu, propilen glikol dan acetol yang terkondensasi selanjutnya dimurnikan melalui kolom distilasi (D-02).

e. Pemurnian Propilen Glikol

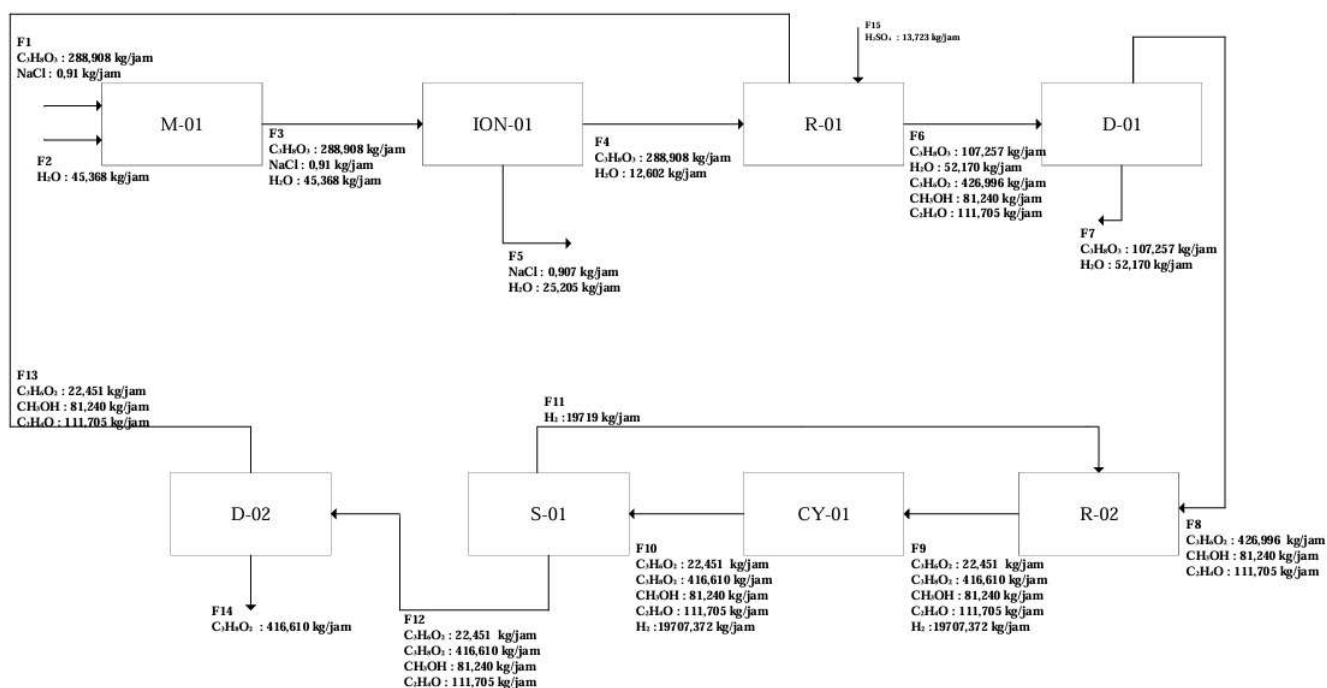
Produk keluaran dari reaktor hidrogenasi selanjutnya dialirkan ke kolom distilasi (D-02) untuk memisahkan propilen glikol dari acetol. Sebelum masuk ke kolom, campuran tersebut terlebih dahulu dipanaskan menggunakan alat penukar panas (HE-03) hingga mencapai suhu 185°C. Di dalam kolom distilasi terjadi kesetimbangan antara fase uap dan cair, di mana acetol menguap dan

propilen glikol tetap dalam bentuk cair. Proses distilasi ini berlangsung pada tekanan 1 atm, dengan suhu bagian atas kolom sekitar 65°C dan bagian bawah sekitar 190°C. Acetol, yang memiliki titik didih 58°C, naik ke bagian atas kolom dan keluar sebagai produk atas, sementara propilen glikol dengan titik didih 188°C keluar sebagai produk bawah.

Uap acetol yang keluar dari bagian atas kolom dikondensasikan menggunakan finfan (CD-03) menjadi cair, kemudian dialirkan ke akumulator (ACC-02), sebagian digunakan sebagai reflux, dan sisanya dikembalikan ke reaktor dehidrasi (R-01) untuk direcovery. Sedangkan propilen glikol dari bagian bawah kolom, dengan kemurnian mencapai 95%, didinginkan menggunakan pendingin (CO-02) sebelum disalurkan ke tangki penyimpanan propilen glikol (T-04).

2.4. Neraca Massa dan Panas

2.4.1. Neraca Massa



Gambar 2. 1 Diagram Alir Neraca Massa

a. Neraca Massa *Mixer* (M-01)

Tabel 2. 4 Neraca Massa *Mixer*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Feed 1	Feed 2	Feed 3
C ₃ H ₈ O ₃	261,308	0,00	288,908
H ₂ O	0,00	45,368	45,368
C ₃ H ₆ O ₂	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₈ O ₂	0,00	0,00	0,00
Total	307,584		307,584

b. Neraca Massa *Ion Exchanger* (ION-01)

Tabel 2. 5 Neraca Massa *Ion Exchanger*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Feed 3	Feed 4	Feed 5
C ₃ H ₈ O ₃	261,308	261,308	0,00
H ₂ O	45,368	12,602	32,766
C ₃ H ₆ O ₂	0,00	0,00	0,00
C ₃ H ₈ O ₂	0,00	0,00	0,00

NaCl	0,907	0,00	0,907
Total	307,584		307,584

c. Neraca Massa Reaktor Dehidrasi (R-01)

Tabel 2. 6 Neraca Massa Reaktor Dehidrasi

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	Feed 3	Feed 15	Feed 13	Feed 6
C ₃ H ₈ O ₃	261,308	0,00	0,00	93,733
H ₂ O	12,602	0,00	0,00	48,390
C ₃ H ₆ O ₂	0,00	0,00	264,328	404,595
C ₃ H ₈ O ₂	0,00	0,00	0,00	0,000
H ₂ SO ₄	0,00	12,412	0,00	0,000
CH ₃ OH	0,00	0,00	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	0,00	0,00	105,237	105,237
Total	732,424		732,424	

d. Neraca Massa Distilasi 1 (D-01)

Tabel 2. 7 Neraca Massa Distilasi 1

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Feed 6	Feed 7 (bottom)	Feed 8 (top)
C ₃ H ₈ O ₃	93,733	93,733	0,000
H ₂ O	48,390	48,390	0,000
C ₃ H ₆ O ₂	404,595	0,000	404,595
C ₃ H ₈ O ₂	0,000	0,000	0,000
H ₂ SO ₄	0,000	0,000	0,000
CH ₃ OH	76,536	0,000	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	0,000	105,237
Total	728,491	728,491	

e. Neraca Massa Reaktor Hidrogenasi (R-02)

Tabel 2. 8 Neraca Massa Reaktor Hidrogenasi

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)
	Feed 8	Feed 11	Feed 9
C ₃ H ₈ O ₃	0,000	0,00	0,000
H ₂ O	0,000	0,00	0,000
C ₃ H ₆ O ₂	404,595	0,00	22,451
C ₃ H ₈ O ₂	0,000	0,00	401,448
H ₂ SO ₄	0,000	0,00	0,000
CH ₃ OH	76,536	0,00	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	0,00	105,237
H ₂	0,000	19726	19707
Total	20313		20313

f. Neraca Massa Cylone (CY-01)

Tabel 2. 9 Neraca Massa Cyclone

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	Feed 9	Feed 10
C ₃ H ₈ O ₃	0,000	0,000
H ₂ O	0,000	0,000
C ₃ H ₆ O ₂	22,451	22,451
C ₃ H ₈ O ₂	401,448	401,448
H ₂ SO ₄	0,000	0,000
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
H ₂	19706,973	19706,973
Total	20312,645	20312,645

g. Neraca Massa Separator (S-01)

Tabel 2. 10 Neraca Massa Separator

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Feed 10	Feed 11 (top)	Feed 12 (bottom)
C ₃ H ₈ O ₃	0,000	0,00	0,000
H ₂ O	0,000	0,00	0,000
C ₃ H ₆ O ₂	22,451	0,00	22,451
C ₃ H ₈ O ₂	401,448	0,00	401,448
H ₂ SO ₄	0,000	0,00	0,000
CH ₃ OH	76,536	0,00	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	0,00	105,237
H ₂	19706,973	19706,973	0,00
Total	20312,645		20312,645

h. Neraca Massa Distilasi (D-02)

Tabel 2. 11 Neraca Massa Distilasi 2

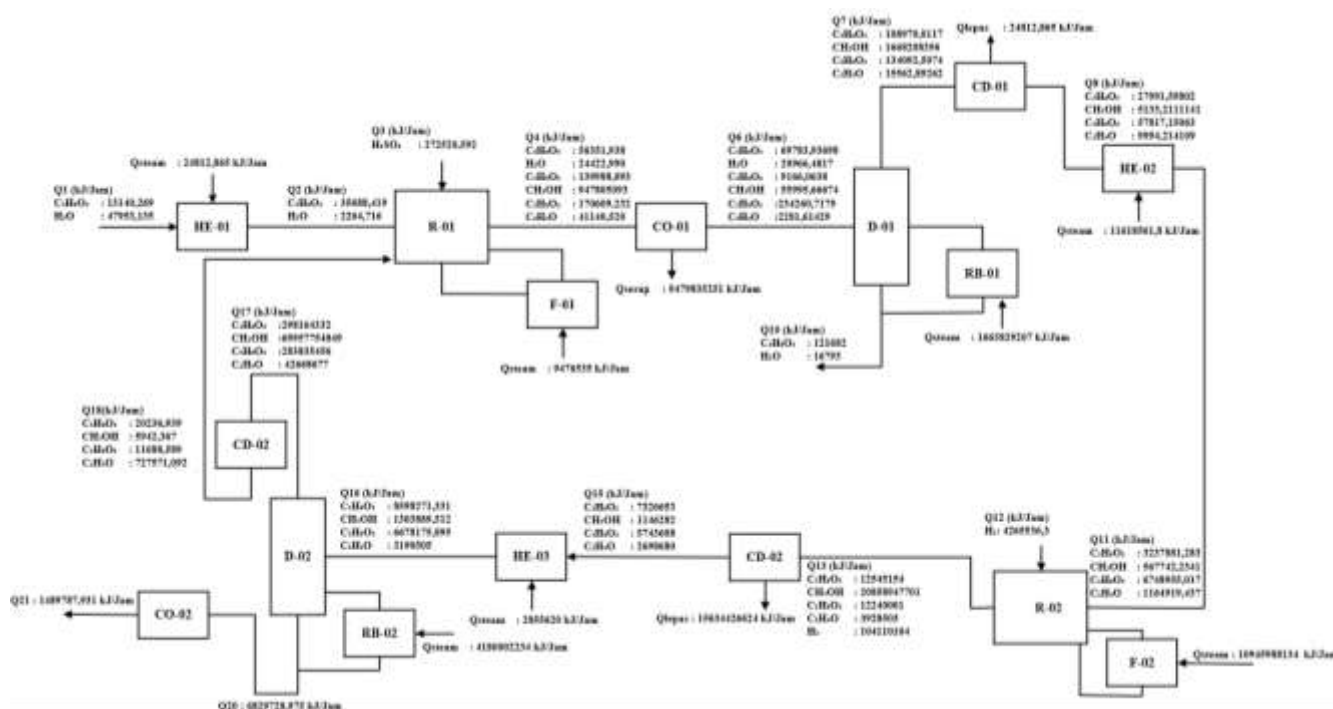
Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Feed 12	Feed 13 (top)	Feed 14 (bottom)
C ₃ H ₈ O ₃	0,000	0,000	0,000
H ₂ O	0,000	0,000	0,000
C ₃ H ₆ O ₂	22,451	22,451	0,000
C ₃ H ₈ O ₂	401,448	0,000	401,448
H ₂ SO ₄	0,000	0,000	0,000
CH ₃ OH	76,536	76,536	0,000
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237	0,000
Total	605,672		605,672

i. Neraca Massa Total

Tabel 2. 12 Neraca Massa Total

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Mixer (M-01)		
C ₃ H ₈ O ₃	261,308	261,308
H ₂ O	45,368	45,368
NaCl	0,907	0,907
Ion Exchanger (ION-01)		
C ₃ H ₈ O ₃	261,308	261,308
H ₂ O	45,368	37,807
NaCl	0,907	0,907
Reaktor (R-01)		
C ₃ H ₈ O ₃	261,308	93,733
H ₂ O	12,602	48,390
C ₃ H ₆ O ₂	264,328	404,595
H ₂ SO ₄	12,412	
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
Menara Distilasi		
C ₃ H ₈ O ₃	93,733	93,733
H ₂ O	48,390	48,390
C ₃ H ₆ O ₂	404,595	404,595
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
Reaktor (R-02)		
C ₃ H ₆ O ₂	404,595	22,451
C ₃ H ₈ O ₃	0,00	401,448
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
H ₂	19726,209	19706,973
Cyclon (CY-01)		
C ₃ H ₆ O ₂	22,451	22,451
C ₃ H ₈ O ₃	401,448	401,448
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
H ₂	19706,973	19706,973
Separator (S-01)		
C ₃ H ₆ O ₂	22,451	22,451
C ₃ H ₈ O ₃	401,448	401,448
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
H ₂	19706,973	19706,973
Menara Distilasi		
C ₃ H ₆ O ₂	22,451	22,451
C ₃ H ₈ O ₃	401,448	401,448
CH ₃ OH	76,536	76,536
C ₂ H ₄ O	105,237	105,237
Total	63620	63620

2.4.2. Neraca Panas



Gambar 2. 2 Diagram Alir Neraca Panas

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

Tabel 2. 13 Neraca Panas *Heat Exchanger* (HE-01)

Komponen	Input (kJ/jam) Q1	Output (kJ/jam) Q2
C ₃ H ₈ O ₃	13140,269	
H ₂ O		37953,135
Qsteam	24812,865	
Total	37953,135	37953,135

b. Neraca Panas Reaktor Dehidrasi (R-01)

Tabel 2. 14 Neraca Panas Reaktor Dehidrasi (R-01)

Komponen	Input (kJ/jam)			Output (kJ/jam)
	Q2	Q3	Q18	Q4
C ₃ H ₈ O ₃	35688,419			56351,938
H ₂ O	2264,716			24422,990
C ₃ H ₆ O ₂			20236,939	139988,093
CH ₃ OH			5942,367	947805093
C ₂ H ₄ O			11688,589	41140,520
H ₂ SO ₄		272520,592		
Qsteam		9479189661		
Total		9480227706		9480227706

c. Neraca Panas *Furnance 1 (F-01)*

Tabel 2. 15 Neraca Panas *Furnace 1 (F-01)*

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q4	Q5
C ₃ H ₈ O ₃	215861	153705,364
H ₂ O	13728	5418,161
C ₃ H ₆ O ₂	150128	69120,458
CH ₃ OH	174510	15371,172
C ₂ H ₄ O	93038	33129,436
H ₂ SO ₄		5475,295
Q _{steam}		9476535
Total	9758755	9758755

d. Neraca Panas *Cooler (C-01)*

Tabel 2. 16 Neraca Panas *Cooler (C-01)*

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q4	Q6
C ₃ H ₈ O ₃	56351,93758	69783,93698
H ₂ O	24422,99033	20966,4817
C ₃ H ₆ O ₂	130088,0928	9166,0638
CH ₃ OH	9479805093	55995,66674
C ₂ H ₄ O	170609,2317	234260,7179
Q _{pendingin}		9479835251
Total	9480227706	9480227706

e. Neraca Panas Kolom Distilasi 1 (D-01)

Tabel 2. 17 Neraca Panas Kolom Distilasi 1 (D-01)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)	
	Q6	Q7	Q10
C ₃ H ₈ O ₃	69783,93698		121682
H ₂ O	20966,4817		16793
C ₃ H ₆ O ₂	9166,0638	108970,0117	
CH ₃ OH	55995,66674	1668208356	
C ₃ H ₈ O ₂	234260,7179	134092,5074	
C ₂ H ₄ O	2281,61429	15562,89262	
Q _{steam}	1663829207		
Q _{loss}			1007212663
Total	1664360137		1664360137

f. Neraca Panas *Heat Exchanger* 2 (HE-02)

Tabel 2. 18 Neraca Panas *Heat Exchanger* 2 (HE-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q8	Q11
C ₃ H ₆ O ₂	27991,59802	3237881,283
CH ₃ OH	5133,211142	567742,2341
C ₃ H ₈ O ₃	57817,15063	6748955,017
C ₂ H ₄ O	9994,214109	1164919,437
Q _{steam}	11618561,8	
Total	11719497,97	11719497,97

g. Neraca Panas Reaktor Hidrogenasi (R-02)

Tabel 2. 19 Neraca Panas Reaktor Hidrogenasi (R-02)

Komponen	Input (kJ/jam)		Output (kJ/jam)
	Q11	Q12	Q13
C ₃ H ₆ O ₂	3237881,283		12545153,63
CH ₃ OH	567742,2341		20858947701
C ₃ H ₈ O ₃	6748955,017		12240001,3
C ₂ H ₄ O	1164919,437		3928502,714
H ₂		4265536,6	104110104,1
Q _{steam}	20975786328,727		
Total	20991771363		20991771463

h. Neraca Panas *Furnace* 2 (F-02)

Tabel 2. 20 Neraca Panas *Furnace* 2 (F-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q13	Q14
C ₃ H ₆ O ₂	3237881,283	8798438
CH ₃ OH	567742,2341	10934283157
C ₃ H ₈ O ₃	6748955,017	11848446
C ₂ H ₄ O	1164919,437	2777591
Q _{steam}	10945988134	
Total	10957707632	10957707632

i. Neraca Panas *Condensor* 2 (CD-02)

Tabel 2. 21 Neraca Panas *Condensor* 2 (CD-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q13	Q15
C ₃ H ₆ O ₂	12545154	7326652,75
CH ₃ OH	20858947701	1146281,51
C ₃ H ₈ O ₂	12240001	5743607,976

C ₂ H ₄ O	3928503	2698679,96
H ₂	104110104	
Q _{Condensor}		15634426624
Total	20887661359	20886360875

j. Neraca Panas *Heat Exchanger* 3 (HE-03)

Tabel 2. 22 Neraca Panas *Heat Exchanger* 3 (HE-03)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q15	Q16
C ₃ H ₆ O ₂	7326653	8598271,331
CH ₃ OH	1146282	1303889,512
C ₃ H ₈ O ₃	5743608	6678175,895
C ₂ H ₄ O	2698680	3190505,105
Q _{steam}	2855620	
Total	19770842	19770842

k. Neraca Panas Kolom Distilasi 2 (D-02)

Tabel 2. 23 Neraca Panas Kolom Distilasi 2 (D-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)	
	Q16	Q20	Q17
C ₃ H ₆ O ₂	8598271,331		830138
CH ₃ OH	1303889,512		442692714
C ₃ H ₈ O ₂		6829728,975	
	6678175,895		809945
C ₂ H ₄ O	3190505,105		270007
Q _{steam}	418002234		
Total	444602805		444602805

l. Neraca Panas *Cooler* 2 (C-02)

Tabel 2. 24 Neraca Panas *Cooler* 2 (C-02)

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
	Q20	Q21
C ₃ H ₈ O ₂	6829728,975	1489787,931
Q _{serap}		5339941
Total	6829728,98	6829728,98

m. Neraca Panas Total

Tabel 2. 25 Neraca Panas Total

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Heat Exchanger (HE-01)		
Q1	13140,2692	
Q2		37953,13513
Q _{steam}	24812,86593	
Reaktor Dehidrasi (R-01)		
Q2	37953,13513	
Q3	272520,592	
Q18	727571,092	
Q4		9480227706
Q _{steam}	9479189661	
Furnace 1 (F-01)		
Q4	9758754,943	
Q5		282219,887
Q _{serap}		9476535,055
Cooler (CO-01)		
Q4	9480227706	
Q6		392454,4814
Q _{serap}		9479835251
Distilasi 1 (D-01)		
Q7	392454,4814	
Q8		657147473,8
Q10	138475,2666	
Q _{steam}	1663829207	
Q _{loss}		1007212663
Heat Exchanger 2 (HE-02)		
Q8	100936,1739	
Q11		11719497,97
Q _{steam}	11618561,8	
Reaktor Hidrogenasi (R-02)		
Q11	11719497,97	
Q12	4265536,600	

Komponen	Input (kJ/jam)	Output (kJ/jam)
Q13		20991771463
Q _{steam}	20975786329	
Furnace 2 (F-020)		
Q13	11719497,97	
Q14		10957707632
Q _{steam}	10945988134	
Condensor 2 (CD-02)		
Q13	20887661359	
Q15		5251934250
Q _{condensor}		15634426624
Heat Exchanger 3 (HE-03)		
Q15	16915222	
Q16		19770842
Q _{steam}	2855620	
Distilasi 2 (D-02)		
Q16	19770842	
Q17		444602805
Q20	6829728,975	
Q _{steam}	418002234	
Cooler 2 (CO-02)		
Q20	6829728,975	
Q21		1489788
Q _{serap}		5339941
Total	73954675484	73954675384

Q Loss = 73954675384 kJ

$$\% \text{ Heat Loss} = \frac{73954675484}{73954675384} \times 100\%$$

$$= 1 \%$$

$$\% \text{ Efisiensi Panas} = 100 - 1$$

$$= 99\%$$

2.5. Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.5.1. *Layout* Pabrik

Setelah membuat proses flow diagram selesai dibuat, perencanaan layout pabrik dan penempatan peralatan harus dilakukan terlebih dahulu sebelum memulai desain pemipaan, struktur, dan instalasi listrik. Tata letak pabrik memiliki peran penting dalam memastikan efisiensi, keselamatan, serta kelancaran aktivitas para pekerja dan keamanan proses produksi. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam penyusunan layout pabrik yaitu:

- a. Tanah yang tersedia
- b. Pengembangan pabrik di masa mendatang
- c. Distribusi bahan baku, bahan jadi, air, dan listrik
- d. Keadaan lingkungan, cuaca, dan sosial.
- e. Keamanan pada bahaya kebakaran, peledakan, dan gas beracun.

Menurut Vilbrand & Dryden, (1959) *layout* pabrik menjadi beberapa bagian utama yaitu:

- a. Pos Keamanan

Pos keamanan ditempatkan di depan pintu masuk dan keluar untuk mengawasi yang masuk keluar dari kawasan pabrik maupun mengawasi arus logistik atau bahan baku masuk dan pengiriman produk sekaligus menjadi salah satu penjaga keamanan utama pabrik.

- b. Area Administrasi/perkantoran, Laboratorium, dan *Control Room*

Area administrasi berfungsi sebagai pusat pengelolaan administrasi pabrik dan memastikan kelancaran operasional. Sementara itu, laboratorium dan *control room* berperan sebagai pusat pengawasan proses produksi, mutu bahan baku yang digunakan, serta kualitas produk yang akan dipasarkan.

- c. Area Proses

Area proses sebagai penempatan alat-alat proses dan juga area berlangsungnya proses reaksi berlangsung.

- d. Area Penyimpanan

Area penyimpanan sebagai penyimpanan produk dan bahan baku

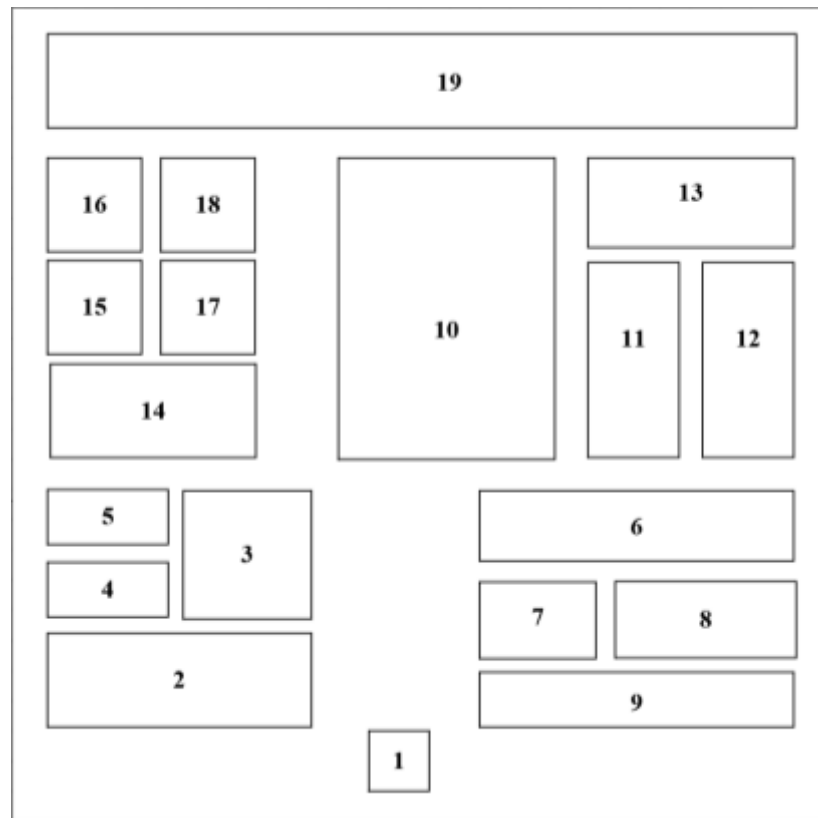
- e. Area Peralatan dan *maintenance*

Area ini sebagai perawatan alat-alat proses dan penyimpanan bahan – bahan yang diperlukan oleh pabrik

- f. Area Utilitas, Pengelolaan limbah dan *Power station*

Area yang menyediakan bahan pendukung seperti pengelolaan air untuk berlangsungnya proses. Pengelolaan limbah digunakan untuk mengelolah sisa limbah proses produksi agar ramah lingkungan, dan juga power station digunakan untuk memastikan listrik tetap stabil dan terjaga untuk mendukung proses produksi.

Berikut merupakan *lay out* pada pabrik bisa dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 3 *Lay Out* Pabrik
Tabel 2. 26 Keterangan *Lay Out* Pabrik

Kode	Keterangan
1	Pos Keamanan
2	Area Parkir
3	Ruang Ibadah
4	Perpustakaan
5	Kantin
6	Kantor
7	HSSE
8	Poliklinik
9	Taman
10	Unit Proses

Kode	Keterangan
11	Unit Pengelolaan Limbah
12	Power Station
13	Utilitas
14	Unit Penyimpanan
15	Laboratorium
16	Control Room
17	Unit Peralatan
18	Unit Maintaince
19	Area Perluasan

2.5.2. *Layout Peralatan Proses*

Pada perancangan *layout* peralatan proses ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

a. Aliran bahan baku

Aliran bahan baku dan produk yang terorganisir dengan baik akan memberikan manfaat ekonomi yang signifikan serta mendukung kelancaran dan keselamatan proses produksi. Penting untuk memperhatikan ketinggian pipa dari permukaan tanah, yang sebaiknya dipasang minimal pada elevasi 3 meter. Sementara itu, pemipaan yang berada di permukaan tanah harus diatur sedemikian rupa agar tidak menghambat pergerakan para pekerja.

b. Aliran udara

Kelancaran sirkulasi udara di dalam dan sekitar area proses harus diperhatikan dengan seksama. Tujuannya adalah untuk memudahkan pergantian udara di suatu lokasi, sehingga mencegah penumpukan bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan kerja.

c. Cahaya

Seluruh area pabrik harus memiliki pencahayaan yang cukup, terutama di lokasi proses yang berbahaya atau memiliki risiko tinggi, yang memerlukan penerangan yang optimal.

d. Lalu lintas pekerja/manusia

Dalam merancang tata letak peralatan, penting untuk memastikan bahwa pekerja dapat mengakses semua alat proses dengan cepat dan mudah.

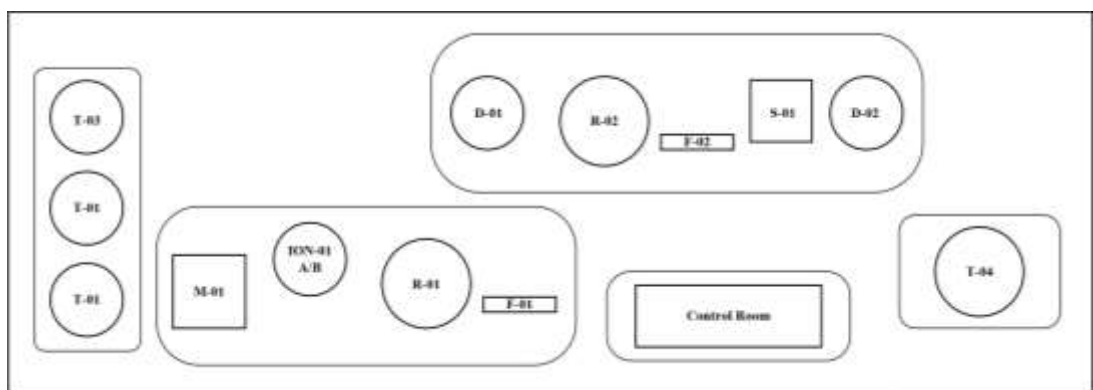
e. Pertimbangan ekonomi

Penempatan peralatan proses di pabrik harus dirancang sedemikian rupa untuk mengurangi biaya operasional sekaligus memastikan kelancaran dan keselamatan produksi, sehingga memberikan keuntungan secara ekonomis.

f. Jarak antar alat proses

Peralatan proses yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi sebaiknya ditempatkan terpisah dari peralatan lainnya. Hal ini bertujuan untuk mengurangi risiko kerusakan jika terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut.

Berikut merupakan *lay out* peralatan proses pada pabrik bisa dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 4 Lay Out Peralatan Proses pada Pabrik
Tabel 2. 27 Keterangan *Lay Out* Peralatan Proses pada Pabrik

Kode	Keterangan
T-01	Tangki penyimpanan gliserol
T-02	Tangki penyimpanan air
T-03	Tangki penyimpanan asam sulfat
T-04	Tangki penyimpanan air
M-01	Mixer
ION-01 A/B	Ion Exchanger
R-01	Reaktor Dehidrasi
F-01	Furnace 1
D-01	Kolom Destilasi 1
R-02	Reaktor Hidrogenasi
F-02	Furnace 2
S-01	Separator
D-02	Kolom Destilasi 2