

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku utama pembuatan ethylbenzene adalah etilena (C_2H_4) dan Benzena (C_6H_6). Berikut merupakan spesifikasi dari bahan baku pembuatan ethylbenzene.

1.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

1. Etilena (C_2H_4)

Sifat Fisis Etilena (C_2H_4)

Menurut Mubarak *et al.* (2020), berikut ini merupakan sifat fisis etilena:

Wujud	: Gas
Warna	: Tidak Berwarna
Bau	: Khas etilena
Titik didih ($^{\circ}C$)	: -103,77
Densitas (kg/m^3)	: 0,214 pada 1 atm
Kemurnian	: Minimal 99,5% berat

Sifat Kimia Etilena (C_2H_4)

Menurut Othmer (1978), berikut ini merupakan sifat kimia etilena:

a. Polimerisasi

Etilena akan bergabung dengan etilena yang lain sehingga dapat terbentuk molekul yang lebih besar.

b. Oksidasi

Etilena dapat teroksidasi menjadi beraneka ragam produk bergantung pada reagensia yang dipakai karena etilena termasuk gugus alkena. Seperti reaksi oksidasi etilena menjadi gugus epoksi dengan menggunakan oksigen sebagai berikut :



c. Alkilasi

Reaksi alkilasi akan efektif apabila digunakan untuk mereaksikan etilena dengan benzena menggunakan katalis $AlCl_3$.

2. Benzena (C_6H_6)

Sifat Fisis Benzena (C_6H_6)

Menurut PT. Pertamina (2025), berikut ini merupakan sifat fisis benzena:

Wujud	: Cairan
Warna	: Tidak Berwana
Bau	: Khas benzena
Titik didih (°C)	: 80,1
Densitas (kg/m ³)	: 873,7 pada 1 atm
Kemurnian	: Minimal 99,8% berat
Sifat Kimia Benzena (C ₆ H ₆)	

Menurut Othmer (1978), berikut ini merupakan sifat kimia benzena:

a. Oksidasi

Reaksi oksidasi pada benzene akan terjadi pada fase gas dan berubah menjadi fenol dengan suhu antara 450-800°C tanpa menggunakan katalis.

b. Alkilasi

Reaksi ini akan mereaksikan benzena dengan propilen pada fase cair ataupun gas menggunakan katalis anhydrous aluminium chloride atau solid phosphoric acid.

c. Reaksi Substitusi

Pada reaksi ini benzena akan dapat digantikan oleh atom lain seperti halogen. Contohnya terjadi pada saat konversi klorobenzena menjadi fenol menggunakan bantuan NaOH pada suhu 400°C.

2.1.2 Spesifikasi Katalis

Menurut Reato *et al.* (2023), spesifikasi katalis MCM-41 sebagai berikut:

Nama	: MCM-41
Wujud	: Padat
Warna	: Putih
Bentuk	: Kolom
Volume pori	: 2-10 nm
Densitas partikel	: 0,89 kg/l

2.1.3 Spesifikasi Produk

Ethylbenzene (C₆H₅C₂H₅)

Menurut Perry *et al.* (1997), sifat fisis dan kimia ethylbenzene adalah:

Sifat Fisis Ethylbenzene (C₆H₅C₂H₅)

Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna

Kemurnian : Minimal 99,85% berat
Impuritas : - Toluena maksimal 0,1 % berat
- Dietilbenzena maksimal 0,05% berat

Sifat Kimia Ethylbenzene ($C_6H_5C_2H_5$)

Pada pembuatan ethylbenzene reaksi yang terjadi adalah reaksi dehidrogenasi untuk menghasilkan styrene. Reaksi ini akan terjadi pada temperatur 550-680° C dengan katalis Fe_2O_3 .

2.1.4 Spesifikasi Produk Sampling

1. Dietilbenzena ($C_{10}H_{14}$)

Sifat Fisis Dietilbenzena

Wujud : Cair
Warna : Tidak berwarna
Rumus molekul : ($C_{10}H_{14}$)
Berat molekul (g/mol) : 134,22
Titik leleh pada 1 atm, °C : -31,2
Titik didih pada 1 atm, °C : 184
Densitas pada 20°C, kg/m³ : 0,88
Tekanan uap pada 25°C, mmhg : 1,05

Sifat Kimia Dietilbenzena

Reaksi yang terjadi adalah reaksi etilasi, reaksi ini terbagi dua menjadi reaksi etilasi primer dan reaksi etilasi sekunder. Pada reaksi etilasi primer akan menggunakan bahan baku benzene yang bereaksi dengan etanol sehingga menghasilkan ethylbenzene dan air. Pada reaksi etilasi sekunder ethylbenzene akan bereaksi dengan etanol dan menghasilkan 2-dietilbenzena, 1,3-dietilbenzena, 1,4-dietilbenzena, dan air.

2. Trietilbenzena ($C_{12}H_{18}$)

Wujud : Cair
Warna : Tidak berwarna
Rumus molekul : ($C_{12}H_{18}$)
Berat molekul (g/mol) : 162,27
Titik leleh pada 1 atm, °C : -66,5
Titik didih pada 1 atm, °C : 215
Densitas pada 20°C, kg/m³ : 0,862
Tekanan uap pada 25°C, mmhg : Tidak dapat terlarut

Sifat Kimia Trietilbenzena

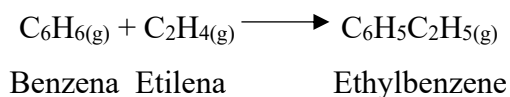
Trietilbenzena dapat dibuat dengan reaksi alkilasi Friedel-Crafts, yaitu reaksi antara benzena dengan etilbromide menggunakan katalis AlCl_3 .

2.2 Konsep Proses

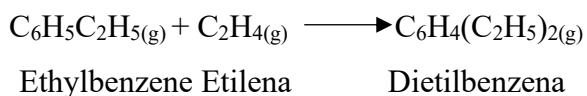
2.2.1 Konsep dan Mekanisme Reaksi

Pada pembentukan ethylbenzene akan terjadi reaksi alkilasi antara etilena dan benzena. Di perancangan pabrik pembuatan ethylbenzene proses yang digunakan adalah Mobil/Bedger dan akan bereaksi pada fase gas dengan katalis MCM-41. Hasil dari reaksi tersebut akan membentuk produk samping berupa dietilbenzena, namun dietilbenzena akan dapat dipisahkan di menara distilasi. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

- Primary Reactor (Reaksi Alkilasi)



Dan akan membentuk reaksi samping:



2.2.2 Kondisi Operasi

Reaksi yang terjadi di perancangan pabrik pembuatan ethylbenzene adalah reaksi alkilasi dalam reaktor fixed bed yang terpisah. Pembuatan ethylbenzene ini akan dipengaruhi oleh perbandingan mol benzena dengan etilen, temperature, tekanan, dan jenis katalis yang akan digunakan.

Reaksi alkilasi akan terjadi pada temperature 375-425°C dengan tekanan 15 atm menggunakan katalis MCM-41 pada reaktor fixed bed multibed secara adiabatik non-isothermal.

2.2.3 Tinjauan Termodinamika

Reaksi yang terjadi antara etilen dengan benzena merupakan reaksi alkilasi sehingga menghasilkan ethylbenzene. Sifat dari produksi ethylbenzene dapat diketahui dengan cara menghitung harga panas menggunakan persamaan termodinamika reaksi pada suhu 25°C.

Tabel 2. 1 Harga Panas Reaksi pada Suhu 25°C (Yaws, 1999)

Etilena	Benzena	Ethylbenzene
---------	---------	--------------

Hf (kJ/mol.K)	52,510	82,930	29,920
Gr (kJ/mol.K)	68,460	129,665	130,890

$$\begin{aligned}
\Delta H^{\circ}f &= \Delta H^{\circ}f \text{ Produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan} \\
&= \Delta H^{\circ}f \text{ Ethylbenzene} - (\Delta H^{\circ}f \text{ Etilen} + \Delta H^{\circ}f \text{ Benzena}) \\
&= 29,920 - (52,510 + 82,930) \\
&= -105,52 \text{ kJ/mol} = -105.520 \text{ J/mol}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas harga dari $\Delta H^{\circ}f$ bernilai negatif yang berarti reaksi tersebut merupakan reaksi eksotermis (membebaskan energi). Reaksi ini juga berarti bahwa suhu reaktor akan mengalami kenaikan panas secara terus menerus, sehingga perlu dilakukan proses pendinginan untuk menjaga agar suhu pada reaktor berada pada kondisi operasi yang telah ditetapkan.

$$\begin{aligned}
\Delta G^{\circ}f &= \Delta G^{\circ}f \text{ Produk} - \Delta G^{\circ}f \text{ reaktan} \\
&= \Delta G^{\circ}f \text{ Ethylbenzene} - (\Delta G^{\circ}f \text{ Etilen} + \Delta G^{\circ}f \text{ Benzena}) \\
&= 130,890 - (68,460 + 129,665) \\
&= -67,235 \text{ kJ/mol} = -67.235 \text{ J/mol}
\end{aligned}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol.K}$$

Untuk menghitung konstanta keseimbangan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
K_{25^{\circ}\text{C}} &= \exp\left(\frac{-\Delta G^{\circ}f}{RT}\right) \\
K_{25^{\circ}\text{C}} &= \exp\left(\frac{-(-67.235)}{8,314 \times 298,15}\right) \\
K_{25^{\circ}\text{C}} &= 6.021 \times 10^{11}
\end{aligned}$$

Konstanta kesetimbangan pada suhu 25°C adalah 6.021×10^{11} . Untuk menghitung konstanta kesetimbangan pada suhu 375°C dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
\ln \frac{K_{375^{\circ}\text{C}}}{K_{25^{\circ}\text{C}}} &= \frac{\Delta H^{\circ}f}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \\
&= \frac{-105.520}{8,314} \left[\frac{1}{648,15} - \frac{1}{298,15} \right] \\
&= 22,987
\end{aligned}$$

$$\frac{K_{375^{\circ}\text{C}}}{K_{25^{\circ}\text{C}}} = 9,619 \times 10^9$$

$$K_{375^{\circ}\text{C}} = 6.021 \times 10^{11} \times 1.039 \times 10^{11} \\ = 5,791 \times 10^{21}$$

Konstanta kesetimbangan pada suhu 375°C adalah $5,791 \times 10^{21}$. Nilai konstanta kesetimbangan yang lebih dari satu menunjukkan bahwa reaksi akan berlangsung secara irreversible atau searah.

2.2.4 Tinjauan Kinetika

Untuk mengetahui pengaruh dari perubahan suhu terhadap kecepatan reaksi dapat menggunakan persamaan arhenius. Dengan rumus menurut Levenspiel (1999), sebagai berikut:

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

Dengan,

K = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor frekuensi tumbukan

E_a = energi aktivasi

R = Konstanta gas ideal

T = Suhu reaksi

Dengan menggunakan persamaan arhenius dapat diketahui harga A, E_a , dan R adalah tetap, sehingga harga k hanya akan dipengaruhi oleh suhu. Apabila suhu mengalami kenaikan maka kecepatan reaksi akan berlangsung semakin cepat sehingga pembentukan ethylbenzene akan semakin cepat. Berdasarkan studi literatur, harga k alkilasi pada berbagai suhu adalah sebagai berikut:

$$K_1 = 52,41 \times \frac{\exp\left(\frac{-53148}{RT}\right) L}{mol} \cdot \det$$

$$= 52,41 \times \frac{\exp\left(\frac{-53148}{8.314 \frac{J}{mol \cdot K} \times (370 + 273.15) K}\right) L}{mol} \cdot \det \text{ Reaksi 1}$$

$$K_1 = 2,03 \times 10^{-3}$$

$$K_2 = 2,667 \times \frac{\exp\left(\frac{-73491}{RT}\right) L}{mol} \cdot \det$$

$$= 2,667 \times \frac{\exp\left(\frac{-73491}{8.314 \frac{J}{mol \cdot K} \times (370 + 273.15)K}\right) L}{mol} \cdot \det \text{Reaksi 2}$$

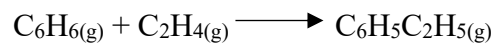
$$K2 = 2,11 \times 10^{-6}$$

$$K3 = 44,32 \times \frac{\exp\left(\frac{-50132}{RT}\right) L}{mol} \cdot \det$$

$$= 44,32 \times \frac{\exp\left(\frac{-50132}{8.314 \frac{J}{mol \cdot K} \times (370 + 273.15)K}\right) L}{mol} \cdot \det \text{Reaksi 3}$$

$$K3 = 3,05 \times 10^{-3}$$

Setelah itu dilakukan penghitungan harga koefisien stoikiometri reaksi dengan reaksi sebagai berikut :



Benzena Etilena

Ethylbenzene

$$V_{reaksi} = v_{Ethylbenzene} - (v_{Etilen} + v_{Benzena})$$

$$= 1 - (1+1)$$

$$= -1$$

Berdasarkan perhitungan nilai koefisien stoikiometri bernilai negatif yang berarti kenaikan tekanan pada temperature yang konstan akan menyebabkan reaksi bergeser ke arah produk. Hal ini juga menyebabkan bahwa produk yang akan dihasilkan akan semakin banyak seiring dengan bertambahnya tekanan.

2.3 Langkah Proses

Langkah proses pembuatan ethylbenzene dilakukan melalui beberapa tahapan proses sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Pada proses pembuatan ethylbenzene bahan baku yang digunakan adalah etilena dan benzena. Benzena dengan fase cair akan ditampung terlebih dahulu di dalam tangki silinder dengan atap kerucut (TP-01) pada suhu 30°C dengan tekanan 1 atm. Benzena akan dipompakan oleh pompa sentrifugal (P-01) menuju mixing valve (MV-01) untuk dicampurkan dengan larutan recycle benzene MD-01 kemudian larutan tersebut akan menuju ke vaporizer (VP-01) yang bertujuan untuk mengubah fasenya dari cair menjadi uap.

Untuk bahan baku etilena akan dialirkan langsung dari PT. Chandra Asri Pacific menggunakan pipa dalam fase gas dengan temperature 30°C dan tekanan 1 atm. Gas etilena ini akan bercampur dengan uap benzena di valve pencampuran (MV-02) yang akan dikompresi pada kompresor (C-01) yang bertujuan untuk menaikkan tekanannya menjadi 15 atm. Setelah itu hasil campuran ini akan dipanaskan dalam furnace (F-01) dengan suhu mencapai 375°C. Kemudian campuran akan dimasukkan kedalam reaktor (R-01).

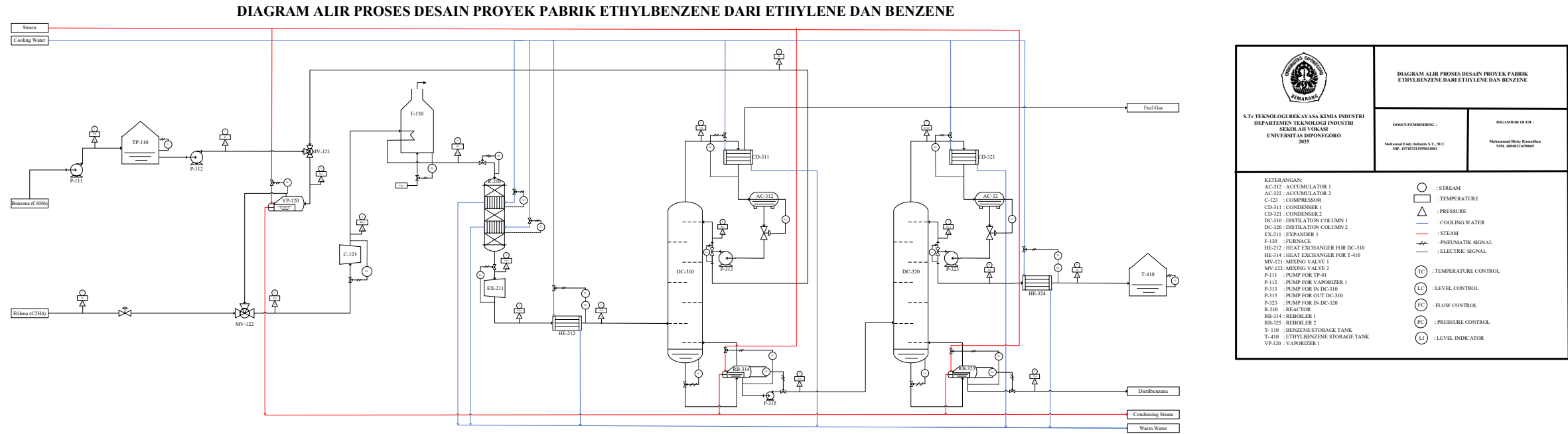
2. Tahap Reaksi

Reaksi alkilasi pada pembuatan ethylbenzene akan terjadi di reaktor alkilasi (R-01). Benzena dan etilena yang telah bercampur akan diumpankan menuju bagian dasar reaktor secara kontinyu. Pada reaktor tersebut akan terjadi reaksi antara benzena dan etilena sehingga membentuk ethylbenzene sebagai produk utama dan dietilbenzena sebagai produk samping. Reaktor tersebut akan beroperasi secara adiabatik non-isothermal pada suhu antara 375-425°C dengan tekanan 15 atm. Reaktor yang dipakai pada tahap ini adalah jenis fixed bed multibed yang terdiri dari 3 bed dengan reaksi yang berlangsung secara eksotermis yang menyebabkan bed harus dipasang pendingin sehingga akan menurunkan suhu keluar tiap bed sesuai dengan suhu yang telah ditetapkan.

3. Tahap Pemurnian Produk

Pada tahapan ini akan memisahkan ethylbenzene dari campuran gas lain, sehingga akan diperoleh produk ethylbenzene dengan kemurnian diatas 99,8%. Produk hasil reaktor alkilasi (R-01) yang tekanannya telah diturunkan menjadi 1 atm akan diturunkan suhunya menggunakan *heat exchanger* pendingin (HE-101) dan akan dialirkan menuju menara distilasi. Umpan akan masuk kedalam menara distilasi 1 (MD-01) pada suhu 118°C dan tekanan 1 atm. Hasil atas menara distilasi 1 akan berupa benzene, pentana dan gas inert lainnya, hasil benzena dari MD-01 akan digunakan kembali sebagai umpan benzene recycle sedangkan hasil gas inert lainnya akan digunakan sebagai *fuel gas*. Untuk hasil bawahnya akan diumpankan menuju menara distilasi 2 (MD-02). Pada menara distilasi 2 (MD-02) umpan akan masuk pada suhu 162°C dan tekanan 1 atm. Hasil keluaran atas menara distilasi tersebut adalah produk ethylbenzene yang akan diturunkan suhunya menggunakan *heat exchanger*. Sedangkan hasil keluaran bawahnya berupa dietilbenzena dan trietilbenzena sebagai produk samping. Produk ethylbenzene akan disimpan di tangki penyimpanan (TP-02) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm.

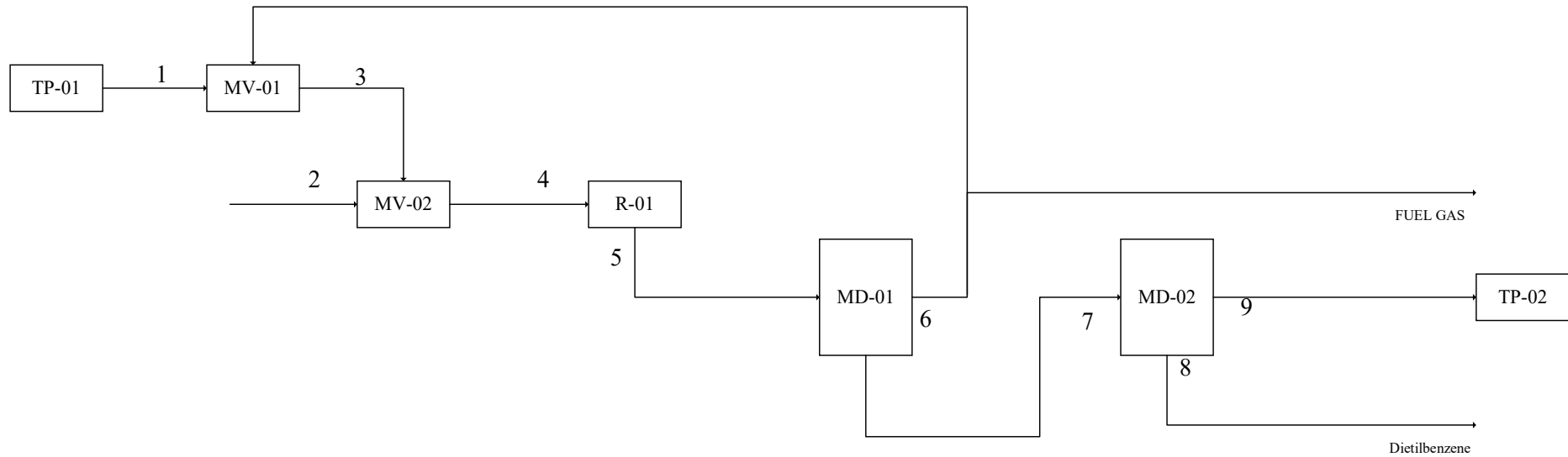
2.4 Diagram Alir (Flowsheet)



Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pra-Rancangan Pabrik Ethylbenzene

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa



KETERANGAN :

MD-01 : Kolom Distilasi Gas Inert & Benzene
MD-02 : Kolom Distilasi Ethylbenzene
MV-01 : Mixing Valve 1
MV-02 : Mixing Valve 2

R-01 : Reaktor
TP-01 : Tangki Penyimpanan Benzene
TP-02 : Tangki Penyimpanan Ethylbenzene

Gambar 2. 2 Diagram Alir Neraca Massa Pra-Rancangan Pabrik Ethylbenzene

Basis	= 1 jam operasi
Satuan	= kg/jam
Kapasitas	= 81.000 ton/tahun 10.227,3 kg/jam
Rasio bahan baku	= Etilen dan Benzena (1:5)
Konversi total	= 99,5%
Selektivitas	= 82,5 % (Reaksi 1) 17,5 % (Reaksi 2)

Berikut merupakan neraca massa pabrik ethylbenzene dengan kapasitas 100.000 ton/tahun.

1. Mixing Valve-01 (MV-01)

Tabel 2. 2 Neraca Massa Mixing Valve-01 (MV-01)

Komponen	Input		Output
	Arus 1 (kg/Jam)	Arus 6 (kg/Jam)	Arus 3 (kg/Jam)
Metana	-	-	-
Etilena	-	-	-
Etana	-	-	-
Pentana	296,819	-	296,819
Benzena	197.483,368	52.899,687	250.383,055
Toluena	98,940	7.053,292	7.152,231
Ethylbenzene	-	-	-
Dietilbenzena	-	-	-
Jumlah	197.879,127	59.952,978	257.832,105
Total	257.832,105		257.832,105

2. Mixing Valve-02 (MV-02)

Tabel 2. 3 Neraca Massa Mixing Valve-02 (MV-02)

Komponen	Input		Output
	Arus 2 (kg/Jam)	Arus 3 (kg/Jam)	Arus 4 (kg/Jam)
Metana	232,178	232,178	464,356
Etilena	77.005,761	77.005,761	154.011,523
Etana	154,785	154,785	309,571

Pentana	-	296,819	296,819
Benzena	-	197.483,368	197.483,368
Toluena	-	98,940	98,940
Ethylbenzene	-	-	-
Dietilbenzena	-	-	-
Jumlah	77.392,725	275.271,85	352.664,58
Total		352.664,58	352.664,58

3. Reaktor-01 (R-01)

Tabel 2. 4 Neraca Massa Reaktor-01 (R-01)

Komponen	INPUT	OUTPUT
	Arus 4 (kg/Jam)	Arus 5 (kg/Jam)
Metana	464,356	7.053,292
Etilena	154.011,523	35.266,458
Etana	309,571	3.526,646
Pentana	296,819	14.106,583
Benzena	197.483,368	52.899,687
Toluena	98,940	7.053,292
Ethylbenzene	-	204.545,455
Dietilbenzena	-	21.159,875
Trietilbenzena	-	7.053,292
Jumlah	352.664,577	352.664,577

4. Menara Distilasi-01 (MD-01)

Tabel 2.5 Menara Distilasi-01 (MD-01)

Tabel 2. 5 Menara Distilasi-01 (MD-01)

Komponen	Input	Output	
	Arus 5 (kg/Jam)	Arus 7 (kg/Jam)	Arus 6 kg/Jam
Metana	7.053,292	-	7.053,292
Etilena	35.266,458	-	35.266,458
Etana	3.526,646	-	3.526,646
Pentana	14.106,583	-	14.106,583
Benzena	52.899,687	-	52.899,687
Toluena	7.053,292	-	7.053,292
Ethylbenzene	204.545,455	204.545,45	-
Dietilbenzena	21.159,875	21.159,87	-
Trietilbenzena	7.053,292	7.053,29	-
Jumlah	352.664,577	232.758,62	119.905,956

Total	352.664,577	352.664,577
-------	-------------	-------------

5. Menara Distilasi-02 (MD-02)

Tabel 2. 6 Menara Distilasi-02 (MD-02)

Komponen	Input	Output	
	Arus 7 (kg/jam)	Arus 9 (kg/jam)	Arus 8 kg/jam
Ethylbenzene	204.545,455	194.318,18	10.227,273
Dietilbenzena	21.159,875	42,32	21.117,555
Trietilbenzena	7.053,292	14,11	7.039,185
Jumlah	232.758,621	194.374,61	38.384,013
Total	232.758,621	232.758,621	

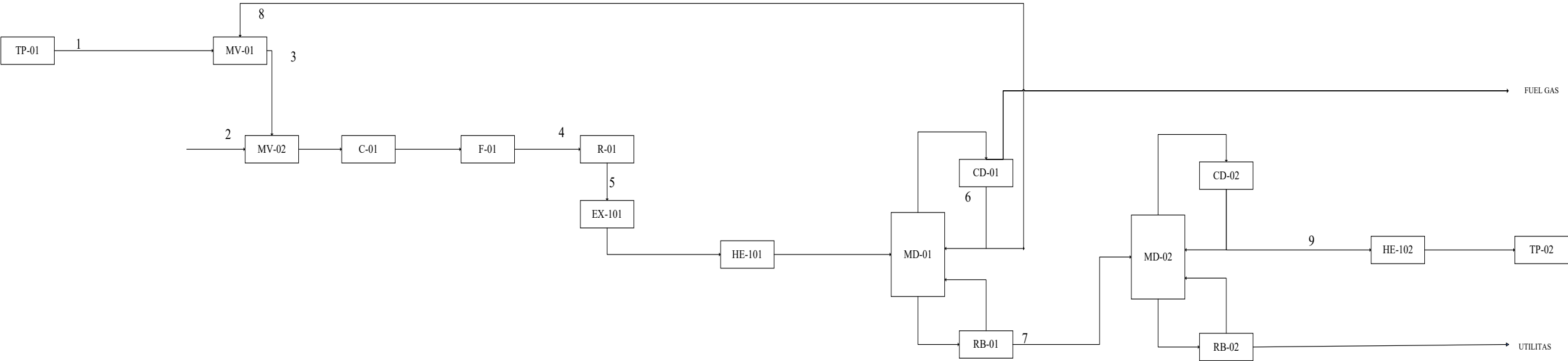
6. Neraca Massa Overall

Tabel 2. 7 Neraca Massa Overall

Komponen	Input	Output
Mixing Valve 1 (MV-01)	257.832,10	257.832,10
Reaktor 1 (R-01)	352.664,577	352.664,577
Mixing Valve 2 (MV-02)	352.664,577	352.664,577
Menara Distilasi 1 (MD-01)	352.664,577	352.664,577
Menara Distilasi 2 (MD-02)	232.758,621	232.758,621
Jumlah	1.548.584,456	1.548.584,456

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Jumlah produk yang dihasilkan}}{\text{Jumlah bahan baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{194.318,2 \text{ kg/h}}{275.271,9 \text{ kg/h}} \times 100\% \\
 &= 0,71 \% \\
 \text{Total Efisiensi Produk} &= 100\% - 0,71\% \\
 &= 99,29\%
 \end{aligned}$$

2.5.2 Neraca Panas



- KETERANGAN :
- | | | | |
|--------|---------------------------------------|-------|-----------------------------------|
| C-01 | : Compresor | MV-01 | : Mixing Valve 1 |
| CD-01 | : Kondensor For MD-01 | MV-02 | : Mixing Valve 2 |
| CD-02 | : Kondensor For MD-02 | R-01 | : Reaktor |
| EX-101 | : Expander 1 | RB-01 | : Reboiler For MD-01 |
| HE-101 | : Heat Exchanger For MD-01 | RB-02 | : Reboiler For MD-02 |
| HE-102 | : Heat Exchanger For TP-02 | TP-01 | : Tangki Penyimpanan Benzene |
| MD-01 | : Kolom Distilasi Gas Inert & Benzene | TP-02 | : Tangki Penyimpanan Ethylbenzene |
| MD-02 | : Kolom Distilasi Ethylbenzene | | |

Gambar 2. 3 Diagram Alir Neraca Panas Pra-Rancangan Pabrik Ethylbenzene dari Ethylene dan Benzene

Basis = 1 jam operasi

Satuan = kJ/jam

1. Vaporizer (VP-01)

Tabel 2. 8 Neraca Panas Vaporizer (VP-01)

Komponen	Input	Output
Pentana	4,164	0,094
Benzene	2.069,913	77,712
Toluene	0,996	0,038
steam	-	1.997,229
Total	2.075,073	2.075,073

2. Mixing Valve 1 (MV-01)

Tabel 2. 9 Neraca Panas Mixing Valve 1 (MV-01)

Komponen	Input		Output
	Q1	Q2	Q3
Methane		28.686,672	29.505,760
Ethylene		6.694.716,041	6.889.004,697
Ethane		15.351,895	15.800,444
Pentana	29.839,389		29.400,763
Benzene	12.985.766,531		12.790.751,886
Toluene	6.896,503		6.793,487
EB			
DEB			
Jumlah	13.022.502,423	6.738.754,608	19.761.257,037
Total	19.761.257,037		19.761.257,037

3. Kompresor (C-01)

Tabel 2. 10 Neraca Panas Kompresor (C-01)

Komponen	Input	Output
Methane	29.505,760	36.194,703
Ethylene	6.889.004,697	8.985.874,971
Ethane	15.800,444	21.065,890
Pentana	29.400,763	39.897,174
Benzene	12.790.751,886	18.544.462,853
Toluene	6.793,487	9.689,505
EB	-	-

Q in	27.637.185,097	-
Q out	-	19.761.257,037
Total	47.398.442,134	47.398.442,134

4. Furnace (F-01)

Tabel 2. 11 Neraca Panas Furnace (F-01)

PANAS	INPUT	OUTPUT
feed	155.227.750,797	229.319.705,260
Q bahan bakar	74.091.954,463	
Jumlah	229.319.705,260	229.319.705,260

5. Reaktor (R-01)

Tabel 2. 12 Neraca Panas Primary Reaktor (R-01) Antara Bed I dan Bed II

Komponen	Input	Output
Methane	23.691,515	23.582,994
Ethylene	5.869.856,181	5.842.155,498
Ethane	13.751,697	13.686,078
Pentana	12.949,795	12.888,356
Benzena	5.985.787,515	5.956.831,801
Toluena	3.131,922	3.116,840
EB	-	-
DEB	-	-
Cooling Water	-	56.907,058
Total	11.909.168,625	11.909.168,625

Tabel 2. 13 Neraca Panas Antara Bed II dan Bed III

Komponen	Input	Output
Methane	5.797.302,803	5.745.710,527
Ethylene	37.864.910,475	37.517.784,163
Ethane	4.732.150,473	4.688.286,552
Pentana	44.605.197,296	44.194.116,158
Benzena	125.816.853,266	124.634.704,231
Toluena	20.666.457,554	20.473.144,190
EB	725.465.653,118	718.710.375,223
DEB	102.246.240,795	101.307.432,907
TEB	41.991.224,578	41.604.627,964
Cooling Water		10.309.808,443
Total	1.109.185.990,356	1.109.185.990,356

6. Mixing Valve 2 (MV-02)

Tabel 2. 14 Neraca Panas Mixing Valve 2 (MV-02)

Komponen	Input		Output
	Q2	Q3	Q4
Methane	136,280	1.547,047	2.379,698
Ethylene	31.304,086	361.289,909	553.574,673
Ethane	71,279	828,727	1.267,685
Pentana	-	1.542,232	1.177,296
Benzena	-	671.162,129	509.567,754
Toluena	-	356,442	270,994
EB	-	-	-
DEB	-	-	-
Jumlah	31.511,644	1.036.726,487	1.068.238,100
Total	1.068.238,100		1.068.238,100

7. Heat Exchanger 1 (HE-101)

Tabel 2. 15 Neraca Panas Heat Exchanger 1 (HE-01)

Komponen	Input	Output
Methane	4.917.262,498	1.625.230,639
Ethylene	31.713.835,885	10.039.139,608
Ethane	3.945.337,096	1.229.753,269
Pentana	37.157.665,596	11.463.391,121
Benzena	103.674.116,864	30.556.959,850
Toluena	17.073.899,131	5.089.704,971
EB	600.492.359,371	180.231.027,310
DEB	85.246.401,353	26.333.303,755
TEB	34.893.835,429	10.600.210,431
Cooling water		641.945.992,269
Total	919.114.713,223	919.114.713,223

8. Menara Distilasi 1 (MD-01)

Tabel 2. 16 Neraca Panas Menara Distilasi 1 (MD-01)

Komponen	Input			Output	
	Qf	Qreb	Qc	Qd	Qw
Methane	390.774,602	-	-	390.774,602	-
Ethylene	1.362.093,658	-	-	1.362.093,658	-
Ethane	154.764,690	-	-	154.764,690	-
Pentana	597.686,121	-	-	597.686,121	-
Benzene	1.445.199,868	-	-	1.445.199,868	-

Toluene	205.002,652	-	-	205.002,652	-
EB	-	-	-	-	1.371.856,159
DEB	-	-	-	-	156.643,314
TEB	-	-	-	-	48.203,569
jumlah	4.155.521,590	32.397.417,267	30.820.714,226	4.155.521,590	1.576.703,041
Total	36.552.939		36.552.939		

9. Menara Distilasi 2 (MD-02)

Tabel 2. 17 Neraca Panas Menara Distilasi 2 (MD-02)

komponen	input			output	
	Qf	Qreb	Qc	Qd	Qw
Benzene	-	-	-	-	-
Toluene	-	-	-	-	-
EB	2.941.578,344	-	-	124.956,803	2.970.043,873
DEB	334.384,169	-	-	-	710,033
TEB	103.282,294	-	-	-	-
jumlah	3.379.244,807	1.297.180,217	384.727,240	124.956,803	2.970.753,906
Q Serap					1.195.987,075
Total	4.676.425,024		4.676.425,024		

10. Heat Exchanger 2 (HE-102)

Tabel 2. 18 Neraca Panas Heat Exchanger 2 (HE-102)

komponen	in (kJ/Jam)	out (kJ/Jam)
Toluene	-	-
EB	42.104.661,695	6.946.021,696
DEB	10.165,957	1.733,603
TEB	3.400,961	566,743
chilled water		35.169.906,571
total	42.118.228,612	42.118.228,612

12. Ekspander (EX-101)

Tabel 2. 19 Neraca Panas Ekspander (EX-101)

komponen	in (kJ/Jam)	out (kJ/Jam)
arus 5	12.789.290,160	10.104.682,970
Qloss		2.684.607,191
Total	12.789.290,160	12.789.290,160

13. Neraca Panas Overall

Tabel 2. 20 Neraca Panas Overall

Komponen	Input	Output
VP-01	2.075,1	2.075,1
MV-01	19.761.257,0	19.761.257,0
C-01	47.398.442,1	47.398.442,1
MV-02	1.068.238,1	1.068.238,1
R-01	1.121.095.159,0	1.121.095.159,0
HE-101	919.114.713,2	919.114.713,2
MD-01	36.552.938,9	36.552.938,9
MD-02	4.676.425,0	4.676.425,0
HE-102	42.118.228,6	42.118.228,6
F-01	229.319.705,3	229.319.705,3
EX-101	12.789.290,160	12.789.290,160
Total	2.433.896.472,5	2.433.896.472,5

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_{\text{output}} - Q_{\text{loss}}}{Q_{\text{input}}} \times 100\%$$

$$= 0,72\%$$

$$\text{Efisiensi Panas} = 100\% - 0,72\%$$

$$= 99,28\%$$

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Layout Pabrik

Layout pabrik merupakan tata letak yang dirancang pada pabrik dengan mempertimbangkan penempatan alat-alat pabrik, tempat kerja karyawan, tempat produksi, laboratorium sebagai keamanan, keselamatan, dan kenyamanan bagi karyawan. Hal yang perlu diperhatikan dalam penyusunan *layout* pabrik adalah:

1. Harga tanah disekitar pabrik yang direncanakan akan dibeli untuk pembangunan perluasan pabrik.
2. Keberadaan lahan kosong untuk perluasan area pabrik.
3. Kemudahan dalam menjangkau bahan-bahan, meliputi bahan baku dan bahan pendukung.
4. Keadaan lingkungan, cuaca, dan sosial.
5. Keamanan terhadap bahaya kebakaran, ledakan, dan kebocoran gas beracun pada lingkungan.

6. Letak alat produksi yang pas sehingga dapat memberikan kelancaran dan keamanan bagi karyawan.

Untuk lebih detail, berikut beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam hal pengaturan tata letak pabrik, sebagai berikut:

1. Pos keamanan

Pos keamanan diposisikan dekat dengan gerbang keluar dan masuk sehingga dapat mengawasi langsung pihak-pihak yang keluar masuk kawasan pabrik, mengawasi arus logistik, mengawasi pengiriman bahan baku dan pendukung serta produk, selain itu bertujuan untuk menjaga keamanan utama pabrik.

2. Area parkir tamu dan karyawan

Area parkir diusahakan ditempatkan di dekat pos keamanan sehingga dapat menghindari keadaan jenis apapun menghindari pabrik untuk menghindari tindakan pencurian di area pabrik. Sehingga para tamu dan karyawan yang berada dikawasan pabrik berkendara menggunakan sepeda yang telah disediakan oleh pabrik.

3. Kantor administrasi dan aula

Fasilitas ini perlu ditempatkan pada bagian tengah depan sehingga tamu yang datang tidak perlu melewati area produksi.

4. Fasilitas karyawan

Fasilitas karyawan seperti masjid, kantin, dan poliklinik diletakkan di depan agar jauh dari area produksi untuk menghindari kontaminasi senyawa yang berbahaya pada makanan.

5. Unit pengolahan limbah

Unit ini diletakkan dibagian pabrik yang dekat sungai atau tempat pembuangan untuk memperpendek pipa yang diperlukan dalam memanfaatkan air dari sungai dan pipa pembuangan limbah air.

6. Area *warehouse* penyimpanan bahan dan produk

Area ini ditempatkan di dekat wilayah produksi atau laut sehingga dapat memudahkan proses pendistribusian.

7. Area *unloading* bahan

Area ini ditempatkan di dekat area jalan yang mudah dijangkau *truck* pengirim di dalam kawasan pabrik.

8. Area *control room*, laboratorium, dan unit K3

Area ini ditempatkan di dekat area proses sehingga dapat dengan mudah untuk mengawasi keberjalanan proses di unit proses.

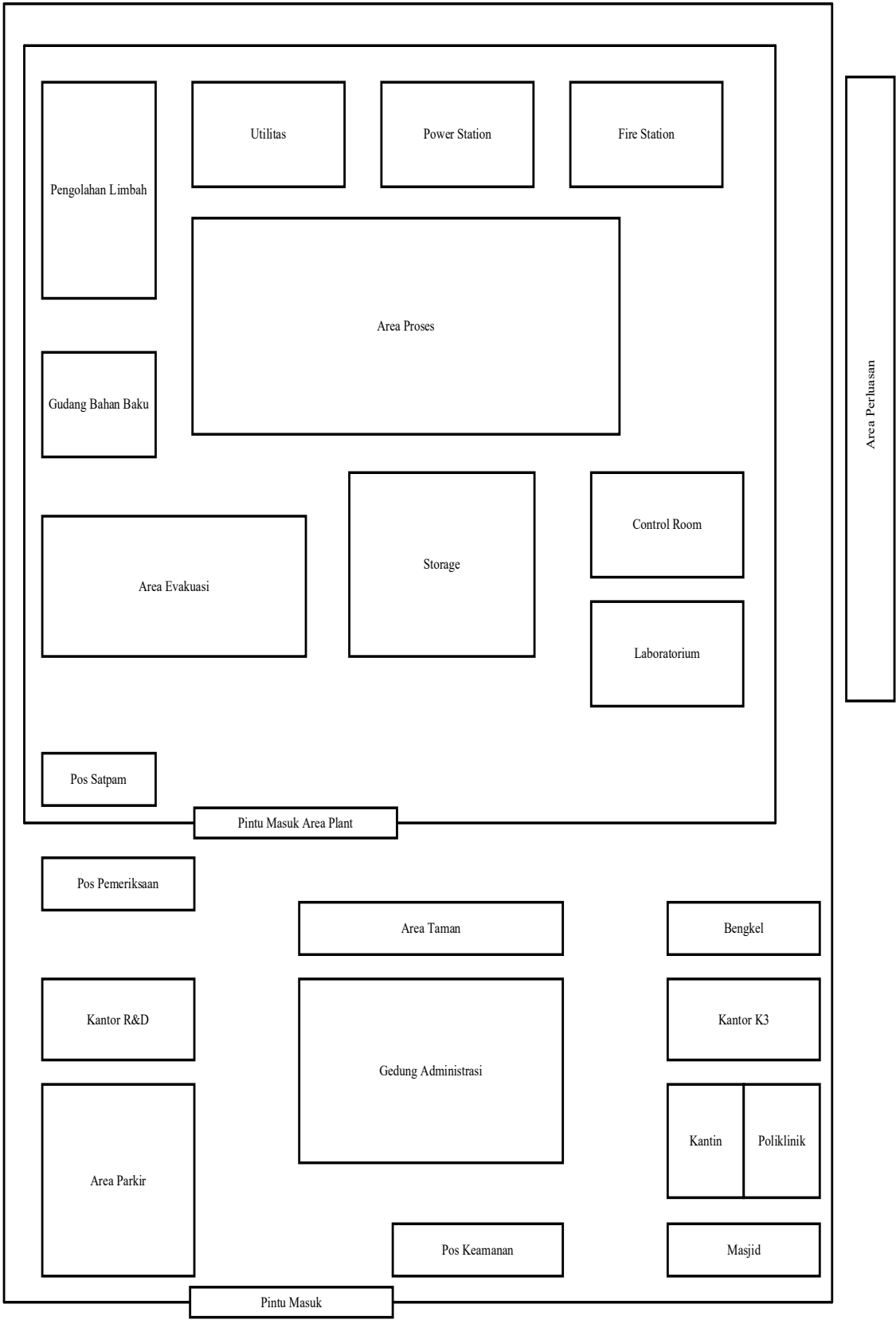
9. *Plant* proses

Area ini ditempatkan jauh dari pintu masuk dan berada di dekat area perluasan untuk isolasi proses sehingga jauh dari jangkauan tamu karena memiliki risiko tinggi karena terdapat kontaminan berbahaya.

10. Area penyimpanan

Area ini ditempatkan di dekat pintu masuk namun jauh dari jangkauan tamu dan pihak luar perusahaan untuk menghindari pencurian produk dan bahan.

Berikut ini merupakan layout pabrik beserta keterangannya, sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Layout Pabrik

2.6.2 Layout Peralatan Proses

Untuk menyusun tata letak alat pada area proses pabrik ethylbenzene diperlukan untuk mempertimbangkan beberapa faktor, sebagai berikut:

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Penataan peralatan produksi harus mempertimbangkan aliran dari bahan baku dan produk, selain itu, perlu juga mempertimbangkan spesifikasi, karakteristik, dan sifat bahan yang terlibat. Sehingga dapat menambah efisiensi, efektivitas, keamanan produksi, dan juga dapat memberikan keuntungan secara ekonomi. Oleh karena itu, agar tidak mengganggu lalu lintas pekerja penempatan aliran bahan baku perlu ditempatkan di bawah permukaan tanah atau di ketinggian 3 m diatas permukaan tanah.

2. Efisiensi Lahan (Ekonomi)

Penempatan peralatan proses harus berorientasi terhadap aspek ekonomi sehingga dapat memastikan kelancaran dan keamanan selama proses produksi pabrik dengan menggunakan biaya minimal. Beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan yaitu:

1. Keselamatan dan keamanan pekerja harus terpenuhi.
2. Memastikan proses produksi berjalan dengan biaya minimal.
3. Melakukan efisiensi dan efektivitas lahan sehingga tidak terjadi pemborosan tempat.
4. Penggunaan biaya bahan dan proses seminimal mungkin sehingga dapat meminimalisir kebutuhan pengeluaran modal yang tidak diperlukan.

3. Jarak Antar Alat

Pengaturan jarak antar alat harus diatur sesuai dengan karakteristik dari proses dan bahan yang bereaksi didalamnya. Penataan letak alat dengan suhu dan tekanan operasi yang tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya, sehingga dapat meminimalisir bahaya dari ledakan, kebakaran, atau gejala abnormal yang dapat membahayakan peralatan lainnya.

4. Mobilisasi Tenaga Kerja

Untuk memudahkan gerak pekerja apabila terdapat masalah pada suatu alat dan gejala abnormal yang terjadi pada salah satu alat maka pada saat penataan alat perlu dipertimbangkan aspek kemudahan mobilitas tenaga kerja. Sehingga kelancaran proses menjadi lebih terjamin.

5. Penempatan Alat Proses

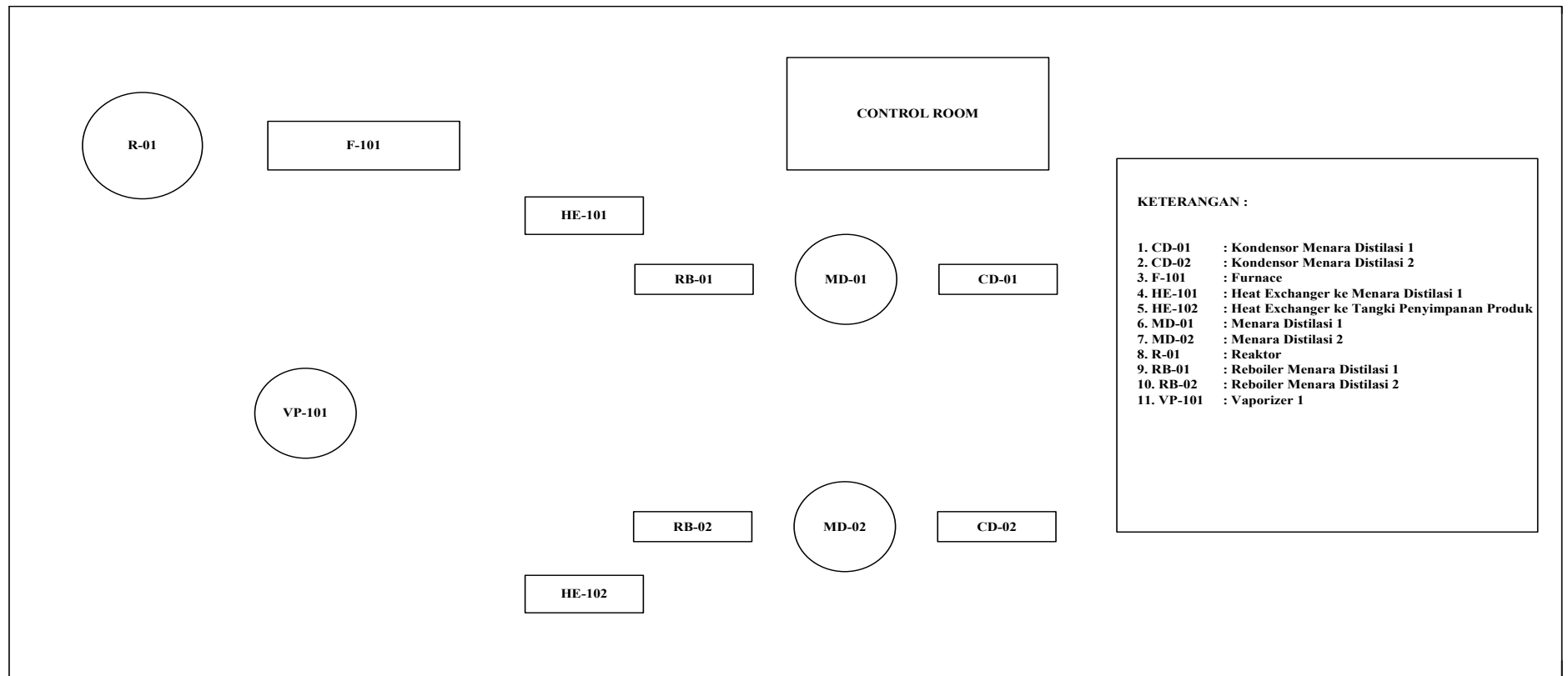
Pada saat penempatan alat proses dilakukan perlu mempertimbangkan efisiensi lahan, penekanan biaya operasi, serta keamanan dan kelancaran proses produksi pabrik yang dapat memberikan keuntungan dalam aspek ekonomi.

6. Aliran Udara

Aliran udara yang berada dalam pabrik perlu diperhatikan sehingga dapat menghindari terjadinya stagnansi udara pada suatu titik yang mengakibatkan terakumulasinya bahan kimia pada suatu tempat dan membahayakan keselamatan para pekerja.

7. Pencahayaan

Pada kawasan pabrik pencahayaan yang digunakan harus memadai dan pada tempat-tempat yang memiliki risiko bahaya tinggi perlu diberikan pencahayaan tambahan, sehingga dapat menghindari hal-hal yang tidak diinginkan.



Gambar 2. 5 Layout Peralatan Proses