

BAB II DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

1. Etilena (C₂H₄)

Menurut PT. Chandra Asri Petrochemical, (2020), spesifikasi dari etilena yaitu sebagai berikut:

Wujud : Gas

Warna : Tidak berwarna

Bau : Khas etilena

Titik didih (°C) : -103,77

Densitas (kg/m³) : 0,214 pada 1 atm

Kemurnian : Minimal 99,5% berat

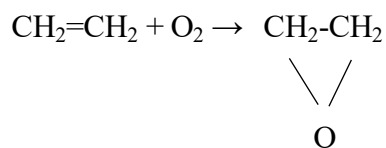
Impuritas : Maksimal 0,5% berat

Sifat Kimia Etilena

Berikut merupakan sifat kimia dari etilena menurut Steyermark, (1984), yaitu sebagai berikut:

a. Oksidasi

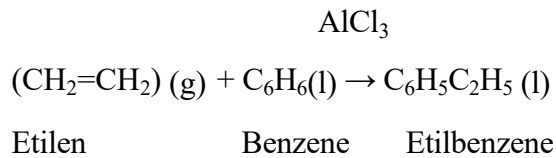
Etilena ialah bagian dari gugus alkena yang mana gugus ini dapat dioksidasi menjadi beranekaragam produk tergantung pada reagensia yang digunakan. Salah satu contohnya adalah reaksi oksidasi etilena menjadi suatu gugus epoksi menggunakan oksigen. Reaksi:



Etilen Oksigen Etilen oksida

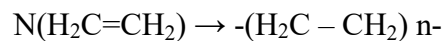
b. Alkilasi

Reaksi alkilasi oleh *Friedel Craft* sangat efektif untuk mereaksikan etilen dengan benzene menggunakan katalis AlCl_3 .



c. Polimerisasi

Etilena dapat bergabung dengan etilena yang lain membentuk molekul yang lebih besar (polimer) dengan cara ikatan rangkapnya. Reaksi :



Sifat Fisika Etilena (C_2H_4)

Rumus molekul	: C_2H_4
Berat molekul	: 28,053
Titik leleh pada 1 atm, °C	: -169,15
Titik didih pada 1 atm, °C	: -103,9
Densitas pada 25°C, kg/m ³	: 0,214
Tekanan kritis, MPa	: 5,041
Temperatur kritis, °C	: 9,2
Volume kritis, m ³ /l	: 0,131
Spesific gravity pada -102°C	: 0,57

2. Benzena (C_6H_6)

Berikut merupakan spesifikasi benzena dari PT.Chandra Asri Petrochemical, (2020), yaitu sebagai berikut:

Wujud	: Cairan
Warna	: Tidak berwarna

Bau	: Khas benzena
Titik didih (°C)	: 80,1
Densitas (kg/m ³)	: 873,7 pada 1 atm
Kemurnian	: Minimal 99,8% berat
Impuritas	: Maksimal 0,2% berat

Sifat Fisika Etilena (C₆H₆)

Rumus molekul	: C ₆ H ₆
Berat molekul	: 78,11
Titik leleh pada 1 atm, °C	: 5,533
Titik didih pada 1 atm, °C	: 80,100
Densitas pada 25°C, kg/m ³	: 0,214
Tekanan kritis, MPa	: 4.924,45
Temperatur kritis, °C	: 289,45
Volume kritis, m ³ /kmol	: 0,256
Spesific gravity pada 20°C	: 0,879
Flash point, °C	: -11,1
Kelarutan dalam air pada 25°C, g/100g air	: 0,18

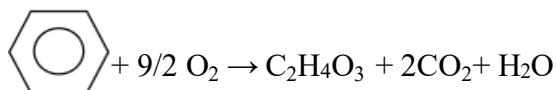
Sifat Kimia Benzena (C₆H₆)

Ada tiga tipe reaksi benzene yang terpenting yaitu:

a) Oksidasi

Reaksi yang paling penting adalah oksidasi katalitik benzena menjadi *maleic anhidrid*. Reaksi oksidasi benzena pada fase gas menjadi fenol pada suhu 450-800 °C tanpa adanya katalis. Reaksi:

T: 450°C – 800°C



Benene Oksigen Maleic Anhidrid Karbon Dioksida Air

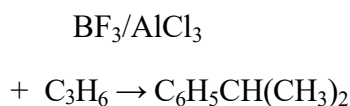
b) Alkilasi

Alkilbenzena, seperti etilbenzena dan cumene (i-metiletil-benzena) diproduksi secara komersial dengan mereaksikan benzena dengan propilen pada fase cair atau gas dengan menggunakan katalis *anhydrous aluminium chloride* atau *solid phosphoric acid*. Beberapa reaksi alkulasi benzena yang dijumpai dalam industri kimia diantaranya :

1. Reaksi alkilasi benzena dengan propilena membentuk *cumene* baik pada fase gas maupun cair dengan menggunakan katalis BF_3 ataupun AlCl_3 .



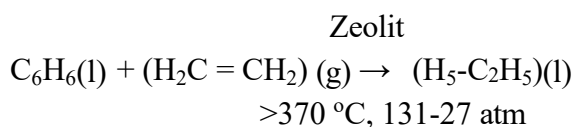
Benzena



Propilena Cumene

2. Reaksi alkilasi benzena dengan etilena membentuk etilbenzena yang berlangsung pada suhu 370°C dengan adanya katalis zeolite.

Reaksi



Benzena Etilena

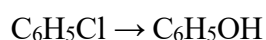
Etilbenzena

c) Reaksi substitusi

Pada kondisi yang memungkinkan, satu atau lebih atom hidrogen pada benzena dapat digantikan dengan atom lain seperti halogen. Reaksi substitusi benzena biasanya terjadi pada cincin aromatik benzena. Contoh reaksi substitusi yaitu pada konversi klorobenzena menjadi fenol dengan bantuan NaOH pada 400°C.

Reaksi:

10% NaOH ; T= 400 °C



2.1.2 Spesifikasi Katalis

Nama	: Zeolite ZSM-5
Wujud	: Padat
Warna	: Cokelat kekuningan (tan)
Bentuk	: Kolom (pelet)
Volume pori	: $\geq 0,25$
Densitas partikel	: 0,72 kg/l

2.1.3 Spesifikasi Produk

1. Spesifikasi Produk Utama

Etilbenzena ($C_6H_5C_2H_5$)

Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Kemurnian	: Minimal 99,85% berat
Impurtias	: - Toluena maksimal 0,1 % berat - Dietilbenzena maksimal 0,05% berat

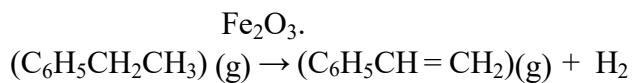
Sifat Fisika Etilbenzene ($C_6H_5C_2H_5$)

Rumus Molekul	: $(C_6H_5)-C_2H_5$
Berat molekul (g/mol)	: 106,165
Titik leleh pada 1 atm, °C	: 94,975
Titik didih pada 1 atm, °C	: 136,19
Densitas pada 25°C, kg/m ³	: 0,8671
Tekanan kritis, MPa	: 3,609

Temperatur kritis, K	: 617,15
Volume kritis, m ^{3/l}	: 0,374

Sifat Kimia Etilbenzene (C₆H₅C₂H₅)

Reaksi yang paling utama dari etilbenzena adalah reaksi dehidrogenasi menghasilkan styrene. Pada reaksi ini digunakan bahan baku etilbenzena dengan kemurnian tinggi. Reaksi etilbenzena menjadi stirena terjadi pada suhu 550°C-680°C dengan katalis Fe₂O₃.



T: 550°C-680°C		
Etilbenzena	Stiren	Hidrogen

2. Spesifikasi Produk Samping

a) Dietilbenzena (C₁₀H₁₄)

Berikut merupakan spesifikasi dietilbenzena dari *National Center for Biotechnology Information*, (2021), yaitu sebagai berikut:

Sifat Fisika:

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/m ³	: 0,88
Tekanan uap pada 25°C, mmhg	: 1,05
Kelarutan dalam air pada 25°C, mg/l	: 71,1

Sifat Kimia:

Reaksi dalam pembentukan dietilbenzena yaitu reaksi etilasi. Reaksi etilasi dibagi menjadi reaksi etilasi primer dan reaksi etilasi sekunder. Reaksi etilasi primer digunakan bahan baku benzena yang di reaksikan dengan etanol menghasilkan etilbenzena dan air.

Sedangkan pada reaksi etilasi sekunder digunakan bahan baku etilbenzena yang direaksikan dengan etanol menghasilkan 1,2-dietilbenzena, 1,3-dietilbenzena, 1,4-dietilbenzena, dan air. Reaksi ini terjadi pada suhu 400°C-500°C dengan katalis ZSM-5.

b) Trietilbenzena (C₁₂H₁₈)

Berikut merupakan spesifikasi dari trietilbenzena menurut *National Center for Biotechnology Information*, (2021), yaitu sebagai berikut:

Sifat Fisika

Rumus molekul	: (C ₁₂ H ₁₈)
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
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/m ³	: 0,862
Kelarutan dalam air pada 25°C, mg/l	: Tidak dapat terlarut

Sifat Kimia

Trietilbenzena dapat diproduksi dengan reaksi alkilasi Friedel-Crafts, yaitu reaksi antara benzena dengan etil bromide dengan bantuan katalis AlCl₃.

2.2 Konsep Proses

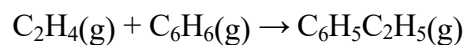
2.2.1 Dasar dan Mekanisme Reaksi

Dasar dari proses pembentukan etilbenzena dilakukan melalui reaksi alkilasi antara etilena dan benzene. Pada perancangan pabrik etilbenzena ini, digunakan proses Mobil/Bedger dimana etilena dan benzene direaksikan pada fase gas dan dengan bantuan katalis zeolite sintetis ZSM-5. Pada reaksi pembentukan etilbenzena, terjadi reaksi samping etilena dengan etilbenzena yang kemudian membentuk dietilbenzena. Selain itu juga bereaksi dengan dietilbenzena membentuk trietilbenzena. Hasil reaksi samping dietilbenzena dan trietilbenzena dapat direaksikan kembali dengan benzene sehingga menghasilkan etilbenzena pada proses transalkilasi. Reaksi alkilasi dan transalkilasi terjadi pada reaktor yang terpisah. Adapun mekanisme reaksinya sebagai berikut:

Primary Reactor (Reaksi Alkilasi)

a) Reaksi Utama

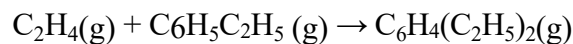
ZSM-5



T: 375 °C-435°C, P: 16 atm

Etilena Benzene Etilbenzena

b) Reaksi Samping



Etilena Etilbenzena Dietilbenzena

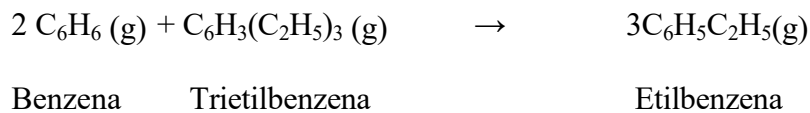


Etilena Dietilbenzena Trietilbenzena

Secondary Reactor (Reaksi Transalkilasi)



Benzene Dietilbenzena Etilbenzena



2.2.2 Kondisi Operasi

Pembuatan etilbenzena terdiri dari reaksi alkilasi dan transkilasi yang dilakukan dalam dua reaktor *fixed bed* yang terpisah. Kondisi operasi dalam pembuatan etilbenzena ini dipengaruhi oleh perbandingan mol benzena dan etilen, temperatur, tekanan, dan jenis katalis yang digunakan.

Reaksi alkilasi etilen dengan benzena pada fase gas berlangsung dalam reaktor jenis fixed bed multibed secara adiabatik non-isotermal. Reaksi dijalankan pada rentang suhu 375-425°C dan tekanan 15 atm dengan menggunakan katalis padat yaitu ZSM-5. Perbandingan mol etilena dan benzena masuk reaktor sebesar 1:5. Pada umumnya suhu operasi di reaktor dipertahankan pada suhu 370°C (US. Patent 5,334,795). Konversi etilen 99,6% dengan selektivitas etilbenzena sebesar 82,5%, dietilbenzena 15,4%, dan trietilbenzena sebesar 1,76% (US Patent 5,959,168; EP 0 800 497 B1). Benzena yang digunakan dibuat ekss karena berfungsi untuk meningkatkan selektivitas reaksi agar produk yang paling banyak terbentuk adalah etilbenzena.

Reaksi transalkilasi pada fase gas berlangsung dalam reaktor *fixed bed singlebed* secara adiabatik non-isotermal. Reaksi dijalankan pada suhu 400-475°C dan tekanan 1,5 atm dengan menggunakan katalis padat ZSM-5. Perbandingan mol dietilbenzena dan benzena masuk reaktor sebesar 1:7 dengan konversi dietilbenzena dan trietilbenzena masing masing 99,98 % (US Patent 8,217,214 B2; US. Patent 5,959,168).

2.2.3 Tinjauan Termodinamika

Pada reaksi dipermukaan katalis, terjadi reaksi alkilasi antara etilen dengan benzena menghasilkan etilbenzena. Sifat reaksi dari produksi etilbenzena dapat diketahui dengan menghitung harga panas reaksi. Besarnya harga panas reaksi untuk reaksi utama pada suhu 25°C dapat dihitung menggunakan persamaan termodinamika. Berikut merupakan harga panas reaksi pada suhu 25°C menurut

Van Ness, dkk., (2010), dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Harga Panas Reaksi pada Suhu 25°C

	Etilena	Benzena	Etilbenzena
Hf	52,510	82,930	29,920
Gr	68,460	129,665	130,890

$$\Delta H^{\circ}f = \Delta Hf \text{ Produk} - \Delta Hf \text{ reaktan}$$

$$= \Delta Hf \text{ Etilbenzena} - (\Delta Hf \text{ Etilen} + \Delta Hf \text{ Benzena})$$

$$= 29,920 - (52,510 + 82,930)$$

$$= -105,52 \text{ J/mol}$$

Dapat diketahui bahwa harga ΔHf yang diperoleh dari perhitungan bernilai negatif. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis yang berarti terdapat pembebasan energi. Hal ini mengakibatkan suhu reaktor akan mengalami kenaikan panas secara terus menerus. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengambilan panas melalui proses pendinginan agar reaktor tetap berada pada range kondisi operasi (375°C-425°C).

Konstanta keseimbangan reaksi dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan persamaan thermodinamika Standar Gibbs dari data Tabel 2.1. Berikut perhitungan konstanta keseimbangan reaksi:

$$\Delta G^{\circ}f = \Delta Gf \text{ Produk} - \Delta Gf \text{ reaktan}$$

$$= \Delta Gf \text{ Etilbenzena} - (\Delta Gf \text{ Etilen} + \Delta Gf \text{ Benzena})$$

$$= 130,890 - (68,460 + 129,665)$$

$$= -67,235 \text{ J/mol}$$

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

Konstanta keseimbangan dapat dihitung pada suhu sebesar 25°C (298K) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$K_{25^{\circ}\text{C}} = \exp \exp^{\Delta Gf / RT}$$

$$K_{25^{\circ}\text{C}} = \exp^{(-67,235)/8,314 \times 298}$$

$$K_{25^{\circ}\text{C}} = 6.021 \times 10^{11}$$

Konstanta keseimbangan pada suhu 25°C adalah 1,0275. Dengan menggunakan persamaan Van Hoff, konstanta keseimbangan pada suhu 375°C dapat dihitung sebagai berikut :

$$\ln \frac{K_{375^{\circ}\text{C}}}{K_{25^{\circ}\text{C}}} = \frac{\Delta H^{\circ}f}{R} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] = \frac{-105.52}{8.314} \left[\frac{1}{648.15} - \frac{1}{298.15} \right]$$

$$= -22.987$$

$$\frac{K_{375^{\circ}\text{C}}}{K_{25^{\circ}\text{C}}} = 1.039 \times 10^{11}$$

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

$$= 62.601 \times 10^4$$

Pada suhu operasi 375°C diperoleh harga $K = 62.601 \times 10^4$. Dengan nilai konstanta keseimbangan yang jauh lebih besar dari satu ($\gg 1$), menunjukkan bahwa reaksi berlangsung secara irreversible atau searah (Van Ness dkk, 2010).

2.2.4 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu terhadap kecepatan reaksi. Tinjauan kinetika didasarkan pada persamaan Arrhenius.

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

Dimana,

K = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor frekuensi tumbukan

E_a = energi aktivasi

R = konstanta gas ideal

T = suhu reaksi

Berdasarkan persamaan Arrhenius diatas harga A , E_a , dan R adalah tetap, sehingga harga k hanya dipengaruhi oleh suhu, dengan kenaikan suhu maka kecepatan reaksi akan semakin besar, pembentukan etilbenzena akan semakin cepat.

Berdasarkan studi literatur, diperoleh harga k alkilasi pada berbagai suhu sebagai berikut:

$$K1 = 1.17 \times 10^8 \times \frac{\exp \left(\frac{-152.49}{RT} \right) L}{\text{mol}} \cdot \text{det}$$

$$K1 = 1.17 \times 10^8 \times \frac{\exp \left(\frac{-152.49}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times (370 + 273.15) \text{K}} \right) L}{\text{mol}} \cdot \text{det} \quad (\text{Reaksi 1})$$

$$K1 = 113710522$$

$$K2 = 1.57 \times 10^7 \times \frac{\exp \left(\frac{-141.61}{RT} \right) L}{\text{mol}} \cdot \text{det}$$

$$K2 = 1.57 \times 10^7 \times \frac{\exp \left(\frac{-141.61}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times (370 + 273.15) \text{K}} \right) L}{\text{mol}} \cdot \text{det} \quad (\text{Reaksi 2})$$

$$K2 = 15289670.1$$

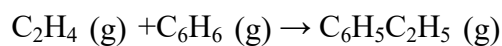
$$K3 = 3.51 \times 10^6 \times \frac{\exp \left(\frac{-142.82}{RT} \right) L}{\text{mol}} \cdot \text{det}$$

$$K3 = 3.51 \times 10^6 \times \frac{\exp \left(\frac{-142.82}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times (370 + 273.15) \text{K}} \right) L}{\text{mol}} \cdot \text{det} \quad (\text{Reaksi 3})$$

$$K3 = 3417490.39$$

Kemudian dilakukan perhitungan harga koefisien stoikiometri reaksi sebagai berikut:

ZSM - 5



$$T = 375 - 425^\circ\text{C}; P = 16 \text{ atm}$$

Etilena Benzena Etilbenzena

$$\begin{aligned} V_{\text{reaksi}} &= v_{\text{Etilbenzena}} - (v_{\text{Etilen}} + v_{\text{Benzena}}) \\ &= 1 - (1 + 1) \\ &= -1 \end{aligned}$$

Perhitungan koefisien stoikiometri reaksi (v) diperoleh harga negatif. Hal ini menunjukkan kenaikan tekanan pada temperatur yang konstan menyebabkan reaksi bergeser ke arah produk. Sehingga produk yang dihasilkan akan semakin banyak seiring dengan bertambahnya tekanan. Oleh karena itu reaksi dilakukan pada tekanan tinggi yaitu 15 atm.

2.3 Langkah Proses

Langkah proses pembuatan etilbenzena dapat dikelompokkan dalam tiga tahapan proses:

2.3.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Etilena dan benzene adalah bahan baku yang nantinya akan digunakan. Bahan baku benzena pada cair ditampung pada tangki silinder dengan atap kerucut (conical roof) (TP- 01) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm dengan kapasitas penyimpanan selama 30 hari. Kemudian dari tangki penyimpanan, *fresh benzene* dipompakan menggunakan pompa sentrifugal (P-01) menuju *head vaporizer* (VP-01) untuk dinaikkan suhunya sampai dengan suhu didihnya kemudian diuapkan. Uap *fresh benzene* dari *vaporizer* kemudian dicampur dengan *recycle benzene* dari hasil atas Menara distilasi 2 (MD-02) di dalam *valve* pencampuran (MV-01).

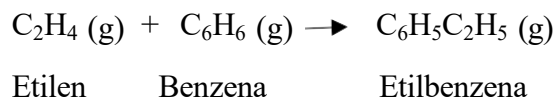
Bahan baku etilena (T-30°C P-1 atm) dialirkan langsung dari PT. Chandra Asri dengan menggunakan pipa dalam fase gas. Gas etilena bercampur dengan uap benzene campuran di dalam *valve* pencampuran (MV-02). Selanjutnya umpan dikompresi di dalam kompresor (C-01) dengan tujuan untuk menaikkan tekanannya hingga 15 atm. Campuran bahan baku ini kemudian dipanaskan di dalam *furnace* (F-01) sampai 375°C sesuai kondisi operasi pada reactor. Feed kemudian siap dimasukkan ke dalam reactor (R-01).

2.3.2 Tahap Reaksi

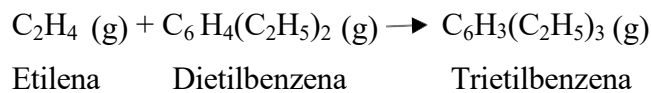
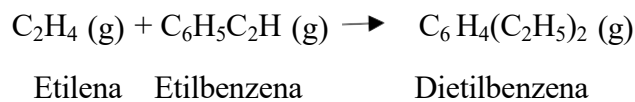
Pembentukan etilbenzena terdiri dari dua reaksi yaitu, reaksi alkilasi yang terjadi di reactor alkilasi (R-01) dan reaksi transalkilasi yang terjadi di reactor transalkilasi (R- 02). Pada tahap persiapan bahan baku, benzene dan etilena diumpankan menuju bagian dasar *reactor* secara kontinyu. Di dalam reactor

alkilasi (R-01) terjadi reaksi antara benzene dan etilena membentuk etilbenzena sebagai produk utama dan polietilbenzena sebagai produk samping. Reactor beroperasi secara adiabatik non-isothermal pada rentang suhu 375-425°C dan tekanan 15 atm. Jenis reactor yang digunakan ialah berjenis fixed bed multibed yang terdiri dari 3 bed dimana reaksi di dalam reactor berlangsung secara eksotermis, sehingga diantara bed dipasang pendingin untuk menurunkan suhu keluar tiap bed sehingga tidak melampaui suhu operasi maksimal. Sebagai pendingin digunakan cooling water.

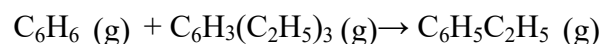
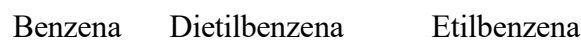
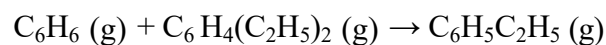
1. Reaksi Utama



2. Reaksi Samping



Pada reactor transalkilasi (R-02) terjadi reaksi berupa *recycle* benzena dari hasil atas menara destilasi 2 (MD-02) dan polietilbenzena hasil bawah menara destilasi 3 (MD-03) membentuk etilbenzena. Reactor beroperasi secara adiabatik non-isothermal pada suhu 400-475 °C dan tekanan 1,5 atm. Jenis reactor yang digunakan yaitu *fixed bed single bed*.



2.3.3 Tahap Pemurnian Produk

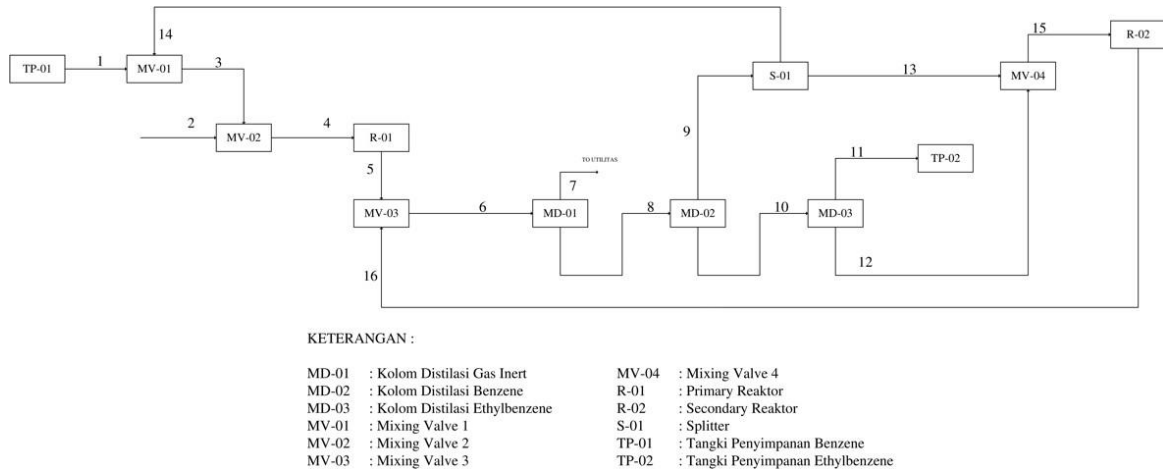
Pada tahap pemurnian ini berfungsi untuk memisahkan etilbenzena dari campuran gas yang lain (toluena, metana, etana, dan pentana), sehingga diperoleh

produk etilbenzena dengan kemurnian 99,85%. Produk keluaran reaktor alkilasi (R-01) diturunkan tekanannya menggunakan *expander* (EX-01) hingga 1,3 atm. Selanjutnya produk keluaran reaktor alkilasi (R-01) bercampur dengan produk keluaran reaktor transalkilasi (R-02) yang di dalam valve pencampuran (MV-03). Campuran produk keluaran reaktor kemudian diturunkan suhunya menggunakan *heat exchanger* pendingin (HE-101) kemudian dialirkan menuju menara destilasi. Umpan kemudian masuk menara destilasi 1 (MD-01) dalam kondisi uap jenuh pada suhu 118,86 °C dan tekanan 1,3 atm.

Hasil atas menara destilasi (MD-01) berupa pentana dan gas inert lain. Sedangkan hasil bawah diumpankan menuju menara distilasi dua (MD-02) dan hasil atau sebagian besar benzena yang akan digunakan kembali sebagai umpan reaktor alkilasi (R-01) dan sebagai umpan reaktor transalkilasi (R-02). Sedangkan hasil bawah berupa etilbenzena serta produk samping dietilbenzena dan trietilbenzena. Umpan masuk menara destilasi 3 (MD-03) dalam kondisi cair jenuh pada suhu 162,24 °C dan tekanan 1,4 atm. Hasil atas menara destilasi berupa produk etilbenzena. Sedangkan hasil bawah berupa produk samping yaitu dietilbenzena dan trietilbenzena yang nantinya digunakan sebagai umpan pada reaktor transalkilasi (R-02). Produk etilbenzena dari hasil atas menara destilasi tiga (MD-03) sebelum disimpan pada tangki penyimpanan (TP-02) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm, diturunkan terlebih dahulu suhunya dengan bantuan *cooling water* dengan cara dilewatkan *heat exchanger* (HE-03).

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa



Gambar 2. 2 Diagram Alir Neraca Massa Proses Desain Pabrik Etilbenzena dari Etilen dan Benzena

Basis : 1 jam operasi

Satuan : kg/jam

Kapasitas : 26.000 ton/tahun

: 3,282828283 kg/jam

Rasio Bahan Baku : Etilen : Benzena (1 : 5)

Konversi Total : 99,6%

Selektivitas : Etilbenzena 82,8%

Dietilbenzena 15,43%

Trietilbenzena 1,78%

Berikut ini adalah nilai resume dari neraca massa Pabrik Etilbenzena dengan kapasitas 26.000 ton/tahun. Untuk perhitungan lengkap terlampir pada lampiran A

1. Mixing Valve 1 (MV-01)

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

Komponen	Input				Output	
	Arus 1		Arus 14		Arus 3	
	Kg/jam	Kmol/ja	Kg/jam	Kmol/ja	Kg/jam	Kmol/ja
	m		m		m	
Metana						
Etilena						
Etana						
Pentana	101,677	1,409			101,677	1,409
Benzene	67.648,83	866,071	299.999,48	384,07	97.648,32	1.250,13
	9		4		3	9
Toluene	338,922	3,678	328,022	3,56	666,944	7,238
Etilbenzena			427,246	4,02	427,246	
Dietilbenzena						
Trietilbenzen						
a						
Jumlah	68.089,43	871,159	30.754,75	391,65	98.844,19	1.258,79
	8				0	
Total			98.844,19		98.844,19	

2. Mixing Valve 2 (MV-02)

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

Komponen	Input			Output	
	Arus 2		Arus 3	Arus 4	Kmol/jam
	(kg/jam)		(kg/jam)	(kg/jam)	
Metana	3,000			3,000	0,187
Etilena	995,000			995,000	35,479

Komponen	Input		Output	
	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Kmol/jam
	(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)	
Etana	2,000		2,000	0,067
Pentana		101,677	101,677	
Benzene		97.648,323	97.648,323	
Toluene		666,944	666,944	
Etilbenzena		427,246	427,246	
Dietilbenzena				
Trietilbenzena				
Jumlah	1.000,000	98.844,190	99.844	35,732
Total	98.844,190		98.844,190	

3. Reaktor 1 (R-01)

Tabel 2. 4 Neraca Massa Reaktor 1 (R-01)

Komponen	Input	Output	
	Arus 4 (kg/jam)	Arus 5 (kg/jam)	Kmol/jam
Metana	3,000	3,000	0,187
Etilena	995,000	106,356	3,792
Etana	2,000	2,000	0,067
Pentana	101,677	101,677	1,409
Benzene	97.648,323	81.176,578	1.039,260
Toluene	666,944	666,944	7,238
Etilbenzena	427,246	17.602,878	165,799
Dietilbenzena		184,757	1.039,260
Trietilbenzena			
Jumlah	99.844,190	99.844,190	2.257,012
Total	99.844,190	99.844,190	

4. Mixing Valve 3 (MV-03)

Tabel 2. 5 Neraca Massa Mixing Valve 3 (MV-03)

Komponen	Input		Output
	Arus 5 (kg/jam)	Arus 16 (kg/jam)	Arus 6 (kg/jam)
Metana	3,000		3,000
Etilena	106,356		106,356
Etana	2,000		2,000
Pentana	101,677		101,677
Benzene	81.176,578	4.448,545	85.625,123
Toluene	666,944	632,045	1.298,989
Etilbenzena	17.602,878	53.941,590	71.544,468
Dietilbenzena	184,757	1,286	186,043
Trietilbenzena			
Jumlah	99.844,190	59.023,466	158.867,656
Total		158.867,656	158.867,656

5. Menara Destilasi 1 (MD-01)

Tabel 2. 6 Neraca Massa Menara Destilasi 1 (MD-01)

Komponen	Input		Output
	Arus 6 (kg/jam)	Arus 8 (kg/jam)	Arus 7 (kg/jam)
Metana	3,000		3,000
Etilena	106,356		106,356
Etana	2,000		2,000
Pentana	101,677		101,677
Benzene	85.625,123	81.343,867	4,281,256
Toluene	1.298,989	1,273,009	25,980
Etilbenzena	71.544,468	71.544,468	
Dietilbenzena	186,043	186,043	
Trietilbenzena			
Jumlah	158.867,656	154.347	4,520,269
Total	158.867,656		158.867,656

6. Menara Destilasi 2 (MD-02)

Tabel 2. 7 Neraca Massa Menara Destilasi 2 (MD-02)

Komponen	Input	Output	
	Arus 8 (kg/jam)	Arus 10 (kg/jam)	Arus 9 (kg/jam)
Metana			
Etilena			
Etana			
Pentana			
Benzene	81.343,867		81.343,867
Toluene	1,273,009	190,951	1.082,058
Etilbenzena	71.544,468	67.967,245	3.577,223
Dietilbenzena	186,043	186,043	
Trietilbenzena			
Jumlah	154.347	68.344	86.003
Total	154.347,387	154.347,387	

7. Menara Destilasi 3 (MD-03)

Tabel 2. 8 Neraca Massa Menara Destilasi 3 (MD-03)

Komponen	Input	Output	
	Arus 10 (kg/jam)	Arus 12 (kg/jam)	Arus 11 (kg/jam)
Metana			
Etilena			
Etana			
Pentana			
Benzene			
Toluene	190,951	190,664	0,287
Etilbenzena	67.967,245	3.398,362	64.568,882
Dietilbenzena	186,043	185,950	0,093
Trietilbenzena			
Jumlah	68.344,239	3.774,977	64.569,263
Total	68.344,239	68.344,239	

8. Mixing Valve 4 (MV-04)

Tabel 2. 9 Neraca Massa Menara Destilasi 3 (MD-03)

Komponen	Input		Output
	Arus 12 (kg/jam)	Arus 13 (kg/jam)	Arus 15 (kg/jam)
Metana			
Etilena			
Etana			
Pentana			
Benzene		41.775,488	41.775,488
Toluene	190,664	4.884,744	5.035,408
Etilbenzena	3.398,362	6.263,426	9.661,788
Dietilbenzena	185,950		185,950
Trietilbenzena			
Jumlah	3.774,997	52.883,658	56.658,635
Total		56.658,635	56.658,635

9. Reaktor 2 (R-02)

Tabel 2. 10 Neraca Massa Reaktor 2 (R-02)

Komponen	Input	Output
	Arus 15 (kg/jam)	Arus 16 (kg/jam)
Metana		
Etilena		
Etana		
Pentana		
Benzene	41.775,488	42.012,588
Toluene	5.035,408	5.035,408
Etilbenzena	9.661,788	9.610,668
Dietilbenzena	185,950	
Trietilbenzena		
Jumlah	56.658,635	56.658,635
Total	56.658,635	56.658,635

10. Splitter (S-01)

Tabel 2. 11 Neraca Massa Splitter (S-01)

Komponen	Input	Output	
	Arus 9 (kg/jam)	Arus 13 (kg/jam)	Arus 14 (kg/jam)
Metana			
Etilena			
Etana			
Pentana			
Benzene			
Toluene	81.343,867	41.775,488	29.999,484
Etilbenzena	1.082,058	5.522,744	328,022
Dietilbenzena	3.577,223	7.950,164	427,246
Trietilbenzena			
Jumlah	86.003	55.248	30.755
Total	86.003,148	86.003,148	

Neraca Massa Overall

Tabel 2. 12 Neraca Massa Overall

Komponen	Input		Output	
	Arus 1 (kg/jam)	Arus 2 (kg/jam)	Arus 7 (kg/jam)	Arus 11 (kg/jam)
Metana		3,000	3,000	
Etilena		995,000	106,356	
Etana		2,000	2,000	
Pentana	101,677		101,677	
Benzene	67.648,839		4.281,256	
Toluene	338,992		25.980	0,287
Etilbenzena				64.568,882
Dietilbenzena				0,093
Trietilbenzena				
Jumlah	68.089,438	1.000,000	4.520,269	64.569,169

Komponen	Input		Output	
	Arus 1	Arus 2	Arus 7	Arus 11
	(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)	(kg/jam)
Total	69.089,438		69.089,438	

Efisiensi Produk : $\frac{\text{Jumlah Produk yang dihasilkan}}{\text{jumlah bahan baki}} \times 100\%$

Efisiensi Produk : $\frac{64.568,9 \text{ kg/h}}{68.643 \text{ kh/h}} \times 100\%$

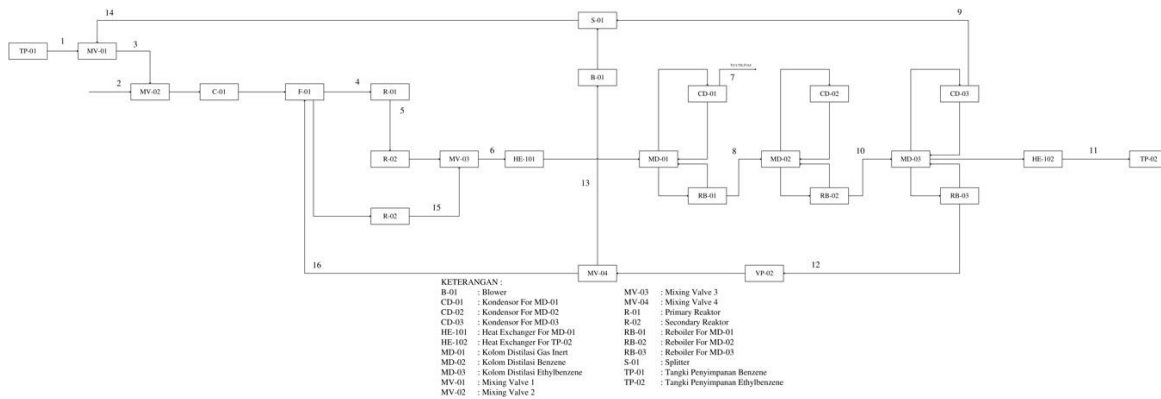
: 0.94%

Total Efisiensi Produk: 100% - Efisiensi Produk

: 100% - 0,94%

: 99,06%

2.5.3 Neraca Panas



Gambar 2. 3 Diagram Alir Neraca Panas Proses Desain Pabrik Etilbenzena dari Etilen dan Benzena

Basis : 1 jam operasi

Satuan : kJ/jam

1. Vaporizer 1 (VP-101)

Tabel 2. 13 Neraca Panas Vaporizer 1 (VP-101)

Komponen	Input	Output
Pentana	1,426	0,032
Benzene	709,049	26,620
Toluene	144,299	0,130
Steam		827,991
Total	854,774	854,774

2. Mixing Valve 1 (MV-01)

Tabel 2. 14 Neraca Panas Mixing Valve 1 (MV-01)

Komponen	Input		Output
	Q1	Q14	Q3
Metana			
Etilen			
Etana			

Komponen	Input		Output
	Q1	Q14	Q3
Pentana	30.672,666		10.406,885
Benzene	4.539.283,027	2.012.985,736	6.572.816,662
Toluene	24.104,960	23.329,723	47.582,624
EB		32.218,020	32.318,211
DEB			
TEB			
Jumlah	4.594.060,653	2.068.533,478	6.663.124,382
Total		6.662.594,13	6.662.594,13

3. Mixing Valve 2 (MV-02)

Tabel 2. 15 Neraca Panas Mixing Valve 2 (MV-02)

Komponen	Input		Output
	Q2	Q3	Q4
Metana	384,142		384,140
Etilen	89.700,640		89.700,145
Etana	205,746		205,745
Pentana		10.150,230	10.150,173
Benzene		6.375.084,305	6.375.129,475
Toluene		46.158,823	46.158,561
EB		31.353,899	31.366,355
DEB			
TEB			
Jumlah	90.290,527	6.462.747,258	6.553.094,593
Total		6.553.037,8	6.553.037,8

4. Furnace (F-01)

Tabel 2. 16 Neraca Panas Furnace (F-01)

Panas	Input	Output
Feed	40.249.816,741	72.406.345,896
Q bahan bakar	32.156.529,154	
Jumlah	72.406.345,896	72.406.345,896

5. Reaktor (R-01)

Tabel 2. 17 Neraca Panas Reaktor (R-01) antara BED I dan BED II

Panas	Input	Output
Metana	4.234,652	2.951,340
Etilen	78.430,427	78.180,893
Etana	1.718,994	1.712,432
Pentana	85.830,323	85.458,770
Benzene	47.606.268,818	47.372.625,524
Toluene	408.487,307	406.516,922
EB	11.326.116,855	11.272.582,956
DEB	96.729.291,893	96.319.462,173
TEB		
Cooling water		700.887,258
Total	156.240.379,269	156.240.379,269

Tabel 2. 18 Neraca Panas Reaktor (R-01) antara BED II dan BED III

Panas	Input	Output
Metana	2.951,340	2.951,340
Etilen	78.180,893	78.180,893
Etana	1.712,432	1.712,432
Pentana	85.458,770	85.458,770
Benzene	47.372.625,524	47.372.625,524
Toluene	406.516,922	406.516,922

Panas	Input	Output
EB	11.272.582,956	11.272.582,956
DEB	96.319.462,173	96.319.462,173
TEB		
Cooling water		700.887,258
Total	70.469.915,679	70.469.915,679

6. Ekspander (EX-01)

Tabel 2. 19 Neraca Panas Ekspander (EX-01)

Komponen	Input	Output
Arus 5	180.596.657,508	57.353.253,321
Q loss		123.243.404,187
Total	180.596.657,508	180.596.657,508

7. Reaktor 2 (R-02)

Tabel 2. 20 Neraca Panas Reaktor 2 (R-02)

Komponen	Input	Output
Benzene	2.838.077,099	2.838.077,099
Toluene	420.975,793	420.975,793
EB	37.729.146,997	37.729.146,997
DEB	969,931	969,931
TEB		
Total	40.989.169,82	40.989.169,82

8. Mixing Valve 3 (MV-03)

Tabel 2. 21 Neraca Panas Mixing Valve 3 (MV-03)

Komponen	Input		Output
	Q5	Q16	Q6
Metana	2.764,967		2.764,967
Etilen	72.894,856		72.894,856
Etana	1.595,022		1.595,022
Pentana	79.638,445		79.638,445
Benzene	44.009.524,454	2.411.759,101	46.421.283,555
Toluene	377.956,474	358.179,225	736.135,699
EB	10.486.756,913	32.135.219,250	42.621.976,163
DEB	119.116,082	829,105	
TEB			
Jumlah	55.150.247,214	34.905.986,681	90.056.233,894
Total		90.056.233,894	90.056.233,894

9. Heat Exchanger (HE-101)

Tabel 2. 22 Neraca Panas Heat Exchanger (HE-101)

Komponen	Input	Output
Metana	2.870,846	1.393,712
Etilen	75.457,702	35.574,884
Etana	1.649,233	769,741
Pentana	82.264,363	38.258,612
Benzene	47.798.894,522	21.633.970,603
Toluene	758.567,153	345.627,021
EB	43.940.230,826	20.109.684,895
DEB	123.903,034	57.716,073
TEB		
Cooling Water		50.560.842,138
Total	92.783.837,679	92.783.837,679

10. Menara Destilasi (MD-01)

Tabel 2. 23 Neraca Panas Menara Destilasi (MD-01)

Komponen	Input			Output	
	Qf	Qreb	Qc	Qd	Qw
Metana	376,355			376,355	
Etilen	9.390,652			9.390,652	
Etana	201,480			201,480	
Pentana	9.938,175			9.938,175	
Benzene	5.470,845,			5.470,845,	7.323.853,3
	564			564	71
Toluene	87.993,983			87.993,983	121.177,06
					2
EB					7.206.991,1
					99
DEB					20.820,448
TEB					
Jumlah	5.578.746,	30.561.954,	15.889.112,	5.578.746,	14.672.842,
	208	677	597	208	080
Total		36.140,701			36.140,701

11. Menara Destilasi 2 (MD-02)

Tabel 2. 24 Neraca Panas Menara Destilasi 2 (MD-02)

Komponen	Input			Output	
	Qf	Qreb	Qc	Qd	Qw
Benzene	14.565.882,			7.650.410,	
	329			545	
Toluene	219.986,195			108.114,66	53.167,446
				8	
EB	12.479.828,			379.228,53	19.034.863,
	090			3	537
DEB	35.909,796				57.366,124

Komponen	Input			Output	
	Qf	Qreb	Qc	Qd	Qw
TEB					
Jumlah	23.301.606,410	8.051.034,574	-8.242.938,475	8.137.753,746	19.145.387,107
Total	35.352.640,983			35.352.640,983	

12. Menara Destilasi 3 (MD-03)

Tabel 2. 25 Neraca Panas Menara Destilasi 3 (MD-03)

Komponen	Input			Output	
	Qf	Qreb	Qc	Qd	Qw
Toluene	53.167,446			70,219	65.380,964
EB	19.034.853,537			15.909.349,295	1.169.149,413
DEB	57.366,124				70.146,730
TEB					
Jumlah	19.145.387,107	41.781.723,430	43.712.988,585	1%.909.444,847	1.304.677,106
Total	60.927.110,54			60.927.110,54	

13. Heat Exchanger 2 (HE-02)

Tabel 2. 26 Neraca Panas Heat Exchanger 2 (HE-02)

Komponen	Input	Output
Toluene	6.469,951	1.343,068
EB	1.689.095.614,651	352.497.973,423
DEB	3.394,630	711,842
Chilled Water		1.336.605.450,898

Komponen	Input	Output
Total	1.689.105.479,232	1.689.105.479,232

14. Vaporizer (VP-012)

Tabel 2. 27 Neraca Panas Vaporizer (VP-102)

Komponen	Input	Output
EB	1.169.149,413	2.049.163,168
DEB	70.146,730	117.241,957
TEB		
Steam	927.108,984	
Total	2.166.405,984	2.166.405,984

15. Blower (B-02)

Tabel 2. 28 Neraca Panas Blower (B-02)

Komponen	Input	Output
Benzene	4.924.318,480	10.550,356
Toluene	592.343,871	12.900,725
EB	947.314,189	18.336,191
Heat Loss		6.442.189,268
Total	6.463.976,540	6.463.976,540

16. Mixing Valve 4 (MV-04)

Tabel 2. 29 Neraca Panas Mixing Valve (MV-04)

Komponen	Input		Output
	Q12	Q14	Q15
Benzene		2.893.975,620	2.820.749,026
Toluene	13.997,367	356.670,304	360.364,878
EB	264.491,815	386.234,922	733.100,445
DEB	16.222,860		15.821,149
TEB			
Jumlah	294.712,042	3.635.880,846	3.930.035,498

Komponen	Input	Output	
	Q12	Q14	Q15
Total	3.930.592,89		3.930.592,89

Total Qinput: 2.550.845.932,63

Total Qoutput: 2.550.845.375,24

Qloss: 1.591.392.471,82

% Kehilangan Panas: $\frac{Q_{output} - Q_{loss}}{Q_{input}} \times 100\%$

:1 %

%Efisiensi Overall: 100-% Kehilangan Panas

:100 %- 1%

: 99 %

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Layout Pabrik

Layout pabrik merupakan tempat kedudukan dari bagian-bagian pabrik yang terdiri dari tempat kerja karyawan, tempat perakitan, tempat penimbunan baik bahan baku maupun produk. *Layout* pabrik berfungsi untuk mengolah bahan mentah atau bahan baku atau mengawasi proses mesin dari suatu bahan menjadi produk dengan nilai yang lebih tinggi. Tata letak yang tepat sangat penting dalam mendapatkan efisiensi, kelancaran dari para pekerja, dan keselamatan proses. Untuk mencapai kondisi yang optimal, hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan tata letak pabrik antara lain sebagai berikut:

- 1) Luas area yang tersedia berhubungan dengan kemungkinan perluasan pabrik dimasa depan untuk proses pengembangan pabrik.
- 2) Sistem konstruksi yang direncanakan adalah *outdoor* untuk menekan biaya bangunan dan gedung.
- 3) Penentuan tata letak pabrik maupun alat produksi harus memperhatikan

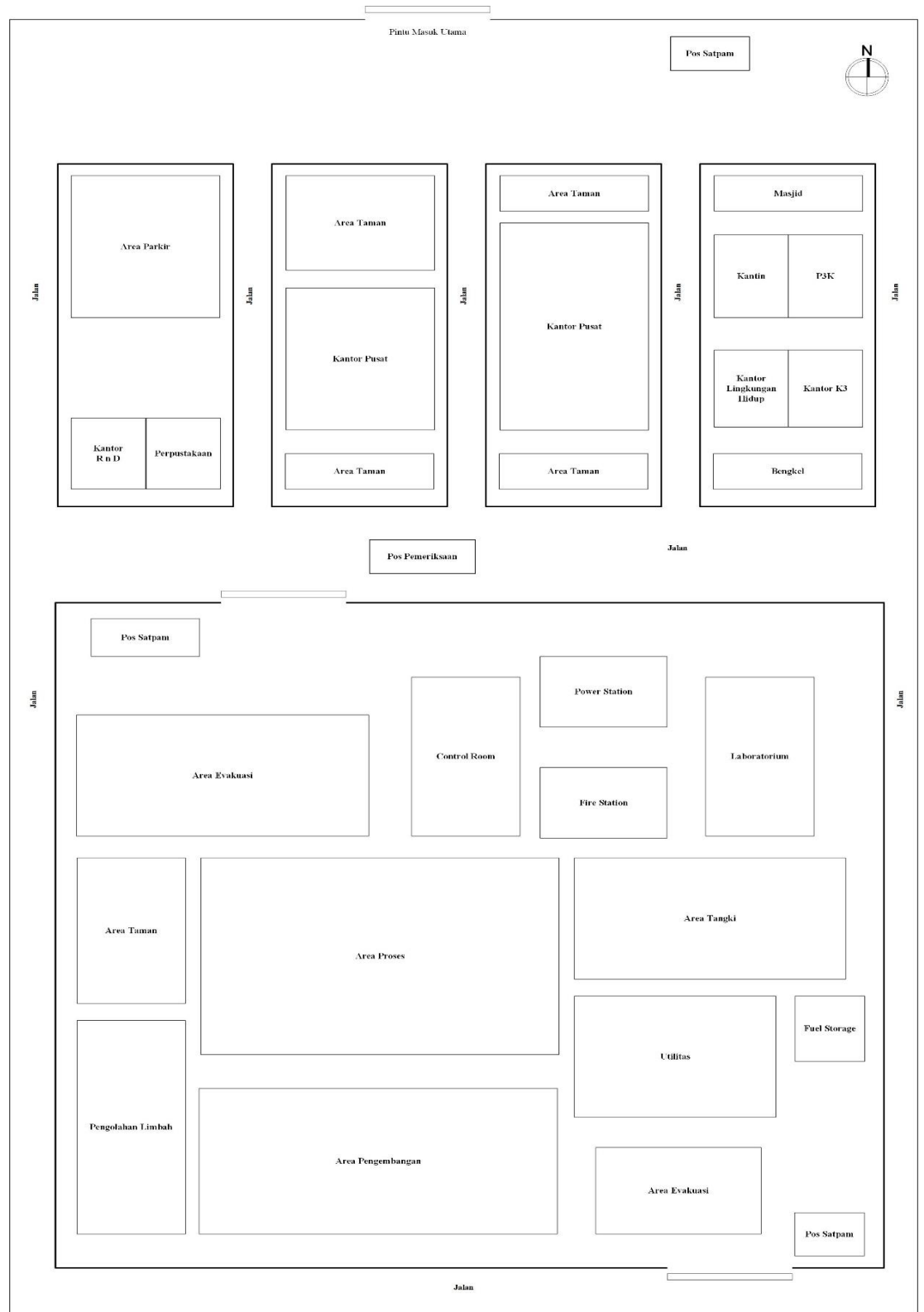
masalah keamanan bagi tenaga kerja untuk mengurangi dampak yang lebih besar.

- 4) Alat-alat proses perlu diletakkan pada jarak yang teratur dan nyaman sesuai karakteristik alat dan bahan sehingga kemungkinan bahaya kecelakaan dapat dihindarkan.
- 5) Penempatan, pemasangan, dan distribusi yang baik dari udara, steam, Listrik dan utilitas lainnya dapat mempermudah proses produksi, dan menjamin kelancaran operasi.
- 6) Jalan dalam pabrik harus cukup lebar dan memperhatikan aspek keselamatan, sehingga lalu lintas dalam pabrik dapat berjalan dengan baik.
- 7) Penempatan kantor dan gedung mudah dijangkau dari jalan utama.

Secara garis besar layout pabrik dapat dibagi menjadi beberapa daerah utama, yaitu:

- 1) Daerah Administrasi/Perkantoran
Daerah administrasi merupakan pusat kegiatan administrasi perusahaan yang mengatur kelancaran operasi dan kegiatan-kegiatan lainnya.
- 2) Daerah Laboratorium, dan Ruang Kontrol
Laboratorium dan ruang kontrol merupakan pusat pengendalian proses, kualitas, dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual.
- 3) Daerah Penyimpanan Bahan Baku dan Produk
Persediaan bahan baku dan produk yang memadai harus ditempatkan pada lokasi yang strategis.
- 4) Daerah Proses Produksi
Daerah ini merupakan daerah yang terdapat alat-alat proses untuk tempat berlangsungnya proses produksi Ethylbenzene dan perluasannya.
- 5) Daerah Pemeliharaan, Bengkel, dan Garasi
Daerah ini merupakan daerah untuk tempat penyimpanan suku cadang alat proses, penampungan bahan-bahan yang diperlukan oleh pabrik dan untuk keperluan perawatan peralatan proses.
- 6) Daerah Utilitas

Daerah ini merupakan tempat penyediaan bahan pendukung keberlangsungan proses produksi.



Gambar 2. 4 Layout Pabrik Ethylbenzene

2.6.2 Layout Peralatan Proses

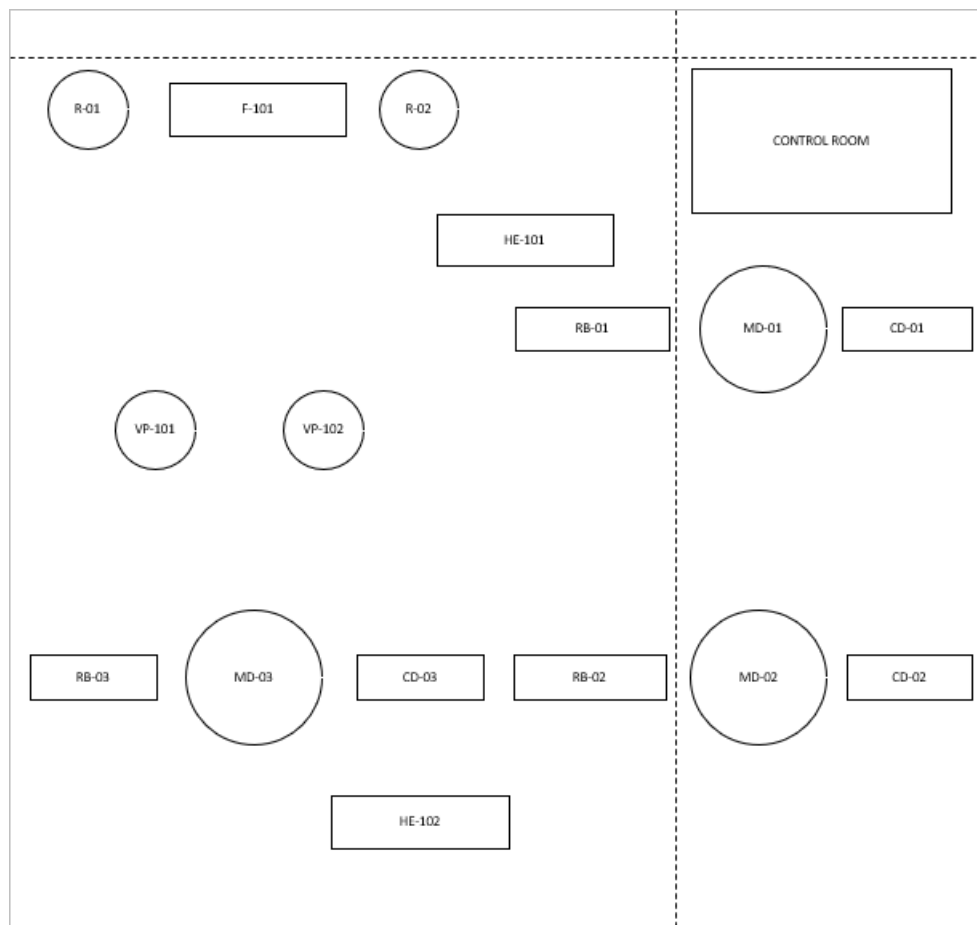
Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

- 1) Aliran Bahan Baku dan Produk Aliran, aliran yang tepat dapat memberikan keuntungan nilai ekonomi yang tinggi. Jika semakin dekat dengan penempatan bahan baku dan produk dengan jalur transportasi, maka semakin efisien dana yang dikeluarkan.
- 2) Aliran Udara, bertujuan untuk menghindari stagnasi udara pada suatu tempat karena dapat menyebabkan akumulasi bahan kimia berbahaya sehingga dapat mengancam keselamatan kerja. Disamping itu perlu diperhatikan arah hembus angin.
- 3) Cahaya Penerangan, penerangan seluruh area pabrik harus memadai. Pada tempat- tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.
- 4) Tata Letak Alat Proses, untuk letak alat proses harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi jalannya proses sehingga dapat menjamin kelancaran proses produksi.
- 5) Kelancaran Lalu Lintas Barang dan Manusia, perlu diperhatikan agar pekerja dapat menjangkau seluruh area proses dengan cepat dan mudah sehingga jika terjadi gangguan pada peralatan proses dapat segera diperbaiki.
- 6) Tata Letak Area Proses, Penempatan alat-alat proses pada pabrik diusahakan agar menekan biaya operasi dan menjamin keamanan produksi pabrik sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.
- 7) Jarak Antar Alat Proses, untuk alat proses yang memiliki tekanan dan suhu yang tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya sehingga apabila terjadi ledakan tidak membahayakan alat proses yang lainnya dan kerusakan dapat diminimalisir.

Tata letak peralatan proses harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat memberikan manfaat untuk keberlangsungan proses, yaitu:

- Kelancaran proses produksi dapat terjamin.
- Dapat mengoptimalkan penggunaan luas lantai.
- Biaya material handling menjadi lebih rendah sehingga menurunkan pengeluaran untuk capital yang tidak penting.
- Karyawan mendapatkan kepuasan kerja pada Perancangan Pabrik Ethylbenzena ini,

layout peralatan proses dapat dilihat pada gambar 2.5 sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Layout Peralatan

Proses Keterangan gambar *Layout* Peralatan Proses:

1. HE-101 : Cooler dari Mixing Valve 3 ke Menara Destilasi 1
2. HE-102 : Cooler dari CD-03 ke Tanki Penyimpanan Produk
3. R-01 : Reaktor

- 4. R-02 : *Secondary* Reaktor
- 5. F-01 : *Furnace*
- 6. MD-01 : Menara Destilasi 1
- 7. MD-02 : Menara Destilasi 2
- 8. MD-03 : Menara Destilasi 3
- 9. CD-01 : *Kondensor* Menara Destilasi 1
- 10. CD-02 : *Kondensor* Menara Destilasi 2
- 11. CD-03 : *Kondensor* Menara Destilasi 3
- 12. RB-01 : *Reboiler* Menara Destilasi 1
- 13. RB-02 : *Reboiler* Menara Destilasi 2
- 14. RB-03 : *Reboiler* Menara Destilasi 3
- 15. VP-101 : *Vaporizer* 1
- 16. VP-102 : *Vaporizer* 2