

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku Utama

- a. Etanol (C_2H_5OH) (NCP, 2018)
 - Wujud : cair, mudah menguap
 - Warna : tak berwarna
 - Bau : segar, khas dari alkohol
 - Kemurnian : min. 95 %
 - Impuritas : kadar air maks. 0,25 % dari berat total
 - Titik didih : 78,4 °C
 - Titik leleh : -130°C sampai -112°C
 - ρ (20°C) : min. 0,7927 gr/ cm³
- b. Asam Asetat (CH_3COOH) (Itokindo, 2022)
 - Wujud : cair
 - Warna : tak berwarna
 - Bau : tajam seperti cuka
 - Kemurnian : 99,8 %
 - Impuritas : kadar air maks. 0,2 % dari berat total
 - Titik didih : 118°C
 - Titik leleh : 16,6°C
 - ρ (30°C) : min. 1,05 gr/ cm³

2.1.2 Spesifikasi Bahan Pendukung

- a. Asam Sulfat (H_2SO_4) (Itokindo, 2020)
 - Wujud : cair
 - Warna : tak berwarna
 - Bau : tak berbau
 - Kemurnian : 98 %
 - Impuritas : kadar air maks. 0,1 % dari berat total
 - Titik didih : 300°C

ρ : 1,83 gr/cm³

2.1.3 Spesifikasi Produk

Etil Asetat (CH₃COOC₂H₅) (MSDS, 2022)

Wujud : cair

Warna : tak berwarna

Bau : aroma *fruity*

Kemurnian : 99,8 %

Impuritas : kadar air, maks. 0,2% berat

Titik didih : 77,1 °C

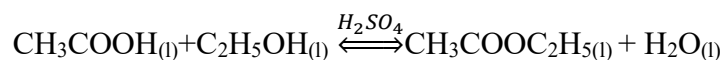
Titik leleh : -84 °C

ρ : 0,899 – 0,901 gr/ cm³

2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Reaksi esterifikasi etil asetat dilakukan dengan cara mereaksikan etanol dan asam asetat menggunakan katalis asam, asam sulfat (H₂SO₄) (Pattanaik & Mandalia, 2011).



Etil asetat dapat diperoleh dengan berbagai proses, diantaranya yaitu proses esterifikasi. Reaksi esterifikasi adalah reaksi langsung pembentukan ester menggunakan reaktan asam karboksilat berupa asam asetat yang direaksikan dengan sebuah alkohol berupa etanol menggunakan katalis. Reaksi esterifikasi akan berlangsung secara *reversible* (Salamah, 2014). Reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang berjalan lambat sehingga perlu penambahan katalis. Katalis berfungsi untuk mempercepat reaksi pembentukan etil asetat (Groggins, 1986).

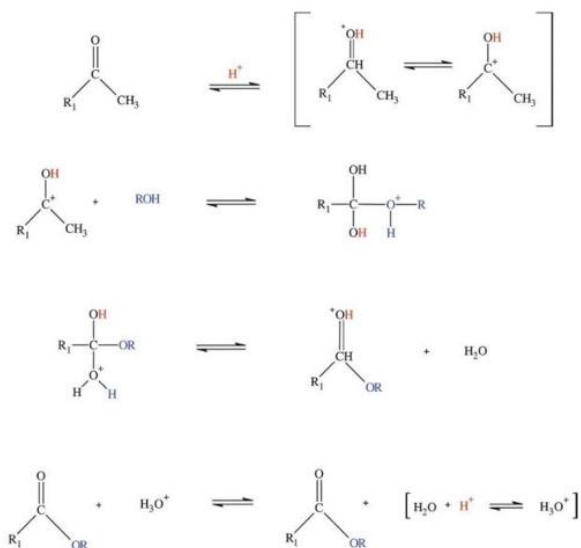
Reaksi berlangsung dalam kolom distilasi reaktif, dimana terjadi penggabungan reaksi esterifikasi dengan distilasi dalam satu kolom. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis atau menghasilkan panas. Kemudian panas yang terbentuk akan digunakan untuk menguapkan produk yang terbentuk. Reaksi pembentukan etil asetat adalah reaksi *reversible* (bolak balik). Reaksi berlangsung pada suhu 90-100°C.

2.2.2 Pemakaian Katalis

Katalis yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4) yang akan mempercepat laju reaksi dengan ion H^+ . Asam sulfat yang diumpan lewat bagian tengah kolom distilasi reaktif. Dengan menggunakan katalis asam sulfat, laju reaksi dihasilkan lebih tinggi, konversi lebih tinggi dan jumlah katalis yang diperlukan lebih sedikit.

2.2.3 Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi esterifikasi merupakan reaksi substitusi antara asil nukleofil dengan katalisator asam. Gugus karbonil dari asam karboksilat tidak cukup kuat sebagai elektrofil untuk diserang oleh alkohol. Katalisator asam akan memprotonasi gugus karbonil dan mengaktifkannya ke arah penyerangan nukleofil. Pelepasan proton akan menghasilkan hidrat dari ester, kemudian terjadi transfer proton.



Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi Esterifikasi

Keterangan:

- Pada tahap pertama, gugus karbonil akan terprotonasi oleh asam. Transfer proton dari katalis asam menuju ke atom oksigen karbonil, sehingga terjadi peningkatan elektrofisilitas pada atom karbon karbonil.
- Tahap kedua, melibatkan adisi nukleofil yakni gugus OH pada alkohol menyerang karbon karbonil yang telah terprotonasi. Sehingga ikatan C – O yang baru (ikatan ester) terbentuk.

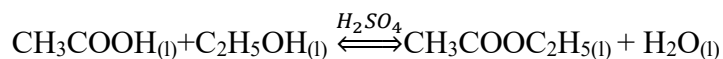
- c. Tahap ketiga adalah tahap kesetimbangan dimana terjadi penghilangan gugus H⁺ pada ikatan ester yang baru. Deprotonasi dilakukan untuk membentuk ikatan C – O yang stabil.
- d. Pada tahap ke empat, salah satu gugus hidroksil harus terprotonasi, karena kedua gugus hidroksilnya identik.
- e. Tahap ke lima, melibatkan pemutusan ikatan C – O dan lepasnya air. Agar peristiwa ini dapat terjadi, gugus hidroksil harus diprotonasi agar kemampuannya sebagai gugus bebas/lepas lebih baik.
- f. Tahap terakhir, ester yang berproton melepaskan protonnya.

2.2.4 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika ditunjukkan untuk mengetahui sifat reaksi yang terjadi, apakah reaksi menghasilkan panas (eksotermis) atau membutuhkan panas (endotermis) dan mengetahui arah reaksi apakah searah (*irreversible*) atau bolak-balik (*reversible*). Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung dengan melakukan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada kondisi:

P=1 atm dan T=298,15°K

Reaksi esterifikasi asam asetat dan etanol:



Reaksi esterifikasi asam asetat dan etanol merupakan reaksi eksotermis. Hal ini ditunjukkan pada harga ΔH reaksinya yang negatif.

Data-data ΔH°_f pada suhu 298°K sebagai berikut:

$$\Delta H^\circ_f \text{CH}_3\text{COOH} = -432,3 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = -235 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -444,5 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f \text{H}_2\text{O} = -241,8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ_f (298^\circ\text{K}) = \Delta H^\circ_f \text{produk} - \Delta H^\circ_f \text{reaktan}$$

$$= \{(-444,5) + (-241,8)\} - \{(-432,3) + (-235)\}$$

$$= -19 \text{ kJ/mol}$$

Kemudian untuk kondisi operasi pada suhu 373°K sebagai berikut:

$$\Delta H^{\circ}f = A + BT + CT^2$$

Tabel 2. 1 Data Komponen (Yaws, 2003)

Komponen	A	B	C
CH ₃ COOH	-417,91	-0,058243	0,0000335
C ₂ H ₅ OH	-217,03	-0,070417	0,0000340
CH ₃ COOC ₂ H ₅	-422,78	-0,086262	0,0000450
H ₂ O	-238,41	-0,012256	0,0000028

$$\Delta H^{\circ}f \text{ CH}_3\text{COOH} = -439,62 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}f \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = -243,28 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}f \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -454,94 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}f \text{ H}_2\text{O} = -242,98 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^{\circ}f (29^{\circ}\text{K}) = \Delta H^{\circ}f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}f \text{ reaktan}$$

$$= \{(-454,94) + (-242,98)\} - \{(-439,62) + (-243,28)\}$$

$$= -15,01 \text{ kJ/mol}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa reaksi antara asam asetat dan etanol untuk menghasilkan etil asetat bersifat eksotermis atau menghasilkan panas karena harga $\Delta H^{\circ}f$ adalah negatif. Reaksi esterifikasi adalah reaksi kesetimbangan. Hal ini dapat dilihat dari perhitungan konstanta kesetimbangan berikut:

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K \dots \text{(Persamaan 13-11. Smith Van Ness)}$$

Data-data ΔG° pada suhu 298°K sebagai berikut:

$$\Delta G^{\circ}f \text{ CH}_3\text{COOH} = -382,9 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^{\circ}f \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = -167,7 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -328,1 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f \text{H}_2\text{O} = -237,13 \text{ J/mol}$$

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ_f \text{reaksi} &= \Delta G^\circ_f \text{produk} - \Delta G^\circ_f \text{reaktan} \\ &= \{(-328,1) + (-237,13)\} - \{(-382,9) + (-167,7)\} \\ &= -14,63 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

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

$$\ln K = 0,01$$

$$K_{298} = 1,006$$

Pada suhu reaksi 373°K, harga K dapat dihitung dari persamaan Smith Van Ness 15.17 yaitu:

$$\ln \left(\frac{K_{373}}{K_{298}} \right) = - \frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\ln \left(\frac{K_{373}}{K_{298}} \right) = 0,0012$$

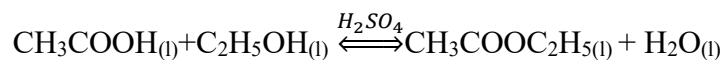
$$\frac{K_{373}}{1,006} = 1$$

$$K_{373} = 1,007$$

Dari hasil diatas adalah 1,007, maka dapat disimpulkan bahwa reaksi bersifat *reversible*. Semakin besar nilai k maka semakin banyak zat pada ruas kanan (produk) yang terbentuk (Smith, 1950).

2.2.5 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi laju reaksi kimia. Persamaan kinetika untuk reaksi *reversible* pada proses pembentukan etil asetat dengan asam asetat dan etanol dengan katalis asam sulfat. Reaksi esterifikasi sebagai berikut:



A

B

C

D

Dari hasil studi kinetika, konstanta kecepatan laju reaksi pada proses pembentukan etil asetat dengan katalis asam sulfat dapat dihitung melalui persamaan berikut (Lee et al., 2007)

$$r_1 = k_1 \cdot C_A \cdot C_E - \frac{k_1}{k_2} C_{EA} \cdot C_w$$

$$k_1 = (4,195 C_k + 0,08815) \exp^{(-6500,1/T)}$$

$$k_c = 7,588 - 0,012 T$$

Dimana:

r = kecepatan reaksi (mol/min)

k = konstanta kecepatan reaksi ($\text{mol}^{-1} \text{g}^{-1} \text{min}^{-1}$)

C_A = konsentrasi asam asetat (mol/L)

C_E = konsentrasi etanol (mol/L)

C_{EA} = konsentrasi etil asetat (mol/L)

C_w = konsentrasi air (mol/L)

T = Suhu (K)

2.2.6 Kondisi Operasi

Proses pembentukan etil asetat merupakan reaksi eksotermis yang berlangsung pada fase cair dalam reaktor *Reactive Dividing Wall Column* (RDWC) pada suhu 90-100°C dan tekanan 1 atm menggunakan katalis asam sulfat. Konversi reaksi diatas 99% dengan produk samping berupa air (Chilev & Simeonov, 2017).

Reaksi pembentukan etil asetat antara etanol dan asam asetat merupakan reaksi *reversible* (dapat balik). Sehingga pada pra-rancangan pabrik ini salah satu reaktan berlebih agar dapat menggeser kesetimbangan kearah produk. Dimana etanol lebih murah dibandingkan asam asetat sehingga untuk meningkatkan jumlah etil asetat maksimum, perlu menambahkan jumlah etanol berlebih (Chilev & Simeonov, 2017).

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Bahan baku asam asetat (CH_3COOH) yang digunakan adalah asam asetat dengan kemurnian 99,98% yang disimpan pada tangki penyimpanan (T-01) dalam fase bahan cair pada temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Bahan baku etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) yang digunakan adalah etanol dengan kemurnian 96%. Bahan baku disimpan pada tangki penyimpanan (T-03) dalam fase cair pada suhu 30°C pada tekanan 1 atm.

2.3.2 Tahap Persiapan Bahan Baku

Pada tahap ini asam asetat dengan katalis asam sulfat (T-02) akan dicampurkan terlebih dahulu di Mixer Tank (M-01). Hal ini bertujuan untuk memperluas kontak antar zat sehingga produk yang terbentuk nantinya akan optimal dan siap untuk dialirkan masuk ke *Reactive Dividing Wall Column* (RDWC) untuk proses reaksi.

2.3.3 Tahap Reaksi

Aliran dari Mixer Tank (M-01) dan etanol dari tangki penyimpanan (T-03) dialirkan ke Heater (H-01) dan (H-02) untuk menaikkan suhu sebelum masuk ke *Reactive Dividing Wall Column* (RDWC). Perbandingan mol bahan baku etanol : asam asetat yaitu 0,5 : 1. Digunakan salah satu reaktan secara berlebih bertujuan agar kesetimbangan bergeser ke arah produk sehingga konversi reaktan ke produk akan meningkat. Reaksi yang terjadi secara eksotermis. Reaksi yang terjadi eksotermis, non-isothermal, non adiabatis dengan konversi 99% dalam kondisi suhu 100°C tekanan 1 atm. Reaktor yang berupa menara distilasi reaktif terdiri dari tiga bagian, yaitu *rectifying section*, *reaction section*, dan *stripping section*. Dalam proses ini terdapat dua produk, yaitu produk atas dan bawah. Produk atas terdiri dari etil asetat, etanol dan air yang akan dialirkan ke kondensor (CD-01) untuk diubah fasenya dari gas menjadi cair kemudian dialirkan ke *Decanter* (DC). Sedangkan produk bawah terdiri dari air, asam sulfat, dan asam asetat yang akan dialirkan ke *Reboiler* yang berada di bawah RDWC. Pada *Reboiler* air akan di steam lagi untuk menjadi pemanas pada RDWC. Sedangkan asam asetat dan asam sulfat akan di *recycle* atau dialirkan kembali ke Mixer Tank (M-01).

2.3.4 Tahap Pemurnian Produk

Produk atas akan dialirkan ke *Decanter* (DC-01) untuk memisahkan air, etanol, dan etil asetat berdasarkan berat jenis. Arus keluar dari *Decanter* berupa 2 fase yaitu *light component* (fase ringan) dan *heavy component* (fase berat). Arus fase ringan

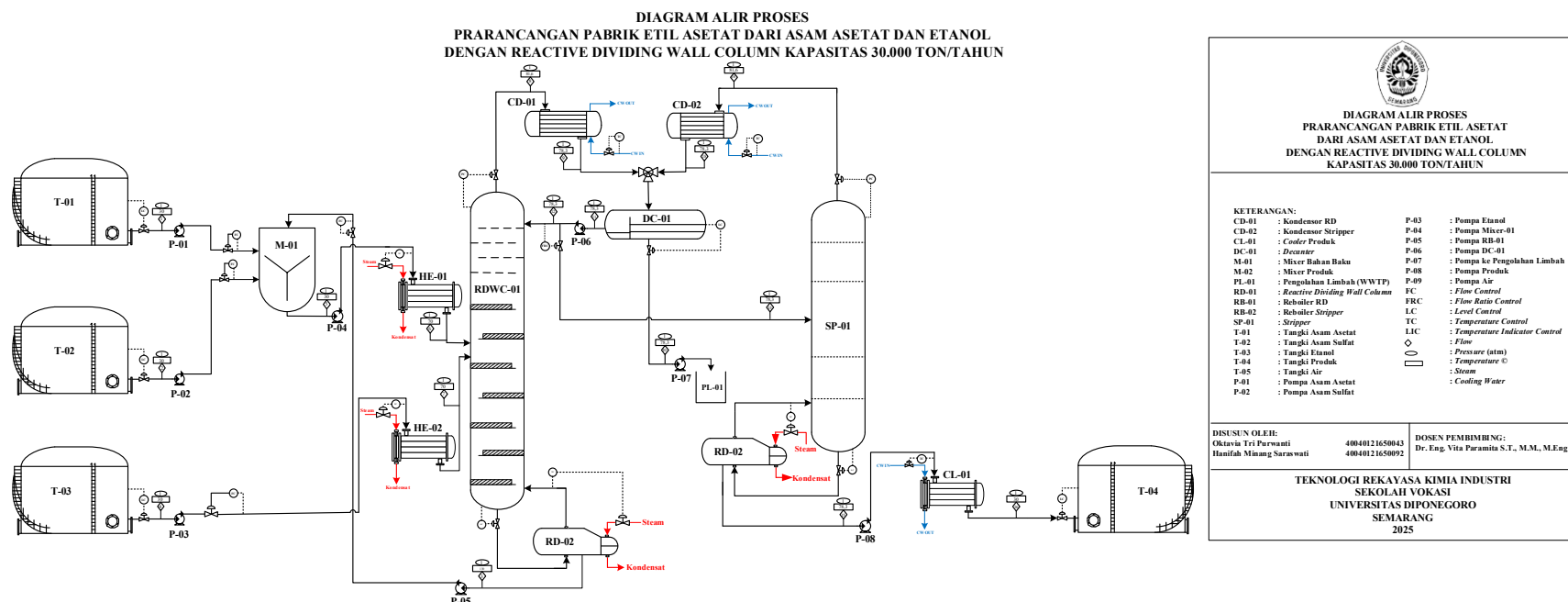
keluar sebagai hasil atas dan arus berat keluar sebagai hasil bawah. Arus ringan yang dipompa sebagai *reflux* menuju reaktor (RDWC-01) dan sebagian lagi diumpankan ke *Stripping Column* (SP-01). Sedangkan arus berat yang mengandung air dialirkan menuju pengolahan limbah.

Di dalam *Stripping Column* (SP-01) etil asetat dimurnikan lebih lanjut dari komponen azeotrop sebagai pengotor. Hasil atas *Stripping Column* (SP-01) dikondensasikan dalam kondensor (CD-02), kemudian diumpankan lagi dalam *Decanter* (DC-01). Sedangkan hasil bawah *Stripping Column* (SP-01) adalah etil asetat dengan kemurnian 99,8 % berat dan air 0,2 % berat yang akan turun menuju *Reboiler* (RD-02).

2.3.5 Tahap Pemurnian Produk

Produk etil asetat dari produk bawah *Stripper* (SP-01) akan dialirkan menuju *Cooler* untuk diturunkan suhunya hingga 30°C. Produk etil asetat yang telah diturunkan suhunya akan dialirkan ke Tangki Penyimpanan (T-04) dengan bantuan pompa dan tekanannya diatur oleh *pressure control* bertekanan 1 atm.

2.4 Diagram Alir

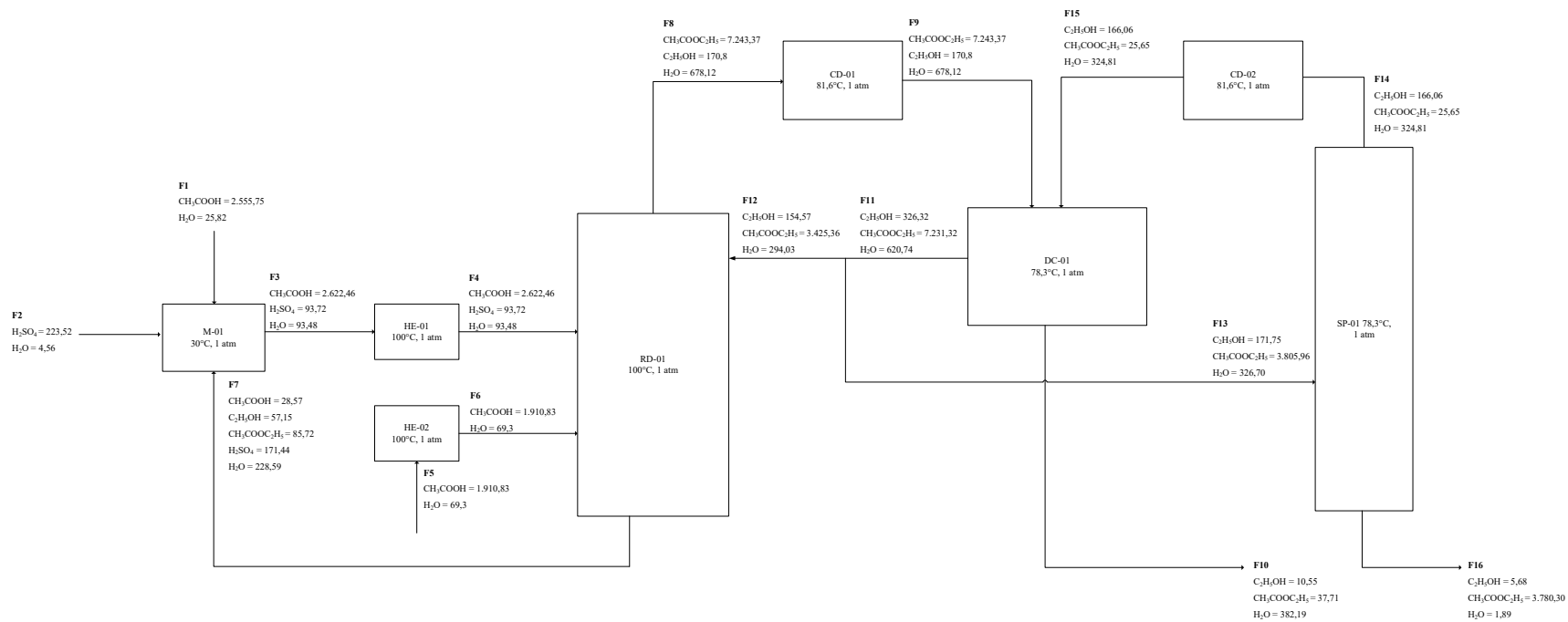


Gambar 2. 2 Diagram Alir Proses

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

2.5.1 Neraca Massa

2.5.1.1 Diagram Alir Neraca Massa



Gambar 2. 3 Diagram Alir Neraca Massa

a. Neraca Massa di Sekitar Mixer

Input = Output

$F1 + F2 + F7 = F3$

Tabel 2. 2 Neraca Massa di Sekitar Mixer

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)
	F1	F2	F7	F3
CH ₃ COOH	2.555,75		28,57	28,57
C ₂ H ₅ OH			57,15	57,15
CH ₃ COOC ₂ H ₅			85,72	2.707,81
H ₂ SO ₄		223,52	171,44	265,16
H ₂ O	25,82	4,56	228,59	322,07
Sub Total	2.581,57	228,09	571,47	3.381,13
Total		3.381,13		3.381,13

b. Neraca Massa di Sekitar Heater-01

Input = Output

$F3 = F4$

Tabel 2. 3 Tabel Neraca Massa di Sekitar Heater-01

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	F3	F4
CH ₃ COOH	2.622,46	2.622,46
H ₂ SO ₄	93,72	93,72
H ₂ O	93,48	93,48
Sub Total	2.809,66	2.809,66
Total	2.809,66	2.809,66

c. Neraca Massa di Sekitar Heater-02

Input = Output

$F5 = F6$

Tabel 2. 4 Tabel Neraca Massa di Sekitar Heater-02

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	F5	F6
CH ₃ COOH	1.910,83	1.910,83
H ₂ O	69,3	69,3
Sub Total	1.980,14	1.980,14
Total	1.980,14	1.980,14

d. Neraca Massa di Sekitar *Reactive Distillation Wall Column*

Input = Output

$$F4 + F6 + F12 = F8 + F7$$

Tabel 2. 5 Neraca Massa di sekitar *Reactive Distillation Wall Column*

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)	
	F4	F6	F12	F8	F7
CH ₃ COOH	2.622,46				171,44
C ₂ H ₅ OH		1.910,83	154,57	170,8	57,15
CH ₃ COOC ₂ H ₅			3.425,36	7.243,37	28,57
H ₂ SO ₄	93,72				228,59
H ₂ O	93,48	69,30	294,03	678,12	85,72
Sub Total	2.809,66	1.980,14	3.873,97	8.092,29	571,47
Total		8.663,76		8.663,76	

e. Neraca Massa di sekitar *Condensor-01*

Input = Output

$$F8 = F9$$

Tabel 2. 6 Neraca Massa di Sekitar *Condensor-01*

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	F8	F9
CH ₃ COOC ₂ H ₅	7.243,37	7.243,37
C ₂ H ₅ OH	170,8	170,8
H ₂ O	678,12	678,12
Sub Total	8.092,29	8.092,29
Total	8.092,29	8.092,29

f. Neraca Massa di Sekitar *Condensor-02*

Input = Output

$$F14 = F15$$

Tabel 2. 7 Neraca Massa di Sekitar *Condensor-02*

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
	F14	F15
CH ₃ COOC ₂ H ₅	25,65	25,65
C ₂ H ₅ OH	166,06	166,06
H ₂ O	324,81	324,81
Sub Total	516,53	516,53
Total	516,53	516,53

g. Neraca Massa di sekitar *Decanter*

Input = Output

F9 + F15 = F11 + F10

Tabel 2. 8 Neraca Massa di sekitar *Decanter*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	F9	F15	F11	F10
CH ₃ COOH				
C ₂ H ₅ OH	170,80	166,06	326,32	10,55
CH ₃ COOC ₂ H ₅	7.243,37	25,65	7.231,32	37,71
H ₂ SO ₄				
H ₂ O	678,12	324,81	620,74	382,19
Sub Total	8.092,29	516,53	8.178,37	430,44
Total	8.608,82		8.608,82	

h. Neraca Massa di sekitar *Stripping Column*

Input = Output

F13 = F14 + F16

Tabel 2. 9 Neraca Massa di sekitar *Stripping Column*

Komponen	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)	
	F13	F14	F16	
C ₂ H ₅ OH	171,75	166,06	5,68	
CH ₃ COOC ₂ H ₅	3.805,96	25,65	3.780,30	
H ₂ O	326,70	324,81	1,89	
Sub Total	4.304,41	516,53	3.787,88	
Total	4.304,41	4.304,41		

Neraca Massa Overall

Tabel 2. 10 Neraca Massa Overall

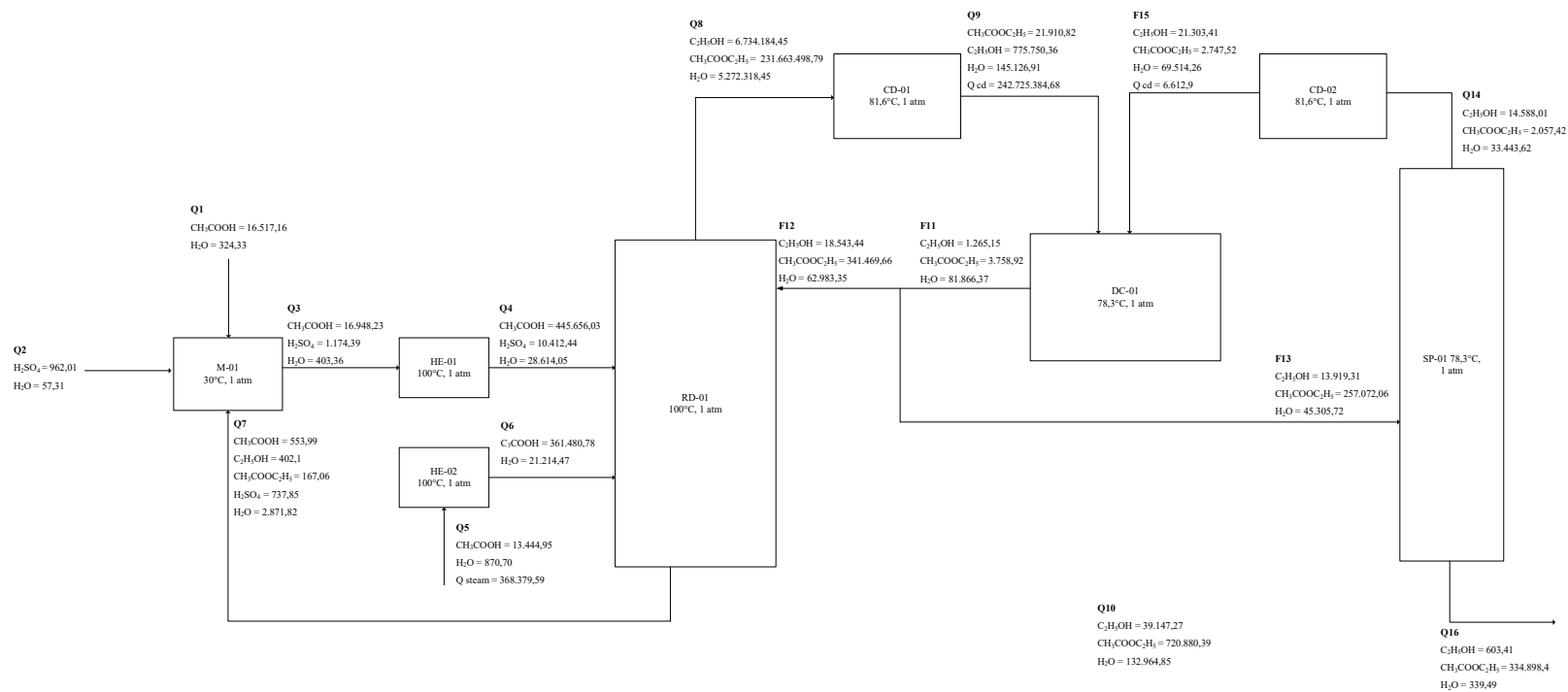
Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Mixer		
CH ₃ COOH	2.555,75	
H ₂ SO ₄	223,52	
H ₂ O	30,38	
Heater-02		
C ₂ H ₅ OH	1.910,83	

H ₂ O	69,3	
<i>Decanter</i>		
C ₂ H ₅ OH		10,55
CH ₃ COOC ₂ H ₅		37,71
H ₂ O		382,19
<i>Stripping Column</i>		
C ₂ H ₅ OH		5,68
CH ₃ COOC ₂ H ₅		3.780,30
H ₂ O		1,89
Total	4.218,32	4.218,32

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Produk} &= \frac{\text{Produk}}{\text{Bahan Baku}} \times 100\% \\
 &= \frac{3.787,88}{2.581,57 + 228,09 + 1.980,14} \times 100\% \\
 &= 79,08\%
 \end{aligned}$$

2.5.2 Neraca Panas

2.5.2.1 Diagram Alir Neraca Panas



Gambar 2. 4 Diagram Alir Neraca Panas

a. Neraca Panas di Sekitar Mixer

Neraca Panas di sekitar Mixer

Input = Output

$Q1 + Q2 + Q7 = Q3$

Tabel 2. 11 Neraca Panas di sekitar Mixer

Komponen	Q Input (J)			Q Output (J)
	Arus 1	Arus 2	Arus 7	Arus 3
CH ₃ COOH	16.517,16		553,99	16.948,23
C ₂ H ₅ OH			400,39	
CH ₃ COOC ₂ H ₅			166,36	
H ₂ SO ₄		962,01	1.138,08	403,36
H ₂ O	324,33	57,31	2.859,62	1.174,39
Q loss				4.067,65
Sub Total	16.841,49	1.019,32	4.732,83	22.593,63
Total		22.593,63		22.593,63

b. Neraca Panas di Sekitar Heater-01

Input = Output

$Q3 = Q4$

Tabel 2. 12 Neraca Panas di sekitar Heater-01

Komponen	Q Input (J)	Q Output (J)
	Arus 3	Arus 4
CH ₃ COOH	16.948,23	253.908,02
H ₂ SO ₄	403,36	5.998,9
H ₂ O	1.174,39	16.756,03
Q steam	258.136,97	
Sub Total	276.662,95	276.662,95
Total	276.662,95	276.662,95

c. Neraca Panas di Sekitar Heater-02

Input = Output

$Q5 = Q6$

Tabel 2. 13 Neraca Panas di sekitar Heater-02

Komponen	Q Input (J)	Q Output (J)
	Arus 5	Arus 6

C ₂ H ₅ OH	13.444,95	202.931,61
H ₂ O	870,70	12.422,93
Q steam	201.038,89	
Sub Total	215.354,54	215.354,54
Total	215.354,54	215.354,54

d. Neraca Panas di Sekitar *Reactive Distillation Wall Column*

$$\begin{aligned} \text{Input} &= \text{Output} \\ Q4 + Q6 + Q11 &= Q7 + Q8 \end{aligned}$$

Tabel 2. 14 Neraca Panas di Sekitar *Reactive Distillation Wall Column*

Komponen	Q Input (J)			Q Output (J)		
	Q4	Q6	Q11	Q8	Q8'	Q7
CH ₃ CO	445.65					44.799
OH	6,03					,65
C ₂ H ₅ OH		361.48	19.829	15.045	6.719.139	9.708,
		0,78	,07	,16	,29	48
CH ₃ CO			366.84	582.50	231.080.9	2.662,
OC ₂ H ₅			9,27	0,19	98,6	99
H ₂ SO ₄	10.412					8.229,
	,44					45
H ₂ O	28.614	21.214	62.927	70.013	5.202.305	66.989
	,05	,47	,63	,01	,44	,6
Q reaksi		20.035				
Q steam		242.346.453,37				
Sub	484.68	382.69	449.60	667.55	243.002.4	132.39
Total	2,51	5,24	5,98	8,37	43,33	0,18
Total	243.802.391,88			243.802.391,88		

e. Neraca Panas di Sekitar *Condensor-01*

$$\begin{aligned} \text{Input} &= \text{Output} \\ Q8 &= Q9 \end{aligned}$$

Tabel 2. 15 Neraca Panas di sekitar *Condensor-01*

Komponen	Q Input (J)		Q Output (J)
	Arus 8	Arus 8'	Arus 9
C ₂ H ₅ OH	15.003,58	6.719.139,29	21.910,82
CH ₃ COOC ₂ H ₅	580.904,30	231.080.998,6	775.750,36
H ₂ O	69.821,20	5.202.305,44	145.126,91
Q cd			242.725.384,68
Sub Total	665.729,08	243.002.443,33	243.668.172,77
Total	243.668.172,77		243.668.172,77

f. Neraca Panas di Sekitar *Condensor-02*

Input = Output

Q14 = Q15

Tabel 2. 16 Neraca Panas di sekitar *Condensor-02*

Komponen	Q Input (J)		Q Output (J)
	Arus 14	Arus 14'	Arus 15
C ₂ H ₅ OH	14.588,01	6.532.872,83	21.303,41
CH ₃ COOC ₂ H ₅	2.057,42	818.433,04	2.747,52
H ₂ O	33.443,62	2.491.849,49	69.514,26
Q cd			9.799.679,21
Sub Total	50.089,05	9.843.155,36	9.893.244,41
Total	9.893.244,41		9.893.244,41

g. Neraca Panas di Sekitar *Decanter*

Input = Output

Q14 = Q15

Tabel 2. 17 Neraca Panas di sekitar *Decanter*

Komponen	Q Input (J)		Q Output (J)	
	Arus 9	Arus 15	Arus 10	Arus 11
C ₂ H ₅ OH	20.490,22	19.922,20	39.147,27	1.265,15
CH ₃ COOC ₂ H ₅	722.081,87	2.557,44	720.880,39	3.758,92
H ₂ O	145.255,41	69.575,81	132.964,85	81.866,37
Sub Total	887.827,50	92.055,45	892.992,51	86.890,44
Total	979.882,95		979.882,95	

h. Neraca Panas di Sekitar *Stripping Column*

Input = Output

$$Q_{13} = Q_{14} + Q_{16}$$

Tabel 2. 18 Neraca Panas di sekitar *Stripping Column*

Komponen	Q Input (J)	Q Output (J)	
	Arus 13	Arus 14	Arus 16
C ₂ H ₅ OH	13.919,31	14.588,01	603,41
CH ₃ COOC ₂ H ₅	257.072,06	2.057,42	334.898,4
H ₂ O	45.305,72	33.443,62	339,49
Q Steam	69.633,26		
Sub Total	385.930,35	50.089,05	335.841,3
Total	385.930,35	385.930,35	

i. Neraca Panas di Sekitar *Cooler*

$$\text{Input} = \text{Output}$$

$$Q_{16} = Q_{17}$$

Tabel 2. 19 Neraca Panas di sekitar *Cooler*

Komponen	Q Input (J)	Q Output (J)
	Arus 5	Arus 6
C ₂ H ₅ OH	603,41	39,98
CH ₃ COOC ₂ H ₅	334.898,4	22.102,83
H ₂ O	339,49	23,79
Q cd		313.674,7
Sub Total	335.841,3	335.841,3
Total	335.841,3	335.841,3

Neraca Panas Overall

Tabel 2. 20 Neraca Panas Overall

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Mixer		
CH ₃ COOC ₂ H ₅	167,06	
C ₂ H ₅ OH	402,10	
CH ₃ COOH	17.071,15	16.948,23
H ₂ SO ₄	1.699,86	403,36
H ₂ O	3.253,46	1.174,39
Heater-01		
CH ₃ COOH	16.948,23	253.908,02
H ₂ SO ₄	403,36	5.998,9

H ₂ O	1.174,39	16.756,03
Q steam	258.136,97	
Heater-02		
C ₂ H ₅ OH	13.444,95	202.931,61
H ₂ O	870,70	12.422,93
Q steam	201.038,89	
RDWC		
CH ₃ COOC ₂ H ₅	366.849,27	231.666.161,78
C ₂ H ₅ OH	381.309,85	6.743.892,93
CH ₃ COOH	445.656,03	44.799,65
H ₂ SO ₄	10.412,44	8.229,45
H ₂ O	112.756,15	5.339.308,06
Q reaksi	20.035	
Q steam	242.465.373,14	
Condensor-01		
CH ₃ COOC ₂ H ₅	231.661.902,9	775.750,36
C ₂ H ₅ OH	6.734.143,23	21.910,82
H ₂ O	5.272.126,64	145.126,91
Q cd		242.725.384,68
Condensor-02		
C ₂ H ₅ OH	6.547.460,83	21.303,41
CH ₃ COOH	820.490,46	2.747,52
H ₂ SO ₄	2.525.293,11	69.514,26
Q cd		9.799.679,21
Decanter		
C ₂ H ₅ OH	40.412,42	40.412,42
CH ₃ COOC ₂ H ₅	724.639,31	724.639,31
H ₂ O	214.831,22	214.831,22
Stripping Column		
C ₂ H ₅ OH	13.919,31	336.955,82
CH ₃ COOC ₂ H ₅	257.072,06	15.191,42
H ₂ O	45.305,72	33.783,11
Q steam	69.633,26	
Cooler		
C ₂ H ₅ OH	603,41	39,98
CH ₃ COOC ₂ H ₅	334.898,4	22.102,38
H ₂ O	339,49	23,79
Q cd		313.674,7
Q loss		4.067,65
Total	499.580.074,78	499.580.074,78

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 4.067,65 \text{ J} \\
 Q_{\text{loss}} &= \frac{Q_{\text{loss}}}{\text{Total } Q_{\text{Input}}} \times 100\% \\
 &= 0,0008\% \\
 \text{Efisiensi Panas} &= \frac{Q_{\text{loss}} - \text{Total Output}}{\text{Total Input}} \times 100\% \\
 &= 100\%
 \end{aligned}$$

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik (*layout*) adalah cara pengaturan fasilitas-fasilitas pabrik guna menunjang kelancaran proses produksi. Fasilitas pabrik dalam hal ini adalah mesin/peralatan dan departemen yang ada di dalam pabrik. Tujuan utama dari layout pabrik adalah mengatur area kerja dan segala fasilitas produksi yang paling ekonomis untuk produksi aman dan nyaman sehingga akan dapat menaikkan moral kerja dan performance karyawan.

Secara umum tujuan perencanaan tata letak adalah untuk mendapatkan kombinasi yang optimal antara fasilitas-fasilitas produksi sehingga proses produksi akan berjalan lancar dan para karyawan akan selalu merasa nyaman dengan pekerjaannya.

Pokok tujuan utama yang akan dicapai dengan perencanaan tata letak yang baik adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi dari proses produksi
2. Mendapatkan kepuasan dan kemauan kerja bagi karyawan
3. Mendapatkan penggunaan luas lantai/ruang yang efektif
4. Menghindarkan pengeluaran biaya kapital yang tidak begitu penting

Secara garis besar, tata letak dibagi kedalam beberapa bagian utama, yaitu:

- a. Daerah perkantoran digunakan untuk mobilitas keperluan administrasi perusahaan
- b. Daerah proses sebagai lokasi peletakan alat dan berjalannya proses produksi
- c. Daerah penyimpanan umum, sebagai lokasi menyimpan bahan baku dan produk
- d. Daerah laboratorium dan ruang kontrol, sebagai pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual.

Laboratorium dan kontrol ini diletakkan dekat dengan daerah proses apabila terjadi sesuatu masalah diserah proses agar cepet teratasi

- e. Daerah parkir dan loading bahan baku sebagai lokasi pabrik karyawan dan lokasi mobilitas truk bahan baku ke gudang bahan baku
- f. Daerah utilitas merupakan daerah penyedia bahan pendukung proses, seperti unit penyediaan air dan listrik.

Dalam tata letak pabrik perlu diperhatikan hal-hal berikut:

1. Luas daerah yang tersedia

Pembatas kemampuan penyediaan area adalah faktor harga tanah. Pemakaian tempat selalu disesuaikan dengan ketersediaan area. Apabila harga tanah terlalu tinggi, maka diperlukan efisiensi dalam pemakaian ruangan untuk menghemat tempat.

2. Keamanan

Bangunan perkantoran letaknya berjauhan dengan proses. Hal ini didasarkan pada faktor keamanan, yaitu mencegah akibat buruk apabila terjadi ledakan, kebakaran, dan gas beracun.

3. Instalasi dan utilitas

Pemasangan dan distribusi pipa yang baik dari gas, udara, steam, dan listrik akan dapat memberi kemudahan pengerjaan dan perawatannya (maintenance), sehingga kelancaran operasi dapat terjamin.

4. Kemungkinan perluasan pabrik

Perluasan pabrik ini harus sudah masuk dalam perhitungan sejak awal agar masalah kebutuhan tempat tidak muncul di masa yang akan datang. Persiapan yang harus diperhitungkan adalah: sejumlah area khusus yang sudah disediakan untuk perluasan pabrik, penambahan peralatan saat perluasan kapasitas pabrik, maupun tujuan dari perluasan pabrik ini (hanya produksi produk yang sama atau menambah jenis produk yang lain).

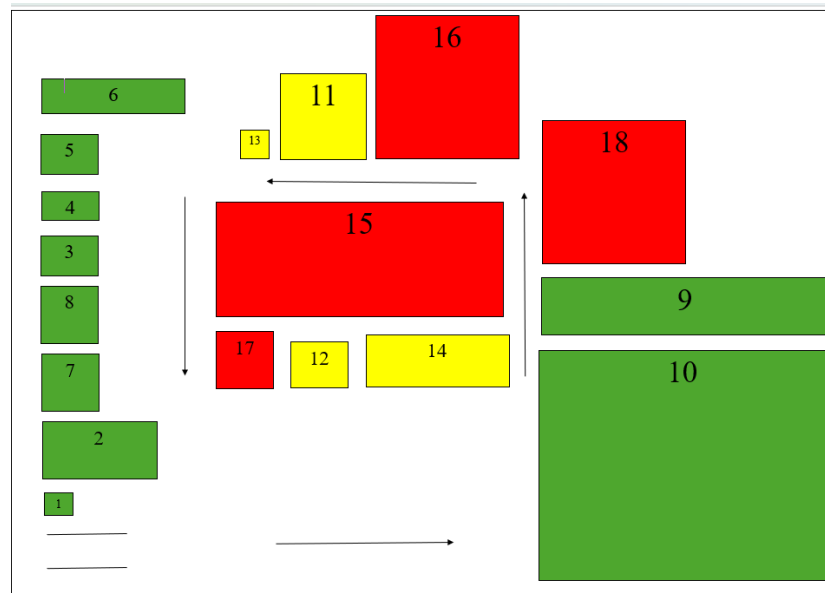
5. Transportasi

Tata letak pabrik harus memperhatikan kelancaran distribusi bahan baku, proses, maupun produk.

Secara garis besar tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama yaitu:

- a. Zona Hijau dan Kuning (administrasi/ perkantoran, daerah umum, laboratorium, dan ruang kontrol)
 - Daerah administrasi merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik. Sedangkan daerah umum merupakan pusat kegiatan non-pabrik, seperti masjid, kantin, poliklinik, dan lain-lain.
 - Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produksi yang akan dijual.
- b. Zona Merah (Daerah proses, utilitas, dan bengkel)
 - Daerah proses merupakan daerah di mana reaksi utama berlangsung, biasanya tergolong area dengan risiko tinggi, oleh karena itu penempatannya perlu mendapat perhatian khusus.
 - Daerah utilitas merupakan daerah di mana kegiatan penyediaan air, media pendingin dan tenaga listrik dipusatkan.

2.6.2 Tata Letak Pabrik



Gambar 2. 5 Tata Letak Pabrik

Keterangan:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Pos Keamanan | 10. Daerah Perluasan |
| 2. Tempat Parkir | 11. Laboratorium |
| 3. Perpustakaan | 12. Ruang Teknisi |
| 4. Musholla | 13. Ruang Kontrol |
| 5. Poliklinik | 14. Unit Packing |
| 6. Kantin dan Koperasi | 15. Ruang Proses |
| 7. Kantor Logistik | 16. Unit Utilitas |
| 8. Kantor Produksi | 17. K3 & Fire Safety |
| 9. Unit Pengolahan Air | 18. Pembangkit Listrik |

Perincian penggunaan tanah sebagai berikut:

Tabel 2. 21 Perincian Penggunaan Tanah Bangunan Indoor

No.	Bangunan Indoor	Luas (m ²)
1.	Kantor Logistik	100
2.	Kantor Produksi	100
3.	Perpustakaan	70
4.	Musholla	50
5.	Poliklinik	70
6.	Ruang kontrol	30
7.	Ruang Teknisi	80
8.	K3 & Fire Safety	100
9.	Kantin dan Koperasi	150
10.	Laboratorium	225
11.	Pos Keamanan	20
Total		995

Tabel 2. 22 Perincian Pembangunan Tanah Bangunan Outdoor

No.	Bangunan Outdoor	Luas (m ²)
1.	Tempat Penyimpanan Produk	225
2.	Pembangkit Listrik	625
3.	Tempat Parkir	200
4.	Ruang Proses	1000
5.	Unit Utilitas	625
6.	Unit Pengolahan Air	500
7.	Jalan dan taman	2000
8.	Daerah Perluasan	2000
Total		6325

Dalam perancangan layout peralatan proses ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Aliran Proses Bahan Baku dan Produk

Penentuan aliran bahan baku yang tepat akan menunjang kelancaran dan keamanan produksi, serta memberikan keuntungan nilai ekonomi yang tinggi. Semakin dekat penempatan bahan baku dan produk dengan jalur transportasi, akan menambah efisiensi pengeluaran dan yang dikeluarkan. Perlu diperhatikan elevansi pipa, untuk pipa di atas tanah sebaiknya diberikan ketinggian 3 meter atau lebih, sedangkan untuk pipa pada permukaan perlu diatur posisinya supaya tidak mengganggu lalu lintas pekerja.

2. Aliran udara

Aliran udara di dalam dan disekitar area proses perlu diperhatikan supaya lancar. Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya stagnasi udara pada suatu tempat yang mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang berbahaya yang menimbulkan ancaman bagi para pekerja. Disamping itu juga perlu diperhatikan arah hembusan angin.

3. Cahaya

Penerangan di seluruh pabrik harus memadai serta tempat yang sekiranya beresiko tinggi terjadi bahaya juga harus diberikan penerangan tambahan.

4. Lalu lintas manusia

Dalam perancangan layout, perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat, tepat dan mudah. Apabila ada gangguan alat proses dapat segera diperbaiki. Selain itu, keamanan pekerja selama menjalankan tugasnya perlu diperhatikan. Dalam menempatkan alat-alat proses pada pabrik diusahakan agar dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

5. Jarak antar proses

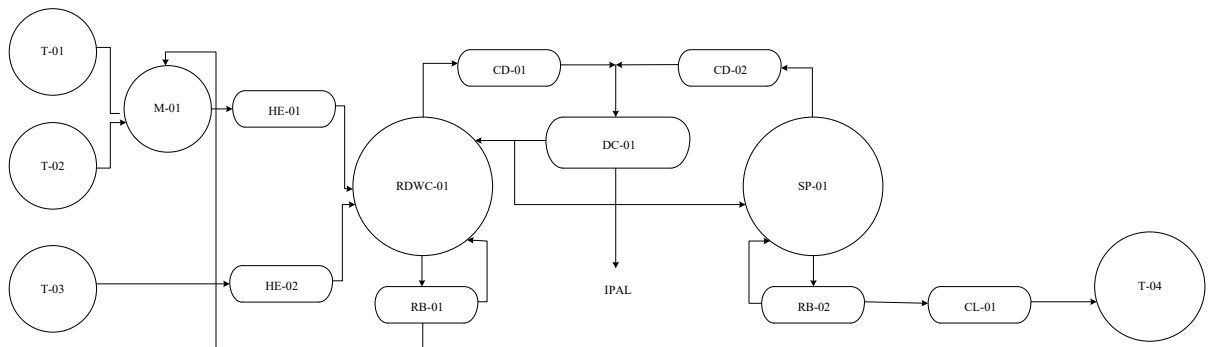
Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan operasi yang tinggi, sebaiknya dipisahkan dari alat-alat proses lainnya sehingga tidak membahayakan alat-alat lain apabila timbul ledakan atau kebakaran pada alat tersebut.

6. Operasional Alat

Alat dengan kontrol khusus (valve, sampling location, instrument) harus diletakkan dekat dengan control room dan diawas operator. Kebutuhan ruang alat juga perlu diperhatikan.

7. Pertimbangan ekonomi

Dalam menempatkan alat-alat proses pada pabrik diusahakan agar dapat menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik berguna untuk menguntungkan dari segi ekonomi.



Gambar 2. 6 *Layout* Peralatan Pabrik Etil Asetat

Keterangan Gambar:

T-01	: Tangki asam asetat	CD-01	: <i>Condensor</i>
T-02	: Tangki asam sulfat	CD-02	: <i>Condensor</i>
T-03	: Tangki etanol	DC-01	: <i>Decanter</i>
T-04	: Tangki etil asetat	SP-01	: <i>Stripping Column</i>
HE-01	: <i>Heat Exchanger</i>	CL-01	: <i>Cooler</i>
HE-02	: <i>Heat Exchanger</i>	RB-01	: <i>Reboiler</i>
RDWC-01	: <i>Reactive Dividing Wall Column</i>	RB-02	: <i>Reboiler</i>