

BAB II

DESKRIPSI PROSES

II.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

II.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

1. Metil Formiat (HCOOCH_3)

Sifat Fisis:

| | |
|---------------|----------------|
| Wujud | : cair |
| Warna | : tak berwarna |
| Berat molekul | : 60,05 g/gmol |
| Densitas | : 0,97 g/mL |
| Titik leleh | : -99 °C |
| Titik didih | : 32-34 °C |
| Flash point | : -16 °C |
| Kemurnian | : 98% |

(Jiangsu Juming Chemical Process Technology Co., Ltd.)

2. Air (H_2O)

Sifat Fisis:

| | |
|---------------|-------------|
| Berat molekul | : 18 g/gmol |
| Titik leleh | : 0 °C |
| Titik didih | : 100 °C |
| Suhu kritis | : 374,3 °C |
| Densitas | : 0,99 g/mL |

(Perry, 1997)

3. Isopropil Eter ($\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$)

Sifat Fisis:

| | |
|---------------|-----------------|
| Wujud | : cair |
| Warna | : tak berwarna |
| Berat molekul | : 102,17 g/gmol |
| Densitas | : 0,73 g/mL |

Titik didih : 68,4 °C
Kemurnian : 99%

(Shijiazhuang Xinlongwei Chemical Co., Ltd.)

II.1.2 Spesifikasi Produk

1. Asam Formiat (HCOOH)

Sifat Fisis:

Wujud : cair
Warna : tak berwarna
Berat molekul : 46,02 g/gmol
Titik leleh : 8,4 °C
Titik didih : 100,8 °C
Densitas : 1,22
Flash point : 69 °C
Kemurnian : minimum 85%

(Linyi Kemele Co., Ltd.)

2. Metanol (CH₃OH)

Sifat Fisis:

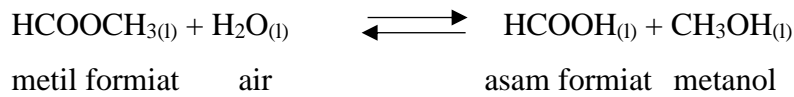
Wujud : cair
Warna : tak berwarna
Berat molekul : 32 g/gmol
Densitas : 0,79 g/cm³
Titik leleh : -97 °C
Titik didih : 64,7 °C
Kemurnian : minimum 99,9%

(Henan Juxing Chemical Co., Ltd.)

II.2 Konsep Proses

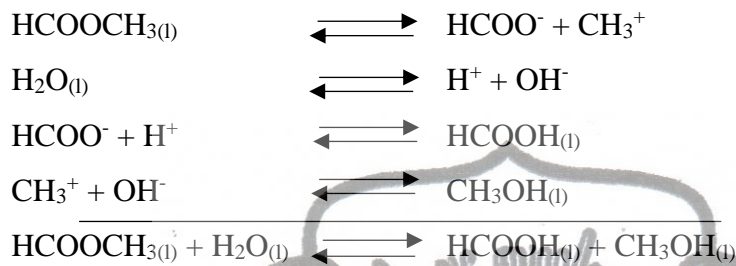
II.2.1 Dasar Reaksi

Pembuatan asam formiat dari metil formiat dan air dalam suasana asam termasuk reaksi hidrolisis senyawa ester dengan hasil samping metanol. Reaksi yang terjadi, yaitu:



II.2.2 Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi yang terjadi, yaitu:



(Mc. Ketta, 1975)

II.2.3 Fase Reaksi

Reaksi berlangsung dalam fase cair dan bersifat endotermis, hal ini dapat dilihat pada nilai $\Delta H_R = +16,3 \text{ kJ/mol}$. Karena reaksi berlangsung pada fase cair, reaktor yang dipilih adalah reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) (Ullmann, 2002).

II.2.4 Kondisi Operasi

Kondisi operasi pada proses pembuatan asam formiat dari metil formiat dan air dijalankan pada suhu 80°C dan tekanan 3 atm. Pada kondisi ini fasenya cair sehingga akan mempermudah dalam pengendalian reaksinya. Reaksi ini adalah *reversible* (dapat balik) (Mc. Ketta, 1975). Agar reaksi berjalan ke arah kanan, maka salah satu reaktan dibuat berlebih yaitu air karena secara ekonomis air lebih murah dibanding metil formiat. Perbandingan mol reaktan air dan metil formiat masuk reaktor adalah 6:1. Pada kondisi ini, konversi yang dicapai yaitu 60% (Ullmann, 2002).

II.2.5 Tinjauan Termodinamika

Untuk menentukan sifat reaksi (eksotermis/endotermis) dan arah reaksi (*reversible/irreversible*), maka perlu perhitungan dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada 1 atm dan 25°C dari reaktan dan produk.

Tabel II-1 Harga ΔH_f°

(Perry, 1997)

| Komponen | ΔH_f° |
|---------------------|--------------------|
| HCOOCH ₃ | -353,60 |
| CH ₃ OH | -200,94 |
| H ₂ O | -241,95 |
| HCOOH | -378,60 |

Pada proses pembentukan asam formiat terjadi reaksi berikut:



$$\Delta H_{R298K} = \sum \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \sum \Delta H_f^\circ \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_{R298K} = ((H_f^\circ \text{HCOOH} + H_f^\circ \text{CH}_3\text{OH}) - (H_f^\circ \text{HCOOCH}_3 + H_f^\circ \text{H}_2\text{O}))$$

$$\Delta H_{R298K} = (-378,60 \text{ kJ/mol} + (-200,94 \text{ kJ/mol})) - (-353,60 \text{ kJ/mol} + (-241,95 \text{ kJ/mol}))$$

$$\Delta H_{R298K} = 16,021 \text{ kJ/mol}$$

Data yang diperoleh harga ΔH_{R298K} sebesar 16,3 kJ/mol

(Ullmann, 2002)

Maka diambil harga ΔH_{R298K} sebesar 16,3 kJ/mol. Karena ΔH_{R298K} positif maka reaksi bersifat endotermis.

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

$$= \sum (\Delta G^\circ \text{HCOOH} + \Delta G^\circ \text{CH}_3\text{OH}) - \sum (\Delta G^\circ \text{HCOOCH}_3 + \Delta G^\circ \text{H}_2\text{O})$$

$$= (-346,02 - 166,52) - (-237,19 - 299,28) \text{ J/mol}$$

$$= 23,93 \text{ J/mol}$$

$$\text{Dan } \Delta G^\circ = -RT \ln K$$

$$\frac{23,93 \text{ J}}{\text{mol}} = \frac{-8,314 \text{ J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \times 298 \text{ K} \times \ln K$$

$$\ln K = -9,66 \times 10^{-3}$$

$$K_{298K} = 0,99$$

Harga K mendekati satu, artinya konstanta laju reaksi ke kanan sama dengan konstanta laju reaksi ke kiri. diinginkan reaksi berjalan ke arah pembentukan produk (asam formiat dan metanol) sehingga perlu meggeser reaksi ke kanan. Hal

ini dilakukan dengan mengkondisikan salah satu reaktan dalam kondisi *excess*. Air diilih sebagai *excess reactant* karena harganya yang murah dan mudah diperoleh. Sehingga harga K pada suhu operasi 80 °C (353 K) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

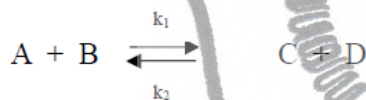
$$\ln \left(\frac{K}{K_{298K}} \right) = \frac{-\Delta H_{R298}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{Ref}} \right) \quad (\text{Smith, Van Ness dan Abbot, 2001})$$

$$\ln \left(\frac{K}{0,99} \right) = \frac{-16.300 \frac{\text{J}}{\text{mol}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}} \times \left(\frac{1}{353 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

$$K_{353K} = 2,75$$

II.2.6 Tinjauan Kinetika

Reaksi hidrolisis metil formiat menjadi asam formiat dan metanol yang terjadi sebagai berikut:



(A = metil formiat, B = air, C = asam formiat, D = metanol)

Dengan kondisi operasi suhu 80°C dan tekanan 3 atm (Mc. Ketta, 1975).

Data kinetika dari data percobaan sebagai berikut:

Tabel II-2 Hasil percobaan menentukan konstanta kecepatan reaksi dan Ea

| T (°C) | k (kg/mol.min) | Ea (kJ/mol) |
|--------|----------------|-------------|
| 95 | 0,22 | 81,4 |

(Jogunola, 2011)

Konversi nilai k

$$\rho = 1,1433 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

$$k = \frac{0,22 \frac{\text{kg}}{\text{mol} \cdot \text{min}}}{1,1433 \frac{\text{kg}}{\text{L}}}$$

$$k = 0,1924 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{min}} \times \frac{1}{60 \text{ s}}$$

$$k = 0,0032 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

Nilai k pada suhu 80 °C, dihitung dengan persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{\frac{-E_a}{RT}}$$

Atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_a = -RT \ln\left(\frac{k}{A}\right)$$

$$E_a = -RT \ln\left(\frac{k}{A}\right), \text{ untuk suhu } 95^\circ\text{C}$$

$$81400 \frac{\text{J}}{\text{mol}} = -\frac{8,314 \text{ J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \times 368 \text{ K} \ln\left(\frac{0,0032 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{s}}}{A}\right)$$

$$81400 = 17575,91609 + 3059,552 \ln A$$

$$\ln A = 20,86$$

$$A = 1,147 \times 10^9 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

Sehingga dari persamaan Arrhenius diperoleh nilai k_1 pada suhu 80°C sebagai berikut:

$$81400 \frac{\text{J}}{\text{mol}} = -8,314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \times 353 \text{ K} \ln\left(\frac{k_1}{1,147 \times 10^9 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{s}}}\right)$$

$$81400 = -2934,842 \ln k + 61222,02406$$

$$\ln k = -7,683$$

$$k = 0,0004 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

$$K' = \frac{k_1}{k_2}$$

$$k_2 = \frac{0,0004}{2,75}$$

$$k_2 = 0,000145 \frac{\text{L}}{\text{mol} \cdot \text{s}}$$

Perhitungan kecepatan reaksi

Basis perhitungan = 1 mol A

Konversi = 60%

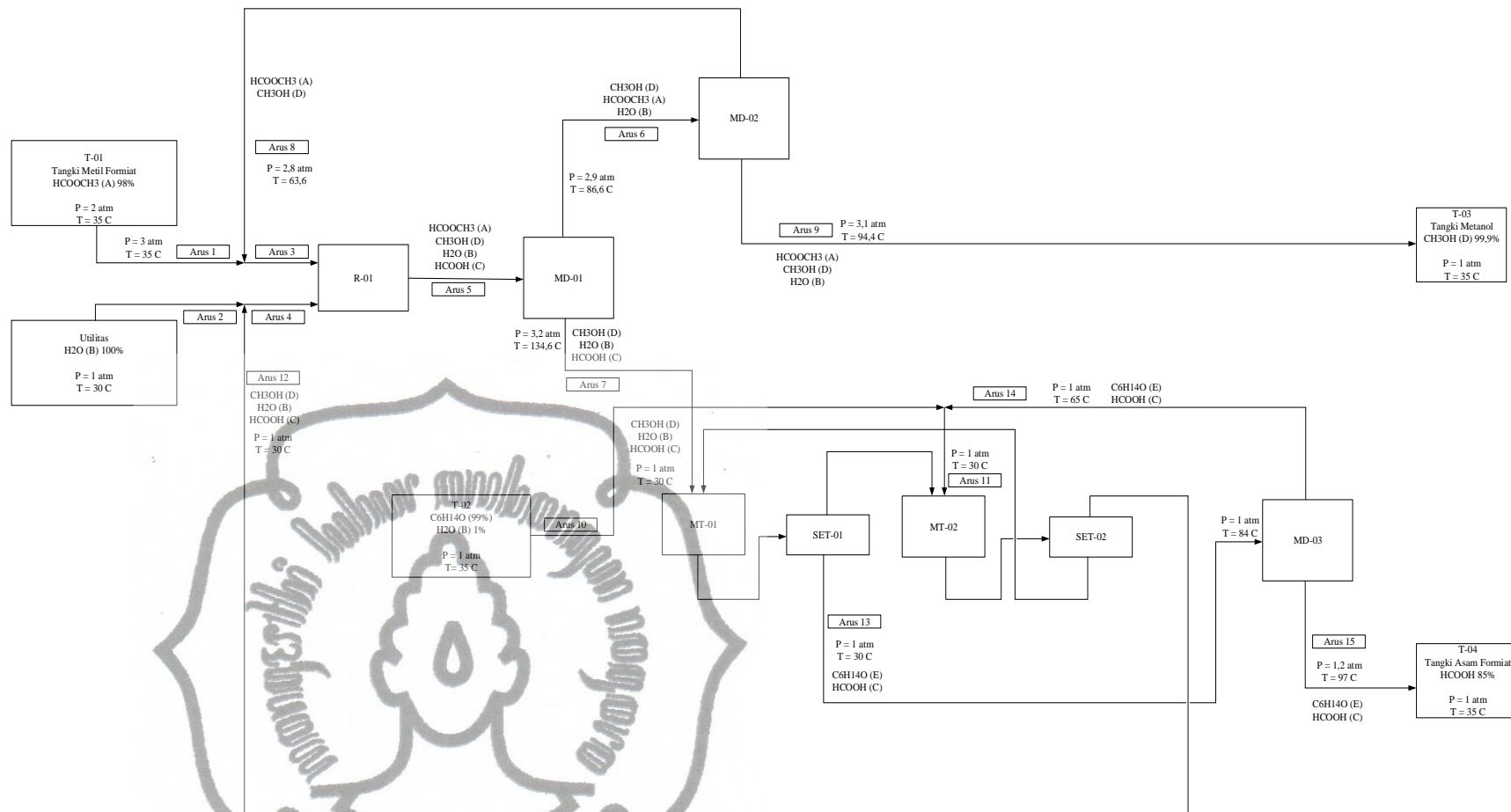
Rasio mol reaktan = 1 : 6

II.3 Langkah Proses

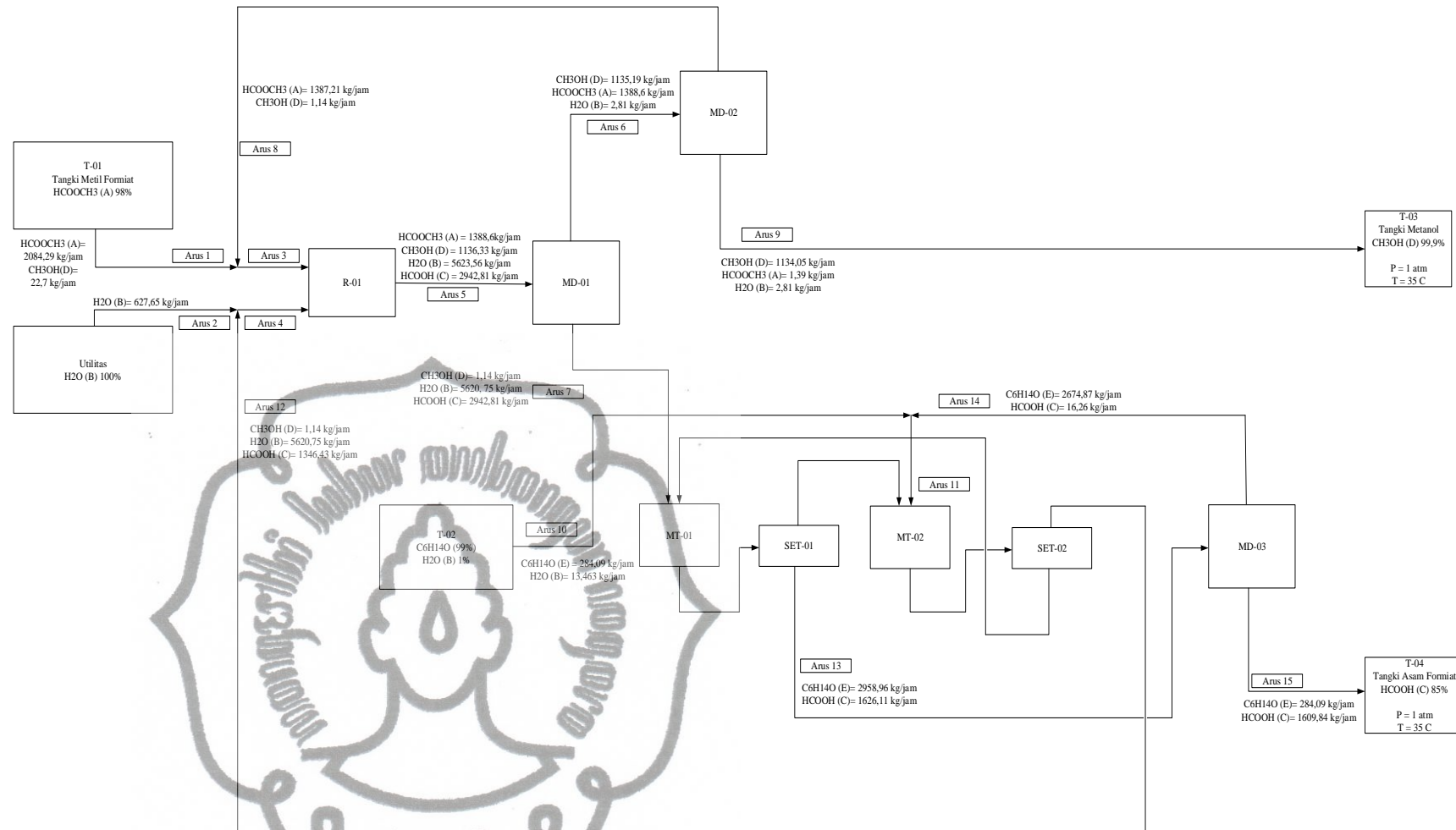
II.3.1 Diagram Alir Proses

1. Diagram alir kualitatif dapat dilihat pada gambar II.1
2. Diagram alir kuantitatif dapat dilihat pada gambar II.2
3. Diagram alir lengkap dapat dilihat pada gambar II.3



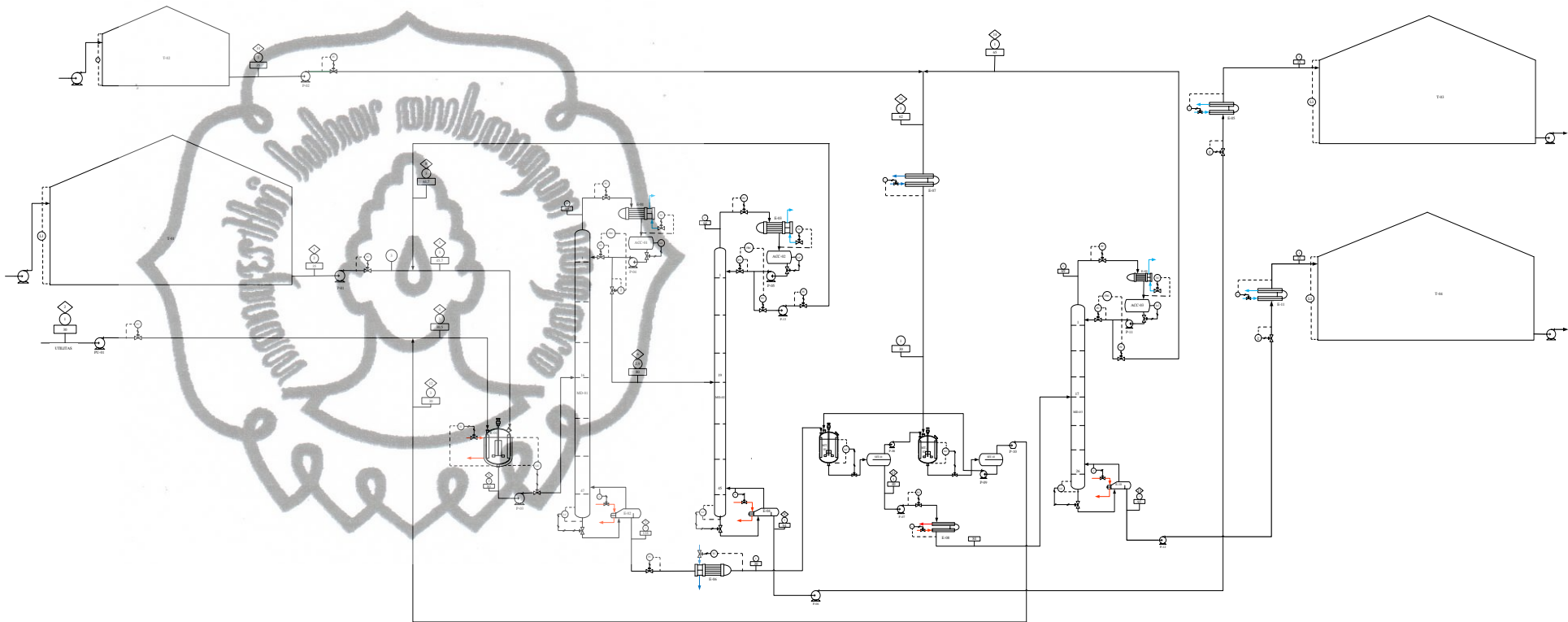


Gambar II-1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar II-2 Diagram Alir Kuantitatif

DIAGRAM ALIR PROSES
PRARANCANGAN PABRIK ASAM FORMIAT DENGAN HIDROLISIS METIL FORMIAT DAN AIR
KAPASITAS 15.000 TON/TAHUN



KETERANGAN GAMBAR

— : Arus Massa Campuran
— : Arus Massa Asam Formiat
— : Steam
— : Cooling Water
— : Chilled Water
R : Reaktor
MT : Mixing Tank
SET : Settler
MD : Menara Distilasi
ACC : Accumulator
E : Heat Exchanger
P : Pompa
PU : Pompa Utilitas
T-01 : Tangki Metil Formiat
T-02 : Tangki Isopropil Eter
T-03 : Tangki Metanol
T-04 : Tangki Asam Formiat
FC : Flow Controller
FRC : Flow Ratio Controller
LI : Level Indicator
LC : Level Controller
LIC : Level Indicator Controller
PC : Pressure Controller
TC : Temperature Controller

◇ : Nomor Arus
○ : Tekanan, bar
□ : Temperatur, °C
⋈ : Gate Valve
— : Pneumatic
- - - : Electric Connector

Dikerjakan Oleh :
Melia Citrawati NIM. 10516030
Vina Hanifa NIM. 10516043
Dosen Pembimbing,
Ir. Mujtahid Kaavessina, S.T., M.T., Ph.D. IPM NIP. 197909242003121002
Aida Nur Ramadhani, S.T., M.T. NIP. 199203072019032022

| Laju Alir (kg/jam) | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------|--------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Komponen | Arus 1 | Arus 2 | Arus 3 | Arus 4 | Arus 5 | Arus 6 | Arus 7 | Arus 8 | Arus 9 | Arus 10 | Arus 11 | Arus 12 | Arus 13 | Arus 14 |
| HCOOCH3 | 2.084,29 | 0,00 | 1.387,21 | 0,00 | 1.388,60 | 1.388,60 | 0,00 | 3.471,51 | 1,39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H2O | 0,00 | 627,65 | 0,00 | 6.248,40 | 5.623,56 | 2,81 | 5.620,75 | 0,00 | 2,81 | 0,00 | 0,00 | 5.620,75 | 0,00 | 0,00 |
| HCOOH | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1.346,43 | 2.942,81 | 0,00 | 2.942,81 | 0,00 | 0,00 | 13,46 | 29,27 | 1.346,43 | 1.626,11 | 16,26 |
| CH3OH | 22,70 | 0,00 | 1,14 | 1,14 | 1.136,33 | 1.135,19 | 1,14 | 23,83 | 1.134,05 | 0,00 | 0,00 | 1,14 | 0,00 | 0,00 |
| C6H14O | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 284,091 | 2.958,96 | 0,00 | 2.958,96 | 2.674,87 |
| Total (kg/jam) | 2.016,99 | 627,65 | 1.388,35 | 7.595,96 | 11.091,30 | 2.526,60 | 8.540,70 | 3.495,34 | 1.138,25 | 297,55 | 2.988,69 | 6.968,31 | 4.585,07 | 2.691,13 |

Gambar II-3 Diagram Alir Lengkap

II.3.2 Uraian Proses

Proses produksi asam formiat dengan cara hidrolisis metil formiat dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

- Penyiapan bahan baku
- Proses hidrolisis dalam reaktor
- Proses pemurnian hasil

1. Penyiapan Bahan Baku

Arus metil formiat dari tangki T-01 dengan suhu 35 °C bergabung dengan arus hasil atas menara distilasi 2 (MD-02) dengan suhu 61,7 °C. Air dengan suhu 30 °C dipompa dari tangki utilitas, bergabung dengan arus hasil atas settler 2 (SET-02) dengan suhu 30 °C. Keempat arus tersebut menuju reaktor dengan tekanan 3 atm.

2. Proses Hidrolisis dalam Reaktor

Proses hidrolisis terjadi dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (R-01) pada tekanan 3 atm dan suhu 80 °C. Reaksi yang terjadi dalam reaktor adalah:



Reaksi tersebut merupakan reaksi *reversible* sehingga untuk mendorong reaksi ke kanan maka salah satu reaktan dibuat berlebih, dalam hal ini perbandingan air dengan metil formiat adalah 6:1.

Reaksi hidrolisis metil formiat merupakan reaksi endotermis sehingga reaktor dilengkapi dengan jaket pemanas untuk menjaga kondisi isothermal. Hasil reaksi berupa asam formiat, metanol, sisa metil formiat, dan sisa air. Untuk mendapatkan produk dengan spesifikasi yang diinginkan maka produk keluaran reaktor perlu dimurnikan dalam menara distilasi.

3. Proses Pemurnian Hasil

Produk keluaran Reaktor (R-01) berupa asam formiat, metanol, sisa metil formiat, dan sisa air dipompa dengan pompa (P-03) menuju ke menara distilasi 1 (MD-01). Di menara distilasi 1 (MD-01) terjadi pemisahan antara metil formiat dan metanol dengan air dan asam formiat. Hasil atas menara yang berupa metil formiat, metanol, dan sedikit air dipompa dengan pompa (P-04) menuju menara distilasi 2 (MD-02) yang beroperasi pada tekanan 3 atm. Menara distilasi 2 (MD-02) berfungsi untuk memisahkan metil formiat dengan

metanol. Hasil atas menara distilasi 2 (MD-02) berupa metil formiat dan sedikit metanol akan dipompa dengan pompa (P-05) sebagai *recycle* ke reaktor (R-01). Sedang hasil bawah menara distilasi 2 (MD-02) adalah metanol sebagai produk samping dengan kemurnian 99,9% dilewatkan pada *heat exchanger* (E-05) sehingga suhunya menjadi 35 °C, kemudian disimpan di tangki penyimpanan metanol (T-03).

Hasil bawah dari menara distilasi 1 (MD-01) berupa air, asam formiat, dan sedikit metanol menuju ke *heat exchanger* (E-06) untuk didinginkan suhunya menjadi 30 °C kemudian menuju ke *mixer* 1 (MT-01). Arus isopropil eter dari tangki penyimpanan (T-02) yang bersuhu 35 °C bergabung dengan arus *recycle* dari menara distilasi 3 (MD-03) dengan suhu 65 °C menuju ke *heat exchanger* (E-07) untuk didinginkan sehingga suhunya menjadi 30 °C lalu menuju ke *mixer* 2 (MT-02).

Arus ekstrak yang terdiri dari asam formiat dan isopropil eter yang berasal dari *settler* 1 (SET-01) dipanaskan dengan *heat exchanger* (E-08) hingga suhunya 84 °C lalu menuju ke menara distilasi 3 (MD-03) sebagai umpan. Menara distilasi 3 (MD-03) beroperasi pada tekanan 1 atm untuk memisahkan asam formiat dengan isopropil eter. Hasil atas menara distilasi 3 (MD-03) berupa isopropil eter dan sedikit asam formiat yang dipompa dengan pompa (P-11) sebagai *recycle* ke reaktor (R-01). Sedangkan hasil bawah menara distilasi 3 (MD-03) yaitu asam formiat yang didinginkan dalam *heat exchanger* (E-11) hingga suhunya 35 °C, kemudian disimpan di tangki penyimpanan asam formiat (T-04) dengan kemurnian 85%.

II.4 Neraca Massa dan Neraca Panas

II.4.1 Neraca Massa Total

Satuan: kg/jam

Tabel II-3 Neraca Massa Total

| Komponen | <i>Input</i> | | | <i>Output</i> | |
|----------------------------------|--------------|--------|---------|---------------|----------|
| | Arus 1 | Arus 2 | Arus 10 | Arus 9 | Arus 15 |
| HCOOCH ₃ | 2.084,29 | 0,00 | 0,00 | 1,39 | 0,00 |
| H ₂ O | 0,00 | 627,65 | 0,00 | 2,81 | 0,00 |
| HCOOH | 0,00 | 0,00 | 13,46 | 0,00 | 1.609,85 |
| CH ₃ OH | 22,70 | 0,00 | 0,00 | 1.134,05 | 0,00 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 0,00 | 284,09 | 0,00 | 284,09 |
| Total | 3.032,19 | | | 3.032,19 | |

II.4.2 Neraca Massa Alat

1. Neraca Massa di Tee 1

Tabel II-4 Neraca Massa di Tee 1

| Komponen | Input | | Output |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| | Arus 1 | Arus 8 | Arus 3 |
| HCOOCH ₃ | 2.084,29 | 1.387,21 | 3.471,51 |
| H ₂ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCOOH | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CH ₃ OH | 22,70 | 1,14 | 23,83 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 2.016,99 | 1.388,35 | 3.495,34 |
| | 3.495,34 | | |

2. Neraca Massa di Tee 2

Tabel II-5 Neraca Massa di Tee 2

| Komponen | <i>Input</i> | | <i>Output</i> |
|----------------------------------|--------------|----------|---------------|
| | Arus 2 | Arus 12 | Arus 4 |
| HCOOCH ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H ₂ O | 627,65 | 5.620,75 | 6.248,40 |
| HCOOH | 0,00 | 1.346,43 | 1.346,43 |
| CH ₃ OH | 0,00 | 1,14 | 1,14 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| Komponen | Input | | Output |
|----------|----------|----------|----------|
| | Arus 2 | Arus 12 | Arus 4 |
| Total | 627,65 | 6.968,31 | 7.595,96 |
| | 7.595,96 | | |

3. Neraca Massa di Tee-3

Tabel II-6 Neraca Massa di Tee 3

| Komponen | Input | | Output |
|----------------------------------|----------|-----------|----------|
| | Arus 10 | Arus 14 | Arus 11 |
| HCOOCH ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H ₂ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCOOH | 13,46 | 16,26 | 29,72 |
| CH ₃ OH | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| C ₆ H ₁₄ O | 284,091 | 2.674,875 | 2.958,96 |
| Total | 297,55 | 2.674,87 | 2.988,69 |
| | 2.988,69 | | |

4. Neraca Massa di Reaktor

Tabel II-7 Neraca Massa di Reaktor

| Komponen | Input | | Output |
|----------------------------------|-----------|----------|-----------|
| | Arus 3 | Arus 4 | Arus 5 |
| HCOOCH ₃ | 3.471,51 | 0,00 | 1.388,60 |
| H ₂ O | 0,00 | 6.248,40 | 5.623,56 |
| HCOOH | 0,00 | 1.346,43 | 2.942,81 |
| CH ₃ OH | 23,83 | 1,14 | 1.136,33 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 7.595,96 | 2.958,96 | 11.091,30 |
| | 11.091,30 | | |

5. Neraca Massa di Menara Distilasi 1

Tabel II-8 Neraca Massa di Menara Distilasi 1

| Komponen | <i>Input</i> | <i>Output</i> | |
|----------------------------------|--------------|---------------|----------|
| | Arus 5 | Arus 6 | Arus 7 |
| HCOOCH ₃ | 1.388,60 | 1.388,60 | 0,00 |
| H ₂ O | 5.623,56 | 2,81 | 5.620,75 |
| HCOOH | 2.942,81 | 0,00 | 2.942,81 |
| CH ₃ OH | 1.136,33 | 1.135,19 | 1,14 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 11.091,30 | 2.526,60 | 8.540,70 |
| | | 11.091,30 | |

6. Neraca Massa di Menara Distilasi 2

Tabel II-9 Neraca Massa di Menara Distilasi 2

| Komponen | <i>Input</i> | <i>Output</i> | |
|----------------------------------|--------------|---------------|----------|
| | Arus 6 | Arus 8 | Arus 9 |
| HCOOCH ₃ | 1.388,60 | 1.387,21 | 1,39 |
| H ₂ O | 2,81 | 0,00 | 2,81 |
| HCOOH | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| CH ₃ OH | 1.135,19 | 1,14 | 1.134,05 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 2.526,60 | 1.388,35 | 1.138,5 |
| | | 2.526,60 | |

7. Neraca Massa di Ekstraktor

Tabel II-10 Neraca Massa di Ekstraktor

| Komponen | <i>Input</i> | | <i>Output</i> | |
|----------------------------------|--------------|----------|---------------|----------|
| | Arus 7 | Arus 11 | Arus 12 | Arus 13 |
| HCOOCH ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H ₂ O | 5.620,75 | 0,00 | 5.620,75 | 0,00 |
| HCOOH | 2.942,81 | 29,72 | 1.346,43 | 1.626,11 |
| CH ₃ OH | 1,14 | 0,00 | 1,14 | 0,00 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 2.958,96 | 0,00 | 2.958,96 |
| Total | 8.564,69 | 2.988,69 | 6.968,31 | 4.585,07 |

| Komponen | <i>Input</i> | | <i>Output</i> | |
|----------|--------------|---------|---------------|---------|
| | Arus 7 | Arus 11 | Arus 12 | Arus 13 |
| | 11.553,38 | | 11.553,38 | |

8. Neraca Massa di Menara Distilasi 3

Tabel II-11 Neraca Massa di Menara Distilasi 3

| Komponen | <i>Input</i> | <i>Output</i> | |
|----------------------------------|--------------|---------------|---------|
| | Arus 13 | Arus 14 | Arus 15 |
| HCOOCH ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H ₂ O | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| HCOOH | 1.626,11 | 16,26 | 1609,85 |
| CH ₃ OH | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| C ₆ H ₁₄ O | 2.958,96 | 2.674,87 | 284,09 |
| Total | 4.585,07 | 2.691,13 | 1893,94 |
| | | 4.585,07 | |

II.4.3 Neraca Panas Alat

1. Neraca Panas Tee-1

Tabel II-12 Neraca Panas di Tee-1

| Komponen | <i>Q input (kJ)</i> | | <i>Q output (kJ)</i> |
|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| | <i>Qumpan fresh</i> | <i>Qumpan recycle</i> | <i>Qout</i> |
| HCOOCH ₃ | 117.898,94 | 310.425,17 | 426.560,74 |
| CH ₃ OH | 1.635,30 | 321,42 | 3.720,08 |
| Total | 119.534,23 | 310.746,59 | 430.280,82 |
| | 430.280,82 | | |

2. Neraca Panas Tee-2

Tabel II-13 Neraca Panas di Tee-2

| Komponen | Q <i>input</i> (kJ) | | Q <i>output</i> (kJ) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| | Qumpan <i>fresh</i> | Qumpan <i>recycle</i> | Qout |
| H ₂ O | 37.882,03 | 339.241,25 | 377,123,29 |
| HCOOH | 0,00 | 41.582,27 | 41.582,27 |
| CH ₃ OH | 0,00 | 40,83 | 40,83 |
| Total | 37.882,03 | 380.864,35 | 418.746,38 |
| | 418.746,38 | | |

3. Neraca Panas Tee-3

Tabel II-14 Neraca Panas di Tee-3

| Komponen | Q <i>input</i> (kJ) | | Q <i>output</i> (kJ) |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|
| | Qumpan <i>fresh</i> | Qumpan <i>recycle</i> | Qout |
| HCOOH | 17.360,39 | 4.120,36 | 6.960,48 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 672.238,68 | 686.758,95 |
| Total | 17.360,39 | 676.359,04 | 693.719,43 |
| | 693.719,43 | | |

4. Neraca Panas Reaktor

Tabel II-15 Neraca Panas di Reaktor

| Komponen | Q input (kJ) | | Q output (kJ) | |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| | Qumpan | Qpemanas | Qreaksi | Qout |
| HCOOCH ₃ | 426.560,74 | 6.438.202,66 | 1.628.561,44 | 448.876,39 |
| H ₂ O | 377.123,29 | | | 3.719.234,24 |
| HCOOH | 41.582,27 | | | 1.027.627,83 |
| CH ₃ OH | 3.760,91 | | | 462.929,96 |
| Total | 849.027,21 | 6.438.202,66 | 1.628.561,44 | 5.658.668,43 |
| | 7.287.229,86 | | 7.287.229,86 | |

5. Neraca Panas di Menara Distilasi 1

Tabel II-16 Neraca Panas di Menara Distilasi 1

| Komponen | Q input (kJ) | | Q output (kJ) | | |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|----------|--------------|
| | Qumpun | Qkondensor | Qtop | Qbottom | Qreboiler |
| HCOOCH ₃ | 448.876,4 | 19.936.351,2 | 449.437,7 | 0,00 | 15.201.837,7 |
| H ₂ O | 462.929,9 | | 1.861,83 | 7.642,44 | |
| HCOOH | 3.719.234,2 | | 0,00 | 2.174,10 | |
| CH ₃ OH | 1.027.627,8 | | 463.037,9 | 0,99 | |
| Total | 5.658.668,4 | 19.936.351,2 | 914.337,4 | 9.817,54 | 15.201.837,7 |
| | 20.860.506,1 | | 20.860.506,1 | | |

6. Neraca Panas di Menara Distilasi 2

Tabel II-17 Neraca Panas di Menara Distilasi 2

| Komponen | Q input (kJ) | | Q output (kJ) | | |
|---------------------|--------------|--------------|---------------|---------|--------------|
| | Qumpun | Qkondensor | Qtop | Qbottom | Qreboiler |
| HCOOCH ₃ | 449.501,24 | 7.782.545,00 | 294.359,56 | 0,59 | 7.163.348,74 |
| H ₂ O | 1.862,08 | | 304,92 | 2,40 | |
| HCOOH | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | |
| CH ₃ OH | 463.102,54 | | 0,00 | 602,12 | |
| Total | 914.465,85 | 7.782.545,00 | 294.664,49 | 605,11 | 7.163.348,74 |
| | 8.077.814,60 | | 8.077.814,60 | | |

7. Neraca Panas di Ekstraktor

Tabel II-18 Neraca Panas di Ekstraktor

| Komponen | Q input (kJ) | | Q output (kJ) | |
|----------------------------------|--------------|-----------|---------------|------------|
| | Qumpun | Qsolven | Qrafinat | Qekstrak |
| HCOOCH ₃ | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| H ₂ O | 339.241,25 | 0,00 | 339.241,25 | 0,00 |
| HCOOH | 90.884,03 | 917,99 | 41.582,27 | 50.219,75 |
| CH ₃ OH | 40,83 | 0,00 | 40,83 | 0,00 |
| C ₆ H ₁₄ O | 0,00 | 90.104,98 | 0,00 | 90.104,98 |
| Total | 430.166,11 | 91.022,97 | 380.864,35 | 140.324,73 |
| | 521.189,08 | | 521.189,08 | |

8. Neraca Panas di Menara Distilasi 3

Tabel II-19 Neraca Panas di Menara Distilasi 3

| Komponen | Q input (kJ) | | Q output (kJ) | | |
|----------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------|--------------|
| | Qumpan | Qkondensor | Qtop | Qbottom | Qreboiler |
| HCOOCH ₃ | 0,00 | 4.714.731,41 | 0,00 | 0,00 | 3.666.547,87 |
| H ₂ O | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | |
| HCOOH | 613.195,88 | | 4.120,3 | 818,52 | |
| CH ₃ OH | 0,00 | | 0,00 | 0,00 | |
| C ₆ H ₁₄ O | 1.112.310,2 | | 672.238,7 | 144,94 | |
| Total | 1.725.506,1 | 4.714.731,41 | 676.359,0 | 963,46 | 3.666.547,87 |
| | 5.392.053,91 | | 5.392.053,91 | | |

II.4.4 Neraca Panas Total

Tabel II-20 Neraca Panas Total

| Input | | Output | |
|-----------------|---------------|--------------|---------------|
| Komponen | kJ/jam | Komponen | kJ/jam |
| Pemanas Reaktor | 6.438.202,66 | Panas Reaksi | 1.628.561,44 |
| Arus Tee 1 | 430.280,82 | Kondenser 1 | 19.936.351,18 |
| Arus Tee 2 | 418.746,38 | Kondenser 2 | 7.782.545,00 |
| Arus Tee 3 | 693.719,43 | Kondenser 3 | 4.714.731,41 |
| Reboiler 1 | 15.201.837,68 | HE-05 | 8.490,25 |
| Reboiler 2 | 7.163.348,74 | HE-06 | 35.615,91 |
| Reboiler 3 | 3.666.547,87 | HE-07 | 18.611,83 |
| HE-08 | 124.306,42 | HE-11 | 12.082,99 |
| Total | 34.136.990,01 | Total | 34.136.990,01 |

II.5 Tata Letak Pabrik dan Peralatan Proses

II.5.1 Tata Letak Pabrik

Tata letak pabrik merupakan tempat kedudukan keseluruhan bagian yang ada dalam pabrik meliputi tempat perkantoran (*office*), tempat peralatan proses, tempat penyimpanan bahan baku dan produk, tempat unit pendukung, dan tambahan-tambahan yang lain yang dirancang terutama untuk mendukung kelancaran pelaksanaan proses produksi.

Untuk mencapai kondisi yang optimal, maka hal-hal yang harus diperhatikan dalam menentukan tata letak pabrik adalah:

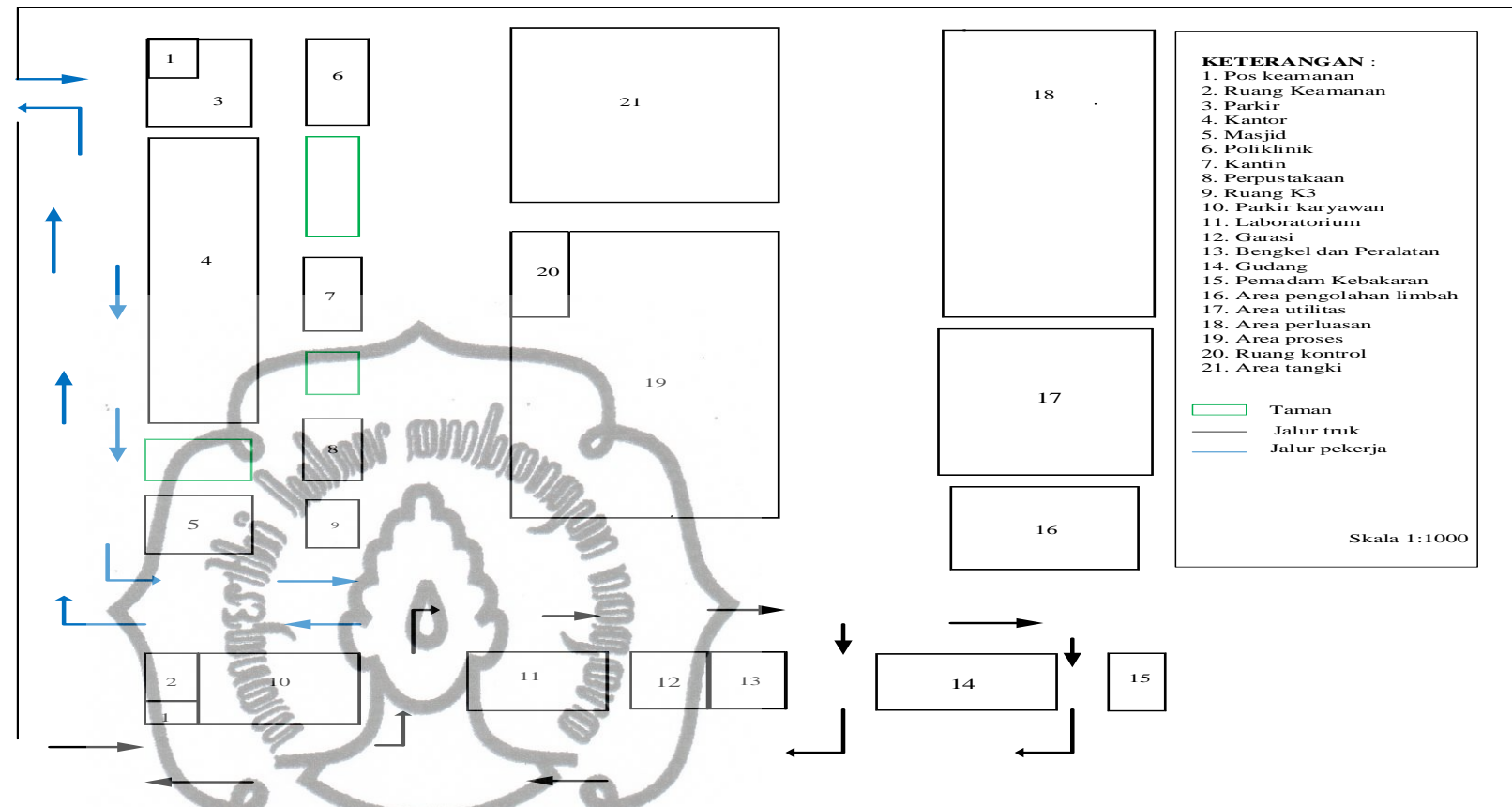
1. Kemungkinan perluasan pabrik sebagai pengembangan pabrik di masa depan.
2. Faktor keamanan sangat diperlukan untuk bahaya kebakaran dan ledakan, maka perencanaan *lay out* selalu diusahakan jauh dari sumber api, bahan panas, dan dari bahan yang mudah meledak, juga jauh dari asap atau gas beracun.
3. Sistem konstruksi yang direncanakan adalah *out door* untuk menekan biaya bangunan dan gedung, dan juga karena iklim Indonesia memungkinkan konstruksi secara *out door*.
4. Lahan terbatas sehingga diperlukan efisiensi dalam pemakaian dan pengaturan ruangan/lahan.

(Vilbrandt, 1959)

Secara garis besar *lay out* dibagi menjadi beberapa bagian utama, yaitu:

1. Daerah administrasi/perkantoran, laboratorium dan ruang kontrol
Daerah administrasi berfungsi sebagai pusat kegiatan administrasi pabrik dan mengatur kelancaran operasi. Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang dijual.
2. Daerah proses
Daerah untuk meletakkan alat proses dan proses berlangsung.
3. Daerah penyimpanan bahan baku dan produk.
Daerah untuk tangki bahan baku dan produk.
4. Daerah gudang, bengkel dan garasi.
Daerah untuk menampung bahan-bahan yang diperlukan oleh pabrik dan untuk keperluan perawatan peralatan proses.
5. Daerah utilitas
Daerah dimana kegiatan penyediaan bahan pendukung proses berlangsung dipusatkan.

(Vilbrandt, 1959)



Gambar II-4 Lay Out Pabrik

II.5.2 Tata Letak Peralatan Proses

Tata letak alat proses merupakan tempat kedudukan alat-alat yang digunakan dalam proses produksi. Tata letak peralatan proses pada prarancangan pabrik ini dapat dilihat pada Gambar II.5. Beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain (Vilbrandt, 1959):

1. Kelancaran udara di dalam dan di sekitar peralatan proses. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat sehingga mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang dapat mengancam keselamatan pekerja.
2. Penerangan sebuah pabrik harus memadai dan pada tempat-tempat proses berbahaya atau beresiko tinggi perlu penerangan tambahan.
3. Lalu lintas manusia, dalam perancangan *lay out* peralatan perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah. Hal ini bertujuan apabila terjadi gangguan pada alat proses dapat segera diperbaiki. Keamanan pekerja selama menjalankan tugasnya juga diprioritaskan.
4. Pertimbangan ekonomi, dalam menempatkan alat-alat proses diusahakan dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik.

