BAB II
DESKRIPSI PROSES

2.1.Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1. Bahan Baku Utama

1) Asam Metakrilat

Menurut Perry (2008), sifat fisika dan kimia dan kimia asam metakrilat adalah sebagai berikut.

a. Sifat Fisika

- Rumus molekul : $CH_2=C(CH_3)COOH$
- Bentuk fisik : cairan
- Warna : tidak berwarna
- Berat molekul : 86,09 g/mol
- Titik didih : 163 ºC
- Densitas (T = 15 ºC) : 11,834 mol/liter
- Viskositas (T = 15 ºC) : 1,664 x 10-3 Pa.s
- Kelarutan : 9gr / 100gr air

b. Sifat Kimia

- Reaksi Adisi pada Ikatan Rangkap Karbon

  Penambahan senyawa seperti hidrogen sianida, hidrogen halida, hidrogen sulfida, merkaptan, alkil amina, alkohol, fenol, atau fosfin ke ikatan rangkap karbon akan menghasilkan senyawa β-substitusi yang berubah menjadi α-metil propionat.

$$ZH + CH_2{=}C\text{-}CCOOR \longrightarrow Z\text{-}CH_2\text{-}\overset{\overset{H}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}\text{-}COOR \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(2.1)$$

- Reaksi Diels-Alder

  Reaksi ini berlangsung antara senyawa diena (contohnya butadiena atau siklopentadiena) dengan dienofil membentuk cincin baru melalui mekanisme sikloadisi.

- Reaksi Esterifikasi

  Reaksi antara asam metakrilat dan metanol menghasilkan metil metakrilat (Ullmann's, 1989).

$$CH_3OH + CH_2{=}CHOOH \longrightarrow CH_2{=}CHCOOCH_3 + H_2O \ldots\ldots (2.2)$$

Metanol Asam metakrilat Metil Metakrilat Air

- Dapat dioksidasikan membentuk metil metakrilat

  Terbentuk melalui oksidasi prekursor seperti isobutilena atau tert-butanol yang dilanjutkan dengan esterifikasi asam metakrilat.

2) Metanol

Menurut Perry (2008), sifat fisika dan kimia dan kimia metanol adalah sebagai berikut.

a. Sifat Fisika

- Rumus molekul : CH_3OH
- Bentuk fisik : cairan
- Warna : tidak berwarna
- Berat molekul : 32,04 g/mol
- Titik didih : 64,75 ^oC
- Densitas (T = 30 ^oC) : 782,8067 kg/m^3
- Viskositas (T = 30 ^oC) : 0,5059 cP
- Kelarutan : 1000gr / 100gr air

b. Sifat Kimia

- Esterifikasi dengan asam metakrilat

  Metanol bereaksi dengan asam metakrilat menghasilkan metil metakrilat dan air (Ulmann's, 1989).

$$CH_3OH + CH_2{=}CHOOH \longrightarrow CH_2{=}CHCOOCH_3 + H_2O \ldots\ldots (2.3)$$

Metanol Asam metakrilat Metil Metakrilat Air

- Reaksi dengan Asam Sulfat

  Pada suhu di atas 100 °C, metanol dapat bereaksi dengan asam sulfat membentuk dimetil sulfat dan air (Considine, 1970).

$$2CH_3OH + H_2SO_4 \longrightarrow (CH_3)_2SO_4 + H_2O \quad (2.4)$$

Metanol Asam Sulfat Dimetil Sulfat Air

- Dehidrogenasi metanol

  Metanol juga dapat mengalami dehidrogenasi menghasilkan formaldehid dengan disertai pelepasan hidrogen.

$$CH_3OH \longrightarrow CH_2O + H_2 \quad (2.5)$$

Metanol Formaldehid Hidrogen

2.2.2. Bahan Baku Pendukung

1) Asam Sulfat (Katalis)

Menurut Kirk Othmer (1998), sifat fisika dan kimia dan kimia asam sulfat adalah sebagai berikut.

a. Sifat Fisika

- Rumus molekul : H_2SO_4
- Bentuk fisika. : cairan
- Warna : tidak berwarna
- Berat molekul : 98,08 g/mol
- Titik didih (Pub Chem) : 337 ºC
- Densitas (T = 30 ºC) : 1826,9712 kg/m^3
- Viskositas (T = 30 ºC) : 19,7 cP
- Kelarutan : *miscible* terhadap air

b. Sifat Kimia

- Asam kuat
- Bersifat higroskopis, yaitu mudah menyerap air dari lingkungan.
- Asam sulfat murni bersifat sulit terionisasi

Pada kondisi murni, asam sulfat hanya sedikit mengalami ionisasi. Beberapa bentuk ionisasi yang dapat terjadi antara lain:

$2H_2SO_4 \longleftrightarrow H_3PO_4^+ + HSO_4^-$…….…….(2.6)

$2H_2SO_4 \longleftrightarrow H_3O^+ + HS_2O_7^-$……....(2.7)

Keterbatasan ionisasi ini menyebabkan konduktivitas termal asam sulfat murni berada pada nilai terendah ketika kemurniannya mencapai 100%. Namun, apabila asam sulfat murni dilarutkan ke dalam air, akan terjadi proses disosiasi yang sangat cepat:

$H_2SO_4 + H_2O \longleftrightarrow H_3O^+ + HSO_4^-$ ……....(2.8)

Konduktivitas termal asam sulfat kemudian meningkat tajam seiring dengan bertambahnya derajat disosiasi. Pada konsentrasi air yang lebih tinggi, ionisasi tahap kedua juga berlangsung:

$H_2SO_4^- + H_2O \longleftrightarrow H_3O^+ + HSO_4^-$ …….....(2.9)

2) Gliserol

Menurut Kirk Othmer (1998), sifat fisika dan kimia dan kimia gliserol adalah sebagai berikut.

a. Sifat Fisika

- Rumus Molekul : $C_3H_8O_3$
- Berat Molekul : 92,09 kg/kgmol
- Titik Leleh (1 atm) : 17,9°C
- Titik Didih (1 atm) : 290°C
- Densitas : 1,26 gr/cm^3
- ΔH°f : 139,8 kcal/mol
- Cp (300°C) : 2,406 kJ/kg.K

b. Sifat Kimia

- Memiliki tiga gugus hidroksil (–OH) sehingga sangat polar dan mudah berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen

- Zat cair bening, lebih kental dari air dan rasanya manis
- Larut dalam air dan alkohol dengan semua perbandingan
- Tidak larut dalam eter, benzena dan kloroform
- Senyawa turunan alkohol (polialkohol) dengan tiga gugus OH
- Dengan asam nitrat membentuk gliserol trinitrat
- Bersifat higroskopis
- Bereaksi dengan kalsium bisulfat membentuk akrolein

2.2.3. Produk Utama

1) Metil Metakrilat

Menurut Kirk Othmer (1998), sifat fisika dan kimia dan kimia metil metakrilat adalah sebagai berikut.

a. Sifat Fisika

- Rumus molekul : $CH_2C(CH_3)CO_2CH_3$
- Bentuk fisik : cairan
- Warna : tidak berwarna
- Berat molekul : 100,11 g/mol
- Titik didih : 100,35 ºC
- Temperatur kritis : 290,85 ºC
- Tekanan kritis : 36,28 atm
- Densitas (T = 30 ºC) : 931,7573 kg/m3
- Viskositas (T = 30 ºC) : 0,512 cP
- Kelarutan : 1,5gr / 100gr air
- Kemurnian : minimal 99% berat metil metakrilat
- Impuritas : maksimal 1% mequinol ($C_7H_8O_2$)

b. Sifat Kimia

- Reaksi Adisi pada Ikatan Rangkap Karbon

  Ikatan rangkap pada senyawa tak jenuh dapat mengalami reaksi adisi dengan berbagai pereaksi, seperti hidrogen

H

sianida, hidrogen halida, hidrogen sulfida, merkaptan, alkil amina, alkohol, fenol, maupun fosfin. Hasil reaksi ini berupa senyawa β-tersubstitusi yang berubah menjadi α-metil propinat.

$$ZH + CH_2{=}C\text{-}CCOOR \longrightarrow Z\text{-}CH_2\text{-}\underset{\underset{CH_3}{\|}}{C}\text{-}COOR \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.10)$$

- Reaksi Dies-Alder

  Reaksi ini merupakan jenis sikloadisi yang berlangsung antara senyawa diena, seperti butadiena atau siklopentadiena, dengan dienofil untuk membentuk senyawa siklik baru.

2.2.4. Produk Samping

1) Air

Menurut Perry et al., (1997) sifat fisika dan kimia air adalah sebagai berikut.

a. Sifat Fisika

- Rumus Molekul : H_2O
- Wujud : Cair
- Warna : TidakBerwarna
- Berat Molekul : 18,015 kg/kmol
- Titik Beku : 0ºC
- Titik Didih : 100ºC
- Temperatur Kritis : 373,98ºC
- Tekanan Kritis : 217,6659 atm
- Densitas : 998 kg/m^3
- Viskositas : 0,35 mPa
- Tekanan Uap : 39,3 kPa

b. Sifat Kimia

- Tersusun dari molekul H_2O, yaitu dua atom hidrogen yang terikat kovalen pada satu atom oksigen.
- Pada kondisi standar (tekanan 100 kPa dan suhu 273,15 K atau 0 °C), air bersifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau.
- Air dikenal sebagai pelarut universal karena mampu melarutkan berbagai zat, seperti garam, gula, asam, beberapa jenis gas, dan senyawa organik tertentu.

2.2. Konsep Proses

2.2.1. Pemilihan Proses

Pembentukan metil metakrilat dari asam metakrilat dan metanol berlangsung melalui reaksi esterifikasi langsung (*direct esterification*), yang merupakan cara paling sederhana untuk menghasilkan metil metakrilat. Pada proses esterifikasi homogen, biasanya digunakan katalis berupa asam kuat, seperti asam sulfat atau asam klorida.

$$CH_2{=}C(CH_3)COOH_{(liq)} + CH_3OH_{(liq)} \underset{k_2}{\overset{k_1}{\rightleftharpoons}} CH_2C(CH_3)COOCH_{3\,(liq)} + H_2O_{(liq)}$$

Asam Metakrilat Metanol (katalis : H_2SO_4) Metil Metakrilat Air

2.2.2. Mekanisme Reaksi

Pembuatan metil metakrilat melalui reaksi esterifikasi dilakukan di dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB). Pada proses ini, asam metakrilat, metanol, serta katalis asam sulfat dimasukkan secara bersamaan ke dalam reaktor. Reaksi yang berlangsung di dalam reaktor ditunjukkan sebagai berikut.

$$CH_2{=}C(CH_3)COOH_{(liq)} + CH_3OH_{(liq)} \underset{k2}{\overset{k1}{\rightleftharpoons}} CH_2C(CH_3)COOCH_{3\,(liq)} + H_2O_{(liq)}$$

Asam Metakrilat Metanol (katalis : H_2SO_4) Metil Metakrilat Air

2.2.3. Tinjauan Termodinamika

2.2.3.1. Panas Reaksi (ΔH_{reaksi}^{o})

Jenis reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.1) untuk menghitung nilai ΔH reaksi. Data ΔHf° dari masing-masing komponen ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Data Panas Pembentukan (Yaws, 1999)

Komponen	ΔHf° (kJ/mol)
CH_3OH	-200,9
$C_4H_6O_2$	-361,8
$C_5H_8O_2$	-347,36
H_2O	-241,8

Jika ΔH = (-) maka reaksi bersifat eksotermis

Jika ΔH = (+) maka reaksi bersifat endotermis

$\Delta H^{o}_{reaksi} = \sum \Delta H_f^{o}{}_{produk} - \sum \Delta H_f^{o}{}_{reaktan}$ (Smith, Van Ness, 2001)……(2.1)

$= (\Delta H_f^{o}\ C_5H_8O_2 + \Delta H_f^{o}\ H_2O) - (\Delta H_f^{o}\ C_4H_6O_2 + \Delta H_f^{o}\ CH_3OH)$

$= (-347{,}36 + (- 241{,}8)) - (- 361{,}8 + (-200{,}9))$

$= -26{,}46$ kJ/mol

Harga ΔH menunjukkan nilai negatif maka reaksinya bersifat eksotermis.

2.2.3.2. Energi Bebas Gibbs (ΔG^{o}reaksi)

Spontanitas reaksi dapat ditentukan melalui Persamaan (2.2) dengan menghitung nilai (ΔG° reaksi). Data energi Gibbs standar masing-masing komponen ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Data Energi Gibbs (Yaws, 1999)

Komponen	ΔG° (kJ/mol)
CH_3OH	-162,092
$C_4H_6O_2$	-281,82
$C_5H_8O_2$	-241,429
H_2O	-228,639

Jika ΔG = (-) maka reaksi spontan

Jika ΔG = (+) maka reaksi tidak spontan

$\Delta G^o_{reaksi} = \sum \Delta G^o_{produk} - \sum \Delta G^o_{reaktan}$ (Smith, Van Ness, 2001) …… (2.2)

$= (\Delta G^o\ C_5H_8O_2 + \Delta G^o\ H_2O) - (\Delta G^o\ C_4H_6O_2 + \Delta G^o\ CH_3OH)$

= (-241,429+ (-228,639)) – (-281,82 + (-162,092)) x (1000 mol/kmol)

= -26,156 kJ/kmol

Harga ΔG menunjukkan nilai negatif maka reaksi ini bersifat spontan.

2.2.3.3. Konstanta Kesetimbangan Reaksi

Penghitungan konstanta kesetimbangan reaksi dilakukan untuk menentukan apakah suatu reaksi bersifat reversible atau irreversible. Menurut Smith dan Van Ness (2001), nilai konstanta kesetimbangan dapat diperoleh melalui persamaan (2.3).

$$\text{Ln K} = -\frac{\Delta G}{RT} \quad \text{…… (2.3)}$$

$$\text{Ln K} = -\frac{-(26{,}156)\ \text{J/mol}}{8{,}314\frac{\text{J}}{\text{mol}}\cdot\text{K x } 298{,}15\ \text{K}}$$

= 10,552

$K_{298} = e^{10,552} \approx 3,8246 \times 10^4$

Jika K ≫ 1 → reaksi cenderung ke kanan (pembentukan produk dominan).

Jika K ≪ 1 → reaksi tidak berlangsung signifikan ke arah produk.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada suhu 25 °C (298,15 K), nilai konstanta kesetimbangan (K) sangat besar sehingga reaksi sebenarnya bersifat *reversible*, namun karena pergeseran kesetimbangan yang hampir sepenuhnya ke arah produk, reaksi ini dapat diperlakukan sebagai *irreversibel*. Selanjutnya, nilai konstanta kesetimbangan pada suhu operasi 92°C (365,15 K) ditentukan dengan menggunakan persamaan Van't Hoff.

$$\ln \frac{K_{Toperasi}}{K_{298}} = -\frac{\Delta H_{298}}{R}\left[\frac{1}{T_{operasi}} - \frac{1}{T_{298,15}}\right]$$

$$\ln \frac{K_{Toperasi}}{3{,}8246 \times 104} = -\frac{-(26460)\ J/kmol}{8{,}314 \frac{J}{kmol}.K}\left[\frac{1}{365{,}15\ K} - \frac{1}{298{,}15\ K}\right]$$

$$\ln \frac{K_{Toperasi}}{3{,}8246 \times 104} = 8{,}593$$

$K_{Toperasi}$ = 5394,775 ≈ 5,39 x 10^3

Pada suhu operasi 365,15 K, konstanta kesetimbangan menurun akibat sifat reaksi eksoterm, namun tetap jauh lebih besar dari 1. Dengan demikian, reaksi tetap bersifat *reversible*, tetapi kecenderungan kuatnya ke arah produk memungkinkan reaksi dianggap *irreversibel* secara praktis.

Keberlangsungan suatu reaksi dapat ditinjau melalui perhitungan konversi kesetimbangan (Xe). Pada perancangan pabrik ini, nilai Xe dihitung menggunakan dua pendekatan, yaitu melalui persamaan (2.4) dengan konstanta kesetimbangan (K) hasil perhitungan termodinamika, serta melalui persamaan (2.5) dengan nilai K yang diperoleh dari literatur (Balak, J., 1983).

$$K = \frac{C_C.C_D}{C_A.C_B} \quad \text{(2.4)}$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} \quad \text{(2.5)}$$

dengan,

K = konstanta keseimbangan

C_A = konsentrasi asam metakrilat (mol/l)

C_B = konsentrasi metanol (mol/l)

C_C = konsentrasi metil metakrilat (mol/l)

C_D = konsentrasi air (mol/l)

k_1 = nilai tetapan keseimbangan ke kanan (m^3/kmol.jam)

k_2 = nilai tetapan keseimbangan ke kiri (m^3/kmol.jam)

	A	B	C	D
	$CH_2=C(CH_3)COOH$	$+ CH_3OH \longrightarrow$	$CH_2C(CH_3)COOCH_3$	H_2O
Mula-mula	C_{Ao}	C_{Bo}	C_{Co}	C_{Do}
Reaksi	$C_{Ao}.X_e$	$C_{Ao}.X_e$	$C_{Ao}.X_e$	$C_{Ao}.X_e$
Sisa	$C_{Ao}(1-X_e)$	$C_{Bo}-C_{Ao}.X_e$	$C_{Co}+C_{Ao}.X_e$	$C_{Do}+C_{Ao}.X_e$

Berdasarkan persamaan stoikiometri di atas, diperoleh persamaan konsentrasi masing-masing komponen sebagai berikut :

$C_A = C_{Ao}(1-X_e)$

$C_B = C_{Bo} - C_{Ao}.X_e$

$C_C = C_{Co} + C_{Ao}.X_e$

$C_D = C_{Do} + C_{Ao}.X_e$

Sehingga, persamaan (2.4) menjadi :

$$K = \frac{(CCo + CAo.Xe)(CDo + CAo.Xe)}{CAo\,(1-Xe)\,.(CBo - CAo.Xe)}$$

$$K = \frac{(0+1.Xe)(0+1.Xe)}{1(1-Xe)\,.(\frac{C_{Bo}}{C_{Ao}} - 1.Xe)}$$

Pada reaksi esterifikasi ini digunakan perbandingan mol metanol terhadap asam metakrilat sebesar 1,66 : 1 dengan basis perhitungan 1 mol asam metakrilat.

Menggunakan persamaan K yang diperoleh melalui perhitungan termodinamika, diperoleh :

$$5{,}39 \times 10^3 = \frac{(0{,}018+1.Xe)(0{,}092+1.Xe)}{1(1-Xe)\,.(\frac{C_{Bo}}{C_{Ao}} - 1.Xe)}$$

Dari perhitungan persamaan (2.4), diperoleh dua nilai akar konversi kesetimbangan (Xe), yaitu Xe_1 sebesar 0,999689; dan Xe_2 sebesar 1,66082.

Berdasarkan konstanta kesetimbangan (K) yang dihitung menggunakan persamaan (2.5), diperoleh:

$$K = \frac{k1}{k2}$$

$$K = \frac{0{,}9\ \frac{m3}{kmol \cdot jam}}{0{,}0789\ \frac{m3}{kmol \cdot jam}}$$

$$K = 11{,}407$$

$$11{,}407 = \frac{(0+1.Xe)(0+1.Xe)}{1(1-Xe)\ .(\frac{C_{Bo}}{C_{Ao}} - 1.Xe)}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai Xe_1 sebesar 0,904925; dan Xe_2 sebesar 2,01067. Karena nilai Xe>1 tidak memungkinkan (tidak realistis secara fisik), maka nilai konversi kesetimbangan yang digunakan adalah nilai Xe sebesar 0,904925 atau 90,493%

2.2.4. Tinjauan Kinetika Reaksi

Derajat kelangsungan suatu reaksi kimia ditentukan oleh kecepatan reaksi dan konsentrasi reaktan yang terlibat. Pada proses pembentukan metil metakrilat (MMA), reaksi utama yang terjadi adalah reaksi esterifikasi antara asam metakrilat (MAA) dan metanol dengan bantuan katalis asam. Persamaan reaksi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$CH_2{=}C(CH_3)COOH_{(liq)} + CH_3OH_{(liq)} \underset{k_2}{\rightleftharpoons} CH_2C(CH_3)COOCH_{3\,(liq)} + H_2O_{(liq)}$$

Asam Metakrilat Metanol (katalis : H_2SO_4) Metil Metakrilat Air

Ditinjau dari aspek kinetika, reaksi esterifikasi dalam pembentukan metil metakrilat dari asam metakrilat dan metanol merupakan reaksi orde dua serta bersifat reversible. Berdasarkan penelitian Balák (1983), pada kondisi operasi T = 92 °C dan P = 1 bar, diperoleh konstanta laju reaksi sebesar:

k_1 = 0,9 m^3/kmol.jam

k_2 = 0,0789 m^3/kmol.jam

2.2.4.1. Kondisi Operasi

Menurut (Balak, J., 1983), pada rasio mol reaktan yang digunakan, reaksi berlangsung pada kondisi operasi yang ditentukan, yaitu:

Temperatur	= 92°C
Tekanan	= 1 atm
Perbandingan mol reaktan	= 1 : 1,66

2.3. Langkah Proses

Secara garis besar, proses produksi metil metakrilat dari bahan baku asam metakrilat dan metanol terbagi ke dalam tiga tahap utama, yakni tahap persiapan bahan baku, tahap reaksi pembentukan metil metakrilat, serta tahap pemurnian produk.

2.3.1. Persiapan Bahan Baku

Bahan baku asam metakrilat disimpan dalam tangki penyimpanan (T-02) pada kondisi operasi 35 °C dan 1 atm. Metanol disimpan dalam tangki (T-03) pada kondisi operasi yang sama. Katalis asam sulfat disimpan pada tangki (T-01). Semua bahan dialirkan dengan pompa menuju reaktor (R-01). Selain umpan primer, ke reaktor juga disuplai aliran recycle berupa metanol dari overhead MD-01 serta asam sulfat pekat dari bawah *stripper* (ST-01) sesuai kebutuhan proses.

2.3.2. Tahap Reaksi

Tahap awal produksi metil metakrilat (MMA) berlangsung di reaktor di reaktor tangki berpengaduk (R-01) pada suhu operasi 92 °C dan tekanan 1 atm dengan rasio mol MAA : MeOH = 1 : 1,66. Pada unit ini, asam metakrilat (MAA) direaksikan dengan metanol menggunakan katalis asam sulfat. Reaksi yang terjadi yaitu:

$$CH_2{=}C(CH_3)COOH_{(liq)} + CH_3OH_{(liq)} \rightleftharpoons CH_2C(CH_3)COOCH_{3(liq)} + H_2O_{(liq)}$$

Reaksi dijalankan secara isotermal dengan pendinginan disediakan oleh (SUMBER CW) yang mengalir melalui koil pendingin reaktor. Dari perhitungan

optimasi, konversi per pass di R-01 mencapai sebesar 87%. Produk reaktor didinginkan sampai suhu 25°C sebelum masuk ke tahap pemisahan cair-cair (dekanter).

2.3.3. Tahap Pemisahan Awal

Produk hasil reaksi dari R-01 dialirkan menuju dekanter (D-01) untuk dipisahkan berdasarkan perbedaan densitas fasa cair. Pada dekanter, campuran terbagi menjadi dua lapisan. Pada unit ini terbentuk dua lapisan, yaitu *light phase* yang kaya MMA dan methanol, serta *heavy phase* yang mengandung water, methanol, dan sisa katalis H_2SO_4. Light phase dialirkan ke MD-01 untuk dipisahkan lebih lanjut, sedangkan heavy phase diproses lebih lanjut di unit *stripper* (ST-01) untuk memisahkan asam sulfat dari campuran metanol. Hasil atas ST-01 akan bergabung dengan stream dari heavy phase dekanter, dialirkan menggunakan blower menuju ke MD-01. Sementara hasil bawah berupa cairan yang kaya akan asam sulfat dipompakan kembali sebagai arus recycle menuju reaktor R-01.

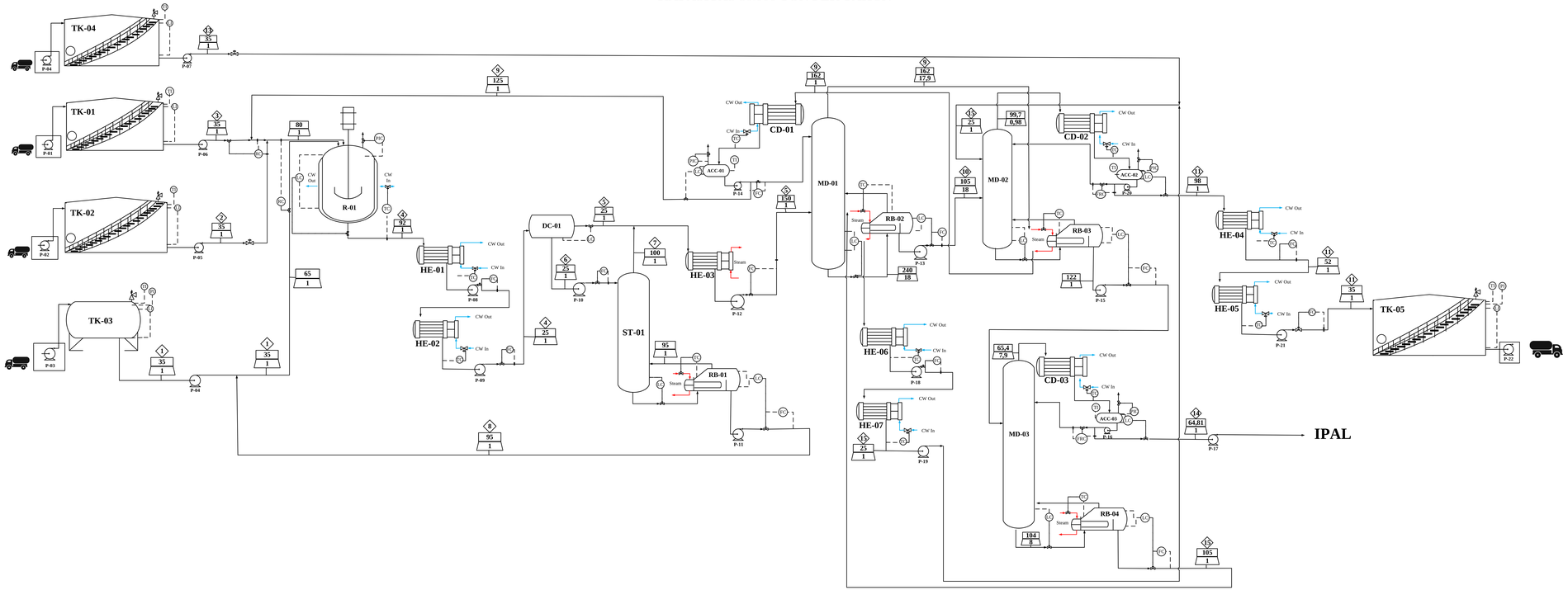
2.3.4. Tahap Pemurnian (HI-PSEDP)

Tahap pemurnian dilakukan dengan *Heat Integrated–Pressure Swing Extractive Distillation Process* (HI-PSEDP) karena campuran MMA–metanol–air membentuk dua azeotrop yang menyulitkan pemisahan dengan distilasi biasa. Pada konfigurasi ini digunakan tiga menara distilasi yang saling terintegrasi panas. Aliran kaya MMA mula-mula memasuki kolom distilasi MD-01 yang beroperasi pada tekanan tinggi untuk memisahkan metanol murni (99,9%) pada bagian atas menara, sementara hasil bawah berupa campuran MMA dan air. Campuran ini selanjutnya dialirkan ke MD-02, yaitu kolom ekstraktif yang menggunakan gliserin sebagai entrainer. Pemilihan gliserin didasarkan pada kemampuannya memutus ikatan azeotrop MMA–air melalui interaksi kuat dengan air tanpa membentuk azeotrop baru. Produk atas MD-02 berupa MMA dengan kemurnian 99,9% dialirkan ke tangki penyimpanan T-105, sedangkan hasil bawah berupa campuran air dan gliserin dikirim ke MD-03 untuk regenerasi. Pada MD-03, gliserin murni dipisahkan dan direcycle kembali ke

MD-02, sementara air sebagai produk samping dibuang menuju unit pengolahan limbah.

Untuk meningkatkan efisiensi energi, diterapkan sistem *heat integration*, di mana uap panas dari bagian atas MD-01 dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi reboiler MD-02, sedangkan aliran bawah MD-03 yang masih bersuhu tinggi digunakan untuk memanaskan cairan dasar MD-01. Dengan adanya integrasi energi ini, konsumsi steam dan beban pendingin dapat ditekan secara signifikan, sehingga menurunkan *Total Annual Cost* sekaligus mengurangi emisi gas buang.

DIAGRAM ALIR PROSES
PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT DARI ASAM METAKRILAT DAN METANOL DENGAN METODE HI-PSEDP (HEAT INTEGRATED-PRESSURE SWING EXTRACTION DISTILLATION PROCESS) KAPASITAS 80.000 TON PER TAHUN



PROGRAM STUDI S-Tr TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG 2025	
PRARANCANGAN PABRIK METIL METAKRILAT DARI ASAM METAKRILAT DAN METANOL DENGAN METODE HI-PSEDP (HEAT INTEGRATED-PRESSURE SWING EXTRACTION DISTILLATION PROCESS) KAPASITAS 80.000 TON PER TAHUN	
Digambar Oleh	Nadyn Amalia Resi (40040121650072)
Dosen Pembimbing	Dr. Ir. Fahmi Arifan, S.T., M.Eng., M.M., IPM., ASEAN Eng. Prof. Ir. Tutuk Djoko Kusworo, S.T., M.Eng., Ph.D.

KETERANGAN

HE 01-07	= Heat Exchanger
CD 01-03	= Condenser
RB 01-04	= Reboiler
P 01-22	= Pump
R 01	= Reactor
MD 01-03	= Distillation Column
ST 01	= Stripper
DC 01	= Decanter
ACC 01-03	= Accumulator
TK 01	= Methanol Tank
TK 02	= Methacrylic Acid Tank
TK 03	= Sulfuric acid Tank
TK 04	= Glycerin Tank
TK 05	= Methyl Metacrylate Tank
UPL	= Unit Penampungan Limbah
FC	= *FLOW RATE CONTROLLER*
LC	= *LEVEL CONTROLLER*
TC	= *TEMPERATURE CONTROLLER*
LI	= *LEVEL INDICATOR*
TI	= *TEMPERATURE INDICATOR*
PI	= *PRESSURE INDICATOR*
FIC	= *FLOW INDICATOR CONTROLLER*
PIC	= *PRESSURE INDICATOR CONTROLLER*
FRC	= *FLOW RATIO CONTROLLER*
RC	= *RATIO CONTROLLER*

= Elektrik

= Pneumatik

= Arus Utama

= Arus Pemanas

= Arus Pendingin

= Nomor Arus

= Temperatur,°C

= Tekanan, Atm

2.4. Neraca Massa

Tabel 2. 3. Neraca Massa *Mixing Point 01* (MP-01)

Komponen	Input			Output
	Arus 1	**Arus 2**	**Arus 3**	**Arus MP-01**
Asam Metakrilat	0,0000	8584,9350	0,0000	8.584,935
Metanol	0,0000	0,0000	2762,6470	2.762,647
Metil Metakrilat	0,0000	0,0000	0,0000	-
Air	4,9690	43,1400	4,1500	52,259
Asam Sulfat	243,5000	0,0000	0,0000	243,500
Total	248,4690	8.628,075	2.766,797	**11.643,341**
		11.643,341		

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

Mass Flowrate (kg/jam)						
Komponen	**Input**					**Output**
	Arus 1	**Arus 2**	**Arus 3**	**Arus 8 (Rec B ST-01)**	**Arus 9 (Rec D MD-01)**	**Arus 4**
Asam Metakrilat	0,0000	8584,9350	0,0000	138,1106	2,3410	1.134,300
Metanol	0,0000	0,0000	2762,6470	202,0381	2425,8590	2.565,379
Metil Metakrilat	0,0000	0,0000	0,0000	19,7932	8,6050	8.856,332
Air	4,9690	43,1400	4,1500	1340,8560	0,0000	2.981,433
Asam Sulfat	243,5000	0,0000	0,0000	1605,6872	0,0000	1.849,187
Total	248,4690	8628,0750	2766,7970	3306,4851	2436,8050	**17.386,633**
			17.386,631			

Tabel 2. 5. Neraca Massa *Mixing Point 02* (MP-02)

Mass Flowrate (kg/jam)				
Komponen	**Input**			**Output**
	Arus MP-01	**Arus 8**	**Arus 9**	**Arus 4**
Asam Metakrilat	8584,9350	138,1106	2,3410	1.134,300
Metanol	2762,6470	202,0381	2425,8590	2.565,379
Metil Metakrilat	0,0000	19,7932	8,6050	8.856,332
Air	52,2590	1340,8560	0,0000	2.981,433
Asam Sulfat	243,5000	1605,6872	0,0000	1.849,187
Total	11643,3410	3.306,485	2.436,805	**17.386,633**
		17.386,633		

Tabel 2. 6. Neraca Massa *Decanter 01* (DC-01)

Mass Flowrate (kg/jam)			
Komponen	**Input**	**Output**	
	Arus 4	**Arus 5**	**Arus 6**
Asam Metakrilat	1.134,300	868,953	265,348
Metanol	2.565,379	1.729,258	836,122
Metil Metakrilat	8.856,332	8.810,120	46,212
Air	2.981,433	37,268	2.944,166
Asam Sulfat	1.849,187	-	1.849,187
Total	**17.386,633**	11.445,598	5.941,034
		17.386,633	

Tabel 2. 7. Neraca Massa *Stripper-01* (ST-01)

Mass Flowrate (kg/jam)			
Komponen	**Input**	**Output**	
	Arus 6	**Arus 7**	**Arus 8**
Asam Metakrilat	265,348	-	265,348
Metanol	836,122	583,529	252,592
Metil Metakrilat	46,212	8,184	38,028
Air	2.944,166	2.576,145	368,021
Asam Sulfat	1.849,187	-	1.849,187
Total	**5.941,034**	3.167,859	2.773,176
		5.941,034	

Tabel 2. 8. Neraca Massa *Mixing Point 03* (MP-03)

Mass Flowrate (kg/jam)			
Komponen	**Input**		**Output**
	Arus 5	**Arus 7**	**Arus MP-03**
Asam Metakrilat	868,9528	0,0000	868,953
Metanol	1729,2575	583,5295	2.312,787
Metil Metakrilat	8810,1201	8,1842	8.818,304
Air	37,2679	2576,1449	2.613,413
Asam Sulfat	0,0000	0,0000	-
Total	11445,5983	3.167,859	**14.613,457**
	14.613,457		

Tabel 2. 9. Neraca Massa Menara Distilasi 01 (MD-01)

Mass Flowrate (kg/jam)				
Komponen	**Input**		**Output**	
	Arus 5	**Arus 7**	**Arus 9**	**Arus 10**
Asam Metakrilat	868,9528	-	867,215	1,738
Metanol	1729,2575	583,529	2.310,474	2,313
Metil Metakrilat	8810,1201	8,184	8,818	8.809,486
Air	37,2679	2.576,145	-	2.613,413
Asam Sulfat	0,0000	-	-	-
Total	11445,5983	3.167,859	3.186,507	11.426,949
	14.613,4569		**14.613,4569**	

Tabel 2. 10. Neraca Massa Menara Distilasi 02 (MD-02)

Mass Flowrate (kg/jam)					
Komponen	**Input**			**Output**	
	Arus 10	**Arus 13**	**Arus 15**	**Arus 11**	**Arus 12**
Asam Metakrilat	1,7379	0,0000	0,0017	0,002	1,736
Metanol	2,3128	0,0000	0,0000	-	2,313
Metil Metakrilat	8809,4860	0,0000	0,0000	8.800,676	8,809
Air	2613,4128	0,0045	2,6108	2,613	2.610,799
Asam Sulfat	0,0000	0,0000	0,0000	-	-
Glycerin	0,0000	4,4940	4494,0112	4,503	4.498,510
Total	**11426,9494**	**4,4985**	**4496,6237**	8.807,795	7.122,168
	15.929,962			**15.929,962**	

Tabel 2. 11. Neraca Massa Menara Destilasi 03 (MD-03)

Mass Flowrate (kg/jam)			
Komponen	**Input**	**Output**	
	Arus 12	**Arus 15**	**Arus 14 (IPAL)**
Asam Metakrilat	1,7362	0,002	1,736
Metanol	2,3128	-	2,313
Metil Metakrilat	8,8095	-	8,809
Air	2610,7994	2,611	2.608,189
Asam Sulfat	0,0000	-	-
Glycerin	0,0000	4.494,011	4,499
Total	**2.623,660**	**2,613**	**2.621,047**
		2.623,660	

Tabel 2. 12. Neraca Massa *Mixing Point 04* (MP-04)

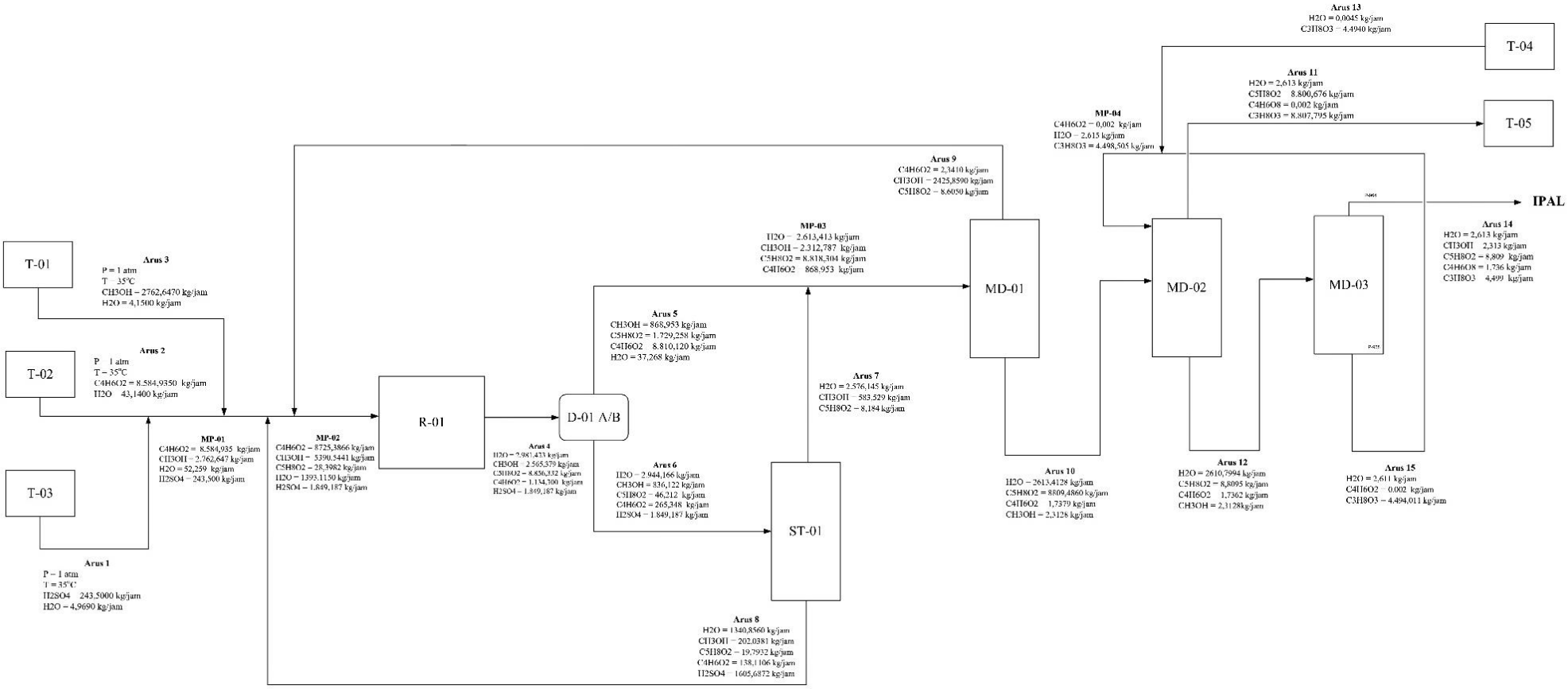
Mass Flowrate (kg/jam)			
Komponen	**Input**		**Output**
	Arus 13	**Arus 15**	**Arus MP-04**
Asam Metakrilat	0,0000	0,002	0,002
Metanol	0,0000	-	-
Metil Metakrilat	0,0000	-	-
Air	0,0045	2,611	2,615
Asam Sulfat	0,0000	-	-
Glycerin	4,4940	4.494,011	4.498,505
Total	**4,4985**	**4.496,624**	
	4.501,122		**4.501,122**

Efisiensi Produk MMA $= \frac{Jumlah\ Produk\ MMA}{Jumlah\ Bahan\ Baku + Jumlah\ Bahan\ Pendukung} x\ 100\%$

$= 88{,}89\%$

%Yield $= \frac{Produk\ MMA}{Jumlah\ Bahan\ Baku} x100\%$

$= 91{,}43\%$



Gambar 2. 1. Diagram Alir Neraca Massa

2.5. Neraca Panas

Tabel 2. 13. Neraca Panas Reaktor (R-01)

Komponen	Input (kJ/Jam)	Output (kJ/Jam)
Q1	3,701.336	0.000
Q2	176,970.016	0.000
Q3	69,468.894	0.000
Q8	241,854.471	0.000
Q9	1,021,818.526	0.000
Q reaksi	1,767,932.347	0.000
Q4	0.000	3,281,854.607
Q pendingin	0.000	109.016
Total	**3,281,963.623**	**3,281,963.623**

Tabel 2. 14. Neraca Panas *Heat Exchanger 1* (HE-01)

Komponen	Input	Output
Q4	-166,519,554.888	60,867,051.557
Q pendingin	0.000	-227,386,606.446
Total	**-166,519,554.888**	**-166,519,554.888**

Tabel 2. 15. Neraca Panas *Heat Exchanger 2* (HE-02)

Komponen	Input	Output
Q4	60,867,051.557	0.000
Q pendingin	0.000	60,867,051.557
Total	**60,867,051.557**	**60,867,051.557**

Tabel 2. 16. Neraca Panas *Decanter 1* (DC-01)

Komponen	Input	Output
Q4	0.000	0.000
Q5	0.000	0.000
Q6	0.000	0.000
Total	**0.000**	**0.000**

Tabel 2. 17. Neraca Panas *Heat Exchanger* 3 (HE-03)

Komponen	Input	Output
Q5	0.000	45,698,354.526

Q pemanas	0.000	-45,698,354.526
Total	**0.000**	**0.000**

Tabel 2. 18. Neraca Panas *Stripper 1* (ST-01)

Komponen	Input	Output
Q6	0.000	0.000
Q_R	388,494.217	0.000
Q8	0.000	388,494.217
Qc	0.000	0.000
Total	**388,494.217**	**388,494.217**

Tabel 2. 19. Neraca Panas Menara Distilasi 1 (MD-01)

Komponen	Input	Output
Q5	2,880,196.550	0.000
Q7	922,641.844	0.000
Q_R	1,856,009.601	0.000
Q9	0.000	1,136,918.636
Q10	0.000	6,226,402.026
Qc	0.000	-1,704,472.667
Total	**5,658,847.996**	**5,658,847.996**

Tabel 2. 20. Neraca Panas Menara Distilasi 2 (MD-02)

Komponen	Input	Output
Q10	2,135,723.412	0.000
Q13	0.000	0.000
Q15	0.000	0.000
Q_R	5,590,530.092	0.000
Q11	0.000	1,173,598.786
Q12	0.000	1,062,395.671
Qc	0.000	5,490,259.047
Total	**7,726,253.504**	**7,726,253.504**

Tabel 2. 21. Neraca Panas *Heat Exchanger* 4 (HE-04)

Komponen	Input	Output
Q4	114,639,266.883	114,639,252.123

Q pendingin	0.000	14.760
Total	**114,639,266.883**	**114,639,266.883**

Tabel 2. 22. Neraca Panas *Heat Exchanger 5* (HE-05)

Komponen	Input	Output
Q4	114,639,252.123	15,182,290.170
Q pendingin	0.000	99,456,961.953
Total	**114,639,252.123**	**114,639,252.123**

Tabel 2. 23. Neraca Panas Menara Distilasi 3 (MD-03)

Komponen	Input	Output
Q12	1,062,395.671	0.000
Q_R	2,213,530.816	0.000
Q14	0.000	441,130.972
Q15	0.000	862.019
Qc	0.000	2,833,933.496
Total	**3,275,926.487**	**3,275,926.487**

Tabel 2. 24. Neraca Panas *Heat Exchanger 6* (HE-06)

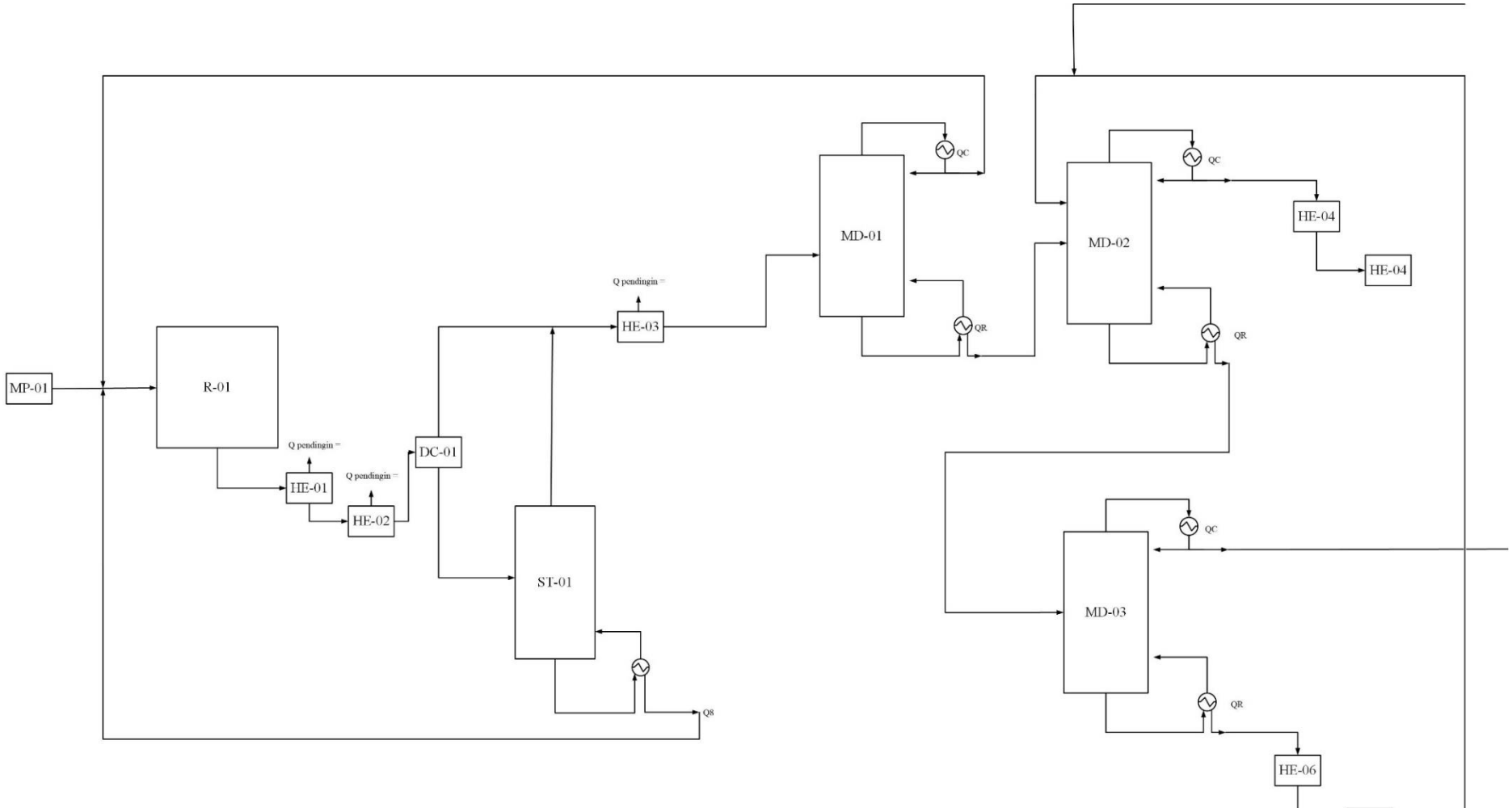
Komponen	Input	Output
Q4	15,151.829	5,316.862
Q pendingin	0.000	9,834.967
Total	**15,151.829**	**15,151.829**

Tabel 2. 25. Neraca Panas *Heat Exchanger 7* (HE-07)

Komponen	Input	Output
Q4	5,316.862	1,972.798
Q pendingin	0.000	3,344.064
Total	**5,316.862**	**5,316.862**

Efisiensi Panas $= \frac{Panas\ Total - Panas\ yang\ hilang}{Panas\ Total}\ x\ 100\%$

= 93,9 %



Gambar 2. 2. Diagram Alir Neraca Panas

2.6. Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

Perencanaan fasilitas pabrik (manufacturing facilities planning) terdiri dari perencanaan lokasi tata letak (plant location) dan desain pabrik (plant design).

Tata letak pabrik adalah kedudukan dari bagian pabrik yang terdiri dari tempat karyawan bekerja, tempat peralatan, tempat penyimpanan bahan baku dan produk ditinjau dari segihubungan satu dengan yang lainnya. Tata letak yang tepat sangat penting dalam mendapatkan efisiensi, kelancaran dari para pekerja, dan keselamatan proses. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam melakukan penentuan lokasi pabrik yang akan didirikan yaitu sumber bahan baku, pasar, transportasi, ketersediaan tenaga kerja, iklim, dan juga kebijakan pemerintah daerah setempat (Max S. Peters & Timmerhaus, 1991). Untuk mencapai kondisi yang optimal, maka hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan tata letak pabrik antara lain sebagai berikut:

a. Ketersediaan Bahan Baku

   Ketersediaan bahan baku cukup dekat dengan lokasi pabrik, sehingga operasi dapat berlangsung dengan lancar karena selalu tersedianya bahan baku. Penempatan pabrik di Gresik dinilai menguntungkan karena berdekatan dengan pabrik sumber bahan baku yaitu PT. Satona Chemical dan PT. Eterindo Nusa Graha. Kawasan Gresik yang berdekatan dengan pelabuhan memudahkan dalam penyediaan bahan baku asam metakrilat yang berasal dari PT. Mitsubishi Chemical Group (Jepang) dan metanol berasal dari PT. Kaltim Metanol Industri.

b. Utilitas

   Utilitas merupakan unit yang bertugas dalam menunjang kegiatan pabrik seperti mensuplai ketersediaan air, listrik, *stream*, dan sarana pendukung lainnya. Proses industri menggunakan air dalam jumlah yang besar untuk berbagai proses, sehingga lokasi pabrik akan lebih baik jika berada didekat sumber air yang dapat memenuhi keperluan pabrik dalam jangka waktu yang lama. Kebutuhan air di Kawasan Gresik tersedia cukup memadai karena terletak pada tepi pantai yang langsung berhubungan ke

laut lepas sehingga ketersediaan air sangat berlimpah. Lokasi pabrik juga sebaiknya cukup dekat dengan sumber listrik dan bahan bakar yang akan digunakan dalam kegiatan pabrik. Kebutuhan tenaga listrik disuplai PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan generator yang dioperasikan di unit utilitas, sedangkan bahan bakar diperoleh melalui kerjasama dengan PT. Pertamina.

c. Pemasaran Hasil Produksi

Kawasan Gresik merupakan kawasan industri yang cukup besar. Metil metakrilat dapat dengan mudah didistribusikan ke industri yang membutuhkan metil metakrilat seperti industri kaca, plastik, polimer, ataupun instruksi. Selain itu, lokasi pabrik juga berdekatan dengan jalan raya dan berada di tepian laut. Posisi ini mempermudah distribusi metil metakrilat baik dari jalur darat maupun jalur laut.

d. Tenaga Kerja

Tenaga kerja di lokasi pabrik tersedia dengan baik, yakni tenaga terdidik, terampil, maupun tenaga kasar. Tenaga kerja terdidik dan terlatih dapat direkrut dari kerjasama dengan pabrik-pabrik lainnya ataupun melalui proses penerimaan karyawan dari perguruan tinggi negeri danswasta yang ada disekitarnya ataupun diseluruh Indonesia. Tenaga kasar dapat direkrut dari warga-warga sekitar lokasi pabrik. Pemerataan penyerapan tenaga kerja pada pabrik ini diharapkan dapat mengurangi atau menurunkan angka pengangguran yang ada di Indonesia.

e. Letak Geografis

Karakteristik dan kondisi lingkungan seperti tanah, ketinggian terhadap permukaan air laut, ketinggian air tanah, drainase, kecepatan angin, kuantitas hujan, dan kemungkinan terjadi bencana alam menjadi salah satu pertimbangan letak geografis pendirian pabrik. Berdasarkan pertimbangan dari karakteristik dan kondisi lingkungan tersebut, lokasi pabrik Metil Metakrilat ini memiliki kondisi lingkungan yang cukup baik dan juga memungkinkan pengoperasian pabrik dapat berjalan dengan

lancar untuk mendukung berdirinya pabrik tersebut.

f. Pertimbangan keselamatan kerja

Letak pabrik harus cukup jauh dari bangunan dan juga tempat keramaian. Kemungkinan terjadinya kebakaran, banjir, bencana alam, ledakan, dan lainnya juga harus dipertimbangkan agar dapat dilakukan tindakan jika terjadi sesuatu yang tidak diinginkan.

g. Letak Fasilitas Penunjang

Letak perkantoran, laboratorium, gudang, pengolahan limbah, dan juga fasilitas-fasilitas penunjang lainnya harus dapat memenuhi standar dan syarat kesehatan, kenyamanan, dan lingkungan.

h. Distribuasi penyediaan utilitas yang mementingkan nilai ekonomi

Utilitas seperti pengadaan air, steam, bahan bakar, dan sumber listrik harus

dapat disalurkan dengan mudah, cepat, dan juga efisien sehingga dapat menekan biaya produksi menjadi seminimal mungkin.

i. Kondisi cuaca

Penempatan peralatan didalam ataupun diluar ruangan harus menyesuaikan kondisi dari cuaca sehingga kenyamanan, optimalisasi kerja, dan pencegahan terhadap kerusakan dapat dilakukan

j. Perluasan pabrik

Kemungkinan perluasan pabrik dimasa mendatang. Pabrik yang akan didirikan sekarang diharapkan berkembang dimasa yang akan datang.

k. Pengelohan limbah

Masalah pengolahan dan juga pembuangan limbah yang dihasilkan oleh pabrik didesain agar tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Secara umum, garis besar tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama, antara lain:

1. Distribusi penyediaan utilitas yang mementingkan nilai keekonomisan

Utilitas seperti pengadaan air, *steam*, bahan bakar, dan sumber listrik harus dapat disalurkan dengan mudah, cepat, dan juga efisien sehingga dapat menekan biaya produksi menjadi seminimal mungkin.

2. Letak Fasilitas Penunjang

Letak perkantoran, laboratorium, gudang, pengolahan limbah, dan juga fasilitas- fasilitas penunjang lainnya harus dapat memenuhi standar dan syarat kesehatan, kenyamanan, danlingkungan.

3. Kondisi cuaca

Penempatan peralatan didalam ataupun diluar ruangan harus menyesuaikan kondisi dari cuaca sehingga kenyamanan, optimalisasi kerja, dan pencegahan terhadap kerusakan dapat dilakukan.

4. Perluasan Pabrik

Kemungkinan perluasan pabrik dimasa mendatang. Pabrik yang akan didirikan sekarang diharapkan berkembang dimasa yang akan datang.

5. Pengolahan Limbah

Masalah pengolahan dan juga pembuangan limbah yang dihasilkan oleh pabrik didesain agar tidak mengganggu kelestarian lingkungan.

Secara umum, garis bersar tata letak pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama:

a. Daerah Administrasi atau Perkantoran.

Daerah ini merupakan pusat kegiatan administrasi perusahaan yang mengatur kelancaran operasi dan kegiatan-kegiatan lainnya. Daerah ini ditempatkan di bagian depan pabrik agar kegiatan administrasi tidak mengganggu kegiatan dan keamanan pabrik serta harus terletak jauh dari area proses yang berbahaya.

b. Daerah Fasilitas Umum

Untuk menunjang kinerja para pekerja, diperlukan fasilitas umum yang memadai. Daerah ini merupakan daerah penunjang segala aktivitas pabrik dalam pemenuhan kepentingan pekerja, seperti tempat parkir, tempat ibadah, kantin, MCK dan pos keamanan.

c. Daerah Proses

Daerah ini merupakan daerah tempat alat-alat proses dan tempat proses produksi berlangsung. Tempat yang tepat untuk daerah proses ini terletak dibagian tengah pabrik. Letak aliran proses direncanakan

sedemikian rupa sehingga memudahkan pemindahan bahan baku dari tangki penyimpanan dan pengiriman produk ke daerah penyimpanan serta memudahkan pengawasan dan pemeliharaan terhadap alat-alat proses.

d. Daerah Laboratorium dan Ruang Kontrol

Laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendali proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang akan dijual. Daerah laboratorium merupakan pusat kontrol kualitas bahan baku, produk dan limbah proses, sedangkan daerah ruang kontrol merupakan pusat kontrol berjalannya proses yang diinginkan.

e. Daerah Pemeliharaan

Daerah pemeliharaan merupakan tempat penyimpanan suku cadang alat proses sekaligus tempat untuk melakukan perbaikan, pemeliharaan atau perawatan semua peralatan yang dipakai dalam proses.

f. Daerah Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

Persediaan bahan baku dan produk yang memadai harus ditempatkan dilokasi yang strategis. Daerah ini terdiri dari area tangki penyimpanan bahan baku dan produk yang terletakdi lingkungan terbuka dan berada di dalam daerah yang dapat terjangkau oleh angkutan pembawa bahan baku dan produk. Daerah ini ditempatkan di dekat area proses supaya suplai bahan baku proses dan penyimpanan produk lebih mudah dan efisien.

g. Daerah Utilitas

Daerah ini merupakan daerah tempat penyediaan air, *steam*, listrik, bahan bakar, dan udara tekan. Daerah ini ditempatkan dekat dengan daerah proses agar sistem pemipaan lebih ekonomis, tetapi mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan maka jarak antara areal utilitas dengan area proses harus diatur.

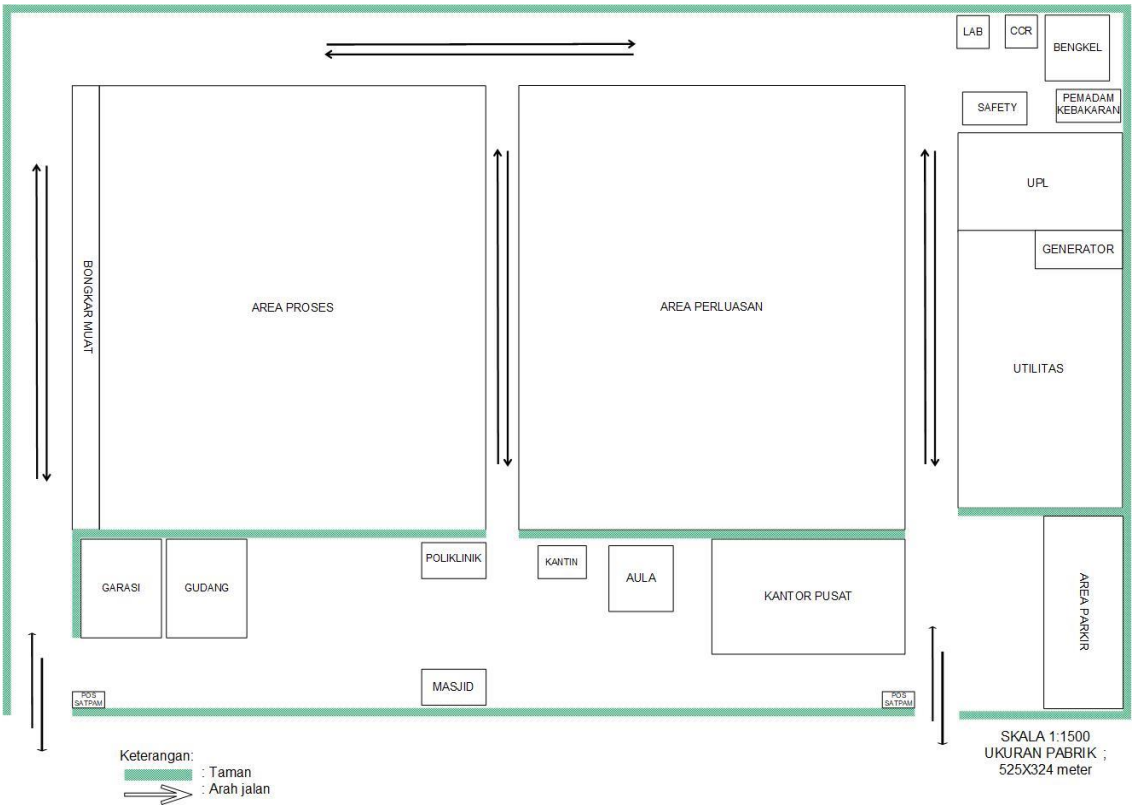
h. Daerah Pengolahan Limbah

Daerah ini merupakan daerah pembuangan dan pengolahan limbah hasil proses produksi.

Adapun perincian luas tanah sebagai bangunan pabrik adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 26. Perincian Bangunan

Nomor	**Nama Bangunan**	**Luas (m^2)**
1	Pos Keamanan 1	100
2	Pos Keamanan 2	100
3	Jalan Pabrik	5.000
4	Kantor	500
5	Masjid	400
6	Tempat Parkir	1.800
7	Taman	500
8	Area Proses	10.000
9	Ruang Kontrol	400
10	Laboratorium	400
11	Gudang	650
12	K3	450
13	Bengkel	650
14	*Quality Control*	350
15	Perluasan	6.000
16	Utilitas	500
17	Klinik	200
	Total	28.000



Gambar 2. 3. Tata letak pabrik

Perkiraan luas tanah yang diperlukan dalam pembangunan Pabrik Metil Metakrilat adalah sebesar 2,4Ha dengan perincian sebagai berikut:

1. Luas tanah untuk pabrik : 6.637 m^2
2. Luas tanah untuk penunjang proses dan fasilitas lainnya : 49.531 m^2
3. Luas tanah untuk perluasan pabrik : 36.450 m^2

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

1. Aliran bahan baku dan produk

   Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar serta kelancaran serta keamanan produksi dapat terjamin.

2. Aliran udara

   Aliran udara di dalam dan di sekitar area proses perlu diperhatikan supaya lancar. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya *stagnasi* (pemampatan) udara pada suatu tempat yang dapat membahayakan

keselamatan kerja.

3. Cahaya

Penerangan seluruh area pabrik harus memadai. Pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu diberikan penerangan tambahan.

4. Lalu lintas manusia

Perlu diperhatikan agar pekerja dapat menjangkau seluruh area proses dengan cepat

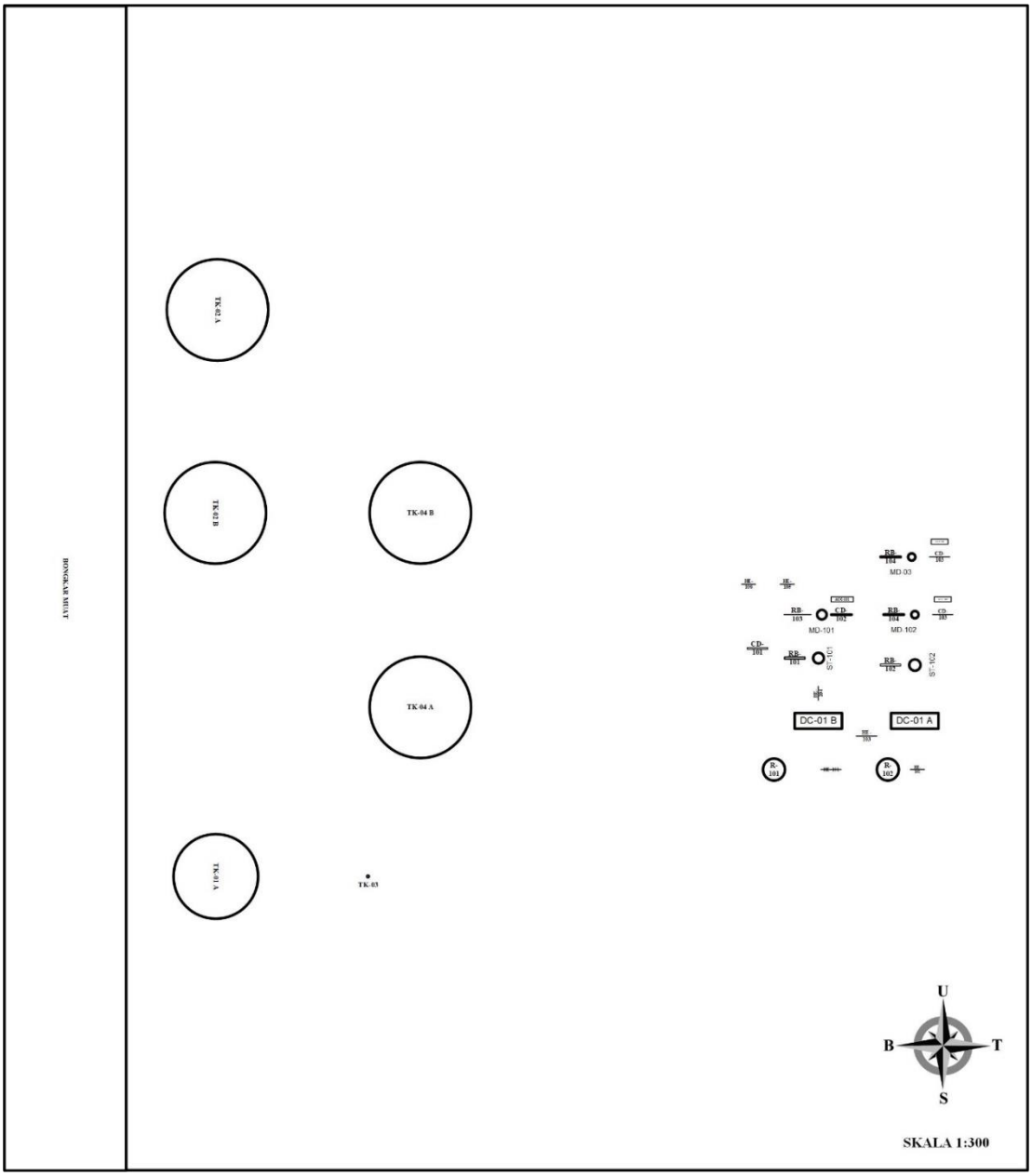
dan mudah sehingga jika terjadi gangguan pada peralatan proses dapat segera diperbaiki. Selain itu, keamanan seluruh pekerja selama menjalani tugasnya harus diprioritaskan.

5. Biaya operasi

Dalam penempatan alat-alat proses pada pabrik diusahakan dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran dan keamanan produksi sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

6. Jarak antar alat proses

Untuk alat proses yang memiliki tekanan dan suhu operasi tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran tidak membahayakan alat proses yang lain dan kerusakan dapat dikurangi. Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, berikut adalah gambar tata letak peralatan.



Gambar 2. 4. Layout Alat Proses