

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Bahan Baku Utama

1) Asam Metakrilat

a. Sifat Fisika

- Massa Jenis : 1,015 g/cm³
- Titik Didih : 161°C
- Titik Leleh : 15°C
- Berat Molekul : 86,09 g/mol
- Penampakan : Tidak berwarna
- Aroma : Menyengat

b. Sifat Kimia

- Berada pada golongan asam karboksilat
- Bereaksi dengan metanol menghasilkan metil metakrilat

2) Metanol

a. Sifat Fisika

- Massa Jenis : 0,791 g/cm³
- Titik Didih : 64,7°C
- Titik Leleh : -98°C
- Berat Molekul : 32,04 g/mol
- Penampakan : Tidak berwarna
- Aroma : Khas

b. Sifat Kimia

- Aroma ringan alkohol yang khas dan tidak berwarna
- Dapat didehidrasi dengan katalis asam untuk menghasilkan dimetil eter dan air



2.1.2 Bahan Baku Pendukung

1) Katalis NKC-9

a. Sifat Fisika

- Massa Jenis : 0,70-0,80 g/cm³
- Kelembapan : 45%
- Ukuran Partikel : 16-50 mesh
- Maksimum Suhu Operasi : 393,15 K
- Luas Permukaan : 73,2 m²/g

2.1.3 Produk Utama

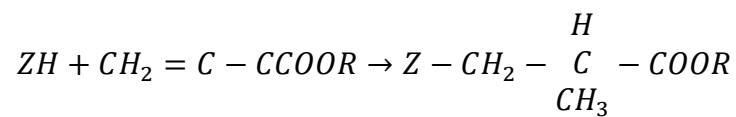
1) Metil Metakrilat

a. Sifat Fisika

- Massa Jenis : 931,7573 kg/m³
- Titik Didih : 100,35°C
- Titik Beku : -48,2°C
- Berat Molekul : 100,121 g/mol
- Penampakan : Tidak berwarna

b. Sifat Kimia

Reaksi adisi pada ikatan rangkap karbon, saat penambahan hydrogen halida, hydrogen sianida, hydrogen sulfida, alkil amina, alkohol, mercaptan, phosphine atau fenol akan menghasilkan β yang tersubstitusi menjadi α -metil propinat.



2.1.4 Produk Samping

1) Air

a. Sifat Fisika

- Massa Jenis : 998 kg/m³
- Titik Didih : 100 °C
- Titik Beku : 0 °C
- Berat Molekul : 18,015 g/mol
- Penampakan : Tidak Berwarna

b. Sifat Kimia

- Satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen (H₂O)
- Mampu melarutkan banyak zat kimia lain seperti garam, gula, asam, dan beberapa jenis gas dan senyawa organik

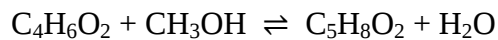
2.2 Konsep Proses

2.2.1 Pemilihan Proses

Dalam pra rancangan pabrik metil metakrilat menggunakan proses *Two-Column Reactive Dividing-Wall Distillation* (TCRDWD) dengan menggunakan bahan baku asam metakrilat dan metanol dalam proses produksinya

2.2.2 Mekanisme Reaksi

Berdasarkan proses yang ditinjau dengan terbentuknya reaksi ini antara bahan baku asam metakrilat dan metanol dapat dilihat seperti di bawah ini:



2.2.3 Kondisi Operasi

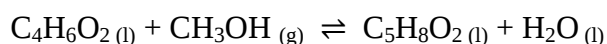
Kondisi operasi yang terjadi selama proses reaksi *Two-Column Reactive Dividing-Wall Distillation* (TCRDWD) yang berlangsung dalam kolom distilasi reaktif yang dilengkapi dinding pemisah dengan suhu operasi 95 °C yang sebelumnya bahan baku dipanaskan di *Heater1* dan *Heater 2*. Pemilihan tersebut berdasarkan jurnal yang ditulis oleh Song et al., 2025 menyatakan bahwa suhu operasi tersebut merupakan suhu optimal dan untuk menjaga laju konversi maksimum. Selain itu dengan menggunakan metode ini dengan kondisi operasi tersebut dapat menghasilkan konversi sebesar 49,0% MMA yang selanjutnya akan dilakukan pemurnian dengan dekanter dan kolom distilasi (*stripper*) untuk mendapatkan kemurnian 99,80% MMA.

2.2.4 Tinjauan Termodinamika

Pada bagian ini, bertujuan untuk meninjau sifat reaksi yang terjadi apakah bersifat eksotermis atau endotermis. Selain untuk menentukan sifat eksotermis dan endotermis, juga dapat menentukan arah berlangsungnya reaksi apakah searah (*irreversible*) atau bolak balik (*reversible*).

a. Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f)

Peninjauan termodinamika ini berdasarkan panas pembentukan standar (*enthalpy of formation* = ΔH°_f) yang terjadi pada tekanan 1 atm dan suhu 298 K. Panas pembentukan digunakan untuk menentukan sifat reaksi apakah reaksi bersifat eksotermis atau endotermis. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Tabel 2. 1 Panas Pembentukan Standar Senyawa (Yaws Carl L., 2003)

Senyawa	ΔH°_f (kJ/mol)
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$	-361,8
CH_3OH	-200,9
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	-347,36
H_2O	-241,8

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_f \text{ reaksi} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H^\circ_f \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ C}_4\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ CH}_3\text{OH}) \\ &= (-347,36 + (-241,8)) - (-361,8 + (-200,9)) \\ &= -26,46 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan ΔH°_f reaksi diatas dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan metil metakrilat dengan reaktan asam metakrilat dan metanol bersifat **eksotermis** yang ditunjukkan dengan nilai negatif.

b. Energi Bebas Gibbs (ΔG°)

Tinjauan Energi Bebas Gibbs digunakan untuk menentukan apakah sebuah reaksi dapat berjalan (spontan) atau tidak. Dimana untuk perhitungan Energi Bebas Gibbs pembentukan metil metakrilat dari asam metakrilat dan metanol adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Energi Bebas Gibbs Senyawa (Yaws Carl L., 2003)

Senyawa	ΔG° (kJ/mol)
$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$	-281,82
CH_3OH	-162,2
$\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$	-241,59
H_2O	-228,6

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ \text{ reaksi} &= \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^\circ \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_2 + \Delta G^\circ \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ \text{ C}_4\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta G^\circ \text{ CH}_3\text{OH}) \\ &= (-241,59 + (-228,6)) - (-281,82 + (-162,2)) \\ &= -26,17 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Didapatkan nilai $\Delta G^\circ < 0$, maka reaksi dapat berjalan (spontan).

c. Konstanta Keseimbangan Reaksi

Konstanta kesetimbangan reaksi ditinjau untuk mengetahui apakah reaksi berjalan searah menuju produk atau berjalan secara bolak-balik. Dimana penenijauan tersebut berdasarkan persamaan Van't Hoff seperti di bawah ini:

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

$$\Delta G^\circ_{298} = -RT \ln K$$

Maka,

$$\ln K_{298} = \frac{-\Delta G^\circ_{298}}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(-26,17)}{0,008314 \times 298}$$

$$\ln K_{298} = 10,563$$

$$K_{298} = 38667,73$$

Sehingga nilai K untuk suhu operasi 368 K (95°C) adalah:

$$\ln K \left(\frac{K_{T_{operasi}}}{K_{T_{298}}} \right) = -\frac{\Delta H_{298}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{Ref}} \right)$$

$$\ln K \left(\frac{K_{T_{operasi}}}{38667,73} \right) = -\frac{-26,17}{0,008314} \times \left(\frac{1}{368} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln K \left(\frac{K_{T_{operasi}}}{38667,73} \right) = -2,00922$$

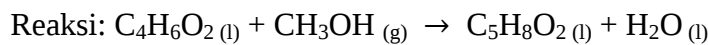
$$\frac{K_{T_{operasi}}}{38667,73} = 0,134093$$

$$K_{T_{operasi}} = 5185,076$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan nilai $K > 1$ yang menunjukkan bahwa reaksi antara asam metakrilat dan metanol menghasilkan metil metakrilat merupakan reaksi searah (irreversible) ke arah produk.

2.2.5 Tinjauan Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi penting untuk menentukan suhu, tekanan, maupun spesifikasi alat yang akan digunakan dalam proses produksi. Konstanta kecepatan reaksi menggambarkan seberapa sebuah reaksi berjalan dari reaktan menjadi produk (Levenspiel, 1999). Menurut Liu et al., (2023), adapun stoikiometri reaksi esterifikasi irreversible dari pembentukan metil metakrilat dengan katalis NKC-9 adalah sebagai berikut:



Menurut Liu et al., (2023), hubungan antara suhu dan konstanta kecepatan reaksi pembentukan metil metakrilat dari asam metakrilat dan metanol menggunakan katalis NKC-9 dapat dinyatakan dalam hukum Arrhenius dibawah:

$$k_r = 6,55 \times 10^9 \exp(-6,82 \times 10^3 / T)$$

Keterangan:

K_r = Konstanta kecepatan reaksi

T = Suhu reaksi

Setelah dilakukan perhitungan dengan suhu reaksi 95°C (368,15K), didapatkan nilai konstanta kecepatan reaksi pembentukan metil metakrilat dengan katalis NKC-9 adalah sebesar 59,008 s⁻¹.

2.3 Langkah Proses

Proses pembuatan Metil Metakrilat terdiri dari tiga tahap proses utama, diantaranya tahap persiapan bahan baku yakni asam metakrilat dan metanol, tahap pembuatan dengan metode *Two-Column Reactive Dividing-Wall Distillation* (TCRDWD), dan diakhiri dengan tahap pemurnian.

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan Baku asam metakrilat disimpan pada tangki penyimpanan T-01 dan metanol disimpan pada tangki penyimpanan T-02. Bahan asam metakrilat *fresh* dipompa dengan P-01 dan akan dicampur dengan asam metakrilat *recycle* pada mixer M-01. Selanjutnya, asam metakrilat yang sudah mengalami pencampuran, akan dipanaskan terlebih dahulu pada *heater* E-01 sebelum memasuki kolom reaktif dinding pemisah RD-01 pada suhu 95°C. Di sisi lain, metanol *fresh* dari T-02 dipompa dengan P-02 dan akan

mengalami pencampuran pada mixer M-02 dengan metanol *recycle*. Kemudian, metanol tersebut akan dipanaskan terlebih dahulu pada *heater* E-02 dengan suhu 95°C. Asam metakrilat dan metanol yang telah dipanaskan akan dialirkan menuju kolom reaktif dinding pemisah RD-01 untuk tahap sintesa metil metakrilat.

2.3.2 Two-Column Reactive Dividing-Wall Distillation (TCRDWD)

Setelah kedua bahan baku dipanaskan pada suhu 95°C, kedua bahan tersebut akan memasuki kolom reaktif dinding pemisah RD-01. Kolom tersebut terdiri dari 36 tray yang berisikan katalis NKC-9. Fungsi dari katalis tersebut adalah untuk mengurangi energi aktivasi pada reaksi esterifikasi antara asam metakrilat dan metanol.

Asam metakrilat akan memasuki kolom pada tray 9 sedangkan metanol pada tray 10. Tray 9 hingga 10 merupakan area reaksi pada kolom. Dimana pada area tersebut terjadi reaksi. Asam metakrilat memiliki titik didih yang lebih tinggi dari metanol sehingga cenderung akan menuruni kolom, dan sebaliknya. Ketika asam metakrilat turun dan metanol berbentuk vapor naik, akan terjadi pengontakkan dengan katalis sehingga terjadi reaksi.

Selain itu, kolom juga dilengkapi dengan dinding pemisah. Dinding tersebut bertindak sebagai pemisah antara bahan masuk dan produk MMA yang diinginkan. Titik pengambilan produk berada pada tray 10. Selain sebagai pemisah, dinding tersebut juga berguna untuk tempat asam metakrilat menabrak saat memasuki kolom sehingga akan terjadi penyebaran bahan agar pengontakkan lebih optimal.

Kolom reaktif dinding pemisah RD-01 ini juga dilengkapi dengan kondensor E-03 dan reboiler E-04. Kondensor E-03 berfungsi sebagai refluks parsial, dimana bahan dari kondensor sebagian akan dicampur sebagai *recycle* dengan asam metakrilat *fresh* yang sebelumnya telah disimpan pada D-01. Reboiler E-04 berfungsi sebagai pemanas pada kolom, komposisi yang keluar dari bawah kolom akan dipanaskan kembali dan akan dikembalikan lagi ke dalam kolom.

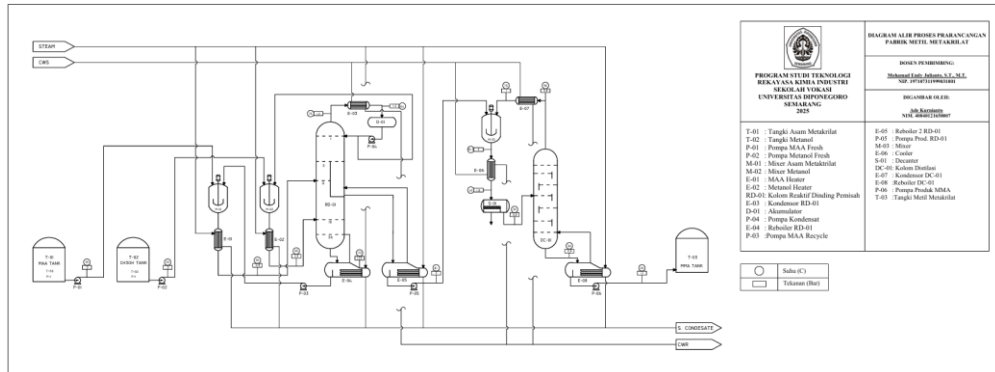
Produk metil metakrilat akan keluar dari *tray* 10 dan sebagian akan dilanjutkan ke proses berikutnya dan sisanya akan memasuki reboiler E-05. Fungsi reboiler tersebut adalah untuk mengembalikan bahan-bahan yang belum terkonversi ke dalam kolom dalam fasa *vapor*.

2.3.3 Pemurnian Produk

Hasil sintesa metil metakrilat akan keluar dari kolom reaktif dinding pemisah RD-01 memiliki kemurnian 49,80% yang dimana sisanya sebagian besar adalah air (hasil samping) dengan jumlah 49,80%. Campuran tersebut akan dipisahkan pada dua alat yakni *decanter* S-01 dan kolom distilasi DC-01. *Inlet decanter* S-01 selain dari RD-01 adalah berupa *recycle* yang berasal dari *top product* dari kolom distilasi DC-01 yang masih mengandung produk MMA dan sudah didinginkan pada *cooler* E-06 hingga suhu 75°C. Aliran dari RD-01 dan DC-01 akan dicampur terlebih dahulu di mixer M-03 untuk menyeragamkan komponen pada aliran tersebut. Setelah dicampur, akan didinginkan kembali hingga suhu 40°C pada *cooler* E-06 untuk memaksimalkan pemisahan. Pada *decanter* S-01 akan terjadi pemisahan komponen berdasarkan massa jenis (densitas) dimana air memiliki massa jenis yang lebih tinggi sehingga akan tetap berada di bagian bawah. Sedangkan metil metakrilat dengan massa jenis yang lebih rendah lama-kelamaan akan memenuhi bagian atas sehingga akan terjadi *overflow*. Mekanisme *overflow* tersebut yang akan memisahkan metil metakrilat dan air. Air hasil pemisahan tersebut akan dibuang sebagai limbah cair. Namun, hasil pemisahan tersebut masih terdapat kandungan air yang cukup tinggi yakni 8,40%. Oleh karena itu, tahap pemisahan akan dilanjutkan pada kolom distilasi DC-01.

Pada kolom distilasi DC-01, pemisahan antara produk utama metil metakrilat dan produk samping air akan berlangsung berdasarkan perbedaan titik didih. Pada proses ini, titik didih kedua senyawa hampir sama tetapi titik didih metil metakrilat lebih tinggi dan akan cenderung turun ke bawah kolom distilasi. Air yang cenderung lebih rendah titik didihnya akan keluar bagian atas kolom sebagai *top product* dan akan menjadi *inlet* untuk *decanter* S-01. Karena titik didih kedua senyawa berdekatan, komposisi yang keluar sebagai

top product masih cukup tinggi metil metakrilatnya yakni 47,25% MMA dan 49,92% air. Oleh karena itu akan dikembalikan lagi sebagai *recycle*. Hasil bawah atau *bottom product* adalah berupa metil metakrilat dengan kemurnian 99,80% dan akan dialirkan menuju tangki penyimpanan produk T-03.



Gambar 2. 1 Diagram Alir Pra Rancangan Pabrik Metil Metakrilat

2.4 Neraca Massa

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

Komponen	Input		Output
	1	2	3
$C_4H_6O_2$	9814.9965	2075.7800	11890.7765
Total	11890.7765		11890.7765

Tabel 2. 4 Neraca Massa *Mixing 02 (M-02)*

Komponen	Input		Output
	4	5	6
CH_3OH	3656.8851	1908.1000	5564.9851
Total	5564.9851		5564.9851

Tabel 2. 5 Neraca Massa *Reactive Section RD-01*

Komponen	Input		Output
	3	6	7
$C_4H_6O_2$	11890.7765	0	1385.275467
CH_3OH	0	5576.382	1650.830857
$C_5H_8O_2$	0	0	12230.3578
H_2O	0	0	2200.6948
Total	17467.15889		17467.15889

Tabel 2. 6 Neraca Massa *Distillation Section* RD-01

Komponen	Input	Output		
	7	2	8	5
C ₄ H ₆ O ₂	1385.28	2703.76	1.22	0.00
CH ₃ OH	1650.83	0.00	47.68	2230.76
C ₅ H ₈ O ₂	12230.36	26.76	6088.94	254.25
H ₂ O	2200.69	0.00	6088.94	24.85
Total	17467.16	2730.52	12226.78	2509.85
	17467.16	17467.16		

Tabel 2. 7 Neraca Massa *Mixing* 03 (M-03)

Komponen	Input		Output
	8	12	9
C ₄ H ₆ O ₂	1.2227	1.0900	1.2227
CH ₃ OH	47.6845	0.0000	47.6845
C ₅ H ₈ O ₂	6088.9376	59.2830	6088.9376
H ₂ O	6088.9376	662.0370	6088.9376
Total	12226.7824	722.4100	12949.1924
	12949.1924		

Tabel 2. 8 Neraca Massa Decanter (S-01)

Komponen	Input	Output	
	9	10	11
C ₄ H ₆ O ₂	2.3127	0.2266	2.0860
CH ₃ OH	47.6845	42.4392	5.2453
C ₅ H ₈ O ₂	6148.2206	92.2233	6055.9973
H ₂ O	6750.9746	6008.3674	742.6072
TOTAL	12949.1924	6143.2565	6805.9359
		12949.1924	

Tabel 2. 9 Neraca Massa *Distillation Column* (DC-01)

Komponen	Input	Output	
	11	12	13
C ₄ H ₆ O ₂	2.0860	0.0000	2.0860
CH ₃ OH	5.2453	4.3620	0.8833
C ₅ H ₈ O ₂ (HK)	6055.9973	60.5600	5995.4374
H ₂ O (LK)	742.6072	6.9444	735.6629
TOTAL	6805.9359	71.8664	6734.0695
		6805.9359	

Neraca Massa Overall

Tabel 2. 10 Neraca Massa Overall

Neraca Massa Overall					
Komponen	Input		Output		
Mixing 01 (M-01)					
	1	2	3		
C ₄ H ₆ O ₂	9814.996	2075.780	11890.776		
Mixing 02 (M-02)					
	4	5	6		
CH ₃ OH	3656.885	1908.1	5564.985		
Reactive Distillation Column					
Reactive Section	3	6	7		
C ₄ H ₆ O ₂	11890.776	0	1385.275		
CH ₃ OH	0	5576.382	1650.830		
C ₅ H ₈ O ₂	0	0	12230.357		
Air	0	0	2200.694		
Distillation Section	7		2	8	5
C ₄ H ₆ O ₂	1385.28		2703.76	1.22	0.00
CH ₃ OH	1650.83		0.00	47.68	2230.76
C ₅ H ₈ O ₂	12230.36		26.76	6088.94	254.25
H ₂ O	2200.69		0.00	6088.94	24.85
Mixing 03 (M-03)					
	8	12	9		
C ₄ H ₆ O ₂	1.222	1.09	2.312		
CH ₃ OH	47.684	0	47.684		
C ₅ H ₈ O ₂	6088.937	59.283	6148.220		
H ₂ O	6088.937	662.037	6750.974		
Decanter (S-01)					
	9		10		11
C ₄ H ₆ O ₂	2.312		0.226		2.086
CH ₃ OH	47.684		42.439		5.245
C ₅ H ₈ O ₂	6148.220		92.223		6055.997
H ₂ O	6750.974		6008.367		742.607
Distillation Column					
	11		12		13
C ₄ H ₆ O ₂	2.086		0.0000		2.0860
CH ₃ OH	5.245		4.3620		0.8833
C ₅ H ₈ O ₂	6055.997		60.5600		5995.4374
H ₂ O	742.607		6.9444		735.6629
Total	85094.400		85094.400		

2.5 Neraca Panas

Tabel 2. 11 Neraca Panas Heater-01 (E-01)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q1	69343.6560	Q2	1107668.5819
Q steam	1045259.2914	Qloss	6934.365602
Total	1114602.9475	Total	1114602.9475

Tabel 2. 12 Neraca Panas Heater-02 (E-02)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q3	35534.1543	Q4	601337.2629
Q steam	569356.5240	Qloss	3553.415433
Total	604890.6783	Total	604890.6783

Tabel 2. 13 Neraca Panas *Reactive Distillation* (RD-01)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q2	1107668.5819	Q5	397872.3363
Q4	601337.2629	Q6	4226273.3782
		Q7	93882.3319
		Qreaksi	-3237160.214
		Qloss	228138.0123
Total	1709005.8448	Total	1709005.8448

Tabel 2. 14 Neraca Panas Reboiler (E-04)

Panas Masuk (Joule)		Panas Keluar (Joule)	
Q5	397872.3363	Q recycle	4041.692897
		Q8	876222.5836
Q steam	522179.1739	Qloss	39787.23363
TOTAL	920051.5102	TOTAL	920051.5102

Tabel 2. 15 Neraca Panas Reboiler (E-05)

Panas Masuk (Joule)		Panas Keluar (Joule)	
Q6	4226273.3782	Q recycle	7792.637006
		Qloss	3870961.32
Q steam	75107.9164	Q9	422627.3378
TOTAL	4301381.295	TOTAL	4301381.295

Tabel 2. 16 Neraca Panas Kondensor (E-03)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q7	93882.3319	Q10	91642.50394
		Q Pendingin	2239.8280
Total	93882.332	Total	93882.3319

Tabel 2. 17 Neraca Panas Cooler (E-06)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q9	4226287.3266	Q11	46206.78618
		Q Pendingin	4180080.5404
Total	4226287.327	Total	4226287.327

Tabel 2. 18 Neraca Panas Kondensor DC-01 (E-07)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q14	18.0385	Q9	13.94839196
		Q Pendingin	4.0901
Total	18.039	Total	18.039

Tabel 2. 19 Neraca Panas Kolom Distilasi (DC-01)

Panas Masuk (joule)		Panas Keluar (joule)	
Q11	46206.78618	Q12	44994.07393
Q recycle	1139,107466	Q13	18.03854064
		Qloss	2333,781177
Total	47345.89365	Total	47345,89365

Tabel 2. 20 Neraca Panas Reboiler (E-08)

Panas Masuk (Joule)		Panas Keluar (Joule)	
Q12	44994.0739	Q recycle	1139.107466
		Q14	1370555.083
Q steam	1331199.524	Qloss	4499.407393
TOTAL	1376193.598	TOTAL	1376193.598

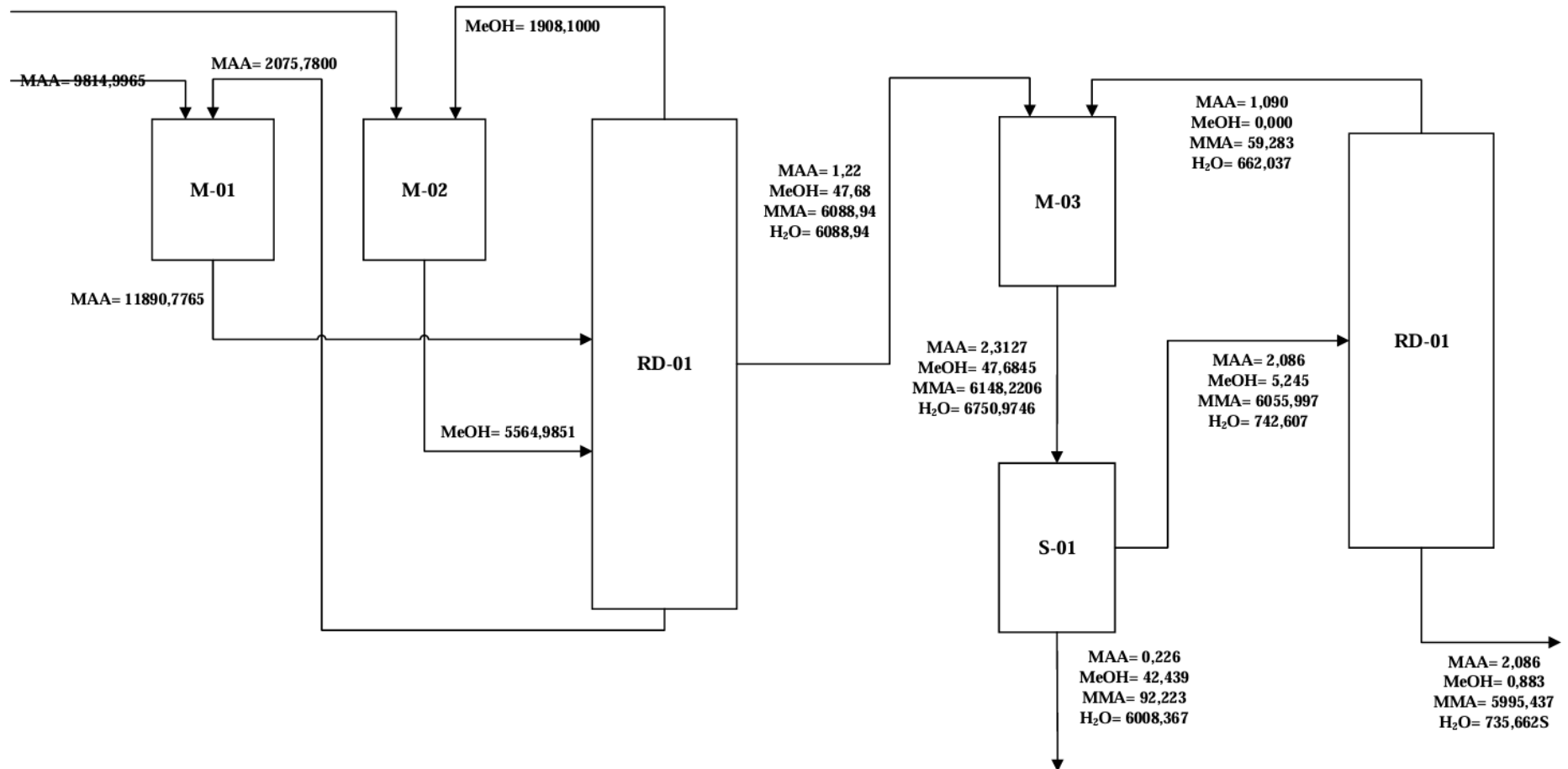
Neraca Panas Overall

Tabel 2. 21 Neraca Panas Overall

Input		Output	
E-01			
Q1	69343.6560	Q2	1107668.5819
Qsteam	1045259.2914	Q loss	6934.365602
E-02			
Q3	35534.1543	Q4	601337.2629

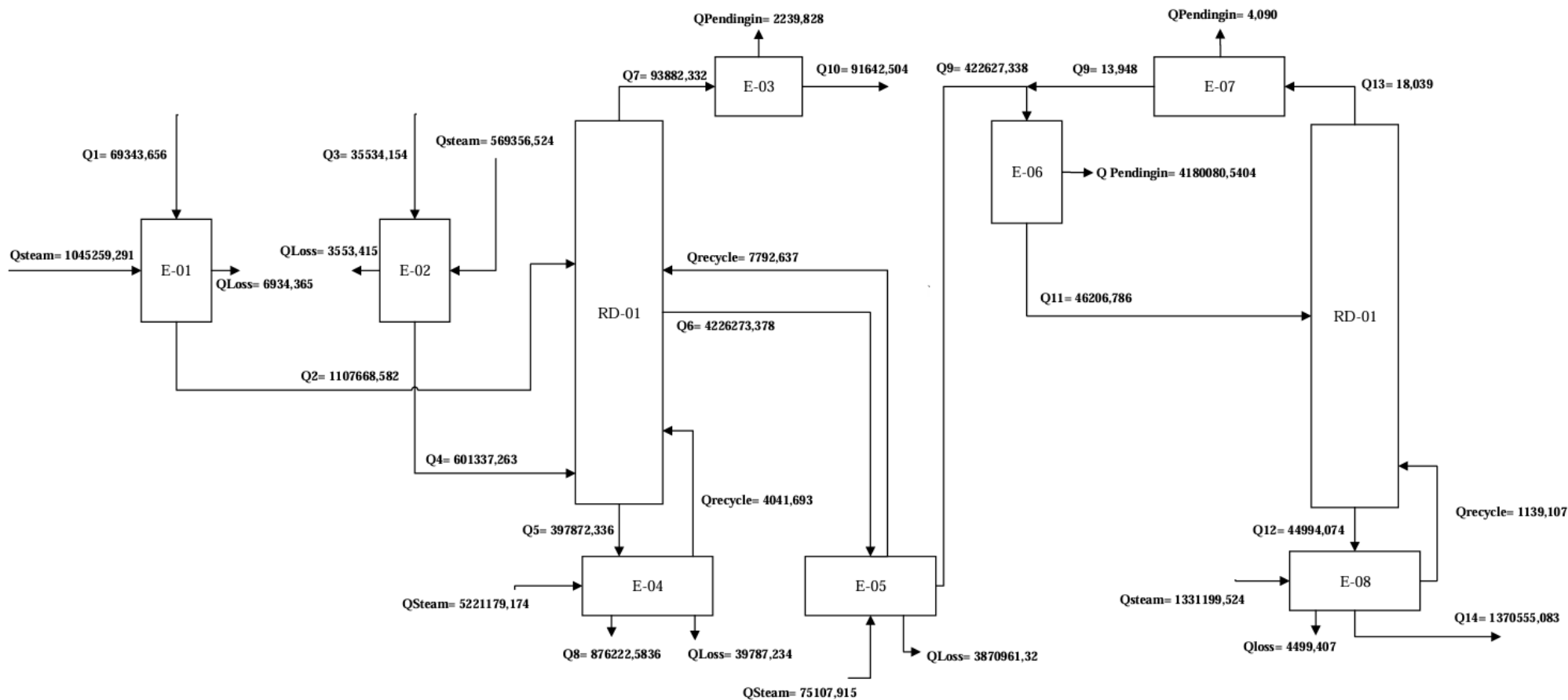
Qsteam	569356.5240	Q loss	3553.415433
RD-01			
Q2	1107668.5819	Q5	397872.3363
Q4	601337.2629	Q6	4226273.3782
		Q7	93882.3319
		Q reaksi	-3237160.214
		Q loss	228138.0123
E-03			
Q7	93882.3319	Q10	91642.50394
		Q Pendingin	2239.8280
E-04			
Q5	397872.3363	Q recycle	4041.692897
		Q8	876222.5836
Q steam	522179.1739	Qloss	39787.23363
E-05			
Q6	4226273.3782	Q recycle	7792.637006
		Qloss	3870961.32
Q steam	75107.9164	Q9	422627.3378
E-06			
Q9	4226287.3266	Q11	46206.78618
		Q Pendingin	4180080.5404
E-07			
Q14	18.0385	Q9	13.94839196
		Q Pendingin	4.0901
DC-01			
Q11	46206.78618	Q12	44994.07393
		Q13	18.03854064
		Qloss	2333,781177
E-08			
Q12	44994.0739	Q recycle	1139.107466
		Q14	1370555.083
Q steam	1331199.524	Qloss	4499.407393
Total	14393659.46	Total	14393659.46

Basis:
 1 Jam
 Satuan = kg/jam
 MeOH= 3656,8851



Tabel 2. 22 Diagram Alir Neraca Massa

Basis:
1 jam
Satuan: J/jam



Tabel 2. 23 Diagram Alir Neraca Panas

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

Pabrik merupakan sebuah industri dimana terjadinya pengolahan bahan baku mentah menjadi bahan setengah jadi maupun bahan jadi yang memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi. Proses tersebut menggunakan berbagai alat yang mana tata letaknya perlu diperhatikan agar mendapatkan proses yang berjalan lancar, efisien, dan aman.

Tata letak pabrik merupakan penempatan berbagai bagian pabrik yang umumnya terdiri dari tempat karyawan bekerja, tempat peralatan, dan tempat penyimpanan bahan baku maupun produk yang harus ditinjau atau dikaji dari segi hubungan satu sama lain sehingga menghasilkan proses yang efisien. Tata letak atau penempatan bagian-bagian pabrik yang baik sangat penting untuk menghasilkan proses yang efisien, kelancaran, dan faktor keselamatan. Adapun berbagai faktor yang harus diperhatikan dalam proses penentuan lokasi pabrik yaitu dari sumber bahan baku, pasar konsumen, transportasi bahan, ketersediaan tenaga kerja, iklim cuaca, serta kebijakan dari pemerintah daerah setempat (Max S. Peters & Timmerhaus, 1991).

2.6.1 Ketersediaan Bahan Baku

Sumber bahan baku tidak menjadi halangan karena penempatan pabrik di Cilegon yang dekat dengan pelabuhan sehingga memudahkan dalam penyediaan bahan baku maupun penjualan produk antar pulau atau negara. Penempatan di Cilegon memberikan kemudahan untuk proses pengiriman bahan baku asam metakrilat dari Lucite International Asia Pasific Pte Ltd di Singapura dan metanol dari PT Kaltim Metanol Industri di Kalimantan Timur.

2.6.2 Utilitas

Unit utilitas adalah unit yang bertugas untuk penyediaan penunjang dalam pabrik seperti suplai air untuk proses maupun pendinginan, listrik untuk alat-alat maupun bangunan, steam untuk proses pemanasan, serta penunjang lainnya. Lokasi pabrik di Cilegon tidak menjadi masalah bagi penyediaan air, karena letak Cilegon yang dekat dengan laut sehingga ketersediaan air melimpah. Penyediaan listrik untuk menunjang alat proses maupun bangunan-bangunan akan disuplai dari PT Indonesia Power Suralaya yang juga terletak di Cilegon.

2.6.3 Pemasaran hasil Produksi

Kawasan Cilegon merupakan kawasan yang memiliki banyak industri di dalamnya. Selain industri yang berada di Cilegon, di kawasan lainnya seperti Serang dan Tangerang memiliki industri yang menggunakan bahan baku metil metakrilat. Sehingga penempatan pabrik metil metakrilat di kawasan Cilegon adalah penempatan yang cukup strategis untuk pemasaran hasil produk.

2.6.4 Tenaga Kerja

Pembangunan pabrik yang berlokasi di Cilegon cukup memadai dalam hal tenaga kerja. Mulai dari tenaga terdidik, tenaga terampil, maupun tenaga kasar. Tenaga terdidik dapat dicari dengan melakukan perekrutan dari orang berpengalaman di bidang industri maupun dari lulusan perguruan tinggi baik negeri maupun swasta. Tenaga terampil dapat dilakukan perekrutan dari tenaga yang sudah ahli dan berpengalaman. Sedangkan untuk tenaga kasar dapat direkrut dari warga sekitar pabrik. Dengan skema tersebut, diharapkan dapat mengurangi angka pengangguran yang ada di Indonesia.

2.6.5 Letak Geografis

Letak geografis menjadi salah satu pertimbangan yang penting dalam pendirian sebuah pabrik. Kondisi-kondisi lingkungan sekitar seperti tanah, ketinggian tanah terhadap ketinggian air laut, cuaca, kecepatan angin, maupun aktivitas alam menjadi pertimbangan. Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut, penentuan lokasi pabrik metil metakrilat di Cilegon cukup baik dan memungkinkan untuk beroperasi dengan lancar.

2.6.6 Pertimbangan Keselamatan Kerja

Demi menjaga keselamatan kerja, pemetaan alat-alat ataupun bangunan harus diperhatikan. Peletakkan alat yang sesuai bisa meningkatkan efisiensi proses dan juga keselamatan para pekerja. Apabila terjadi keadaan darurat, jalur evakuasi harus bisa dilalui dengan baik. Selain itu, penempatan gedung tim *firefighter* harus berada di tempat yang strategis agar dapat dengan sigap merespon keadaan darurat.

2.6.7 Letak Fasilitas Penunjang

Peletakkan fasilitas penunjang seperti laboratorium, perkantoran, gudang, utilitas, dan penunjang lainnya baiknya berada pada tempat yang

strategis agar dapat meningkatkan efisiensi. Seperti utilitas, sebaiknya berada pada daerah dekat proses agar bisa dengan efisien menyalurkan apa yang dibutuhkan oleh proses. Perkantoran baiknya berada sedikit jauh dari daerah proses agar tidak terpapar bahan kimia berbahaya yang ada di sekitar area proses.

2.6.8 Perluasan Pabrik

Pemetaan mengenai perluasan pabrik perlu dipertimbangkan juga. Tentu, diharapkan di masa depan akan dilakukan perkembangan pabrik untuk memproduksi produk lainnya dengan grade berbeda.

2.6.9 Daerah-Daerah Utama Pabrik

Adapun pabrik umumnya terbagi menjadi beberapa daerah yakni sebagai berikut:

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 areal 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

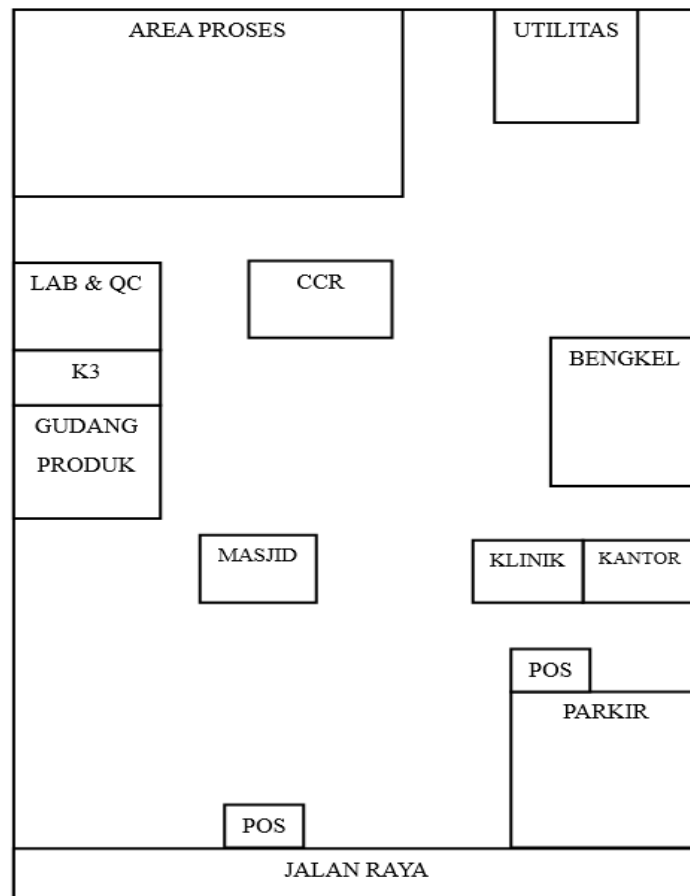
Daerah ini merupakan daerah tempat alat-alat proses dan tempat proses produksi berlangsung. Tempat yang tepat untuk daerah proses ini terletak di bagian tengah pabrik. Letak aliran proses direncanakan sedemikian rupa sehingga memudahkan pemindahan bahan baku dari tangki penyimpanan dan pengiriman produk 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 di lokasi yang strategis. Daerah ini terdiri dari area tangki penyimpanan bahan baku dan produk yang terletak di lingkungan terbuka dan berada di dalam daerah yang dapat terjangkau oleh angkutan pembawa bahan baku dan produk. Daerah ini ditempatkan di dekat areal 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 areal 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. 24 Perincian Bangunan

No	Nama Bangunan	Luas m ²
1	Pos Keamanan 1	100
2	Pos Keamanan 2	100
3	Jalan Pabrik	6900
4	Kantor	500
5	Tempat Parkir	2000
6	Masjid	350
7	Area Proses	10000
8	Ruang Kontrol	500
9	Gudang	700
10	Laboratorium	400
11	K3	400
12	Quality Control	600
13	Utilitas	550
14	Klinik	200
15	Bengkel	700
Total		24000

Tata letak pabrik dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar 2. 2 Tata Letak Pabrik

Perkiraan luas tanah yang diperlukan dalam pembangunan Pabrik Metil Metakrilat adalah sebesar 2,31 Ha dengan perincian sebagai berikut :

1. Luas tanah untuk pabrik : 10.000 m²
2. Luas tanah untuk penunjang proses dan fasilitas lainnya : 14.000 m²

2.6.10 Tata Letak Peralatan Proses

Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada pabrik ada hal-hal yang perlu dipertimbangkan, diantaranya:

a) 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.

b) 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.

c) Cahaya

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

d) 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.

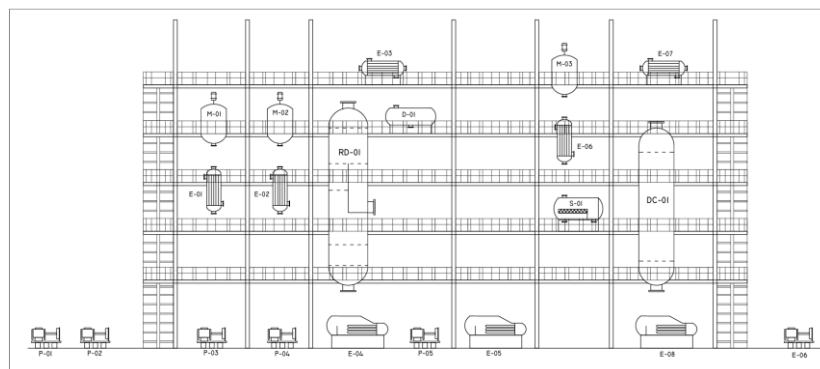
e) Biaya Operasi

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

f) 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 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2. 3 Layout Penataan Alat Proses