

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

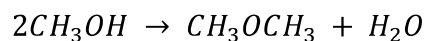
2. Metanol

c. 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

d. Sifat Kimia

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



2.2.2 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

2.2.3 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 hidrogen halida, hidrogen sianida, hidrogen sulfida, alkil amina, alkohol, mercaptan, *phosphine* atau fenol akan menghasilkan β yang tersubstitusi menjadi α -metil propinat.

2.2.3 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.

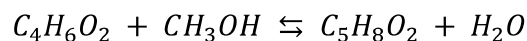
2.2 Konsep Proses

2.2.1 Pemilihan Proses

Dalam pra-rancangan pabrik metil metakrilat (MMA) menggunakan proses *Reactive Dividing-Wall Distillation* (RDWD) 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

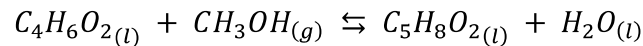
Kondisi operasi yang terjadi selama proses reaksi *Reactive Dividing-Wall Distillation* (RDWD) yang berlangsung dalam kolom distilasi reaktif yang dilengkapi dinding pemisah dengan suhu operasi 95°C yang sebelumnya bahan baku dipanaskan di *heater* 1 dan *heater* 2. Pemilihan tersebut berdasarkan jurnal yang ditulis oleh Song et al. (2025) yang 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% MMA yang selanjutnya akan dilakukan pemurnian dengan *decanter* 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 eksoterm atau endoterm. Selain itu menentukan sifat ini juga dapat menentukan arah berlangsungnya reaksi apakah searah (*irreversible*) atau bolak-balik (*reversible*).

1. 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

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

(Sumber: Yaws Carl., 2003)

$$\begin{aligned}\Delta H^\circ_f \text{ reaksi} &= \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \\ &= (\Delta H^\circ_f C_5H_8O_2 + \Delta H^\circ_f H_2O) - (\Delta H^\circ_f C_4H_6O_2 + \Delta H^\circ_f CH_3OH) \\ &= (-347,36 + (241,8)) - (-361,8 + (-200,9)) \\ &= -26,46 \text{ kJ/mol} = -6,32 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan ΔH°_f reaksi di atas dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan metil metakrilat dengan reaktan asam metakrilat dan metanol bersifat eksotermis, yaitu reaksi yang terjadi mengeluarkan panas atau menghasilkan panas dan ditunjukkan dengan nilai negatif. Untuk menjaga agar reaksi tetap berlangsung pada kondisi proses perlu ditambahkan pendingin.

2. 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

Senyawa	ΔG° (kJ/mol)
C ₄ H ₆ O ₂	-281,82
CH ₃ OH	-162,2
C ₅ H ₈ O ₂	-241,59
H ₂ O	-228,6

(Sumber: Yaws Carl., 2003)

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ \text{ reaksi} &= \Delta G^\circ_f \text{ produk} - \Delta G^\circ_f \text{ reaktan} \\
 &= (\Delta H^\circ_f \text{ C}_5\text{H}_8\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ C}_4\text{H}_6\text{O}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ CH}_3\text{OH}) \\
 &= (-241,59 + (-228,6)) - (-281,82 + (-162,2)) \\
 &= -26,17 \text{ kJ/mol} = -6.25 \text{ kkal/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ(368,15) &= -RT \ln K_{368,15} \\
 &= -1,987 \times 368,15 \times \ln 0,3725 \\
 &= -722,3834 \text{ kkal/mol}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas nilai ΔG° hasilnya negatif maka reaksi tersebut berjalan secara spontan. Untuk mengetahui apakah reaksinya *irreversible* atau *reversible* (harga K) dapat dihitung dengan persamaan konstanta kesetimbangan berikut:.

$$\Delta G^\circ_r = -RT \ln K$$

atau

$$K = \exp - \Delta G / RT$$

Dimana:

 ΔG° = Energi bebas Gibbs standar (kkal/mol)

R = Tetapan gas ideal, (1,987 kkal/mol.K)

T = Temperatur, K

K = Konstanta kesetimbangan

(S.K. Dogra & S. Dogra, 1990)

Dari persamaan diatas dapat dihitung konstanta kesetimbangan pada $T_{\text{referensi}} = 298 \text{ K}$ adalah sebagai berikut:

$$K_{298} = \exp - \left[-\frac{\Delta G}{RT} \right]$$

$$K_{298} = \exp - \left[-\frac{-6.25}{1.987 \times 298} \right]$$

$$K_{298} = 1.010611088$$

3. Konstanta Kesetimbangan Reaksi

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

$$d \ln K / \Delta T = \Delta H / RT$$

$$\frac{K_{\text{operasi}}}{K_{298}} = \exp - \frac{\Delta H^{\circ} 298}{R} \left[\frac{1}{T_{\text{operasi}}} - \frac{1}{T_{298}} \right]$$

$$\frac{K_{\text{operasi}}}{K_{298}} = \exp - \frac{-6.32}{1.987} \left[\frac{1}{368.15} - \frac{1}{298} \right]$$

$$\frac{K_{\text{operasi}}}{1.0106} = \exp - 0.9979$$

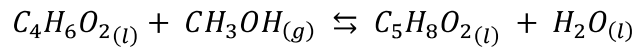
$$K_{\text{operasi}} = 0.3725 \text{ K} < 1$$

Dari perhitungan diatas harga $K < 1$ sehingga produk dapat kembali menjadi reaktan atau diasumsikan bahwa reaksi bersifat *reversible* (bolak-balik). Karena arah pergeseran reaksi dapat menggambarkan kesetimbangan reaksinya. Pergeseran kesetimbangan reaksi kimia salah satunya dipengaruhi oleh suhu reaksi. Jika dalam suatu reaksi eksotermis dilakukan perubahan suhu reaksi, maka kesetimbangan reaksi kimia akan bergeser ke arah reaksi endotermik (ke arah kiri), sehingga produk yang terbentuk menjadi lebih sedikit dan reaktan lebih dominan. Kesetimbangan kimia terjadi apabila kecepatan reaksi ke kanan sama dengan kecepatan reaksi ke kiri.

2.2.5 Tinjauan Kinetika Reaksi

Kinetika reaksi penting untuk menentukan kondisi operasi (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), stoikiometri reaksi RDWDC *reversible* 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 berikut ini.

$$k_r = 6.55 \times 10^9 \exp \left(-6.82 \times \frac{103}{T} \right)$$

Keterangan:

k_r = konstanta kecepatan reaksi

T = suhu reaksi

$$k_r = 6.55 \times 10^9 \exp \left(-6.82 \times \frac{103}{T} \right)$$

$$k_r = 6.55 \times 10^9 \exp \left(-6.82 \times \frac{103}{368.15} \right)$$

$$k_r = 59,008 \text{ s}^{-1}$$

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

2.3 Langkah Proses

Proses pembuatan metil metakrilat terdiri dari 4 tahap proses utama, diantaranya tahap persiapan bahan baku, yakni asam metakrilat dan metanol, dilanjutkan tahap pembuatan metil metakrilat (MMA) dengan metode *Two-Column Reactive Dividing-Wall Distillation Column* (TCRDWDC), tahap pemurnian, dan diakhiri dengan penyimpanan produk.

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku asam metakrilat (MAA) disimpan pada tangki penyimpanan (T-101), sementara metanol disimpan pada tangki penyimpanan (T-102). Bahan baku asam metakrilat *fresh* dipompa dengan (P-101) dan akan dicampur dengan asam metakrilat *recycle* pada mixer (M-101). Berikutnya, asam metakrilat yang sudah mengalami pencampuran akan dipanaskan terlebih dahulu pada *heater* (E-101) sebelum memasuki *Reactive Dividing-Wall Distillation Column* (RD-201) pada suhu 95°C. Di sisi lain, metanol *fresh* dari (T-102)

dipompa dengan P-102 dan akan mengalami pencampuran pada mixer (M-102) dengan metanol *recycle*. Kemudian, metanol tersebut akan dipanaskan terlebih dahulu pada heater (E-102) dengan suhu 95°C. Asam metakrilat dan metanol yang telah dipanaskan akan dialirkan menuju *Reactive Dividing-Wall Distillation Column* (RD-201) untuk tahap sintesis metil metakrilat.

2.3.2 Reaksi Pembuatan Metil Metakrilat (MMA) dengan Metode *Reactive Dividing-Wall Distillation Column* (RDWDC)

Setelah kedua bahan baku (MAA dan MeOH) dipanaskan pada suhu 95°C, keduanya akan memasuki *Reactive Dividing-Wall Distillation Column* (RD-201). Kolom tersebut terdiri dari 8 *tray* yang berisikan katalis NKC-9. Fungsi katalis NKC-9 untuk mengurangi energi aktivasi pada reaksi esterifikasi antara asam metakrilat dan metanol.

Asam metakrilat (MAA) akan memasuki kolom pada *tray* ke-2, sementara metanol pada *tray* ke-6. *Tray* 4 hingga 5 merupakan area reaksi pada kolom untuk menghasilkan metil metakrilat. Asam metakrilat (MAA) memiliki *boiling point* yang lebih tinggi daripada metanol sehingga cenderung akan menuruni kolom dan sebaliknya. Ketika asam metakrilat (MAA) turun dan metanol berbentuk vapor naik akan terjadi pengontakan dengan katalis sehingga terjadi kontak dengan katalis dan memicu terjadinya reaksi.

Selain itu, kolom juga dilengkapi dengan dinding pemisah. Dinding pemisah tersebut bertindak sebagai pemisah antara bahan masuk dan produk metil metakrilat (MMA) yang diinginkan. Titik pengambilan produk berada pada *tray* 3. Selain sebagai pemisah, dinding tersebut juga berperan sebagai tempat asam metakrilat (MAA) menabrak ketika memasuki kolom sehingga akan terjadi penyebaran bahan agar pengontakkan lebih optimal.

Reactive Dividing-Wall Distillation Column (RD-201) ini juga dilengkapi dengan kondensor (E-201) dan *reboiler* (E-202). Kondensor (E-201) berfungsi sebagai refluks parsial dimana bahan dari kondensor sebagian akan dicampur sebagai *recycle* dengan asam metakrilat *fresh* yang sebelumnya telah disimpan pada D-201. *Reboiler* (E-202) berfungsi sebagai pemanas pada kolom, komposisi yang keluar dari bawah kolom akan dipanaskan kembali dan akan dikembalikan lagi ke dalam kolom.

Produk metil metakrilat (MMA) akan keluar dari *tray* ke-3 dan sebagian akan dilanjutkan ke proses berikutnya dan sisanya akan memasuki *reboiler* (E-203). Fungsi

reboiler (E-203) adalah untuk mengembalikan bahan-bahan yang belum terkonversi ke dalam kolom dalam fasa vapor.

2.3.3 Pemurnian Produk Metil Metakrilat (MMA)

Hasil sintesis metil metakrilat (MMA) akan keluar dari *Reactive Dividing-Wall Distillation Column* (RD-201) dengan kemurnian 49,90% yang dimana sisanya sebagian besar adalah air (*by-product*) dengan jumlah 49,80%. Campuran tersebut akan dipisahkan pada 2 alat separator, yakni *decanter* (S-301) dan kolom distilasi (DC-301). Inlet *decanter* (S-301) selain dari RD-201 adalah berupa *recycle* yang berasal dari *top product* dari kolom distilasi (DC-301) yang masih mengandung produk metil metakrilat (MMA) dan sudah didinginkan pada *cooler* (E-302) hingga mencapai suhu 75°C. Aliran dari RD-201 dan DC-301 akan dicampur terlebih dahulu di mixer (M-301) untuk menyeragamkan komponen pada aliran tersebut. Setelah dicampur, akan didinginkan kembali hingga suhu 40°C pada *cooler* (E-301) untuk memaksimalkan pemisahan. Pada *decanter* (S-301) akan terjadi pemisahan komponen berdasarkan massa jenis (densitas) dimana air memiliki massa jenis lebih tinggi sehingga akan tetap berada di bagian bawah. Sedangkan metil metakrilat (MMA) memiliki massa jenis lebih rendah daripada air, lama-kelamaan akan memenuhi bagian atas sehingga akan terjadi *overflow*. Mekanisme *overflow* tersebut yang akan memisahkan metil metakrilat (MMA) 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-301).

Pada kolom distilasi (DC-301), pemisahan antara produk utama metil metakrilat dan produk samping air akan berlangsung berdasarkan perbedaan titik didih (*boiling point*). Pada proses ini, titik didih kedua senyawa hampir sama, tetapi titik didih metil metakrilat lebih tinggi daripada air dan akan cenderung turun ke bawah kolom distilasi. Sementara itu, air yang cenderung memiliki titik didih lebih rendah daripada metil metakrilat akan keluar ke bagian atas kolom (teruapkan) sebagai *top product* dan akan menjadi inlet untuk *decanter* (S-301). Karena titik didih kedua senyawa berdekatan, komposisi yang keluar sebagai *top product* masih cukup tinggi metil metakrilatnya, yakni sebesar 47,25% MMA dan 49,92% air. Oleh karena itu akan dikembalikan lagi sebagai *recycle*. Hasil bawah atau *bottom product* berupa metil metakrilat dengan kemurnian 99,80% dan akan dialirkan menuju *product cooler*

2.4 Diagram Alir



Tabel 2.3 Neraca Massa *Mixer* MAA (M-101)

Komponenten	Input (kg/h)		Output (kg/h)
	1	2	3
CH ₄ O	0	0	0
C ₄ H ₆ O ₂	5309,713781	699,6258909	6009,339672
H ₂ O	91,51278688	0	91,51278688
C ₅ H ₈ O ₂	0	18,57501447	18,57501447
	5401,226568	718,2009054	6119,427473
Total		6119,427473	6119,427473

Tabel 2.4 Neraca Massa *Mixer* MeOH (M-102)

Komponen	<i>Input (kg/h)</i>		<i>Output (kg/h)</i>
	2		4
CH ₄ O	1985,755223	698,0302539	2683,785477
C ₄ H ₆ O ₂	0	0	0
H ₂ O	1,676834145	7,434612624	9,111446768
C ₅ H ₈ O ₂	0	368,4391403	368,4391403
	1987,432057	1073,904007	3061,336064
Total		3061,336064	3061,336064

Tabel 2.5 Neraca Massa *Reactive Dividing Wall Distillation Column (Reactive Section)*
(RD-201)

Komponen	<i>Input (kg/h)</i>		<i>Output (kg/h)</i>
	3		4
CH ₄ O	0	2683,785477	707,8484195
C ₄ H ₆ O ₂	6009,339672	0	700,0880718
H ₂ O	91,51278688	9,111446768	1211,317942
C ₅ H ₈ O ₂	18,57501447	368,4391403	6561,509104
	6119,427473	3061,336064	9180,763537
Total		9180,763537	9180,763537

Tabel 2.6 Neraca Massa *Reactive Dividing Wall Distillation Column (Distillation Section)*
(RD-201)

Komponen	<i>Input (kg/h)</i>		<i>Output (kg/h)</i>	
		5	6	7
CH ₄ O	707,8484195	0	698,0302539	9,818165661
C ₄ H ₆ O ₂	700,0880718	699,6258909	0	0,462180867
H ₂ O	1211,317942	0	7,465921329	1203,85202
C ₅ H ₈ O ₂	6561,509104	18,50906201	390,4282585	6152,571784
Total	9180,763537	718,1349529	1095,924434	7366,704151
	9180,763537		9180,763537	

Tabel 2.7 Neraca Massa *Mixer (M-301)*

Komponen	<i>Input (kg/h)</i>		<i>Output (kg/h)</i>
	7	13	12
CH ₄ O	9,818165661	6,442186508	16,26035217
C ₄ H ₆ O ₂	0,462180867	0	0,462180867
H ₂ O	1203,85202	109,078607	1312,930627
C ₅ H ₈ O ₂	6152,571784	524,0211999	6676,592984
Total	7366,704151	639,5419933	8006,246144
	8006,246144		8006,246144

Tabel 2.8 Neraca Massa *Decanter* (S-301)

Komponen	Input (kg/h)	Output (kg/h)	
	12	11	12
CH ₄ O	16,26035217	7,325393847	8,934958322
C ₄ H ₆ O ₂	0,462180867	0,462180867	0
H ₂ O	1312,930627	120,2207981	1191,709829
C ₅ H ₈ O ₂	6676,592984	6658,74983	17,84315313
Total	8006,246144	6786,758203	1219,487941
	8006,246144	8006,246144	

Tabel 2.9 Neraca Massa *Distillation Column* (DC-301)

Komponen	Input (kg/h)	Output (kg/h)	
	12	13	14
CH ₄ O	7,325393847	0,883207339	6,442186508
C ₄ H ₆ O ₂	0,462180867	0,462180867	0
H ₂ O	120,2207981	11,14219114	109,078607
C ₅ H ₈ O ₂	6658,74983	6134,728631	524,0211999
Total	6786,758203	6147,21621	639,5419933
	6786,758203	6786,758203	

2.6 Neraca Panas

Tabel 2.10 Neraca Panas *Heater* MAA (E-101)

Panas masuk (Joule)		Panas keluar (Joule)	
Q1	62219,06938	Q2	900436,9694
Q _{steam}	844439,8069	Q _{loss}	6221,906938
Total	906658,8763	Total	906658,8763

Tabel 2.11 Neraca Panas *Heater* MeOH (E-102)

Panas masuk (Joule)		Panas keluar (Joule)	
Q3	33569,09865	Q4	489757,888
Q _{steam}	459545,6992	Q _{loss}	3356,909865
Total	493114,7979	Total	493114,7979

Tabel 2.12 Neraca Panas Kolom Distilasi Reaktif (RD-201)

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q2	900436,9694	Q5	232546,2871
Q4	489757,888	Q6	1224686,202
		Q7	100946.0658
Q _{reaksi}	1077391.398	Q _{loss}	909,407.70
TOTAL	2467586.255	TOTAL	2467586.255

Tabel 2.13 Neraca Panas *Reboiler* (E-202)

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q5	126152.0835	Q _{recycle}	126.1520835
		Q8	233.1792555
Q _{steam}	359.3313391	Q _{loss}	126152.0835
TOTAL	126511.4149	TOTAL	126511.4149

Tabel 2.14 Neraca Panas *Reboiler* (E-203)

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q6	891863.8536	Q _{recycle}	88.46846153
		Q9	589.4923228
Q _{steam}	677.9607843	Q _{loss}	891863.8536
TOTAL	892541.8144	TOTAL	892541.8144

Tabel 2.15 Neraca Panas Kondensor RD-201 (E-201)

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q7	81795.23261	Q10	64026.49887
		Q _{pendingin}	17768.73375
TOTAL	81795.23261	TOTAL	81795.23261

Tabel 2.16 Neraca Panas Cooler (E-301)

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q9	2467586.255	Q11	247248.4994
		Q _{pendingin}	2220337.756
TOTAL	2467586.255	TOTAL	2467586.255

Tabel 2.17 Neraca Panas Kondensor DC-301 (E-302)

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q13	59535.36042	Q9	41783.11185
		Q _{pendingin}	17752.24857
TOTAL	59535.36042	TOTAL	59535.36042

Tabel 2.18 Neraca Panas Kolom Distilasi DC-301

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q11	247248.4994	Q12	357770.0785
Q _{recycle}	-7.7482883	Q13	59535.36042
		Q _{loss}	-170064.6878
TOTAL	247240.7511	TOTAL	247240.7511

Tabel 2.19 Neraca Panas Cooler E-401

Panas Masuk (J)		Panas Keluar (J)	
Q9	1526,44603	Q11	13998,04318
		Q Pendingin	-12471,59715

TOTAL	1526,44603	TOTAL	1526,44603
--------------	-------------------	--------------	-------------------

2.7 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

Pabrik merupakan suatu industri yang melakukan pengolahan bahan baku mentah menjadi produk setengah jadi maupun produk jadi yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Dalam proses tersebut digunakan berbagai peralatan, sehingga tata letak pabrik perlu dirancang dengan baik agar proses produksi dapat berlangsung secara lancar, efisien, dan aman.

Tata letak pabrik adalah pengaturan berbagai bagian di dalam pabrik, yang meliputi area kerja karyawan, penempatan peralatan, serta lokasi penyimpanan bahan baku dan produk. Pengaturan tersebut perlu dikaji berdasarkan hubungan antarbagian agar tercipta proses produksi yang efektif dan efisien. Penempatan fasilitas pabrik yang tepat memiliki peranan penting dalam mendukung kelancaran operasi, meningkatkan efisiensi, serta menjamin keselamatan kerja. Dalam menentukan lokasi pabrik, terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, antara lain ketersediaan bahan baku, kedekatan dengan pasar, sarana transportasi, ketersediaan tenaga kerja, kondisi iklim, serta kebijakan pemerintah daerah setempat (Max S. Peters & Timmerhaus, 1991).

2.7.1 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku bukan menjadi kendala karena lokasi pabrik yang berada di Cilegon berdekatan dengan pelabuhan, sehingga mempermudah proses pengadaan bahan baku maupun distribusi produk ke berbagai daerah maupun negara lain. Selain itu, lokasi tersebut juga mendukung kelancaran pengiriman bahan baku berupa asam metakrilat dari Lucite International Asia Pacific Pte Ltd (Mitsubishi Chemical Group) di Singapura serta metanol dari PT Kaltim Metanol Industri yang berlokasi di Kalimantan Timur.

2.7.2 Utilitas

Unit utilitas merupakan bagian yang bertanggung jawab dalam menyediakan berbagai kebutuhan penunjang operasional pabrik, seperti suplai air untuk proses dan pendinginan, penyediaan listrik bagi peralatan serta bangunan, steam untuk kebutuhan pemanasan, dan fasilitas pendukung lainnya. Lokasi pabrik yang berada di Cilegon tidak menimbulkan

kendala dalam penyediaan air karena wilayah tersebut berdekatan dengan laut sehingga memiliki ketersediaan air yang melimpah. Selain itu, kebutuhan listrik untuk mendukung operasional peralatan proses maupun bangunan pabrik direncanakan berasal dari PT Indonesia Power Suralaya yang juga berlokasi di Cilegon.

2.7.3 Pemasaran Hasil Produksi

Kawasan Cilegon merupakan salah satu daerah industri yang memiliki banyak kawasan dan aktivitas industri. Selain industri yang berada di Cilegon, wilayah lain (seperti Serang dan Tangerang) juga terdapat industri yang menggunakan metil metakrilat sebagai bahan baku. Oleh karena itu, pendirian pabrik metil metakrilat di kawasan Cilegon dinilai cukup strategis karena dapat mendukung kemudahan distribusi dan pemasaran produk ke berbagai industri pengguna.

2.7.4 Tenaga Kerja

Pembangunan pabrik di kawasan Cilegon dinilai cukup mendukung dari segi ketersediaan tenaga kerja, baik tenaga terdidik, tenaga terampil, maupun tenaga kasar. Kebutuhan tenaga terdidik dapat dipenuhi melalui perekrutan tenaga berpengalaman di bidang industri serta lulusan perguruan tinggi negeri maupun swasta. Untuk tenaga terampil, perekrutan dapat dilakukan terhadap pekerja yang telah memiliki keahlian dan pengalaman sesuai bidangnya. Sementara itu, kebutuhan tenaga kasar dapat dipenuhi dari masyarakat sekitar lokasi pabrik. Dengan adanya sistem perekrutan tersebut, diharapkan dapat membantu mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia.

2.7.5 Letak Geografis

Letak geografis merupakan salah satu faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam pendirian suatu pabrik. Beberapa kondisi lingkungan sekitar, seperti karakteristik tanah, ketinggian wilayah terhadap permukaan laut, kondisi cuaca, kecepatan angin, serta potensi aktivitas alam, menjadi aspek yang harus diperhatikan. Berdasarkan berbagai pertimbangan tersebut, lokasi pendirian pabrik metil metakrilat di Cilegon dinilai cukup sesuai dan mendukung kelancaran operasional pabrik.

2.7.6 Pertimbangan Keselamatan Kerja

Dalam upaya menjaga keselamatan kerja, penataan peralatan maupun bangunan di area pabrik perlu direncanakan dengan baik. Penempatan alat yang tepat tidak hanya dapat

meningkatkan efisiensi proses produksi, tetapi juga mendukung keselamatan para pekerja. Pada kondisi darurat, jalur evakuasi harus dirancang agar mudah diakses dan dapat dilalui dengan lancar. Selain itu, gedung tim pemadam kebakaran perlu ditempatkan pada lokasi yang strategis sehingga dapat memberikan respons cepat ketika terjadi keadaan darurat.

2.7.7 Letak Fasilitas Penunjang

Penempatan fasilitas penunjang seperti laboratorium, perkantoran, gudang, unit utilitas, dan fasilitas pendukung lainnya sebaiknya dirancang pada lokasi yang strategis untuk meningkatkan efisiensi operasional pabrik. Sebagai contoh, unit utilitas sebaiknya ditempatkan dekat dengan area proses agar distribusi kebutuhan proses dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien. Sementara itu, area perkantoran sebaiknya berada agak jauh dari area proses guna mengurangi risiko paparan bahan kimia berbahaya yang terdapat di sekitar proses produksi.

2.7.8 Perluasan Pabrik

Perencanaan tata letak juga perlu mempertimbangkan kemungkinan perluasan pabrik di masa mendatang. Hal ini penting karena diharapkan pabrik dapat terus berkembang, baik melalui peningkatan kapasitas produksi maupun pengembangan produk lain dengan grade yang berbeda.

2.7.9 Daerah-daerah Utama Pabrik

Secara umum, area pabrik dibagi ke dalam beberapa zona berdasarkan fungsi dan kegiatannya, yaitu sebagai berikut.

1. Daerah Administrasi atau Perkantoran

Daerah ini merupakan pusat kegiatan administrasi perusahaan yang berperan dalam mengatur kelancaran operasional serta aktivitas pendukung lainnya. Area perkantoran biasanya ditempatkan di bagian depan pabrik agar kegiatan administrasi tidak mengganggu proses produksi maupun keamanan pabrik, serta berada cukup jauh dari area proses yang memiliki potensi bahaya.

2. Daerah Fasilitas Umum

Untuk mendukung kenyamanan dan kinerja pekerja, diperlukan fasilitas umum yang memadai. Area ini mencakup berbagai fasilitas penunjang aktivitas pekerja, seperti area parkir, tempat ibadah, kantin, MCK, dan pos keamanan.

3. Daerah Proses

Daerah proses merupakan lokasi tempat berlangsungnya kegiatan produksi dan penempatan peralatan proses. Area ini umumnya berada di bagian tengah pabrik. Tata letak aliran proses dirancang sedemikian rupa agar mempermudah perpindahan bahan baku dari tangki penyimpanan menuju proses, serta memudahkan distribusi produk ke area penyimpanan. Selain itu, pengaturan tersebut juga bertujuan mempermudah pengawasan dan pemeliharaan peralatan proses.

4. Daerah Laboratorium dan Ruang Kontrol

Laboratorium dan ruang kontrol berfungsi sebagai pusat pengendalian proses serta pengawasan kualitas dan kuantitas bahan maupun produk. Laboratorium digunakan untuk mengontrol mutu bahan baku, produk, dan limbah proses, sedangkan ruang kontrol berfungsi untuk memantau dan mengendalikan jalannya proses produksi agar sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

5. Daerah Pemeliharaan

Area pemeliharaan digunakan sebagai tempat penyimpanan suku cadang peralatan proses sekaligus lokasi pelaksanaan kegiatan perbaikan, pemeliharaan, dan perawatan seluruh peralatan yang digunakan dalam proses produksi.

6. Daerah Penyimpanan Bahan Baku dan Produk

Persediaan bahan baku maupun produk perlu ditempatkan pada lokasi yang strategis. Area ini meliputi tangki penyimpanan bahan baku dan produk yang umumnya berada di ruang terbuka serta mudah dijangkau oleh sarana transportasi pengangkut bahan dan produk. Penempatannya dibuat dekat dengan area proses agar distribusi bahan baku dan penyimpanan produk menjadi lebih mudah dan efisien.

7. Daerah Utilitas

Daerah utilitas merupakan area penyediaan kebutuhan penunjang proses, seperti air, steam, listrik, bahan bakar, dan udara tekan. Lokasinya umumnya ditempatkan dekat dengan area proses untuk menghemat sistem perpipaan. Namun, karena utilitas juga memiliki potensi bahaya, maka jarak antara area utilitas dan area proses perlu diatur dengan baik demi keselamatan operasional.

8. Daerah Pengolahan Limbah

Daerah ini digunakan sebagai lokasi pengumpulan, pembuangan, dan pengolahan limbah yang dihasilkan dari proses produksi.

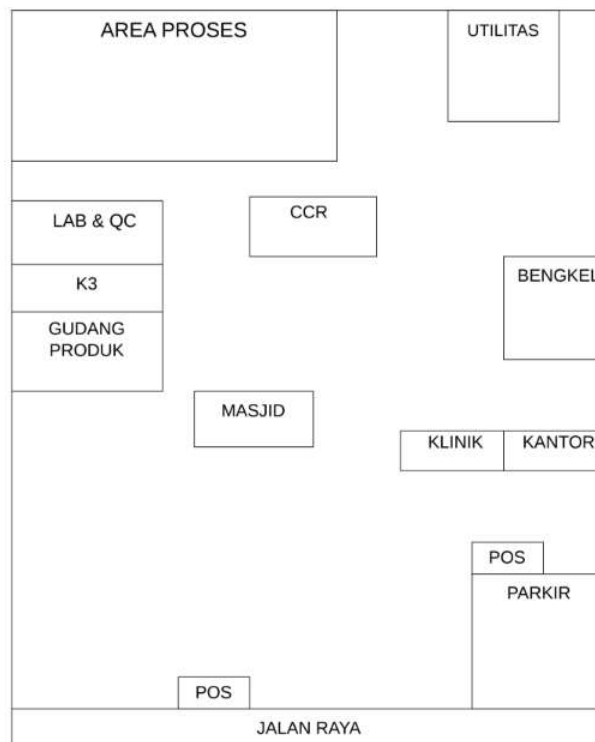
Adapun rincian luas lahan yang digunakan untuk pembangunan pabrik adalah sebagai berikut.

Tabel 2.20 Rincian Luas Bangunan

No.	Nama Bangunan	Luas (m ²)
1	Pos keamanan 1 (gerbang utama)	40
2	Pos keamanan 2 (gerbang logistik)	40
3	Taman	450
4	Tempat parkir	190
5	Ruang kontrol	40
6	Gudang	150
7	Kantor	670
8	Tempat ibadah	75
9	Kantin	75
10	Poliklinik	40
11	Laboratorium	40
12	Denah proses (area proses)	7450
13	Bengkel	75
14	K3 & <i>Fire Safety</i>	75
15	Area pengembangan (cadangan ekspansi proporsional area proses saat ini)	1490

No.	Nama Bangunan	Luas (m ²)
16	Utilitas	375
17	Perpustakaan	75
18	UPL (Unit Pengolahan Limbah)	150
19	Titik kumpul	75
20	Aula/gedung pertemuan	110
21	Jalan pabrik	5140
Total		16825

Tata letak pabrik dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.2 Layout Pabrik

Perkiraan luas lahan yang dibutuhkan untuk pembangunan Pabrik Metil Metakrilat adalah sekitar 1,6825 Ha dengan rincian sebagai berikut.

1. Luas lahan untuk area pabrik : 15.020 m²
2. Luas lahan untuk fasilitas penunjang proses dan fasilitas lainnya : 1.805 m²

2.7.10 Tata Letak Peralatan Proses

Dalam perancangan tata letak peralatan proses pada suatu pabrik, terdapat beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan, antara lain sebagai berikut.

1. Aliran Bahan Baku dan Produk

Sistem pengaliran bahan baku maupun produk yang dirancang dengan baik dapat memberikan keuntungan ekonomis serta mendukung kelancaran dan keamanan proses produksi.

2. Aliran Udara

Sirkulasi udara di dalam maupun di sekitar area proses perlu diperhatikan agar tetap lancar. Hal ini bertujuan untuk mencegah terjadinya stagnasi atau penumpukan udara pada suatu area yang dapat membahayakan keselamatan kerja.

3. Pencahayaayaan

Penerangan di seluruh area pabrik harus memadai untuk mendukung kegiatan operasional. Area proses yang memiliki tingkat risiko atau potensi bahaya tinggi perlu dilengkapi dengan pencahayaayaan tambahan.

4. Lalu Lintas Pekerja

Tata letak area proses harus memungkinkan pekerja menjangkau seluruh peralatan dengan cepat dan mudah, sehingga gangguan pada peralatan dapat segera ditangani. Selain itu, aspek keselamatan pekerja selama menjalankan tugas juga harus menjadi prioritas utama.

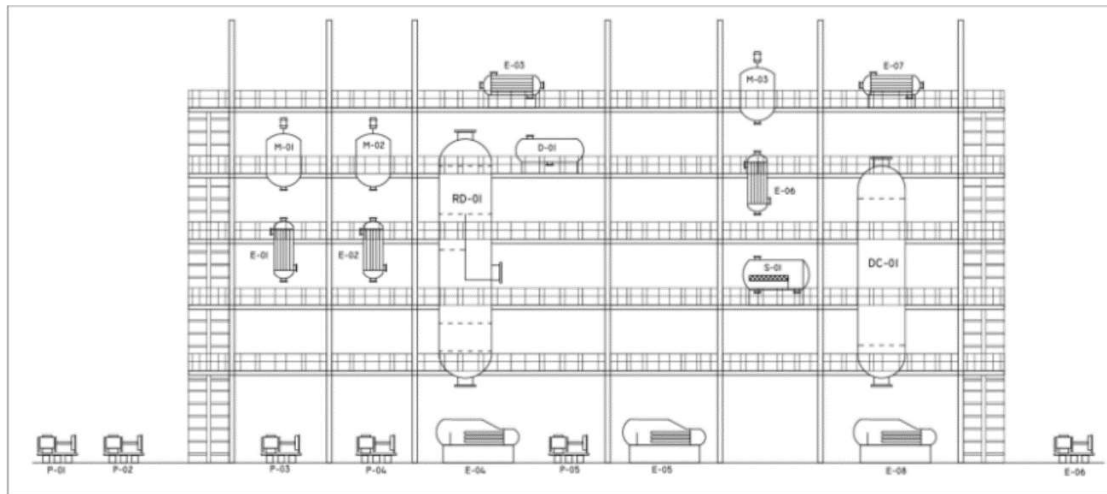
5. Biaya Operasi

Penempatan peralatan proses perlu dirancang sedemikian rupa agar dapat menekan biaya operasional tanpa mengurangi kelancaran dan keamanan proses produksi, sehingga memberikan keuntungan secara ekonomis.

6. Jarak Antar Peralatan Proses

Peralatan proses yang beroperasi pada tekanan dan suhu tinggi sebaiknya ditempatkan terpisah dari peralatan lainnya. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan risiko kerusakan alat lain apabila terjadi ledakan atau kebakaran.

Berdasarkan berbagai pertimbangan tersebut, tata letak peralatan proses ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.3 *Layout Equipment*