

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

Bahan baku utama pabrik adalah metil format. Berikut merupakan spesifikasi metil format yang digunakan (Shenyu, 2025):

- Rumus molekul : HCOOCH_3
- Wujud : cair
- Berat molekul : 60,05 gr/mol
- Densitas : 0,974 gr/ml
- Viskositas : 0,330 cP
- Titik didih : 32°C
- Titik leleh : -100°C
- Warna : tidak berwarna
- Kemurnian : minimum 97% berat

Bahan baku lain yang digunakan adalah air. Spesifikasi air adalah sebagai berikut (NCBI, 2025):

- Rumus molekul : H_2O
- Wujud : cair
- Berat molekul : 18 gr/mol
- Densitas : 1,027 gr/ml
- Viskositas : 0,998 cP
- Titik didih : 100°C
- Titik leleh : 0°C
- Warna : tidak berwarna
- Kemurnian : 100%

2.1.2 Spesifikasi Produk Utama

Produk utama hasil proses di pabrik ini adalah asam format yang memiliki spesifikasi seperti berikut (Ullmann, 2012):

- Rumus molekul : HCOOH
- Wujud : cair
- Berat molekul : 46,026 gr/mol
- Densitas : 1,185 gr/ml

- Viskositas : 1,804 cP
- Titik didih : 100,8°C
- Titik leleh : 8,6°C
- Warna : tidak berwarna
- Kemurnian : minimum 85%
- Impuritas : H₂O maksimum 15%

2.1.3 Spesifikasi Produk Samping

Proses produksi di sini menghasilkan produk samping berupa metanol dengan spesifikasi sebagai berikut (NCBI, 2025):

- Rumus molekul : CH₃OH
- Wujud : cair
- Berat molekul : 32 gr/mol
- Densitas : 0,792 gr/ml
- Viskositas : 0,539 cP
- Titik didih : 64,7°C
- Titik leleh : -97,8°C
- Warna : tidak berwarna
- Kemurnian : 99% berat
- Impuritas : H₂O ≤ 0,8%
berat Acidity ≤
0,2% berat

2.2 Konsep Proses

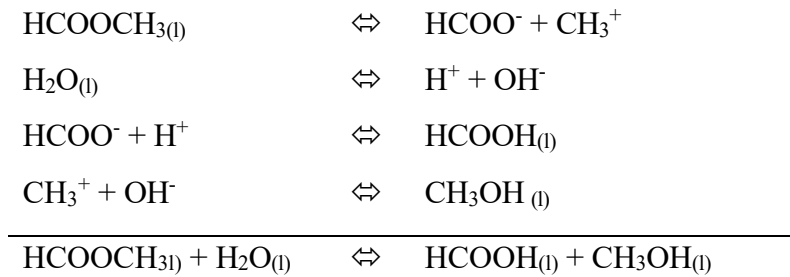
2.2.1 Dasar Reaksi

Asam format diproduksi melalui reaksi hidrolisis metil format dengan air, menghasilkan metanol sebagai produk samping dalam kondisi asam. Reaksi ini bersifat reversible dan endotermis (Ullmann, 2012). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



2.2.2 Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi pembuatan asam format melibatkan beberapa tahap, dimulai dengan penguraian metil format melalui hidrolisis dengan air, yang kemudian menghasilkan senyawa asam format dan methanol (Mcketta, 1991). Berikut mekanisme reaksi hidrolisis metil format menjadi asam format:



2.2.3 Fase Reaksi

Reaksi pembentukan asam format terjadi dalam fase cair, baik pada bahan baku metil format maupun produk asam format dan metanol. Untuk reaksi yang melibatkan fase cair, reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) merupakan jenis reaktor yang paling ideal (Ullmann, 2012).

2.2.4 Kondisi Operasi

Proses pembuatan asam formiat dilakukan pada suhu dan tekanan rendah, yaitu 90°C dan 5 atm. Pada kondisi operasional tersebut, reaksi bersifat reversible dan endotermis. Agar reaksi dapat berjalan ke arah pembentukan asam formiat, salah satu bahan baku harus diberi umpan berlebih, yaitu air, karena lebih ekonomis dibandingkan metil formiat. Bahan baku tersebut dimasukkan ke dalam reaktor dengan rasio 1:5 mol terhadap reaktan. Reaksi di dalam reaktor pertama menghasilkan konversi 30% terhadap metil formiat, sehingga sisa reaktan perlu diproses kembali di reaktor kedua. Pada reaktor kedua, konversi mencapai 60% dengan bantuan autokatalis berupa asam formiat yang sudah diproduksi sebelumnya, yang menciptakan suasana asam (Specification, 2013).

2.2.5 Tinjauan Termodinamika

2.2.5.1 Panas Reaksi

Untuk mengetahui sifat reaksi eksotermis atau endotermis, panas reaksi atau ΔH_R pada proses perlu dihitung. Nilai tersebut didapat dari pengurangan panas pembentukan produk dengan reaktan pada kondisi 1 atm dan 25° C (Yaws, 1999).

Berikut perhitungan panas reaksi dari proses yang dijalankan:

Tabel 2.1 Harga ΔH_f° Masing-Masing Komponen Reaksi

Komponen	ΔH_f° (kJ/mol)
HCOOCH ₃	-349,78
H ₂ O	-241,8
HCOOH	-378,61
CH ₃ OH	-201,17

Reaksi: $\text{HCOOCH}_3(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCOOH}(\text{l}) + \text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$

Maka,

$$\Delta H^\circ_{\text{R } 298\text{K}} = \Delta H^\circ_{\text{f produk}} - \Delta H^\circ_{\text{f reaktan}}$$

$$\Delta H^\circ_{\text{R } 298\text{K}} = (\Delta H^\circ_{\text{f HCOOH}} + \Delta H^\circ_{\text{f CH}_3\text{OH}}) - (\Delta H^\circ_{\text{f HCOOCH}_3} + \Delta H^\circ_{\text{f H}_2\text{O}})$$

$$\Delta H^\circ_{\text{R } 298\text{K}} = ((-378,61) + (-238,66)) - ((-349,78) + (-285,83))$$

$$\Delta H^\circ_{\text{R } 298\text{K}} = +11,8 \text{ kJ/mol}$$

Karena harga $\Delta H^\circ_{\text{R } 298\text{K}}$ bernilai positif, dapat diketahui bahwa reaksi bersifat endotermis.

2.2.5.2 Energi Gibbs (ΔG°)

Energi gibbs besaran yang digunakan untuk mengukur usaha maksimum yang dapat dilakukan oleh sistem termodinamika pada kondisi operasi yang konstan (Yaws, 1999).

Berikut perhitungan energi gibbs dari proses yang dijalankan:

Tabel 2.2 Harga $\Delta G^\circ_{\text{f}}$ Masing-Masing Komponen Reaksi

Komponen	$\Delta G^\circ_{\text{f}} \text{ (J/mol)}$
HCOOCH ₃	-297,19
H ₂ O	-228,6
HCOOH	-351
CH ₃ OH	-162,51

$$\Delta G^\circ_{298\text{K}} = \Delta G^\circ_{\text{f produk}} - \Delta G^\circ_{\text{f reaktan}}$$

$$\Delta G^\circ_{298\text{K}} = (\Delta G^\circ_{\text{f HCOOH}} + \Delta G^\circ_{\text{f CH}_3\text{OH}}) - (\Delta G^\circ_{\text{f HCOOCH}_3} + \Delta G^\circ_{\text{f H}_2\text{O}})$$

$$\Delta G^\circ_{298\text{K}} = ((-297,19) + (-162,51)) - ((-297,19) + (-228,6))$$

$$\Delta G^\circ_{298\text{K}} = +12,28 \text{ J/mol} = 0,012 \text{ kJ/mol}$$

Karena harga $\Delta G^\circ_{298\text{K}}$ bernilai positif dan kurang dari 50 kJ/mol, maka reaksi cukup menguntungkan untuk dijalankan.

2.2.5.3 Konstanta Keseimbangan Reaksi

Nilai konstanta keseimbangan reaksi (K) merefleksikan kecenderungan arah berlangsungnya reaksi. Apabila nilainya jauh di bawah satu, reaksi cenderung mengarah ke reaktan (reaksi balik). Jika nilainya mendekati atau sama dengan satu, reaksi berlangsung dua arah (reversibel). Sementara itu, jika nilai K lebih besar dari satu, reaksi berjalan ke arah pembentukan produk (Smith et.al, 2001). Berikut perhitungan konstanta keseimbangan reaksi metil format dan air:

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

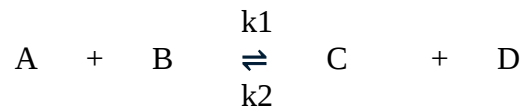
$$\ln K_{298} = \frac{12,28 \text{ J/mol}}{8,314 \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K_{298} = 12,994$$

Harga K terhitung lebih dari 1. Maka, reaksi dapat dinyatakan bersifat reversibel. Untuk menggeser arah reaksi, umpan air dibuat berlebih (Ullmann, 2012).

2.2.5.4 Tinjauan Kinetika

Menurut (Naichen et.al.,1998), reaksi hidrolisis dapat ditinjau secara kinetika dengan persamaan berikut ini:



A = Metil Format

B = Air

C = Asam Format

D = Metanol

Dengan Kondisi operasi 90°C dan tekanan 5 atm, Berikut adalah data kinetika berdasarkan hasil percobaan:

Kecepatan reaksi hidrolisis $-r_A = K'[A]$

Pada percobaan ini mol air dibuar sangat berlebih yaitu 5:1

Jika $K' = K^1[B]$

Dimana,

K' = Konstantan kecepatan reaksi dari percobaan (1/s)

$[B]^*$ = Konsentrasi air pada percobaan (molar)

K_1 = Konstanta kecepatan reaksi kearah kanan

K_2 = Konstanta kecepatan reaksi kearah kiri

K' = Konstanra kecepatan reaksi pada 90°C

Data yang diperoleh:

$[B]^* = 32,290$ molar

Hasil percobaan menentukan konstanta kecepatan reaksi

T (°C)	K (1/s)
45,7	0,00233
54,7	0,0036

Nilai K' pada suhu 90°C, dihitung menggunakan persamaan Arrhenius:

$$K = A e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

Atau dapat ditulis sebagai berikut:

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

Untuk suhu 45,7°C

$$E_a = -8,314 \text{ J/k.mol} \times 318,7 \ln (0,00233 \text{ S}^{-1/A})$$

$$E_a = -22649,672 (\ln 0,00233 - \ln A)$$

$$16,062,012 = E_a - 2649,672 \ln A \quad (1)$$

Untuk suhu 54,7°C

$$E_a = -8,314 \text{ J/k.mol} \times 327,7 \ln (0,0036 \text{ S}^{-1/A})$$

$$E_a = -2724,498 (\ln 0,0036 - \ln A)$$

$$15,330,264 = E_a - 2724,498 \ln A \quad (2)$$

Eliminasi persamaan (1) dan (2)

$$16,062,012 = E_a - 2649,672 \ln A$$

$$15,330,264 = E_a - 2724,498 \ln A -$$

$$731,748 = 74,826 \ln A$$

$$\ln A = 9,779328$$

$$A = e^{9,779}$$

$$A = 17658,99$$

Besarnya E_a dapat diperoleh sebagai berikut :

$$16,062,012 = E_a - 2649,672 \ln A$$

$$16,062,012 = E_a - 2649,672 (9,779)$$

$$E_a = 16,062,01 + 25,911,14$$

$$E_a = 41,973,15 \text{ J/mol}$$

Sehingga persamaan Arrhenius diperoleh nilai k pada suhu 90°C sebagai berikut:

$$41973,154 \text{ J/mol} = -8,314 \text{ J/K.mol} \times 353 \text{ K} \times \ln(k'/17658,985)$$

$$41973,154 \text{ J/mol} = -2934,384 \ln (k'/17658,985)$$

$$-14,304 \text{ J/mol} = \ln(k'/17658,985)$$

$$e^{-14,304} \text{ J/mol} = (k'/17658,985)$$

$$6,136 \times 10^{-7} \text{ J/mol} = (k'/17658,985)$$

$$k' = 6,136 \times 10^{-7} \times 17658,985$$

$$k' = 0,0109$$

Nilai k_2 dapat diperoleh dengan perhitungan berikut:

$$k' = k_1[B]^*$$

$$k_1 = \frac{k'}{[B]^*} = 0,000338/\text{s.molar}$$

$$K' = \frac{[B]^*}{k_1}$$

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

$$k_2 = \frac{0,000338}{3,13}$$

$$k_2 = 0,000108 \text{ /s.molar}$$

Sehingga kecepatan reaksi hidrolisis adalah sebagai berikut:

$$-r_A = k_1[A][B] - k_2[C][D]$$

$$-r_A = 0,000384[A][B] - 0,000108[C][D]$$

Perhitungan kecepatan reaksi

Basis perhitungan = 1 mol A

Konversi = 60%

Rasio mol reaktan = 1: 6

	A	+	B	$\rightleftharpoons$	C	+	D
Mula-mula	1		5		-		-
Reaksi	0,6		0,6		0,6		0,6
	0,4		4,4		0,6		0,6
$-r_A$	$= 0,000384[A][B] - 0,000108[C][D]$ $= 0,000384[0,4][4,4] - 0,000108[0,6][0,6]$ $= 0,000676 - 3,88E-05$ $= 0,000637 \sim 6,37 \times 10^{-4}$						

Nilai $-r_A$ bernilai positif maka reaksi bergeser ke produk

2.3 Langkah Proses

Proses pembuatan asam format melalui hidrolisis metil format dengan air di pabrik ini terdiri dari tiga tahap utama. Berikut ini adalah uraian proses produksi pada masing-masing tahap tersebut.

2.3.1 Preparasi Bahan Baku

Tahap awal proses adalah mengalirkan metil format dari tangki penyimpanan (T-110) dengan kondisi operasi 1 atm dan 30°C menggunakan pompa (L-111) dan heat exchanger (E-112) untuk dinaikkan kondisi operasinya menjadi 5 atm dan 90°C menuju Reaktor (R-210). Bersamaan dengan itu, bahan baku berupa air yang diambil dari hasil proses *pretreatment* di

bagian utilitas dan ditampung di tangki penyimpanan (T-120) dengan kondisi yang sama, dialirkan menggunakan pompa (L-121) dan heat exchanger (E-122) dengan kondisi operasi yaitu menjadi 5 atm dan 90°C menuju Reaktor (R-210).

2.3.2 Hidrolisis Metil Format

Hasil umpan dari tangka bahan baku kemudian dialirkan masuk ke dalam Reaktor pertama (R-210). Reaktor R-210 berjenis Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Di dalam reaktor, terjadi reaksi hidrolisis metil format dengan air menjadi asam format dan produk samping berupa metanol. Proses hidrolisis berlangsung pada suhu 90°C dengan tekanan 5 atm. Reaksi yang terjadi di dalam reaktor adalah sebagai berikut:



Reaksi di atas merupakan reaksi reversible dan endotermis. Salah satu bahan baku perlu dibuat berlebih agar mendorong reaksi membentuk produk. Dalam R-210 ini, rasio metil format dan air pada pabrik adalah 1:1,5 mol reaktan. Aliran bahan baku yang masuk ke tangki harus diatur dan dipertahankan sehingga perbandingan reaktan di dalamnya tetap. Hasil reaksi di dalam reaktor tersebut mencapai konversi 30% terhadap metil format dengan waktu tinggal sekitar satu jam. Reaktor yang digunakan ini dilengkapi dengan jaket pemanas untuk menjaga reaksi dalam kondisi isothermal.

Produk yang keluar Reaktor (R-230) diekspansikan oleh expansion valve (EV-213) dari tekanan 5 atm menjadi 1 atm, Aliran tersebut dilakukan penurunan tekanan (pressure reduction) untuk mengurangi terjadinya reaksi balik antara asam formiat dan methanol. Sebelumnya, dialirkan menggunakan pompa (L-211) dan heat exchanger (E-212) sehingga kondisi operasinya menjadi 1 atm dan 30°C untuk diumpankan ke Mixing Valve (MV-220). Setelah dilakukan pencampuran dengan produk recycle pada MV-220 kemudian direaksikan Kembali di Reaktor 2 (R-230). Namun, sebelum masuk ke R-230, kondisi operasi dinaikkan Kembali menggunakan pompa (L-221) dan heat exchanger (E-222) untuk dipanaskan kembali sehingga aliran masuk R-230 dalam kondisi 90°C dan 5 atm. Pada R-230 dilakukan dalam rasio 1:5 metil format dan air dengan kondisi operasi yang sama sehingga menghasilkan produk yang mencapai konversi 60%. Reaktan dapat terkonversi lebih tinggi dan lebih cepat atas bantuan autokatalis berupa asam format dengan kemurnian rendah yang telah di recycle. Produk yang direaksikan di reaktor sebelumnya dicampur dengan aliran recycle dari Menara Destilasi (D-510) berupa Metil Format dan sedikit sisa metanol, dan aliran recycle dari Menara Destilasi (D-610) berupa campuran air, sedikit Asam Formiat. Pencampuran dilakukan di mixing valve (MV-220) dengan tekanan 1 atm dan suhu 30°C. Campuran produk berupa asam formiat, sedikit metil formiat,

metanol, dan air yang tersisa di reaktor R-230 harus dipisahkan dan dipekatkan agar memperoleh konsentrasi asam formiat yang diinginkan. Proses pemisahan campuran ini dilakukan melalui tiga buah kolom distilasi yaitu kolom distilasi I (D-310), kolom distilasi II (D-410), dan kolom distilasi III (D-510) yang dilengkapi dengan kondensor dan reboiler untuk mengendalikan kondisi proses dalam kolomnya.

2.3.3 Pemisahan Pada Kolom Distilasi Pertama

Produk yang keluar Reaktor (R-230) diekspansikan oleh expansion valve (EV-233) dari tekanan 5 atm menjadi 1 atm, Aliran tersebut dilakukan penurunan tekanan (pressure reduction) untuk mengurangi terjadinya reaksi balik antara asam formiat dan metanol. Dengan tekanan yang lebih rendah, titik didih zat pun akan turun sehingga lebih mudah untuk dipisahkan dengan distilasi karena aliran dikondisikan agar terbentuk fase cair yang tepat jenuh, sehingga terbentuk fase gas dan fase cair berdasarkan beda suhu didih cairan. Hasil umpan dari R-230 dialirkan ke distilasi pertama (D-310). Menara Distilasi (D-310) berfungsi untuk memisahkan campuran cair yang berasal dari R-230. Sebelumnya, aliran dilewatkan ke heat exchanger (E-232) melalui pompa (L-231) untuk menurunkan kondisi operasinya menjadi 60°C dan 1 atm. Aliran kemudian memasuki kolom distilasi D-310 yang beroperasi pada tekanan 1 atm dengan temperatur kolom bagian atas sekitar 22°C dan temperatur kolom bagian bawah sekitar 80°C. Pada kolom distilasi ini, terjadi pemisahan metil formiat dan metanol dari air dan asam formiat berdasarkan titik didihnya. Metil formiat dan metanol diperoleh sebagai distilat, sedangkan air dan asam formiat diperoleh sebagai produk bawah. Distilat yang diperoleh akan dikondensasikan oleh kondensor E-311 dengan media pendingin cooling water pada temperatur sekitar 20°C. Kondensat kemudian ditampung pada tangki akumulator F-312 dan dipompa menuju kolom distilasi D-410. Di sisi lain, produk bawah kolom D-310 berupa air dan asam formiat dialirkan ke reboiler E-314. Panas reboiler ini diambil dari steam dan hasil uap dikembalikan menuju kolom AT-660, sementara cairan akan dialirkan menuju kolom distilasi III (D-510) menggunakan pompa (L-313).

2.3.4 Pemisahan Pada Kolom Distilasi Kedua

Hasil atas distilasi pertama berupa metanol dan metil format yang akan memasuki kolom distilasi kedua (D-410). Pemisahan yang terjadi pada kolom distilasi kedua (D-410) antara metil format dan metanol yang berasal dari produk atas kolom distilasi D-310. Kolom D-410 ini beroperasi pada tekanan 1 atm dengan temperatur kolom bagian atas sekitar 50°C dan temperatur kolom bagian bawah sekitar 77°C. Uap destilat yang terbentuk berupa metil format yang kemudian masuk ke dalam kondensor E-511 dengan menggunakan media

pendingin *cooling water*. Uap yang terkondensasi akan masuk ke tangki akumulator F-412, lalu dipompakan ke Mixing valve (MV-220) untuk di-*recycle* menuju reaktor R-230.

Produk bawah yang didapat berupa metanol yang akan dialirkan masuk ke tangki penyimpanan metanol T-610. Sebelumnya, aliran dilewatkan melalui reboiler E-414 yang menggunakan low pressure steam (LPS) sebagai media pemanas distilasi, lalu menuju cooler E-416 yang menggunakan media pendingin *cooling water* dengan bantuan pompa L-415.

2.3.5 Pemisahan Pada Kolom Distilasi Ketiga

Kolom distilasi (D-510) ini berfungsi untuk memekatkan asam formiat yang telah dipisahkan oleh kolom distilasi (D-410) dengan cara memisahkan asam formiat dengan air. Kolom D-510 ini beroperasi pada tekanan 1 atm dengan temperatur kolom bagian atas sekitar 131°C dan temperatur kolom bagian bawah sekitar 142°C. Produk atas yang dihasilkan dari kolom distilasi ini berupa air (mengandung maksimal 10% asam formiat). Uap yang keluar dari puncak kolom ini akan masuk ke dalam kondensor E-511 untuk didinginkan menggunakan media pendingin *cooling water*. Kemudian, kondensat yang dihasilkan akan di-*recycle* ke Mixing Valve (MV-220) untuk dikembalikan ke dalam reaktor R-230.

Produk bawah yang dihasilkan dari kolom distilasi asam formiat ini adalah asam formiat dengan konsentrasi sekitar 85%. Hasil bawah distilasi yang berupa larutan asam format inilah yang menjadi produk utama pada pabrik. Produk bawah berupa larutan asam format kemudian dialirkan menggunakan pompa (L-514) ke cooler (E-515) untuk didinginkan sampai suhu 30°C. Setelah melewati cooler, asam formiat dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan produk asam format (T-620). Produk yang dihasilkan ini dimonitor oleh laboratorium untuk mengetahui konsentrasi asam formiat yang dihasilkan. Pengecekan ini dilakukan tiga kali dalam satu hari.

2.3.6 Pencampuran Hasil *Recycle* Pada Mixing Valve

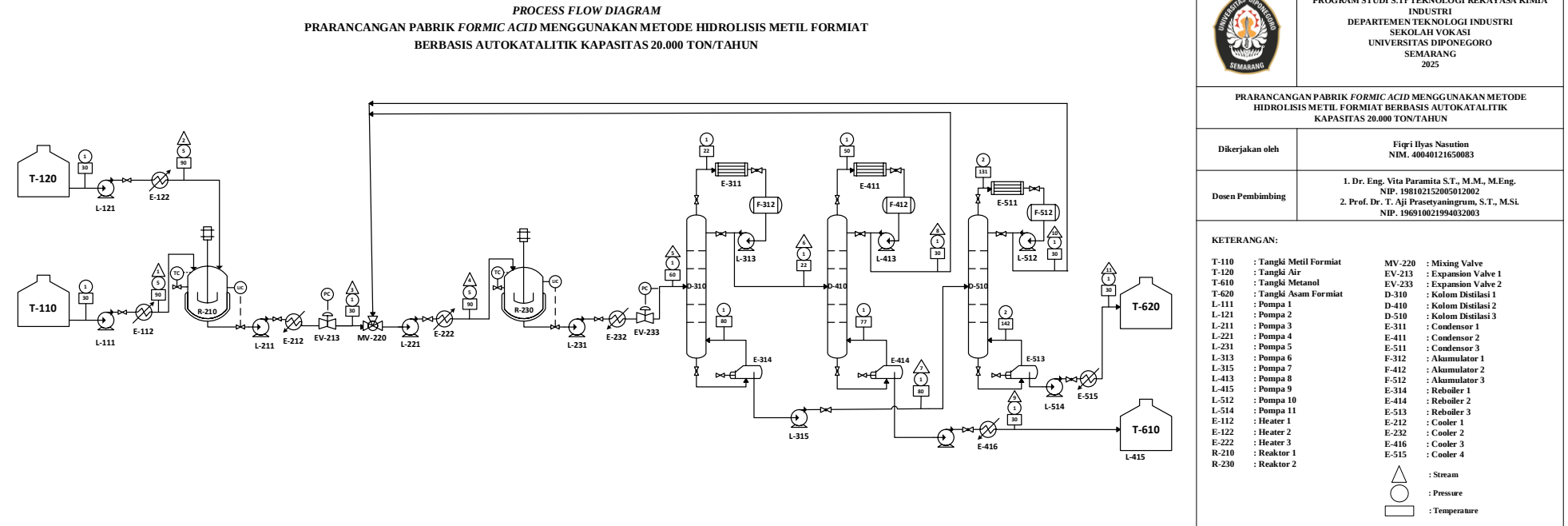
Hasil atas Menara Distilasi kedua (D-510) yang berupa Uap destilat yang terbentuk berupa metil format yang kemudian masuk ke dalam kondensor (E-411) dengan menggunakan media pendingin *cooling water*. Uap yang terkondensasi akan masuk ke tangki akumulator (F-412), lalu dipompakan ke Mixing Valve (MV-220) untuk di-*recycle* menuju reaktor 2 (R-230). Pencampuran dilakukan dalam MV-220 dengan tekanan 1 atm dan suhu pencampuran 30°C. Campuran produk berupa asam formiat, sedikit metil format, metanol, dan air.

Produk atas yang dihasilkan dari Menara Distilasi (D-610) berupa air (mengandung maksimal 10% asam formiat). Uap yang keluar dari puncak D-610 akan masuk ke dalam kondensor (E-511) untuk didinginkan menggunakan media pendingin *cooling water*.

Kemudian, kondensat yang dihasilkan akan di-*recycle* ke Mixing Valve (MV-220). Pencampuran dilakukan dalam MV-220 dengan tekanan 1 atm dan suhu pencampuran 30°C. Campuran produk berupa asam formiat, sedikit metil formiat, metanol, dan air. untuk dikembalikan ke dalam reaktor R-230.

Proses *recycle* yang dialirkan dari D-510 dan D-610 bertujuan untuk memanfaatkan kembali produk yang dapat digunakan sebagai katalis (autokatalis) berupa asam format yang dapat mempercepat reaksi di R-230 dan menghasilkan konversi lebih tinggi.

2.4 Diagram Alir Proses



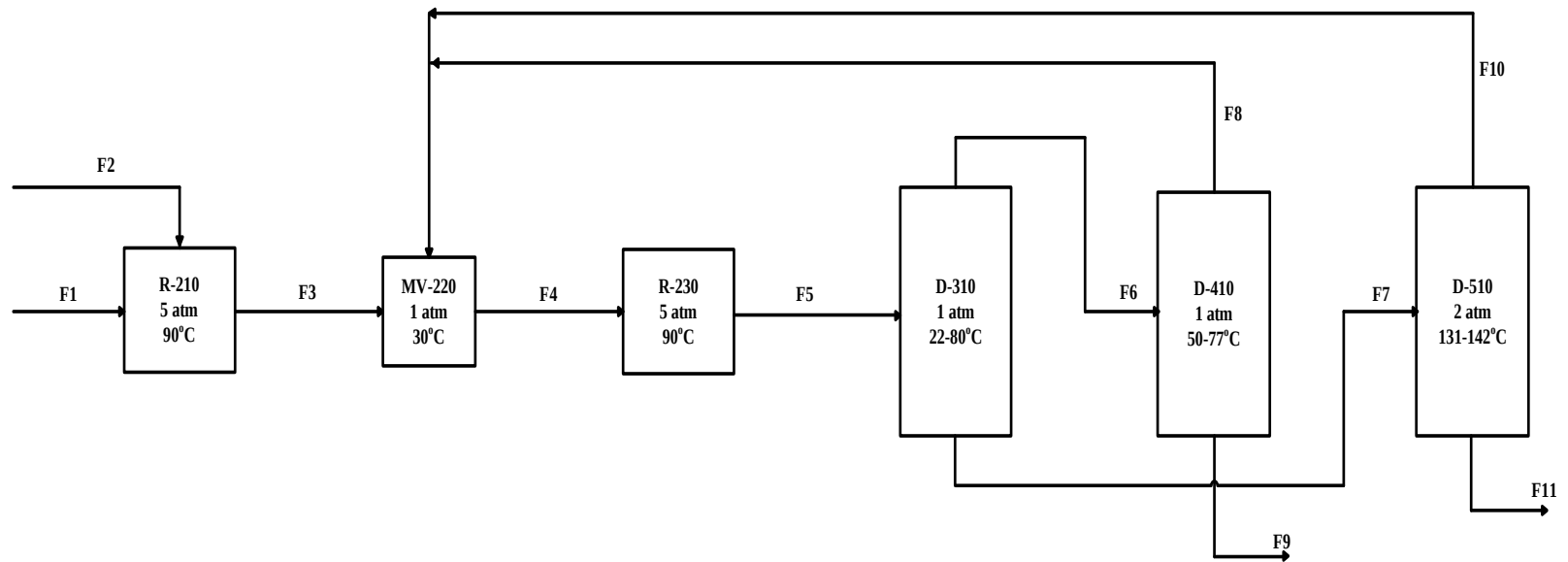
Komponen	Arus (Kg/Jam)										
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8	Arus 9	Arus 10	Arus 11
Metil Formiat	2799,74	-	1959,82	3266,36	1306,54	1306,54	-	1306,54	-	-	2146,47
Air	-	1218,71	966,733	4899,54	4311,59	-	4311,59	-	-	3932,81	378,788
Asam Formiat	-	-	643,939	643,939	2146,47	-	2146,47	-	-	-	-
Metanol	-	-	447,958	447,958	14,93,19	1493,19	-	-	1493,19	-	-
Total	2799,74	1218,71	4018,45	9257,8	9257,8	2799,74	6458,06	1306,54	1493,19	3932,81	2525,25

Gambar 2.1 Diagram Alir Proses

2.5 Neraca Massa

Basis : 1 jam operasi

Satuan : kg/jam



Gambar 2.2 Diagram Alir Neraca Massa

2.5.1 Neraca Massa Total Reaktor I

Tabel 2.3 Neraca Massa Total Reaktor I

Komponen	INPUT		OUTPUT
	F1	F2	F3
HCOOCH _{3(l)}	2799,736		1959,816
H ₂ O _(l)		1218,709	966,733
HCOOH _(l)			643,939
CH ₃ OH _(l)			447,958
TOTAL	4018,445		4018,445

2.5.2 Neraca Massa Total Mixing Valve

Tabel 2.4 Neraca Massa Total Mixing Valve

Komponen	INPUT			OUTPUT
	F3	F8	F10	F4
HCOOCH _{3(l)}	1959,816	1306,544	0,000	3266,359
H ₂ O _(l)	966,733	0,000	3932,806	4899,539
HCOOH _(l)	643,939	0,000	0,000	643,939
CH ₃ OH _(l)	447,958	0,000	0,000	447,958
TOTAL	9257,795			9257,795

2.5.3 Neraca Massa Total Reaktor II

Tabel 2.5 Neraca Massa Total Reaktor II

Komponen	INPUT	OUTPUT
	F4	F5
HCOOCH _{3(l)}	3266,359	1306,544
H ₂ O _(l)	4899,539	4311,594
HCOOH _(l)	643,939	2146,465
CH ₃ OH _(l)	447,958	1493,193
TOTAL	9257,795	9257,795

2.5.4 Neraca Massa Total Distilasi I

Tabel 2.6 Neraca Massa Total Distilasi I

Komponen	INPUT	OUTPUT	
	F5	F6	F7
HCOOCH _{3(l)}	1306,544	1306,544	0,000
H ₂ O _(l)	4311,594	0,000	4311,594
HCOOH _(l)	2146,465	0,000	2146,465
CH ₃ OH _(l)	1493,193	1493,193	0,000
TOTAL	9257,795	9257,795	

2.5.5 Neraca Massa Total Distilasi II

Tabel 2.7 Neraca Massa Total Distilasi II

Komponen	INPUT	OUTPUT	
	F6	F8	F9
HCOOCH _{3(l)}	1306,544	1306,544	0,000
CH ₃ OH _(l)	1493,193	0,000	1493,193
TOTAL	2799,736	2799,736	

2.5.6 Neraca Massa Total Distilasi III

Tabel 2.8 Neraca Massa total Distilasi III

Komponen	INPUT	OUTPUT	
	F7	F10	F11
HCOOH _(l)	2146,465	0,000	2146,465
H ₂ O _(l)	4311,594	3932,806	378,788
TOTAL	6458,059	6458,059	

2.5.7 Neraca Massa Overall

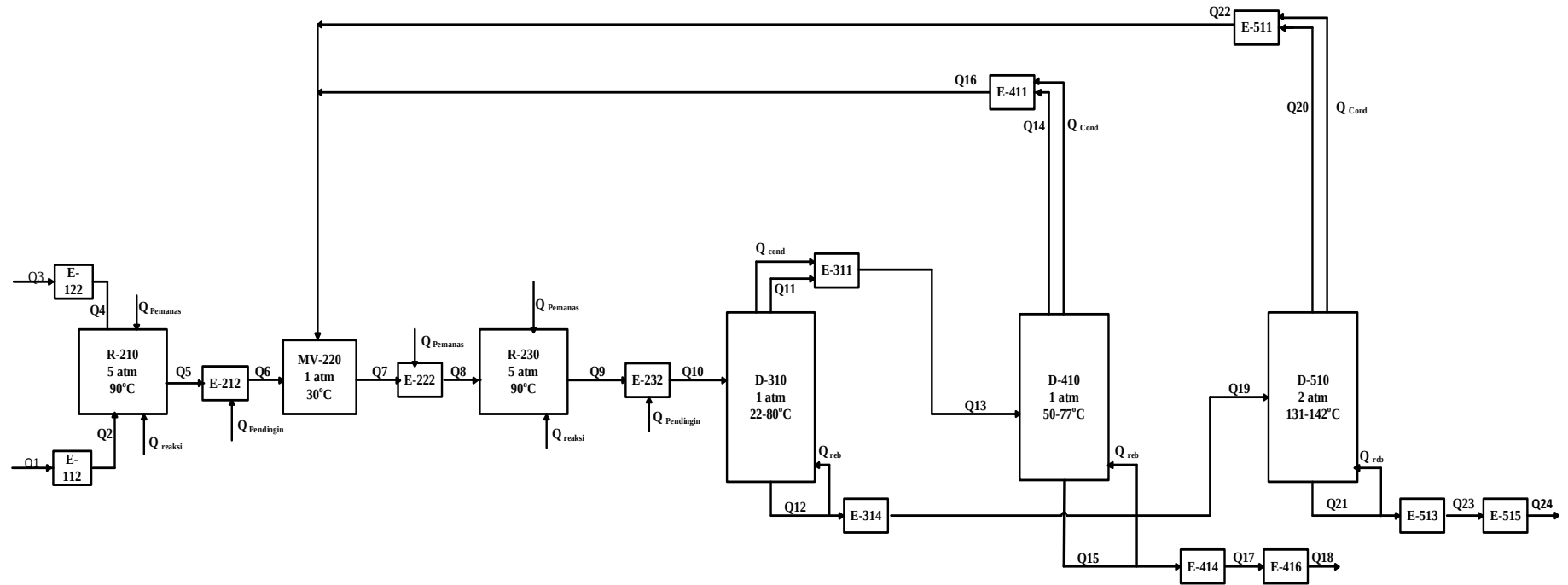
Tabel 2.9 Neraca Massa Overall

Komponen	Massa (kg)	
	Input	Output
Reaktor I (R-210)		
HCOOCH _{3(l)}	2799,736	
H ₂ O _(l)	1218,709	
Distilasi II (D-410)		
CH ₃ OH _(l)		1493,193
Distilasi III (D-510)		
HCOOH _(l)		2146,465
H ₂ O _(l)		378,788
TOTAL	4018,445	4018,445

2.6 Neraca Panas

Basis : 1 jam operasi

Satuan : kkal/jam



Gambar 2.3 Diagram Alir Neraca Panas

2.6.1 Neraca Panas Total Heat Exchanger I

Tabel 2.10 Neraca Panas Total Heat Exchanger I

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	6.396,88	92.841,51
Q pemanas	86.444,63	
TOTAL	92.841,51	92.841,51

2.6.2 Neraca Panas Total Heat Exchanger II

Tabel 2.11 Neraca Panas Total Heat Exchanger II

Komponen	Q masuk	Q keluar
H ₂ O _(l)	6.104,06	79.223,60
Q pemanas	73.119,54	
TOTAL	79.223,60	79.223,60

2.6.3 Neraca Panas Total Reaktor I

Tabel 2.12 Neraca Panas Total Reaktor I

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	92.841,51	64.989,05
H ₂ O _(l)	79.223,60	62.843,58
HCOOH _(l)		22.983,66
CH ₃ OH _(l)		18.939,84
Q reaksi	-61.359,86	
Q pemanas	59.050,90	
TOTAL	169.756,14	169.756,14

2.6.4 Neraca Panas Total Cooler I

Tabel 2.13 Neraca Panas Total Cooler I

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	64.989,05	4.477,82
H ₂ O _(l)	62.843,58	4.842,00
HCOOH _(l)	22.983,66	1.655,63
CH ₃ OH _(l)	18.939,84	1.344,35
Q pendingin		157.436,34
TOTAL	169.756,14	169.756,14

2.6.5 Neraca Panas Total Mixing valve

Tabel 2.14 Neraca Panas Mixing Valve

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	7.463,03	51.735,34
H ₂ O _(l)	220.745,97	161.677,05

HCOOH _(l)	1.655,63	11.299,06
CH ₃ OH _(l)	1.344,35	9.204,29
Q terserap	2.706,77	
TOTAL	233.915,74	233.915,74

2.6.6 Neraca Panas Total Heat Exchanger III

Tabel 2.15 Neraca Panas Total Heat Exchanger III

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	51.735,34	108.315,09
H ₂ O _(l)	161.677,05	318.500,27
HCOOH _(l)	11.299,06	22.983,66
CH ₃ OH _(l)	9.204,29	18.939,84
Q pemanas	234.823,12	
TOTAL	468.738,86	468.738,86

2.6.7 Neraca Panas Total Reaktor II

Tabel 2.16 Neraca Panas Total Reaktor II

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	108.315,09	43.326,04
H ₂ O _(l)	318.500,27	280.280,23
HCOOH _(l)	22.983,66	76.612,20
CH ₃ OH _(l)	18.939,84	63.132,81
Q reaksi	-143.173,02	
Q pemanas	137.785,44	
TOTAL	463.351,28	463.351,28

2.6.8 Neraca Panas Total Cooler II

Tabel 2.17 Neraca Panas Total Cooler II

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	43.326,04	21.962,08
H ₂ O _(l)	280.280,23	150.460,04
HCOOH _(l)	76.612,20	39.914,80
CH ₃ OH _(l)	63.132,81	32.530,31
Q pendingin		218.484,04
TOTAL	463.351,28	463.351,28

2.6.9 Neraca Panas Total Distilasi I

Tabel 2.18 Neraca Panas Total Distilasi I

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	21.962,08	-1.770,20

H ₂ O _(l)	150.460,04	236698,73
HCOOH _(l)	39.914,80	64.100,38
CH ₃ OH _(l)	32.530,31	-2.665,49
Q kondensor		1.447.913,67
Q reboiler	1.499.409,85	
TOTAL	1.744.277,09	1.744.277,09

2.6.10 Neraca Panas Total Distilasi II

Tabel 2.19 Neraca Panas Total Distilasi II

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOCH _{3(l)}	-1.770,20	2.985,21
CH ₃ OH _(l)	-2.665,49	44.414,48
Q kondensor		407.798,88
Q reboiler	459.634,26	
TOTAL	455.198,57	455.198,57

2.6.11 Neraca Panas Total Cooler III

Tabel 2.20 Neraca Panas Total Cooler III

Komponen	Q masuk	Q keluar
CH ₃ OH _(l)	44.414,48	4.481,15
Q pendingin		39.933,32
TOTAL	44.414,48	44.414,48

2.6.12 Neraca Panas Total Distilasi III

Tabel 2.21 Neraca Panas Total Distilasi III

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOH _(l)	64.100,38	147.609,57
H ₂ O _(l)	236.698,73	261.422,19
Q kondensor		3.958.741,95
Q reboiler	4.066.974,60	
TOTAL	4.367.773,71	4.367.773,71

2.6.13 Neraca Panas Total Cooler IV

Tabel 2.22 Neraca Panas Total Cooler IV

Komponen	Q masuk	Q keluar
HCOOH _(l)	147.609,57	5.518,77
H ₂ O _(l)	45.518,22	1.897,21

Q pendingin	185.711,82
TOTAL	193.127,80
	193.127,80

2.6.14 Neraca Panas Overall

Tabel 2.23 Neraca Panas Total Overall

Komponen	Q (kkal)	
	Input	Output
Heat Exchanger I		
HCOOCH _{3(l)}	6.396,880	
Q pemanas	86.444,626	
Heat Exchanger II		
H ₂ O _(l)	6.104,060	
Q pemanas	73.119,535	
Reaktor I		
Q reaksi	-61.359,865	
Q pemanas	59.050,904	
Cooler I		
Q pendingin		157.436,343
Mixing Valve		
Q terserap	2.706,774	
Heat Exchanger III		
Q pemanas	234.823,117	
Reaktor II		
Q reaksi	-143.173,018	
Q pemanas	137.785,442	
Cooler II		
Q pendingin		218.484,043
Distilasi I		
Q kondensor		1.447.913,671
Q reboiler	1.499.409,849	
Distilasi II		
Q kondensor		407.798,880
Q reboiler	459.634,260	
Cooler II		
CH ₃ OH _(l)		4.481,154
Q pendingin		39.933,323
Distilasi III		
Q kondensor		3.958.741,951
Q reboiler	4.066.974,597	
Cooler III		
HCOOH _(l)		5.518,767
H ₂ O _(l)		1.897,208

Q pendingin	185.711,820
Total	6.427.917,160 6.427.917,160

2.7 Tata Letak dan Pemetaan Pabrik

2.7.1 Lay Out Pabrik

Tata letak pabrik merupakan aspek krusial dalam desain pabrik karena berpengaruh besar terhadap efisiensi, keselamatan, dan kelancaran operasional. Penempatan fasilitas yang optimal, termasuk peralatan proses dan bangunan pendukung seperti kantor, laboratorium, bengkel, tempat ibadah, poliklinik, toilet, kantin, fasilitas keselamatan kebakaran, pos keamanan, dan lain-lain, harus memperhatikan prosedur keamanan dan kenyamanan untuk mengoptimalkan produktivitas dan keselamatan kerja.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan tata letak pabrik agar tercapai kondisi yang optimal adalah sebagai berikut.

1. Efisiensi dan kemudahan; tata letak pabrik harus dirancang untuk mengoptimalkan kemudahan operasi dan pemeliharaan peralatan, serta memudahkan pengawasan proses dan hasil produksi.
2. Perencanaan ekspansi; rencana tata letak awal harus mempertimbangkan potensi kebutuhan perluasan pabrik di masa depan untuk menghindari masalah keterbatasan ruang.
3. Keamanan; keselamatan harus menjadi prioritas utama dalam desain tata letak. Penempatan alat-alat keselamatan seperti hidran, penampungan air, alat penahan ledakan, dan sensor gas beracun harus strategis. Penyimpanan bahan baku dan produk berbahaya juga perlu di lokasi khusus yang mudah dikontrol untuk meminimalisir risiko.
4. Konstruksi terbuka; memanfaatkan konstruksi terbuka (outdoor) dapat menjadi solusi yang efektif untuk menekan biaya pembangunan, terutama karena iklim indonesia mendukung.
5. Efisiensi lahan; keterbatasan lahan menuntut efisiensi dalam penataan ruang dan pemanfaatan lahan yang tersedia.
6. Pengolahan limbah; tata letak pabrik harus mengintegrasikan sistem pengolahan limbah yang efektif untuk mencegah pencemaran lingkungan.
7. Instalasi dan utilitas; perencanaan yang matang untuk instalasi dan distribusi utilitas

seperti gas, uap, listrik, dan lainnya sangat penting untuk kelancaran proses produksi dan pemeliharaan.

Secara garis besar layout pabrik terbagi atas beberapa daerah utama yaitu:

1. Zona Administrasi dan Fasilitas Pendukung

Zona ini menaungi area administrasi yang mengatur kelancaran operasional dan keuangan, laboratorium untuk kontrol kualitas bahan baku dan produk, serta fasilitas karyawan seperti poliklinik, kantin, aula, tempat parkir, pos keamanan, dan masjid.

2. Zona Proses dan Ruang Kontrol

Zona proses, yang berlokasi di pusat pabrik dan jauh dari gangguan, merupakan tempat berlangsungnya proses produksi dengan penempatan alat-alat proses dan pengendali yang terstruktur untuk memudahkan aliran bahan baku, pengawasan, dan pemeliharaan. Zona ini berjarak minimal 15 meter dari bangunan lain. Sementara itu, ruang kontrol berfungsi sebagai pusat kendali untuk memantau dan memastikan kelancaran proses produksi, termasuk parameter seperti tekanan dan temperatur.

3. Zona Pemeliharaan

Zona ini didedikasikan untuk menyimpan suku cadang dan melakukan perbaikan, pemeliharaan, serta perawatan seluruh peralatan yang digunakan dalam proses produksi.

4. Zona Utilitas

Berdekatan dengan zona proses namun tetap menjaga jarak aman sekitar 15 meter, zona ini menyediakan utilitas penting untuk produksi seperti air, uap, dan listrik. Penempatan yang dekat bertujuan untuk efisiensi sistem pemipaan dan keamanan.

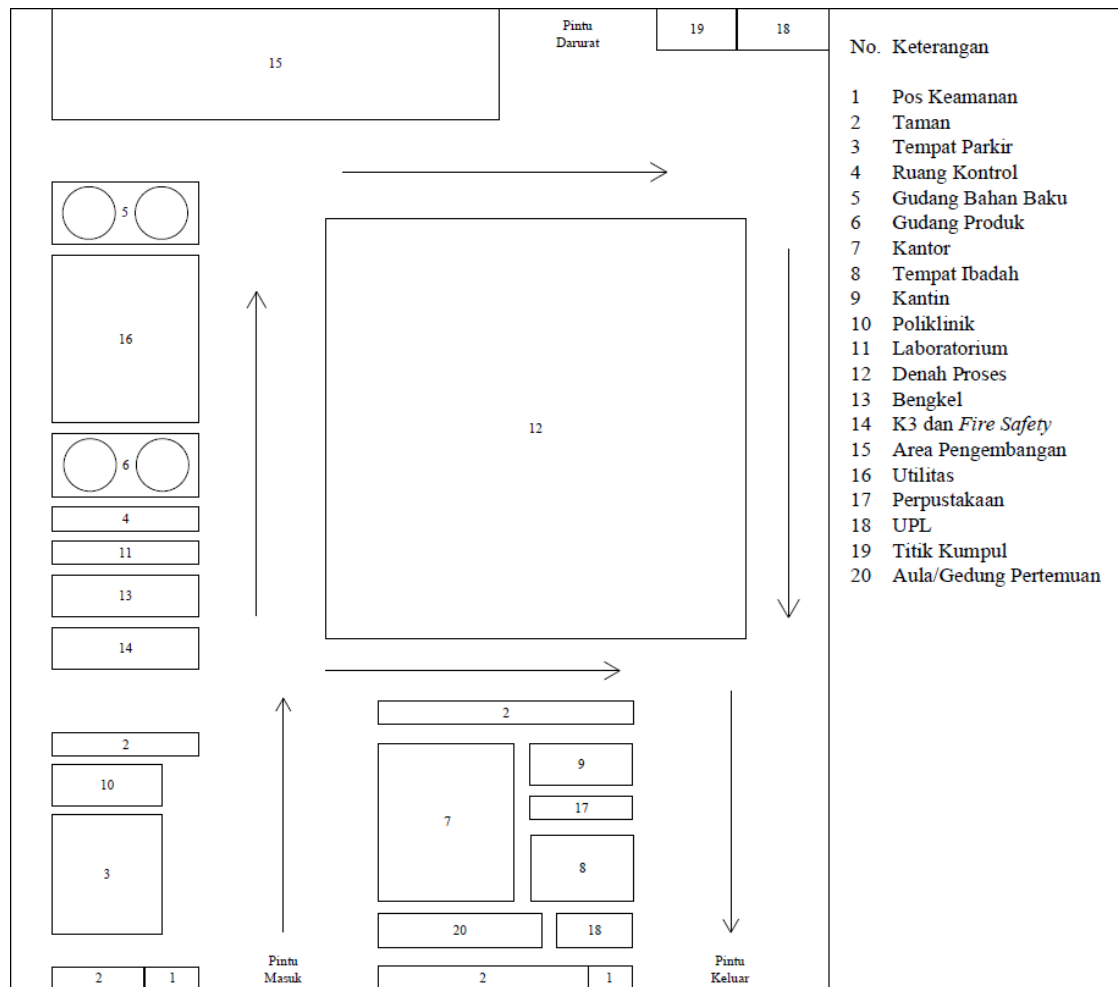
5. Zona Pengolahan Limbah

Zona ini dirancang khusus untuk mengolah dan membuang limbah yang dihasilkan selama proses produksi.

Tabel 2.24 Luas Bagian-Bagian Pabrik

No.	Bangunan	Lebar (m)	Panjang (m)	Luas (m ²)
1	Pos Keamanan	5	10	50
2	Taman	10	50	500
3	Tempat Parkir	10	20	200
4	Ruang Kontrol	4	12,5	50
5	Gudang	10	20	200

6	Kantor	30	30	900
7	Tempat Ibadah	10	10	100
8	Kantin	10	10	100
9	Poliklinik	10	5	50
10.	Laboratorium	10	5	50
11	Denah Proses	100	100	10.000
12	Bengkel	10	10	100
13	K3 dan <i>fire safety</i>	10	10	100
14	Area Pengembangan	20	100	2.000
15	Utilitas	10	50	500
16	Perpustakaan	10	10	100
17	UPL	10	20	200
18	Titik Kumpul	10	10	100
19	Aula/Gedung pertemuan	10	15	150
Total				15.450



Gambar 2.4 Lay Out Pabrik Asam Format

2.7.2 Lay Out Peralatan Proses

Efisiensi dalam tata letak peralatan proses pabrik merupakan hal yang krusial. Berikut adalah beberapa pertimbangan penting yang perlu diperhatikan dalam perancangannya:

1. Alur Bahan Baku dan Produk yang Optimal

Desain alur bahan baku dan produk yang efisien akan memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan, serta mendukung kelancaran dan keamanan selama proses produksi.

2. Sirkulasi Udara yang Lancar

Penting untuk memperhatikan kelancaran sirkulasi udara di dalam dan di sekitar area proses. Sirkulasi udara yang baik akan mencegah stagnasi udara dan akumulasi

bahan kimia berbahaya, sehingga menjamin keselamatan pekerja. Arah hembusan angin dominan juga perlu dipertimbangkan.

3. Pencehayaan yang Memadai

Area proses yang memiliki risiko tinggi terhadap keselamatan harus dilengkapi dengan pencahayaan tambahan. Selain itu, pencahayaan yang memadai di seluruh area pabrik juga penting untuk menjamin keselamatan kerja.

4. Aksesibilitas dan Keamanan Pekerja

Tata letak pabrik harus dirancang agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah, terutama saat terjadi gangguan atau kerusakan. Keamanan pekerja selama bertugas juga harus menjadi prioritas utama.

5. Akses Alat Berat yang Mudah

Jarak antar alat dan lebar jalan harus cukup untuk memastikan alat berat dapat menjangkau seluruh alat proses dengan mudah. Hal ini penting untuk memudahkan akses dan pemeliharaan, serta mempercepat penanganan jika terjadi gangguan pada alat proses.

6. Keamanan yang Terjamin

Penempatan alat-alat proses harus strategis dan aman. Jika terjadi kebakaran, tidak boleh ada pekerja yang terperangkap dan akses kendaraan atau alat pemadam kebakaran harus mudah. Selain itu, tata letak proses harus dirancang untuk:

- a. Menjamin kelancaran proses produksi;
- b. Memaksimalkan penggunaan luas lantai;
- c. Meminimalkan biaya material handling dan pengeluaran modal yang tidak perlu;
- d. Menghindari penggunaan alat angkut mahal dengan menciptakan alur produksi yang lancar;
- e. Meningkatkan kepuasan kerja karyawan.

7. Ruang Perawatan yang Cukup

Tata letak harus menyediakan ruang yang cukup untuk perawatan alat proses. Misalnya, heat exchanger memerlukan ruang yang cukup untuk membersihkan tube.

8. Fleksibilitas untuk Ekspansi

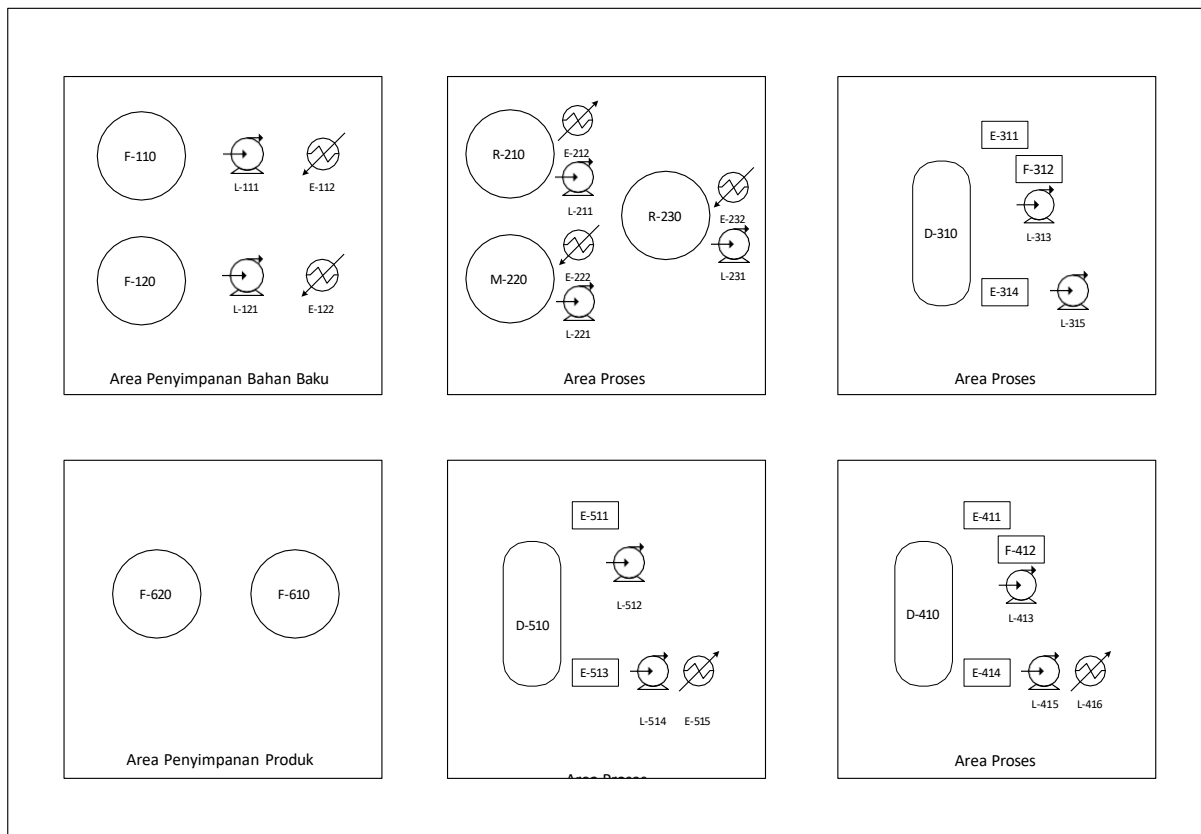
Setiap pabrik diharapkan dapat berkembang di masa depan. Oleh karena itu, tata letak pabrik harus dirancang untuk mengakomodasi penambahan unit produksi di masa depan.

9. Efisiensi Ekonomi

Penempatan alat-alat proses harus dirancang untuk meminimalkan biaya konstruksi dan operasi. Hal ini dapat dicapai dengan meminimalkan panjang pipa dan penggunaan material konstruksi.

10. Jarak Aman Antar Alat

Alat proses yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi harus ditempatkan pada jarak aman dari alat proses lainnya. Hal ini untuk meminimalkan risiko jika terjadi ledakan atau kebakaran pada salah satu alat tersebut.



Gambar 2 5 *Lay Out* Peralatan Proses