

BAB II

DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan dan Produk

2.1.1 Bahan Baku Utama

1) Isopropil Alkohol (IPA)

Isopropyl Alkohol adalah bahan baku utama yang akan dikonversi menjadi propanon, dalam MSDS (2012), sifat fisika dan kimia isopropil alkohol adalah sebagai berikut

a) Sifat Fisika

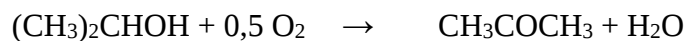
Rumus Molekul	: $(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{O}$
Berat Molekul	: 60 g/mol
Bentuk	: cair
Warna	: tidak berwarna
Bau	: seperti alkohol
Titik lebur	: $88,5^\circ\text{C}$
Titik didih	: $82,4^\circ\text{C}$
Titik nyala	: 12°C
Densitas	: 0,786 g/cm ³ pada 20°C
Viskositas	: 2,2 mPa.s pada 20°C

b) Sifat Kimia

- Reaksi dehidrogenasi adalah proses utama dalam pembentukan propanon menggunakan katalis logam, oksida, atau kombinasi keduanya. Berikut reaksinya:



- Isopropyl alkohol mengalami oksidasi dengan udara atau oksigen pada suhu tinggi, menghasilkan propanon dan air. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



2.1.2 Bahan Baku Pendukung

1) Zinc Oxide (ZnO)

Selain isopropyl alkohol beberapa bahan pembantu reaksi yakni zinc oxide (ZnO) Berdasarkan MSDS (2019) Sifat fisika dan kimia Zinc Oxide adalah sebagai berikut.

a) Sifat Fisika

Rumus Molekul	: ZnO
---------------	-------

Berat Molekul	: 81,39 g/mol
Bentuk	: Powder padatan
Warna	: Putih kekuningan
pH	: 7,37
Titik lebur	: 1.975°C
Titik didih	: - (Menyublim)
Densitas	: 5,61 gr/cm ³ pada 20°C

2.1.3 Produk Utama

1) Propanon

Perancangan pabrik ini akan menghasilkan produk utama berupa propanon. Berdasarkan MSDS (2021) sifat fisika dan kimia aseton adalah sebagai berikut.

a) Sifat Fisika

Rumus Molekul	: (CH ₃) ₂ CO
Berat Molekul	: 58,08 g/mol
Bentuk	: cair pada 20°C
Warna	: tidak berwarna
pH	: 5-6 pada 395 g/L
Titik lebur	: -94°C
Titik didih	: 56,2°C
Tekanan uap	: 233 hPa pada 20°C
Densitas	: 0,79 g/cm ³
Viskositas	: 0,32 mPa.s pada 20°C

b) Sifat Kimia

- Akan membentuk aseton sianohidrin jika direaksikan dengan hidrogen sianida
- Reduktor yang lebih lemah daripada aldehyd

2.1.4 Produk Samping

1) Hidrogen

Reaksi pembentukan propanon menghasilkan produk samping berupa hidrogen. Berdasarkan MSDS (2018) sifat fisika kimia hidrogen adalah sebagai berikut

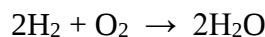
a) Sifat Fisika

Bentuk	: gas
Warna	: tidak berwarna
Bau	: tidak berbau

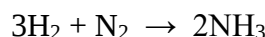
Titik leleh : -295,15°C
Titik didih : -253°C
Densitas : 0,083 g/cm³

b) Sifat Kimia

- Jika bereaksi dengan oksigen menghasilkan uap air



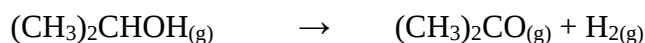
- Jika bereaksi dengan nitrogen menghasilkan gas amonia



2.2 Konsep Proses

2.2.1 Dasar Reaksi

Propanon diproduksi melalui metode dehidrogenasi yang memanfaatkan isopropil alkohol sebagai bahan dasar. Proses ini dilaksanakan dalam reaktor *multitube fixed bed*, di mana isopropil alkohol mengalami dehidrogenasi katalitik untuk menghasilkan propanon dan hidrogen. Reaksi berlangsung dalam fase gas dengan menggunakan katalis padat sebagai pendorong reaksi. Berikut adalah persamaan reaksi yang terjadi:



2.2.2 Penggunaan Katalis

Beragam jenis katalis dapat dimanfaatkan dalam pembuatan propanon melalui dehidrogenasi isopropanol, seperti Cr, Zn, Cu, dan berbagai oksida lainnya. Dalam proses ini, katalis yang dipilih adalah Zinc Oxide (ZnO), yang berbentuk padat berupa serbuk. Isopropanol akan terserap pada permukaan katalis dan mengalami dehidrogenasi, menghasilkan propanon serta melepas gas hidrogen.

2.2.3 Tinjauan Termodinamika

Penentuan sifat reaksi dalam pembuatan aseton dilakukan melalui analisis termodinamika. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis. Secara termodinamika, reaksi dehidrogenasi isopropanol dalam proses pembuatan aseton memiliki nilai ΔH positif, yang menunjukkan bahwa reaksi ini memerlukan tambahan panas dari luar atau bersifat endotermis. Dengan demikian, semakin tinggi suhu, semakin besar konversi yang terjadi, sehingga reaksi bergeser ke arah produk. Untuk melakukan tinjauan termodinamika, beberapa data diperlukan, seperti Energi Gibbs, nilai entalpi, serta konstanta keseimbangan dari komponen. Berikut data yang dibutuhkan.

Tabel 2. 1 Nilai Energi Gibbs, Entalpi, dan Konstanta Keseimbangan (Yaws, 1999)

Komponen	$\Delta H_f(kJ/mol)$	$\Delta G_f(kJ/mol)$
Propanon	-217,57	-153,05
H ₂ O	0	0
Isopropilalkohol (IPA)	-272,59	-173,59

Panas reaksi (ΔH_f°) digunakan untuk menentukan apakah reaksi bersifat endotermis atau eksotermis.

$$\begin{aligned}\Delta H_f &= \Delta H_{298}^\circ \text{C}_3\text{H}_6\text{O} + \Delta H_{298}^\circ \text{H}_2 - \Delta H_{298}^\circ \text{C}_3\text{H}_8\text{O} \\ &= -217,57 \text{ KJ/mol} - (-272,59 \text{ KJ/mol}) \\ &= 55,02 \text{ KJ/mol}\end{aligned}$$

Proses dehidrogenasi isopropyl alkohol menjadi propanon, seperti terlihat pada reaksi di atas, memiliki nilai ΔH sebesar +55,02 kJ/mol. Reaksi ini bersifat endotermis, artinya membutuhkan penyerapan panas. Umumnya, reaksi semacam ini akan mengalami peningkatan konversi seiring dengan naiknya suhu. Kenaikan suhu menyebabkan nilai K_p meningkat, sehingga kesetimbangan reaksi bergeser ke arah pembentukan produk.

Perhitungan energi bebas gibbs (ΔG_f°) berdasarkan teori Yaws, 2003 digunakan untuk menentukan konstanta keseimbangan reaksi pada suhu operasi.

$$\begin{aligned}\Delta G &= \Delta G_{298}^\circ \text{C}_3\text{H}_6\text{O} + \Delta G_{298}^\circ \text{H}_2 - \Delta G_{298}^\circ \text{C}_3\text{H}_8\text{O} \\ &= -153,05 \text{ KJ/mol} - (-173,59 \text{ KJ/mol}) \\ &= 20,54 \text{ KJ/mol}\end{aligned}$$

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

$$\ln K = -\frac{\Delta G}{RT} \dots \dots \dots (1)$$

Dari persamaan (1) dapat dicari K_1 pada 298 K

$$\ln K_1 = -\frac{20,54 \text{ KJ/mol}}{0,008134 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 298 \text{ K}}$$

$$K_1 = \exp \left(-\frac{20,54 \text{ kJ/mol}}{0,008314 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \times 298 \text{ K}} \right)$$

$$K_1 = 0,00025092$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \dots \dots \dots (2)$$

Dari persamaan (2) dapat dicari K_2 pada 673 K

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{55,02 \text{ kJ/mol}}{0,008134 \frac{\text{kJ}}{\text{mol.K}}} \left(\frac{1}{673} - \frac{1}{298} \right) \text{K}$$

$$K_2 = 59,36084$$

$K_2 > 1 \rightarrow$ Reaksi *irreversibel*

Pada suhu 400°C, harga K_p lebih besar dari 1 sehingga reaksi dehidrogenasi isopropanol dianggap berjalan ke arah produk saja (*irreversible*).

2.2.4 Tinjauan Kinetika

Dalam menentukan pengaruh suhu, dapat digunakan persamaan Arrhenius. Persamaan ini menggambarkan hubungan antara laju reaksi dan suhu, di mana kenaikan suhu akan meningkatkan energi kinetik molekul reaktan, sehingga mempercepat laju reaksi.

$$k = A e^{-E_a/RT}$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa untuk memperbesar harga k dapat dilakukan dengan menaikkan temperatur.

Harga E_a dan k untuk reaksi ini adalah:

$$E_a = 72,38 \text{ MJ/kmol}$$

$$K = 7054,81622 \text{ m}^3 \text{ gas/m}^3 \text{ reaktor sec.}$$

Adapun reaksi dehidrogenasi isopropanol ini merupakan reaksi orde satu, dan dapat diperkirakan dari persamaan berikut ini:

$$-r_{IPA} = K_0 \exp [E_a/RT] C_{IPA}$$

$$\text{dimana } K_0 = 7054,81622 \text{ m}^3 \text{ gas/(m}^3 \text{ reaktor s), } C_{IPA} = \text{kmol/m}^3 \text{ gas}$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa laju pengurangan IPA (laju pembentukan produk) akan semakin besar dengan semakin tingginya suhu dan naiknya konsentrasi IPA.

2.2.5 Kondisi Operasi

Kondisi operasi menjadi salah satu faktor utama yang dipertimbangkan karena berpengaruh langsung terhadap jalannya reaksi dan kualitas produk yang dihasilkan. Baik secara termodinamika maupun kinetik, peningkatan suhu operasi umumnya memberikan efek positif terhadap proses, tetapi tetap dibatasi oleh karakteristik reaktor dan jenis katalis yang digunakan. Setiap katalis memiliki selektivitas optimal pada rentang suhu tertentu. Pada proses dehidrogenasi isopropyl alkohol yang berlangsung dalam reaktor fixed bed multitube, kondisi operasi yang diterapkan adalah suhu 400°C dan tekanan 2 bar.

2.3 Langkah Proses

Proses pembuatan propanon terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu persiapan bahan baku, reaksi hidrogenasi, dan pemurnian produk. Setiap tahap memiliki peran penting

dalam memastikan efisiensi serta kualitas produk yang dihasilkan. Adapun gambaran langkah-langkah prosesnya adalah sebagai berikut:

2.3.1 Persiapan Bahan Baku

Pembuatan propanon menggunakan isopropyl alkohol sebagai bahan baku utama, yang disimpan dalam tangki T-01. Bahan baku ini diperoleh melalui impor dari Shell Eastern Chemicals, Singapura, karena belum ada industri di Indonesia yang memproduksi isopropyl alkohol. Kapasitas tangki penyimpanan harus memadai untuk memenuhi kebutuhan produksi dalam periode tertentu, dengan kondisi penyimpanan pada suhu ruangan dan tekanan atmosfer.

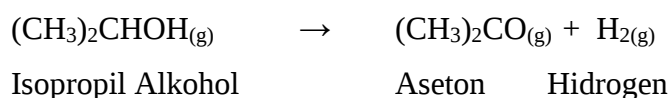
Isopropyl alkohol yang diumpankan ke reaktor harus memiliki kandungan minimal 99%. Proses dehidrogenasi isopropyl alkohol menjadi propanon berlangsung dalam fase gas. Umpan reaktor terdiri dari campuran isopropyl alkohol segar dari tangki T-01 dan hasil recycle dari menara distilasi pertama, di mana hasil recycle memiliki suhu 110°C. Setelah melewati unit mixing, suhu campuran turun menjadi 47°C.

Sebelum memasuki reaktor, umpan dipanaskan di heater hingga mendekati titik didihnya, kemudian dipompa menggunakan P-01 menuju vaporizer V-01. Vaporizer ini menggunakan flue gas dari reaktor sebagai media pemanas, menghasilkan keluaran isopropyl alkohol pada suhu 105°C, yang merupakan suhu bubble point campuran pada tekanan 2 bar dan dianggap konstan. Karena suhu ini masih lebih rendah dari suhu reaksi, furnace F-01 digunakan sebagai pemanas tambahan dengan gas alam sebagai sumber panas, sehingga suhu umpan meningkat hingga 350°C dengan tekanan tetap pada 2 bar, sesuai kondisi operasi reaktor.

2.3.2 Pembentukan Produk/Reaksi

Gas keluaran dari furnace kemudian dialirkan ke reaktor fixed bed multitube. Pemilihan jenis reaktor ini didasarkan pada kemampuannya dalam mengendalikan suhu dengan lebih optimal. Desainnya memungkinkan suplai panas yang efisien serta distribusi katalis yang merata di sepanjang tube, sehingga meningkatkan kinerja reaksi dan konversi produk.

Reaksi dalam reaktor sebagai berikut:



Di dalam reaktor, proses dehidrogenasi isopropyl alkohol berlangsung dalam fase gas, menghasilkan propanon dan hidrogen. Reaktor beroperasi pada suhu 350°C dengan tekanan 1,8 bar. Mekanisme kerja reaktor dimulai dengan pengumpanan reaktan ke dalam

tube yang berisi katalis ZnO. Karena reaksi ini bersifat endoterm, pemanasan diperlukan untuk menjaga suhu tetap optimal. Reaktor memanfaatkan Dowtherm A sebagai media pemanas. Setelah reaksi berlangsung, gas hasil keluaran dari reaktor dialirkan menuju cooler untuk proses pendinginan lebih lanjut.

Isopropyl alkohol yang masuk ke dalam reaktor akan melewati tube-tube berisi katalis ZnO, di mana reaksi dehidrogenasi berlangsung dan menghasilkan propanon serta hidrogen. Produk keluaran reaktor terdiri dari campuran gas yang mengandung propanon, hidrogen, air, serta isopropanol yang akan *recycle* untuk proses selanjutnya.

2.3.3 Pemurnian Produk

Produk keluaran dari reaktor harus melalui tahap pemurnian terlebih dahulu karena masih mengandung campuran zat yang belum memenuhi spesifikasi untuk penyimpanan maupun penjualan. Gas hasil reaksi dari reaktor R-01 terdiri dari campuran propanon, air, hidrogen, dan sisa isopropyl alkohol dengan suhu yang masih tinggi. Oleh karena itu, aliran gas ini dialirkan menuju cooler C-01 untuk menurunkan suhu hingga 150°C dengan tekanan 1,7 bar, kemudian diteruskan ke kondensor parsial C-02. Pada tahap ini, gas yang dapat terkondensasi diembunkan pada tekanan 1,5 bar dan suhu keluaran 60°C.

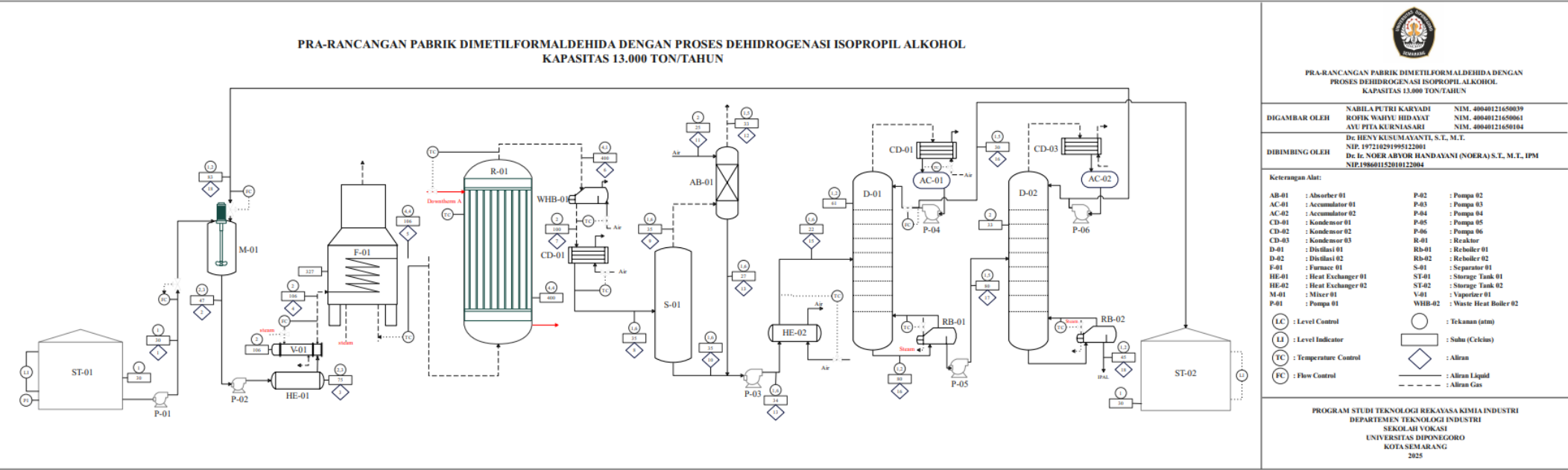
Pada kondensor C-02, propanon, air, dan isopropyl alkohol mengalami kondensasi, sementara hidrogen tetap dalam fase gas. Karena kondensor ini bersifat parsial, tidak seluruh umpan terkondensasi sehingga sebagian propanon, air, dan isopropyl alkohol masih berfase uap. Selanjutnya, hasil keluaran dari kondensor C-02 dialirkan ke separator S-01 untuk memisahkan fase cair dan gas. Keluaran atas separator berupa gas hidrogen dengan kemurnian sekitar 99% pada suhu 60°C, yang kemudian disimpan dalam tangki hidrogen T-02. Sementara itu, keluaran bawah berupa cairan yang mengandung propanon, air, dan isopropyl alkohol pada suhu 21,4°C dan tekanan 1,6 bar dialirkan menuju menara distilasi pertama (MD-01) untuk proses pemurnian lebih lanjut.

Menara distilasi MD-01 menghasilkan dua keluaran. Bagian bawah kolom distilasi mengandung sebagian besar air, isopropyl alkohol, dan sedikit propanon pada suhu 81°C, yang kemudian dialirkan ke menara distilasi kedua (MD-02) untuk pemisahan isopropyl alkohol. Sementara itu, keluaran atas MD-01 berupa gas propanon pada suhu 58°C, yang selanjutnya dikondensasikan di kondensor C-03. Distilat hasil kondensasi ditampung dalam Refluks drum RF-01, yang kemudian dibagi menjadi dua aliran: sebagian disimpan dalam tangki T-03 sebagai produk akhir pada suhu 35°C dan tekanan

1,2 bar, sementara sisanya dikembalikan sebagai refluks ke bagian atas menara distilasi pertama untuk meningkatkan efisiensi pemisahan.

Menara distilasi kedua (MD-02) juga memiliki dua keluaran. Bagian atas menghasilkan isopropil alkohol dengan sedikit kandungan air yang kemudian direcycle dan dicampurkan kembali dengan umpan segar isopropil alkohol. Sementara itu, bagian bawah kolom distilasi mengandung air, yang selanjutnya dialirkan ke unit pengolahan limbah untuk penanganan lebih lanjut.

2.4 Diagram Alir



Gambar 2. 1 Diagram Alir Proses Pembuatan Propanon

2.5 Neraca Massa

2.5.1 Neraca Massa Vaporizer

Tabel 2. 2 Neraca Massa Pada Vaporizer

Komponen	Masuk		Keluar
	F1	F12	F5
(CH ₃) ₂ CO		10,3671	10,3671
(CH ₃) ₂ CHOH	1716,4089	170,0502	1886,4591
H ₂ O	17,3375	1,7177	19,0551
Jumlah	1733,7464	182,1350	1915,8813
	1915,88137		1915,88135

2.5.2 Neraca Massa Reaktor

Tabel 2. 3 Neraca Massa Pada Reaktor.

Komponen	Masuk	Keluar
	F5	F6
H ₂		56,5938
(CH ₃) ₂ CO	10,3671	1651,5865
(CH ₃) ₂ CHOH	1886,4591	188,6459
H ₂ O	19,0551	19,0551
Jumlah	1915,8813	1915,8813
	1915,8813	1915,8813

2.5.3 Neraca Massa Separator

Tabel 2. 4 Neraca Massa Pada Separator.

Komponen	Masuk		Keluar
	F6	F7	F8
H ₂	56,5938	56,5938	0,0000
(CH ₃) ₂ CO	1651,5865	17,1814	1634,4051
(CH ₃) ₂ CHOH	188,6459	0,6791	187,9668
H ₂ O	19,0551	0,0353	19,0199
Jumlah	1915,8813	74,4896	1841,3918
	1915,8813	1915,8813	

2.5.4 Neraca Massa Menara Distilasi 1

Tabel 2. 5 Neraca Massa Pada Menara Distilasi Pertama.

<i>Komponen</i>	<i>Masuk</i>	<i>Keluar</i>	
	<i>F8</i>	<i>F9</i>	<i>F10</i>
(CH ₃) ₂ CO	1634,4051	1623,8345	10,5706
(CH ₃) ₂ CHOH	187,9668	16,4024	171,5644
H ₂ O	19,0199	0,0000	19,0199
Jumlah	1841,3918	1640,2369	201,1549
	1841,3918	1841,3918	

2.5.5 Neraca Massa Menara Distilasi 2

Tabel 2. 6 Neraca Massa Pada Menara Distilasi Kedua.

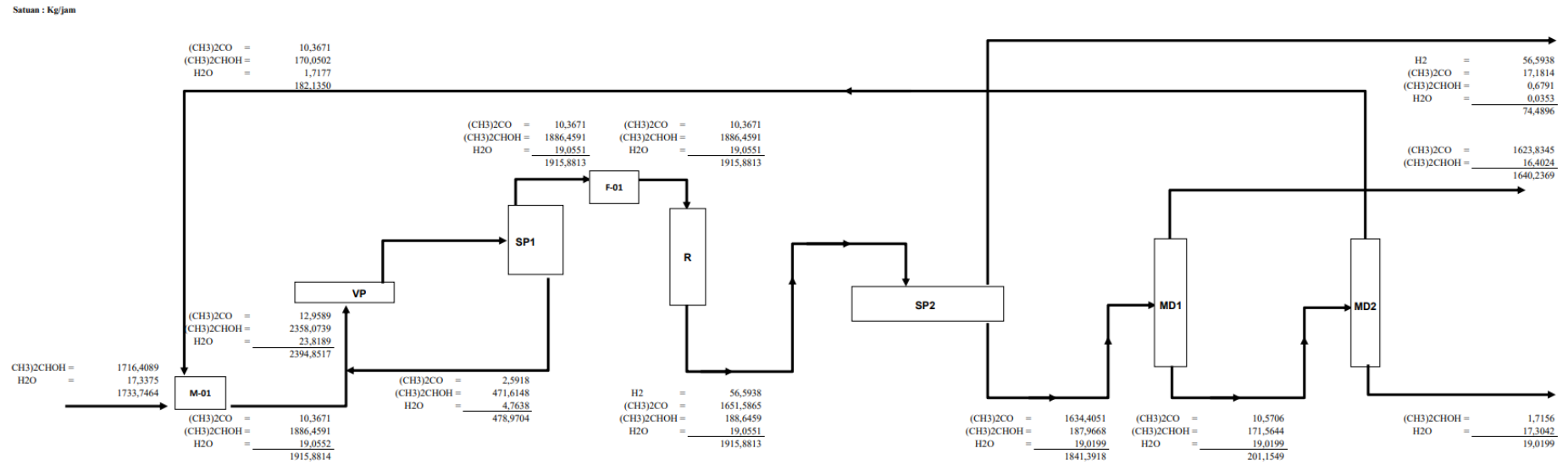
<i>Komponen</i>	<i>Masuk</i>	<i>Keluar</i>	
	<i>F10</i>	<i>F12</i>	<i>F11</i>
(CH ₃) ₂ CO	10,5706	10,5706	0,0000
(CH ₃) ₂ CHOH	171,5644	169,8488	1,7156
H ₂ O	19,0199	1,7156	17,3042
Jumlah	201,1549	182,1350	19,0199
	201,1549	201,1549	

2.5.6 Neraca Massa Overall

Tabel 2. 7 Neraca Massa Overall.

<i>Komponen</i>	<i>Masuk</i>		<i>Keluar</i>	
	<i>F1</i>	<i>F7</i>	<i>F9</i>	<i>F11</i>
H ₂	0,0000	56,5938	0,0000	0,0000
(CH ₃) ₂ CO	0,0000	17,1814	1623,8345	0,0000
(CH ₃) ₂ CHOH	1716,4089	0,6791	16,4024	1,7156
H ₂ O	17,3375	0,0353	0,0000	17,3042
Jumlah	1733,7464	74,4896	1640,2369	19,0199
	1733,7464		1733,7464	

2.5.7 Diagram Alir Neraca Massa



Gambar 2. 2 Diagram Alir Neraca Massa.

2.6 Neraca Panas

2.6.1 Neraca Panas Vaporizer

Tabel 2. 8 Neraca Panas Vaporizer

Komponen	Masuk	Keluar
$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	1304,15	2427,19
$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	156386,52	570950,39
H_2O	2204,21	7946,07
Q penguapan		1302080,56
Q pemanas	1723509,33	
TOTAL	1883404,21	1883404,21

2.6.2 Neraca Panas Furnace

Tabel 2. 9 Neraca Panas Furnace

Komponen	Masuk	Keluar
$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	1162,41	5827,44
$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	246377,57	1242536,24
H_2O	2860,82	12011,40
Q pemanas	1009974,27	
TOTAL	1260375,08	1260375,08

2.6.3 Neraca Panas Reaktor

Tabel 2. 10 Neraca Panas Reaktor

Komponen	Masuk	Keluar
H_2		268396,14
$(\text{CH}_3)_2\text{CO}$	5827,44	928371,74
$(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	1242536,24	124253,62
H_2O	12011,40	12011,40
Q Reaksi		69495,32
Q Pemanas	142153,14	
TOTAL	1402528,22	1402528,22

2.6.4 Neraca Panas Kondensor Parsial dan Separator

Tabel 2. 11 Neraca Panas Kondensor Parsial dan Separator

Komponen	Masuk	Keluar
H ₂	102557,76	29148,02
(CH ₃) ₂ CO	302694,51	79398,11
(CH ₃) ₂ CHOH	40390,26	10520,04
H ₂ O	4503,02	1275,40
Q Pengembunan	1007491,99	
Q Pendingin		1337295,97
TOTAL	1457637,54	1457637,54

2.6.5 Neraca Panas Menara Distilasi 1

Tabel 2. 12 Neraca Panas Distilasi 1

Komponen	Masuk	Keluar
(CH ₃) ₂ CO	159610,91	122077,36
(CH ₃) ₂ CHOH	23855,68	30207,68
H ₂ O	3418,24	4450,24
Q Condenser		2241145,44
Q reboiler	2210995,90	
TOTAL	2397880,72	2397880,72

2.6.6 Neraca Panas Menara Distilasi 2

Tabel 2. 13 Neraca Panas Distilasi 2

Komponen	Masuk	Keluar
(CH ₃) ₂ CO	1032,29	785,83
(CH ₃) ₂ CHOH	21773,99	16717,98
H ₂ O	3418,24	4285,58
Q Condenser		248585,34
Q reboiler	244150,23	
TOTAL	270374,74	270374,74

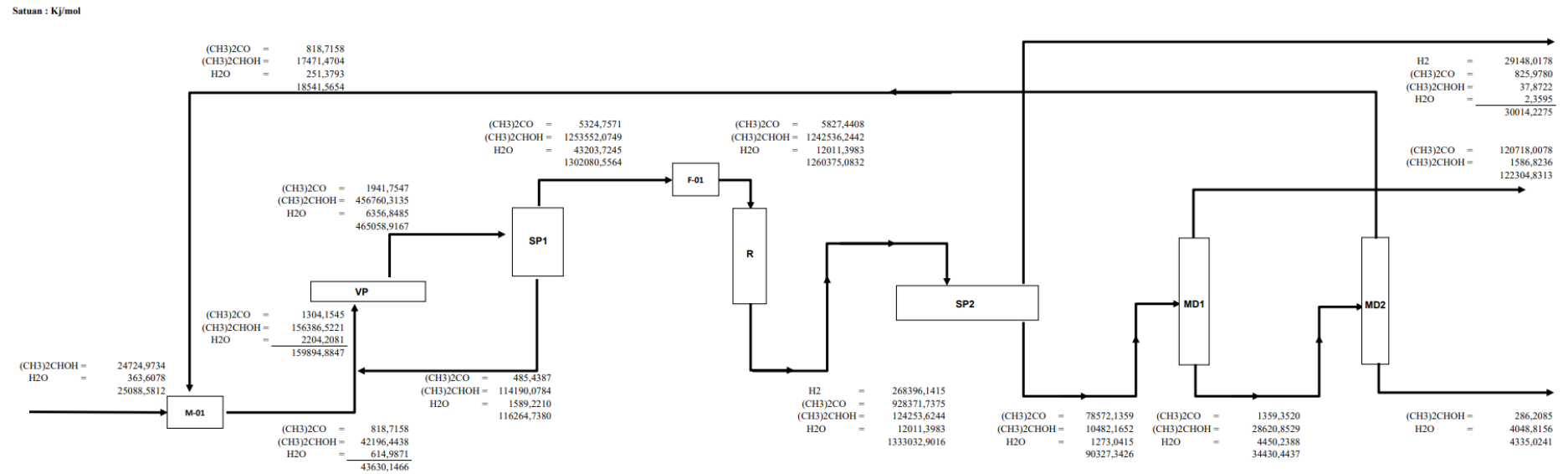
2.6.7 Neraca Panas Overall

Tabel 2. 14 Neraca Panas Overall

	INPUT	OUTPUT
Vaporizer		
(CH ₃) ₂ CO	1304,15	2427,19
(CH ₃) ₂ CHOH	156386,52	570950,39
H ₂ O	2204,21	7946,07
Q penguapan		1302080,56
Q pemanas	1723509,33	
Furnace		
(CH ₃) ₂ CO	1162,41	5827,44
(CH ₃) ₂ CHOH	246377,57	1242536,24
H ₂ O	2860,82	12011,40
Q pemanas	1009974,27	
Reaktor		
H ₂		268396,14
(CH ₃) ₂ CO	5827,44	928371,74
(CH ₃) ₂ CHOH	1242536,24	124253,62
H ₂ O	12011,40	12011,40
Q Reaksi		69495,32
Q Pemanas	142153,14	
CDP Separator		
H ₂	102557,76	29148,02
(CH ₃) ₂ CO	302694,51	79398,11
(CH ₃) ₂ CHOH	40390,26	10520,04
H ₂ O	4503,02	1275,40
Q Pengembunan	1007491,99	
Q Pendingin		1337295,97
Destilasi 1		
(CH ₃) ₂ CO	159610,91	122077,36
(CH ₃) ₂ CHOH	23855,68	30207,68

H ₂ O	3418,24	4450,24
Q Condenser		2241145,44
Q reboiler	2210995,90	
Destilasi 2		
(CH ₃) ₂ CO	1032,29	785,83
(CH ₃) ₂ CHOH	21773,99	16717,98
H ₂ O	3418,24	4285,58
Q Condenser		248585,34
Q reboiler	244150,23	
TOTAL	8672200,51	8672200,51

2.6.8 Diagram Alir Neraca Panas



Gambar 2. 3 Diagram Neraca Panas

2.7 Tata Letak Pabrik

Perancangan tata letak pabrik yang optimal berperan penting dalam meningkatkan efisiensi operasional serta memastikan keselamatan kerja. Desain tata letak harus mempertimbangkan pemanfaatan ruang secara maksimal, penempatan peralatan produksi yang tepat, serta menciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman bagi karyawan. Ilustrasi awal dari tata letak pabrik dapat dilihat pada Gambar 1.1. Untuk mencapai kondisi yang optimal, terdapat beberapa faktor krusial yang harus diperhatikan dalam menentukan tata letak pabrik propanon.

Berdasarkan Vilbrand (1959), tata letak pabrik secara umum dapat dibagi menjadi beberapa bagian utama, yaitu:

1. Daerah Administrasi dan Perkantoran, yang berfungsi sebagai pusat manajemen dan operasional administrasi.
2. Laboratorium dan Ruang Kontrol, yang digunakan untuk analisis kualitas serta pengawasan proses produksi.
3. Daerah Proses, yang mencakup area produksi, penyimpanan bahan baku maupun produk, serta fasilitas pendukung.
4. Daerah Utilitas, yang berperan sebagai pusat penyediaan sumber daya pendukung seperti air, uap, dan tenaga listrik.

Beberapa aspek penting yang harus diperhatikan dalam menentukan lokasi dan tata letak pabrik antara lain efisiensi alur produksi, aksesibilitas bahan baku dan produk, keamanan operasional, serta kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dan industri.

1. Ketersediaan Bahan Baku

Karena pabrik ini merupakan fasilitas baru di Indonesia, perancangan tata letaknya dapat dilakukan dengan lebih fleksibel dan strategis untuk memastikan efisiensi operasional. Pemilihan lokasi harus mempertimbangkan kedekatan dengan sumber bahan baku guna mengurangi biaya transportasi dan memastikan kelancaran pasokan. Selain itu, faktor infrastruktur juga menjadi aspek penting, seperti ketersediaan akses ke pelabuhan, jalan tol, serta jalan provinsi untuk mendukung distribusi bahan baku dan produk secara efektif.

2. Penataan Area Pabrik

Penataan fasilitas dalam pabrik dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori utama, seperti area proses, utilitas, penyimpanan, dan fasilitas pendukung lainnya. Pengelompokan ini didasarkan pada berbagai faktor, termasuk efisiensi

alur produksi, aksesibilitas terhadap jalan utama dan pelabuhan, serta kemudahan distribusi bahan baku dan produk.

Selain itu, perancangan tata letak peralatan produksi juga harus dilakukan secara sistematis dan berurutan guna memastikan kelancaran operasional, meningkatkan produktivitas, serta meminimalkan biaya produksi. Ruang antar peralatan disusun dengan mempertimbangkan efisiensi dan fleksibilitas, sehingga memudahkan proses pengoperasian, pengawasan, pemeliharaan, serta potensi ekspansi atau penambahan peralatan di masa depan.

Instalasi sistem distribusi pipa untuk gas, udara, uap, dan listrik harus dirancang secara optimal agar mendukung efisiensi operasional serta mempermudah proses perawatan. Selain itu, penempatan mesin dan peralatan proses juga harus dirancang agar dapat diakses dengan mudah oleh karyawan, sehingga operasional berjalan lancar dan kegiatan perawatan dapat dilakukan dengan lebih efektif.

3. Utilitas

Salah satu unit penting yang berperan dalam mendukung operasional pabrik adalah unit utilitas. Unit ini bertanggung jawab dalam menyediakan berbagai kebutuhan utama seperti air, listrik, uap, serta fasilitas pendukung lainnya guna memastikan kelancaran proses produksi. Dalam kegiatan industri, air merupakan komponen yang digunakan dalam jumlah besar untuk berbagai keperluan, sehingga pemilihan lokasi pabrik sebaiknya berada di dekat sumber air yang dapat memenuhi kebutuhan operasional dalam jangka panjang. Selain itu, lokasi pabrik juga idealnya berdekatan dengan sumber energi seperti listrik dan bahan bakar agar pasokan tetap stabil dan biaya operasional lebih efisien.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan faktor krusial dalam keberlangsungan operasional pabrik. Ketersediaan tenaga kerja di lokasi pabrik harus dipastikan mencukupi, baik untuk tenaga terdidik, tenaga terampil, maupun tenaga kasar. Keberagaman keterampilan ini diperlukan untuk mendukung berbagai aspek produksi, mulai dari pengoperasian mesin hingga manajemen dan pengawasan proses industri.

5. Pemasaran Hasil Produksi

Perancangan tata letak pabrik harus mempertimbangkan kelancaran distribusi bahan baku, proses produksi, serta distribusi produk akhir. Oleh karena

itu, lokasi pabrik sebaiknya berada di kawasan dengan infrastruktur yang memadai, seperti kedekatan dengan pelabuhan, jalan tol, dan akses jalan provinsi. Ketersediaan jalur transportasi yang baik akan mendukung efisiensi logistik, mengurangi biaya operasional, serta memastikan kelangsungan produksi tanpa hambatan.

6. Pengolahan Limbah

Pengelolaan limbah pabrik harus dirancang dengan baik untuk mencegah pencemaran lingkungan dan menghindari dampak negatif terhadap ekosistem sekitar. Oleh karena itu, unit pengolahan limbah dalam pabrik harus dirancang secara optimal agar limbah yang dihasilkan dapat diolah dengan aman sebelum dibuang. Sistem ini mencakup berbagai metode pengolahan, seperti pemisahan, netralisasi, atau daur ulang, guna memastikan bahwa limbah cair, padat, maupun gas tidak mencemari air, tanah, atau udara. Dengan desain yang tepat, proses pembuangan limbah dapat dilakukan secara ramah lingkungan, sehingga tidak mengganggu kelestarian lingkungan di sekitar pabrik dan tetap memenuhi standar regulasi yang berlaku.

7. Kesehatan dan Keselamatan Kerja

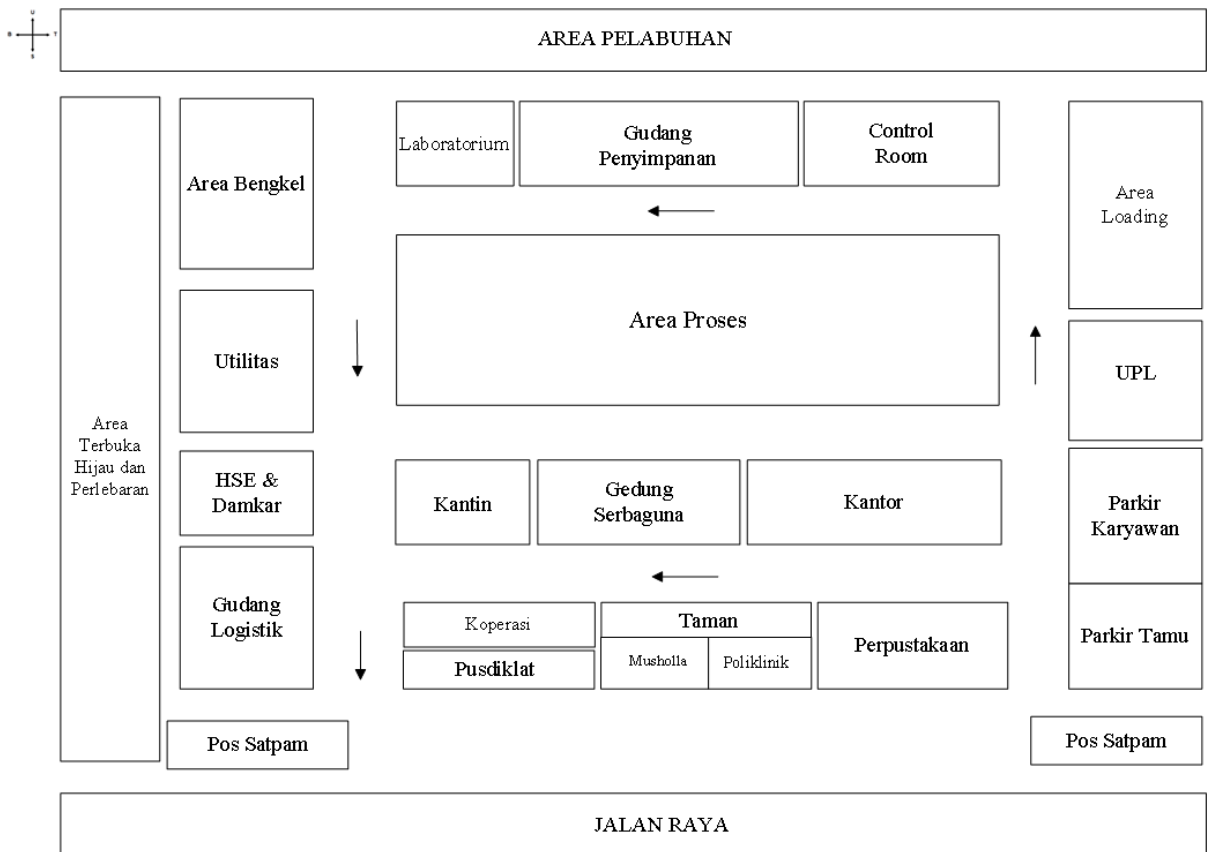
Lokasi pabrik harus dipilih dengan mempertimbangkan jarak yang aman dari pemukiman dan area dengan aktivitas masyarakat yang padat. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan risiko terhadap lingkungan sekitar, terutama dalam hal potensi kebakaran, ledakan, banjir, atau bencana alam lainnya. Selain itu, aspek keselamatan dalam area pabrik juga harus diperhatikan, termasuk desain jalan di dalam pabrik. Jalan utama harus memiliki lebar yang cukup untuk memastikan kelancaran lalu lintas operasional dan keamanan pekerja. Standar minimum lebar jalan utama pabrik adalah 10 meter, dengan panjang maksimum mencapai 400 meter, guna memastikan akses yang memadai bagi kendaraan operasional serta kesiapan dalam situasi darurat.

Tabel 2. 15 Luas Area Pabrik

No	Jenis Bangunan/ Tanah	Luas Tanah (m ²)	Luas Bangunan (m ²)
1.	Pos Keamanan	20	20
2	Gedung Kantor Utama	685	685
3	Kantin	90	90
4	Laboratorium	150	150
5	Area Penyimpanan	880	880
6	Control Room	140	140
7	Masjid	120	120
8	Aula	185	185
9	Poliklinik	80	80
10	Unit Pengolahan Limbah	250	250
11	Bengkel	200	200
12	K3 & Fire Safety	150	150
13	Utilitas	600	-
14	Area Produksi	1.500	-
15	Parkiran	450	-
16	Jalan, Taman	500	-
17	Area Perluasan Pabrik	4000	-
TOTAL		10.000	2.950

Perkiraan luas tanah yang diperlukan dalam pembangunan Pabrik dengan perincian sebagai berikut:

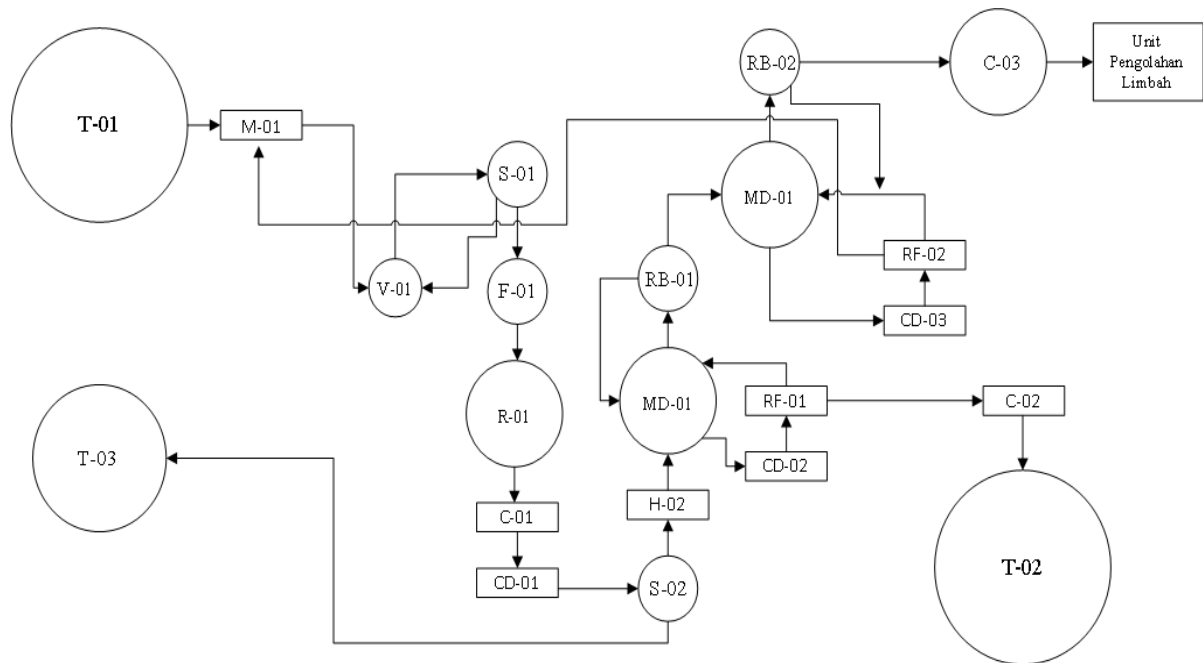
1. Luas tanah untuk pabrik : 10.000 m²
2. Luas bangunan: 2.950 m²
3. Luas untuk perluasan pabrik : 4.000 m²



Gambar 2. 4 Layout Area Pabrik

2.8 Tata Letak Peralatan Proses dan Pemetaan

Perancangan tata letak peralatan harus dilakukan secara optimal untuk mencapai efisiensi produksi dan operasional. Tujuan utama dari tata letak yang efektif adalah memastikan integrasi menyeluruh dalam proses produksi, sehingga setiap tahap dapat berjalan dengan lancar tanpa hambatan. Selain itu, pemanfaatan lahan harus dilakukan secara efisien guna mengoptimalkan ruang kerja dan fasilitas yang tersedia. Penempatan peralatan yang tepat juga berperan dalam mengurangi biaya material handling dengan meminimalkan jarak perpindahan bahan. Selain aspek teknis, tata letak yang baik dapat meningkatkan kenyamanan dan keselamatan kerja bagi karyawan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dalam lingkungan kerja yang lebih kondusif.



Gambar 2. 5 Letak Peralatan Proses dan Pemetaan

Dalam merancang tata letak pabrik, terdapat beberapa faktor krusial yang harus diperhitungkan guna memastikan efisiensi, keamanan, dan kelancaran operasional. Berikut adalah beberapa aspek penting yang perlu diperhatikan:

1. Penempatan peralatan yang strategis

Tata letak peralatan harus disusun sesuai dengan urutan proses produksi agar aliran kerja menjadi lebih efisien. Penempatan yang tepat akan mempermudah pengawasan, pengendalian, serta pergerakan operator, sekaligus mengoptimalkan aliran bahan baku dan produk untuk meningkatkan efisiensi ekonomi serta menjamin kelancaran dan keamanan produksi.

2. Sirkulasi udara yang baik

Aliran udara di sekitar area proses harus dirancang agar tetap lancar guna mencegah terjadinya stagnasi yang dapat berisiko terhadap keselamatan kerja, terutama pada area dengan potensi pelepasan gas atau uap berbahaya.

3. Pencahayaan yang memadai

Seluruh area pabrik harus memiliki pencahayaan yang cukup untuk mendukung kelancaran kerja. Pada lokasi dengan risiko tinggi atau proses

berbahaya, pencahayaan tambahan diperlukan guna meminimalkan potensi kecelakaan kerja.

4. Aksesibilitas dan mobilitas pekerja

Tata letak harus memungkinkan pekerja untuk menjangkau seluruh area proses dengan cepat dan mudah. Hal ini sangat penting agar gangguan pada peralatan dapat segera ditangani serta untuk memastikan keamanan pekerja selama operasional.

5. Efisiensi ekonomi

Penempatan alat proses harus mempertimbangkan aspek ekonomi dengan menekan biaya operasional tanpa mengorbankan kelancaran dan keamanan produksi. Pengaturan yang baik dapat mengurangi waktu henti produksi dan biaya perawatan.

6. Jarak aman antar peralatan

Peralatan yang beroperasi pada suhu dan tekanan tinggi sebaiknya ditempatkan secara terpisah dari unit proses lainnya. Tujuan utamanya adalah untuk meminimalkan dampak jika terjadi ledakan atau kebakaran, sehingga risiko kerusakan dapat dikurangi.

7. Keselamatan dan kesehatan kerja (K3)

Semua peralatan harus memenuhi standar keselamatan kerja dan memiliki Job Safety Analysis (JSA) untuk mengidentifikasi dan mengurangi risiko bahaya. Selain itu, jalur evakuasi dan sistem pemadam kebakaran harus dirancang dengan baik guna mengantisipasi keadaan darurat.