

BAB II DESKRIPSI PROSES

2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

Bahan baku utama yang digunakan yakni methanol dan NaOH bersumber dari PT. Kaltim Methanol Industry dan PT. Natrium hidroksida sebagai pemasok NaOH. Berikut adalah spesifikasi bahan baku yang ditawarkan perusahaan pemasok dan tinjauan pustaka yang digunakan,

2.1.1 Spesifikasi Bahan Baku

2.1.1.1 Methanol

Berdasarkan data referensi Coulson & Richardson, (2023), spesifikasi methanol sebagai berikut:

Rumus molekul	: CH ₄ O
Berat molekul	: 32,042 gr/mol
Wujud	: Cair (kondisi 1 atm 27°C)
Titik didih	: 64,6 °C
Titik beku	: -97,7 °C
Temperature kritis	: 239,6 °C (512,6 K)
Tekanan kritis	: 81 bar
Volume kritis	: 0,118 m ³ /mol
Panas penguapan	: 35.278 J/mol (<i>normal boiling point</i>)
Densitas	: 791 kg/m ³ (<i>reference temperature at 20 °C</i>)

Berdasarkan PT. Kaltim Methanol Industri (11 Maret, 2025), spesifikasi bahan baku methanol yang akan digunakan yakni,

Nama produk	: Methanol
Grade	: AA
Rumus molekul	: CH ₃ OH
Sinonim	: MeOH
No CAS	: 67-56-1
No EINECS	: 200-659-6
Berat Molekul	: 32,042 gr/mol

Tabel 2.1. Spesifikasi Methanol PT. Kaltim Metanol Industri

No	Item	Metode	Spesifikasi
1	Aseton, mg/kg	IMPCA 001-14	Maks. 30
2	Asam asetat, mg/kg	ASTM D 1613-12	Maks. 30
3	Amonia, mg/kg	ASTM D 1614-09	Maks. 30
4	Penampilan	IMPCA 003-98	Bersih, bebas dari pengotor lain
5	Karbonisasi (Tes Pencucian Asam Sulfat), Pt-Co Scale	ASTM E 346-08	Maks. 30
6	Cl-, mg/kg	IMPCA 002-98	Maks. 0,1
7	Warna, Pt-Co Scale	ASTM D 1209-11	Maks. 05
8	Destilasi di 760 mmHg, °C	ASTM D 1078-11	Maks. 1,0°C, termasuk 64,6°C± 0,1°C
9	Etanol, mg/kg	IMPCA 001-14	Maks. 10
10	Hidrokarbon	ASTM D 1722-09	Lulus tes
11	Kandungan non-Volatil konten, mg/1000 ml	ASTM D 1453-13	Maks. 08
12	Bau	ASTM D 1296-12	Karakteristik, bebas dari bau luar
13	Kemurnian, % wt dari basis kering	IMPCA 001-14	Min. 99,85
14	Waktu tes KMnO ₄ di 15°C, menit	ASTM D 4052-11	Min. 60
15	Massa jenis, 20/20°C (gr/ml)	ASTM D 4052-11	0,792 – 0,793
16	C ₃ H ₉ N, mg/kg	ASTM E 346-08	Maks. 0,05
17	Total besi, mg/kg	ASTM E 394-09	Maks. 0,1
18	Kandungan air, % wt	ASTM E 1064-12	Maks. 0,1
19	Sulfur, mg/kg	ASTM D 5453-12	Maks. 0,5

2.1.1.2 Natrium Hidroksida

Berdasarkan data MSDS (2025) dan Perry (1995), spesifikasi Natrium Hidroksida yakni sebagai berikut,

Rumus Kimia : NaOH

Berat molekul : 40,00 gr/mol

Wujud : padat (*temperature reference 25°C*)

Titik didih	: 1388 °C
Titik lebur	: 318 °C
Densitas	: 2,13 gr/ml
Viskositas	: Tidak berlaku (Karena NaOH adalah padatan)
Kapasitas panas	: 1390 J/kg. K (suhu referensi 25 °C)

Berdasarkan data dari PT Asahimas Chemical (2025), berikut adalah data spesifikasi natrium hidroksida industri yang akan digunakan sebagai bahan baku,

Tabel 2.2. Tabel Spesifikasi Natrium hidroksida Industri PT Asahimas Chemical

No	Parameter	Nilai Spesifikasi	Metode Pengujian
1	NaOH (Kadar Aktif)	≥98%	Titration asam-basa (SNI 0074:2011)
2	Na ₂ CO ₃ (Natrium Karbonat)	≤0,12%	Titration asam-basa (SNI 0074:2011)
3	NaCl (Garam)	≤100 ppm	Spektrofotometri (SNI 0074:2011)
4	SO ₄ ²⁻ (Sulfat)	≤100 ppm	Gravimetri (SNI 0074:2011)
5	Fe (Besi)	≤5 ppm	Spektrofotometri (SNI 0074:2011)
6	Hg (Merkuri)	≤0,01 ppm	Spektrofotometri (SNI 0074:2011)
7	Penampilan	Serbuk putih	Visual

2.1.2 Spesifikasi Produk

2.1.2.1 Natrium Metanolat

Menurut Perry (1997), dan berdasarkan MSDS (2025) berikut adalah spesifikasi Natrium Metanolat,

Rumus molekul	: CH ₃ ONa
Berat molekul	: 54,03 gr/mol
Wujud	: Cair
Titik didih	: 300 °C
Titik lebur	: 2 – 6 °C
Titik nyala	: 33 °C
Densitas	: 0,97 gr/ml
Nama lain	: <i>Sodium Methoxide, Sodium Methylate</i>

2.1.2.2 Air (H₂O)

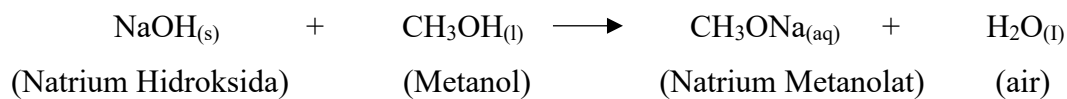
Menurut Material Safety Data Sheet (2025), berikut adalah spesifikasi dari klorin

No CAS	: 7732-18-5
Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,015 gr/mol
Wujud	: Cair (pada suhu ruang)
Titik didih	: 100 °C (373,15 K)
Titik lebur	: 0 °C (273,15 K)
Densitas	: 1,000 gr/ml (pada 4 °C)
Temperature kritis	: 374 °C (647,15 K)
Tekanan kritis	: 22,06 Mpa (218,6 atm)
Volume kritis	: 56,2 cm ³ /mol

2.2 Konsep Proses

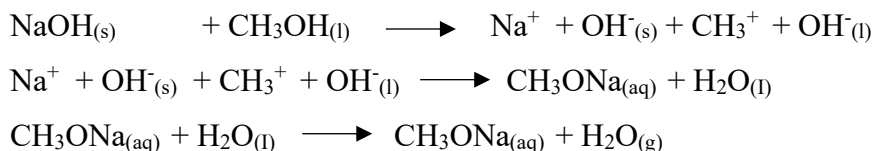
2.2.1 Dasar Reaksi

Proses pembuatan natrium metanolat menggunakan bahan baku methanol (CH₃OH) dan natrium hidroksida (NaOH) berdasarkan mekanisme reaksi asam basa. Proses ini merupakan mekanisme reaksi penetralan antara asam methanol dan basa kuat. Berikut adalah reaksi stoikiometri dari pembentukan natrium metanolat.



2.2.2 Mekanisme Reaksi

Reaksi antara metanol dan natrium hidroksida (NaOH) yakni terjadi di dalam reaktor distilasi, yakni terjadi pemutusan ikatan OH⁻ dari NaOH dan methanol. Setelah natrium metanolat terbentuk, air dari reaksi samping akan larut dalam methanol dan diuapkan sehingga menjaga reaksi berlangsung ke arah produk. Untuk meminimalisir kandungan air yang terbentuk, penggunaan NaOH dan metanol yang digunakan harus memiliki tingkat kemurnian tinggi (98 – 99 %). Reaksi yang terjadi yakni,



Proses ini akan berlangsung secara kontinyu dengan menggunakan satu distilasi reaktif elektrolisis dengan 3 bagian yaitu bagian *stripping*, reaksi, dan *enriching*. Masing-masing bagian akan dibatasi dengan *tray section*, dimana reaksi terjadi pada 10 tray dari umpan masuk. Untuk bagian *stripping* yakni terdapat 2 tray dan *enriching* terdapat 16 stage.

Natrium metanolat yang dihasilkan akan memiliki kadar 30%. Kemudian air yang terlarut methanol akan menjadi distilat dan dipisahkan dengan membran pervaporasi sehingga air terpisah dari methanol dan methanol akan digunakan kembali sebagai pelarut NaOH.

2.2.3 Fase Reaksi

Reaksi berlangsung dalam fasa cair dengan melarutkan NaOH dengan methanol lalu direaksikan di dalam distilasi reaktif, reaksi ini bersifat endotermis ($\Delta H = \text{Positif}$).

2.2.4 Kondisi Operasi

Reaksi pembentukan natrium metanolat dari NaOH dan metanol merupakan reaksi antara fasa cair dan cair yang berlangsung sedikit eksotermis dan berlangsung dalam distilasi reaktif dengan kondisi operasi sebagai berikut:

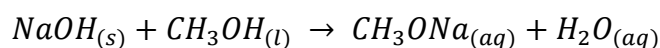
- Suhu : 65 – 75 °C
- Tekanan : 0,7 – 1,2 atm
- Mol : 1 NaOH cair dalam metanol : 1 metanol cair

2.2.5 Tinjauan Secara Termodinamika

Untuk menentukan sifat reaksi apakah berjalan secara eksotermis atau endotermis, maka perlu pembuktian dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 298,1°K dari reaktan dan produk.

2.2.5.1. Panas Reaksi (ΔH_r)

Panas Reaksi (ΔH_r) dapat digunakan untuk menentukan apakah reaksi endotermis atau eksotermis. Berikut perhitungan panas reaksi (ΔH_r) antara NaOH dengan metanol:



Tabel 2.3. Harga (ΔH°_f) masing-masing komponen (Smith et al., 2018).

Komponen	(ΔH°_f) (kJ/mol)
CH ₃ ONa	-374,4
CH ₃ OH	-238,66
NaOH	-425,609
H ₂ O	-285,83

$$\Delta H^\circ_{R298,15} = \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \Delta H^\circ_f \text{ reaktan}$$

$$= \Delta H^\circ_f CH_3ONa + \Delta H^\circ_f H_2O - \Delta H^\circ_f CH_3OH - \Delta H^\circ_f NaOH$$

$$= [(-374,4) + (-285,83) - (-238,66) - (-425,609)] \text{ kJ/mol}$$

$$= 4,039 \text{ kJ/mol}$$

Karena harga $\Delta H^\circ_{R298,15}$ positif, maka reaksi bersifat endotermis

2.2.5.2. Energi Bebas Gibbs (ΔG°)

Reaksi bersifat dapat balik (reversible) atau searah (irreversible) dapat ditentukan secara termodinamika, yaitu berdasarkan persamaan Van't Hoff (Smith et al., 1949).

$$\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = \frac{-\Delta H^\circ}{RT^2} \quad (2.1)$$

Dengan,

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (2.2)$$

Sehingga,

$$\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = \frac{-\Delta H^\circ}{RT^2} \quad (2.3)$$

Jika H merupakan perubahan entalpi standar (panas reaksi) dan dapat diasumsikan konstan terhadap suhu, maka persamaan dapat di integralkan menjadi:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (2.4)$$

Tabel 2.4. Harga (ΔG°_f) masing-masing komponen (Yaws, 1999).

Komponen	(ΔG°_f) (kJ/mol)
CH ₃ ONa	-371,297
CH ₃ OH	-276,400
NaOH	-445,100
H ₂ O	-306,700

$$\begin{aligned}
 \Delta G^\circ_{298,15} &= \Delta G^\circ_{\text{f produk}} - \Delta G^\circ_{\text{f reaktan}} \\
 &= (\Delta G^\circ_{\text{f CH}_3\text{ONa}} + \Delta G^\circ_{\text{f H}_2\text{O}}) - (\Delta G^\circ_{\text{f CH}_3\text{OH}} + \Delta G^\circ_{\text{f NaOH}}) \\
 &= [(-371,297) + (-306,700)] - [(-276,400) + (-445,100)] \text{ kJ/mol} \\
 &= 43,503 \text{ kJ/mol.K} \\
 &= 43,503 \text{ J/mol.K}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengukuran, energi gibbs menunjukan bahwa reaksi tidak spontan.

$$\begin{aligned}
 K \text{ standar pada suhu } 298,15^\circ\text{K} &= e^{-\Delta G/RT} \\
 &= e^{-(43,503/(8,314 \times 298,15))} \\
 &= e^{0,01754972} \\
 &= 2,8202 \times 10^{-18}
 \end{aligned}$$

K standar pada suhu operasi

$$T = 345,15 \text{ K}$$

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

$$K \text{ operasi} = 1,253$$

Harga K hampir mendekati 1, menunjukkan bahwa reaksi pembentukan natrium metanolat bersifat *reversible*. Namun pada kasus reaksi NaOH dengan methanol, konsentrasi reaktan yakni CH₃OH dibuat berlebih dan produk samping H₂O dipisahkan secara terus menerus sehingga kesetimbangan akan berlangsung ke arah produk berdasarkan prinsip Le Chatelier.

2.2.6 Tinjauan Kinetika Reaksi

Untuk menentukan perhitungan kinetika reaksi, data menggunakan referensi dari Xiong, et.al., (2014). Asumsi kinetika reaksi berlangsung dalam orde pertama karena methanol dibuat excess untuk membantu proses pemisahan dari produk utama dan produk samping, sehingga model kinetika dapat ditulis sebagai berikut,

$$-\frac{dC_{NaOH}}{dt} = v. (k_1. C_{NaOH} - k_2. C_{CH_3ONa}. C_{H_2O}) \quad (2.5)$$

$$k_1 = 5,59 \times 10^{15} \exp \left(-\frac{11844,72}{T} \right) \quad (2.6)$$

$$k_2 = 2,06 \times 10^6 \exp \left(-\frac{4787,67}{T} \right) \quad (2.7)$$

Jika kondisi operasi diasumsikan pada kondisi di dalam *feed stage* maka,

$$T = 72 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 345,15 \text{ K}$$

$$k_1 = 6,972 \text{ s}^{-1}$$

$$k_2 = 1,948 \text{ s}^{-1}$$

$$v = 7,18 \text{ gr/min.L (laju penguapan H}_2\text{O dipilih dari data experimental)}$$

$$-r = 2683,769 \text{ mol/L.menit}$$

$$= 44,729 \text{ mol/L.detik}$$

Kebutuhan waktu tinggal untuk bisa bereaksi sepenuhnya maka perlu dilakukan iterasi,

$$(NaOH)_{t+\Delta t} = (NaOH)_t - k_1.(NaOH)_t. \Delta t \quad (2.8)$$

Diperoleh waktu tinggal yang dibutuhkan = 85 detik

Jika kondisi terjadi didalam tray, maka perhitungan jumlah tray untuk reaksi diperlukan, asumsikan bahwa NaOH bereaksi habis maka perlu mengetahui waktu tinggal di dalam tray.

Waktu tinggal <i>downcomer</i>	= 32,782 detik (dari perhitungan spek alat RD-01)
Efisiensi tray	= 45%
Waktu yang sebenarnya	= waktu tinggal + (waktu tinggal $\times$ efisiensi tray)
	= 123,250 detik
Jumlah tray dibutuhkan	= 4 tray

2.3 Langkah Proses

2.3.1 Tahap Penyimpanan Bahan Baku

Bahan baku meliputi metanol dari PT. Kaltim Metanol Industri dengan kemurnian >99,85% yang disimpan pada tangki (T-01) dan NaOH dari PT. Asahimas Chemical Cilegon, Banten dengan kemurnian >99,78% yang disimpan pada silo (S-01) dengan masing-masing tangki bertekanan 1 atm temperatur 30°C. Penyimpanan dilakukan dengan asumsi satu bulan pemakaian proses sehingga menggunakan bahan tangki anti karat yakni tipe *stainless steel 316*.

2.3.2 Tahap Penyiapan Bahan Baku

Metanol dari tangki (T-01) dan NaOH dari silo (S-01) akan dicampurkan pada tangki agitasi (AT-01). Proses pemindahan akan menggunakan belt conveyor (BE-01) dan bucket elevator (BU-01) untuk NaOH dan proses pemindahan metanol menggunakan pompa (P-01). Kadar NaOH dalam metanol akan dibuat jenuh pada konsentrasi 17% berat. Dari agitated tank, campuran akan masukkan ke dalam menara distilasi (RD-01) dengan bantuan pompa (P-02). Sebelum memasuki menara distilasi, larutan NaOH akan dipanaskan dulu hingga mencapai temperature 50 °C dengan tujuan untuk membantu mengurangi beban reboiler dan kondensor serta mempertimbangkan dalam proses reaksi pembentukan natrium metanolat. Pemilihan suhu bertujuan untuk mencegah kenaikan suhu yang berlebih sehingga proses reaksi dan pemisahan dapat berjalan optimal serta mempertimbangkan faktor keselamatan proses dan kerja.

2.3.3 Tahap Reaksi Pembentukan Natrium metanolat dan Distilasi Air

Pada distilasi reaktif (RD-01) terjadi tiga proses yang dibagi menjadi proses reaksi, proses *stripping*, dan proses *enriching*. Pembentukan natrium metanolat sendiri didasari pada mekanisme netralisasi yakni proses kesetimbangan antara senyawa basa dan asam sehingga mencapai kesetimbangan. NaOH merupakan basa kuat yang memiliki ikatan ion Na^+ dan OH^- sangat kuat dari gaya tarik elektrostatis antara ion negative dan positif. Pada proses di dalam distilasi reaktif, NaOH akan terdisosiasi menjadi ion – ion bebas saat dilarutkan dengan

methanol. Methanol (CH_3OH) merupakan salah satu asam lemah yang terdiri dari gugus metil (CH_3^-) dan hidroksil (OH^-). Mekanisme reaksi netralisasi sendiri bekerja pada saat NaOH mengalami disosiasi sempurna yang kemudian gugus ion OH^- akan mengikat gugus H^+ saat methanol juga mengalami disosiasi membentuk proton H^+ . Reaksi kemudian mengalami deprotonisasi antara OH^- dan H^+ membentuk air, kemudian ion metoksida (CH_3O^-) akan mengalami ikatan ion dengan Na^+ membentuk natrium metanolat (CH_3ONa).

Pada bagian *stripping*, produk air yang dihasilkan harus segera dihilangkan untuk mencegah reaksi *reversible* terjadi sesuai dengan prinsip Le Chatelier yakni memaksa reaksi terus bergerak ke arah produk dengan menghilangkan produk itu sendiri untuk menghasilkan kesetimbangan reaksi. Bagian stripping terdapat 6 stage dengan kondisi operasi 75°C dan tekanan 1,2 atm untuk memastikan air menguap sepenuhnya. Kemudian, kebutuhan methanol dirancang untuk diberikan secara berlebih sebagai larutan air – methanol sehingga air dapat diuapkan dibawah titik didihnya. Karena natrium methanolat 30% menguap pada suhu 93°C , sehingga produk utama akan tetap menjadi *bottom* produk dan air – methanol akan menguap sebagai distilat.

Pada bagian *enriching*, air – methanol akan diakumulasi dan bergerak sebagai distilat produk. Kondisi operasi didesain sedikit vakum yakni 0,5 atm untuk mencegah air mengalami kondensiasi dan terakumulasi secara berlebih sehingga bisa langsung dikeluarkan langsung sebagai distilat. Distilat kemudian akan dikondensasikan sebagian untuk memudahkan transportasi menuju membran.

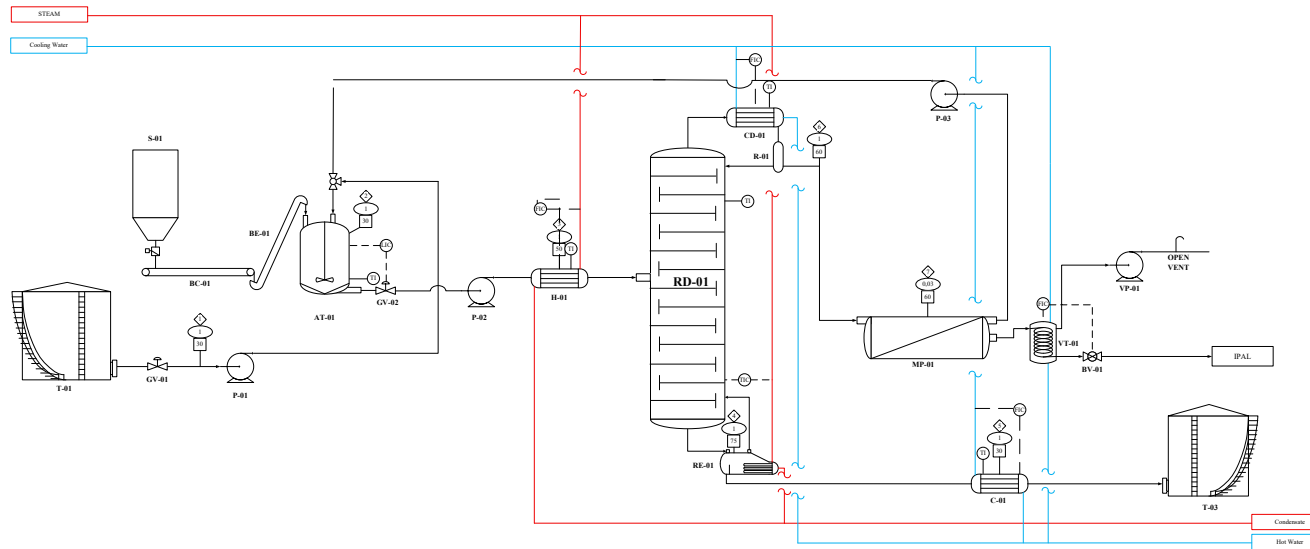
2.3.4 Tahap *Recycle* Methanol

Larutan metanol – air akan masuk kedalam membrane pervaporasi (MP-01) untuk menghilangkan air dari methanol sehingga bisa digunakan kembali pada proses kedalam tangki agitator (AT-01). Modul yang digunakan pada membrane yakni jenis PervapTM 1510 yang bersifat hidrofilik, memastikan proses pemisahan secara pemeabel sehingga air bergerak sebagai permeat dan methanol bergerak menjadi retentat. Aliran methanol akan dialirkan dengan pompa vakum (PV-01) menuju *vessel trap* (VT-01) yang berfungsi untuk menampung methanol sebelum digunakan kembali. Penggunaan pompa vakum yakni untuk memastikan bahwa air dan methanol benar – benar terpisah dengan bantuan tekanan vakum, karena pada membran kondisi methanol dan air mengalami fase uap – cair pada suhu 65°C . pada kondisi tersebut, uap methanol akan tertarik oleh pompa vakum dan air akan diserap secara selektif permeable oleh membran menjadi permeat.

2.3.5 Tahap Penyimpanan Produk

Pada prarancangan pabrik natrium metanolat ini, memiliki 2 hasil produk yaitu berupa natrium metanolat 30% berupa fase cair (T-03), dan air (T-02) disimpan pada tangki yang berbeda-beda dan memiliki spesifikasi tangki tertentu. Pada tangki (T-03) terdapat level indikator, temperatur kontrol, dan *gas analyzer*. Penyimpanan produk harus dibuat sangat ketat karena faktor keselamatan salah satunya yakni sifat dari natrium methanolat yang mudah meledak dan terbakar pada kondisi lembab, sehingga perlu diberi sistem keamanan seperti gas inert untuk menjaga tangki tetap kering serta memastikan tidak ada kebocoran oksigen yang diatur pada tekanan 1 atm dan temperatur 30°C. Begitu pula pada tangki (T-02) terdapat level indikator untuk mengetahui ketinggian air yang ada ditangki tersebut, dengan tekanan 1 atm dan temperatur 30°C.

2.4 Process Flow Diagram Natrium metanolat 30%



	PROGRAM STUDI S.T. TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA INDUSTRI DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG 2025																																																					
PRARANCANGAN PABRIK NATRIUM METANOLATE 30% KAPASITAS 150.000 TON/TAHUN																																																						
Digambar Oleh	Ilyas Rabbani Devanda Gabriel Christoffel Hehakaya	(40040121650102) (40040121650106)																																																				
Dosen Pembimbing	Dr. Ir. Fahmi Arifan, S.T., M.Eng., M.M., IPM., ASEAN Eng. NIP. 198002202005011001																																																					
KETERANGAN : <table><tr><td>T-01 : TANGKI METANOL</td><td>RD-01 : MENARA DESTILASI REAKTIF</td></tr><tr><td>T-02 : TANGKI AIR</td><td>RE-01 : PEMANAS LARUTAN NaOH</td></tr><tr><td>T-03 : TANGKI NATRIUM METANOLAT</td><td>RE-01 : REBOILER MENARA DESTILASI</td></tr><tr><td>AT-01 : TANGKI AGITASI</td><td>CD-01 : KONDENSOR</td></tr><tr><td>VT-01 : VALVE TANGKI</td><td>R-01 : REFLUX</td></tr><tr><td>S-01 : SILO NATRIUM HIDROKSIDA</td><td>C-01 : PENDINGIN NATRIUM METANOLAT</td></tr><tr><td>P-01 : POMPA METANOL</td><td>C-02 : PENDINGIN AIR</td></tr><tr><td>P-02 : POMPA LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA</td><td>MP-01 : MEMBRAN PERVAPORASI</td></tr><tr><td>P-03 : POMPA RECYCLE METANOL</td><td></td></tr><tr><td>VP-01 : POMPA VAKUM AIR</td><td></td></tr><tr><td>BC-01 : BELT CONVEYOR NATRIUM HIDROKSIDA</td><td></td></tr><tr><td>BE-01 : BELT ELEVATOR NATRIUM HIDROKSIDA</td><td></td></tr><tr><td>GV-01 : GATE VALVE METANOL</td><td></td></tr><tr><td>GV-02 : GATE VALVE LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA</td><td></td></tr><tr><td>BV-01 : BALL VALVE METANOL RECYCLE</td><td></td></tr><tr><td>TW-01 : THREE WAY VALVE</td><td></td></tr></table> <table><tr><td></td><td>: STREAM</td><td>LI</td><td>: Level Indikator</td></tr><tr><td></td><td>: PRESSURE (bar)</td><td>TI</td><td>: Temperature Indikator</td></tr><tr><td></td><td>: TEMPERATURE (°C)</td><td>LIC</td><td>: Level Indikator Control</td></tr><tr><td></td><td></td><td>TIC</td><td>: Temperature Indikator Control</td></tr><tr><td></td><td></td><td>FIC</td><td>: Flow Indikator Control</td></tr></table> SKALA 1:1000			T-01 : TANGKI METANOL	RD-01 : MENARA DESTILASI REAKTIF	T-02 : TANGKI AIR	RE-01 : PEMANAS LARUTAN NaOH	T-03 : TANGKI NATRIUM METANOLAT	RE-01 : REBOILER MENARA DESTILASI	AT-01 : TANGKI AGITASI	CD-01 : KONDENSOR	VT-01 : VALVE TANGKI	R-01 : REFLUX	S-01 : SILO NATRIUM HIDROKSIDA	C-01 : PENDINGIN NATRIUM METANOLAT	P-01 : POMPA METANOL	C-02 : PENDINGIN AIR	P-02 : POMPA LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA	MP-01 : MEMBRAN PERVAPORASI	P-03 : POMPA RECYCLE METANOL		VP-01 : POMPA VAKUM AIR		BC-01 : BELT CONVEYOR NATRIUM HIDROKSIDA		BE-01 : BELT ELEVATOR NATRIUM HIDROKSIDA		GV-01 : GATE VALVE METANOL		GV-02 : GATE VALVE LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA		BV-01 : BALL VALVE METANOL RECYCLE		TW-01 : THREE WAY VALVE			: STREAM	LI	: Level Indikator		: PRESSURE (bar)	TI	: Temperature Indikator		: TEMPERATURE (°C)	LIC	: Level Indikator Control			TIC	: Temperature Indikator Control			FIC	: Flow Indikator Control
T-01 : TANGKI METANOL	RD-01 : MENARA DESTILASI REAKTIF																																																					
T-02 : TANGKI AIR	RE-01 : PEMANAS LARUTAN NaOH																																																					
T-03 : TANGKI NATRIUM METANOLAT	RE-01 : REBOILER MENARA DESTILASI																																																					
AT-01 : TANGKI AGITASI	CD-01 : KONDENSOR																																																					
VT-01 : VALVE TANGKI	R-01 : REFLUX																																																					
S-01 : SILO NATRIUM HIDROKSIDA	C-01 : PENDINGIN NATRIUM METANOLAT																																																					
P-01 : POMPA METANOL	C-02 : PENDINGIN AIR																																																					
P-02 : POMPA LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA	MP-01 : MEMBRAN PERVAPORASI																																																					
P-03 : POMPA RECYCLE METANOL																																																						
VP-01 : POMPA VAKUM AIR																																																						
BC-01 : BELT CONVEYOR NATRIUM HIDROKSIDA																																																						
BE-01 : BELT ELEVATOR NATRIUM HIDROKSIDA																																																						
GV-01 : GATE VALVE METANOL																																																						
GV-02 : GATE VALVE LARUTAN NATRIUM HIDROKSIDA																																																						
BV-01 : BALL VALVE METANOL RECYCLE																																																						
TW-01 : THREE WAY VALVE																																																						
	: STREAM	LI	: Level Indikator																																																			
	: PRESSURE (bar)	TI	: Temperature Indikator																																																			
	: TEMPERATURE (°C)	LIC	: Level Indikator Control																																																			
		TIC	: Temperature Indikator Control																																																			
		FIC	: Flow Indikator Control																																																			

Gambar 2.1. Process Flow Diagram Natrium metanolat 30%

2.5 Neraca Massa dan Neraca Panas

Diketahui

Kapasitas natrium metanolat = 150000 ton/tahun

= 18939,394 kg/jam

Tabel 2. 5 Data Berat Molekul

Berat molekul	Jumlah	Satuan
NaOH	40,000	kg/kmol
CH ₃ OH	32,040	kg/kmol
CH ₃ ONa	54,030	kg/kmol
H ₂ O	18,015	kg/kmol

Tabel 2. 6 Komposisi Target Produk

Komposisi	Jumlah (Kg/jam)	Jumlah (Kmol/jam)
NaOH	69,665	1,742
CH ₃ OH	13.187,911	411,608
CH ₃ ONa	5.681,818	105,160
H ₂ O	0,000	0,000
total	18939,394	518,510

2.5.1 Neraca Massa

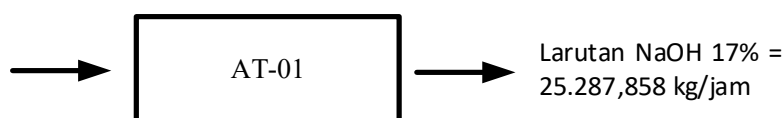
1. Agitator Tank (AT-01)

H₂O = 2,368 kg/jam

NaOH = 4.285,490 kg/jam

Fresh CH₃OH = 16.553,933 kg/jam

Recycle CH₃OH = 4.446,067 kg/jam



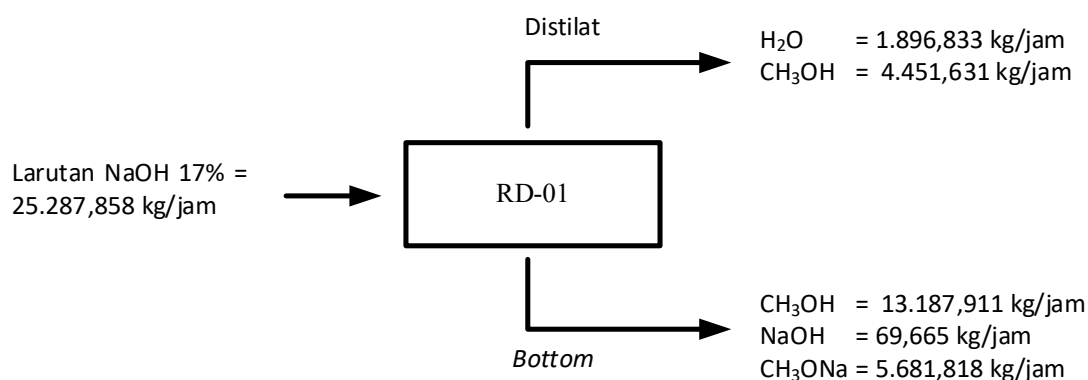
Gambar 2.2 Blok Diagram Massa Tangki Agitator AT-01

Fungsi : Melarutkan NaOH dalam methanol

Tabel 2.7 Neraca Massa Tangki Agitator (AT-01)

Input		Output	
komponen	Jumlah (kg/jam)	komponen	Jumlah (kg/jam)
Fresh CH ₃ OH	16.553,933	NaOH 17%	25.287,858
NaOH	4.285,490		
Recycle CH ₃ OH	4.446,067		
H ₂ O	1,155		1,155
Total	25.286,644		25.286,644

2. Distilasi Reaktif (RD-01)



Gambar 2.3 Blok Diagram Massa Distilasi Reaktif RD-01

Fungsi : Reaksi pembentukan NaOH dan pemisahan Air-methanol

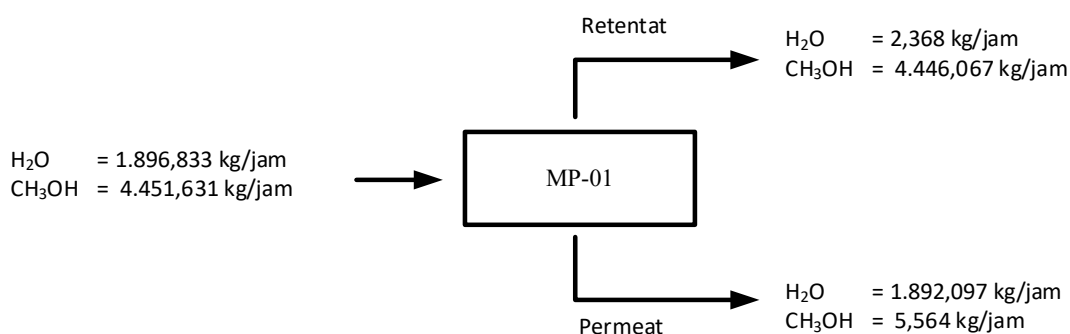
Tabel 2.8 Stokiometri Reaksi Natrium Metanolat

Kmol/jam	NaOH	+	CH ₃ OH	==>	CH ₃ ONa	+	H ₂ O
Mula -mula	106,902		655,431				
Bereaksi	105,160		105,636		105,160		105,160
Sisa	1,742		550,270		105,160		105,160

Tabel 2.9 Neraca Massa Distilasi Reaktif (RD-01)

Input	Jumlah (kg/jam)	Output Bottom	Jumlah (kg/jam)	Output Distilat	Jumlah (kg/jam)
CH ₃ OH	21.000,000	CH ₃ ONa	5.681,818	CH ₃ OH	4.451,631
NaOH	4.285,490	NaOH	69,665	H ₂ O	1.895,620
H ₂ O	1,155	CH ₃ OH	13.187,911		
total	25.286,644		18.939,394		6.347,251

3. Membran Pervaporasi (MP-01)



Gambar 2.4 Blok Diagram Massa Membran Pervaporasi

Fungsi : Pemurnian methanol dan pemisahan air

Tabel 2.10 Neraca Massa Membran Pervaporasi

Input	Jumlah (kg/jam)	Output Retentat	Jumlah (kg/jam)	Output Permeat	Jumlah (kg/jam)
CH ₃ OH	4.451,631	H ₂ O	1,155	H ₂ O	1.893,311
H ₂ O	1.896,833	CH ₃ OH	4.448,918	CH ₃ OH	2,713
total	6.347,251		4.450,073		1.896,024

4. Neraca Massa *Overall*

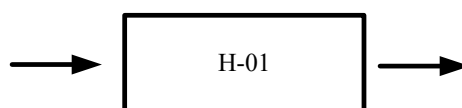
Tabel 2.11 Neraca Massa Overall

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)
Tangki Agitator (AT-01)		
CH ₃ OH	16551,082	
NaOH	4285,490	
H ₂ O	1,155	
CH ₃ OH.recycle	4448,918	
Distilasi Reaktif (RD-01)		
	Distilat	Bottom
CH ₃ OH	4.451,631	13.187,911
NaOH		69,665
H ₂ O	1.895,620	
CH ₃ ONa		5.681,818
Membran Pervaporasi (MP-01)		
	Permeat	Retentat
H ₂ O	1.893,311	1,155
CH ₃ OH	2,368	4.448,918
Total	25.287,799	25.287,799
Error		0,000%

2.5.2 Neraca Panas

1. Neraca Panas Heater (H-01)

H₂O = 60,486 kJ/jam
 NaOH = 132.091,859 kJ/jam
 CH₃OH = 46.946,873 kJ/jam
 Mineral Oil = 716.396,876 kJ/jam



H₂O = 302,431 kJ/jam
 NaOH = 660.459,297 kJ/jam
 CH₃OH = 234.734,367 kJ/jam

Gambar 2.5 Blok Diagram Neraca Panas Heater H-01

Fungsi : untuk *pre-heating* larutan NaOH

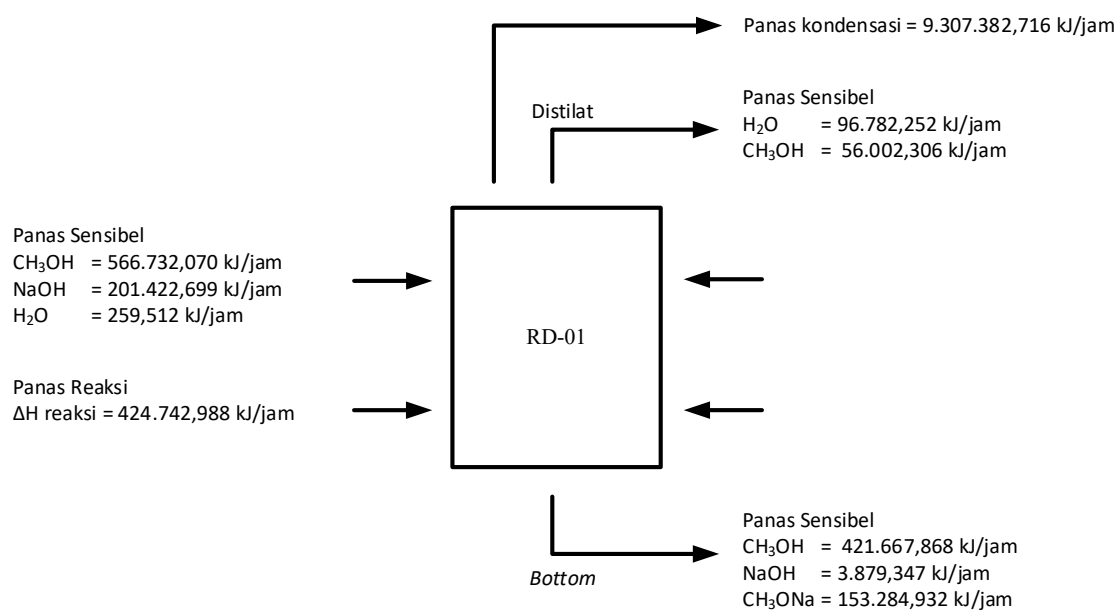
T in = 30 °C

T out = 50 °C

Tabel 2.12 Neraca Panas Heater (H-01)

Input		Output	
komponen	Jumlah (kJ/jam)	komponen	Jumlah (kJ/jam)
CH ₃ OH	46.946,873	CH ₃ OH	234.734,367
NaOH	132.091,859	NaOH	660.459,297
H ₂ O	60,486	H ₂ O	302,431
Mineral Oil	716.396,876		
Total	895.496,095		895.496,095

2. Neraca Panas Distilasi Reaktif (RD-01)



Gambar 2.6 Blok Diagram Neraca Panas Distilasi Reaktif RD-01

Fungsi : Proses reaksi pembentukan natrium metanolat dan pemisahan methanol-air

T in = 50 °C

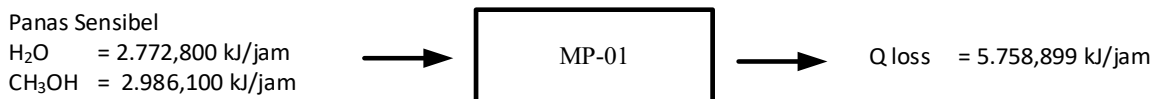
T out bottom = 76 °C

T out distilat = 60 °C

Tabel 2.13 Neraca Panas Reaktif Distilasi (RD-01)

Input		Output		
Komponen	Jumlah (kJ/jam)	Komponen	Jumlah (kJ/jam)	
			Bottom	Distilat
CH ₃ OH	566.732,070	CH ₃ OH	421.667,868	
NaOH	201.422,699	NaOH	3.879,347	56.002,306
H ₂ O	259,512	H ₂ O		96.782,252
		CH ₃ ONa	153.284,932	
Steam	578.832,147			
Cooling water	9.307.382,716			
		λ	9.307.382,716	
ΔH reaksi	424.742,988			
		Q loss	1.040.372,711	
Total	11.079.372,132		11.079.372,132	

3. Neraca Panas Membran Pervaporasi



Fungsi : Proses pemisahan metanol dari air

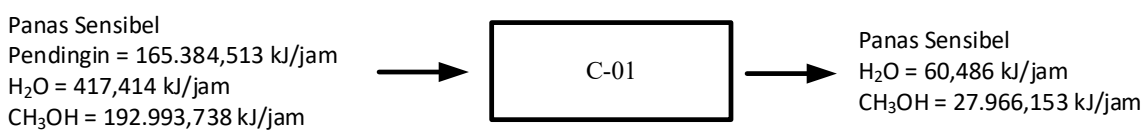
T in = 60 °C

T out = 59,5 °C

Tabel 2.14 Neraca Panas Membran Pervaporasi (MP-01)

Input		Output	
Komponen	Jumlah (kJ/jam)	Komponen	Jumlah (kJ/jam)
CH ₃ OH	2.772,800		
H ₂ O	2.986,100		
		Q loss	5.758,899
Total	5.758,899		5.758,899

4. Neraca Panas Cooler (C-01)



Gambar 2.7 Blok Diagram Neraca Panas Cooler C-01

Fungsi : Pendinginan methanol *recycle*

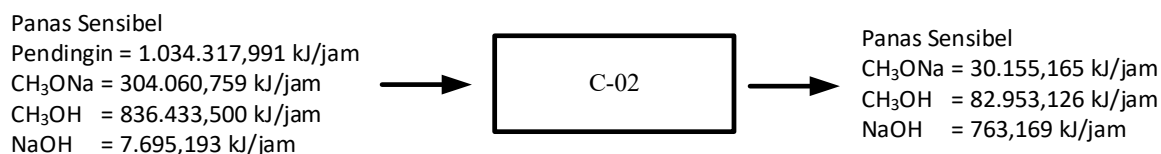
T in = 59,5 °C

T out = 30 °C

Tabel 2.15 Neraca Panas Cooler (C-01)

Input		Output	
Komponen	Jumlah (kJ/jam)	Komponen	Jumlah (kJ/jam)
CH ₃ OH	192.993,738	CH ₃ OH	27.966,153
H ₂ O	417,414	H ₂ O	60,486
Pendingin	165.384,513		
		Q loss	330.769,025
Total	356.995,150		356.995,150

5. Neraca Panas Cooler (C-02)



Gambar 2.8 Blok Diagram Neraca Panas *Cooler* C-02

Fungsi : Pendinginan produk utama natrium metanolat 30%

T in = 76 °C

T out = 30 °C

Tabel 2.16 Neraca Panas Cooler (C-02)

Input		Output	
Komponen	Jumlah (kJ/jam)	Komponen	Jumlah (kJ/jam)
CH ₃ OH	836.433,500	CH ₃ OH	82.953,126
CH ₃ ONa	304.060,759	CH ₃ ONa	30.155,165
NaOH	7.695,193	NaOH	763,169
Pendingin	1.034.317,991		
		Q loss	2.068.635,982
Total	2.182.507,443		2.182.507,443

6. Neraca Panas *Overall*

komponen	input (kj/jam)	output (kj/jam)
Heater (AT-01)		
NaOH	46.946,873	234.734,367

CH ₃ OH	132.091,859	660.459,297	
H ₂ O	60,484	302,419	
Mineral oil	716.396,867		
Distilasi reaktif (RD-01)			
		Bottom	Top
NaOH	201.422,699	3.879,347	
CH ₃ OH	566.732,070	421.667,868	56.002,306
CH ₃ ONa		153.284,932	
H ₂ O	259,502		96.782,252
Steam	578.832,147		
Pendingin	9.307.382,716		
λ		9.307.382,716	
ΔH reaksi	424.742,988		
Q loss		1.040.372,701	
Membran Pervaporasi (MP-01)			
CH ₃ OH	3.672,232		
H ₂ O	3.954,722		
Q loss		7.626,953	
Cooler (C-01)			
CH ₃ OH	192.095,439	27.966,154	
H ₂ O	415,455	60,484	
pendingin	164.484,2557		
Q loss		328.968,511	
Cooler (C-02)			
NaOH	7.695,193	763,169	
CH ₃ OH	836.433,500	82.953,126	
CH ₃ ONa	304.060,759	30.155,165	
pendingin	1034317,991		
Q loss		2068635,982	
total	14.521.997,751	14.521.997,751	

2.6 Tata Letak Pabrik dan Pemetaan

2.6.1 Lay Out Pabrik

Setelah proses *flow* diagram tersusun, sebelum desain pemipaan struktural dan listrik dimulai, maka *lay out* pabrik dan peralatan harus direncanakan terlebih dahulu. Perencanaan *lay out* pabrik meliputi perencanaan *storage area*, proses area, dan *handling area*.

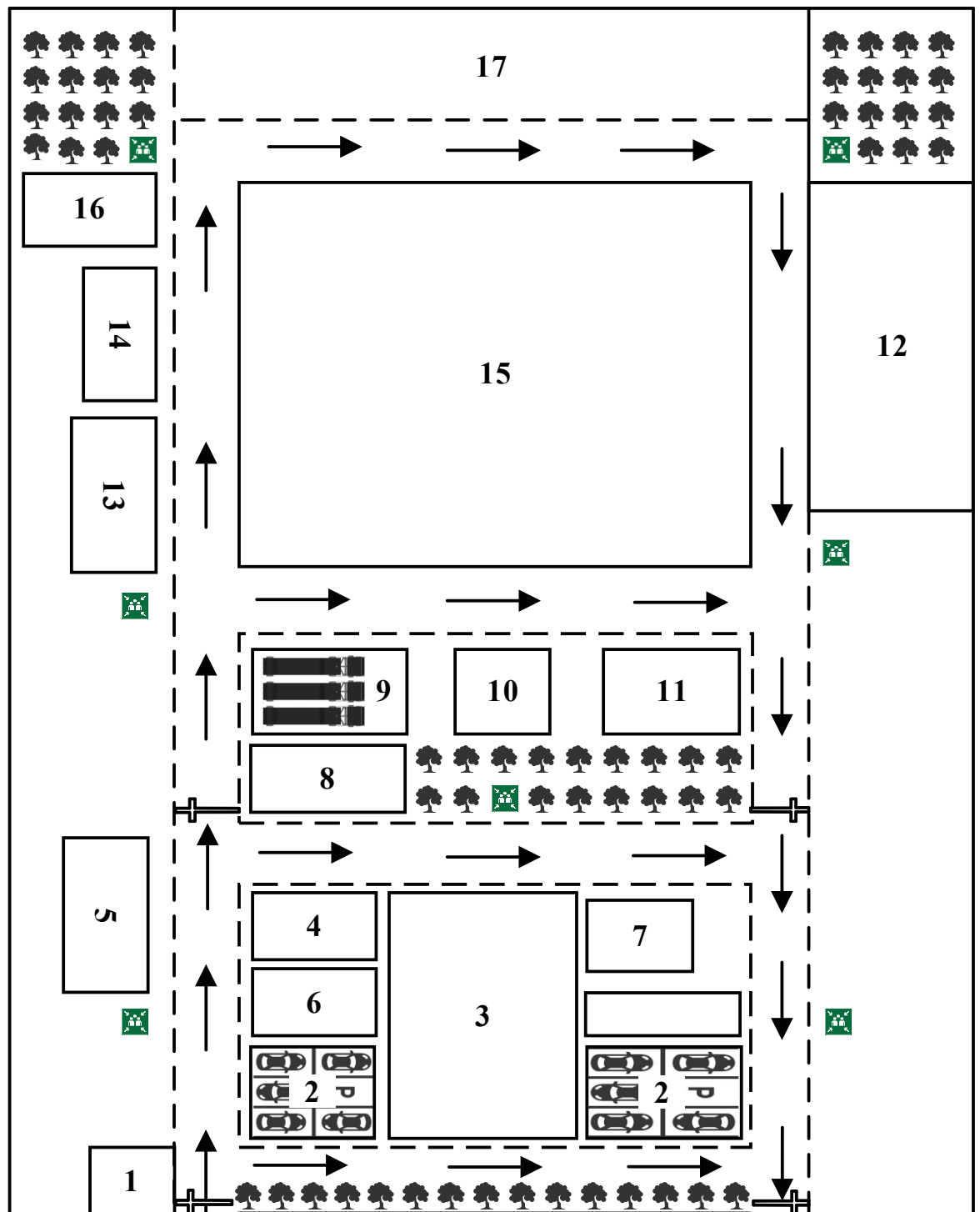
Pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam lay out pabrik adalah:

1. Tanah yang tersedia
2. Tipe dan kualitas produk
3. Kemungkinan pengembangan pabrik di masa mendatang
4. Distribusi bahan baku, bahan jadi, air, listrik dan lain-lain

5. Keadaan lingkungan, cuaca dan sosial
6. Keamanan terhadap bahaya kebakaran, peledakan, gas beracun dan bentuk bangunan
7. Pengaturan terhadap penggunaan lantai ruangan dan elevasi.

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada proses pengaturan tata letak pabrik adalah sebagai berikut.

1. Pos keamanan ditempatkan dekat akses atau gerbang masuk dan keluar untuk mempermudah pengawasan terhadap orang yang memasuki atau keluar kawasan pabrik maupun pengawasan terhadap arus logistik atau bahan baku masuk dan pengiriman produk, sekaligus menjadi salah satu penjaga keamanan utama pabrik.
2. Area utilitas berada di dekat area proses utama agar jalur bahan utilitas ke peralatan proses lebih dekat dan mudah.
3. Bengkel berada di dekat daerah utilitas dan daerah proses utama untuk mempermudah pengawasan, pemeliharaan, dan perbaikan alat-alat.
4. Ruang generator ditempatkan di sekitar belakang pabrik agar meminimalisir tingkat kebisingan.
5. Mushola disediakan dalam area pabrik karena sebagian besar penduduk sekitar dan karyawan adalah umat muslim.
6. Taman yang cukup luas dan toilet yang tersebar di sekitar daerah pabrik untuk meningkatkan kenyamanan para karyawan dan pengunjung.
7. Area parkir yang luas untuk karyawan, tamu, maupun parkir truk distribusi produk.
8. Jalan dibuat satu arah dan memiliki jalur terpisah untuk kendaraan mobil/motor dengan truk agar pemantauan lebih mudah.
9. Penerangan dan ventilasi ruangan yang cukup untuk menunjang proses produksi.
10. Area perluasan dipertimbangkan untuk rencana pengembangan dan perluasan area area tertentu dalam pabrik di masa depan.
11. Area parkir truck didesain memanjang dan dekat dengan lokasi loading produk sehingga waktu dan tempat untuk pengisian produk lebih efisien.



Gambar 2.9. Lay Out Pabrik

Tabel 2.17. Keterangan Tata Letak Pabrik

Kode	Keterangan	Ukuran
1	Post satpam	2
2	Area Parkir	1
3	Area Perkantoran	1
4	Mushola	1
5	Kantin	1
6	Perpustakaan	1
7	Poliklinik	1
8	Gudang	1
9	Area Parkir Truk	1
10	<i>Control room</i>	1
11	<i>Maintenance area</i>	1
12	Utilitas	1
13	K3 & <i>Fire Safety</i>	1
14	Laboratorium	1
15	Area proses	1
16	Pengolahan Limbah	1
17	Perluasan Pabrik	1
18	Taman	1

Tabel 2.18. Perincian Luas Bangunan Pabrik

Kode	Bangunan	Luas (m ²)
1	Post Keamanan	50
2	Ruang Control	50
3	Gudang	200
4	Kantor	800
5	Musholla	100
6	Kantin	200
7	Poliklinik	50
8	Laboratorium	50
9	Unit Proses	10500
10	Bengkel	150

11	K3 & <i>Fire Safety</i>	100
12	Daerah utilitas	500
13	Perpustakaan	100
14	Unit Pengolahan Limbah	200
Total		13.050

Luas bangunan diperkirakan = 13.050 m²

Harga bangunan diperkirakan = Rp 3.500.000

Total biaya bangunan = $13.050 \times \frac{\text{Rp. 3.500.000.-}}{\text{Rp. 16.229}}$
= US\$ 2.814.611,83

Tabel 2.19. Perincian Luas Tanah

Kode	Keterangan	Luas (m ²)
1	Post keamanan	50
2	Taman	500
3	Tempat Parkir	150
4	Ruang Control	50
5	Gudang	200
6	Kantor	800
7	Musholla	100
8	Kantin	200
9	Poliklinik	50
10	Laboratorium	50
11	Area Proses	10500
12	Bengkel	150
13	K3 & <i>Fire Safety</i>	100
14	Area Pengembangan	2000
15	Daerah Utilitas	500
16	Perpustakaan	100
17	Unit Pengolahan Limbah	200
Total		15.700

Luas tanah diperkirakan = 15.700 m²

Harga rata-rata tanah diperkirakan = Rp 2.000.000 m²

$$\begin{aligned}\text{Total biaya tanah} &= 15.200 \times \frac{\text{Rp. 2.000.000.-}}{\text{Rp. 16.229}} \\ &= \text{US\$ 1.873.189,97}\end{aligned}$$

2.6.2 Lay Out Peralatan Proses

Dalam perancangan *lay out* peralatan proses ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

1. Aliran bahan baku

Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi. Perlu diperhatikan elevasi pipa di atas tanah, perlu dipasang pada ketinggian 3 meter atau lebih. Sedangkan untuk pemipaan pada permukaan tanah diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu lalu lintas pekerja.

2. Aliran udara

Aliran udara di dalam dan sekitar area proses perlu diperhatikan supaya lancar. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnansi udara pada suatu tempat yang dapat menyebabkan akumulasi bahan kimia yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja. Disamping itu perlu diperhatikan arah aliran udara.

3. Cahaya

Penerangan seluruh pabrik harus memadai pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu diberikan penerangan yang baik.

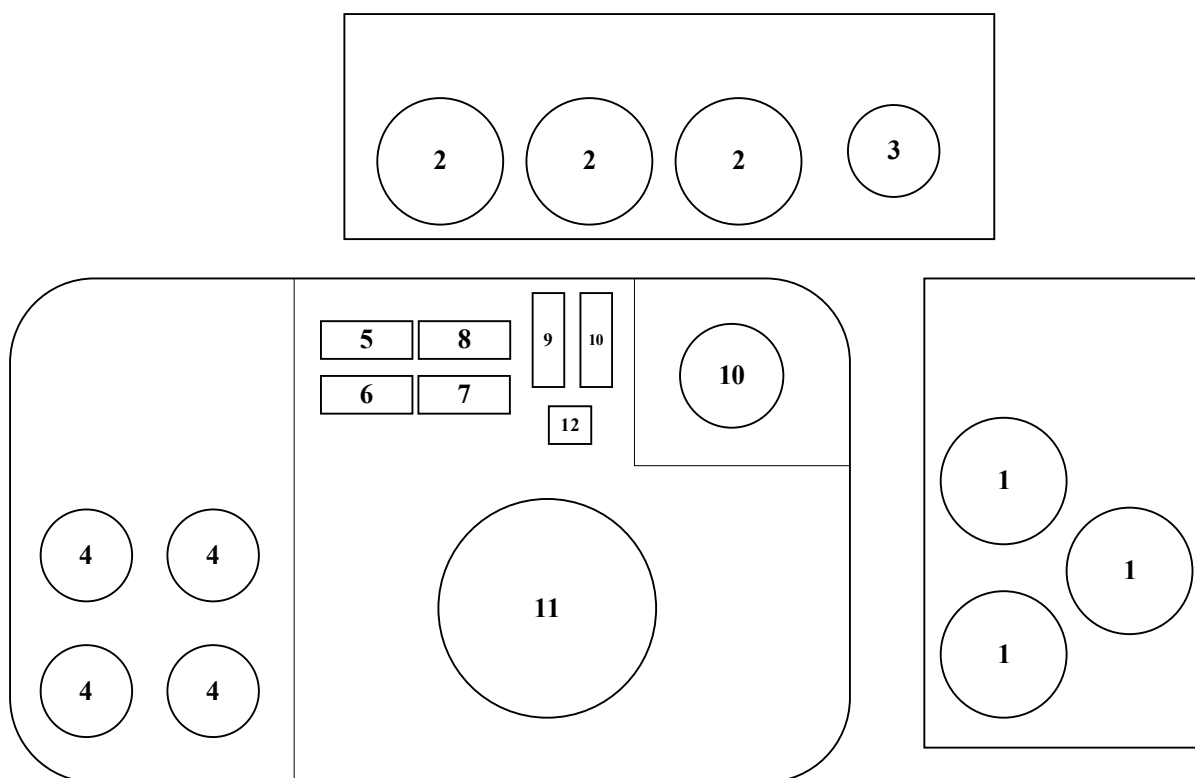
4. Lalu lintas manusia

Dalam perancangan *lay out* peralatan perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah.

5. Penempatan alat proses

Dalam menempatkan peralatan proses pada pabrik diusahakan agar dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran serta keamanan produksi pabrik, sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomi.

6. Jarak antar proses Untuk alat proses yang mempunyai tekanan dan suhu operasi tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lain sehingga apabila terjadi peledakan atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat proses lainnya.



Gambar 2.10. Lay Out Proses

Tabel 2.20. Keterangan Lay Out Proses

Kode	Kode Alat	Nama Alat
1	T-02	Tangki Natrium metanolat
2	T-01	Tangki metanol
3	S-01	Silo NaOH
4	T-03	Tangki Air
5	H-01	<i>Heater I</i>
6	CD-01	Kondensor I
7	C-01	<i>Cooler I</i>
8	C-02	<i>Cooler II</i>
9	VT-01	<i>Vessel Trap</i>
10	AT-01	Agitated Tank
11	RD-01	Distilasi reaktif