

**PRA RANCANGAN PABRIK TRIMETILELEN
DENGAN PROSES ISOMERISASI METIL BUTENA
KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN**

PRA RANCANGAN PABRIK

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia**



Oleh:

Nama : Axel Redha Ardaffa

Nama : Ahmad Aulia Pratama

NIM : 18521004

NIM : 18521037

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2024

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

PRA RANCANGAN PABRIK TRIMETILELEN DENGAN PROSES ISOMERISASI METILBUTEN KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Axel Redha Ardaffa

Nama : Ahmad Aulia Pratama

Nim : 18521004

Nim : 18521037

Yogyakarta, 25 Maret 2024

Menyatakan bahwa seluruh hasil Prarancangan Pabrik ini adalah hasil karya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Tanda Tangan



Tanda Tangan



LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PRA RANCANGAN PABRIK TRIMETILELEN DENGAN
PROSES ISOMERISASI MUTILBUTENA KAPASITAS 45.000

TON/TAHUN

PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Axel Redha Ardaffa

Nama : Ahmad Aulia Pratama

Nim : 18521004

Nim : 18521037

Yogyakarta, 25 Maret 2024

Pembimbing 1

Pembimbing 2



Dr. Suharno Rusdi



Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PRARANCANGAN PABRIK TRIMETILELEN DENGAN PROSES
ISOMERISASI METILBUTENA KAPASITAS 45.000 TON/TAHUN
PRARANCANGAN PABRIK

Oleh :

Nama : Axel Redha Ardaffa

Nama : Ahmad Aulia Pratama

NIM : 18521004

NIM : 18521037

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, 25 maret 2024**

Tim Penguji ,

Ketua Penguji

Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng

Penguji 1

Ifa Puspasari, S.T., M.Eng., Ph.D.

Penguji 2

Dr. Dyah retno Sawitri, S.T., M.Eng

Mengetahui :

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam selalu tercurahkan atas junjungan kita Nabi Muhammad S.A.W.

Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Trimetiletilen dengan Proses Isomerisasi Metilbutena Kapasitas 45.000 Ton/Tahun”, disusun sebagai penerapan dari ilmu Teknik Kimia yang telah didapat selama kuliah, serta merupakan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar atas bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena ini, melalui kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu melimpahkan Hidayah dan Karunia-Nya
2. Kedua orang tua kami tercinta yang selalu memberikan doa, semangat dan motivasi selama mengenyam Pendidikan di S1 Teknik Kimia di Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Suharno Rusdi Selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

5. Ibu Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dalam penulisan dan penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Teman – teman Teknik Kimia 2018 yang selalu memberikan dukungan, semangat serta doa.
7. Seluruh *civitas* akademik di lingkungan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu dalam membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr., Wb.

Yogyakarta, 22 Maret 2024

Penulis

LEMBAR PERSEMBAHAN



Assalamu'alaikum Wr., Wb Alhamdulillahrabbi alamiin dengan memanjatkan syukur kepada Allah SWT. Tak lupa sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Atas berkat rahmat-Nya saya dapat menikmati kesempatan menuntut ilmu dibangku perkuliahan.

Penyusunan tugas akhir prarancangan ini disusun sebagai penerapan ilmu teknik kimia yang diperoleh selama masa perkuliahan dan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan yang baik ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada Ayah Alm. Rudi Suseno dan Mama Ms. Moedjiati Retno Handayani selaku orang tua saya, yang selalu mendoakan dan memberikan berbagai dukungan berupa moril dan materi untuk saya hingga detik ini. Gelar dan posisi yang saya raih saat ini tentunya tidak akan ada mengiringi nama saya jika bukan karena restu, doa, dan usaha dari Mama dan Alm. Ayah. Adekku, Devanda Radya Ananta yang senantiasa memberikan doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dek Rana Dzakirah Hardani, orang yang selalu memberikan semangat, solusi, dan doa kepada saya tanpa jeda dari masa perkuliahan hingga perjalanan Tugas Akhir selama menjadi mahasiswa hingga sudah di dunia kerja. Seluruh keluarga besar saya atas seluruh semangat yang diberikan dan doa – doa baik yang mengalir kepada saya. Semoga doa – doa baik yang dipanjatkan membawa berkah dan diijabah Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Aamiin yaa rabbal alaamiin.

Terima kasih kepada Bapak Dr. Suharno Rusdi selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan, arahan, support selama ini sehingga tugas akhir prarancangan ini dapat selesai dengan baik.

Terima kasih kepada Arel, Jaseim, Eri, Bandoro, Aska, Aufa, Unang, Supra, Ahid, Aqil, Bopang dan anak anak lainnya yang telah memberikan warna selama saya berkuliah.

Terima kasih kepada partner saya, Ahmad Aulia Pratama yang telah berjuang bersama sejak Kerja Praktek, Penelitian, dan Tugas Akhir ini. Tidak sedikit masalah yang telah dilalui bersama tetapi alhamdulillah dapat terselesaikan dengan baik. Semoga semua yang telah dilalui dapat bermanfaat dalam menjalankan kehidupan selanjutnya.

Terima kasih kepada teman teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan, support, dan telah mewarnai saya saat diperkuliahkan. Semoga kita dapat bertemu kembali di titik terbaik dengan impiannya masing masing yang telah terwujud.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

LEMBAR PERSEMBAHAN



Assalamualaikum Warrahmaatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmah, hidayah, dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir Pra Rancangan Pabrik ini dengan baik. Saya sangat bersyukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan saya salah satu dari sekian banyak nikmat-Nya, yaitu dapat menuntut ilmu dan menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Kimia FTI UII.

Tugas Akhir ini tentunya tidak berjalan dengan mulus sesuai harapan. Ada banyak rintangan, kesulitan, serta hal-hal diluar ekspektasi. Namun, dibalik semuanya, Allah Subhanahu Wa Ta'ala menghadirkan segelintir orang-orang baik yang membuat saya kuat dan ada diposisi saat ini. Di lembar persembahan ini, apresiasi terima kasih terbesar dan paling tulus saya berikan kepada :

Bapak Asih dan Mamak Elly atas segala kasih sayang yang selalu mendoakan dan memberikan berbagai dukungan berupa moril dan materi tanpa kekurangan apapun untuk saya hingga di detik ini. Gelar dan posisi yang saya raih saat ini tentunya tidak akan ada mengiringi nama saya jika bukan karena restu, doa, dan usaha dari Mamak dan Bapak. Adik-adikku Tio, Rizky, Citra yang senantiasa memberikan semangat dan doa untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tika, orang yang selalu memberikan kasih sayang, pendapat, solusi, semangat, serta doa kepada saya tanpa jeda dari masa perkuliahan hingga perjalanan Tugas Akhir selama

menjadi mahasiswa hingga sudah di dunia kerja. Seluruh keluarga besar saya atas seluruh doa-doa baik yang mengalir kepada saya. Semoga doa-doa baik yang dipanjatkan membawa berkah dan dijabah Allah Subhanahu Wa Ta'ala. Aamiin yaa rabbal alaamiin..

Terima kasih untuk partner Tugas Akhir saya, Axel Redha Ardaffa yang sudah hadir dan kebersamai proses 3/3 S.T saya dari mulai Kerja Praktek, Penelitian, hingga Tugas Akhir. Tentunya ada banyak kendala yang dihadapi, ada berbagai salah paham, banyak jalan penuh lika-liku namun alhamdulillah dapat teratasi dengan baik. Semoga segala ilmu yang didapat dapat bermanfaat dalam menempuh perjalanan selanjutnya. Semoga segala hal dan mimpi yang diimpikan Daffa nantinya dijabah oleh Allah Subhanahu Wa Ta'ala.

Terima kasih Bapak Dr. Suharno Rusdi selaku dosen pembimbing 1 dan Ibu Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing 2 yang sudah yakin bahwa saya dan partner saya memiliki potensi lebih untuk menyelesaikan TA dengan baik, segala bentuk wejangan dan nasihat yang diberikan selama masa pengerjaan Tugas Akhir.

Terima kasih kepada teman-teman dekat saya selama perkuliahan ini , Rusdi, Fatur, Alvian Sulthan, Edo,Ariq, Kevin, Dery, Farid, Ais, Vanni, Nabilla, Ifada, Desvy, Widiya, Intan, Naritha, Rara. Terimakasih sudah hadir dari awal menjadi mahasiswa baru dan tetap ada sampai di titik ini. Terimakasih atas segala semangat, doa, tawa, tangis, semua bumbu-bumbu pertemanan yang selalu hadir

dalam keseharian saya. Semoga kita bisa bertemu kembali di titik terbaik dengan mimpi kita masing-masing yang sudah terwujud.

Terima kasih kepada Arel dan Jasim yang sudah menemani dan mewarnai hari-hari selama akhir semester ini dan selalu memberikan wejangan pengalamannya selama mengerjakan skripsi.

Terima kasih juga kepada my bro Diki Candra yang selalu ada di waktu susah maupun senang yang selalu berbagi cerita tentang kehidupan selama masa kuliah terutama pada masa akhir semester dan selalu membandingkan pengerjaan skripsi yang jauh beda ini. Semoga cepat nyusul my bro

Seluruh teman-teman Teknik Kimia Angkatan 2018 serta pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang kerap kali saling mendoakan kelancaran progress perkuliahan satu sama lain, saling memberi informasi. Semoga kita semua menjadi orang yang sukses dan berguna bagi orang lain.

Seluruh teman-teman saya yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih sudah memberikan doa, semangat kepada saya untuk tetap kuat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vii
LEMBAR PERSEMBAHAN	ix
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik	2
1.2.1 Supply	2
1.2.2 Demand	4
1.2.3 Pabrik yang sudah berdiri	8
1.2.4 Kapasitas Pabrik Trimetiletilen.....	8
1.3 Tinjauan Pustaka	9
1.3.1 Trimetiletilen menggunakan bahan baku n-butena	9
1.3.2 Trimetiletilen menggunakan bahan baku metilbutena	10
1.3.3 Pemilihan Proses	11
1.3.4 Tahapan Proses.....	12
1.4.1 Tinjauan Termodinamika.....	14
1.4.2 Tinjauan Kinetika.....	16
BAB II.....	18
PERANCANGAN PRODUK	18
2.1 Spesifikasi Produk.....	18
2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung.....	19
2.3 Pengendalian Kualitas	20
2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku	20
2.3.2. Pengendalian Kualitas Produk	20

2.3.3. Pengendalian Proses.....	21
BAB III	23
PERANCANGAN PROSES	23
3.1 Diagram Alir Proses dan Material.....	23
3.1.1 Diagram Alir Kualitatif.....	23
3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif.....	24
3.2 Uraian Proses.....	25
3.3 Spesifikasi Alat.....	27
3.3.1 Spesifikasi alat utama.....	27
3.2 Spesifikasi alat pemisah	28
3.5 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan.....	30
3.6 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan	31
3.7 Spesifikasi Alat Penukar Panas	33
3.8 Neraca Massa	37
3.9 Neraca Panas.....	39
BAB IV	42
PERANCANGAN PABRIK.....	42
4.1 Lokasi Pabrik	42
4.2 Tata Letak Pabrik (<i>Plant Layout</i>).....	44
4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (<i>Machines Layout</i>).....	48
4.4 Organisasi Perusahaan	51
4.4.1 Bentuk perusahaan	51
BAB V.....	65
UTILITAS.....	65
5.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air.....	65
5.2. Unit Penyedia dan Pengolahan Air	65
5.1.1 Unit Penyedia Air.....	65
5.1.2 Unit Pengolahan Air.....	70
5.1.3 Kebutuhan Air	75
5.3. Unit Pembangkit <i>Steam</i>	77
5.4. Unit Pembangkit Listrik	77
5.4 Unit Penyedia Udara Instrumen	81
5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar	81
5.6 Diagram Uraian Proses Utilitas.....	82

5.7	Spesifikasi Alat Utilitas.....	83
BAB VI.....		98
EVALUASI EKONOMI.....		98
6.1	Penaksiran Harga Alat.....	99
6.2	Dasar Perhitungan	103
6.3	Komponen Biaya	104
6.4	Analisa Keuntungan	109
6.5	Analisa Kelayakan.....	109
KESIMPULAN DAN SARAN.....		115
7.1	Kesimpulan.....	115
7.2	Saran.....	117
LAMPIRAN A.....		118
DAFTAR PUSTAKA		139

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Impor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022) ...	3
Tabel 1. 2 Data Ekspor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)	5
Tabel 1. 3 Data Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri	8
Tabel 1. 4 Perbandingan Proses Produksi Trimetiletilena	11
Tabel 2.1.1 Spesifikasi Produk.....	18
Tabel 2.2.1 Spesifikasi Bahan Baku	19
Tabel 2.2.2 Spesifikasi Bahan Pendukung	19
Tabel 2.2.2 Identifikasi hazard bahan kimia dan pengelolaannya	20
Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor (R-01).....	27
Tabel 3.2 Spesifikasi Menara Distilasi (MD-01)	28
Tabel 3.3 Spesifikasi Vaporizer (V-01)	29
Tabel 3.4 Spesifikasi Separator (SP-01)	29
Tabel 3.5 Spesifikasi Tangki (T-01, T-02, T-03).....	30
Tabel 3.6 Spesifikasi Accumulator	31
Tabel 3.7 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair (jumlah alat =)	31
Tabel 3.8 Spesifikasi Heater H-01	33
Tabel 3.9 Spesifikasi kondensor	34
Tabel 3.10 Spesifikasi Cooler	35
Tabel 3.11 Spesifikasi Reboiler	36
Tabel 3.12 Neraca Massa Overall	37
Tabel 3.13 Neraca massa Vaporizer.....	37
Tabel 3.14 Neraca massa Separator	38
Tabel 3.15 Neraca massa Reaktor	38
Tabel 3.16 Neraca massa Menara Distilasi	38
Tabel 3.17 Neraca panas Tangki	39
Tabel 3.18 Neraca panas Vaporizer	39
Tabel 3.19 Neraca panas Separator	39
Tabel 3.20 Neraca panas Reaktor.....	40
Tabel 3.21 Neraca panas Kondensor.....	40

Tabel 3.22 Neraca panas Menara Distilasi.....	41
Tabel 3.23 Neraca panas Cooler	41
Tabel 4.1 Tabel Pembagian Letak Pabrik	47
Tabel 4.2 Perincian Jabatan.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data Impor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)	3
Gambar 1.2 Data Ekspor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)	5
Gambar 1.3 Data Konsumsi Trimetiletilen di Indonesia pada Industri Karet.....	7
Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif	24
Gambar 4. 1 Wilayah Pabrik <i>Trimetiletilen</i>	42
Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik	46
Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses	50
Gambar 4.4 Bagan Struktur Pengurus.....	52
Gambar 4. 5 Bagan struktur organisasi	53

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Perancangan Reaktor
- Lampiran 2 *Process Engineering Flow Diagram (PEFD)*
- Lampiran 3 Kartu Konsultasi Bimbingan Prarancangan Pabrik

DAFTAR LAMBANG/NOTASI/SINGKATAN

T	: Temperatur, °C
D	: Diameter, m
H	: Tinggi, m
P	: Tekanan, psia
μ	: Viskositas, cP
ρ	: Densitas, kg/m ³
QS	: Kebutuhan Steam, kg
Ms	: Massa Steam, kg
A	: Luas bidang penampang, ft ²
Vt	: Volume tangki, m ³
Qf	: Kecepatan/laju air volumetric, m ³ /jam
T	: Waktu, jam
m	: Massa, kg
FV	: Laju alir, m ³ /jam
π	: Jari – jari, in
P	: Power motor, Hp
Sg	: Spesific gravity
x	: Konversi, %
TC	: Titik kritis, °C
TB	: Titik didh, °C
VS	: Volume shell, m ³
Vh	: Volume head, m ³
Vt	: Volume total, m ³
Dopt	: Diameter optimal, m ³
ID	: Inside diameter, in
OD	: Outside diameter, in
Re	: Bilangan Reynold

F : Normal heating value, Btu/lb

E : Efisiensi pengelasan

rc : Jari – jari dish, in

icr : Jari – jari sudut dalam, in

W : Tinggi pengaduk, m

B : Lebar baffle, m

L : Lebar pengaduk, m

N : Kecepatan putaran, rpm

UD : Koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah ada zat pengotor pada HE, Btu/jam ft² °F

UC : Koefisien perpindahan panas menyeluruh pada awal HE dipakai, Btu/jam ft² °F

Rd : Faktor pengotor

η : Efisiensi

P : Panjang, m

l : Lebar, m

ts : Tebal shell, in

th : Tebal head, in

k : Konduktivitas termal, Btu/jam ft² °F

c : Panas spesifik, Btu/jam ft² °F

jH : Heat transfer factor

hi : Inside film coefficient, Btu/jam ft² °F

ho : Outside film coefficient, Btu/jam ft² °F

LMTD : Long mean temperatur different, °F

K : Konstanta kinetika reaksi, /menit

Nt : Jumlah tube

BS : Baffle spacing, in

PT : Tube pitch, in

ABSTRAK

Sektor industri di Indonesia terus mengalami perkembangan, terutama industri kimia. Kondisi ini didukung dengan semakin meningkatnya bahan kimia seiring dengan perkembangan produksi dalam negeri. Salah satu bahan kimia yang sedang berkembang di Indonesia adalah trimetiletilen yang dikenal juga dengan nama *amylene* (C_5H_{10}). Perancangan pabrik dengan kapasitas 45.000 ton/tahun diharapkan dapat memenuhi kebutuhan trimetiletilen dalam negeri maupun ekspor. Proses yang digunakan pada pembuatan trimetiletilen adalah proses isomerisasi dan terbagi menjadi 3 tahapan. Tahap pertama yaitu persiapan bahan baku, tahap kedua yaitu reaksi isomerisasi didalam reaktor *Fixed Bed Multitube* pada suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada tekanan 3 atm, dan tahap ketiga yaitu pemisahan dan pemurnian produk. Lokasi pabrik trimetiletilen dari metilbutene direncanakan didirikan di Kawasan Industry Cilegon, Banten dengan lahan seluas 20.000 m^2 . Pada pengoperasiannya pabrik ini akan bekerja 330 hari/tahun operasi. Untuk menunjang proses produksi diperlukan air untuk proses utilitas dan listrik yang disediakan oleh PLN, serta generator sebagai cadangan. Parameter kelayakan pendirian pabrik menggunakan analisis ekonomi keuntungan pabrik sebelum pajak Rp 166.598.133.386 dan setelah pajak Rp 129.946.544.041 dengan setiap tahun total penjualan Rp 2.762.071.650.000. Analisa kelayakan dilihat dari nilai *Return of Investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 46% dan setelah pajak sebesar 36%, *Pay Out Time* (POT) sebelum pajak selama 1,80 tahun dan setelah pajak selama 2,19 tahun, *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCFRR) sebesar 14,24%, *Break Event Point* (BEP) sebesar 44,44%, dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 29,57%. Dari parameter kelayakan diatas, dapat disimpulkan bahwa pabrik trimetiletilen ini layak untuk dikaji lebih lanjut.

Kata - kata kunci : Isomerisasi, Kawasan Industry Cilegon, Metilbutene, Reaktor Fixed Bed Multitube, Trimetiletilen

ABSTRACT

The industrial sector in Indonesia continues to experience development, especially the chemical industry. This condition is supported by the increasing increase in chemicals along with the development of domestic production. One of the chemicals that is being developed in Indonesia is trimethylethylene, also known as amylene (C_5H_{10}). The plant design with a capacity of 45,000 tons/year is expected to meet domestic and export needs for trimethylethylene. The process used to make trimethylethylene is the isomerization process and is divided into 3 stages. The first stage is preparation of raw materials, the second stage is the isomerization reaction in a Fixed Bed Multitube reactor at a temperature of $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ at a pressure of 3 atm, and the third stage is product separation and purification. The location of the trimethylethylene factory from methylbutene is planned to be established in the Cilegon Industrial Area, Banten with an area of 20,000 m². In operation, this factory will work 330 operating days/year. To support the production process, water is needed for utility processes and electricity provided by PLN, as well as a generator as a backup. The feasibility parameters for establishing a factory use economic analysis, factory profit before tax is IDR 166,598,133,386 and after tax IDR 129,946,544,041 with total sales of IDR 2,762,071,650,000 each year. The feasibility analysis is seen from the Return of Investment (ROI) value before tax of 46% and after tax of 36%, Pay Out Time (POT) before tax for 1.80 years and after tax for 2.19 years, Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR) was 14.24%, Break Event Point (BEP) was 44.44%, and Shut Down Point (SDP) was 29.57%. From the feasibility parameters above, it can be concluded that this trimethylethylene plant is worthy of further study.

Keywords : Cilegon Industrial Area, Isomerization, Methylbutene, Reactor Fixed Bed Multitube, Trimethylethylene

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri di Indonesia terus mengalami perkembangan, terutama industri kimia. Kondisi ini didukung dengan semakin meningkatnya bahan kimia seiring dengan perkembangan produksi dalam negeri. Namun, kebutuhan bahan kimia masih belum dapat dipenuhi seluruhnya oleh industri dalam negeri yang menyebabkan masih bergantungngnya Indonesia pada produsen kimia luar negeri, padahal peluang pengembangan industri kimia di Indonesia masih terbuka lebar dengan adanya sumber daya alam yang melimpah (Kemenperin, 2016). Pembangunan industri kimia di Indonesia akan menimbulkan efek tumbuhnya sektor perekonomian dalam negeri sekaligus membuka lapangan pekerjaan.

Pemerintah Indonesia berkomitmen menjadikan Indonesia sebagai produsen petrokimia nomor satu se-ASEAN (Kemenperin, 2022). Salah satu bahan kimia yang diperoleh dari turunan bahan bakar fosil adalah trimetiletilen yang dikenal juga dengan nama *amylene* (C_5H_{10}). Trimetiletilen merupakan senyawa alifatik mudah menguap yang digunakan sebagai pelarut dalam industri farmasi, aditif pada pembuatan bahan bakar dengan nilai oktan tinggi, industri karet, juga digunakan pada beberapa proses yang terdapat reaksi hidrogenasi, halogenasi, alkilasi, dan kondensasi. Selain itu trimetiletilen juga digunakan sebagai bahan baku produksi resin hidrokarbon, *stabilizer* pada *chloroform*, dan digunakan dalam bidang kedokteran untuk keperluan anestesi (Engineered IT, 2023).

Melihat luasnya aplikasi *trimetiletilen* pada berbagai bidang dan masih belum adanya pabrik trimetiletilen di Indonesia, maka pendirian pabrik trimetiletilen di Indonesia menjadi peluang yang sangat menjanjikan. Beberapa keuntungan yang didapatkan dengan berdirinya pabrik trimetilen di Indonesia, diantaranya:

1. Mengurangi ketergantungan impor dan mendukung program industri hilir yang berorientasi ekspor menghadapi era pasar bebas.
2. Mendorong pertumbuhan industri di Indonesia.
3. Memberikan kesempatan lapangan pekerjaan yang baru untuk mengurangi angka pengangguran di Indonesia, serta meningkatkan perekonomian masyarakat Indonesia.

1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas pabrik menggunakan prinsip *supply* dan *demand* dengan mempertimbangkan data ekspor, impor, konsumsi, produksi, dan kapasitas pabrik yang telah berdiri.

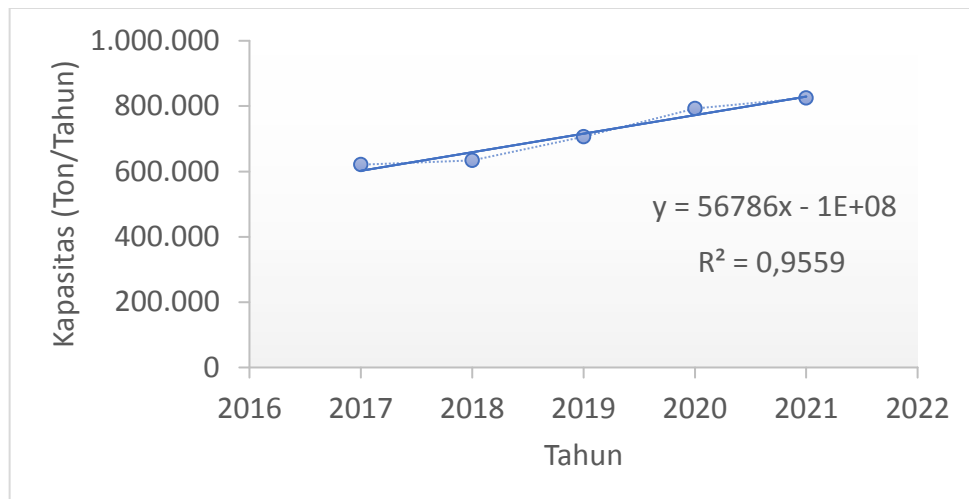
1.2.1 Supply

a. Impor

Kurangnya produksi trimetiletilen di Indonesia ini mengarah pada situasi di mana industri di Indonesia harus mengimpor dari luar negeri. pengembangan data Impor tahun 2017-2021 dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Data Impor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2017	620.712
2018	633.450
2019	706.301
2020	792.258
2021	825.238



Gambar 1.1 Data Impor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)

Berdasarkan data di atas, dapat dibuat grafik dan didapatkan regresi linear yang dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Dari grafik di atas, didapatkan regresi dengan persamaan:

$$y = ax + b$$

$$y = 56786x + 113935000$$

Dengan, y sebagai jumlah kapasitas trimetiletilen yang dibutuhkan pada tahun x . Dari persamaan tersebut, kebutuhan impor trimetiletilen diproyeksikan untuk tahun 2027, sehingga diperkirakan kebutuhan impor Trimetiletilen pada tahun 2027 adalah sebesar 1.170.222 ton/tahun.

b. Produksi

Belum ada produsen trimetiletilen di Indonesia.

Dengan asumsi, sampai tahun 2027, tidak ada pabrik baru yang berdiri, maka proyeksi *supply* pada tahun 2027:

$$\textit{Supply} = \textit{Produksi} + \textit{Impor}$$

$$\textit{Supply} = (0 + 1.170.222) \text{ ton/tahun}$$

$$\textit{Supply} = 1.170.222 \text{ ton/tahun}$$

Jadi, hasil proyeksi *supply* pada tahun 2027 sebesar 1.170.222 ton/tahun.

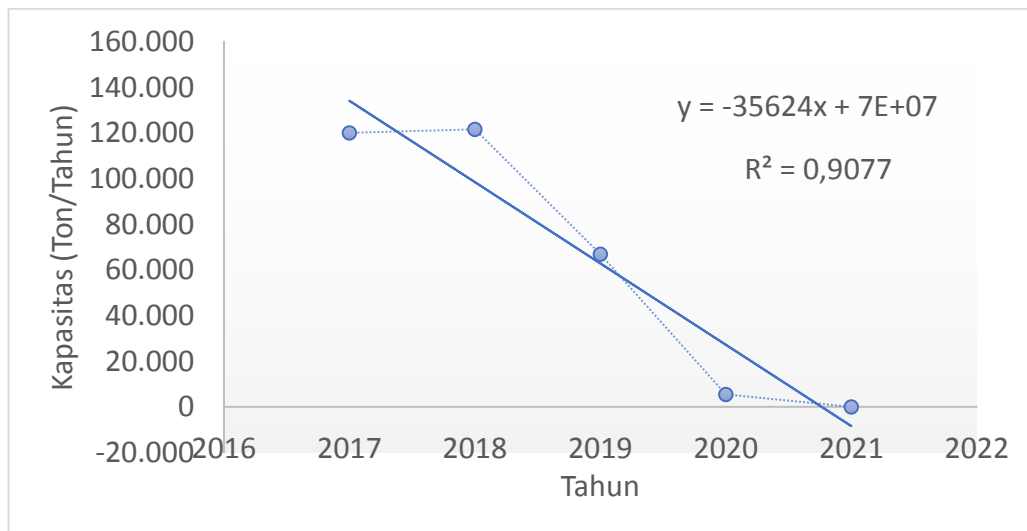
1.2.2 Demand

a. Ekspor

Berdasarkan data yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik Indonesia (2022) kebutuhan ekspor di Indonesia dari tahun 2017-2021 ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Data Ekspor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)

Tahun	Jumlah (Ton/Tahun)
2017	120.077
2018	121.583
2019	66.925
2020	5.501
2021	0



Gambar 1. 2 Data Ekspor Trimetiletilen di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2022)

Berdasarkan data di atas, dapat dibuat grafik dan didapatkan regresi linear yang dapat dilihat pada Gambar 1.2.

Dari grafik di atas, didapatkan regresi dengan persamaan:

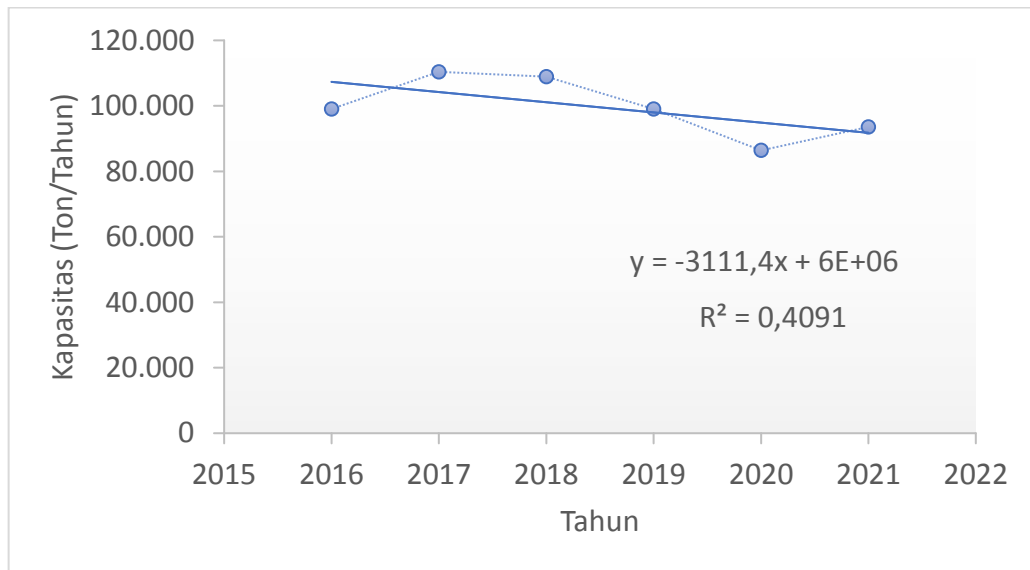
$$y = ax + b$$

$$y = -35624x + 1696900$$

Dengan, y sebagai jumlah kapasitas trimetiletilen yang dibutuhkan pada tahun x . Dari persamaan tersebut, kebutuhan ekspor trimetiletilen diproyeksikan untuk tahun 2027, sehingga diperkirakan kebutuhan ekspor trimetiletilen pada tahun 2027 adalah mendekati -20.000 ton/tahun. Data tersebut tidak bisa digunakan dikarenakan nilai akhir pada perhitungan regresi linear hasilnya minus, sehingga pada tahun 2027 Indonesia dianggap tidak mengekspor ke luar negeri.

b. Konsumsi

Trimetiletilen di Indonesia bisa digunakan oleh beberapa industri sebagai bahan baku, salah satunya industri karet dengan kebutuhan trimetiletilen atau *amylene* atau 2-metil-2-butena sebesar 3% (Dick & Rader, 2014) dan untuk industri bahan bakar digunakan trimetiletilen untuk bahan bakar dengan nilai oktan tinggi maksimal diangka 0,142%. Dengan menggunakan fitur forecast, didapatkan hasil konsumsi trimetiletilen pada tahun 2027 untuk industri karet sebesar 75.000 ton/tahun seperti yang disajikan pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Data Konsumsi Trimetiletilen di Indonesia pada Industri Karet

Sedangkan untuk konsumsi pada industri bahan bakar dengan asumsi kebutuhan sebesar 0,01% dari kapasitas produksi sebesar 32,6 juta ton/tahun untuk jenis bahan bakar dengan nilai oktan tinggi, maka nilai konsumsi trimetiletilen sebesar 3.260.000 ton/tahun. Sehingga konsumsi trimetiletilen di Indonesia tahun 2027 sebesar 75.000 ton/tahun untuk industri karet dan 3.260.000 ton/tahun untuk industry bahan bakar, sedangkan nilai ekspor 0. Sehingga, proyeksi *demand* pada tahun 2027:

$$Demand = Ekspor + Konsumsi$$

$$Demand = (0 + (75.000 + 3.260.000)) \text{ ton/tahun}$$

$$Demand = 3.335.000 \text{ ton/tahun}$$

Jadi, hasil proyeksi *demand* pada tahun 2027 sebesar 3.335.000 ton/tahun

1.2.3 Pabrik yang sudah berdiri

Data pabrik trimetilen di luar negeri yang sudah berdiri berikut nilai kapasitasnya disajikan pada Tabel 1.4.

Tabel 1. 3 Data Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Perusahaan	Kapasitas (Ton/Tahun)
Kellog Company	50.000
Exxon Biomedical Science Inc	15.000
Arco Technology Inc	15.000

1.2.4 Kapasitas Pabrik Trimetiletilen

Peluang kapasitas pabrik trimetiletilen ditentukan dengan perhitungan *supply* dan *demand* sebagai berikut:

$$\text{Peluang} = \text{Demand} - \text{Supply}$$

$$\text{Peluang} = (3.335.000 - 1.170.222) \text{ ton/tahun}$$

$$\text{Peluang} = 2.164.778 \text{ ton/tahun}$$

Pada perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai kapasitas peluang sebesar 2.164.778 ton/tahun. Namun, nilai peluang tersebut dibandingkan dengan pabrik yang sudah berdiri terpaut jauh jadi diambil hanya dari range pabrik trimetiletilen yang sudah berdiri sebagai kapasitas ekonomi pabrik. Sehingga ditentukan kapasitas pabrik trimetilen yang akan berdiri pada tahun 2027 sebesar 45.000 ton/tahun. Untuk memenuhi kapasitas tersebut dibutuhkan Metilbutena sebanyak 63.000 ton/tahun yang didapatkan dari PT Candra Asri Petrochemical dengan kapasitas 128.000 ton/tahun. (kontan.co.id ,2020)

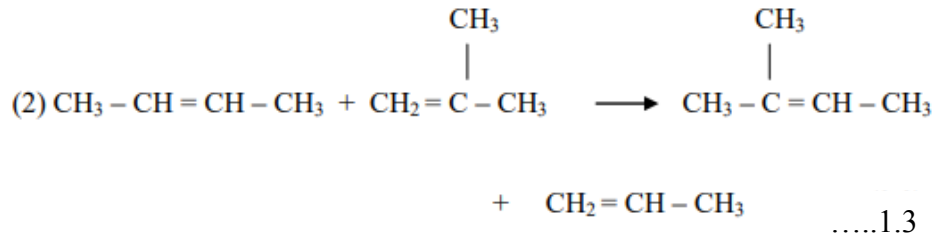
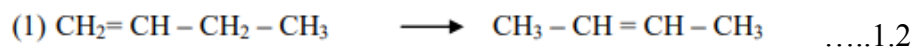
1.3 Tinjauan Pustaka

Reaksi pembuatan trimetiletilena merupakan reaksi isomerisasi adalah sebagai berikut :



1.3.1 Trimetiletilen menggunakan bahan baku n-butena

Reaksi yang terjadi terdiri dari 2 tahap, yaitu isomerisasi n-butena menjadi 2-butena (1), kemudian dilanjutkan dengan mereaksikan 2-butena dengan isobutena (2) :

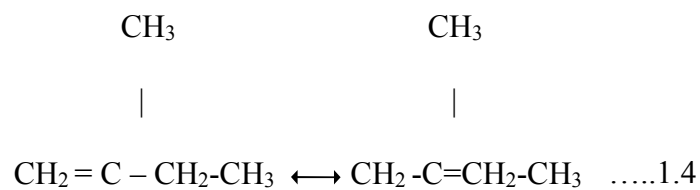


Bahan baku yang digunakan dalam proses ini adalah n-butena dan isobutena. Sebelum mereaksikan n-butena dengan isobutena, terlebih dahulu n-butena diubah menjadi 2-butena dengan proses isomerisasi yang dapat dilihat seperti persamaan (1.2). Selanjutnya 2-butena direaksikan dengan isobutena yang kemudian akan menghasilkan trimetiletilen dan propilen dengan menggunakan katalis nikel sulfida. Proses yang digunakan adalah proses polimerisasi adisi seperti pada persamaan (1.3). Reaksi isomerisasi yang n-butena menjadi 2-butena dilakukan pada

temperatur 121°C pada tekanan 34 atm. Konversi yang diperoleh pada reaksi isomerisasi ini adalah 22%. (US Patent 3590096)

1.3.2 Trimetiletilen menggunakan bahan baku metilbutena

Reaksi pembuatan trimetiletilen dari metilbuten merupakan reaksi isomerisasi:



Isomerisasi adalah suatu proses perpindahan rantai karbon sehingga didapatkan rumus molekul yang sama tetapi rumus strukturnya berbeda. Proses isomerisasi ini dapat juga dilakukan pada olefin. Proses pembuatan trimetiletilen merupakan salah satu proses Isomerisasi Olefin (ISOFIN).

Isomerisasi Paraffin dan Naphta merupakan reaksi orde satu, dapat balik, eksotermis dan menggunakan katalis. Proses isomerisasi dalam skala komersial hanya dapat dilakukan untuk hidrokarbon yang mempunyai jumlah karbon sebanyak 5 dan 6 (C₅ dan C₆ paraffin). Proses isomerisasi ini menggunakan bahan baku metilbuten. Konversi yang diperoleh pada reaksi isomerisasi metilbuten menjadi trimetiletilen adalah sebesar 28-88%. Proses pembuatan trimetiletilen dikembangkan pertama kali pada awal tahun 1966 sebagai bahan baku isopropen dan mulai dikenalkan secara komersial pada tahun 1968. Reaksi isomerisasi trimetiletilen adalah reaksi *reversible*, orde satu, eksotermis, *isothermal* dan *non adiabatic*. (EP 3 792 234 A1)

Beberapa proses pembuatan trimetiletilena dalam fasa gas disajikan pada Tabel 1.4

Tabel 1. 4 Perbandingan Proses Produksi Trimetiletilena

Fase	Uap	Uap	Uap
Reaksi	$(1) \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \longrightarrow \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 \quad \dots\dots (2.1)$ $(2) \text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 + \text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_3 \longrightarrow \text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}-\text{CH}_3$ $+ \text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3 \quad \dots\dots (2.2)$	$\text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3$ $ \qquad \qquad $ $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \longleftrightarrow \text{CH}_2-$ $\text{C}=\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3$ $ \qquad \qquad $ $\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \longleftrightarrow \text{CH}_2-$ $\text{C}=\text{CH}_2-\text{CH}_3$
Bahan Baku	n-butena	Metilbutena	Metilbutena
Kondisi	T = 121°C	T = 80°C	T = 60°C
Operasi	P = 34 atm	P = 28 atm	P = 3,3 atm
Konversi	22%	40%	88,6%
Reaktor	<i>Fixed Bed Multitube</i>	<i>Fixed Bed Multitube</i>	Fixed Bed Multitube
Kebutuhan Katalis	NiO ₂ /Al ₂ O ₃ -SiO ₂	Pd/Al ₂ O ₃	Amberlyst 15
Sumber	US Patent 3590096	US Patent 4724274	EP 3 792 234 A1

1.3.3 Pemilihan Proses

Pemilihan proses dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor seperti konversi reaksi, yield, kondisi operasi, dan ketersediaan bahan baku. Dari tiga proses yang bersumber dari tiga paten, dipilih proses paten EP 3 792 234 A1. Proses dari paten EP 3 792 234 A1 dipilih karena konversi reaksinya tertinggi, kondisi operasi yang lebih rendah dibandingkan dua proses lainnya sehingga panas yang dihasilkan dari reaksi tidak tinggi, yield yang dihasilkan memiliki kemurnian lebih tinggi, serta bahan baku dan katalis mudah didapat.

1.3.4 Tahapan Proses

Proses produksi trimetiletilen dari metilbuten terbagi menjadi beberapa tahap di bawah ini :

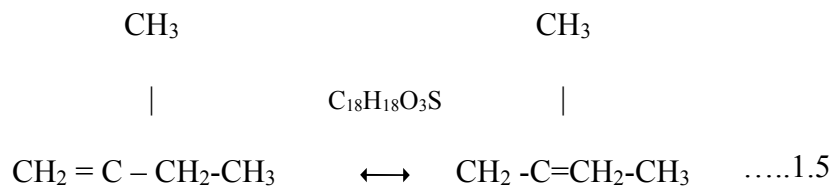
1. Tahap penyiapan bahan baku
2. Tahap pembentukan produk
3. Tahap pemurnian produk

a. Tahap penyiapan bahan baku

Bahan baku berupa metil butena didapatkan dari PT Chandra Asri Petrochemical dalam bentuk cair. Bahan baku disimpan pada temperature 30 °C dan tekanan 1 atm dalam tangki penyimpanan bahan baku. Selain itu, bahan baku lain yang digunakan adalah katalis Amberlyst 15. Katalis yang digunakan dalam bentuk padat dan langsung berada didalam pipa-pipa reaktor. Sebelum dilakukan pembentukkan produk, bahan baku berupa metil buten dirubah terlebih dahulu fasanya menjadi gas menggunakan vaporizer pada suhu 30 °C. Selanjutnya bahan baku berupa metilbuten gas dialirkan menggunakan kompresor untuk dinaikkan tekanan dan heater untuk menaikkan suhu sesuai dengan kondisi operasi pada reaktor.

b. Tahap pembentukan produk

Tahap Tahap pembentukan produk dilakukan menggunakan *reactor fixed bed multitube* pada suhu 60 °C dan tekanan 3 atm. Proses pembentukan trimetiletilen menggunakan bahan baku metilbuten dengan katalis amberlyst-15 yang sudah ada pada pipa-pipa reaktor. Reaksi yang terjadi dalam reaktor :



Metilbuten yang sudah masuk kedalam reactor ditambahkan katalis amberlyst-15 yang berasal dari pipa-pipa reactor dengan tujuan untuk mempercepat laju reaksi. Reaksi pembentukan trimetiletilen merupakan reaksi isomerisasi dan reaksi ini menghasilkan panas atau eksotermis. Hasil keluaran reactor terdiri dari trimetiletilen, metilbuten dengan impuritasnya 1-pentene setelah itu produk dan sisa bahan baku masuk ke exvander valve untuk menurunkan tekanannya sebelum masuk menara distilasi.

c. Tahap pemurnian produk

Produk keluaran reaktor berupa bahan baku metilbutena, 1-pentena, dan trimetiletilen selanjutnya dikondensasi menggunakan kondensor pada suhu 60 °C dan campuran dipisahkan pada unit distilasi. Pada unit distilasi, produk atas sebagian besar metil butena dan 1-pentana, sedangkan produk bawah berupa trimetiletilena dengan kemurnian sebesar 97%. Hasil bawah selanjutnya disimpan di dalam tangki penyimpanan produk yang berbentuk silinder horizontal selama 7 hari, sedangkan produk atas disimpan pada tangki sementara yang berbentuk silinder horizontal dengan penyimpanan selama 7 hari.

1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika ditujukan untuk mengetahui reaksi yang berlangsung apakah eksotermis atau endotermis, reaksi yang berlangsung spontan atau tidak spontan, serta reaksi *reversible* atau *irreversible*. Penentuan panas reaksi berjalan secara eksotermis atau endotermis dapat dihitung pada perhitungan pembentukan standar P = 1 atm dan T = 298 K.

Tabel 1. 3 Data Panas Pembentukan Trimetiletilena (Yaws, 1999)

Komponen	$\Delta H_f^{\circ}_{298}$ produk	$\Delta H_f^{\circ}_{298}$ reaktan
2-Metil-1-butene (2M1B)	0	-36,32
2-Metil-2-butene (2M2B atau Trimetiletilen)	-42,55	0

$$\Delta H_R^{\circ}_{298} = \Delta H_f^{\circ}_{298} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ}_{298} \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_R^{\circ}_{298} = [-42,55 - (-36,32)] \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_R^{\circ}_{298} = -6,32 \text{ kJ/Kmol}$$

$$\Delta H_R^{\circ}_{333} = \Delta H_f^{\circ}_{333} \text{ produk} - \Delta H_f^{\circ}_{333} \text{ reaktan}$$

$$\Delta H_R^{\circ}_{333} = [-13,966 + (-0,111 \times 333) + (5,08E-05 \times 333^2) - (-9,632 + (-0,104 \times 333) + (4,96E-052 \times 333^2))]$$

$$\Delta H_R^{\circ}_{333} = [-45,38 - (-38,97)] \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_R^{\circ}_{333} = -6,41 \text{ kJ/Kmol}$$

Dari perhitungan didapat harga $\Delta H_R^{\circ}_{333}$ (-) negatif yang menandakan bahwa reaksi yang berlangsung eksotermis, sehingga menimbulkan panas.

Komponen	ΔG°_{298} produk	ΔG°_{298} reaktan
2-Metil-1-butene (2M1B)	0	74,77
2-Metil-2-butene (2M2B atau Trimetiletilen)	59,66	0

$$\Delta G_{298} = \Sigma \Delta G_f^{\circ} \text{produk} - \Delta G_f^{\circ} \text{reaktan}$$

$$= \Delta G_f^{\circ} \text{ 2M2B} - \Delta G_f^{\circ} \text{ 2M1B}$$

$$= 59,66 \text{ kJ/mol} - 74,77 \text{ kJ/mol}$$

$$= -15,11 \text{ kJ/mol}$$

$$\ln K_{298} = -\Delta G / RT$$

$$= (15110 \text{ J/mol}) / (8,314 \text{ J mol.K} \cdot 298 \text{ K})$$

$$= 60,98$$

$$K_{298} = \exp(\ln K_{298})$$

$$= \exp(60,987)$$

$$= 3,06 \times 10^{26}$$

$$\ln \frac{K_{298}}{K} = \frac{-\Delta H_{R^{\circ}}}{RT} \left[\frac{1}{298K} - \frac{1}{T} \right]$$

$$\ln \frac{K_{298}}{K} = \frac{6320 \frac{J}{mol}}{RT \frac{J}{mol.K}} \left[\frac{1}{298K} - \frac{1}{333K} \right]$$

$$\ln \frac{K_{298}}{K} = 2,229$$

$$K = \frac{K_{298}}{\exp(2,229)}$$

$$= \frac{3,06 \times 10^{26}}{9,29}$$

$$= 3,30 \times 10^{25}$$

Pada suhu operasi 333 °K energi Gibbs bernilai negatif, maka reaksi berlangsung spontan. Sedangkan nilai K pada suhu operasi bernilai positif dan besar, maka reaksi berlangsung secara *irreversible* ke arah produk.

1.4.2 Tinjauan Kinetika

Kajian mengenai kinetika dalam tahap perancangan sangat penting, karena kinetika suatu reaksi akan mempengaruhi kondisi operasi berupa suhu serta tekanan pada alat yang digunakan. Faktor yang menjadi pertimbangan adalah konstanta kecepatan reaksi (k) dimana menentukan kecepatan suatu zat atau senyawa untuk bereaksi menjadi produk. Konstanta kecepatan reaksi dapat dihitung menggunakan persamaan Arrhenius, sebagai berikut:

$$k = A \exp(E/RT)$$

dimana:

A : faktor pre-exponential

E : energi aktivasi (kJ/mol)

k : konstanta kecepatan reaksi (min⁻¹)

R : konstanta gas (8,314 J/mol.K)

T : Suhu reaksi operasi (K)

Pada reaksi pembentukan trimetiletilen atau *2-methyl-2-butene* ada pada reaksi orde satu dengan suhu reaksi 333 K konsentrasi katalis 5% dengan nilai k sebesar $2,3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (Shah & Sharms, 1993). Sehingga nilai A dapat dihitung dengan persamaan Arrhenius diatas sebagai berikut :

$$k = A \exp(E/RT)$$

$$A = \frac{k}{\exp(\frac{E}{RT})}$$

$$A = \frac{2,3 \times 10^{-5}}{20,4}$$

$$A = 1,127 \times 10^{-6}$$

BAB II

PERANCANGAN PRODUK

Untuk memenuhi kualitas produk sesuai target pada prarancangan ini, maka mekanisme pembuatan trimetiletilene dirancang berdasarkan variabel utama yaitu : spesifikasi produk, spesifikasi bahan baku dan pengendalian kualitas.

2.1 Spesifikasi Produk

Tabel 2.1 Spesifikasi Produk

Parameter	Trimetiletilene
Rumus molekul	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3\text{-C}=\text{CH-CH}_3 \end{array}$
Warna	Keruh
Kemurnian	97,2% wt
Impuritas	2,5% metilbutene 0,3% 1 pentane
Berat molekul	70,134
Titik didih	39 °C
Titik beku	-134 °C
Berat jenis pada 25	0,666 gr/cm ³

Sumber: MSDS, PubChem, 2022

2.2 Spesifikasi Bahan Baku dan Bahan Pendukung

Tabel 2.2 Spesifikasi Bahan Baku

Parameter	Bahan baku
	Metilbutene
Rumus molekul	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2 = \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \end{array}$
Warna	Keruh
Kemurnian	95% wt
Impuritas	5% I pentane
Berat molekul	70,134
Titik didih	31 °C
Titik beku	-137 °C
Berat jenis pada 25	0,654 gr/cm ³

Tabel 2.3 Spesifikasi Bahan Pendukung

Rumus Molekul	C ₁₈ H ₁₈ O ₃ S
Warna	Putih
Berat Molekul	314,3987
Titik Didih	516,7°C
Suhu operasi maksimal	120°C
Ukuran pori	300 Å
Ukuran partikel	0,600 to 0,850 mm

Sumber: DOW, 2022

Pada masing-masing bahan dan produk. Identifikasi *hazard* bahan dalam proses pengelolaannya yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.4 Identifikasi hazard bahan kimia dan pengelolaannya

Identifikasi Hazard Bahan Kimia dalam Proses									
Komponen	Hazard							Keterangan	Pengelolaan
	Explosive	Flammable	Toxic	Corrosive	Irritant	Oxidizing	Radioactive		
Metilbuten		✓			✓	✓	✓		
Trimetiletilen		✓			✓	✓	✓		
Amberlyst 15									

2.3 Pengendalian Kualitas

2.3.1. Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Sebelum dilakukan proses produksi diperlukan pengujian pada bahan baku. Proses ini bertujuan agar bahan baku yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan didalam desain produksi. Standar evaluasi yang digunakan untuk kualitas bahan baku adalah ASTM 1972.

2.3.2. Pengendalian Kualitas Produk

Perlu dilakukan pengawasan dan pengendalian produksi yang dilakukan untuk menjaga kualitas produk yang akan dihasilkan, dan hal ini dilakukan sejak dari bahan baku sampai menjadi produk. Selain pengawasan mutu bahan baku, bahan pembantu, produk setengah jadi, maupun produk

penunjang mutu proses. Semua pengawasan yang dilakukan dapat dilakukan analisis di laboratorium maupun menggunakan alat kontrol.

2.3.3. Pengendalian Proses

Pengawasan dan pengendalian saat jalannya proses dilakukan dengan alat yang berpusat di *control room*, dilakukan dengan cara *automatic control* yang menggunakan indikator. Apabila terjadi kesalahan indikator yang telah ditetapkan atau disett baik itu *flow rate* bahan baku, produk, *level control*, maupun *temperature control*, dapat diketahui dari sinyal atau tanda yang diberikan berupa: lampu nyala, bunyi alarm dan lainnya. Bila terjadi kesalahan, maka kesalahan tersebut harus dikembalikan pada kondisi *default* baik secara manual maupun otomatis. Beberapa alat kontrol yang digunakan yaitu kontrol terhadap kondisi operasi baik tekanan maupun temperatur. Alat kontrol yang harus digunakan antara lain:

a. *Level control*

Merupakan alat yang dipasang pada bagian atas tangki. jika belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan maka akan timbul tanda isyarat berupa alarm dan lampu.

b. *Temperature control*

Merupakan alat yang dipasang didalam setiap alat proses. sama halnya dengan *level control*, apabila belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan maka akan timbul tanda isyarat berupa suara dan lampu.

c. Flowrate control

Merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur aliran masuk dan aliran keluar proses.

d. Pressure control

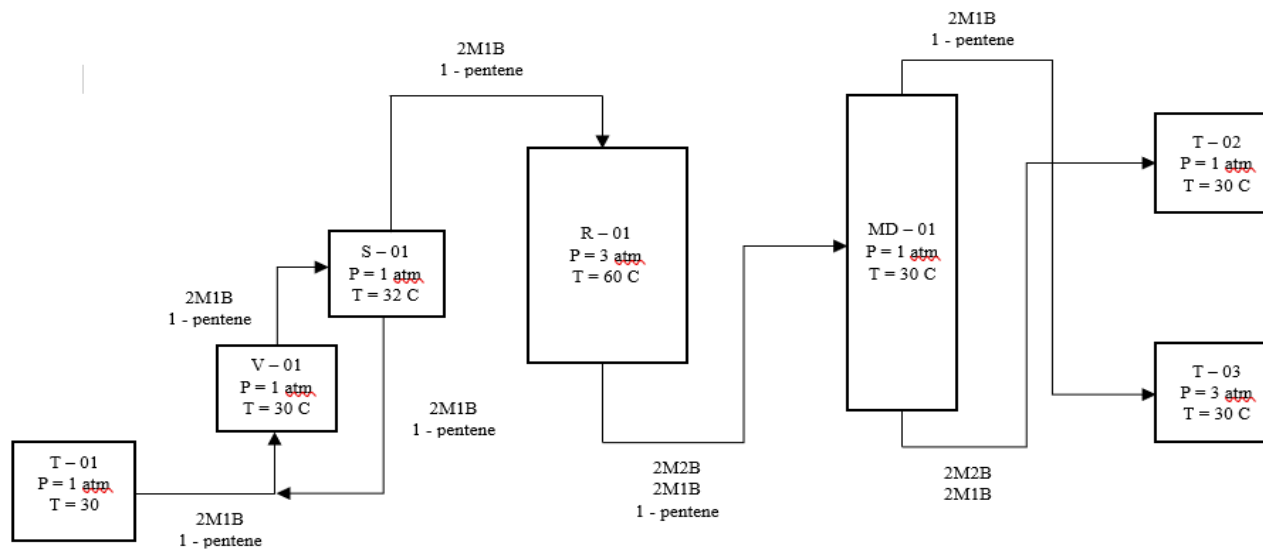
Merupakan alat yang berfungsi untuk mengatur tekanan masuk dan keluar proses, apabila belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan maka akan timbul tanda isyarat berupa suara dan nyala lampu.

BAB III

PERANCANGAN PROSES

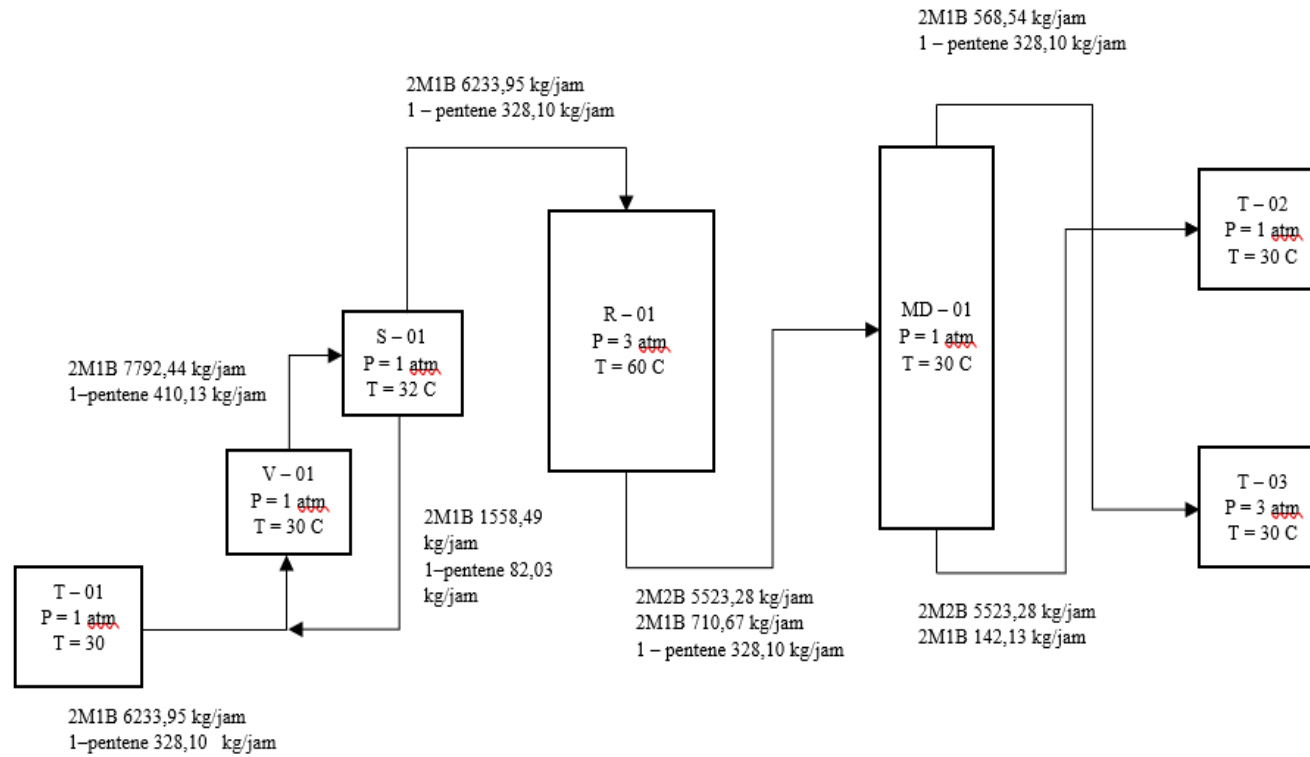
3.1 Diagram Alir Proses dan Material

3.1.1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3.1 Diagram Alir Kualitatif

3.1.2 Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif

3.2 Uraian Proses

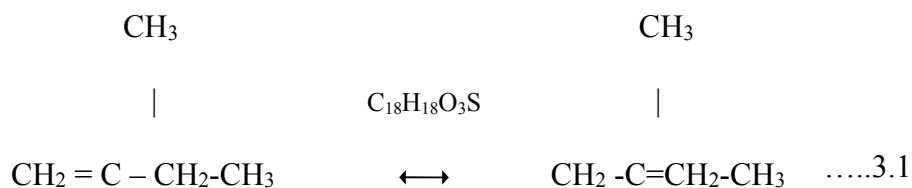
Bahan baku yang digunakan pada proses ini adalah metilbutena dengan reaksi isomerisasi menggunakan katalis amberlyst-15 dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku

Bahan baku berupa metil butena diimpor dari luar negeri dalam bentuk cair. Bahan baku disimpan pada temperature 30 °C dan tekanan 1 atm dalam tangki penyimpanan bahan baku. Selain itu, bahan baku lain yang digunakan adalah katalis amberlyst-15. Katalis yang digunakan dalam bentuk padat yang langsung berada dalam reaktor. Sebelum dilakukan pembentukkan produk, bahan baku berupa metil buten dirubah terlebih dahulu fasanya menjadi gas menggunakan vaporizer pada suhu 30 °C untuk diambil efisiensinya sebesar 80% . Selanjutnya menggunakan separator untuk memisahkan metilbuten gas dan metilbutene cair sebelum menaikkan tekanan menggunakan kompresor dan dialirkan menuju reactor.

2. Tahap reaksi

Tahap pembentukan produk dilakukan menggunakan reactor fixed bed multitube pada suhu 60 °C dan tekanan 3 atm. Proses pembentukan trimetiletilen menggunakan bahan baku metilbuten dengan katalis amberlyst-15 yang sudah ada pada pipa-pipa reactor. Reaksi yang terjadi dalam reaktor :



Metilbuten yang sudah masuk kedalam reactor ditambahkan katalis amberlyst-15 yang berasal dari pipa-pipa reactor dengan tujuan untuk mempercepat laju reaksi. Reaksi pembentukan trimetiletilen merupakan reaksi isomerisasi dan reaksi ini menghasilkan panas atau eksotermis. Hasil keluaran reactor terdiri dari trimetiletilen, metilbuten dengan impuritasnya 1-pentene setelah itu produk dan sisa bahan baku masuk kekompresor untuk menurunkan tekanannya sebelum masuk menara distilasi.

3. Tahap pemurnian dan pemisahan produk

Produk keluaran reaktor berupa bahan baku metilbutena, 1-pentena, dan trimetiletilen selanjutnya dikondensasi menggunakan kondensor pada suhu 60 °C dan campuran dipisahkan pada unit distilasi. Pada unit distilasi, produk atas sebagian besar metil butena dan 1-pentana, sedangkan produk bawah berupa trimetiletilena dengan kemurnian sebesar 97,3%. Hasil bawah selanjutnya disimpan di dalam tangki penyimpanan produk yang berbentuk silinder horizontal selama 7 hari, sedangkan produk atas disimpan pada tangki sementara yang berbentuk silinder horizontal dengan penyimpanan selama 7 hari.

3.3 Spesifikasi Alat

3.3.1 Spesifikasi alat utama

1. Spesifikasi Reaktor (R-01)

Tabel 3.1 Spesifikasi Reaktor (R-01)

Kode	R-01
Fungsi	Proses reaksi isomerisasi metilbutena dengan katalis amberlyst 15 untuk menghasilkan Trimetiletilen
Jenis	Reator <i>Fixed Bed Mutlitube</i>
Bahan	<i>Carbon steel</i>
Tekanan	3 atm
Temperatur	60 °C
Dimensi Reaktor	
- Diameter Reaktor	1,24 m
- Tinggi Reaktor	8,26 m
- Volume Reaktor	0,08 m ³
- Volume Katalis	0,69 m ³
- Diameter Katalis	0,0006 m
- Tebal Shell	0,18 in
- Tebal Head	0,18 in
- Tebal Isolator	16,40 ft
Tipe Pendingin	Jaket pendingin
Jumlah	1
Harga	\$ 361.300

3.2 Spesifikasi alat pemisah

Tabel 3.2 Spesifikasi Menara Distilasi (MD-01)

Kode	MD-01
Fungsi	Memisahkan produk Trimetiletilen
Jenis	<i>Sieve Tray</i>
Bahan	Stainless Steel SA-240 Grade S-304
Spesifikasi Menara Distilasi (MD-01)	
Tekanan Operasi	1 atm
Temperatur <i>feed</i>	37,160 °C
Temperatur <i>top</i>	30,559 °C
Temperatur <i>bottom</i>	38,354 °C
Jumlah Lubang	755
Dimensi Menara Distilasi	
Tinggi Menara	19,6 m
Diameter Menara	0,498 m
Diameter lubang <i>tray</i>	5 mm
Tebal <i>plate</i>	3 mm
Tebal <i>shell</i>	0,476 cm
Tebal <i>head</i>	0,476 cm
Tebal isolasi	4365,284 cm
Pipa masuk <i>feed</i>	3,505 cm
Pipa keluaran uap kolom atas	7,793 cm
Pipa refluks ke kolom distilasi	1,715 cm
Pipa untuk distilat	1,715 cm
Pipa masuk ke <i>reboiler</i>	3,505 cm
Pipa uap keluaran <i>reboiler</i>	7,793 cm
Pipa untuk <i>bottom</i>	3,505 cm
Harga	\$ 497.900

Tabel 3.3 Spesifikasi Vaporizer (V-01)

Kode	V-01
Fungsi	Menguapkan Metilbutene
Jenis	Shell and tube
Bahan	Carbon steel
Spesifikasi Vaporizer (V-01)	
Tekanan	1 atm
Temperatur	30 °C
Tube	1144 buah
Hairpin	7
Heat transfer surface area	0,1963 ft ²
Panjang tube	22,86 m
OD	0,75 in
ID	0,482 in
BWG	10
Jumlah	1 buah
Harga	\$ 219.400

Tabel 3.4 Spesifikasi Separator (SP-01)

Kode	SP-01
Fungsi	Memisahkan metilbutene uap dan cairan
Jenis	Vertikal vessel
Bahan	Carbon steel
Tekanan	1 atm
Temperatur	32 °C
Volume vessel	458,4 m ³
Tinggi ruang cair	0,51 m
Tinggi ruang uap	2,56 m
Tebal dinding	0,1875 in
Tebal head	0,1875 in

Tabel 3.4(lanjutan)

Tinggi head	9,2646 in
Tinggi total vessel	139,8792 in
Noozle gas	18,8140 in
Noozle cair	1,3800 in
Harga	\$ 55.100

3.5 Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

Tabel 3.5 Spesifikasi Tangki (T-01, T-02, T-03)

Tangki	Tangki-01	Tangki-02	Tangki-03
Kode	T-01	T-02	T-03
Fungsi	Menyimpan bahan baku Metilbutene	Menyimpan produk Trimetiletilen	Menyimpan sementara bahan sisa untuk diproses ulang
Jenis	Tangki horizontal berbentuk silinder	Tangki horizontal berbentuk silinder	Tangki horizontal berbentuk silinder
Bahan	Carbon steel SA-283 grade C	Carbon steel SA-283 grade C	Carbon steel SA-283 grade C
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm
Temperatur	30 °C	30 °C	30 °C
Jenis head	Torispherical	Torispherical	Torispherical
Tebal head	0,1146 ft	0,1146 ft	0,0365 ft
DiameterTangki	20 ft	20 ft	6 ft
TinggiTangki	22,0236 m	19,8943 m	16,9693 m
Volumetangki	886,9461 m ³	873,2240 m ³	3,7898 m ³
Jumlah	1	1	1
Harga	\$ 294.900	\$ 292.200	\$ 4.800

Tabel 3.6 Spesifikasi Accumulator

Kode	Acc-01
Fungsi	Menampung distilat pada MD-01
Jenis	Silinder tegak dengan dengan alas dan tutup datar
Jumlah	1
Suhu	30,69 °C
Tekanan	1 atm
Bahan konstruksi	Carbon steel ASME 167 Grade 11 Tipe 316
Spesifikasi Accumulator	
Kapasitas	2.674,32 gallon
OD	26 in
ID	42,30 in
Tinggi tangki	182,355 in
Tebal tangki	0,1875 in
Tinggi head	6,560 in
Tebal head	0,1875 in
Panjang total	182,35 in
Harga	\$ 37.300

3.6 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan

Tabel 3.7 Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair (jumlah alat = 6)

Pompa	Pompa-01	Pompa-02	Pompa-03
Kode	P-01	P-02	P-03
Fungsi	Mengalirkan bahan baku dari truck ke T-01	Mengalirkan bahan baku T-01 ke V-01	Mengalirkan produk bawah separator menuju ke V-01
Jenis	Sentrifugal	Sentrifugal	Sentrifugal
Bahan konstruksi	Carbon Steel SA - 283 grade - C	Carbon Steel SA - 283 grade - C	Carbon Steel SA - 283 grade - C
Viskositas	2075,2587 lb/ft jam	2075,2587 lb/ft jam	2075,2587 lb/ft jam

Tabel 3.7 ... (lanjutan)

Kapasitas	15.551,6366 lb/jam	15551,6366 lb/jam	3887,9091 lb/jam
Diameter pipa	3 in	3 in	2 in
Flow area	7,38 in ²	7,38 in ²	3,35 in ²
OD	3,07 in	3,50 in	2,38 in
ID	3,50 in	3,07 in	2,07 in
No. Sch	40	40	40
Power motor	0,2500 hp	0,1250 hp	0,050 hp
Spesifikasi Alat Transportasi Bahan Cair (jumlah alat = 6)			
Harga	\$ 4.500	\$ 4.500	\$ 4.100
Pompa	Pompa-04	Pompa-05	Pompa-06
Kode	P-04	P-05	P-06
Fungsi	Mengalirkan produk CD-01 menuju MD-01	Mengalirkan produk atas MD-01 menuju T-03	Mengalirkan produk bawah MD-01 menuju T-02
Jenis	Sentrifugal	Sentrifugal	Sentrifugal
Bahan kontruksi	Carbon Steel SA - 283 grade - C	Carbon Steel SA - 283 grade - C	Carbon Steel SA - 283 grade - C
Viskositas	2513,9294 lb/ft jam	12258,9868 lb/ft jam	14867,7611 lb/ft jam
Kapasitas	15551,6366 lb/jam	1645,3631 lb/jam	13906,2734 lb/jam
Diameter pipa	3 in	1,25 in	3 in
Flow area	7,38 in ²	1,5 in ²	7,38 in ²
OD	3,50 in	1,66 in	3,50 in
ID	3,07 in	1,38 in	3,07 in
No. Sch	40	40	40
Power motor	0,25 hp	0,05 hp	0,1670 hp
Harga	\$ 4.500	\$ 2.500	\$ 4.500

3.7 Spesifikasi Alat Penukar Panas

Tabel 3.8 Spesifikasi Heater H-01

Kode	H-01
Fungsi	Memanaskan bahan dari separator
Jenis	Double pipe exchanger
Tipe	Steam
Rd	76,42 ft ² jam F/Btu
Hairpin	1
Panjang total	10,66 m
Spesifikasi Heater H-01	
<i>Annulus</i>	
Suhu masuk	30
Suhu keluar	60
Tekanan	1 atm
ID	0,0525 m
OD	0,06045 m
A	0,18992 m ²
Pressure Drop	2,5480 kg/m ³
<i>Tube</i>	
Suhu masuk	150
Suhu keluar	150
Tekanan	1 atm
ID	0,03505 m
OD	0,04216 m
A	0,13246 m ²
Pressure Drop	260,3097 kg/m ³
Harga	\$ 1.100

Tabel 3.9 Spesifikasi Kondensor

Kode	CD-01	CD-02
Fungsi		
Bahan	Carbon steel	Carbon steel
Tipe	Shell & Tube	Shell & Tube
Rd	0,0204	0,0224
Tube		
OD	1,5 in	1,25 in
Panjang	20 ft	20 ft
Pitch	1,88 inch triangular pitch	1,88 triangular pitch
Nt	39	436
Passes	2	2
Shell		
ID	17,25 in	39 in
Passes	1	1
Heat transfer surface area	423,4715 ft ²	3266,5128 ft ²
Heat transfer coefficient (clean)	127,6490 Btu/jam ft ² F	85,3224 Btu/jam ft ² F
Heat transfer coefficient (Dirt)	1,1900 Btu/jam ft ² F	0,7570 Btu/jam ft ² F
Jumlah	1	1
Harga	\$ 24.500	\$ 98.400

Tabel 3.10 Spesifikasi Cooler

Kode	CL-01
Fungsi	
Bahan	Carbon steel
Tipe	Shell & tube
Rd	0,0481
Tube	
OD	1,25 in
Panjang	20 ft
Pitch	1,88 triangular pitch
Nt	38
Passes	1
Shell	
ID	13,25 in
Passes	1
Heat transfer surface area	121,6472 ft ²
Heat transfer coefficient (clean)	89,1047 Btu/jam ft ² F
Heat transfer coefficient (Dirt)	0,7570 Btu/jam ft ² F
jumlah	1
Harga	\$ 5.300

Tabel 3.11 Spesifikasi Reboiler

Kode	Rb-01
Fungsi	Memaskan Kembali produk bottom
Bahan	Carbon steel
Tipe	Horizontal reboiler
Jenis	Kettle
A	131,9360 ft ²
Rd	0,0061
OD	1,66 in
ID	2,38 in
Panjang pipa	112 ft
Shell	
Diameter	0,0761 ft
OD	2,380 in
ID	2,067 in
Pasess	1
Tube	
OD	1,660 in
ID	1,380 in
Nt	39
BWG	3,3125 in
Pasess	1
Harga	\$ 17.400

3.8 Neraca Massa

Produk	: Trimetiletilen
Kapasitas Perancangan	: 45.000 ton/tahun
Waktu operasi selama 1 tahun	: 330 hari
Waktu operasi selama 1 hari	: 24 jam

a. Neraca Massa Total

Tabel 3.12 Neraca Massa Overall

Komponen	Input		Output	
	Arus 1	Arus 12	Arus 12	Arus 13
Metilbuten	6233,95	556,93	556,93	153,74
1-Pentane	328,10	311,02	311,02	17,08
Trimetiletilen	-	-	-	5523,28
Total	6.562,05		6.562,05	

b. Neraca Massa Alat

1. Vaporizer

Tabel 3.13 Neraca massa Vaporizer

Komponen	Input		Output
	Arus 5 (kg/jam)	Arus 7 (kg/jam)	Arus 6 (kg/jam)
Metil Butena	6.233,95	1.558,49	7.792,44
1-pentene	328,10	52,03	410,13
Sub Total	6.562,05	1.640,51	8.202,56
Total		8.202,56	8.202,56

2. Separator

Tabel 3.14 Neraca massa Separator

Komponen	Input		Output	
	6	7	7	8
Metilbuten	7.792,44	1.558,49	1.558,49	6.233,95
1-Pentane	410,13	82,03	82,03	328,10
Sub Total	8.202,56	1.640,51	1.640,51	6.562,05
Total	8.202,56		8.202,56	

3. Reaktor

Tabel 3.15 Neraca massa Reaktor

Komponen	Input		Output	
	9	10	10	10
Metilbuten	6.233,95		710,67	
1-Pentane	328,10		328,10	
Trimetiletilen	0,00		5.523,28	
Sub Total	6.562,05		6.562,05	
Total	6.562,05		6.562,05	

4. Menara Distilasi

Tabel 3.16 Neraca massa Menara Distilasi

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg/jam)	
	12	13	13	16
Metilbuten	710,67	556,93	556,93	153,74
1-Pentane	328,10	311,02	311,02	17,08
Trimetiletilen	5.523,28	0,00	0,00	5.523,28
Sub Total	6.562,05	867,95	867,95	5.694,10
Total	6.562,05		867,95	5.694,10

3.9 Neraca Panas

1. Tangki

Tabel 3.17 Neraca panas Tangki

Komponen	Inlet		Outlet	
	H (kJ/jam)		H (kJ/jam)	
Metil butena	4,1,E+04		4,1,E+04	
1-pentene	9,8,E+03		9,8,E+03	
Sub Total	5,1,E+04		5,1,E+04	

2. Vaporizer

Tabel 3.18 Neraca panas Vaporizer

Komponen	Inlet		Outlet	
	H (kJ/jam)		H (kJ/jam)	
MB	67.551,00		52.718,44	
P	871.771,29		697.061,92	
Q sens1			11.565,65	
Q sens2			6.863.148.183,53	
Q laten			2.394,53	
Q pemanas	6.862.251.296,21			
Sub Total	6.863.190.618,49		749.780,36	
Total	6.863.940.398,86		6.863.940.398,86	

3. Separator

Tabel 3.19 Neraca panas Separator

Komponen	Inlet		Outlet	
	H (kJ/jam)		H (kJ/jam)	
MB Liq	52.718,44		52.718,44	
P Liq	697.061,92		697.061,92	

Tabel 3.19...(lanjutan)

MB Gas	27.035,86		27.035,86
P Gas	1.438,93		1.438,93
Sub Total	778.255,15	749.780,36	28.474,79
Total	778.255,15		778.255,15

4. Reaktor

Tabel 3.20 Neraca panas Reaktor

Komponen	Inlet	Outlet
	H (kJ/jam)	H (kJ/jam)
MB	27.035,86	41.247,63
P	1.438,93	19.324,33
TM	0,00	305.264,06
Qloss		-751.990,73
Qreaksi	-414.629,50	
Subtotal	28.474,79	365.836,02
Total	-386.154,71	-386.154,71

5. Kondensor

Tabel 3.21 Neraca panas Kondensor

Komponen	In	Out
	H (kJ/jam)	H (kJ/jam)
MB	42.207,72	19.436,53
P	19.774,12	2.239.288,12
TM	312.369,44	147.916,90
Q pendingin		432.438,85
Q penguapan	2.464.729,12	
Sub Total	37.4351,28	2.406.641,54
Total	2.839.080,39	2.839.080,39

6. Menara Distilasi

Tabel 3.22 Neraca panas Menara Distilasi

Komponen	Masuk (kg)	Keluar (kg/jam)	
	12	13	16
Metilbuten	615,34	3,90	611,43
1-Pentane	284,09	1,02	283,06
Trimetiletilen	4.782,39	0,14	4.782,23
Q pendingin		266.603,43	
Q steam	3.159,65		
Sub Total	5.681,82	5,06	5.676,72
Total	8.841,47	272.285,2	

7. Cooler

Tabel 3.23 Neraca panas Cooler

Komponen	In	Out
MB	9.023,39	3.403,32
P	237.587,24	87.874,21
TM	156.564,08	59.063,32
Q pendingin		-252.833,86
Total	403.174,71	-102.493,01

BAB IV

PERANCANGAN PABRIK

4.1 Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang penting karena berhubungan langsung dengan nilai ekonomis pabrik. Pemilihan lokasi yang tepat sangat diperlukan sejak tahap perancangan dengan memperhatikan berbagai macam pertimbangan. Pertimbangan utama yaitu lokasi yang dipilih harus memberikan biaya produksi dan distribusi yang minimum, dengan tetap memperhatikan ketersediaan tempat untuk pengembangan pabrik dan kondisi yang aman untuk operasi pabrik (Peter and timmerhaus, 1990).

Berdasarkan pertimbangan – pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik Trimetiletilen dengan kapasitas produksi 45.000 ton/tahun akan didirikan di Suralaya, Pulomerak, Cilegon, Banten.



Gambar 4. 1 Wilayah Pabrik *Trimetiletilen*

Adapun pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik di Cilegon adalah sebagai berikut:

1. Penyediaan Bahan Baku

Pabrik yang akan berdiri diusahakan dekat dengan sumber bahan baku utama. Pabrik harus memperoleh jumlah bahan baku yang dibutuhkan dengan mudah, layak harga, kontinyu, dan biaya transportasi yang rendah serta tidak rusak dalam perjalanan. Bahan baku pabrik *Trimetiletilen* berupa metilbutena (C5), bahan baku didapat dari PT Chandra Asri Petrochemical yang berlokasi di Cilegon.

2. Pemasaran Produk

Trimetiletilen hasil dari produksi akan digunakan sebagai bahan baku industri karet. Fokus area pemasaran *Trimetiletilen* ada di pulau Jawa, Sumatra dan Kalimantan, dimana sarana transportasi yang tersedia sudah cukup lengkap dan memasarkan produk ke pasar internasional (ekspor) mengingat persaingan dunia industri yang semakin bebas.

3. Utilitas

Utilitas merupakan unit pendukung suatu proses dalam pabrik. Utilitas berperan sebagai penyuplai bahan bakar, air, dan listrik yang dibutuhkan proses dalam pabrik. Kebutuhan air pada pabrik *Trimetiletilen* dipenuhi dari air sungai yang lebih dulu di proses. Sarana yang lain seperti bahan bakar dan listrik dapat diperoleh dengan mudah karena dekat dengan Pertamina dan PLTU Suralaya.

4. Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang dibutuhkan terdiri dari tenaga kerja terampil dan tenaga kerja non-terampil. Tenaga kerja non-terampil diambil dari lingkungan masyarakat disekitar lokasi pabrik sehingga dengan demikian pendirian pabrik dapat sekaligus membuka lapangan pekerjaan. Sedangkan tenaga kerja terampil diperoleh dari lulusan sekolah menengah atas sampai perguruan tinggi baik dari sekitar lokasi pabrik maupun para pendatang pencari kerja.

5. Keadaan Iklim

Iklim yang terlalu panas akan mengakibatkan perlunya peralatan pendingin yang lebih banyak, sedangkan iklim yang terlalu dingin/lembab akan berakibat bertambahnya biaya konstruksi pabrik karena diperlukan perlindungan khusus pada alat-alat proses. Di daerah Cilegon merupakan daerah yang memiliki iklim yang kering dengan curah hujan yang cukup sehingga Pendirian pabrik di Cilegon sangatlah tepat untuk menjalankan proses produksi *Trimetiletilen*.

4.2 Tata Letak Pabrik (*Plant Layout*)

Tata letak pabrik mengatur susunan letak bangunan seperti area poros, area perlengkapan, kantor gudang, utilitas dan fasilitas lainnya guna menjamin kelancaran proses dengan baik dan efisien, serta menjaga keselamatan kerja para karyawan ataupun keamanan dari pabrik tersebut. Oleh karena itu, tata letak pabrik merupakan bagian dari perancangan pabrik yang perlu diperhatikan. Jalannya aliran proses dan aktifitas dari para pekerja yang ada menjadi dasar pertimbangan dalam pengaturan bangunan-bangunan dalam suatu pabrik sehingga proses produksi dapat berjalan dengan efektif, efisien dan berkelanjutan.

Beberapa faktor yang diperhatikan dalam menentukan tata letak pabrik (*plant layout*), diantaranya adalah :

1. Kemudahan dalam operasi dan proses yang disesuaikan dengan kemudahan dalam memelihara peralatan serta kemudahan mengontrol hasil produksi.
2. Distribusi utilitas yang tepat dan ekonomis.
3. Keselamatan kerja.
4. Memberikan kebebasan bergerak yang cukup leluasa diantara peralatan proses dan peralatan yang menyimpan bahan-bahan berbahaya.
5. Adanya kemungkinan dilakukannya perluasan pabrik.
6. Masalah pengolahan limbah pabrik agar tidak mengganggu atau mencemari lingkungan.
7. Penggunaan ruang yang efektif dan ekonomis.

Berdasarkan faktor tersebut diatas, maka pengaturan tata letak pabrik Trimetiletilen dalam penempatan bangunan dalam kawasan pabrik dapat dilihat pada Gambar 4.2.



1:1000

Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik

Tabel 4.1 Tabel Pembagian Letak Pabrik

No.	Lokasi	Panjang	Lebar	Luas
		M	m	m ²
1	Pos Keamanan	7	7	49
2	Pos Keamanan	2,5	2,5	6,25
3	Pos Keamanan	2,5	2,5	6,25
4	Kantor Utama	40	20	800
5	Parkir Karyawan	20	13	260
6	Parkir Tamu	18	10	180
7	Parkir Direksi	14	5	70
8	Parkir Sepeda	11	5	55
9	Power Plant	4	3	12
10	Masjid	20	20	400
11	Area Mess	30	35	1.050
12	Kantin	10	20	200
13	Kantor Teknik dan Produksi	20	14	280
14	Gedung Serba Guna	15	20	300
15	Laboratorium	15	15	225
16	Area Timbang Truk	10	10	100
17	Area Parkir Truk	50	10	500
18	Poli klinik	20	9	180
19	Perpustakaan	10	13	130
20	Unit Pemadam Kebakaran	16	14	224
21	Control Room	28	10	280
22	Control Utilitas	14	10	140
23	Bengkel	14	20	280
24	Unit Pengolahan Limbah	13	10	130
25	Gudang Peralatan	20	13	260
26	Area Proses	100	80	8.000
27	Area Utilitas	50	25	1250
28	Taman 1	25	20	500
29	Taman 2	10	5	50
30	Daerah perluasan	100	60	6.000
31	Jalan	50	40	2.000
Luas Bangunan				15.000
Luas Tanah		759	541	20.000
Total				35.000

4.3 Tata Letak Mesin/Alat Proses (*Machines Layout*)

Penyusunan letak dari alat-alat proses yang optimum dapat memberikan suatu operasi yang efisien dan meminimalkan biaya konstruksi. Tata letak alat proses ini sangat erat hubungannya dengan perencanaan bangunan pabrik dan bertujuan agar:

1. Alur proses produksi berjalan lancar dan efisien.
2. Karyawan dapat bekerja dengan leluasa, aman, selamat dan nyaman.

Ada tiga macam penyusunan tata letak alat proses, yaitu :

1. Tata letak Produk atau Garis (*Product Lay Out/ Line Lay Out*)

Penyusunan mesin atau peralatan berdasarkan urutan proses produksi. Biasanya digunakan pada pabrik yang memproduksi suatu jenis produk dalam jumlah besar dan mempunyai tipe proses batch maupun kontinyu.

2. Tata Letak Proses atau Fungsional (*Process / Fungsional Lay Out*)

Penyusunan mesin atau peralatan berdasarkan fungsi yang sama pada ruang tertentu. Biasanya digunakan pada pabrik yang memproduksi lebih dari satu jenis produk.

3. Tata Letak Kelompok (*Group Lay Out*)

Kombinasi dari *Line Lay Out* dan *Process Lay Out*. Biasanya dipakai oleh perusahaan besar yang memproduksi lebih dari satu jenis produk.

Konstruksi yang ekonomis dan operasi yang efisien dari suatu unit proses akan tergantung kepada bagaimana peralatan proses disusun. Faktor-faktor yang di pertimbangkan dalam penyusunan tata letak alat proses adalah :

- **Pertimbangan Ekonomis**

Biaya konstruksi dapat diminimalkan dengan jalan menempatkan peralatan yang memberikan sistem pemipaan sependek mungkin diantara alat-alat proses, sehingga akan mengurangi daya tekan alat terhadap bahan atau campuran, akibatnya akan mengurangi biaya variabel.

- **Kemudahan Operasi**

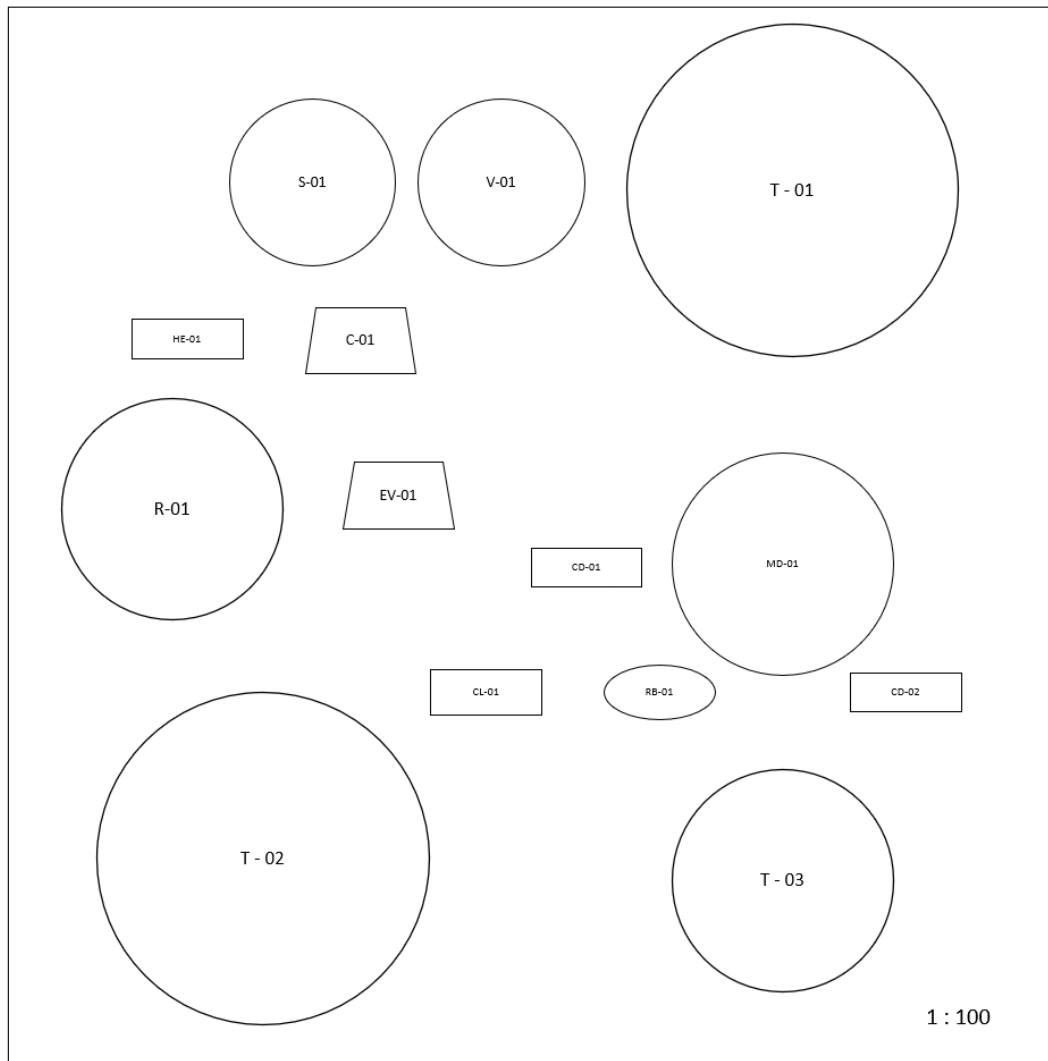
Letak tiap alat diusahakan agar dapat memberikan keleluasan bergerak untuk para pekerja dalam melaksanakan aktifitas produksi.

- **Kemudahan Pemeliharaan**

Kemudahan pemeliharaan alat juga harus dipertimbangkan dalam penempatan alat-alat proses. Hal ini disebabkan karena pemeliharaan alat merupakan hal yang penting untuk menjaga alat beroperasi sebagaimana mestinya dan berumur panjang. Penempatan alat yang baik akan memberikan ruang gerak yang cukup untuk memperbaiki maupun untuk membersihkan peralatan.

- **Keamanan**

Untuk alat-alat yang bersuhu tinggi diisolasi dengan bahan isolator, sehingga tidak membahayakan pekerja. Selain itu perlu disediakan pintu keluar cadangan atau darurat, sehingga memudahkan para pekerja untuk menyelamatkan diri jika terjadi sesuatu yang tidak diinginkan. Tata letak peralatan pada proses produksi Trimetiletilen ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Tata Letak Alat Proses

4.4 Organisasi Perusahaan

4.4.1 Bentuk perusahaan

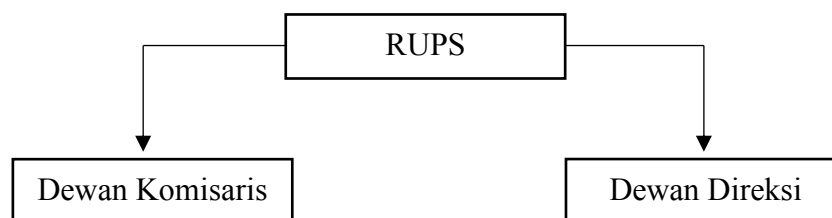
Bentuk, struktur dan manajemen suatu perusahaan sangat berpengaruh terhadap tercapainya tujuan perusahaan. Dari ketiga unsur itu tidak dapat dipisahkan dalam tercapainya tujuan suatu perusahaan. Perusahaan merupakan suatu unit kegiatan ekonomi yang diorganisir dan dijalankan untuk menyediakan barang dan jasa bagi masyarakat, dengan tujuan untuk memperoleh laba atau keuntungan yang sebesar-besarnya. Perencanaan berdirinya perusahaan diawali dengan pemberian nama perusahaan dan lokasi berdirinya perusahaan, berikut rincian tersebut :

Nama Perusahaan	: Trikono Kimia Indonesia
Bentuk	: Perseroan Terbatas (PT)
Lapangan Usaha	: Industri Manufaktur
Produk	: <i>Trimetiletilen</i>
Lokasi Perusahaan	: Cilegon

Perseroan Terbatas merupakan suatu badan usaha yang didirikan oleh beberapa orang, dimana badan hukum ini memiliki kekayaan, hak dan kewajiban sendiri, yang terpisah dari pendiri (Pemegang Saham), maupun pengurusnya (Komisaris dan Direksi). Perseroan Terbatas memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- a. Kelangsungan perusahaan lebih terjamin karena perusahaan tidak tergantung kepada satu pihak dan kepemilikannya bisa berganti-ganti.
- b. Kekayaan perusahaan terpisah dari kekayaan pribadi pemilik saham.

- c. Pengelolaan perusahaan terpisah dari pemilik saham (pemilik perusahaan), sehingga tanggung jawab berjalannya perusahaan berada ditangan pengelola.
- d. Kemungkinan penambahan modal untuk perluasan lebih mudah.
- e. Pengelolaan perusahaan dapat dilakukan lebih efisien serta profesional karena pembagian tugas dan tanggung jawab pengurus (direktur dan dewan komisaris) serta pemegang saham diatur secara jelas.



Gambar 4.4 Bagan Struktur Pengurus

Dari Gambar 4.4 dapat diterangkan bahwa secara hierarkis, organisasi perusahaan besar seperti Perseroan Terbatas (PT) terdiri atas beberapa tingkatan, yaitu rapat umum pemegang saham (RUPS), dewan komisaris, dewan direksi, dan tim manajemen.

a. Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)

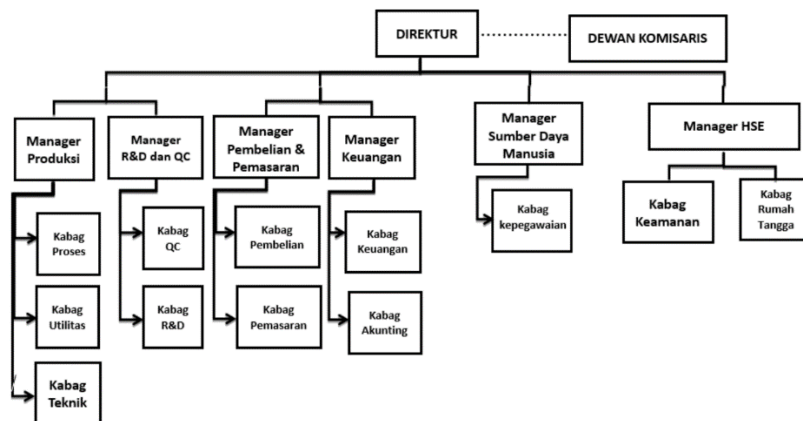
Rapat Umum Pemegang Saham merupakan badan tertinggi dalam Perseroan Terbatas. Menurut UU No. 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas pasal 78, RUPS minimal diadakan setahun sekali. RUPS diadakan 6 Bulan setelah tahun buku terakhir. RUPS ini membahas tentang laporan dari Dewan Direksi dan Dewan Komisaris kepada Pemegang Saham, penetapan keputusan kebijakan-kebijakan perusahaan dan pengangkatan Dewan Direksi dan Dewan Komisaris.

b. Dewan Komisaris

Dewan komisaris diangkat dan diberhentikan oleh Rapat Umum Pemegang Saham. Dewan ini bertugas untuk melakukan pengawasan dan memberi nasihat kepada Dewan Direksi agar tidak merugikan perusahaan dan menjalankan kebijakan umum yang telah ditetapkan. Dewan Komisaris terdiri dari seorang Presiden Komisaris dan beberapa orang Dewan Komisaris.

c. Dewan Direksi

Dewan direksi diangkat dan diberhentikan oleh Rapat Umum Pemegang Saham. Dewan Direksi bertugas untuk memimpin perusahaan dan sebagai penanggung jawab dalam melaksanakan kebijakan umum perusahaan yang telah ditetapkan oleh Rapat Umum Pemegang Saham yang terdiri dari satu Direktur. Dewan Direksi terdiri dari Direktur serta di bantu oleh beberapa Manajer yang mengepalari bagian-bagian struktur perusahaan.



Gambar 4. 5 Bagan struktur organisasi

Adapun tugas dan wewenang setiap pengurus maupun karyawan adalah sebagai berikut :

a. Rapat Umum Pemegang Saham

Tugas dan wewenang RUPS adalah :

- Menetapkan Garis Besar Haluan Perusahaan.
- Mengangkat dan memberhentikan Dewan Direksi dan Dewan Komisaris perusahaan.
- Mengesahkan besarnya anggaran perusahaan yang diajukan oleh Dewan Direksi.
- Menerima atau menolak pertanggungjawaban Dewan Komisaris dan Dewan Direksi

b. Dewan Komisaris

Tugas dan wewenang Dewan Komisaris adalah :

- Bertanggung jawab kepada RUPS
- Mengawasi pelaksanaan operasional atau pengelolaan perusahaan oleh Direktur secara kontinyu dan teratur
- Membina dan memberi nasihat Direktur agar tidak melakukan kesalahan atau melanggar aturan RUPS

c. Direktur

Direktur dipilih oleh RUPS untuk menjalankan kegiatan operasional perusahaan secara keseluruhan. Tugas dan wewenang Direktur adalah :

- Memberikan laporan pertanggungjawaban dalam hal yang berkaitan dengan kegiatan operasional perusahaan
- Bertanggung jawab kepada RUPS

- Melaksanakan dan mengarahkan kegiatan perusahaan agar sesuai dengan keputusan RUPS
- Mengangkat dan memberhentikan karyawan

d. Manajer

Secara umum, tugas manajer adalah mengkoordinasikan, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis-garis yang diberikan oleh Direktur. Manajer secara operasional bertanggung jawab kepada Direktur.

1. Manajer Proses

Dalam melaksanakan tugasnya, mempunyai wewenang untuk merumuskan kebijaksanaan teknik operasi pabrik dan mengawasi kesinambungan operasional pabrik. Dimana yang tugasnya, adalah :

a. Kepala Bagian Proses

Kepala bagian proses memiliki tugas dan kewajiban sebagai berikut :

- Bertanggung jawab kepada Manajer Produksi
- Mengawasi dan bertanggung jawab atas kelancaran produksi
- Melakukan perbaikan serta kelancaran-kelancaran mesin dan peralatan

b. Kepala Bagian Utilitas

Kepala bagian utilitas memiliki tugas dan kewajiban sebagai berikut :

- Bertanggung jawab kepada Manajer Produksi
- Bertanggung jawab atas kelancaran fungsional unit-unit sarana penunjang (utilitas)

c. Kepala Bagian Teknik

Kepala bagian teknik memiliki tugas dan kewajiban sebagai berikut:

- Bertanggung jawab kepada Manajer Produksi
- Bertanggung jawab atas kelancaran fungsional unit peralatan proses dan mekanik

2. Manajer R&D dan QC

a. Kepala Bagian R&D

Kepala bagian *research and development* (R&D) memiliki tugas dan kewajiban yang harus dipertanggungjawabkan, yaitu :

- Bertanggung jawab kepada Manajer R&D dan QC
- Mengontrol kualitas bahan baku dan penunjang yang akan digunakan dalam produksi serta kualitas produk yang dihasilkan
- Mengawasi kegiatan laboratorium dan pengolahan data

b. Kepala Bagian QC

Kepala bagian *research and development* (R&D) memiliki tugas dan kewajiban yang harus dipertanggungjawabkan yaitu bertanggung jawab atas penelitian dan pengembangan proses produksi

3. Manajer Pembelian dan Pemasaran

Dalam melaksanakan tugasnya, mempunyai wewenang untuk mengatur keuangan perusahaan dan melaksanakan pemasaran hasil produksi dan mendistribusikannya. Kepala departemen pembelian dan pemasaran membawahi :

a. Kepala Bagian Pembelian

Untuk menunjang pekerjaan bagian pembelian maka tanggung jawab yang harus dikerjakan, yaitu :

- Meningkatkan kerja sama dengan pihak-pihak terkait untuk kelancaran dan keamanan jalur distribusi
- Melakukan transaksi pembelian terhadap bahan baku
- Melakukan pengecekan harga pembelian bahan baku
- Melakukan pendistribusian produk

b. Kepala Bagian Pemasaran

Untuk menunjang pekerjaan bagian pembelian maka tanggung jawab yang harus dikerjakan, yaitu :

- Bertanggung jawab atas seluruh kegiatan pemasaran yang dilakukan perusahaan yang termasuk promosi
- Menentukan daerah pemasaran hasil produksi
- Mengelola seluruh kegiatan yang berhubungan dengan pemasaran dan penjualan produk
- Menetapkan dan menentukan daerah penyebaran dan penyaluran barang-barang produksi sehingga jalur produksi lancar dan aman sampai ke konsumen

4. **Manajer Keuangan**

a. Kepala Bagian Keuangan

Pekerjaan dari kepala bagian keuangan yang harus dilaksanakan, yaitu :

- Mengawasi dan mengatur setiap pengeluaran untuk membeli bahan baku dan pemasukan dari penjualan produk
- Mengatur dan melakukan pembayaran gaji karyawan
- Mengatur dan merencanakan pembelian barang inventaris

b. Kepala Bagian Akunting

Pekerjaan dari kepala bagian keuangan yang harus dilaksanakan, yaitu :

- Melakukan pengolahan data terhadap seluruh kegiatan perusahaan yang berhubungan dengan keuangan
- Mencocokkan hasil pengolahan data dengan keuangan yang terdapat di seksi keuangan
- Membuat laporan keuangan setiap bulan dan setiap tahun
- Membuat laporan neraca laba/rugi

5. Manajer Sumber Daya Manusia

Kepala Departemen Sumber Daya Manusia (SDM) melaksanakan tugas dan mempunyai wewenang untuk melaksanakan tata laksana seluruh unsur dalam organisasi baik secara internal maupun eksternal. Kepala Departemen SDM membawahi :

a. Kepala Bagian Kepegawaian

Tugas dari kepala bagian kepegawaian akan dibantu dengan oleh kepala seksi kepegawaian dan kepala seksi diklat. Tugas yang dikerjakan yaitu :

- Mengatur pemberian pelayanan bagi semua unsur dalam organisasi dibidang kesejahteraan dan keselamatan kerja beserta keluarganya

- Mengatur segala hal yang berkenaan dengan kepegawaian, seperti pengaturan jadwal kerja, cuti karyawan, dan lain-lain.
- Untuk penerimaan karyawan dan pemutusan hubungan kerja
- Memberi latihan pendidikan kepada karyawan-karyawan perusahaan
- Menangani masalah-masalah yang timbul dari karyawan yang berkenaan dengan perusahaan.

6. Manajer Healthy Safety and Environment (HSE)

Manajer HSE memiliki tugas untuk merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan seluruh program kesehatan dan lingkungan. Kepala Departemen HSE membawahi :

a. Kepala Bagian Keamanan

Untuk kepala bagian keamanan memiliki tugas yang harus dipertanggungjawabkan, yaitu

- Bertanggung jawab kepada manajemen perusahaan atas keamanan, ketertiban, rasa aman dan nyaman diseluruh area yang meliputi keamanan personil dan material di lokasi tugas
- Memberikan, menerapkan, dan mengawasi pelaksanaan Standard Operation Procedure (SOP) kepada semua bagian yang di lingkungan perusahaan baik karyawan baru, lama maupun tamu yang berada didalamnya.
- Melakukan koordinasi dengan Manajer Operasional dan Divisi/bagian terkait di lingkungan manajemen pengelola dan dan pelaksanaan kegiatan tugas-tugas pengamanan

- Melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan tugas-tugas pengamanan yang dilakukan anggotanya dan kegiatan pelaksanaan pengamanan secara umum
- Melakukan pembinaan dan pelatihan serta meningkatkan kedisiplinan
- Merencanakan dan menyusun kegiatan keamanan dan pengamanan secara berkala dalam rangka pengembangan sumber daya manusia, demi terciptanya suasana aman, nyaman, tentram, dan dinamis di lingkungan
- Membuat procedure emergency agar penanggulangan berjalan dengan baik
- Mengelola regu kebakaran agar selalu siap bila suatu waktu diperlukan

Upah tenaga kerja disesuaikan dengan golongan tenaga kerja, tergantung kepada kedudukannya dalam struktur organisasi dan lamanya bekerja di perusahaan. Upah yang diterima oleh setiap karyawan terdiri dari :

- a. Gaji pokok
- b. Tunjangan jabatan
- c. Tunjangan kehadiran (transportasi) bagi staf non-shift
- d. Tunjangan kesehatan dengan penyediaan dokter perusahaan dan rumah sakit yang telah ditunjuk oleh perusahaan bagi seluruh karyawan sesuai golongannya.

Sistem pengupahan tersebut dibedakan menjadi :

- a. Upah Bulanan

Diberikan kepada karyawan tetap dimana besarnya gaji berdasarkan pada pendidikan, keahlian, dan kedudukan dalam organisasi

- b. Upah Borongan

Diberikan kepada buruh borongan. Besar upah yang dibayarkan tergantung pada jenis dan banyaknya pekerjaan, biasanya diperlukan pada saat turun mesin.

c. Upah Harian

Upah harian diberikan sesuai dengan jumlah hari dan jam kerja, biasanya untuk pekerja yang dibutuhkan sewaktu-waktu.

Selain gaji rutin, bagi karyawan yang lembur juga diberikan gaji tambahan dengan perhitungan :

1. Lembur hari biasa

Untuk setiap satu jam, besarnya satu setengah kali gaji per jam.

2. Lembur hari Minggu atau libur

Untuk setiap satu jam, besarnya dua kali gaji per jam.

Jika karyawan dipanggil untuk bekerja di pabrik diluar jam kerjanya, juga akan diberi gaji tambahan. Berikut penggolongan gaji karyawan berdasarkan golongan dan jabatan pada tabel 4.1. berikut :

Tabel 4.1 Perincian Jabatan

No.	Jabatan	Jumlah	Jenjang Pendidikan
			Minimum
1	Dewan Komisaris	5	-
2	Direktur	1	S2 - S3
3	Manajer	6	S1 - S2
4	Kepala Bagian	12	S1
5	Sekretaris Direksi	1	S1

Karyawan Shift			
7	Proses		
	Ketua Regu	3	S1
	Anggota Shift	24	D3
8	Utilitas		

Tabel 4.1...(lanjutan)

	Anggota Shift	6	S1
9	Keamanan		
	Ketua Regu Shift	3	SMA/SMU/STM
	Anggota Shift	6	SMA/SMU/STM
10	K3 (HSE)	3	D3
11	Mekanik		
	Ketua Regu	3	S1
	Anggota Shift	6	D3
12	Gudang	6	SMA/SMU/STM
Karyawan Non Shift			
13	R & D dan QC		
	Ketua Laboratorium & QC	1	S1
	Laboratorium	1	D3
14	Promosi & Pemasaran	1	S1
		1	D3
15	Keuangan	2	S1
	Akunting	1	S1
16	Distribusi	1	D3
		1	SMA/SMU/STM
17	Kepegawaian	5	D3
	Rumah Tangga	4	SMA/SMU/STM
18	Dokter	1	S1
19	Perawat	2	D3
20	Supir	2	SMA/SMU/STM
TOTAL		175	

Pabrik direncanakan beroperasi selama 330 hari dalam satu tahun sama dengan waktu kerja 24 jam setiap hari. Untuk hari kerja unit produksi adalah hari Senin sampai hari Minggu. Sisa hari yang bukan hari libur digunakan untuk perbaikan atau perawatan dan *shut down*. Karena proses produksinya berlangsung selama 24 jam dan untuk menjaga kelancaran proses produksi serta mekanisme administrasi dan pemasaran maka waktu kerja karyawan diatur dalam sistem *shift* dan *non-shift*.

Jadwal kerja *shift* yang dilakukan secara bergilir berlaku bagi karyawan pada unit produksi dan pengamanan pabrik adalah hari Senin-Minggu. Pembagian kerja

karyawan dibagi dalam 4 grup yang dipimpin oleh ketuanya masing-masing. Jam kerja *shift* diatur pada Tabel 4.3. sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Pembagian Shift dan Waktu Kerja

Shift	Jam Kerja
I	08.00-16.00
II	16.00-24.00
III	24.00-08.00

Karyawan *shift* terbagi atas 4 kelompok yaitu : A, B, C, dan D dimana jadwal kerja masing-masing kelompok adalah bekerja selama tiga hari berturut-turut pada *shift* yang sama dan setelah itu bergeser ke jam *shift* berikutnya untuk 3 hari selanjutnya. Dari 4 kelompok *shift* maka 3 kelompok *shift* yang bekerja dan 1 kelompok *shift* yang libur. Libur yang disediakan sebanyak 3 hari. Adapun pengaturan grup dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4. 4 Pengaturan Jadwal Kerja Grup

Shift	Hari							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I	A	A	D	D	C	C	B	B
II	B	B	A	A	D	D	C	C
III	C	C	B	B	A	A	D	D
Libur	D	D	C	C	B	B	A	A

*Jadwal hari selanjutnya kembali ke hari pertama

Keterangan : A = Grup Kerja I

B = Grup Kerja II

C = Grup Kerja III

D = Grup Kerja IV

Untuk jadwal kerja non-*shift* berlaku bagi karyawan yang tidak terlibat langsung dalam kegiatan produksi dan pengamanan. Jam kerja ini berlaku bagi karyawan tingkat staf ke atas. Jadwal kerja regular sebagai berikut :

- Senin – Kamis : 08.00 – 17.00 WIB
Istirahat : 12.00 – 13.00 WIB
- Jum'at : 08.00 – 17.00 WIB
Istirahat : 11.00 – 13.00 WIB
- Sabtu dan Minggu : Libur

BAB V

UTILITAS

5.1. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

Pada umumnya untuk memenuhi kebutuhan air suatu pabrik digunakan air sumur, air sungai, air danau, maupun air laut sebagai sumbernya. Air yang digunakan dalam perancangan pabrik trimetilelen ini bersumber dari sungai yang lebih dulu di *treatment*. Unit utilitas didalam sebuah pabrik atas berbagai komponen yang mendukung berbagai kebutuhan operasional. Unit utilitas terdiri dari :

- a. Unit Penyediaan dan Pengolahan Air
- b. Unit Pembangkit *Steam*
- c. Unit Pembangkit Listrik
- d. Unit Penyedia Udara Tekan
- e. Unit Penyedia Bahan Bakar

5.2. Unit Penyedia dan Pengolahan Air

5.1.1 Unit Penyedia Air

Air adalah salah satu komponen penting baik sebagai bahan baku maupun penunjang yang sangat esensial dalam proses produksi. Unit pengadaan dan pengolahan air berperan sebagai penyedia kebutuhan air yang digunakan untuk semua aktivitas di dalam pabrik. Unit ini tidak hanya berperan sebagai penyedia air, tetapi juga melakukan pengolahan air untuk berbagai keperluan seperti proses produksi, pendinginan, sanitasi dan pemadam kebakaran sehingga air tersebut siap untuk digunakan. Di dalam industri

untuk memenuhi kebutuhan air pada umumnya menggunakan air sungai, air sumur, air danau hingga air laut. Dalam perancangan pabrik Trimetiletilen sumber air yang digunakan merupakan sumber air yang berasal dari sungai. Pertimbangan menggunakan sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air yaitu:

- a. Air yang berasal dari sungai memiliki proses pengolahan yang lebih mudah dan sederhana serta biaya pengolahannya lebih terjangkau.
- b. Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya tinggi sehingga persediaan air dapat tercukupi.
- c. Letak sungai berada didekat lokasi pabrik.

Air yang dihasilkan oleh unit utilitas ini dimanfaatkan untuk :

- a. Air Proses

Air proses adalah air yang digunakan secara langsung dalam proses pembuatan produk. Kriteria untuk menggunakan air secara langsung adalah air, harus dalam kondisi yang cukup murni, bebas dari segala pengotor, mineral dan oksigen.

- b. Air Umpan *Boiler* (*Boiler Feed Water*)

Uap atau *steam* dalam pabrik digunakan sebagai media pemanas. Air umpan *boiler* disediakan dengan *excess* 20%. *Excess* merupakan pengganti *steam* yang hilang karena kebocoran transmisi 10% serta faktor keamanan sebesar 20%. Air yang digunakan untuk *boiler* harus memenuhi persyaratan agar air tidak merusak *boiler*. Berikut adalah persyaratan air umpan *boiler*:

Tabel 5. 1 Syarat Air Umpan *Boiler*

Tekanan <i>Boiler</i> (psig)	Padatan total (ppm)	Alkalinitas (ppm)	Padatan tersuspensi	Silika (ppm)
0-300	3500	700	300	125
301-450	3000	600	250	90
451-600	2500	500	150	50
601-750	2000	400	100	35
751-900	1500	300	60	20
901-1000	1250	250	40	8
1001-1500	1000	200	20	2.5
1501-2000	750	150	10	1.0
di atas 2000	500	100	5	0.5

Setiadi, Tjandra. 2007

Berikut adalah prasyarat air umpan *boiler* :

a. Tidak membuih (berbusa)

Busa disebabkan adanya *solid matter*, *suspended matter*, dan kebasaaan yang tinggi. Berikut adalah kesulitan yang dihadapi dengan adanya busa :

- Kesulitan dalam pembacaan tinggi liquid dalam boiler
- Buih dapat menyebabkan percikan yang kuat dan dapat mengakibatkan penempelan padatan yang menyebabkan terjadinya korosi apabila terjadi pemanasan lanjut.

Untuk mengatasi hal-hal berikut maka diperlukan pengontrolan terhadap kandungan lumpur, kerak, dan alkanitas air umpan *boiler*.

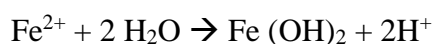
b. Tidak membentuk kerak pada *boiler*

Kerak dalam *boiler* dapat menyebabkan hal-hal berikut :

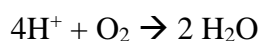
- Isolasi terhadap panas sehingga proses perpindahan panas terhambat.
- Kerak yang terbentuk dapat pecah sehingga dapat menimbulkan kebocoran.

c. Tidak menyebabkan korosi pada pipa

Korosi pada pipa disebabkan oleh pH rendah, minyak dan lemak, bikarbonat, dan bahan organik serta gas-gas H_2S , SO_2 , NH_3 , CO_2 , O_2 , yang terlarut dalam air. Reaksi elektro kimia antar besi dan air akan membentuk lapisan pelindung anti korosi pada permukaan baja.



Jika terdapat oksigen dalam air, maka lapisan hydrogen yang terbentuk akan bereaksi dan membentuk air. Akibat hilangnya lapisan pelindung tersebut maka terjadi korosi menurut reaksi berikut :



Bikarbonat dalam air akan membentuk CO_2 yang bereaksi dengan air karena pemanasan dan tekanan. Reaksi tersebut menghasilkan asam karbonat yang dapat bereaksi dengan metal dan besi membentuk garam bikarbonat. Adanya pemanasan garam bikarbonat menyebabkan pembentukan CO_2 kembali. Berikut adalah reaksi yang terjadi :

c. Air Sanitasi

Air sanitasi adalah air bersih pada pabrik yang digunakan sebagai keperluan laboratorium, kantor, rumah tangga, konsumsi, dan lainnya. Berikut adalah persyaratan yang harus dipenuhi dalam penggunaan sebagai air sanitasi:

a. Syarat fisika

- Air harus bersih dan tidak keruh.
- Tidak berwarna apapun.

- Tidak berasa apapun.
 - Tidak berbau apapun.
 - Suhu antara 10 - 25°C
 - Tidak meninggalkan endapan.
- b. Syarat kimiawi
- Tidak mengandung bahan kimiawi yang mengandung racun.
 - Tidak mengandung zat-zat kimiawi yang berlebihan.
 - Cukup yodium.
 - pH air antara 6,5 – 9,2.
- c. Syarat biologis
- Konduktifitas atau daya hantar.
 - Pesistifitas.
 - PTT atau TDS (kemampuan air bersih untuk menghantarkan arus listrik)
- d. Air Pendingin

Air pendingin dihasilkan oleh menara pendingin (*cooling tower*). Unit air pendingin ini mengolah air dengan proses pendinginan, untuk dapat digunakan sebagai air dalam proses pendinginan pada alat pertukaran panas (*heat exchanger*) dari alat yang membutuhkan pendinginan. Air pendingin pada umumnya air yang digunakan sebagai media pendingin karena:

1. Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar
2. Mudah dalam pengolahan dan pengaturannya.
3. Dapat menyerap jumlah panas yang relative tinggi persatuan volume.

4. Tidak mudah menyusut secara berarti dalam batasan dengan adanya perubahan temperature pendingin.
5. Tidak terdekomposisi

5.1.2 Unit Pengolahan Air

Dalam perancangan pabrik Trimetiletilen sumber air yang digunakan berasal dari air sungai yang berlokasi relative dekat dengan lokasi pabrik. Air sungai yang digunakan dalam lingkungan pabrik harus melekukan proses pengolahan terlebih dahulu untuk memenuhi standar kualitas air yang diinginkan. Adapun tahapan dalam pengolahan air sungai meliputi :

a. Penyaringan Awal

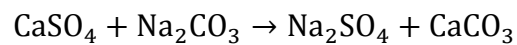
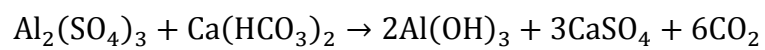
Sebelum melakukan proses pengolahan, air yang berasal dari sungai harus melalui penyaringan awal untuk memisahkan air dengan kotoran yang berukuran besar seperti sampah, ranting, daun dan benda lainnya yang terbawa oleh air. Setelah dilakukan proses penyaringan awal air dialirkan menggunakan pompa PU- menuju bank pengendapan.

b. Bak Pengendapan

Setelah mengalami tahap penyaringan awal, air akan melalui proses sedimentasi. Sedimentasi adalah proses pemisahan partikel kotoran dengan menggunakan gaya gravitasi. Pada proses ini, partikel-partikel kecil yang tidak bisa berhasil tersaring pada tahap penyaringan sebelumnya, seperti lumpur dan pasir akan mengendap pada bagian bawah bak dikarenakan adanya gaya gravitasi.

c. Bak Pencampuran Cepat

Bak pencampuran cepat bertujuan untuk membentuk gumpalan dari koloid yang masih terdispersi dalam larutan dan tidak mengendap di bak pengendapan, dengan menambahkan senyawa kimia. Umumnya flokulan yang biasa digunakan seperti tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Na_2CO_3 . Adapun reaksi yang terjadi pada bak pencampuran cepat adalah :



d. *Clarifier*

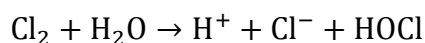
Air hasil dari proses bak pencampuran cepat akan mengalir menuju *clarifier* untuk melakukan pemisahan gumpalan dengan cara sedimentasi. Air yang telah dialirkan menuju *clarifier* dengan aliran yang telah diatur akan diaduk menggunakan pengaduk. Air yang keluar dari *clarifier* akan melalui *overflow* dibagian tepi, sedangkan endapan yang terbentuk akan mengendap secara alami dikarenakan pengaruh gravitasi. Endapan ini akan hilang secara berkala dengan proses *blowdown* sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

e. Bak Penyaringan

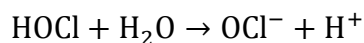
Setelah melalui tahap *clarifier*, air yang dihasilkan akan mengalir ke bak penyaringan yang bertujuan untuk menyaring partikel halus yang masih tersisa dalam air dan belum mengendap. Penyaringan dilakukan dengan menggunakan *sand filter* yang terbuat dari antrasit, pasir dan kerikil sebagai media penyaring.

f. Bak Air Bersih

Air yang telah melewati bak penyaringan selanjutnya dialirkan menuju bak air bersih dengan menggunakan pompa PU- . Pada bak air bersih dilakukan penambahan klorin (Cl_2) sebagai oksidator dan disinfektan. Klorin berperan sebagai oksidator untuk menghilangkan bau dan rasa pada proses pengolahan air bersih. Sementara itu, sebagai disinfektan klorin digunakan untuk membunuh kuman dan mikroorganisme seperti amuba, ganggang, dan mikroba lainnya yang terdapat didalam air, sehingga air tersebut aman untuk dikonsumsi. Dalam proses ini, klorin yang terlarut dalam air akan menghasilkan asam hipoklorit dengan reaksi sebagai berikut :



Kemudian, asam hipoklorit mengalami dekomposisi sesuai dengan reaksi berikut :



g. Tangki Deklorinasi

Tangki deklorinasi bertujuan untuk menghilangkan klorin (Cl_2). Penambahan klorin dalam bentuk gas dapat menurunkan pH air dan menyebabkan pembentukan asam kuat. Klorin juga memiliki sifat yang sangat beracun yang dapat membahayakan Kesehatan. Setelah klorin dihilangkan, air dapat didistribusikan sebagai air untuk pabrik dan lingkungan sekitarnya.

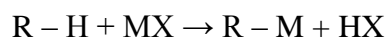
h. Demineralisasi

Demineralisasi merupakan salah satu metode dalam pengolahan air yang bertujuan untuk menghilangkan mineral dari air. Proses demineralisasi khususnya digunakan pada proses pertukaran ion dan eliminasi kontaminan mineral ion hingga mencapai tingkat yang sangat rendah mendekati nol. Proses ini melibatkan penggunaan resin pada penukaran kation (*cation exchanger*) dan penukaran anion (*anion exchanger*).

i. Tangki *Cation Exchanger*

Air yang berasal dari bak air bersih berperan sebagai *make up boiler* yang selanjutnya air dialirkan menuju tangki *cation exchanger*. Air yang dialirkan menuju tangki *cation exchanger* berisi resin yang bermuatan positif sehingga ion positif di dalam air akan bertukar dengan ion positif pada resin. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

Dalam proses tertentu, kation resin akan mencapai titik jenuh sehingga memerlukan proses regenerasi. Regenerasi dilakukan dengan menggunakan *Dowex* dikarenakan resin *Dowex* dapat meningkatkan efisiensi proses regenerasi dan meningkatkan kapasitas yang lebih tinggi serta mengurangi penggunaan jumlah regenerasi. Proses regenerasi *Dowex* melibatkan penggunaan HCl 33% dengan reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Dengan :

R : Resin *Dowex*

R - H : Resin *Dowex* mengikat kation

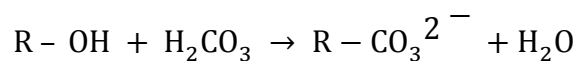
MX : Mineral yang terkandung dalam air

R – M : Resin dalam kondisi mengikat kation

HX : Asam mineral yang terbentuk setelah air melewati resin kation

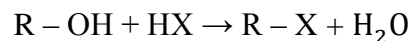
j. Tangki *Anion Exchanger*

Air yang telah melewati tangki *kation exchanger* selanjutnya dialirkan menuju tangki *anion exchanger*. Tangki *anion exchanger* berperan untuk menangkap ion negative (anion) yang terlarut dalam air menggunakan resin yang bersifat basa. Reaksi yang terjadi pada proses adalah sebagai berikut :



terjadi adalah sebagai berikut :

Dalam proses tertentu, kation resin akan mencapai titik jenuh sehingga memerlukan proses regenerasi. Regenerasi dilakukan dengan menggunakan *Dowex* dikarenakan resin *Dowex* dapat meningkatkan efisiensi proses regenerasi dan meningkatkan kapasitas yang lebih tinggi serta mengurangi penggunaan jumlah regenerasi. Proses regenerasi *Dowex* melibatkan penggunaan NaOH 40% dengan reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Dengan :

R : Resin *Dowex*

R – OH : Resin *Dowex* mengikat anion

R – X : Resin dalam kondisi mengikat anion

5.1.3 Kebutuhan Air

Dalam perancangan pabrik kebutuhan air terbagi menjadi beberapa kategori seperti air sebagai media pendingin, air sebagai media *steam*, air untuk kantor dan air untuk lingkungan.

a. Kebutuhan Air Pendingin

Tabel 5. 2 Air Sebagai Media Pendingin

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
<i>Cooler-01</i>	3.019,42
<i>Condensor – 01</i>	5.164,312
<i>Condensor -02</i>	3.079,0138
Total	11.262,74

Kebutuhan air pendingin pada perancangan dibuat *over design* sebesar 20%.

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Pendingin} &= 1,2 \times 11.262,74 \text{ kg/jam} \\ &= 13.515,29 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

b. Kebutuhan Air *Steam*

Tabel 5. 3 Air Sebagai Media Pemanas

Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
<i>Vaporizer-01</i>	32.471,732
<i>Heat Exchanger-02</i>	124,386
<i>Reboiler-01</i>	3.649,183
Kompresor	6.562,052
Total	42.807,354

Kebutuhan air pemanas pada perancangan dibuat *over design* sebesar 20%.

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Steam} &= 1,2 \times 42.807,354 \text{ kg/jam} \\ &= 51.368,83 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

c. Kebutuhan Air Domestik

Kebutuhan air domestic meliputi :

1. Kebutuhan air karyawan

Menurut standar *World Health Organization* (WHO) kebutuhan air setiap orang adalah 100 liter/hari. Sehingga kebutuhan air setiap orang adalah :

Kebutuhan air/orang	= 100 liter/hari
	= 4,167 kg/jam
Jumlah karyawan	= 175 orang
Kebutuhan air semua karyawan	= 729,167 kg/jam

2. Kebutuhan air untuk *mess*

Jumlah <i>mess</i>	= 5 <i>mess</i>
Jumlah penghuni tiap <i>mess</i>	= 40 orang
Kebutuhan air/ orang	= 100 liter/hari
	= 20.000 liter/hari
Jumlah air untuk <i>mess</i>	= 833,333 kg/jam
Kebutuhan total air domestic	= 886,667 kg/jam

d. Kebutuhan air *service water*

Kebutuhan air untuk pemakian umum, meliputi :

Poliklinik	= 62,5 kg/jam
Laboratorium	= 75 kg/jam
Pemadam kebakaran	= 15 kg/jam
Kantin, mushola dan taman	= 5 kg/jam
Total kebutuhan <i>service water</i>	= 157,5 kg/jam

Tabel 5. 4 Total Kebutuhan Air

No.	Keperluan	Jumlah (kg/jam)
1	<i>Domestik Water (Service Water)</i>	886,667
2	<i>Cooling water</i>	13.515,291
3	<i>Steam Water</i>	51.368,825
4	<i>Service Water</i>	157,5
5	Total	65.770,783

5.3. Unit Pembangkit *Steam*

Air dari tangki umpan *boiler* diumpankan menuju *boiler* untuk membangkitkan *steam*. Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan *steam* pada proses produksi yaitu dengan menyediakan *boiler* dengan kebutuhan *steam* sebanyak 51.368,83 kg/jam. *Steam* yang berasal dari *boiler* digunakan sebagai media pemanas yang hasilnya berupa uap dan dimasukkan ke alat *heat exchanger* untuk memanaskan, kemudian hasilnya yang berupa embunan dimasukkan ke dalam tangki kondensat dan diumpankan kembali ke tangki umpan *boiler*.

5.4. Unit Pembangkit Listrik

Kebutuhan listrik pada pabrik pembuatan *trimetiletilen* diperoleh melalui 2 sumber yaitu Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan generator diesel. Generator diesel berfungsi sebagai tenaga cadangan Ketika PLN terjadi gangguan dan untuk menggerakkan alat-alat seperti boiler dan sejumlah pompa.

Generator diesel menggunakan solar dan udara yang ditekan untuk menghasilkan panas. Panas yang dihasilkan digunakan untuk memutar poros engkol sehingga generator dapat menghasilkan energi listrik. Listrik tersebut

didistribusi menggunakan panel. Tenaga listrik digunakan untuk menggerakkan alat proses. Energi listrik dari generator diesel digunakan sebagai sumber energi listrik utama untuk penerangan dan menggerakkan alat proses ketika listrik padam.

Tabel 5. 5 Kebutuhan Listrik Alat Proses

No.	Alat	hp	Watt	kW
1	Pompa (P-01)	0,25	186,43	0,19
2	Pompa (P-02)	0,125	93,21	0,09
3	Pompa (P-03)	0,05	37,29	0,04
4	Pompa (P-04)	0,25	186,43	0,19
5	Pompa (P-05)	1,00	745,70	0,75
6	Pompa (P-06)	0,167	124,53	0,12
8	Kompresor	0,750	559,28	0,56
Total			1.932,85	1,9329

Tabel 5. 6 Kebutuhan Listrik Alat Utilitas

No.	Alat	hp	Watt	kW
1	Pompa (PU-01)	1,50	1.118,55	1,1186
2	Pompa (PU-02)	1,50	1.118,55	1,1186
3	Pompa (PU-03)	1,50	1.118,55	1,1186
4	Pompa (PU-04)	1,50	1.118,55	1,1186
5	Pompa (PU-05)	1,50	1.118,55	1,1186
6	Pompa (PU-06)	1,50	1.118,55	1,1186
7	Pompa (PU-07)	2,00	1.491,40	1,4914
8	Pompa (PU-08)	5,00	3.728,50	3,7285
9	Kompresor	0,1667	124,31	0,1243
10	Tangki NaOH	125,00	93.212,50	93,2125
11	Tangki NaCl	125,00	93.212,50	93,2125
12	Cooling Tower	0,333	248,32	0,2483

Tabel 5.6...(lanjutan)

13	Klarifier	2	1.491,40	1,4914
14	Bak pencampuran cepat	0,75	559,28	0,5593
Total			200.779,50	200,7795

Jumlah kebutuhan listrik untuk alat proses dan utilitas =

$$\begin{aligned} \text{kebutuhan listrik alat proses + alat utilitas} &= 200,7795 + 1,9329 \\ &= 202,712 \end{aligned}$$

Angka keamanan diambil 10% dari total kebutuhan listrik =

$$\begin{aligned} &= 202,712 \times 10\% \\ &= 20,271 \end{aligned}$$

Kebutuhan listrik untuk menggerakkan alat control, kantor, dan penerangan adalah sebagai berikut :

- a. Untuk alat kontrol diperkirakan 25% dari kebutuhan listrik
(sebagai penggerak motor) = 5,0678 kW
- b. Untuk penerangan diperkirakan 15% dari kebutuhan listrik
(sebagai penggerak motor) = 3,0407 kW
- c. Untuk peralatan kantor diperkirakan 15% dari kebutuhan listrik
(sebagai penggerak motor) = 3,0407 kW
- d. Untuk peralatan lainnya sebesar 15% dari kebutuhan listrik
(sebagai penggerak motor) = 3,0407 kW
- e. Kebutuhan listrik perumahan
Setiap rumah membutuhkan listrik = 1000 watt
Jumlah rumah = 15

Kebutuhan listrik perumahan = 15.000 watt = 15 kW

Tabel 5. 7 Total Kebutuhan Listrik

No	Keperluan	Kebutuhan (Kw)
1	Power Plant dan Utilitas	20,2712
2	Alat Kontrol	5,0678
3	Penerangan	3,0407
4	Peralatan Kantor	3,0407
5	Bengkel, Laboratorium	3,0407
6	Perumahan	15
Total		49,46

Kebutuhan listrik di pabrik Trimetiletile ini disuplai oleh PLN sebesar 49,46 Kw, selain itu listrik cadangan dapat dihasilkan dari generator pabrik apabila ada gangguan pasokan listrik dari PLN setempat. Hal ini bertujuan agar pasokan tenaga listrik dapat berlangsung kontinyu meskipun ada gangguan pasokan dari PLN. Energi listrik yang dihasilkan generator berasal dari putaran poros engkol yang digerakkan oleh panas yang dihasilkan dari bahan bakar solar. Spesifikasi generator yang digunakan dalam pabrik ini yaitu :

Jenis = Silinder tegak

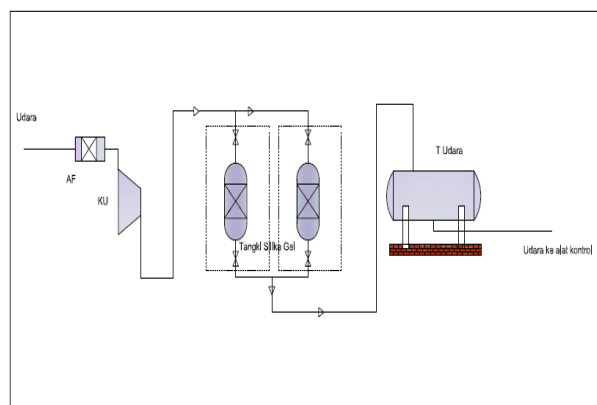
Jumlah solar = 3,194lt/jam

= 0,0032 m³/jam

= 0,0767 m³/hari

5.4 Unit Penyedia Udara Instrumen

Unit udara tekan dalam pabrik Trimetietilen digunakan sebagai penggerak alat pengendali udara. Udara yang digunakan untuk pemakaian alat *pneumatic control* disebut udara tekan. Total udara tekan yang dibutuhkan diperkirakan sebesar $17 \text{ m}^3/\text{jam}$.



Gambar 5. 1 Diagram Unit Penyedia Udara Instrumen

5.5 Unit Penyedia Bahan Bakar

Untuk menghitung jumlah bahan bakar di boiler yang dibutuhkan dengan persamaan berikut:

$$W_m = \frac{Q}{\eta_b \cdot F}$$

$$Q = 14.958.142.803 \quad \text{Kj/Jam}$$

$$E_f/\eta_b = 80\%$$

$$F = 19676$$

$$W_m = 950.278,4358 \text{ lb/Jam}$$

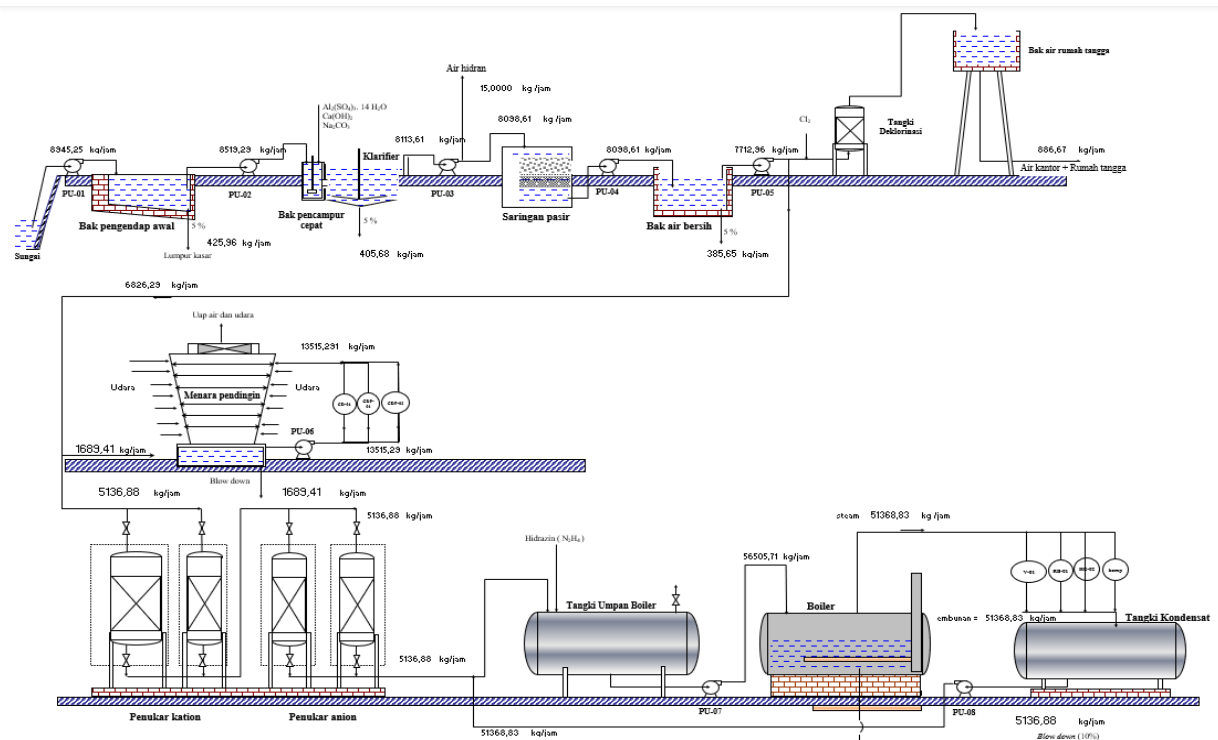
$$= 431.426,4099 \text{ Kg/Jam}$$

Sedangkan kebutuhan bahan bakar di generator yaitu dengan rumus

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= ((\text{Kapasitas}) \times (1 \text{ Btu/jam} / 0.00029307 \text{ Kw})) / \\ &\quad \text{Heat Value} \\ &= 0,489 \text{ gal/Jam} \\ &= 1,851 \text{ L/Jam} \end{aligned}$$

Sehingga unit penyedia bahan bakar dibutuhkan untuk menyimpan bahan bakar yang akan digunakan pada *generator* dan *boiler*. Bahan bakar yang digunakan adalah solar. Keperluan solar dari *boiler* sebanyak 431.426,4100 L/jam dan untuk *generator* sebanyak 1,851 L/jam. Total untuk unit penyedia bahan bakar yaitu sebanyak 431.428,261 L/Jam.

5.6 Diagram Uraian Proses Utilitas



Gambar 5. 2 Diagram Utilitas

5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

a. Screener

Tabel 5. 8 Spesifikasi Screener

SCREENER		
Fungsi	Menyaring kotoran besar yang masuk	
Bahan	Aluminium	
Spesifikasi :		
Lubang saringan	1	cm
Panjang	3,048	m
Lebar	2,438	m
Jumlah Air	8.945,2535	kg/jam

b. Bak Pengendap Awal

Tabel 5. 9 Spesifikasi Bak Pengendap Awal

BAK PENGENDAP AWAL		
Fungsi	Mengendapkan kotoran kasar yang terbawa oleh air sungai	
Kapasitas	261,742	M ³
Bentuk	Bak persegi panjang	
Dimensi		
Panjang (P)	14,01	m
Lebar (L)	4,67	m
Tinggi (H)	4	m
Bahan konstruksi	Beton bertulang	
Jumlah	1	unit

c. Bak Pencampur Cepat

Tabel 5. 10 Spesifikasi Bak Pencampur Cepat

BAK PENCAMPUR CEPAT		
----------------------------	--	--

Tabel 5.10...(lanjutan)

Fungsi	Mencampur bahan kimia penggumpal dan pengurangan kesadahan	
Kapasitas	0,1731	M ³
Bentuk	Bak silinder tegak dengan pengaduk	
	Dimensi tangki	
Diameter	0,6042	m
Tinggi	1,2083	m
Tinggi cairan	0,5035	m
	Sistem pengaduk	
Jenis	Flat blade turbin	
Jumlah blade	6	buah
Kec putaran	309,8952	rpm
Diameter impeller	0,214	m
Power motor	0,75	hp
Efisiensi motor	80%	
Bahan	Carbon steel	
Jumlah	1	unit

d. Klarifier

Tabel 5. 11 Spesifikasi Klarifier

KLARIFIER		
	Menggumpalkan dan mengendapkan kotoran koloid yang terbawa oleh air	
Fungsi		
Bentuk	Bak silinder tegak dengan bentuk bawah kerucut	
Kapasitas	18,3739	M ³
Waktu tinggal	5	jam

Tabel 5.11...(lanjutan)

Dimensi		
Diameter silinder		3,21 m
Tinggi silinder		1,61 m
Tinggi conis		2 m
Tinggi total klarifier		3,61 m
Diameter pipa umpan		0,48 m
Bahan konstruksi	Carbon steel	
Jumlah		1 unit
Penggaruk		
Jenis penggaruk	Rake	
Kecepatan putar		0,03 rpm
Daya		2 hp

e. Saringan Pasir

Tabel 5. 12 Spesifikasi Saringan Pasir

SARINGAN PASIR		
Fungsi	Menyaring kotoran yang terbawa dari klarifier	
Jenis	Bak persegi panjang	
Bahan	Carbon Steel	
Spesifikasi		
Luas aliran	1,3464	M ²
Panjang	2,3207	m
Lebar	1,1603	m
Tinggi tumpukan	1,2192	m

f. Bak Air Bersih

Tabel 5. 13 Spesifikasi Bak Air Bersih

BAK AIR BERSIH		
-----------------------	--	--

Tabel 5.13...(lanjutan)

Fungsi	Menampung air bersih dari saringan pasir		
Kapasitas	78,989519		M ³
Bentuk	Bak persegi panjang		
Dimensi			
Panjang (P)	7,70		m
Lebar (L)	2,57		m
Tinggi (H)	4		m
Bahan konstruksi	Beton bertulang		
Jumlah	1		unit

g. Bak Air Minum

Tabel 5. 14 Spesifikasi Bak Air Minum

BAK AIR MINUM			
Fungsi	Menampung air untuk kantor dan lingkungannya		
Kapasitas	25,944225		M ³
Bentuk	Bak persegi panjang		
Dimensi			
Panjang (P)	4,41		m
Lebar (L)	1,47		m
Tinggi (H)	4		m
Bahan konstruksi	Beton bertulang		
Jumlah	1		unit

h. Menara Pendingin

Tabel 5. 15 Spesifikasi Menara Pendingin

MENARA PENDINGIN			
Fungsi	Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai pendingin		
Jenis	Counter flow induced draft cooling tower		
Kapasitas	2,0597		M ³ /hari
Kondisi operasi			
Suhu	Suhu masuk	125	C
	Suhu keluar	25	C

Tabel 5.15...(lanjutan)

Tekanan	1	atm
Dimensi		
Tinggi	10,67	m
Panjang	8,90	m
Diameter	1,67	m
Luas	8,58	m ²
Bahan konstruksi	Stainles stell	
Jumlah	1	unit
Spesifikasi motor		
daya motor fan	0,3	hp

i. Tangki Kation

Tabel 5. 16 Spesifikasi Tangki Kation

TANGKI KATION		
Fungsi	Menghilangkan mineral (ion negatif) yang masih terkandung di dalam air	
Jenis	Tangki silinder tegak	
Bahan konstruksi	Carbon steel	
Kapasitas resin	898,0720	M ³
Jumlah	2	
Dimensi		
Tinggi	9,84	m
Diameter	13,4923,62	m

j. Tangki NaCl

Tabel 5. 17 Spesifikasi Tangki NaCl

TANGKI NAACL		
---------------------	--	--

Tabel 5.17...(lanjutan)

Fungsi	Melarutkan NaCl sebagai umpan regenerasi penukar kation	
Kapasitas	54,3147	M ³
Bentuk	Tangki silinder tegak dengan pengaduk	
Dimensi tangka		
Diameter	4,1046	m
Tinggi	9,8512	m
Tinggi cairan	4,1067	m
Sistem pengaduk		
Jenis	Flat blade turbin	
Jumlah blade	6	buah
Kec putaran	48,4793	rpm

Tabel 5.17 (lanjutan)

Diameter impeller	1,3682	m
Power motor	125	hp
Efisiensi motor	80%	
Bahan	Carbon Steel	
Jumlah	1	unit

k. Tangki Anion

Tabel 5. 18 Spesifikasi Tangki Anion

TANGKI ANION		
Fungsi	Menghilangkan mineral (ion negatif) yang masih terkandung di dalam air	
Jenis	Tangki silinder tegak	
Bahan konstruksi	Carbon steel	
Kapasitas resin	287,3830	M ³
Jumlah	2	

Tabel 5.19...(lanjutan)

Dimensi		
Tinggi	6,73	m
Diameter	16,15	m

1. Tangki NaOH

Tabel 5. 89 Spesifikasi Tangki NaOH

TANGKI NAOH		
Fungsi	Melarutkan NaOH untuk regenerasi penukar kation	
Kapasitas	17,3807	M ³
Bentuk	Tangki silinder tegak dengan pengaduk	
Dimensi tangki		
Diameter	2,8075	m
Tinggi	6,7381	m
Tinggi cairan	2,8090	m
Sistem pengaduk		
Jenis	Flat blade turbin	
Jumlah blade	6	buah
Kec putaran	70,8772	rpm
Diameter impeller	0,9358	m
Power motor	125	hp
Efisiensi motor	80%	
Bahan	Carbon Steel	
Jumlah	1	unit

m. Tangki Umpan *Boiler*Tabel 5. 20 Spesifikasi Tangki Umpan *Boiler*

TANGKI UMPAN BOILER		
Fungsi	Menyimpan air umpan boiler	

Tabel 5.20...(lanjutan)

Kapasitas	12.328,51805	M ³
Bentuk	Tangki silinder horizontal dilengkapi dengan dearator	
Dimensi		
Panjang (L)	52,09	m
Diameter (D)	17,36	m
Bahan konstruksi	Carbon steel	
Jumlah	1	unit

n. *Boiler*Tabel 5. 21 Spesifikasi *Boiler*

BOILER		
Fungsi	Membuat steam jenuh	
Jenis	Boiler lorong api	
Bahan	Stainless Steel	
Spesifikasi		
ID	0,073	m
OD	0,063	m
a"	0,005	M ² /m
L	7,32	m
A	16,33	m ²
Jumlah Pipa	486	

o. Tangki Kondensat

Tabel 5. 22 Spesifikasi Tangki Kondensat

TANGKI KONDENSAT		
Fungsi	Menyimpan NaCl untuk regenerasi penukar kation	
Kapasitas	493.140.722	M ³

Tabel 5.22...(lanjutan)

Bentuk	Tangki silinder horizontal dilengkapi dengan dearator	
Dimensi		
Panjang (L)	178,15	m
Diameter (D)	59,38	m
Bahan konstruksi	Carbon steel	
Jumlah	1	unit

p. Unit Udara Tekan

Tabel 5. 23 Spesifikasi Unit Udara Tekan

UNIT UDARA TEKAN					
Jenis	Kompressor Sentrifugal				
Tugas	Menekan udara sebanyak jumlah yang ditentukan dan mengubah tekanan menjadi yang diinginkan				
	Spesifikasi:				
Volume	0,0280		kmol/jam		
Jumlah Stage	3				
Daya Penggerak	0,1667		hp		
Suhu	177,68		°C		
Tangki Silika			Tangki Udara Tekan		
Jenis	Silinder Tegak		Jenis	Silinder Horizontal	
Tugas	Menghilangkan uap air yang masih terkandung dalam udara		Tugas	Menampung udara tekan selama 2 jam	
	Spesifikasi:			Spesifikasi:	
Volume	0,1693	M ³	Volume	0,504	M ³
Diameter	0,6373	M	Diameter	0,598154	m
Tinggi	1,2746	M	Panjang	1,794463	m

q. Pompa Utilitas

Tabel 5. 24 Spesifikasi Pompa Utilitas

Kode :	PU-01			
Fungsi :	Mengalirkan air sungai menuju bak pengendap awal			
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>			
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			
Spesifikasi Pompa				
Kapasitas :	46,233	gal/min		
Rate Volumetrik :	0,1030	ft ³ /s	0,002916874	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	3,0967	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	2,469	in	0,0627 m
	OD	2,88	in	0,0732 m
	IPS	2,5	in	0,0635 m
	Flow Area	4,79	in ²	0,0031 m ²
Efisiensi pompa	72%			
Power Pompa	0,7282	HP	543,0215	Watt
Power Motor	1,50	HP	1.118,5498	Watt

Tabel 5. 25 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 2

Kode :	PU-02			
Fungsi :	Mengalirkan air dari bak pengendap awal menuju bak klarifier			
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>			
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			
Spesifikasi Pompa				
Kapasitas :	44,0317	gal/min		

Tabel 5.25...(lanjutan)				
Rate Volumetrik :	0,0981	ft ³ /s	0,0022777975	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	2,9492	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	2,4/69	in	0,0627 m
	OD	2,88	in	0,0732 m
	IPS	2,5	in	0,0635 m
	Flow Area	4,79	in ²	0,0031 m ²
Efisiensi pompa			9%	
Power Pompa	0,1767	HP	131,7839	Watt
Power Motor	1,50	HP	1.118,5498	Watt

Tabel 5. 26 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 3

Kode :	PU-03			
Fungsi :	Mengalirkan air dari klarifier menuju saringan pasir			
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>			
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			

Spesifikasi Pompa

Kapasitas :	6,9892	gal/min		
Rate Volumetrik :	0,0156	ft ³ /s	0,00044069	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	1,0992	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	1,61	in	0,0409 m
	OD	1,66	in	0,0422 m
	IPS	1,25	in	0,0318 m
	Flow Area	2,04	in ²	0,0013 m ²
Efisiensi pompa			8%	
Power Pompa	0,0899	HP	67,0422	Watt
Power Motor	1,5	HP	118,5948	Watt

Tabel 5. 27 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 4

Kode :	PU-04			
--------	-------	--	--	--

Tabel 5.27...(lanjutan)

Fungsi :	Mengalirkan air dari saringan pasir menuju bak air bersih			
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>			
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			
Spesifikasi Pompa				
Kapasitas :	6,9762	gal/min		
Rate Volumetrik :	0,0155	ft ³ /s	0,000438987	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	1,4921	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	1,38	in	0,0351 m
	OD	1,66	in	0,0422 m
	IPS	1,25	in	0,0318 m
	Flow Area	1,5	in ²	0,0010 m ²
Efisiensi pompa	20%			
Power Pompa	0,2460	HP	183,4665	Watt
Power Motor	1,5	HP	1.118,5498	Watt

Tabel 5. 28 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 5

Kode :	PU-05			
Fungsi :	Mengalirkan air dari bak air bersih menuju bak air minum			
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>			
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			
Spesifikasi Pompa				
Kapasitas :	6,6440	gal/min		
Rate Volumetrik :	0,0148	ft ³ /s	0,000418925	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	1,4211	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	1,38	in	0,0351 m
	OD	1,66	in	0,0422 m

Tabel 5.28...(lanjutan)

	IPS	1,25	in	0,0318	m
	Flow Area	1,5	in ²	0,0010	m ²
Efisiensi pompa				10%	
Power Pompa	0,1267	HP	94,4981	Watt	
Power Motor	1,5	HP	1.118,5498	Watt	

Tabel 5. 29 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 6

Kode :	PU-06				
Fungsi :	Mengalirkan air dari bak air bersih menuju cooling tower				
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>				
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>				
Jumlah :	1	buah			
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>				

Spesifikasi Pompa

Kapasitas :	11,6422	gal/min			
Rate Volumetrik :	0,0259	ft ³ /s	0,00073408	m ³ /s	
Kecepatan Aliran :	1,8310	ft/s			
Ukuran Pipa	ID	1,61	in	0,0409	m
	OD	1,9	in	0,0483	m
	IPS	1,5	in	0,0381	m
	Flow Area	2,04	in ²	0,0013	m ²
Efisiensi pompa				80%	
Power Pompa	1,0223	HP	762,3622	Watt	
Power Motor	1,5	HP	1.118,5498	Watt	

Tabel 5. 30 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 7

Kode :	PU-07				
Fungsi :	Mengalirkan air dari tangki umpan boiler menuju boiler				
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>				

Tabel 5.30...(lanjutan)

Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			
Spesifikasi Pompa				
Kapasitas :	48,6747	gal/min		
Rate Volumetrik :	0,1084	ft ³ /s	0,00306908	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	3,2602	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	2,469	in	0,0627 m
	OD	2,88	in	0,0732 m
	IPS	2,5	in	0,0635 m
	Flow Area	4,97	in ²	0,0031 m ²
Efisiensi pompa	81%			
Power Pompa	1,4606	HP	1.089.1324	Watt
Power Motor	2	HP	1.491,3997	Watt

Tabel 5. 31 Lanjutan Spesifikasi Pompa Utilitas 8

Kode :	PU-08			
Mengalirkan air dari tangki kondensat menuju tangki umpan				
Fungsi :	boiler			
Jenis :	<i>Centrifugal pump</i>			
Impeller :	<i>Radial Flow Impellers</i>			
Jumlah :	1	buah		
Bahan Konstruksi :	<i>Carbon Stell SA-283 Grade C</i>			
Spesifikasi Pompa				
Kapasitas :	44,2497	gal/min		
Rate Volumetrik :	0,0986	ft ³ /s	0,002790069	m ³ /s
Kecepatan Aliran :	2,9638	ft/s		
Ukuran Pipa	ID	2,469	in	0,0627 m
	OD	2,88	in	0,0732 m
	IPS	2,5	in	0,0635 m

Tabel 5.31...(lanjutan)

	Flow Area	4,79	in ²	0,0031	m ²
Efisiensi pompa			80%		
Power Pompa	3,6412	HP	2.715,2668	Watt	
Power Motor	5	HP	3.728,4994	Watt	

BAB VI

EVALUASI EKONOMI

Untuk mengetahui apakah pabrik yang didirikan layak atau tidak untuk didirikan dari segi ekonomi, maka diperlukan evaluasi ekonomi. Salah satu bagian penting dari perancangan pabrik ini adalah estimasi harga dari alat – alat yang akan digunakan dalam kebutuhan pabrik, karena harga tersebut dipakai sebagai dasar untuk estimasi evaluasi ekonomi tentang kelayakan investasi modal dalam suatu kegiatan produksi suatu pabrik dengan meninjau kebutuhan modal investasi dapat dikembalikan dan terjadinya titik impas.

Untuk itu pada perancangan pabrik *Trimetiletilen* ini, terdapat beberapa faktor-faktor yang ditinjau dalam menghitung evaluasi ekonomi meliputi:

- a. Modal (*Capital Investment*)
 1. Modal tetap (*Fixed Capital Cost*)
 2. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
- b. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)
 1. Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
 2. Biaya produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
 3. Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
- c. Pengeluaran Umum (*General Cost*)

d. Analisa Kelayakan Ekonomi

1. *Percent return on invesment (ROI)*
2. *Pay out time (POT)*
3. *Break event point (BEP)*
4. *Discounted cash flow (DCF)*

6.1 Penaksiran Harga Alat

Harga peralatan proses pada tiap alat dipengaruhi oleh kondisi ekonomi yang sedang terjadi. Harga peralatan setiap tahun akan berbeda, harga dapat mengalami kenaikan atau penurunan tergantung dengan kondisi ekonomi, sehingga akan sulit untuk menentukan harga peralatan secara pasti. Untuk memperkirakan harga peralatan dapat dilakukan dengan mengetahui harga indeks peralatan operasi pada tahun tersebut.

Analisa harga alat dilakukan pada tahun 2024 untuk pembelian alat pada tahun pembangunan yaitu 2026. Dalam analisa ekonomi harga-harga alat maupun harga-harga kebutuhan pabrik lainnya diperhitungkan pada tahun analisa. Berikut adalah indeks harga yang di dalam teknik kimia disebut CEP indeks atau *Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)*.

Tabel 6. 1 Indeks Harga Alat pada Tahun 2000 – 2022

No	(Xi)	Indeks (Yi)
1	2000	394,1
2	2001	394,3
3	2002	395,6
4	2003	402
5	2004	444,2
6	2005	468,2
7	2006	499,6
8	2007	525,4
9	2008	575,4
10	2009	521,9
11	2010	550,8
12	2011	585,7
13	2012	584,6
14	2013	567,3
15	2014	576,1
16	2015	556,8
17	2016	541,7
18	2017	567,5
19	2018	607,022
20	2019	617,801
21	2020	628,58
22	2021	639,359
23	2022	650,138

Dari regresi linear, diperoleh nilai index berikut :

Tabel 6. 2 Nilai Index Harga Alat

Tahun	Index
2023	668,565
2024	679,720
2025	690,875
2026	702,030
2027	713,185

Untuk memperkirakan harga alat, ada dua persamaan pendekatan yang dapat digunakan. Harga alat pada tahun pabrik didirikan dapat ditentukan berdasarkan harga pada tahun referensi dikalikan dengan rasio indks harga (Aries & Newton, 1955).

$$Cx = Cy \frac{Nx}{Ny}$$

(6.1)

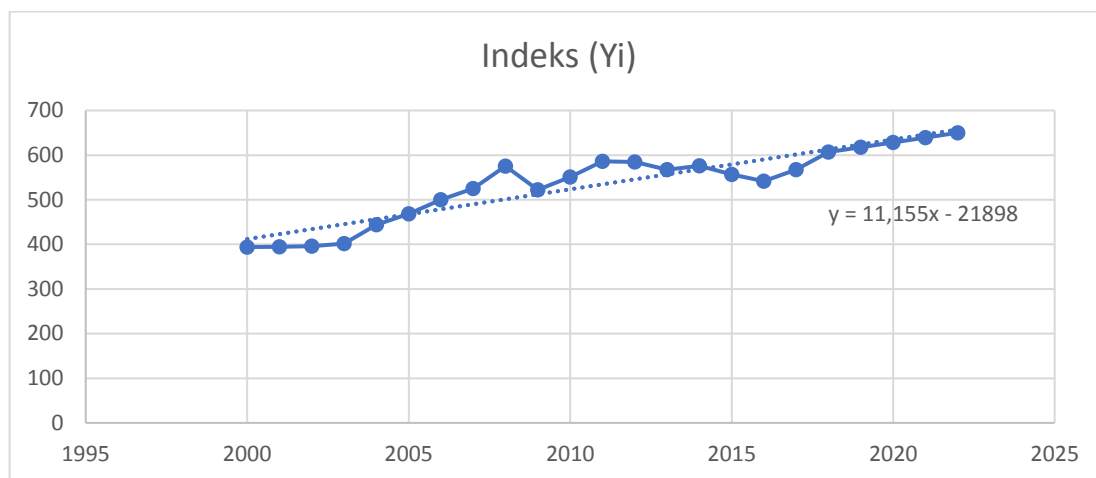
Dimana :

Ex : Harga pembelian pada tahun 2026

Ey : Harga pembelian pada tahun referensi 2014

Nx : Index harga pada tahun 2026

Ny : Index harga pada tahun referensi 2014



Gambar 6. 1 Grafik Regresi Linear

Persamaan yang diperoleh dari grafik yang tertera adalah $y = 11,155x - 21898$.

Dengan menggunakan persamaan diatas dapat dicari nilai CEP Indeks pada tahun referensi dan perancangan, sehingga nilai CEP Indeks pada tahun referensi 2014 adalah 576,10. Sementara nilai CEP Indeks pada tahun perancangan 2026 sebesar 702,03. Berdasarkan nilai CEP indeks tersebut, dapat ditentukan harga alat proses dan alat utilitas sebagai berikut :

Tabel 6. 3 Harga Alat Proses

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	CY	CX
				2014	2026	2014	2026
1	Tangki Metilbuten	T-01	1	576,10	702,03	294.900	\$359.362,35
2	Tangki Trimetiletilen	T-02	1	576,10	702,03	292.200	\$356.072,15
3	Tangki Penyimpanan Sementara	T-03	1	576,10	702,03	4.800	\$5.849,23
4	Akumulator	T-01	2	576,10	702,03	37.300	\$90.906,85
5	Reaktor-01	R-01	1	576,10	702,03	361.300	\$440.276,76
6	Menara Distilasi-01	D-01	1	576,10	702,03	497.900	\$606.736,22
7	Vaporizer 1	V-01	1	576,10	702,03	219.400	\$267.358,76
8	Separator 1	SP-01	1	576,10	702,03	55.100	\$67.144,34
9	Condensor-01	CD-01	1	576,10	702,03	24.500	\$29.855,47
10	Condensor-02	CD-02	1	576,10	702,03	98.400	\$119.909,31
11	Cooler-01	CL-01	1	576,10	702,03	5.300	\$6.458,53
12	Reboiler-01	RB-01	1	576,10	702,03	17.400	\$21.203,48
13	HE	HE-01	1	576,10	702,03	1.100	\$1.340,45
14	Kompresor	C-01	1	576,10	702,03	2.000	\$2.437,18
15	Expansion Valve	EV-01	1	576,10	702,03	15.000	\$18.278,86
16	Pompa-01	P-01	1	576,10	702,03	4.500	\$5.483,66
17	Pompa-02	P-02	1	576,10	702,03	4.500	\$5.483,66
18	Pompa-03	P-03	1	576,10	702,03	4.100	\$4.996,22
19	Pompa-04	P-04	1	576,10	702,03	4.500	\$5.483,66
20	Pompa-05	P-05	1	576,10	702,03	2.500	\$3.046,48
21	Pompa-06	P-06	1	576,10	702,03	4.500	\$5.483,66
TOTAL							\$2.423.167,25

Tabel 6. 4 Harga Alat Utilitas

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	NY	NX	CY	CX
				2014	2026	2014	2026
1	Screening	FU-01	1	576,10	702,03	26800	\$ 32.658
2	Bak Pengendapan Awal	BU-01	1	576,10	702,03	31600	\$ 38.507
3	Bak Klarifier	BU-02	1	576,10	702,03	5200	\$ 6.337
4	Bak Pencampur cepat	TU-01	1	576,10	702,03	1100	\$ 1.340
5	Saringan Pasir	BU-03	1	576,10	702,03	5800	\$ 7.068
6	Bak Air bersih	BU-04	1	576,10	702,03	14000	\$ 17.060
7	Bak Air Rumah Tangga	SF-01	1	576,10	702,03	6600	\$ 8.043
8	Bak Air Pendingin	BU-05	1	576,10	702,03	22.200	\$ 27.053
9	Menara Pendingin	TU-02	1	576,10	702,03	22.200	\$ 27.053
10	Blower Menara Pendingin	TU-03	1	576,10	702,03	13.100	\$ 15.964
11	Mixed Bed	TU-04	1	576,10	702,03	146.500	\$ 178.524
12	Boiler	TU-05	1	576,10	702,03	259.100	\$ 315.737
13	Tangki Dearator	BU-06	1	576,10	702,03	48.700	\$ 59.345
14	Tangki Air Service	CT-01	1	576,10	702,03	40.400	\$ 49.231
15	Tangki Silika	BL-01	1	576,10	702,03	1.200	\$ 1.462
16	Tangki Udara Tekan	MB-01	1	576,10	702,03	2.300	\$ 2.803
17	Tangki Penukar Kation	TU-06	1	576,10	702,03	155.000	\$ 188.882
18	Tangki Penukar Anion	TU-07	1	576,10	702,03	79.700	\$ 97.122
19	Tangki NaOH	DE-01	1	576,10	702,03	14.900	\$ 18.157
20	Tangki NaCl	TU-08	1	576,10	702,03	27.000	\$ 32.902
21	Tangki Umpan Boiler	BO-01	1	576,10	702,03	46.000	\$ 56.055
22	Tangki N2H4	PU-01	1	576,10	702,03	10.600	\$ 12.917
23	Tangki Deklorinasi	PU-02	1	576,10	702,03	2.700	\$ 3.290
24	Tangki air hidran	PU-03	1	576,10	702,03	14.000	\$ 17.060
25	Tangki Bahan Bakar Boiler	PU-04	1	576,10	702,03	11.300	\$ 13.770
26	Tangki Bahan Bakar Generator	PU-05	1	576,10	702,03	3.400	\$ 4.143
27	Tangki Dowtherm	PU-06	1	576,10	702,03	13.100	\$ 15.964
28	Generator	PU-07	1	576,10	702,03	19.697	\$ 24.003
29	Pompa 1	PU-08	1	576,10	702,03	4.100	\$ 4.996
30	Pompa 2	PU-09	1	576,10	702,03	4.100	\$ 4.996
31	Pompa 3	PU-10	1	576,10	702,03	2.500	\$ 3.046
32	Pompa 4	PU-11	1	576,10	702,03	2.500	\$ 3.046
33	Pompa 5	PU-12	1	576,10	702,03	2.500	\$ 3.046
34	Pompa 6	PU-13	1	576,10	702,03	2.500	\$ 3.046
35	Pompa 7	PU-14	1	576,10	702,03	4.100	\$ 4.996
36	Pompa 8	PU-15	1	576,10	702,03	4.100	\$ 4.996
37	Kompresor	PU-16	1	576,10	702,03	53.500	\$ 65.195
TOTAL							\$1.369.814

6.2 Dasar Perhitungan

Kapasitas produksi : 45.000Ton / Tahun

Pabrik beroperasi : 330 hari kerja / 7920 jam

Umur alat : 10 Tahun

Kurs mata uang : 1 \$ = Rp 15.473,830(6 Februari 2024)

Tahun pabrik didirikan : 2026

UMR Kota Cilegon : Rp 4.822.554,35 (tahun 2026)

Kenaikan harga bahan baku & produk : 10% per tahun

6.3 Komponen Biaya

a. Modal (*Capital Investment*)

Capital investment adalah total biaya untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik beserta kelengkapannya dan untuk mengoperasikan pabrik.

Capital investment terdiri dari

1. *Fixed Capital Investment*

Fixed Capital Investment adalah biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas-fasilitas pabrik.

Tabel 6. 4 *Physical Plant Cost (PPC)*

No	Jenis	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Purchased Equipment cost	Rp 59.695.076.090	\$ 3,792,981
2	Delivered Equipment Cost	Rp 14.923.769.022	\$ 948,245
3	Instalasi cost	Rp 10.404.245.302	\$ 661,078
4	Pemipaan	Rp 33.688.028.425	\$ 2,140,512
5	Instrumentasi	Rp 15.046.403.311	\$ 956,037
6	Insulasi	Rp 2.390.506.490	\$ 151,891
7	Listrik	Rp 5.969.507.609	\$ 379,298
8	Bangunan	Rp 45.000.000.000	\$ 2,859,266
9	Land & Yard Improvement	Rp 80.000.000.000	\$ 5,083,141
Physical Plant Cost (PPC)		Rp 267.117.536.253	\$ 16,972,451

Tabel 6. 5 *Direct Plant Cost (DPC)*

No	Komponen	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	<i>Engineering and Construction</i>	Rp 57.423.507.250	\$ 3,648,647
Total DPC + PPC		Rp 320.541.043.504	\$ 20,366,942

Tabel 6. 6 Fixed Capital Investment (FCI)

No	Fixed Capital	Biaya, \$	Biaya, Rp
1	Direct Plant Cost	\$ 20.366.942	Rp 320,541,043,504
2	Cotractor's fee	\$ 814.677	Rp 12,821,641,740
3	Contingency	\$ 2.036.694	Rp 32,054,104,350
	Jumlah	\$ 23.218.313	Rp 365,416,789,594

2. Working Capital Investment

Working capital investment yaitu biaya yang diperlukan untuk menjalankan suatu pabrik selama waktu tertentu. Ada beberapa sumber modal yang bisa didapatkan dalam pendirian suatu pabrik yaitu dengan pinjaman dari bank, uang pribadi atau bekerja sama dengan berbagai pihak investor. Tujuan akhir dari penanaman modal adalah mendapatkan keuntungan dari modal yang sudah ditanam.

Tabel 6. 7 Working Capital Investment (WCI)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	Rp 23.065.961.346	\$ 1,465,594
2	<i>Inproses Onventory</i>	Rp 297.210.976.695	\$ 18,884,566
3	<i>Product Inventory</i>	Rp 216.153.437.596	\$ 13,734,230
4	<i>Extended Credit</i>	Rp 251.097.422.727	\$ 15,954,545
5	<i>Available Cash</i>	Rp 216.153.437.596	\$ 13,734,230
	<i>Working Capital (WC)</i>	Rp 1.003.681.235.961	\$ 63,773,167

b. Biaya Produksi (*Manufacturing Cost*)

Manufacturing cost adalah biaya yang dibutuhkan untuk melakukan produksi suatu produk, *Manufacturing cost* merupakan jumlah dari *Direct*

Cost. Indirect Cost, Fixed Cost yang selalu berkaitan dengan pembuatan suatu produk. *Manufacturing Cost* antara lain :

1. *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

Direct Manufacturing cost atau biaya langsung adalah biaya pengeluaran yang masih berkaitan langsung dalam pembuatan produk yang berhubungan dengan memproduksi suatu produk dalam pabrik.

Tabel 6. 8 *Direct Manufacturing Cost (DMC)*

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Raw Material	Rp 253.725.574.806	\$ 16,121,536
2	Labor	Rp 17.730.000.000	\$ 1,126,551
3	Supervision	Rp 1.773.000.000	\$ 112,655
4	Maintenance	Rp 36.541.678.959	\$ 2,321,831
5	Plant Supplies	Rp 5.481.251.843	\$ 348,274
6	Royalty and Patents	Rp 55.241.433.000	\$ 3,510,000
7	Utilities	Rp 1.808.289.609.804	\$ 114,897,391
	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	Rp 2.178.782.548.413	\$ 138,438,239

2. *Indirect Manufacturing Cost (IMC)*

Indirect Manufacturing Cost atau biaya tidak langsung adalah biaya-biaya yang tidak ikut terkait langsung oleh unit produksi dalam pabrik.

Tabel 6. 9 Indirect Manufacturing Cost (IMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Payroll Overhead</i>	Rp 2.659.500.000	\$ 168,982
2	<i>Laboratory</i>	Rp 1.773.000.000	\$ 112,655
3	<i>Plant Overhead</i>	Rp 8.865.000.000	\$ 563,275
4	<i>Packaging and Shipping</i>	Rp 138.103.582.500	\$ 8,775,000
	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	Rp 151.401.082.500	\$ 9,619,913

3. Fixed Manufacturing Cost (FMC)

Fixed Manufacturing Cost atau biaya tetap adalah biaya yang dikeluarkan oleh pabrik pada saat kondisi operasi maupun tidak. Pengeluaran yang bersifat konstan atau tetap yang tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

Tabel 6. 10 Fixed Manufacturing Cost (FMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depreciation</i>	Rp 33.618.344.642	\$ 2,136,084
2	<i>Propertu taxes</i>	Rp 7.308.335.791	\$ 464,366
3	<i>Insurance</i>	Rp 3.654.167.895	\$ 232,183
	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	Rp 44.580.848.330	\$ 2,832,634

Tabel 6. 11 Total Manufacturing Cost

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	Rp 2.178.782.548.413	\$ 138,438,239
2	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	Rp 151.401.082.500	\$ 9,619,913
3	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	Rp 44.580.848.330	\$ 2,832,634
	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	Rp 2.377.687.813.561	\$ 151,076,533

c. Pengeluaran Umum (*General Expenses*)

General Expenses atau disebut pengeluaran umum terdiri dari pengeluaran-pengeluaran yang berhubungan dengan fungsi dari perusahaan yang tidak termasuk oleh Manufacturing cost. Biaya yang harus dikeluarkan guna untuk kepentingan dalam kelancaran jalannya perusahaan secara keseluruhan.

Tabel 6. 12 General Expense (GE)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Administration</i>	Rp 55.241.433.000	\$ 3,510,000
2	<i>Sales Expense</i>	Rp 82.862.149.500	\$ 5,265,000
3	<i>Research</i>	Rp 55.241.433.000	\$ 3,510,000
4	<i>Finance</i>	Rp 27.381.960.511	\$ 1,739,829
	<i>General Expenses(GE)</i>	Rp 220.726.976.011	\$ 14,024,829

Tabel 6. 13 Total Production Cost

No	Komponen	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	Rp 2.377.687.813.561	\$ 151,076,533
2	<i>General Expenses (GE)</i>	Rp 220.726.976.011	\$ 14,024,829
	<i>Total Production Cost (TPC)</i>	Rp 2.598.414.789.572	\$ 165,101,363

6.4 Analisa Keuntungan

a. Keuntungan Sebelum Pajak

Total penjualan : Rp 2.762.071.650.000

Total production cost : Rp 2.595.473.516.613

Keuntungan Sebelum Pajak : Total Penjualan – Total biaya produksi

: Rp 166.598.133.386

b. Keuntungan Sesudah Pajak

Pajak 22% dari keuntungan : Rp 36.651.589.345

Keuntungan : Keuntungan Sebelum Pajak – Pajak

: Rp 129.946.544.041

6.5 Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan berfungsi untuk mengetahui laba yang didapatkan agar mendapatkan keuntungan maksimum dan bisa melihat hasil keuntungan kecil atau besar, agar bisa dikategorikan pabrik yang potensial atau tidak potensial dari sisi ekonomi, ada beberapa cara yang dilakukan untuk melihat suatu kelayakan pabrik, antara lain :

a. *Return on Investment* (ROI)

Return On Investment (ROI) adalah tingkat keuntungan yang di dapat setiap tahun dari tingkat investasi yang dikeluarkan. Pabrik dengan resiko rendah mempunyai minimum ROI before tax sebesar 11%, sedangkan pada pabrik dengan resiko tinggi mempunyai minimum ROI

before tax sebesar 44%. Jumlah uang yang diterima atau hilang disebut laba/rugi atau bunga.

$$\%ROI = \frac{Profit}{Fixed\ Capital\ Investment} \times 100\% \quad (6.2)$$

1. ROI sebelum pajak (ROI b)

$$ROI\ b = 46\ \%$$

2. ROI Setelah Pajak (ROI a)

$$ROI\ a = 36\ \%$$

b. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time adalah lama waktu pengembalian modal yang berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui dalam berapa tahun investasi yang telah dilakukan kembali.

$$POT = \frac{Fixed\ Capital\ Investment\ (FCI)}{keuntungan+Depresant} \quad (6.3)$$

1. POT Sebelum Pajak (POTb)

Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko tinggi maksimum adalah 2 tahun.

$$POT\ b = 1,8\ \text{tahun}$$

2. POT setelah pajak (POTa)

$$POT\ a = 2,19\ \text{tahun}$$

c. *Break Even Point* (BEP)

Break even point merupakan titik yang menunjukkan pada suatu tingkat dimana biaya dan penghasilan jumlahnya adalah sama. Dengan *break even point* kita dapat menentukan tingkat harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga perunit yang dijual agar

mendapat keuntungan. Nilai BEP pabrik kimia umumnya berada pada range 40-60%.

$$BEP = \frac{Fa + 0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (6.4)$$

Dimana :

Fa = *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra = *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va = *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa = *Annual Sales Value* pada produksi maksimum Annual

Tabel 6. 14 Annual Fixed Manufacturing Cost (Fa)

Depresiasi =	Rp	33.618.344.642	\$	2,136,084
Property Taxes =	Rp	7.308.335.791	\$	464,366
Asuransi =	Rp	3.654.167.895	\$	232,183
TOTAL Nilai Fa =	Rp	44.580.848.330	\$	2,832,634

Tabel 6. 15 Annual Regulated Expenses (Ra)

Gaji Karyawan =	Rp	17.730.000.000	\$	1,126,551
Payroll Overhead =	Rp	2.659.500.000	\$	168,982
Supervision =	Rp	1.773.000.000	\$	112,655
Plant Overhead =	Rp	8.865.000.000	\$	563,275
Laboratorium =	Rp	1.773.000.000	\$	112,655
General Expense =	Rp	220.726.976.011	\$	14,024,829
Maintenance =	Rp	36.541.678.959	\$	2,321,831
Plant Supplies =	Rp	5.481.251.843	\$	348,274
TOTAL Nilai Ra =	Rp	295.550.406.814	\$	18,779,055

Tabel 6. 16 Annual Variable Value (Va)

Raw Material =	Rp	253.725.574.806	\$	16,121,536
Packaging =	Rp	110.482.866.000	\$	7,020,000
Shipping =	Rp	27.620.716.500	\$	1,755,000
Utilities =	Rp	1.808.289.609.804	\$	114,897,391
Royalty & Patent =	Rp	55.241.433.000	\$	3,510,000
TOTAL Nilai Va =	Rp	2.255.360.200.110	\$	143,303,927

Tabel 6. 17 Annual Sales Value (Sa)

Annual Sales Value	Rp	2.762.071.650.000	\$	175,500,000
Total	Rp	2.762.071.650.000	\$	175,500,000

Dengan menggunakan data yang sudah didapatkan pada tabel diatas, maka didapatkan nilai BEP sebesar :

$$BEP = 44,44 \%$$

d. *Shut Down Point (SDP)*

Shut Down Point adalah titik atau kondisi saat penentuan suatu aktivitas produksi harus berhenti. Penyebabnya antara lain variable cost yang terlalu tinggi, atau bisa juga karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan profit). Hal tersebut diakibatkan karena biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal dari pada biaya untuk menutup pabrik dan membayar *fixed cost*.

$$SDP = \frac{0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (6.5)$$

Didapatkan SDP = 29,57 %

e. *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)*

Discounted cash flow rate of return adalah besarnya perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahunnya. Didasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik. Batasan DCFR sendiri adalah 1,5 kali bunga bank.

$$\frac{(WC+FCI) \times (1+i)^{10}}{CF} = ((1+i)^9 + 1+i)^8 + \dots + (1+i) \frac{WC+SV}{CV} \quad (6.6)$$

Dimana :

FCI = *Fixed capital investment*

WC = *Working capital investment*

CF = *Cash Flow*

SV = *Salvage value* = depresiasi

n = Umur pabrik 10 tahun

i = Nilai DCFR

Sebagai perhitungan digunakan data sebagai berikut :

FCI = Rp365.416.789.594

WCI = Rp1.003.681.235.961

CF = Rp190.928.910.553

SV = Rp36.541.678.959

n = 10 tahun

Sehingga diperoleh trial & error dapat dihitung nilai DCFR.

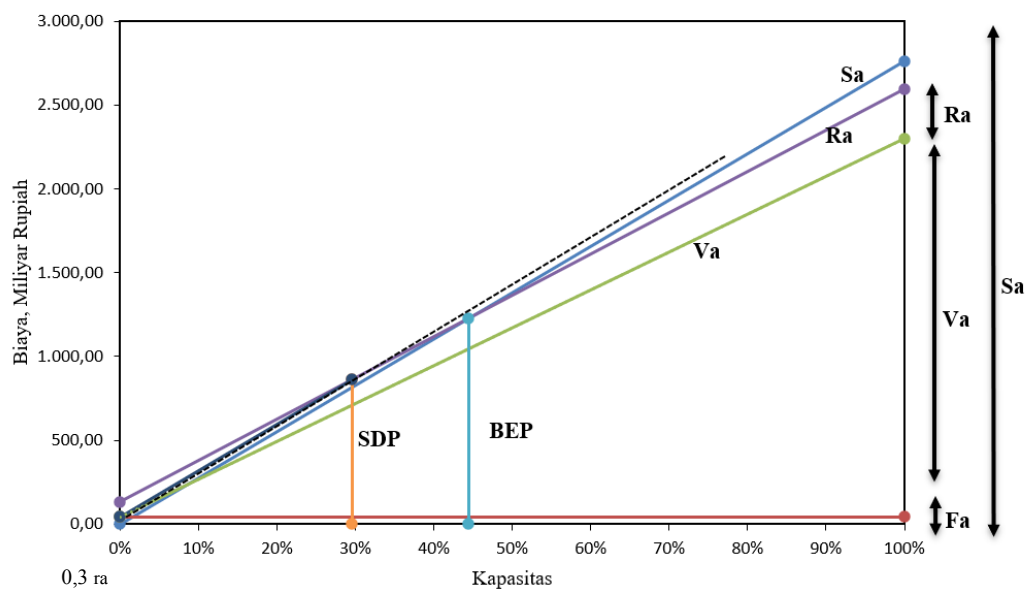
Diperoleh nilai DCFR adalah :

DCFR = 14,24 %

Bunga bank Indonesia pada 2024 = 6 %

1,5 dari bunga bank Indonesia 2024 = 9 % (Bunga tahun 2026)

Hasil kalkulasi kelayakan ekonomi pendirian Pabrik Trimetiletilen dapat di pahami melalui grafik *Break Event Point* berikut :



Gambar 6. 2 Grafik Evaluasi Ekonomi

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan prarancangan pabrik Trimetiletilen dengan Proses Isomerisasi Metil Butena dengan kapasitas 45/000 ton/tahun baik ditinjau secara teknis maupun ekonomi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Pendirian pabrik Trimetiletilen dengan Proses Isomerisasi Metil Butena dengan kapasitas 45.000 ton/tahun bertujuan untuk memenuhi kebutuhan Trimetiletilen dalam negeri dan mengurangi ketergantungan impor. Pabrik ini juga bertujuan untuk membuka lapangan pekerjaan dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi di Indonesia.
- b. Pabrik Trimetiletilen berbentuk Perseroan Terbatas (PT) didirikan di daerah di Kelurahan Suralaya, Kecamatan Pulomerak, Kabupaten Cilegon, Banten dengan luas tanah keseluruhan 20.000 m² dan jumlah karyawan 175 orang.
- c. Pabrik Trimetiletilen yang akan didirikan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, kemudahan sarana utilitas seperti sumber air, tenaga kerja, ketersediaan listrik dan akses transportasi serta mempunyai prospek pemasaran yang baik karena berlokasi di kawasan industri.
- d. Pabrik ini dikategorikan *high risk* ditinjau dari bahan baku yang digunakan, proses yang dilalui, suhu dan tekanan yang tinggi serta bahan baku mudah terbakar maupun meledak.

e. Dari segi evaluasi ekonomi serta analisis kelayakan, pabrik ini layak untuk didirikan dengan beberapa parameter kelayakan sebagai berikut:

1. *Return On Investment (ROI)*

a) ROI sebelum pajak = 46%

b) ROI setelah pajak = 36 %

Syarat ROI minimum sebelum pajak untuk pabrik dengan resiko tinggi adalah 44%.

2. *Pay Out Time (POT)*

a) POT sebelum pajak = 1,8 tahun

b) POT setelah pajak = 2,19 tahun

Syarat POT maksimum sebelum pajak untuk pabrik dengan resiko tinggi adalah 2 tahun.

3. *Break Event Point (BEP)* = 44,44 %

Nilai BEP untuk pabrik pada umumnya berada pada rentang 40% - 60%.

4. *Shut Down Point (SDP)* = 29,57%

Nilai SDP untuk pabrik kimia yaitu >20%.

5. *Discounted Cash Flow Rate (DCFR)* = 14,24 %

Syarat minimum DCFR adalah diatas suku bunga pinjaman bank yaitu sekitar 1,5 kali suku bunga pinjaman bank yaitu 9%.

Dengan pertimbangan hasil diatas, maka hasil uji kelayakan pabrik Trimetiletilen sesuai dengan ketentuan standar pembangunan pabrik kimia.

- f. Berdasarkan hasil dari keseluruhan tinjauan yang dilakukan mulai dari tersedianya bahan baku, kondisi operasi proses dan hasil evaluasi ekonomi dapat disimpulkan bahwa Pabrik Trimetiletilen yang dirancang dengan kapasitas 45.000 ton/tahun layak untuk didirikan.

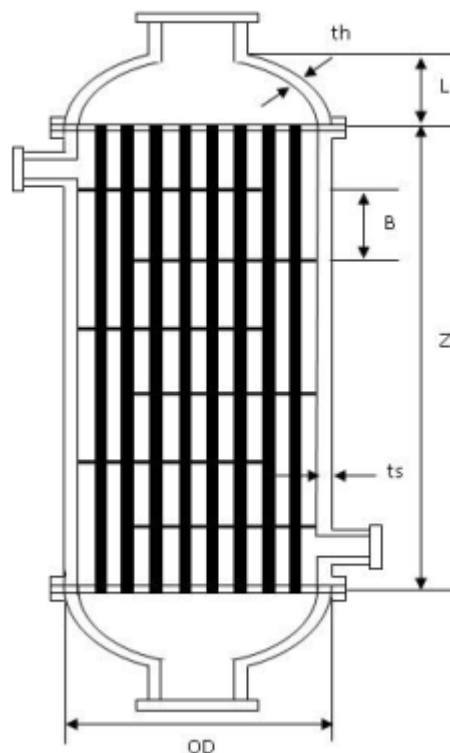
7.2 Saran

Dalam perancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahaman konsep-konsep dasar yang dapat meningkatkan kelayakan pendirian suatu pabrik kimia tersebut diantaranya sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan optimasi bahan baku serta pemilihan alat utama maupun alat penunjang sehingga mengoptimalkan keuntungan yang didapatkan.
- b. Produk Trimetiletilen dapat direalisasikan sebagai sarana untuk memenuhi kebutuhan di masa mendatang yang jumlahnya semakin meningkat melihat pesatnya kebutuhan masyarakat saat ini dan kebutuhan dalam negeri dan ekspor keluar negeri dengan jumlahnya yang semakin meningkat.
- c. Pendirian pabrik Trimetiletilen dapat menjadi solusi pemerintah untuk mendorong tumbuhnya industri kimia di dalam negeri, agar menjadi sektor penggerak perekonomian nasional.
- d. Dalam perancangan pabrik kimia diperlukan pengetahuan dan pemahaman yang di dukung dengan adanya referensi dan pranalar lain yang berhubungan dengan konsep dasar pendirian suatu pabrik.

LAMPIRAN A

- Jenis : Reaktor *Fixed Bed Multitube*
- Fungsi : Tempat berlangsungnya pembentukan trimetiletilen dari metil buten dengan katalis Amberlyst-15
- Kondisi Operasi : Suhu = 60 C
- Tekanan = 3 atm



Gambar L.A. 1 Reaktor

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor :



1. Menentukan jenis reaktor

Dipilih reaktor fixed bed multitube dengan perimbangan sebagai (Hill, 1997) berikut :

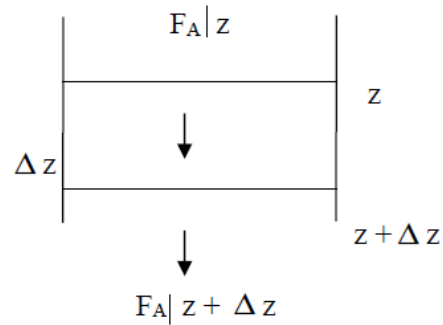
- a. Zat pereaksi berupa fasa gas dengan katalis padat
- b. Umur katalis panjang 12-15 bulan
- c. Reaksi eksotermis sehingga diperlukan luas perpindahan panas yang besar agar kontak dengan pendingin berlangsung optimal
- d. Tidak diperlukan pemisahan katalis dari gas keluaran reaktor
- e. Pengendalian suhu relative mudah karena menggunakan tipe *shell and tube*

2. Persamaan – persamaan Matematis Reaktor

a. Neraca massa reaktor

Reaksi berlangsung dalam keadaan steady state dalam reaktor setebal ΔZ dengan konversi X. Neraca massa 0,88 pada elemen volume :

$$\text{Input} - \text{Output} - \text{Yang Bereaksi} = 0 \quad (1.2)$$



Gambar L.A. 2 Neraca Massa Reaktor

$$\text{Input} - \text{Output} - \text{Yang Bereaksi} = 0 \quad (1.2)$$

$$FA|_z - (FA|_{z+\Delta z} + (-ra)\Delta v) = 0 \quad (1.3)$$

$$\Delta v = \frac{\pi D_i^2}{4} \varepsilon \Delta z \quad (1.4)$$

Δv = Volume gas diantara katalis pada elemen volume

$$FA|_z - \left(FA|_{z+\Delta z} + (-ra) \frac{\pi}{4} D_i^2 \varepsilon \Delta z \right) = 0 \quad (1.5)$$

$$\frac{FA|_{z+\Delta z} - FA|_z}{\Delta z} = (-ra) \frac{\pi}{4} D_i^2 \varepsilon \quad (1.6)$$

$$\frac{-FA}{\Delta z} = \frac{-ra \pi D_i^2}{4} \varepsilon \quad (1.7)$$

$$\text{Dimana } F_A = -F_{A0} (1 - X_A) \quad (1.8)$$

$$\Delta F_A = -F_{A0} \cdot \Delta X_A \quad (1.9)$$

$$FA_0 \cdot \frac{\Delta X_A}{\Delta z} = \frac{-ra \pi D_i^2}{4} \varepsilon \quad (2.0)$$

$$\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} = \frac{-(r_A)\pi D_i^2}{4 F_{A_0}} \varepsilon \quad (2.1)$$

Lim $\Delta Z \rightarrow 0$

$$\frac{dx_A}{dz} = \frac{-(r_A)\pi D_i^2 \varepsilon}{4 F_{A_0}} \quad (2.2)$$

Dimana : $\frac{dx_A}{dz}$ = Perubahan konversi persatuan panjang

ε = Porositas

$(-r_A)$ = Kecepatan reaksi = $k.C_A$

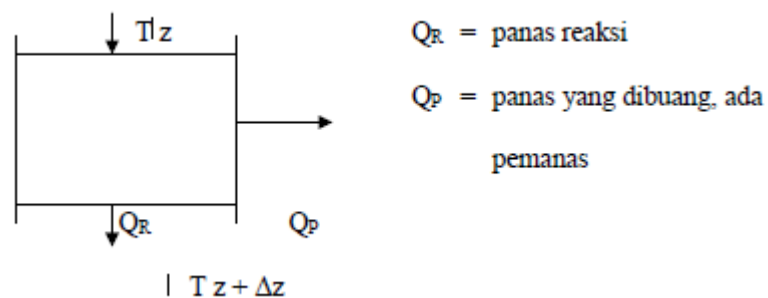
Z = Tebal tumpukan katalisator

D_i = Diameter dalam pipa

Tabel L.A. 1 Komposisi dengan Perhitungan Kapasitas

Komponen	Input	Output
Metil Butene	6.233,950	710,670
1-Pentene	328,103	328,103
Trimetiletilen		5.523,279
Jumlah	6.562,052	6.562,052

b. Neraca panas elemen volume



Gambar L.A. 3 Neraca Panas Elemen Volume

$$\text{Input} - \text{Output} = \text{Acc} \quad (2.3)$$

$$\sum m.Cp (T|_z - T_o) - [\sum m.Cp) (T|_{z+\Delta z} - T_o) + Q_R + Q_P] \quad (2.4)$$

$$\sum m.Cp (T_z - T_{z+\Delta z}) = Q_R + Q_P \quad (2.5)$$

$$(\sum m.Cp) (-\Delta T) = Q_R + Q_P \quad (2.6)$$

$$Q_R = \Delta H_R F_{A_o} \Delta X_A \quad (2.7)$$

$$Q_P = UA (T - T_S) \quad (2.8)$$

$$A = \pi D_o \Delta Z \quad (2.9)$$

$$Q_P = U \pi D_o \Delta Z (T - T_S) \quad (3.0)$$

$$\frac{(\sum m.Cp)(-\Delta T) = \Delta H_R \cdot F_{A_o} \cdot \Delta X_A + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta z (T - T_S)}{\Delta z} \quad (3.1)$$

$$(\sum . m. Cp) \left(\frac{-\Delta T}{\Delta Z} \right) = \Delta H_R \cdot F_{A_o} \cdot \left(\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} \right) + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_S) \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{-\Delta T}{\Delta Z} \right) = \frac{\Delta H_R \cdot F_{A_o} \cdot \left(\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} \right) + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_S)}{(\sum . m. Cp)} \quad (3.3)$$

$$\lim \Delta Z \rightarrow 0$$

$$\frac{dT}{dZ} = \frac{\Delta H_R \cdot F_{A_o} \cdot \left(\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} \right) + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_S)}{(\sum . m. Cp)} \quad (3.4)$$

Dimana : $\frac{dT}{dZ}$ = Perubahan suhu persatuan panjang katalis

ΔH_R = Panas Reaksi

U = Overall heat transfer coefficient

D_o = Diameter luar

T = Suhu gas

T_s = Suhu penelitian

C_p = Kapasitas panas

c. Neraca panas untuk pendingin

Pendingin yang dipakai adalah dowterm dengan suhu 28 C

$$\frac{dT_s}{dZ} = \frac{Ud \cdot \pi \cdot OD \cdot \Delta T \cdot Nt \cdot (T - T_s)}{W_p \cdot C_p}$$

Dimana

$\frac{dT_s}{dZ}$ = Perubahan suhu pendingin tiap increment Panjang reaktor

W_p = Laju alir masa pendingin, kg/jam

C_p = Kapasitas panas pendingin,, kJ/kmol.K

d. Penurunan tekanan

Dalam pipa = penurunan tekanan dalam pipa berisi katalisator (*Fixed bed*) digunakan rumus 11.6 (*chapter 11 hal 492 (Chemical Reaktor Design For Process Plants, 1990)*).

$$\frac{dP}{dZ} = - \frac{G}{\rho g D_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left[\frac{150 (1 - \varepsilon) \mu}{D_p} + 1,75G \right] \quad (3.9)$$

Dimana : G = Kecepatan aliran massa gas dalam pipa, gr/cm³

ρ = Densitas gas, gr/cm³

D_p = Densitas partikel katalisator, cm

G = Gaya Gravitasi, cm/det²

ε = Porosity tumpukan katalisator

μ = Viskositas gas, gr/cm.jam

3. Data – data sifat fisis bahan

a. Menentukan umpan Y_i masukTabel L.A. 2 Umpan Y_1 Masuk Reaktor

Komponen	Massa (kg)	BM	n (kmol)	y_i
Metil Butene	6.233,950	70,1329	88,888	0,9500
1-Pentene	328,103	70,1329	4,678	0,0500
Total	6.562,052		93,566	1,000

b. Menentukan volume gas reaktor

$$PV = ZnRT$$

$$Z = 0,905$$

$$n = 93,566 \text{ kmol/detik}$$

$$R = 82,05 \text{ atm.cm}^3/\text{mol.K}$$

$$P = 3 \text{ atm}$$

$$T = 333,15 \text{ K}$$

$$V = \frac{zn.R.T}{P} = 0,771 \text{ m}^3/\text{jam} \quad (4.0)$$

c. Menentukan densitas umpan

$$\rho = \frac{P.BM}{R.T.Z} \quad (4.1)$$

$$= 8,507 \text{ Kg/m}^3$$

d. Menentukan viskositas umpan

$$\mu_{gas} = A + BT + CT^2 \quad (4.2)$$

Tabel L.A. 3 Data Viskositas (Chemical properties handbook, 1980)

Komponen	A	B	C
Metil Butene	2,683	2,45E-01	-6,13E-05
1-Pentene	-3,E+00	3,E-01	-6,E-05
Trimetiletilen	2,271	2,45E-01	-6,19E-05

Tabel L.A. 4 Perhitungan Viskositas Umpan Masuk Reaktor

Komponen Feed	massa	yi	μ pada Tavg	μ_i (kg/jam.m)
Metil Butene	6.233,930	0,9500	0,000008	0,026483
1-Pentene	328,103	0,0500	0,000008	0,001444
Total	6.562,052	1.0000		0,027927

e. Menentukan konduktivitas Umpan Reaktor

Data Konduktivitas Umpan Masuk Reaktor (Chemical Properties Handbook, 1980)

$$K_{\text{gas}} = A + BT + CT^2 \quad (4.3)$$

Tabel L.A. 5 Perhitungan Konduktivitas Umpan Reaktor

Komponen Feed	massa	Xi	k (W/m F)	xk
Metil Butene	6.233,930	0,9500	1,5916E-02	1,5120E-02
1-Pentene	328,103	0,0500	1,7672E-02	8,8358E-04
Total	6.562,052	1.0000		1,6004E-02

$$K \text{ campuran} = 0,0148 \text{ W/m/K}$$

f. Menentukan kapasitas panas campuran gas

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \quad (4.4)$$

Tabel L.A. 6 Data Kapasitas Panas (Chemical Properties, 1990)

Komponen	A	B	C	D	E
Metil Butene	3,62E+01	2,51E-01	8,94E-05	-1,89E-07	6,22E-11
1-Pentene	3,71E+01	2,37E-01	1,18E-04	-1,11E-07	6,81E-11
Trimetiletilen	3,95E+01	1,99E-01	1,84E-04	-2,54E-07	7,79E-11

Tabel L.A. 7 Perhitungan Kapasitas Panas Campuran Gas Reaktor

Komponen Feed	massa	Xi	Cp (KJ/Kmol K)	xCp
Metil Butene	6.092,243	0,9500	10.190,4456	117,3107
1-Pentene	320,6444	0,0500	28,7458	6,2874
Total	6.412,887	1,000		123,5982

g. Menentukan panas reaksi

Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, panas yang dikeluarkan adalah sebagai berikut :

$$\Delta H_{R \text{ ekso}} = (n \times H_F)_{\text{produk}} - (n \times H_F)_{\text{reaktan}} \quad (4.5)$$

$$H_F = A + BT + CT^2$$

Tabel L.A. 8 Perhitungan Panas Reaksi Reaktor (Chemical properties, 1998)

Komponen	n (Kmol)	A	B	C	H _F (KJ/Kmol)	H _F x n	ΔH rekso (kJ/Kmol)
C ₅ H ₁₀	76,96	-10	-1,05E-01	4,96E-05	-38986,54	-3000576,62	-493403,32
C ₅ H ₁₀	76,96	-13,966	-1,11E-01	5,08E-05	-45398,14	-3493979,94	

Reaksi



$$\Delta H_R = \Delta H_F \text{ Produk} - \Delta H_F \text{ Reaktan} \quad (4.7)$$

$$\Delta H_R = -3.493.979,94 - (-3.000.576,62)$$

$$\Delta H_R = -493.403,32 \text{ kJ/Kmol}$$

Jadi, reaksi yang terjadi dalam proses pembuatan *Amyl Chloride* adalah reaksi eksotermis.

h. Data sifat katalis

Jenis : Amberlyst-15

Ukuran : 0,6 mm

Densitas : 1.200 kg/m³

4. Dimensi reaktor

a. Menentukan ukuran dan jumlah tube

Diameter pipa reaktor dipilih berdasarkan pertimbangan agar perpindahan panas berjalan dengan baik. Mengingat reaksi yang terjadi eksotermis, untuk itu dipilih aliran gas dalam pipa turbulen agar koefisien perpindahan panas lebih panas lebih besar.

Pengaruh ratio D_p / D_t terhadap koefisien perpindahan panas dalam pipa yang berisi butir-butir katalisator dibandingkan dengan pipa kosong yaitu h_w/h telah diteliti oleh Colburn's (smith,1971) yaitu :

D_p/D_t	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
h_w/h	5,5	7,5	7,8	7,5	7,0	6,6

dipilih $D_p/D_t = 0,15$

dimana

h_w = koefisien perpindahan panas dalam pipa berisi katalis

h = koefisien perpindahan panas dalam pipa kosong

D_p = diameter katalisator

D_t = diameter *tube*

Sehingga :

$$D_p/D_t = 0,15$$

$$D_p = \text{diameter katalisator} = 0,06 \text{ cm}$$

$$D_{\text{tube}} = 0,4 \text{ cm} = 0,157 \text{ in}$$

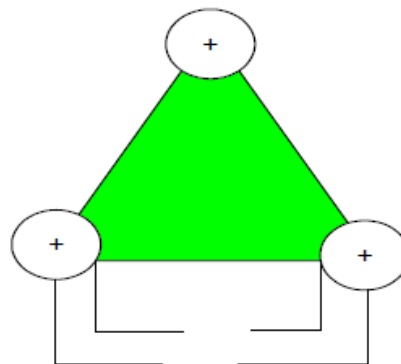
Dari hasil perhitungan tersebut, maka diambil ukuran pipa standar agar koefisien perpindahan panasnya baik.

Dari table 10 Kern dipilih tube dengan spesifikasi sebagai berikut :

Outside diameter	= 1.90 in
Tebal tube	= 0,125 in
BWG	= 10
Inside diameter	= 1.610 in
L	= 153 in
Flow area per pipe	= 2.040
Surface per in ft	= 0.498
Volume satu tube	= $(1-X) \cdot 1/4 \pi ID^2 L$ = 20.562.2823 cm ³ /s
Jumlah tube	= volume katalis : volume satu tube = 286,265 buah

Dari tabel 9 Kern dipilih tube standar untuk diameter $\frac{3}{4}$ in :

Nt	= 395 buah
P (tube pitch)	= 2,375 in
N (jumlah pass)	= 2
Pola	= triangular pitch



b. Menghitung diameter dalam reaktor

$$IDs = \sqrt{\frac{4.Nt.P_f^2}{\pi}} \quad (5.4)$$

$$IDs = 49,578 \text{ in}$$

Jadi, diameter dalam reaktor = 49,578 in

c. Menghitung tebal dinding reaktor

Tebal dinding reaktor (*Shell*) dihitung dengan persamaan

(*brownell*, 1980) :

$$t_s = \frac{P.IDs}{2f.E} + C \quad (5.5)$$

Dimana :

t_s = tebal *shell*, in

E = efisiensi pengelasan

f = maksimum allowable stress bahan yang digunakan

(Brownell, tabel 13-1, p,251)

IDs = diameter dalam shell, in

C = faktor korosi, in

P = tekanan design, Psi

Bahan yang digunakan Baja *Carbon SA - 283 grade C* (*Brownell* tabel 13)

E = 0,85

f = 12.650

C = 0,125

IDs = 12 in

P = 47,863

Maka :

$$t_s = \frac{47,863 \times 12}{2 \times 12.650 \times 0,8} + C$$

$$= 0,1875 \text{ in}$$

Dipilih tebal shell standar = $3/16 \text{ in} = 0,1875 \text{ in} = 0,005 \text{ m}$

Diameter luar reaktor = $ID + 2ts$

(5.6)

$$= 49 \text{ in} + 2 (0,1875) \text{ in}$$

$$= 49,3846 \text{ in}$$

Diambil ODs = 54 in (Tabel 5.7 *Brownell* hal.89)

Didapat :

$$lcr = 3,25$$

$$r = 48$$

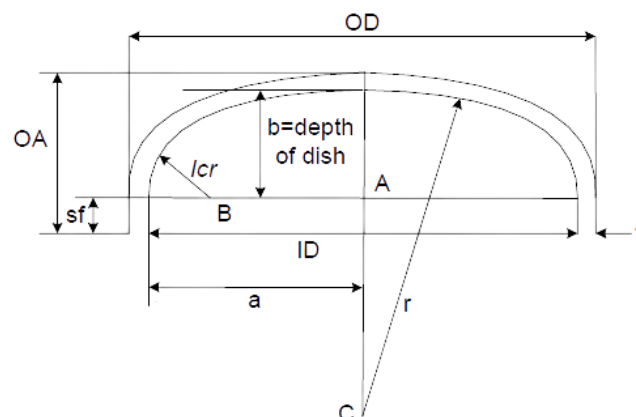
5. Menghitung head reaktor

a. Menghitung tebal head reaktor

Bentuk head : *Thorispherical Head*

Bahan yang digunakan : Bahan baja Carbon SA - 283 grade C

(Brownell tabel 13)



Keterangan gambar :

ID = diameter dalam head

OD = diameter luar head

a = jari-jari dalam head

t = tebal head

r = jari-jari dish

icr = jari-jari dalam sudut icr

b = tinggi head

sf = straight flange

OA = tinggi total head

Tebal head dihitung berdasarkan persamaan (Brownell, 1979) :

$$th = \frac{P \times r \times W}{(2.F.E) - (0,2 \times P)} + C \quad (5.7)$$

P = tekanan design, psi = 47,863 psi

r = jari-jari, in = 14 in

F = maksimum allowable stress, psi = 12.650

E = efisiensi penengelasan = 0,8

C = faktor korosi, in = 0,125

W = 1,73

Maka

$$th = \frac{47,863 \times 14 \times 1,73}{(2 \times 12.650 \times 0,8) - (0,2 \times 47,863)} + 0,125$$

$$= 0,177 \text{ in}$$

Dipilih tebal head reactor standar = $3/16 = 0,1875 \text{ in}$ (Tabel 5.4 *Brownell*)

b. Menghitung tinggi head reactor

$$\text{ODs} = 54 \text{ in}$$

$$ts = 0,1875 \text{ in}$$

$$\text{didapat : icr} = 3,25 \text{ in}$$

$$r = 48 \text{ in}$$

$$a = \text{IDs}/2 = 24,5048 \text{ in} \quad (5.8)$$

$$\text{AB} = a - \text{icr} = 21,2548 \text{ in} \quad (5.9)$$

$$\text{BC} = r - \text{icr} = 44,7500 \text{ in} \quad (5.10)$$

$$\text{AC} = (\text{BC}^2 - \text{AB}^2)^{1/2} = 39,3801 \text{ in} \quad (5.11)$$

$$b = r - \text{AC} = 8,6199 \text{ in} \quad (5.12)$$

Dari table 5.6 *Brownell* hal 88, dengan $th = 0,1875 \text{ in}$ didapat $sf = 1\frac{1}{2} - 2$, perancangan digunakan $sf = 1,75$

Tinggi head reactor dapat dihitung dengan persamaan :

$$hH = th + b + sf$$

$$= 10,5574 \text{ in} = 0,8798 \text{ ft} = 0,2682 \text{ m}$$

c. Menghitung tinggi reactor

$$\text{Tinggi reactor total} = \text{panjang tube} + (2 \times \text{tinggi head})$$

$$= 114,1732 \text{ in} + (2 \times 10,5574) \text{ in}$$

$$= 135,2879 \text{ in}$$

$$= 18,3122 \text{ ft}$$

6. Menghitung diameter pendingin

a. Diameter pendingin masuk

$$D_{opt} = 293 G^{0,53} \rho^{-0,37} \quad (5.8)$$

$$D_{opt} = 2,033 \text{ in}$$

Dari Tabel 11 Kern dipilih ukuran standard :

$$\text{ID} = 2,470 \text{ in}$$

$$\text{OD} = 2,38 \text{ in}$$

b. Diameter pendingin keluar reactor

$$D_{opt} = 293 G^{0,53} \rho^{-0,37} \quad (5.9)$$

$$D_{opt} = 1,980 \text{ in}$$

Dari Tabel 11 Kern dipilih ukuran standard :

$$\text{ID} = 2,469 \text{ in}$$

$$\text{OD} = 2,38 \text{ in}$$

7. Menghitung volume reactor

a. Volume head (Vh)

$$V = 0,000049 \times \text{IDs}^3 \quad (6.0)$$

$$= 9,4524\text{E-}05 \text{ m}^3$$

b. Volume Shell (Vs)

$$V = (3,14/4) \times ID^2 \times Z \quad (6.1)$$

$$= 0,0896 \text{ m}^3$$

c. Volume reactor (Vr)

$$V = \text{Volume head} + \text{Volume shell} \quad (6.2)$$

$$= 0,0898 \text{ m}^3$$

8. Spesifikasi nozzle

a. Diameter saluran gas umpan

$$D_{opt} = 293 G^{0,53} \rho^{-0,37} \quad (6.3)$$

$$D_{opt} = 7,0927 \text{ in}$$

Dari Tabel 11 Kern dipilih ukuran standard :

ID : 7,981 in

OD : 8,625 in

b. Diameter saluran gas keluar reactor

$$D_{opt} = 293 G^{0,53} \rho^{-0,37} \quad (6.4)$$

$$D_{opt} = 7,359 \text{ in}$$

Dari Tabel 11 Kern dipilih ukuran standard :

ID : 7,981 in

OD: 8,625 in

Perhitungan Hasil Simulasi Panjang Reaktor Menggunakan Metode Range

Kutta Orde 1

Δz	0,1000			
z (m)	x	T (K)	T_s (K)	P
0	0,0000	333,0000	301	3,0000000
0,10	0,0726	333,0003	301,0402	2,9999857
0,20	0,1400	333,0005	301,0803	2,9999715
0,30	0,2025	333,0008	301,1203	2,9999572
0,40	0,2604	333,0011	301,1604	2,9999715
0,50	0,3142	333,0014	301,2003	2,9999857
0,60	0,3640	333,0016	301,2402	2,9999715
0,70	0,4102	333,0019	301,2801	2,9999572
0,80	0,4531	333,0021	301,3199	2,9999429
0,90	0,4928	333,0024	301,3596	2,9999572
1,00	0,5297	333,0026	301,3993	2,9999715
1,10	0,5638	333,0029	301,4390	2,9999572
1,20	0,5955	333,0031	301,4786	2,9999429
1,30	0,6249	333,0033	301,5181	2,9999287
1,40	0,6522	333,0036	301,5576	2,9999429
1,50	0,6775	333,0038	301,5970	2,9999572
1,60	0,7009	333,0040	301,6364	2,9999429
1,70	0,7226	333,0042	301,6757	2,9999287
1,80	0,7428	333,0044	301,7150	2,9999144
1,90	0,7615	333,0046	301,7543	2,9999287
2,00	0,7788	333,0048	301,7934	2,9999429
2,10	0,7949	333,0050	301,8326	2,9999287
2,20	0,8098	333,0051	301,8716	2,9999144
2,30	0,8236	333,0053	301,9107	2,9999002
2,40	0,8365	333,0054	301,9496	2,9999144
2,50	0,8483	333,0055	301,9886	2,9999287
2,60	0,8594	333,0057	302,0274	2,9999144
2,70	0,8696	333,0058	302,0663	2,9999002
2,80	0,8791	333,0058	302,1050	2,9998859
2,90	0,8879	333,0059	302,1438	2,9999002
3,00	0,8960	333,0060	302,1824	2,9998859
3,10	0,9036	333,0060	302,2210	2,9998716
3,20	0,9106	333,0060	302,2596	2,9998574
3,30	0,9171	333,0060	302,2981	2,9998716
3,40	0,9231	333,0059	302,3366	2,9998859
3,50	0,9287	333,0059	302,3750	2,9998716
3,60	0,9339	333,0058	302,4134	2,9998574
3,70	0,9387	333,0057	302,4517	2,9998431

Tabel range kutta... (lanjutan)

3,80	0,9431	333,0055	302,4900	2,9998574
3,90	0,9473	333,0053	302,5282	2,9998716
4,00	0,9511	333,0051	302,5663	2,9998574
4,10	0,9547	333,0048	302,6044	2,9998431
4,20	0,9580	333,0045	302,6425	2,9998288
4,30	0,9610	333,0042	302,6805	2,9998431
4,40	0,9639	333,0038	302,7185	2,9998574
4,50	0,9665	333,0033	302,7564	2,9998431
4,60	0,9689	333,0028	302,7943	2,9998288
4,70	0,9712	333,0022	302,8321	2,9998146
4,80	0,9733	333,0016	302,8698	2,9998288
4,90	0,9752	333,0009	302,9075	2,9998431
5,00	0,9770	333,0001	302,9452	2,9998288

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R.S and Newton R.D., 1955, Chemical Engineering Cost Estimation, Mc. Graw Hill Book Company, New York.
- Badan Pusat Statistik .2022. Data Ekspor Trimetilen di Indonesia
- Badan Pusat Statistik. 2022. Data Kapasitas Industri Karet di Indonesia
- Bank Indonesia., Nilai Kurs. www.bi.go.id. Diakses 25 Mei 2022
- Brownell, L.E. and Young, E.H. 1959. Process Equipment Design. John Wiley and Sons Inc. New York.
- Chemical Logic Corporation, (2003), Burlington, Massachusset
- Coulson, J.M., and Richardson, J.F., “Chemical Engineering Design”, 6nd Ed., vol 6, Pergamon Pess, Oxford, 1983.
- Dick, J dan Rader. C. 2014. Raw Materials Supply Chain For Rubber Product. EP 3 792 234 A1
- Geankoplis, C.J. and J.F. Richardson. 1989. Design Transport Process and Unit Operation. Pegamon Press. Singapore
- Harga Alat, www.matche.com, diakses pada 10 Oktober 2022
- <https://amp.kontan.co.id/news/chandra-asri-berinvestasi-us-114-juta>
- <https://classicbells.com/soap/EDTA.asp#:~:text=How%20much%20EDTA%20to%20use,%2B%20water%20weight%20%2B%20alkali%20weight.>
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8004#section=Chemical-Classes>
- Indeks Harga www.chemengonline.com/pci diakses pada tanggal
- Kementrian Perindustrian. 2016. Laporan kinerja kementerian perindustrian tahun 2016
- Kementrian Perindustrian. 2022. LaporanBP kinerja kementerian perindustrian tahun 2022
- Kern, D.Q. 1965. Process Heat Transfer. Mc Graw Hill. New York.
- Kern, Donald. Q.,1965, "Process Heat Transfer", New York : Mc Graw-Hi Book Company.
- Ludwig, Ernest E., 1991, Applied Process Design For Chemical And Petrochemical Plants, Volume I, 2nd Edition, Gulf Publishing Company Book Division, Houston.

- Metcalf & Eddy, 1991, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- Peter dan Timmerhaus. 1990. *Plant Design And Economics For Chemical Engineers*.
- Peters, Max S., and Klaus D. Timmerhaus. 1991. "Plant Design and Economics For Chemical Engineers 4th Edition". New York: McGraw-Hill Book Companies, Inc.
- Powell, S.T., 1954, "Water Conditioning for Industry", McGraw-Hill Book Company, Tokyo
- Rase, H.F., and Barrow M.H., "Project Engineering of Process Plants", Willey and Sons, Inc, New York, 1957.
- Scott Jenkins. 2015. *Economic Indicator: Cepci. Chemical Enggengering*
- Setiadi, Tjandra. 2007. *Pengolahan dan Penyediaan Air*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Shah, Naresh F., dan Man Mohan Sharma. "Dimerisasi isoamilena: resin penukar ion dan tanah liat yang diolah dengan asam sebagai katalis." *Polimer reaktif* 19.3 (1993): 181-190.
- Smith, J.M., Van Ness, H.C., and Abbott, M.M. 2001. "Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6th Ed". McGraw-Hill Book Company, Inc: New York
- Towler, G., & Sinnott, R. A. Y. (2013). Front Matter. In *Chemical Engineering Design*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096659-5.00022-5>
- Treyball, R.E., 1981, *Mass Transfer Operation*, 3rd edition, McGraw-Hill, Singapura.
- US Patent 3590096
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butteerworths. America
- Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. McGraw Hill Company. New York