

**SKRIPSI**

**PRA RANCANGAN**

**PABRIK PEMBUATAN TRIOXANE**

**KAPASITAS PRODUKSI 15.000 TON PER TAHUN**



**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan  
gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh**

**M. FAJAR RIDWAN**

**03031181520016**

**ENDRA HAKIM TANARA**

**03031281520100**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2019**

**PRA RANCANGAN  
PABRIK PEMBUATAN TRIOXANE  
KAPASITAS PRODUKSI 15.000 TON PER TAHUN**



**SKRIPSI**

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan  
gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**Oleh**

**M. FAJAR RIDWAN**

**03031181520016**

**ENDRA HAKIM TANARA**

**03031281520100**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2019**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TRIOXANE  
KAPASITAS PRODUKSI 15.000 TON PER TAHUN**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana**

**Oleh:**

M. Fajar Ridwan

NIM 03031181520016

Endra Hakim Tanara

NIM 03031281520100

Palembang, Januari 2020

Pembimbing



Ir. Hj. Siti Miskah, M.T.

NIP 195602241984032002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. A. Syaiful, DEA

NIP 195810031986031003

**LEMBAR PERBAIKAN**

Judul :

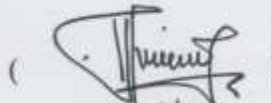

**"PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TRIOXANE KAPASITAS  
PRODUKSI 15.000 TON PER TAHUN"**

Nama Mahasiswa/NIM:

1. M. Fajar Ridwan (03031181520016)
2. Endra Hakim Tanara (03031281520100)

Mahasiswa tersebut telah melakukan perbaikan/revisi yang diberikan pada sidang Tugas Akhir tanggal 19 Desember 2019 di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya oleh Dosen Penguji:

1. Novia, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197311052000032003
2. Prahady Susmanto, S.T., M.T.  
NIP. 19820804201221001

(  ) 13/01/2020  
(  )

Palembang, Desember 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia







## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trioxane Kapasitas Produksi 15.000 ton per tahun" telah dipertahankan **M. Fajar Ridwan dan Endra Hakim Tanara** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 19 Desember 2019.

Palembang, Desember 2019

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA  
NIP. 195810031986031003
2. Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.  
NIP. 195608311984032002
3. Novia, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 197311052000032003
4. Prahady Susmanto, S.T., M.T.  
NIP. 19820804201221001

()  
()  
( 13/01/2020)  
()

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA

NIP. 195810031986031003

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Fajar Ridwan

NIM : 0303118520016

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trioxane Kapasitas  
15.000 Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya didampingi pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2019



M. Fajar Ridwan

NIM. 03031181520016



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Endra Hakim Tanara  
NIM : 0303128520100  
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trioxane Kapasitas  
15.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya didampingi pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Desember 2019



Endra Hakim Tanara

NIM. 03031281520100



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukuratas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trioxane Kapasitas Produksi 15.000 Ton Per Tahun” ini dapat diselesaikan.

Tugas akhir ini dibuat sebagai syarat akhir mengikuti ujian sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Universitas Sriwijaya. Tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan, bimbingan, serta dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, melalui laporan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Siti Miskah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
4. Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T. selaku perwakilan dosen pembimbing Tugas Akhir.
5. Orang tua dan keluarga.
6. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
7. Seluruh Karyawan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
8. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia 2015 serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, untuk itu diharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan semua pihak.

Indralaya, Desember 2019

Penulis



## ABSTRAK

Pabrik pembuatan trioxane dengan kapasitas produksi 15.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2024 di Cilegon, Banten yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 4,7 Ha. Bahan baku dari pembuatan trioxane ini adalah formaldehid. Proses pembuatan trioxane ini mengacu pada US Patent No. 2017/0233366 A1 dengan proses trimerisasi formaldehid membentuk trioxane. Reaktor yang digunakan adalah reaktor jenis *continuous stirred tank reactor*. Reaktor beroperasi pada temperatur 105°C dan tekanan 1,8 atm.

Bentuk perusahaan yang akan digunakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 149 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik trioxane ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US \$ 15.707.038
- Total Penjualan = US \$ 63.793.430
- *Total Production Cost (TPC)* = US \$ 54.967.749
- *Annual Cash Flow* = US \$ 7.832.985
- *Pay Out Time* = 1,95 Tahun
- *Rate Of Return On Investment (ROR)* = 42,14%
- *Break Even Point (BEP)* = 38,17%
- *Service Life* = 11 Tahun

**Kata Kunci:** Trioxane, Trimerisasi, *Continous Stirred Tank Reactor*, Perseroan Terbatas

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



**Dr. Ir. H. Syaiful, DEA**  
NIP. 195810031986031003

Indralaya, Januari 2020

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Ir. Hj. Siti Miskah, M.T.**  
NIP. 195602241984032002

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan .....	2
1.3. Macam Proses Pembuatan.....	3
1.4. Sifat Fisika dan Kimia .....	4
<b>BAB II PERENCANAAN PABRIK</b> .....	8
2.1. Alasan Pendirian Pabrik .....	8
2.2. Pemilihan Kapasitas .....	9
2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	10
2.4. Uraian proses .....	11
<b>BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK</b> .....	13
3.1. Pemilihan Lokasi.....	13
3.2. Tata Letak Pabrik .....	15
3.3. Luas Area .....	17
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b> .....	18
4.1. Neraca Massa .....	18
4.2. Neraca Panas .....	25
<b>BAB V UTILITAS</b> .....	30

5.1. Unit Pengadaan Air .....	30
5.2. Unit Pengadaan Steam .....	33
5.3. Unit Pengadaan Listrik.....	34
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	36
<b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>38</b>
<b>BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN .....</b>	<b>78</b>
7.1. Bentuk Perusahaan .....	78
7.2. Struktur Organisasi .....	78
7.3. Tugas dan Wewenang .....	80
7.4. Sistem Kerja .....	82
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan .....	83
<b>BAB VIII ANALISA EKONOMI .....</b>	<b>88</b>
8.1. Keuntungan (Profitabilitas).....	88
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal.....	89
8.3. Total Modal Akhir .....	91
8.4. Laju Pengembalian Modal .....	92
8.5. Break Even Point (BEP) .....	93
<b>BAB IX KESIMPULAN .....</b>	<b>96</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>97</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>100</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Faktor Pembanding Jenis Reaksi Pembuatan Trioxane.....	4
Tabel 2.1. Data Kebutuhan Trioxane di Indonesia.....	9
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan.....	83
Tabel 7.2. Jumlah Karyawan.....	84
Tabel 8.1. Total Penjualan Produk.....	88
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman.....	90
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	95

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kebutuhan Trioxane di Indonesia Pada Tahun 2008-2018.....	9
Gambar 3.1. Perencanaan Peta Lokasi Pabrik.....	15
Gambar 3.2. Perencanaan Tata Letak Pabrik.....	16
Gambar 3.3. Perencanaan Tata Letak Peralatan Proses.....	17
Gambar 3.5. Tata Letak Peralatan.....	24
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan.....	87
Gambar 8.1. Grafik Break Even Point.....	94

## DAFTAR NOTASI

### 1. BELT CONVEYOR

C	: Faktor material
H	: Panjang <i>belt</i> , ft
THP	: Kapasitas <i>belt</i> , ton/jam
f	: Faktor keamanan, %
V	: Tinggi <i>belt</i> , ft
$W_s$	: Laju alir massa, kg/jam

### 2. CONDENSER, COOLER, HEATER, PARSIAL KONDENSER, EVAPORATOR

A	: Area perpindahan panas, ft <sup>2</sup>
$a_a, a_p$	: Area alir pada annulus, inner pipe, ft <sup>2</sup>
$a_s, a_t$	: Area alir pada shell and tube, ft <sup>2</sup>
$a''$	: External surface per 1 in, ft <sup>2</sup> /in ft
B	: Baffle spacing, in
C	: Clearance antar tube, in
$C_p$	: Spesifik head, kJ/kg
D	: Diameter dalam tube, in
$D_e$	: Diameter ekuivalen, in
$D_B$	: Diameter bundle, in
$D_s$	: Diameter shell, in

$f$	: Faktor friksi, $\text{ft}^2/\text{in}^2$
$g$	: Percepatan gravitasi
$h$	: Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$
$h_i, h_o$	: Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar tube
$j_H$	: Faktor perpindahan panas
$k$	: Konduktivitas termal, $\text{Btu}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}$
$L$	: Panjang tube pipa, ft
LMTD	: Logaritmic Mean Temperature Difference, $^\circ\text{F}$
$N$	: Jumlah baffle
$N_t$	: Jumlah tube
$P_T$	: Tube pitch, in
$\Delta P_T$	: Return drop shell, psi
$\Delta P_S$	: Penurunan tekanan pada shell, psi
$\Delta P_t$	: Penurunan tekanan pada tube, psi
ID	: Inside diameter, ft
OD	: Outside diameter, ft
$Q$	: Beban panas heat exchanger, Btu/hr
$R_d$	: Dirt factor, $\text{hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}/\text{Btu}$
$Re$	: Bilangan Reynold, dimensionless
$s$	: Specific gravity
$T_1, T_2$	: Temperatur fluida panas inlet, outlet, $^\circ\text{F}$
$t_1, t_2$	: Temperatur fluida dingin inlet, outlet, $^\circ\text{F}$

$T_a$	: Temperatur rata-rata fluida panas, °F
$t_a$	: Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
$\Delta t$	: Beda temperatur yang sebenarnya, °F
$U$	: Koefisien perpindahan panas
$U_c, U_o$	: Clean overall coefficient, Design overall coefficient, Btu.hr.ft <sup>2</sup> .°F
$V$	: Kecepatan alir, ft/s
$W$	: Kecepatan alir massa fluida panas, lb/hr
$w$	: Kecepatan alir massa fluida dingin, lb/hr
$\mu$	: Viskositas, Cp

### 3. POMPA

$A$	: Area alir pipa, in <sup>2</sup>
$D_{opt}$	: Diameter optimum pipa, in
$f$	: Faktor friksi
$g$	: Percepatan gravitasi, ft/s <sup>2</sup>
$g_c$	: Konstanta percepatan gravitasi, ft/s <sup>2</sup>
$H_f$	: Total friksi, ft
$H_{fs}$	: Friksi pada permukaan pipa, ft
$H_{fc}$	: Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
$H_{fe}$	: Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
$H_{ff}$	: Friksi karena fitting dan valve, ft
$H_d, H_s$	: Head discharge, suction, ft
$ID$	: Inside diameter, in



OD	: Outside diameter, in
Kc, Ke	: Contaction, ekspansion contraction, ft
L	: Panjang pipa, m
Le	: Panjang ekuivalen pipa, m
NPSH	: Net Positive Suction Head, ft . lbf/ lb
P uap	: Tekanan uap, psi
Qf	: Laju alir volumetrik, ft <sup>3</sup> /s
Re	: Reynold Number, dimensionless
Vs	: Suction velocity, ft/s
Vd	: Discharge velocity, ft/s
BHP	: Brake Horse Power, HP
MHP	: Motor Horse Power, HP
ΔP	: Differential pressure, psi
ε	: Equivalent roughness, ft
η	: Efisiensi pompa
μ	: Viskositas, kg/m.hr
ρ	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>

#### 4. SILO TANK

C	: Tebal korosi yang diinginkan, m
Dt	: Diameter tangki, m
E	: Efisiensi penyambungan

$h$	: Tinggi kerucut, m
$H_s$	: Tinggi Silinder, m
$H_t$	: Tinggi tangki, m
$P$	: Tekanan operasi, psi
$S$	: Working stress yang diinginkan, psi
$t$	: Tebal dinding tangki, m
$V_k$	: Volume kerucut, $m^3$
$V_s$	: Volume silinder, $m^3$
$V_t$	: Volume tangki, $m^3$
$\alpha$	: Sudut elevasi conical head

## 5. TANKI

$C$	: Allowable corrosion, m
$D$	: Diameter tanki, m
$E$	: Joint efisiensi
$h$	: Tinggi head, m
$H$	: Tinggi silinder tanki, m
$H_t$	: Tinggi total tanki, m
$P$	: Tekanan, atm
$S$	: Allowable stress, psi
$t$	: Tebal dinding tanki, m
$V_h$	: Volume head, $m^3$
$V_s$	: Volume silinder, $m^3$

$V_t$  : Volume tanki,  $m^3$   
 $W$  : Laju alir massa,  $kg/jam$   
 $\rho$  : Densitas,  $kg/m^3$

## 6. ACCUMULATOR

$C$  : Allowable corrosion, m  
 $E$  : Efisiensi pengelasan, dimensionless  
 $ID, OD$  : Diameter dalam, Diameter luar, m  
 $L$  : Panjang accumulator, m  
 $P$  : Tekanan operasi, atm  
 $S$  : Working stress yang diizinkan, atm  
 $T$  : Temperatur operasi, K  
 $t$  : Tebal dinding accumulator, m  
 $V$  : Volume total,  $m^3$   
 $V_s$  : Volume silinder,  $m^3$   
 $\rho$  : Densitas,  $kg/m^3$

## 7. KOLOM DISTILASI

$A_a$  : Active area,  $m^2$   
 $A_d$  : Downcomer area,  $m^2$   
 $A_{da}$  : Luas aerasi,  $m^2$   
 $A_h$  : Hole area,  $m^2$

$A_n$	:	Net area, $m^2$
$A_t$	:	Tower area, $m^2$
$C_c$	:	Tebal korosi maksimum, in
$D$	:	Diameter kolom, m
$d_h$	:	Diameter hole, mm
$E$	:	Total entrainment, kg/s
$E_j$	:	Efisiensi pengelasan
$F_{IV}$	:	Parameter aliran
$H$	:	Tinggi kolom, m
$h_a$	:	Aerated liquid drop, m
$h_f$	:	Froth height, m
$h_q$	:	Weep point, cm
$h_w$	:	Weir height, m
$L_w$	:	Weir height, m
$N_m$	:	Jumlah tray minimum, stage
$Q_p$	:	Faktor aerasi
$R$	:	Rasio refluks
$R_m$	:	Rasio refluks minimum
$U_f$	:	Kecepatan massa aerasi, m/s
$V_d$	:	Kelajuan downcomer
$\Delta P$	:	Pressure drop, psi
$\Psi$	:	Fractional entrainment

$U_D$  : Design Overall Heat Transfer Coefficient  
 $U_C$  : Clean Overall Heat Transfer Coefficient

## 8. REAKTOR

$C_{Ao}$  : konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m<sup>3</sup>  
 $C$  : Tebal korosi yang diizinkan, atm  
 $d$  : Diameter molekul, cm  
 $F_{Ao}$  : Laju alir umpan, kmol/jam  
 $H_r$  : Tinggi Reaktor, m  
 $ID$  : Inside Diameter, m  
 $k$  : Konstanta laju reaksi, m<sup>3</sup>/kmol.s  
 $L$  : Bilangan Avogadro  
 $OD$  : Outside Diameter, m  
 $P$  : Tekanan, atm  
 $Q_f$  : Volumetric Flowrate Umpan  
 $Re$  : Bilangan Reynold  
 $S$  : Working Stress yang diizinkan, atm  
 $T$  : Temperatur. °C  
 $t$  : Tebal dinding vessel  
 $V_t$  : Volume reaktor, m<sup>3</sup>  
 $X$  : Konversi  
 $\rho$  : Densitas  
 $k_B$  : Konstanta Boltzman

## 9. CRYSTALLIZER

- P : Tekanan desain, psi
- R : Jari-jari tangki, in
- C : *Corrison allowance*, in
- S : *Working stress*, psi
- E : Efisiensi penyambungan
- Di : diameter impeller, in
- N : Kecepatan putaran kritis (rps)
- S : Shape factor
- V : Kinematic viscosity, m<sup>3</sup>/s
- D<sub>p</sub> : diameter partikel rata-rata, m
- B : Persen berat cairan per berat solid, %
- g : Percepatan gravitasi, m/s<sup>2</sup>
- Δρ : Selisih densitas solid-liquid, kg/m<sup>3</sup>
- ρ : Densitas campuran solid-liquid, kg/m<sup>3</sup>

## 10. CENTRIFUGE

- V : Volume, m<sup>3</sup>
- D<sub>b</sub> : diameter bowl, in
- n : Speed, rpm

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>LAMPIRAN 1. PERHITUNGAN NERACA MASSA .....</b>	<b>100</b>
<b>LAMPIRAN 2. PERHITUNGAN NERACA PANAS .....</b>	<b>157</b>
<b>LAMPIRAN 3. SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>218</b>
<b>LAMPIRAN 4. PERHITUNGAN EKONOMI .....</b>	<b>545</b>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi disertai dengan kemajuan sektor industri telah menuntut semua negara ke arah industrialisasi. Indonesia sebagai negara berkembang banyak melakukan pembangunan di segala bidang. Sampai saat ini pembangunan sektor industri mengalami peningkatan, salah satunya adalah pembangunan sektor industri kimia. Namun ketergantungan impor luar negeri masih lebih besar dibandingkan eksportnya. Indonesia masih banyak mengimpor bahan baku atau produk industri kimia dari luar negeri.

Salah satu bahan baku atau produk industri kimia yang masih banyak diimpor hingga saat ini ialah trioxane. Trioxane merupakan senyawa hasil reaksi trimerisasi formaldehid yang terbentuk dari reaksi senyawa formaldehid di dalam reaktor dengan menggunakan bantuan suatu katalis. Senyawa trioxane juga dikenal sebagai formalin berbentuk padatan yang memiliki rumus kimia  $C_3H_6O_6$ .

Produk trioxane banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku pada dalam sektor industri. Industri yang paling banyak menggunakan senyawa trioxane adalah sector industri tekstil yang memanfaatkan trioxane sebagai bahan baku dalam memproduksi *polyoxymethylene* (POM) atau lebih dikenal dengan *polyacetals*. Selain itu produk trioxane juga dapat dimanfaatkan pada sektor industri lain, seperti sebagai bahan baku industri kosmetik, aditif anti korosi logam, bahan perekat pada produk kayu lapis (*plywood*), bahan pengeras lapisan gelatin dan kertas pada bidang fotografi, dan bahan pengawet produk kosmetik.

Meninjau begitu banyak manfaat produk trioxane akan membuat kebutuhan impor produk trioxane semakin tinggi. Sejauh ini masih belum ada sektor industri kimia yang memproduksi trioxane di Indonesia. Oleh karena itu perlu dilakukan rancangan untuk didirikannya pabrik trioxane dalam skala industri di Indonesia untuk dapat mengantisipasi kebutuhan trioxane dalam negeri. Dengan berdirinya pabrik trioxane di Indonesia akan dapat meningkatkan kemajuan perkembangan industri dan dapat memicu persaingan pasar global.



## 1.2. Sejarah dan Perkembangan

Perkembangan senyawa trioxane di mulai pada sekitar tahun 1885. Pengembangan untuk bentuk lain dari senyawa formaldehid khusus untuk menghasilkan senyawa formaldehid yang stabil dan tidak terlalu berbahaya menghasilkan senyawa formaldehid padatan berupa trioxane. Penggunaan trioxane lebih untuk alternatif dalam penggunaan bentuk senyawa formaldehid dalam menghasilkan produk kimia yang menggunakan formaldehid sebagai bahan baku. Dikarenakan trioxane yang jauh lebih stabil dan mudah digunakan.

Pada umumnya trioxane dapat diproduksi dengan reaksi trimerisasi senyawa formaldehid dalam reaktor dengan menggunakan bantuan katalis. Jenis katalis yang digunakan dapat berupa katalis heterogen dan katalis homogen. Jenis Senyawa trioxane merupakan formaldehid berbentuk polimer yang berbeda dengan jenis bentukan dari senyawa formaldehid lainnya. Senyawa trioxane memiliki wujud kristal padat yang stabil berwarna putih yang akan meleleh pada suhu 61-62°C dan mendidih tanpa penguraian pada suhu 115°C.

Perkembangan senyawa trioxane semakin tinggi seiring dengan dihasilkannya produksi senyawa *polyoxmethylene* (POM) atau *polyacetals* yang memiliki sifat mekanik yang sangat tinggi dan ketahanan kimia yang tinggi. Penggunaan POM dalam sektor industri menggantikan komponen-komponen material industri yang masih menggunakan material baja. Senyawa trioxane sampai saat ini diperkirakan 99% digunakan sebagai bahan baku pembuatan *polyoxymethylene*. Kurang dari 0,01% produk trioxane digunakan sebagai pelarut bersama produk komersil dan sekitar 0,8% lainnya digunakan sebagai bahan intermediat untuk memproduksi senyawa monomer lainnya.

Produksi trioxane hingga saat ini terus mengalami inovasi pengembangan untuk menghasilkan produk trioxane yang lebih ekonomis. Penyesuaian dengan jenis katalis yang digunakan untuk menghasilkan konversi trioxane yang tinggi dan pemilihan solven dalam menghasilkan trioxane dengan kemurnian tertinggi terus dikembangkan. Selain pengembangan dalam proses memproduksi, perkembangan dalam pemanfaatan senyawa trioxane juga semakin banyak salah satunya sebagai bahan bakar solid alternatif.

### 1.3. Macam Proses Pembuatan

#### 1.3.1. Proses Reaksi Menggunakan Katalis Heterogen

Proses pembuatan trioxane dengan menggunakan katalis heterogen dilakukan dalam *Plug Flow Reactor* atau *Fixed Catalyst Bed Reactor*. Jenis katalis yang digunakan adalah katalis berwujud padat seperti resin *ion exchanger*, *zinc chloride*, *titanium dioxide*, *iron chloride*, *iron (III) oxide*, dengan konsentrasi yang digunakan hanya mencapai 25% berat. Proses reaksi berlangsung dalam reaktor dengan kondisi operasi temperature 80-200°C dan tekanan 13,6-27,2 atm. Konsentrasi bahan baku formaldehid yang digunakan tidak boleh lebih dari 40% berat. Jika konsentrasi formaldehid lebih besar dari 40% berat, maka produk samping berupa *paraformaldehyde*, *formic acid*, *methyl formate*, *methylal*, *tertraoxane* akan meningkat. Jika konsentrasi formaldehid terlalu kecil, maka konversi formaldehid menjadi trioxane akan menjadi lebih kecil, sehingga proses kurang ekonomis. Dengan menggunakan katalis heterogen ini senyawa katalis dapat diregenerasi untuk digunakan kembali dalam proses

#### 1.3.2. Proses Reaksi Menggunakan Katalis Homogen

Katalis homogen yang digunakan adalah asam kuat meliputi asam sulfat, asam klorida, asam metasulfonat dan asam kuat lainnya dengan konsentrasi 5% berat. Proses pembuatan trioxane dijalankan pada fase cair dengan katalis homogen dalam *isothermal non-adiabatic Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)* yang beroperasi pada kisaran suhu sekitar 50-150°C dan tekanan sekitar 1-10 atm. Konsentrasi bahan baku larutan formaldehid yang digunakan mencapai 60% berat, jika lebih kecil akan menurunkan konversi pembentukan trioxane.

Hasil reaktor yang berupa katalis asam dapat dinetralkan atau katalisnya dapat dipisahkan dalam separator, menara distilasi, atau kolom fraksinasi untuk mencegah terjadinya korosi. Katalis hanya berfungsi untuk menaikkan kecepatan reaksi tapi tidak mengubah kesetimbangan reaksi. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi eksotermis, maka reaktor dilengkapi dengan jaket pendingin dengan media pendingin air. Waktu reaksi di dalam reaktor 60-180 menit. Kemudian pemurnian trioxane dari katalis asam dan formaldehid yang tidak bereaksi dilakukan di dalam kolom destilasi dengan memisahkan katalis asam yang masih tercampur dengan

produk trioxane. Selain menggunakan kolom destilasi juga bisa menggunakan ekstraktor dengan menambahkan solven seperti benzen, atau 1,2-dikloroetana yang tidak larut dalam katalis asam, air, ataupun formaldehid.

**Tabel 1.1.** Faktor Pembanding Jenis Reaksi Pembuatan Trioxane

Faktor Pembanding	Reaksi Menggunakan Katalis Heterogen	Reaksi Menggunakan Katalis Homogen
Bahan Baku	Formaldehid 40%	Formaldehid 60%
Katalis	<i>Ion Exchanger</i> <i>Zinc Chloride</i> <i>Titanium Dioxide</i> <i>Iron Chloride</i> <i>Iron (III) Oxide</i>	Asam Sulfat Asam Klorida Asam metasulfonat
Kondisi Operasi	T = 80-200°C P = 13,6-27,2 atm	T = 50-150°C P = 1-10 atm

#### 1.4. Sifat Fisika dan Kimia

##### 1.4.1. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku

###### 1. Formaldehid

Rumus molekul	: CH <sub>3</sub> O
Berat molekul	: 30 kg/kmol
Fase	: gas pada (25°C, 1 atm)
Titik didih	: -19°C
Titik leleh	: -117°C
Temperatur kritis	: 134,85°C
Tekanan kritis	: 66,71 atm
Densitas	: 0,726 g/ml
Bahaya Utama	: Mudah Terbakar
Kelarutan	: Larut dalam Air

(yaws, 1999)

#### 1.4.2. Sifat Fisika dan Kimia Produk

##### 1. Trioxane

Rumus molekul	:	$C_3H_6O_3$
Berat molekul	:	90 kg/kmol
Fase	:	Padat pada (25°C, 1 atm)
Titik didih	:	115°C
Titik leleh	:	65°C
Temperatur kritis	:	330,85°C
Tekanan kritis	:	58,95 atm
Densitas	:	1,17 g/cm <sup>3</sup>
Bahaya Utama	:	Mudah Terbakar

(yaws, 1999)

#### 1.4.3. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Katalis

##### 1. Asam Metasulfonat

Rumus Molekul	:	$CH_3SO_3H$
Berat Molekul	:	96 kg/kmol
Fase	:	Cair pada (25°C, 1 atm)
Titik Didih	:	443 °C
Titik Leleh	:	17-19°C
Temperatur Kritis	:	660,44°C
Tekanan Kritis	:	71,81atm
Densitas	:	1,022 g/ml
Bahaya Utama	:	Korosif

(yaws, 1999)

#### 1.4.4. Sifat Fisika dan Kimia Produk dan Impuritis

##### 1. Air

Rumus Molekul	: H <sub>2</sub> O
Berat Molekul	: 18 kg/kmol
Fase	: Cair pada (25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 100°C
Titik leleh	: 0°C
Temperatur Kritis	: 373,98°C
Tekanan Kritis	: 217,7 atm
Densitas	: 0,964 g/cm <sup>3</sup> (25°C, 1 atm)

##### 2. Metanol

Rumus Molekul	: CH <sub>3</sub> OH
Berat Molekul	: 32 kg/kmol
Fase	: Cair pada (25°C, 1 atm)
Titik didih	: 64,5°C
Titik leleh	: -97,8°C
Temperatur Kritis	: 240°C
Tekanan Kritis	: 79,9109 atm
Densitas	: 0,792 g/cm <sup>3</sup> ( pada suhu 25°C )

##### 3. Metil Format

Rumus Molekul	: C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 60 kg/kmol
Titik Didih	: 31,75°C
Titik leleh	: -99°C
Temperatur Kritis	: 214,05°C
Tekanan Kritis	: 59,22 atm
Densitas	: 0,98 g/cm <sup>3</sup>

4. Karbon Dioksida

Rumus Molekul	: CO <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 44 kg/kmol
Fase	: Gas pada (25°C, 1 atm)
Titik Didih	: -57°C
Titik leleh	: -79,15°C
Temperatur Kritis	: 31 °C
Tekanan Kritis	: 81,5 atm
Densitas	: 1,98 g/cm <sup>3</sup> (pada fase gas)

5. Asam Format

Rumus Molekul	: C H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Berat Molekul	: 46 kg/kmol
Fase	: Cair pada (25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 100,8°C
Titik leleh	: 7,85°C
Temperatur Kritis	: 306,5°C
Tekanan Kritis	: 76,3 atm
Densitas	: 1,22 g/cm <sup>3</sup> (pada fase gas)

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 2012. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2013. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2014. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2014. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2015. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2016. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2017. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- \_\_\_\_\_. 2018. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- Bayonne, B. M., dan Laffitte. 2017. Method For Preparing Trioxane. US Patent No. 2017/0233366 A1.
- Bank Indonesia. 2019. *Suku Bunga Penjaminan*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/suku-bunga-penjaminan/Contents/Default.aspx>. (Diakses pada Tanggal 23 November 2019).
- Brown, G. G. 1950. *Unit Operations*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Coulson & Richardson. 2005. *Chemical Engineering Volume 6 4<sup>th</sup> Edition*. Elsevier : Buttenworth - Heinemann.
- Couper, J. R., Penney, W. R., James, dan Walas, S. M. 2010. *Chemical Process Equipment Selection and Design Edisi 2*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, S. H. 2004. *Element of Chemical Reaction Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

- Ilmusipil.com. 2019. *Harga Borong Bangunan per Meter Persegi*. (Online). <http://www.ilmusipil.com/harga-borong-bangunan-per-meter-persegi>. (Diakses pada 25 November 2019).
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Kementerian PU. 1996. *Kriteria Perencanaan Pengolahan Air*. Jakarta: Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.
- Matches Engineering. 2017. *Equipment Cost*. (Online). [www.matche.com](http://www.matche.com). (Diakses pada 10 Desember 2019).
- Mannheim, K.F., Limburgerhof, M. R., dkk. 2005. Method For Producing Pure Trioxane. US Patent No. 2005/0176973 A1.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5<sup>th</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7<sup>th</sup> Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8<sup>th</sup> Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Edisi 4*. Singapore: McGraw Hill.
- Slamet dan Purwanto. 2018. *Teknik Reaksi Kimia Teori dan Soal Penyelesaian*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Smith, J. M. 1982. *Chemical Engineering Kinetics 2<sup>nd</sup> Edition*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Winkle, M. V. *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Woods, D. R. 2007. *Rules of Thumb in Chemical Engineering Practice*. Jerman: Wiley-VCH.



Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education

Yaws, C. L. 2015. *The Yaws Handbook of Vapor Pressure, 2<sup>nd</sup> Edition*. New York: Elsevier.