

**PRA RANCANGAN  
PABRIK PEMBUATAN ASAM TEREFTALAT  
KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN**



**SKRIPSI**

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti  
Ujian Sarjana pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**OLEH :**

**TRI MELIASARI**

**03031181621031**

**SRI MAWARNI**

**03031181621034**

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK KIMIA  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDRALAYA**

**2020**

**PRA RANCANGAN  
PABRIK PEMBUATAN ASAM TEREFTALAT  
KAPASITAS 200.000 TON/TAHUN**



**SKRIPSI**

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti  
Ujian Sarjana pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**OLEH :**

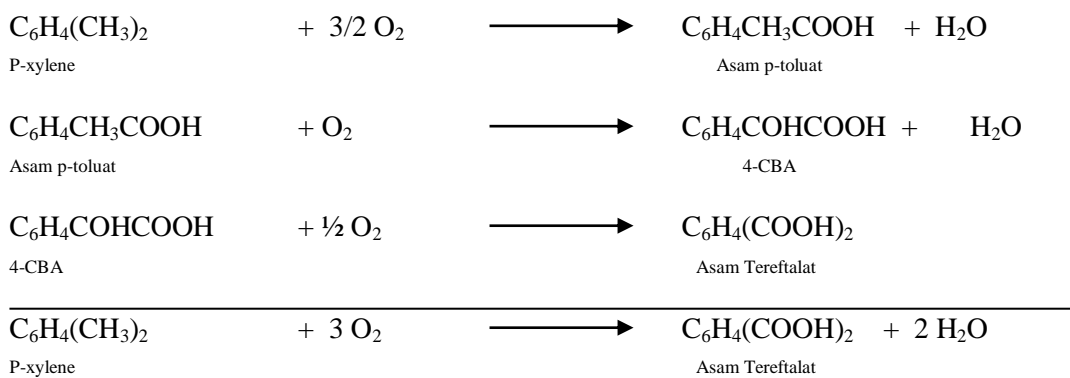
<b>TRI MELIASARI</b>	<b>03031181621031</b>
<b>SRI MAWARNI</b>	<b>03031181621034</b>

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK KIMIA  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
INDRALAYA**

**2020**

## ABSTRAK

Pabrik pembuatan Asam Tereftalat berkapasitas 200.000 ton/tahun ini direncanakan didirikan pada tahun 2025 berlokasi di Jalan Sumur Pawon, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, Jawa Timur dengan luas area 10 Ha. Proses pembuatan Asam Tereftalat ini menggunakan bahan baku Paraxylene dan Oksigen dengan katalis padat Cobalt Asetat, Mangan Asetat, Perak Asetat, dan Asam Bromida serta Pelarut katalis Asam Asetat. Reaksi berlangsung dalam *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) pada Temperatur 185°C dan Tekanan 9,87 atm. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Perusahaan berbentuk perseroan terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan adalah *line and staff* dengan total karyawan 160 orang. *Total Capital Investment* (TCI) mencapai US\$ 98.123.974,88. *Rate of return on investment* yaitu 82,33 %. *Break Even Point* yaitu 25,20 %. Berdasarkan analisa ketersediaan bahan baku, kebutuhan dan manfaat asam tereftalat, proses, kebutuhan utilitas, lokasi, susunan organisasi dan ekonomu, maka pabrik asam tereftalat ini layak didirikan.

**Kata Kunci:** Asam Tereftalat, Reaktor, Paraxylene, Oksigen, Katalis, Pelarut.

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Tereftalat Kapasitas 200.000 Ton/Tahun”.

Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Pada kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini, terutama kepada:

1. Kedua Orang Tua dan keluarga tercinta atas dukungan yang tidak henti-hentinya, baik dukungan materi maupun simpati.
2. Keluarga, dan orang-orang terkasih atas dukungannya yang sangat besar selama ini.
3. Ir. Pamilia Coniwanti, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Dr. Ir. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
5. Dr. Leily Nurul Komariah, S.T, M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya
6. Seluruh Staff Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
7. Teman-teman terdekat di Teknik Kimia 2016 dan Kakak Tingkat (Alumni) Teknik Kimia yang turut serta memberikan ilmunya.

Demikian kami berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Palembang,     Juli 2020

Penulis

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM TEREFTALAT  
KAPASITAS 200.000 TON / TAHUN**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana**

Oleh

Tri Meliasari

NIM. 03031181621031

Sri Mawarni

NIM. 03031181621034

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Pamilia Coniwanti

NIP. 195512151985032001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. I. Syaiful DEA

NIP. 195810031986031003

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>6</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxxii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan .....	2
1.3. Jenis Proses Pembuatan .....	3
1.4. Sifat-sifat Fisika dan Kimia .....	6
<b>BAB II PERENCANAAN PABRIK.....</b>	<b>11</b>
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	11
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi.....	12
2.3. Pemilihan Proses.....	14
2.4. Pemilihan Bahan Baku.....	14
2.5. Uraian Proses .....	15
<b>BAB III LOKASI DAN LETAK PERALATAN PABRIK .....</b>	<b>17</b>
3.1. Lokasi Pabrik .....	17
3.2. Luas Area .....	19
3.3. Tata Letak Pabrik.....	20
3.4. Tata Letak Peralatan .....	22
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....</b>	<b>24</b>
4.1. Neraca Massa .....	24
4.2. Neraca Panas .....	32
<b>BAB V UTILITAS.....</b>	<b>41</b>
5.1. Unit Pengadaan <i>Steam</i> .....	41
5.2. Unit Pengadaan Air.....	42

5.3. Unit Pengadaan Tenaga Listrik.....	46
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar .....	49
<b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>52</b>
6.1. Belt Conveyor (BC-01).....	52
6.2. Belt Conveyor (BC-02).....	53
6.3. Bucket Elevator (BE-01).....	54
6.4. Bucket Elevator (BE-02).....	55
6.5. Fan-01 .....	56
6.6. Silo Tank (ST-01) .....	57
6.7. Silo Tank (ST-02) .....	58
6.8. Tangki (T-01).....	59
6.9. Tangki (T-02).....	60
6.10. Tangki (T-03).....	61
6.11. Mixing Tank (MT-01).....	62
6.12. Reaktor (R-01) .....	63
6.13. Evaporator (EV-01).....	65
6.14. Evaporator (EV-02).....	66
6.15. Crystallizer (CR-01).....	67
6.16. Filter (F-01).....	68
6.17. Filter (F-02).....	69
6.18. Centrifuge (CF-01).....	70
6.19. Centrifuge (CF-02).....	71
6.20. Centrifuge (CF-03).....	72
6.21. Rotary Dryer (RD-01).....	73
6.22. Knock Out Drum (KOD-01).....	74
6.23. Absorber (AB-01).....	75
6.24. Cooler (C-01).....	76
6.25. Cooler (C-02).....	77
6.26. Cooler (C-03).....	78
6.27. Cooler (C-04).....	79
6.28. Cooler (C-05).....	80
6.29. Heater (H-01).....	81

6.30. Heater (H-02).....	82
6.31. Heater (H-03).....	83
6.32. Heater (H-04).....	84
6.33. Air Heater (AH-01).....	87
6.34. Air Heater (AH-02).....	88
6.35. Chiller (CH-01).....	89
6.36. Condenser (CD-01).....	90
6.37. Partial Condenser (PC-01).....	91
6.38. Kompresor (K-01).....	92
6.39. Kompresor (K-02).....	93
6.40. Expander (EXP-01).....	94
6.41. Expander (EXP-02).....	95
6.42. Pompa (P-01).....	96
6.43. Pompa (P-02).....	97
6.44. Pompa (P-03).....	98
6.45. Pompa (P-04).....	99
6.46. Pompa (P-05).....	100
6.47. Pompa (P-06).....	101
6.48. Pompa (P-07).....	102
6.49. Pompa (P-08).....	103
6.50. Pompa (P-09).....	104
6.51. Pompa (P-10).....	105
6.52. Pompa (P-11).....	106
6.53. Pompa (P-12).....	107
6.54. Pompa (P-13).....	108
6.55. Pompa (P-14).....	109
6.56. Pompa (P-15).....	110
6.57. Pompa (P-16).....	111

**BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN ..... 112**

7.1. Bentuk Struktur Organisasi.....	112
7.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....	112
7.3. Tugas dan Wewenang .....	113



7.4. Kepegawaian.....	118
7.5. Sistem Kerja.....	118
7.6. Penentuan Jumlah Karyawan.....	119
<b>BAB VIII ANALISA EKONOMI.....</b>	<b>124</b>
8.1. Keuntungan ( <i>Profit</i> ).....	125
8.2. Lama Pengembalian Modal ( <i>Time of Return Investment</i> ).....	125
8.3. Total Modal Akhir ( <i>Total Final Capital</i> ).....	127
8.4. <i>Total Capital Sink</i> (TCS).....	128
8.5. Laju Pengembalian Modal ( <i>Rate of Return Capital</i> ).....	128
8.6. <i>Break Even Point</i> (BEP).....	129
<b>BAB IX KESIMPULAN.....</b>	<b>132</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1.</b> Pabrik Asam Tereftalat di Luar dan Dalam Negeri.....	2
<b>Tabel</b>	
<b>SKRIPSI</b> .....	1
<b>SKRIPSI</b> .....	2
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	4
<b>DAFTAR ISI</b> .....	6
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	11
<b>C</b> : Corrosion maksimum, in .....	13
<b>A</b> : Cross sectional area tower, $m^2$ .....	17
<b>C</b> : Corrosion maksimum, in .....	18
<b>D</b> : Diameter kolom, m .....	18
<b>F<sub>g</sub>, F<sub>L</sub></b> : Koefisien mass transfer gas dan liquid, $kmol/m^2.s$ .....	18
<b>G'</b> : Superficial gas mass velocity, $kg/m^2 s$ .....	18
<b>L'</b> : Superficial liquid mass velocity, $kg/m^2 s$ .....	18
<b>C</b> : Corrosion maksimum, in .....	19
<b>At</b> : Luas area total orifice, $m^2$ .....	21
<b>C</b> : Corrosion maksimum, in .....	21
<b>Tabel 10.1.</b> Kriteria Penentuan Jumlah Pengaduk .....	138

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	Grafik Kebutuhan Asam Tereftalat .....	13
<b>Gambar 3.1.</b>	Lokasi Pabrik pada Peta.....	19
<b>Gambar 3.2.</b>	Perhitungan Luas Area Pabrik Pembuatan Asam Tereftalat .....	19
<b>Gambar 3.3.</b>	Tata <u>Letak Pabrik</u> pada Skala 1:2198 .....	21
<b>Gambar 3.4.</b>	Tata Letak <u>Peralatan</u> .....	23
<b>Gambar 7.1.</b>	Struktur Organisasi Perusahaan.....	123
<b>Gambar 8.1.</b>	<i>Break Even Point</i> .....	130

## DAFTAR NOTASI

### 1. BELT CONVEYOR

- W : Laju alir massa, ton/jam  
Hp : power, Hp  
H : Panjang belt, ft  
V : Tinggi belt, °  
C : Faktor material

### 2. BELT DRYER

- A : Cross area sectional, m<sup>2</sup>  
G : Laju massa udara pengering, kg/m<sup>2</sup>. s  
Gs : Laju alir udara, kg/s  
 $\rho$  : Densitas, kg/m<sup>3</sup>  
W : Laju alir massa, ton/jam  
Hp : Power, Hp  
H : Panjang belt, ft  
V : Tinggi belt, °  
C : Faktor material

### 3. FAN

- A : Inside section area, ft<sup>2</sup>  
D<sub>opt</sub> : Diameter optimum, in  
Di : Diameter pipa, ft  
ID : Inside diameter, ft  
OD : Outside diameter, ft  
P : Power, Hp  
Q<sub>f</sub> : Volumetric flowrate, ft<sup>3</sup>/s  
V : Kecepatan udara, ft/s  
W : Kapasitas, lb/hr

#### 4. CENTRIFUGE

- Db : Diameter bowl, in  
F<sub>c</sub> : Gaya sentrifugal, lbf  
n : Kecepatan putaran, rpm  
P : Daya motor, Hp  
Q<sub>v</sub> : Laju alir volumetric massa, m<sup>3</sup>/jam  
ρ : Densitas, kg/m<sup>3</sup>

#### 5. CRYSTALLIZER

Vessel :

- A : Vessel Area Minimum, m<sup>2</sup>  
C : Corrosion maksimum, in  
D : Diameter vessel minimum, m  
E : Joint efisiensi  
H<sub>t</sub> : Tinggi vessel, m  
P : Tekanan desain, psi  
S : Working stress allowable, psi  
T<sub>k</sub> : Tinggi kerucut, m  
T<sub>h</sub> : Tinggi head, m  
T<sub>s</sub> : Tinggi silinder, m  
Q<sub>L</sub> : Liquid volumetric flowrate, m<sup>3</sup>/jam  
V<sub>h</sub> : Volume head, m<sup>3</sup>  
V<sub>k</sub> : Volume kerucut, m<sup>3</sup>  
V<sub>s</sub> : Volume silinder, m<sup>3</sup>  
V<sub>t</sub> : Volume vessel, m<sup>3</sup>  
ρ : Densitas, kg/m<sup>3</sup>  
μ : Viskositas, cP  
ρ<sub>l</sub> : Densitas liquid, kg/m<sup>3</sup>

Cooler crystallizer :

- A : Area perpindahan panas, ft<sup>2</sup>

$a_a, a_p$  : Area alir pada annulus, inner pipe,  $\text{ft}^2$   
 $a_s, a_t$  : Area alir pada shell and tube,  $\text{ft}^2$   
 $a''$  : External surface per 1 in,  $\text{ft}^2/\text{in ft}$   
 $B$  : Baffle spacing, in  
 $C$  : Clearence antar tube, in  
 $C_p$  : Spesifik head,  $\text{kJ/kg}$   
 $D$  : 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,  $\text{Btu/hr.ft}^2.^\circ\text{F}$   
 $h_i, h_o$  : Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar tube  
 $j_H$  : Faktor perpindahan panas  
 $k$  : Konduktivitas termal,  $\text{Btu/hr.ft}^2.^\circ\text{F}$   
 $L$  : Panjang tube pipa, ft  
 $\text{LMTD}$  : 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  
 $\text{ID}$  : Inside diameter, ft  
 $\text{OD}$  : Outside diameter, ft  
 $Q$  : Beban panas heat exchanger,  $\text{Btu/hr}$   
 $R_d$  : Dirt factor,  $\text{hr.ft}^2.^\circ\text{F/Btu}$   
 $Re$  : Bilangan Reynold, dimensionless  
 $s$  : Specific gravity

$T_1, T_2$  : Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F  
 $t_1, t_2$  : Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °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

**6. CONDENSER, PARTIAL KONDENSOR, COOLER, HEATER, EVAPORATOR, CHILLER**

$A$  : Area perpindahan panas, ft<sup>2</sup>  
 $a_o, a_p$  : 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, ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup>  
 $g$  : Percepatan gravitasi  
 $h$  : Koefisien perpindahan panas, Btu/hr.ft<sup>2</sup>.°F  
 $h_1, h_o$  : Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar tube  
 $j_H$  : Faktor perpindahan panas

$k$	: Konduktivitas termal, Btu/hr.ft <sup>2</sup> .°F
$L$	: Panjang tube pipa, ft
LMTD	: Logaritmic Mean Temperature Difference, °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, hr.ft <sup>2</sup> .°F/Btu
$Re$	: Bilangan Reynold, dimensionless
$s$	: Specific gravity
$T_1, T_2$	: Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
$t_1, t_2$	: Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °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

## 7. KNOCK OUT DRUM

$A$	: Vessel Area Minimum, m <sup>2</sup>
$C$	: Corrosion maksimum, in
$D$	: Diameter vessel minimum, m



E	: Joint efisiensi
H <sub>L</sub>	: Tinggi liquid, m
H <sub>t</sub>	: Tinggi vessel, m
P	: Tekanan desain, psi
Q <sub>v</sub>	: Laju alir volumetric massa, m <sup>3</sup> /jam
Q <sub>L</sub>	: Liquid volumetric flowrate, m <sup>3</sup> /jam
S	: Working stress allowable, psi
t	: tebal dinding tangki, m
U <sub>v</sub>	: Kecepatan uap maksimum, m/s
V <sub>t</sub>	: Volume Vessel, m <sup>3</sup>
V <sub>h</sub>	: Volume head, m <sup>3</sup>
V <sub>t</sub>	: Volume vessel, m <sup>3</sup>
ρ	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>
μ	: Viskositas, cP
ρ <sub>g</sub>	: Densitas gas, kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>l</sub>	: Densitas liquid, kg/m <sup>3</sup>

## 8. FILTER

A	: Area Filtrasi, m <sup>2</sup>
C	: Konsentrasi solid dalam feed, kg/m <sup>3</sup>
m <sub>f</sub>	: Flowrate feed, kg/jam
V	: Volume liquid, m <sup>3</sup>
ρ <sub>c</sub>	: Densitas cake, kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>s</sub>	: Densitas campuran, kg/m <sup>3</sup>
θ	: Waktu filtrasi, menit

## 9. ABSORBER

A	: Cross sectional area tower, m <sup>2</sup>
BM <sub>avg</sub>	: BM rata-rata, kg/kmol

C	: Corrosion maksimum, in
D	: Diameter kolom, m
$D_G, D_L$	: Diffusivity gas dan liquid, $m^2/s$
E	: Joint efisiensi
$\rho_g, \rho_L$	: Densitas gas dan liquid, $kg/m^3$
$F_g, F_L$	: Koefisien mass transfer gas dan liquid, $kmol/m^2.s$
G	: Superficial molar gas mass velocity, $kmol/m^2 s$
$G'$	: Superficial gas mass velocity, $kg/m^2 s$
$H_{tG}$	: Tinggi transfer unit fase gas, m
$H_{tL}$	: Tinggi transfer unit fase liquid, m
$H_{t_{og}}$	: Overall tinggi transfer unit overall fase gas
L	: Total laju liquid, $kg/m^2.s$
$L'$	: Superficial liquid mass velocity, $kg/m^2 s$
m	: Ratio distribusi kesetimbangan
P	: Tekanan desain, psi
S	: Working stress allowable, psi
$Sc_g, Sc_l$	: Schmidt number of gas, liquid
Z	: Tinggi packing, m
$\mu_g, \mu_L$	: Viskositas gas dan liquid $kg/m.s$
$\epsilon$	: Energy of molecular attraction
$\epsilon_{Lo}$	: Fractional liquid volume, $m^2/m^3$
$\Delta P$	: Perbedaan tekanan, $N/m^2$
$\sigma_L$	: Liquid surface tension, $N/m$
$\phi_{lt}$	: Total hold-up liquid

## 10. KOMPRESOR

BHP	: Brake Horse Power, power yang dibutuhkan, HP
k	: Konstanta kompresi
n	: Jumlah stage
$\eta$	: Efisiensi kompresor
$P_{in}$	: Tekanan masuk, atm

$P_{out}$	: Tekanan keluar, atm
$T_1$	: Temperatur masuk kompresor, °C
$T_2$	: Temperatur keluar kompresor, °C
$P_w$	: Power kompresor, Hp
$Q$	: Kapasitas kompresor
$R_c$	: Ratio kompresi, tidak berdimensi
$W$	: Laju alir massa, lb/jam
$P$	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>

## 11. MIXING TANK

$C$	: <b>Corrosion maksimum, in</b>
$D_t$	: Diameter tangki, m
$D_i$	: Diameter impeller, m
$E$	: Joint efisiensi
$g$	: Lebar baffle pengaduk, m
$h$	: Tinggi head, m
$H_L$	: Tinggi liquid, m
$H_s$	: Tinggi silinder, m
$H_T$	: Tinggi tangki, m
$N$	: Kecepatan putaran pengaduk, rpm
$P$	: Tekanan desain, psi
$r$	: Panjang blade pengaduk, m
$rb$	: Posisi baffle dari dinding tangki, m
$r_i$	: jari-jari vessel, in
$S$	: Working stress allowable, psi
$t$	: tebal dinding tangki, m
$V_s$	: Volume silinder, m <sup>3</sup>
$V_E$	: Volume ellipsoidal, m <sup>3</sup>
$V_t$	: Volume tangki total, m <sup>3</sup>
$W_b$	: Lebar baffle, m
$\rho$	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>

$\mu$  : Viskositas, kg/m .s

## 12. POMPA

A : Area alir pipa, in<sup>2</sup>

D<sub>opt</sub> : Diameter optimum pipa, in

f : Faktor friksi

g : Percepatan gravitasi, ft/s<sup>2</sup>

g<sub>c</sub> : Konstanta percepatan gravitasi, ft/s<sup>2</sup>

H<sub>f</sub> : Total friksi, ft

H<sub>fs</sub> : Friksi pada permukaan pipa, ft

H<sub>fc</sub> : Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft

H<sub>fe</sub> : Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft

H<sub>ff</sub> : Friksi karena fitting dan valve, ft

H<sub>d</sub>, H<sub>s</sub> : Head discharge, suction, ft

ID : Inside diameter, in

OD : Outside diameter, in

K<sub>c</sub>, K<sub>e</sub> : Contaction, ekspansion contraction, ft

L : Panjang pipa, m

L<sub>e</sub> : Panjang ekuivalen pipa, m

NPSH : Net Positive Suction Head, ft . lbf/ lb

P<sub>uap</sub> : Tekanan uap, psi

Q<sub>f</sub> : Laju alir volumetrik, ft<sup>3</sup>/s

Re : Reynold Number, dimensionless

V<sub>s</sub> : Suction velocity, ft/s

V<sub>d</sub> : Discharge velocity, ft/s

BHP : Brake Horse Power, HP

MHP : Motor Horse Power, HP

$\Delta P$  : Differential pressure, psi

$\varepsilon$  : Equivalent roughness, ft

$\eta$  : Efisiensi pompa

$\mu$  : Viskositas, kg/m.hr

$\rho$  : Densitas,  $\text{kg/m}^3$

### 13. REAKTOR

$A_t$  : Luas area total orifice,  $\text{m}^2$

$C$  : Corrosion maksimum, in

$C_{ao}$  : Konsentrasi reaktan mula-mula,  $\text{kmol/m}^3$

$D_i$  : Diameter impeller, m

$D_t$  : Diameter tangki, m

$D_s$  : Diameter sparger, m

$E$  : Joint efisiensi

$E$  : Energi aktivasi

$F_{ao}$  : Jumlah feed mula-mula, Kmol

$g$  : Lebar baffle pengaduk, m

$h$  : Tinggi head, m

$H_L$  : Tinggi liquid, m

$H_s$  : Tinggi silinder, m

$H_s$  : Tinggi sparger, m

$H_T$  : Tinggi tangki, m

$k$  : Konstanta kecepatan reaksi,  $\text{m}^3/\text{kmol jam}$

$K$  : Konstanta Boltzmann =  $1,30 \cdot 10^{-16}$  erg/K

$M_A$  : Berat molekul A

$M_B$  : Berat molekul B

$N$  : Bilangan avogadro =  $6,203 \cdot 10^{23}$  molekul/mol

$N$  : Kecepatan putaran pengaduk, rpm

$N_t$  : Jumlah orifice

$P$  : Tekanan desain, psi

$P$  : Power, HP

$q$  : Debit per orifice,  $\text{m}^3/\text{jam}$

$Q$  : Volumetrik flowrate,  $\text{m}^3/\text{jam}$

$r$  : Panjang blade pengaduk, m

$r_b$  : Posisi baffle dari dinding tangki, m

$r_i$	: Jari-jari vessel, in	
$R$	: Konstanta umum gas	$= 1,987 \cdot 10^{-3}$ kkal/mol. K
$R_d$	: Fouling factor	
$S$	: Working stress allowable, psi	
$t$	: Tebal dinding tanki, m	
$T$	: Temperatur operasi, K	
$U_c$	: Overall heat transfer coefficient	
$V$	: kecepatan gelembung gas lepas orifice, m/s	
$V_s$	: Volume silinder, $m^3$	
$V_E$	: Volume ellipsoidal, $m^3$	
$V_t$	: Volume tangki total, $m^3$	
$W_b$	: Lebar baffle, m	
$V_h$	: Volume head, $m^3$	
$V_b$	: Volume bottom, $m^3$	
$V_s$	: Volume silinder, $m^3$	
$V_t$	: Volume tanki, $m^3$	
$W$	: Laju alir massa, kg/jam	
$X$	: Konversi	
$\mu$	: Viskositas, kg/m.hr	
$\rho$	: Densitas, $kg/m^3$	
$\tau$	: Waktu tinggal, jam	
$\sigma_A$	: Diameter molekul A	
$\sigma_B$	: Diameter molekul B	

#### 14. SILO TANK

$C$	: Tebal korosi yang diinginkan, m
$D_t$	: 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<sub>k</sub> : Volume kerucut, m<sup>3</sup>
- V<sub>s</sub> : Volume silinder, m<sup>3</sup>
- V<sub>t</sub> : Volume tangki, m<sup>3</sup>
- α : Sudut elevasi conical head

### 15. ROTARY DRYER

- A : Cross area sectional, m<sup>2</sup>
- C : Allowable corrosion, m
- D : Diameter tangki, m
- E : Joint efisiensi
- G : Laju massa udara pengering, kg/m<sup>2</sup>. s
- G<sub>s</sub> : Laju alir udara, kg/s
- h : Tinggi head, m
- H : Tinggi silinder tangki, m
- H<sub>t</sub> : Tinggi total tangki, m
- P : Tekanan, atm
- r<sub>i</sub> : Jari-jari tangki, m
- S : Allowable stress, psi
- t : Tebal dinding tangki, m
- V<sub>h</sub> : Volume head, m<sup>3</sup>
- V<sub>b</sub> : Volume bottom, m<sup>3</sup>
- V<sub>s</sub> : Volume silinder, m<sup>3</sup>
- V<sub>t</sub> : Volume tangki, m<sup>3</sup>
- ρ : Densitas, kg/m<sup>3</sup>

### 16. TANKI

- C : Allowable corrosion, m
- D : Diameter tangki, m

E : Joint efisiensi  
h : Tinggi head, m  
H : Tinggi silinder tanki, m  
Ht : Tinggi total tanki, m  
P : Tekanan, atm  
S : Allowable stress, psi  
t : Tebal dinding tanki, m  
Vh : Volume head, m<sup>3</sup>  
Vs : Volume silinder, m<sup>3</sup>  
Vt : Volume tanki, m<sup>3</sup>  
W : Laju alir massa, kg/jam  
 $\rho$  : Densitas, kg/m<sup>3</sup>



### DAFTAR PERSAMAAN

No.	Rumus	Keterangan	Sumber
<b>Panas Reaksi</b>			
1.	$Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T$	Panas sensibel yang dihasilkan	Felder, R.M., dan Rousseau R. W., 2005 halaman 366
2.	$Q = n \cdot \Delta H_v$	Panas laten	Felder, R.M., dan Rousseau R. W., 2005 halaman 379
3.	$\Delta H_{v2} = \Delta H_{v1} \left[ \frac{T_c - T_2}{T_c - T_b} \right]^{0,38}$	Panas Laten pada temperatur operasi	Felder, R.M., dan Rousseau R. W., 2005 halaman 382
4.	$\Delta H_{R298,15 K} = \Delta H_{f \text{ produk}} - \Delta H_{f \text{ reaktan}}$	Panas reaksi	Felder, R.M., dan Rousseau R. W., 2005 halaman 447
5.	$\Delta H_{R1} = \Delta H_{R298,15K} + \sum_{\text{produk}} n \int C_p dT - \sum_{\text{reaktan}} n \int C_p dT$	Panas Reaksi	Felder, R.M., dan Rousseau R. W., 2005 halaman 454
<b>Filter</b>			
6.	$Q = \frac{W}{\rho}$	Menghitung laju alir volumetrik	Wallas, S.M. 1990. Hal 307
7.	$Ar = \frac{Q}{v}$	Menghitung luas cross sectional area	Wallas, S.M. 1990. Hal 307
8.	$ID = \sqrt{\frac{Ar \times 4}{\pi}}$	Menghitung diameter dalam	Wallas, S.M. 1990. Hal 308
9.	$t = \frac{P \times R}{\sigma E - 0,6 \times P} + CA$	Menghitung ketebalan dinding filter	Wallas, S.M. 1990. Hal 308
<b>Kompresor</b>			
10.	$q_{fm} = \frac{W}{\rho}$	Menghitung umpan volumetrik kompresor	Wallas, S.M., 1990. Hal 618
11.	$HP = 3,03 \times 10^{-5} \frac{k}{k-1} P_1 q_{fm} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$	Menghitung daya kompresor	Wallas, S.M., 1990. Hal 618
12.	$C = 110\% q_{fm}$	Menghitung kapasitas kompresor	Wallas, S.M., 1990. Hal 618
13.	$q_n = \frac{Q}{\eta}$	Menghitung panas yang dilepas	Evans, F.L., 1980. Hal 8
14.	$q_r = 0,7 q_n$	Menghitung panas bagian radian	Evans, F.L., 1980. Hal 8

15.	$T_f = \frac{T_{\text{cross over}} + T_{\text{out}}}{2}$	Menghitung temperatur rata-rata fluida	Evans, F.L., 1980. Hal 9
16.	$T_t = T_f + T_{in}$	Menghitung temperatur rata-rata dinding	Evans, F.L., 1980. Hal 9
17.	$AR_t = \frac{q_r}{\text{heat flux}}$	Menghitung luas permukaan bagian radian	Evans, F.L., 1980. Hal 9
18.	$AR_t = \frac{A_{Rt}}{a''}$	Menghitung panjang bagian radian	Evans, F.L., 1980. Hal 9
19.	$A = L \cdot \pi \cdot OD$	Menghitung luas 1 buah tube	Evans, F.L., 1980. Hal 15
20.	$A_{cp} \text{ per tube} = m \times L$	Menghitung luas permukaan yang dingin	Evans, F.L., 1980. Hal 15
21.	$(h) = (Nt/2 - 1) \cdot m + OD + T_b$	Menghitung tinggi bagian radian	Evans, F.L., 1980. Hal 15
22.	$L_s = (Nt/2 - 1) \cdot m + OD$	Menghitung lebar shield	Evans, F.L., 1980. Hal 15
23.	Lebar seksi radian = $(2 \times y) + \text{lebar shield}$	Menghitung lebar bagian radian	Evans, F.L., 1980. Hal 15
24.	$A_r = \text{Total area} - \alpha A_{cp}$	Menghitung area radian	Evans, F.L., 1980. Hal 15
25.	$qL = 2\% \times q_n$	Menghitung panas yang hilang pada tube	Evans, F.L., 1980. Hal 15
26.	$\frac{q_r}{a A_{cp} F} = \left[ 1 + \frac{q_q}{q_n} + \frac{q_f}{q_n} + \frac{q_{g2}}{q_n} \right] \times \frac{q_n}{\alpha A_{cp} F}$	Menghitung panas yang diserap	Evans, F.L., 1980. Hal 15
27.	Panas Konveksi = $Q_{duty} - Q_n$	Menghitung panas konveksi	Evans, F.L., 1980. Hal 11
<b>Reaktor</b>			
28.	$\ln \frac{C_B \cdot C_{A0}}{C_{B0} \cdot C_A} = C_{A0} (M-3) kt$	Mencari persamaan pada reaktor	Levenspiel.,1999., Hal 18
29.	$k = \left( \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} \right)^2 \frac{N}{10^3} \sqrt{8 \cdot \pi \cdot K \cdot T \left( \frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)} e^{-E/RT}$	Menghitung konstanta kecepatan reaksi reaktor (Persamaan Archenius)	Levenspiel.,1999., Hal 39
30.	$SV = 1/\tau$	Menghitung space velocity	Levenspiel.,1999., Hal 93
31.	$E = \Delta H_{298} - R \cdot T$	Menghitung energi aktivasi	Levenspiel.,1999., Hal 47
32.	$\sigma_B = 1,18 (V_n)^{1/3}$	Menghitung diamter molekul	Smith, J.M, 2001. Hal 14
33.	$k_1 = \left( \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} \right)^2 \frac{N}{10^3} \sqrt{8\pi RT \left( \frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)} e^{-E/RT}$	Menghitung kinetika reaksi	Smith, J.M, 2001. Hal 172
34.	$VT = \pi/4 \times ID^2 \times L$	Menghitung volume tube	Sinnot, R.K. 2001. Hal 683

35.	$NT = VTR / VT$	Menghitung jumlah tube	Sinnot, R.K. 2001. Hal 683
36.	$VTR = NT \times VT$	Menghitung keseluruhan volume tube	Sinnot, R.K. 2001. Hal 683
37.	$V_k = (1 - \Phi) \cdot VTR$	Menghitung volume katalis	Smith, J.M. 2001. Hal 172
38.	Clearance = $\frac{1}{2} \times OD$	Menghitung clearance	Sinnot, R.K. 2001. Hal 646
39.	$pt = OD + C$	Menghitung tube pitch	Sinnot, R.K. 2001. Hal 646
40.	$V_s = V_{tr} + V_f$	Menghitung volume shell	Sinnot, R.K. 2001. Hal 648
41.	$D_s = \left(4 \frac{A_s}{\pi}\right)^{0,5}$	Menghitung diameter shell	Sinnot, R.K. 2001. Hal 675
42.	$HS = 0,25 \times DS$	Menghitung tinggi head reactor	Peters. 1991. Hal 538
43.	HR = Panjang tube reaktor+2.Tinggi Head reactor	Menghitung tinggi reaktor total	Peters. 1991. Hal 538
44.	$VHR = 2 \cdot \left[\frac{\pi}{24} \cdot D_s^3\right]$	Menghitung volume head reactor	Peters. 1991. Hal 538
45.	VR = volume shell + volume head reactor	Menghitung volume total reactor	Peters. 1991. Hal 537
46.	$t = \frac{P \cdot r}{SE - 0,6 \cdot P} + C$	Menghitung tebal dinding reactor	Peters. 1991. Hal 537
47.	$De = 1,1/OD \times (Pt^2 - 0,917OD^2)$	Menghitung diameter equivalen	Sinnot, R.K. 2001. Hal 674
48.	$-\frac{dP}{dL} = \frac{G}{\rho \cdot g_c \cdot d_p} \left(\frac{1-\Phi}{\Phi^3}\right) \cdot \left[\frac{150(1-\Phi)\mu}{d_p} + 1,75 \cdot G\right]$	Menghitung pressure drop reactor	Fogler., 2004., hal 154
<i>Heat exchanger</i>			
49.	$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2/\Delta T_1)}$	Perbedaan suhu rata-rata	Kern,D.Q. 1965. Halaman 89
50.	$Total\ flow\ area\ (at) = \frac{Nt \times a \times t}{144 \times n}$	Luas area aliran	Kern,D.Q. 1965. Halaman 138
51.	$h_{io} = h_i \times ID/OD$	Koefisien perpindahan panas tube	Kern,D.Q 1965, hal 105
52.	$Flow\ area\ pada\ shell\ (a_s) = \frac{(ID \times C'' \times B)}{(144 \times Pt)}$	Luas area pada shell	Kern,D.Q 1965, hal 150
53.	Laju alir $G_s = \frac{W}{a_s}$	Laju alir pada shell	Kern,D.Q 1965, hal 138

54.	$Re_s = \frac{D_e \cdot G_a}{\mu}$	Bilangan Reynold	Kern, D.Q 1965, hal 150
55.	$h_0 = jH \left( \frac{k}{D} \right) \left( \frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$	Koefisien perpindahan panas shell	Kern, D.Q 1965, hal 99
56.	$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$	Tahanan panas dalam keadaan bersih	Kern, D.Q., 1965, hal 106
57.	$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \cdot U_D}$	Faktor pengotor	Kern, D.Q., 1965, hal 106
58.	$\Delta Pt = \frac{f G t^2 L n}{5,22 \times 10^{10} \times D_e s \phi_t}$	Pressure drop pada tube	Kern, D.Q., 1965, hal 147
Crystallizer			
59.	$UD = \frac{Q}{A \times \Delta T}$	Tahanan panas saat keadaan kotor	Kern, D.Q., 1965, hal 89
60.	$\left[ \frac{0,061 \times \rho_g (\rho_l - \rho_g) \times g_c}{C_f \times \mu^{0,1} \times J} \right] = G'$	Kecepatan massa gas	Treybal, R., E. 1980 hal 201
61.	$Sc_g = \frac{\mu_G}{\rho_G \cdot D_G}$	Bilangan Schimdt	Treybal, R., E. 1980 hal 205
62.	$A = \frac{\text{Flowrate gas masuk}}{G'}$	Cross section area (area perpindahan panas)	Treybal, R., E. 1980 hal 201
63.	$a_{AW} = m \left( \frac{808 \cdot G'}{\rho_G^{0,5}} \right)^n \cdot L^{*p}$	Interfacial area	Treybal, R., E. 1980 hal 207
64.	$\frac{K_L \cdot d_s}{D_L} = 25,1 \left( \frac{d_s \cdot L^*}{\mu_L} \right)^{0,45} \cdot S_{CL}^{0,5}$	Koefisien liquid	Treybal, R., E. 1980 hal 204
65.	$F_{Ga} = F_G \cdot \alpha_A$	Koefisien volumetrik gas	Treybal, R., E. 1980 hal 207
66.	$A = L / (m \cdot G)$	Faktor absorpsi	Treybal, R., E. 1980 hal 309
Pipa			

67.	$a_a = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2)}{4}$	Luas area annulus	Kern, D.Q., 1965, hal 104
68.	$a_p \text{ (Luas area pipa)} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	Luas Area Pipa dalam	Kern, D.Q., 1965, hal 113
69.	$1/U_D = 1/U_c + R_d$	Tahanan panas saat keadaan bersih	Kern, D.Q., 1965, hal 115
70.	$A = \frac{Q}{U_d \cdot \Delta T}$	Luas permukaan yang dibutuhkan	Kern, D.Q., 1965, hal 115
71.	$D_{opt} = 3,9 Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$	Diameter optimum pipa	Peter, M.S., dan Timmerhaus K.D, 1991 hal 364
72.	$\frac{V^2}{2 g_c}$	Kecepatan linear	Peter, M.S., dan Timmerhaus K.D, 1991 hal 487
73.	$H_{fs} = \frac{2 \times f \times Le}{D} \times \frac{V^2}{g_c}$	Friksi pada aliran masuk	Ismail, S., 2002 hal 41
74.	$H_{fc} = \frac{K_c}{2\alpha} \times V^2$	Friksi karena adanya perubahan saluran ( pengecilan atau pembesaran pipa)	Ismail, S., 2002 hal 37
75.	$H_{ff} = K_f \times \frac{V^2}{2 g_c}$	Friksi Sambungan dan Valve	Ismail, S., 2002 hal 37
77.	$\frac{Pa - Pb}{\rho} + \frac{g}{g_c} (Za - Zb) + \frac{Va^2 - Vb^2}{2g\alpha} = Hf$	Persamaan Bernouli	Ismail, S., 2002 hal 39
78.	$\text{Total NPSH} = H_{suc} - H_{p uap}$	Total selisih tekanan pada pompa inlet dengan tekanan uap likuid	Ismail, S., 2002 hal 52
79.	$t = \frac{P \cdot r}{S.E-0,6.P} + C_c$	Tebal dinding tanki	Peter, M.S., dan Timmerhaus K.D, 1991 hal 537
80.	$V_e = \frac{\pi D^3}{24}$	Volume ellipsoidal	Peter, M.S., dan Timmerhaus K.D, 1991 hal 538

81	$W_e = 0,00085 \times W_c \times (T_1 - T_2)$	Evaporation loss	Perry, R. H, dan Green,D.W.,1999, hal 12-17
82	$W_d = 0,2\% \times W_c$	Drift loss	Perry, R. H, dan Green,D.W.,1999, hal 12-17
83.	$W_b = \frac{W_e}{cycles - 1}$	Blowdown	Perry, R. H, dan Green,D.W.,1999, hal 12-17
<b>Ekonomi</b>			
84.	$POT = \frac{FCI + \text{bunga TCI}}{ACF}$	Waktu pengembalian modal	Peter,M.S., dan Timmerhaus,K.D.,1991 halaman 310
85.	$CCP = n \cdot ACF - TCI$	Kas Kumulatif	Peter,M.S., dan Timmerhaus,K.D.,1991 hal 299
86.	$ROR = \frac{\text{Net Profit After Tax}}{TCI} \times 100\%$	Laju pengembalian investasi modal	Peter,M.S., dan Timmerhaus,K.D.,1991 hal 297
87.	$WC = 15\% TCI$	Modal kerja	Peter,M.S., dan Timmerhaus K.D, 1991 hal 183
88.	$TCI = FCI + WC$	Invetasi modal tetap	Peter,M.S., dan Timmerhaus K.D, 1991 hal 183

## **EKONOMI**

1. *Net Profit Before Tax* : Biaya keuntungan sebelum pajak
2. *Net Profit After Tax* : Biaya keuntungan setelah pajak
3. *Pay out time* : Batas waktu pembayaran
4. *Total final capital* : Total modal akhir
5. *Rate of Return Capital* : Laju pegembalian modal
6. *Break event point* :Titik impas dimana pabrik atau perusahaan dalam kegiatan operasinya tidak memperoleh keuntungan dan kerugian
7. *Total capital investment* : Modal investasi
8. *Fixed capital investment* : Modal tetap

9. *Working capital* : Modal kerja *Working capital* adalah modal yang digunakan untuk melakukan kegiatan operasi pabrik. *Working capital* untuk industri terdiri atas sejumlah modal yang diinvestasikan pada material, produk, biaya yang diterima, hasil pembayaran langsung tiap bulannya, hutang dan sebagainya.
10. *Total Producing Cost* : Biaya Produksi
11. *General expenses* : Pengeluaran umum
12. *Annual cash Flow* : Uang tunai yang yang diperoleh setiap tahun yang didapat dari keuntungan setelah dipotong pajak (NPAT) ditambah depresiasi
13. *Time of Return Investment* : Lama Pengembalian modal investasi
14. *Cummulative Cash Position* : Total kas tahunan (*Annual Cash Flow*, ACF) selama umur pabrik setelah dipotong investasi modal tetap
15. *Salvage Value* : nilai sisa yang merupakan perkiraan nilai jual atau nilai pasar pada akhir masa pakai asset
16. *Plant Overhead Cost* : Biaya tambahan pabrik
17. *Direct Cost* : Biaya Langsung (*Direct Cost*, DC) adalah biaya yang dikeluarkan langsung mempengaruhi proses
18. *Indirect Cost* : Biaya tidak langsung merupakan biaya yang tidak secara langsung mempengaruhi proses, namun tetap harus diperhitungkan karena akan mempengaruhi proses apabila terjadi sesuatu pada saat proses pabrik berlangsung.





## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Perhitungan Neraca Massa .....	133
<b>Lampiran 2</b>	Perhitungan Neraca Panas.....	200
<b>Lampiran 3</b>	Perhitungan Spesifikasi Peralatan .....	277
<b>Lampiran 4</b>	Perhitungan Ekonomi.....	485
<b>Lampiran 5</b>	Keselamatan Kerja dan Kesehatan Lingkungan .....	498
<b>Lampiran 6</b>	Instrumentasi dan Perpipaian .....	511
<b>Lampiran 7</b>	Tugas Khusus .....	517

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Negara Indonesia adalah negara berkembang yang sedang berupaya memperbaiki kondisi perekonomiannya. Industrialisasi adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan perekonomian suatu negara. Dengan dibukanya pasar bebas, setiap negara menjadikannya sebagai suatu tantangan, khususnya Indonesia, dalam pembangunan industri yang kompetitif (Ullman, 1989). Salah satu industri yang dinilai prospektif adalah industri Asam Tereftalat.

Senyawa petrokimia Asam Tereftalat (*Terephthalic Acid*/TPA) atau 1,4-*Benzene Dicarboxyl Acid* yang rumus molekul nya yaitu  $C_6H_4(COOH)_2$  memiliki peran yang besar dalam kebutuhan pabrik. Asam tereftalat digunakan sebagai bahan baku industri serat sintesis, tekstil, serta *Poly Ethylene Tereftalat* (PET) yang digunakan pada industri botol plastik dan kemasan makanan.

Permintaan produk-produk turunan asam tereftalat seperti *fiber* dan *polyester* di Indonesia maupun dunia sampai tahun 2018-2019 semakin meningkat. Kementerian Perindustrian menetapkan target ekspor yang tinggi untuk 2019-2020 dan lima sektor industri yang diutamakan diantaranya yaitu industri tekstil, minuman dan makanan beserta kemasannya. Maka, perseroan pun memprediksi bahwa peluang yang cukup besar untuk pertumbuhan produk dengan nilai tambah yang tinggi dan integrasi pengoperasian asam tereftalat (Laporan Tahunan 2018, PT. Asia Pacific Fibers, Tbk).

Kebutuhan bahan kimia di Indonesia, termasuk juga asam tereftalat, masih didapatkan dengan mengimpor dari negara lain. Atas dasar seluruh pertimbangan tersebut dan meningkatnya kebutuhan akan asam tereftalat di dalam negeri, maka dapat disimpulkan bahwa pabrik pembuatan asam tereftalat ini sangat potensial didirikan di Indonesia. Oleh karena itu, diharapkan dengan pertumbuhan industri kimia di Indonesia dapat menekan ketergantungan impor bahan kimia. Selain itu, tujuan lain yang ingin dicapai adalah memberikan kesempatan kerja, serta menstabilkan struktur ekonomi di Indonesia.

## 1.2. Sejarah dan Perkembangan

Asam tereftalat merupakan bahan kimia berperingkat 25 berdasarkan jumlah ton (massa) bahan kimia yang diproduksi di dunia. Produksi asam tereftalat dilakukan setelah Perang Dunia II. DuPont awalnya merupakan produsen tunggal di Amerika Serikat. Asam tereftalat diproduksi dari oksidasi larutan asam nitrat dari paraxylene. Versi dari proses oksidasi asam nitrat, yang sudah lama tidak digunakan secara komersial, termasuk penggunaan udara pada langkah pertama untuk mengurangi konsumsi asam nitrat.

TPA pertama kali diperkenalkan sebagai bahan baku alternatif untuk *Dimethyl Tereftalate* (DMT) untuk produksi *polyester*. Pada akhir tahun 1999, hampir 85% dari total produksi dunia didasarkan pada TPA dan ini terus berkembang. TPA adalah bahan baku utama untuk pembuatan serat *polyester* resin, dan film. TPA digunakan untuk menghasilkan PET, yang mana merupakan barang-barang yang kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari. Ini dapat ditemukan dalam wadah plastik untuk minuman, makanan, dan alat elektronik, serta pakaian, tekstil rumah, karpet, produksi industri fiber, kaset rekaman audio dan video, film fotografi dan labels. Daftar beberapa pabrik asam tereftalat yang ada di luar negeri dan di dalam negeri disajikan pada Tabel 1.1 sebagai berikut.

**Tabel 1.1.** Pabrik Asam Tereftalat di Luar dan Dalam Negeri

<b>Perusahaan</b>	<b>Lokasi</b>	<b>Kapasitas (ton/tahun)</b>
Reliance Industries Patalganga	India	75.000
Reliance Industries Hazira	India	350.000
Yizheng Chemical Fibre	China	450.000
The Zhuhai TPA	China	1.700.000
MCC TPA India Corp. Private Limited (MCPI)	China	Fase I: 470.000 Fase 2: 800.000
DuPont Kuan-Yin	Taiwan	350.000
PT. Mitsubishi Chemical Indonesia (Jepang)	Cilegon, Indonesia	350.000
PT. Asia Pacific Fibers	Karawang, Indonesia	330.000
PT. Amoco Mitsui (Amerika)	Cilegon, Indonesia	525.000
PT. Polyprima Karyareksa	Cilegon, Indonesia	465.000

Sementara di Indonesia sendiri, industri asam (Sumber: sejak adanya proyek *Aromatic Centre Unit Terephthal* [www.globaldata.com](http://www.globaldata.com))

pengolahan III di Plaju, Sumatera Selatan yang berproduksi pada tahun 1986. Proyek ini muncul dikarenakan semakin meningkatnya permintaan terhadap asam tereftalat. Kemunculan proyek ini tidak berlangsung dalam jangka waktu panjang dikarenakan alasan tertentu dari Pertamina. Kenaikan produksi industri yang menggunakan bahan asam tereftalat secara langsung juga meningkatkan kebutuhan dan permintaan akan asam tereftalat. Oleh karena itu, seiring dengan berjalannya waktu, industri asam tereftalat pun berkembang di Indonesia dan di luar negeri. Namun pada kenyataannya hingga saat ini ternyata asam tereftalat masih belum bisa mencukupi permintaan sepenuhnya.

### **1.3. Jenis Proses Pembuatan**

Asam tereftalat pertama kali di produksi dengan oksidasi asam nitrat encer menggunakan para-xylene. Oksidasi ini melibatkan penggunaan udara pada langkah awal oksidasi untuk mengurangi konsumsi asam nitrat. Metode ini sudah tidak lagi digunakan dalam produksi asam tereftalat. Selanjutnya proses tersebut digantikan dengan oksidasi udara bebas secara langsung dan menggunakan asam asetat sebagai solven.

Banyak proses yang dapat dipilih dalam proses pembuatan asam tereftalat. Pada umumnya digunakan katalis logam berat seperti Co dan Mn, serta asam asetat sebagai solven. Berbagai modifikasi telah dilakukan untuk mendapatkan kemurnian asam tereftalat yang tinggi serta efisiensi penggunaan feed dan efisiensi proses. Berikut ini dijelaskan macam-macam proses pembuatan asam tereftalat yang telah banyak dilakukan.

#### **1.3.1. Proses Toray**

Proses ini menggunakan Paraxylene sebagai bahan baku dan penggunaan cobalt asetat sebagai katalis serta paraldehyde sebagai promotor yang dioksidasi menggunakan udara pada fase cair. Reaksi berlangsung pada temperatur 250°C dan tekanan 2 atm. Asam tereftalat yang dihasilkan dapat diubah menjadi senyawa lain yaitu DMT dengan melalui reaksi esterifikasi dan tanpa menghadirkan proses purifikasi atau pemurnian.

#### **1.3.2. Proses Eastman Kodak**

Proses ini menggunakan paraxylene sebagai bahan baku yang dioksidasikan dengan udara, katalis yang dipakai adalah cobalt asetat dengan promotor asetaldehid. Asetaldehid dipakai untuk menaikkan temperatur reaksi bila belum mencapai kondisi operasi yang diharapkan. Temperatur operasi 350 - 450°C dan tekanan 200 – 400 Psig. Oksidasi paraxylene ini berlangsung dalam fase cair. Asam tereftalat yang dihasilkan dipisahkan dengan filtrasi dan pengeringan hingga terbentuk asam tereftalat dalam bentuk powder.

### **1.3.3. Proses Mobil**

Pada proses ini dilakukan proses pemurnian dalam dua tahap, tahap pertama merupakan operasi pencucian (*leaching*) untuk menghilangkan pengotor. Tahap kedua merupakan proses pemurnian asam tereftalat yang mencakup sublimasi secara kontinyu pada tekanan atmosfer, kemudian dilanjutkan dengan pengolahan secara katalitik dalam fase uap, kondensasi asam tereftalat dan pemisahan dengan siklon untuk mendapatkan kristal asam tereftalat.

### **1.3.4. Proses Amoco**

Proses ini menggunakan paraxylene sebagai bahan baku yang dioksidasi dengan oksigen yang berasal dari udara bebas dengan asam asetat sebagai solven. Reaksi berlangsung pada temperatur 150-270°C dan tekanan 1000-3000 kPa. Proses ini terdiri dari empat bagian yaitu, persiapan bahan baku, sintesa, separasi, dan pemurnian serta recovery. Katalis yang digunakan diantaranya katalis logam seperti cobalt asetat dan mangan asetat serta dapat ditambah dengan katalis lain yang juga berperan meningkatkan keefektifan proses. Promotor yang digunakan ada senyawa unsur bromida. Kemurnian produk mencapai lebih kurang 99%.

Keuntungan proses ini ialah konsumsi energi yang digunakan tidak setinggi proses lain. Diketahui juga bahwa rentang suhu yang digunakan tidak seperti proses lain yang lebih dari 300°C. Selain itu ketersediaan bahan baku seperti asam asetat dan katalis yang telah banyak di produksi dalam jumlah besar di beberapa industri yang ada akan sangat mendukung lancarnya proses produksi.

Selain itu juga proses pemurnian proses Amoco tidak memerlukan proses hidrogenasi. Proses hidrogenasi hanya digunakan pada produk asam tereftalat yang mengandung kadar *byproduct* tinggi, dalam hal ini ialah kandungan 4-CBA dan

asam paratoluat. Proses amoco menghasilkan kemurnian yang tinggi, sehingga tidak memerlukan beberapa proses pemurnian tambahan, melainkan hanya beberapa proses pemisahan atau separasi pada umumnya seperti filtrasi, sentrifugasi, dan lain-lain. Proses ini merupakan teknologi amerika yang mana dalam purifikasinya bisa menggunakan satu reaktor saja untuk sintesa dengan menggunakan alat purifikasi yang lebih, atau bisa juga dengan mengaplikasikan satu reaktor tambahan dalam purifikasi dengan tetap menggunakan proses oksidasi kembali terhadap asam p-toluat dan 4-CBA yang belum bereaksi sehingga didapatkan kemurnian yang tinggi.

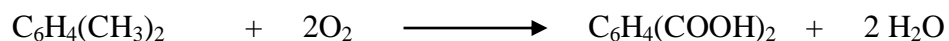
### 1.3.5. Proses DuPont

Proses ini terdiri dari empat bagian yaitu, persiapan bahan baku, pembentukan asam tereftalat, pemurnian produk dari larutan, dan tahap recovery. Pembentukan asam tereftalat dengan cara mengoksidasi Paraxylene dalam alat reaktor pada suhu 120-290°C dan tekanan 15-25 atm. Dengan menggunakan pelarut asam asetat dan katalis cobalt asetat dan mangan asetat.

### 1.3.6. Proses Maruzen Oil

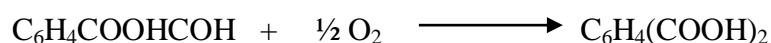
Proses ini menggunakan p-xylene sebagai bahan baku yang dioksidasi dengan oksigen yang berasal dari udara bebas. Proses ini menghasilkan asam tereftalat dengan teknologi Mitsui namun telah mengalami modifikasi. Proses ini juga menggunakan pelarut dan katalis yang digunakan untuk menunjang jalannya proses produksi.

Reaksinya adalah sebagai berikut :



Pada proses permurnian crude Asam Tereftalat untuk menghasilkan Asam Tereftalat yang dibutuhkan pasaran, proses utamanya adalah reaksi oksidasi 4-*Carboxybenzaldehyde* (4-CBA) berlangsung dalam kristalizer dengan bantuan asam asetat sebagai solven dan oksigen dari udara bebas. Reaksi pemurnian ini berlangsung pada tekanan 23 atm dan temperatur 220 °C.

Reaksinya adalah sebagai berikut :

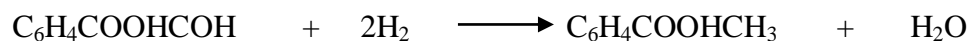


Larutan yang keluar dari kristalizer pertama tadi, kemudian dimasukkan ke kristalizer kedua untuk menyempurnakan proses pengkristalan. Kristal yang dihasilkan dipisahkan dengan sentrifugasi dan akhirnya dikeringkan sebelum masuk ke unit pengantongan.

### 1.3.7. Proses Mitsubishi Petrochemical

Proses ini menghasilkan asam tereftalat dengan teknologi Du Pont namun telah mengalami modifikasi sehingga peralatan pabriknya lebih sederhana yang berarti pengoperasiannya lebih mudah dan biaya pemeliharaan lebih murah. Proses utamanya adalah reaksi hidrogenasi dengan bahan baku crude asam tereftalat yang akan menghasilkan produk asam tereftalat. Reaksi berlangsung dengan bantuan palladium dalam reaktor hidrogenasi, dengan kondisi operasi normal pada tekanan 68,5 kg/cm<sup>2</sup> G dan temperatur 280°C lalu dimurnikan,

Reaksi yang terjadi :



Teknologi proses ini merupakan teknologi jepang yang dalam prosesnya harus menggunakan dua reaktor untuk proses sintesanya. Reaktor satu menggunakan proses oksidasi dan reaktor kedua menggunakan proses hidrogenasi agar produk nya lebih murni namun harga produk maupun prosesnya lebih mahal.

### 1.3.8. Proses Mitsubishi Modifikasi

Proses ini terdiri dari empat bagian, mulai dari persiapan bahan baku, tahap pembentukan asam tereftalat, tahap pemisahan asam tereftalat dari larutan dan proses *recycle*. Pembentukan asam tereftalat dengan cara mengoksidasi senyawa p-xylene dalam sebuah reaktor pada temperatur 120°C dan tekanan 9,6 atm. Katalis yang digunakan adalah asam asetat dengan kandungan Co dan Mn serta HBr dan promotor.

## 1.4. Sifat-Sifat Fisika dan Kimia

### 1.4.1. Bahan Baku

#### 1. Paraxylene

Rumus Kimia	:	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Berat molekul	:	106,167
Wujud	:	Cair

Titik didih	: 138,5°C
Titik leleh	: 13,2°C
Specific Gravity	: 0,861
Viskositas	: 0,7385 cP pada 0 °C 0,6475 cP pada 20 °C
Kompresibilitas	: 0,322
Temperatur kritis	: 616,2°K
Tekanan kritis	: 35,11 bar
Flash point	: 25°C
Titik nyala	: 529°C
Bersifat mudah menyala	
Densitas uap p-xylene lebih besar dari densitas udara	
Tidak larut dalam air	
Larut dalam alkohol dan eter	

## 2. Oksigen

Rumus kimia	: O <sub>2</sub>
Berat molekul	: 31,1999
Wujud	: Gas
Titik didih	: -183°C
Titik leleh	: -218,4°C
Densitas	: 1,4289 kg/m <sup>3</sup>
Kalor peleburan	: 0,444 kJ/mol
Kalor Penguapan	: 6,82 kJ/mol
Temperatur kritis	: -118,38°C
Tekanan kritis	: 221,1 bar
Konduktivitas termal	: (300 K) 26,58 mW/(m·K)
Kapasitas panas	: 29,378 J/(mol·K) pada 25°C 29,1 + (1,158·10 <sup>-2</sup> )T - (0,6076·10 <sup>-5</sup> )T <sup>2</sup> + (1,311·10 <sup>-9</sup> )T <sup>3</sup>
Larut dalam air panas maupun air dingin	



## 1.4.2. Katalis

### 1. Tetrahydrated Cobalt Asetat

Rumus kimia :  $\text{Co}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Berat molekul : 249,09

Titik leleh :  $140^\circ\text{C}$  (284F)

Wujud : Padat

Specific Gravity : 1,7053

pH : 6,8

Oksidator kuat

Kristal berwarna violet kemerah-merahan

Larut dalam asam asetat

Larut dalam etanol, air, asam asetat encer, dan pyridin

### 2. Tetrahydrated Mangan Asetat

Rumus kimia :  $\text{Mn}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Berat molekul : 245,08

Wujud : Padat

Specific Gravity : 1,589

Kristal berwarna sedikit kemerahan dan larut dalam air dan alkohol

### 3. Asam Asetat

Rumus kimia :  $\text{CH}_3\text{COOH}$

Berat molekul : 60,053

Wujud : Cair , kristal

Titik didih :  $118,1^\circ\text{C}$

Titik leleh :  $16,7^\circ\text{C}$

Densitas :  $1,049 \text{ g cm}^{-3}$  pada  $30^\circ\text{C}$   
 $1,0621 \text{ g cm}^{-3}$  pada  $40^\circ\text{C}$

Temperatur kritis :  $321,6^\circ\text{C}$

Tekanan kritis : 57,2 atm

Flash point	: 427°C
Titik nyala	: 42,8°C
Panas pembakaran	: -871,69 kJ/mol
Panas penguapan	: 384,5 J/gr
Panas spesifik	: 1,1 cP
Kompresibilitas	: 0,467
Keasaman	: 4,76 pada 25°C

Cairan tidak berwarna, bau merangsang, rasa asam dan larut dalam air  
Bersifat asam kuat, korosif, dan tidak mudah menyala.

#### 4. **Hydro Bromic Acid**

Rumus kimia	: HBr
Berat molekul	: 80,92
Wujud	: Cair
Titik didih	: 107°C
Titik leleh	: -86°C
Specific Gravity	: 1,486 (48,47% dalam air)
Temperatur kritis	: 90°C
Tekanan kritis	: 84 atm
Kapasitas panas	: $29,10 - (0,0227 \cdot 10^{-2})T + (0,9887 \cdot 10^{-5})T^2 - (4,858 \cdot 10^{-9})T^3$

#### 5. **Silver Acetate (Perak Asetat)**

Rumus kimia	: $\text{AgC}_2\text{H}_3\text{O}_2$
Berat molekul	: 166,91
Wujud	: Kristal Putih
Titik didih	: 220 °C
Densitas	: 3,26 gr/cm <sup>3</sup>

Bersifat iritasi dan berbahaya terhadap lingkungan

### 1.4.3. **Produk**

#### 1. **Asam Tereftalat (1,4-Benzene-dicarboxylic acid)**

Rumus kimia	: $C_6H_4(COOH)_2$
Berat molekul	: 166,134
Wujud	: Padat, kristal
Titik lebur	: $427^{\circ}C$
Specific Gravity	: 1,510
Panas spesifik	: $1,210 J/kg^{\circ}C$
Titik sublimasi	: $300^{\circ}C$

Serbuk berwarna putih

Dapat larut dalam Dimethyl sulfoxide, DMF, dan alkali

Sedikit larut di etanol, metanol, asam semut cuka dan asam belerang

## 2. Air

Rumus kimia	: $H_2O$
Berat molekul	: 18,015
Wujud	: Cair, padatan
Titik didih	: $100^{\circ}C$
Titik leleh	: $0^{\circ}C$
Densitas	: $0,996 kg/m^3$ $0,92 g/cm^3$ (padatan)
Kalor jenis	: $4184 J/(kg \cdot K)$ (cairan pada $20^{\circ}C$ )
Temperatur kritis	: $374,15^{\circ}C$
Tekanan kritis	: 218,307 atm
Kapasitas panas	: $8,712 + 1,25 T + (-0,18) T^2$

## 3. Asam p-toluat

Rumus kimia	: $C_6H_4COOHCH_3$
Berat molekul	: 136,151
Wujud	: Padat
Titik didih	: $275^{\circ}C$
Titik leleh	: $180^{\circ}C$
Specific Gravity	: 1,054

Panas Pembakaran : 3,880 kJ/mol

Kapasitas panas : 1,204 J/gr<sup>o</sup>K

**4. 4-CBA (4-Carboxy Benzaldehyde Acid)**

Rumus kimia : C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>COHCOOH

Berat molekul : 150,135

Wujud : Padat

Titik lebur : 256<sup>o</sup>C

Berbentuk padat berwarna putih kekuning-kuningan

Larut dalam air panas

## DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. S. dan Newton, R. D. 1995. *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: Mc Graw Hill Book Co, Inc.
- Arif, 2009. *Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja di Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Indeks Harga Produsen (IHP) Indonesia Triwulan Menurut Sektor 2010-2017*. (Online). <https://www.bps.go.id/dynamictable/2015/10/31/969/indeks-harga-produsen-ihp-indonesia-triwulanan-menurut-sektor-2010-100-2010-2017.html> (Diakses pada 13 Oktober 2018).
- Considine, 1985. *Instruments and Control Handbook, Third Edition*. Mc.Graw-Hill: USA.
- Evans, F.L. 1980. *Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants, second edition*. Gulf Publishing Co: United States of America.
- Farhat, dkk., 2005. *Pemasyarakatan sebagai Upaya Perlindungan Masyarakat*. Laporan Penelitian. Universitas Gadjah Mada.
- Felder, R. M. and Rousseau, R. W. 1984. *Elementary Principles of Chemical Process, second Edition*. John Wiley and Sons, Inc: New York.
- Felder, R. M. and Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Process, third Edition*. John Wiley and Sons, Inc: New York.
- Fogler. 1992. *Elements of Chemical Reaction Engineering, fourth edition*. Prentice-Hall International. Inc: Amerika.
- Global Data. 2020. *Terephthalic Acid Plant in World*. Diakses pada 12 Januari 2020 dari <http://www.globaldata.com/>
- Hasibuan, 2010. *Manajemen Sumber Daya Manusia*. Bumi Aksara: Jakarta.
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Unsri: Palembang.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No 11 Tahun 2010.
- Keputusan Menteri PUPR No. 568/KPTS/M2017. *Harga Air Permukaan*.
- Kern, D.Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mc.Graw – Hill International Editions: Singapore.
- Kirk dan Othmer. 1981. *Encyclopedia of Chemical Technology 3th edition Vol. 9*. New York: The Interscience Eyclopedia, John Willey and Sons, Inc.

- Kirk dan Othmer., 1983. *Encyclopedia of Chemical Technologi* “, fifth edition. John Wiley & Sons, Inc: New York.
- Kusumadewi, 2015. *Laporan kerja Praktek Analisa Kinerja Steam Generator*. Universitas 11 Maret.
- PT. Asia Pacific Fibers, Tbk. Laporan Tahunan (*Annual Report*) 2018. Jakarta: APF
- Levenspiel, O., 1999. *Chemical Reaction Engineering, third edition* . John Willey and Sons Inc: Singapore.
- Maloney,2007. *Principle Instruments Analysys*. Mc-Graw Hill: New York.
- Perry, R.H. and Green, D.W. 1999. *Perry's Chemical Engineers Hand Book*,6th. ed. Mc. Graw Hill Co. International Student edition: Kogakusha, Tokyo.
- Peraturan Daerah Kabupaten Karawang Nomor 1 Tahun 2011 Tentang Penyelenggaraan Ketenagakerjaan.
- Peraturan kepala Kepolisian Negara Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2008 Tentang Pengawasan, Pengendalian, dan Pengamanan Bahan Peledak Komersial.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2010 Tentang Transportasi Perairan.
- Peraturan Pemerintah RI No. 142 Tahun 2015 tentang Kawasan Industri.
- Peraturan Pemerintah RI No 107 Tahun 2015 Tentang Industri.
- Peters, M. S. dan K. D. Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition*. Mc Graw-Hill Book Co: New York.
- Standar Nasional Indonesia 19-6728-1-2002.
- Standar Nasional Indonesia 03-6197-2011.
- Setiadi, T.,2007. Syarat-syarat Air Pendingin. (Online): [www.prosesindustri.com](http://www.prosesindustri.com). (Diakses Pada Tanggal 2 Oktober 2018).
- Sinnot, R. K. 2005. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6, Fourth Edition: Chemical Engineering Design*. Elsevier Butterworth-Heinemann: Oxford
- Smith, J.M. 1973. *Chemical Engineering Kinetic's*, 3rd ed, Mc GrawHill Book: Kogakusha, Tokyo

- Smith, J. M. dan H. C. Van Ness. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, Sixth Edition*. Mc Graw-Hill Book Co: New York.
- Treyball, R.E. 1968. *Mass Transfer Operations, 2nd Ed.* Mc. Graw Hill, International Student Edition: Singapore.
- Ullman. 1989. *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry Vol A-16*. New York: Interscience Encyclopedia.
- UN Comtrade. 2019. Commodity of Terephthalic Acid. Diakses pada 28 Desember 2019 dari <http://www.un-comtrade.com/>
- Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2013 Tentang Ketenagakerjaan.
- Undang-undang Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas.
- Undang-undang No. 1 Tahun 1970 Tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja.
- US Patent No. 0,305,287 A1. Hashmi et all. 2018. *Process for Producing Terephthalic Acid*. Diakses pada 10 Maret 2020 dari <http://www.uspto.gov/>
- US Patent No. 4,314,073. Crooks, Graham R. 1982. *Process For The Production of . An Aromatic Dicarboxylic Acid*. Diakses pada 19 Juni 2008 dari <http://www.uspto.gov/>
- US Patent No. 4,356,319. Roffia et all. 1982. *Method of Recovering in Active Form The Catalyst for The Terephthalic Acid Synthesis*. Diakses pada 19 Juni 2008 dari <http://www.uspto.gov/>
- US Patent No. 4,939,297. Browder et all. 1990. *Ectraction Process for Removal of Impurities from Terephthalic Acid Filtrate*. Diakses pada 19 Juni 2008 dari <http://www.uspto.gov/>
- US Patent No. 7,358,392 B2. Sheppard et all. 2008. *Process For The Oxidative Purification of Terephthalic Acid*. Diakses pada 18 Mei 2008 dari <http://www.uspto.gov/>
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth- Heinemann: New York.
- Wijanah, S. 2012. Artikel Tata Letak Pabrik. (Online). [https://www.academia.edu/10736796/tata\\_letak\\_pabrik](https://www.academia.edu/10736796/tata_letak_pabrik). (Diakses pada tanggal 23 April 2018).
- Woodruff, dkk. 2005. *Steam Plant Operation*. McGraw-Hill: New York.