

**SKRIPSI**

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN CAPROLACTAM  
KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar**

**Sarjana Teknik Kimia**

**pada**

**Universitas Sriwijaya**



**Annisa Fadhila Ramadhani**

NIM 03031381621098

**Yayat Setiawan**

NIM 03031381621106

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2020**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN CAPROLACTAM KAPASITAS**

**100.000 TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

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

**Oleh**

**Annisa Fadhila Ramadhani  
NIM. 03031381621098**

**Yayat Setiawan  
NIM. 03031381621106**

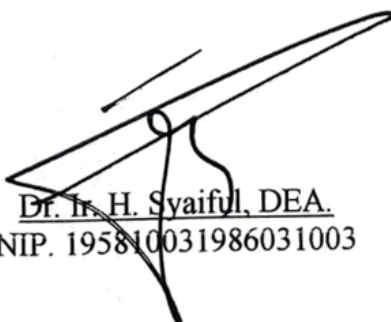
**Palembang, Agustus 2020**

**Pembimbing,**



**Dr. David Bahrin, S.T., M.T.  
NIP. 197808222002122001**

**Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Kimia**



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

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Caprolactam Kapasitas 100.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh **Annisa Fadhila Ramadhani dan Yayat Setiawan** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Agustus 2020.

Palembang, Agustus 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng.  
NIP. 1671046701900003

(  )

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA

NIP. 195810031986031003

## HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

**Annisa Fadhila Ramadhani**                      **03031381621098**

**Yayat Setiawa**                                      **03031381621106**

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN CAPROLACTAM KAPASITAS  
100.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Agustus 2020 oleh Dosen Penguji:

1. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng.  
NIP. 1671046701900003



Palembang,      Agustus 2020  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Kimia,



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

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annisa Fadhila Ramadhani  
NIM : 03031381621098  
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Caprolactam Kapasitas  
100.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Yavat Setiawan 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, Agustus 2020*



**Annisa Fadhila Ramadhani**

NIM. 03031381621098

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yayat Setiawan  
NIM : 03031381621106  
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Caprolactam Kapasitas  
100.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Annisa Fadhila Ramadhani** 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, Agustus 2020*



**Yayat Setiawan**

NIM. 03031381621106

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Caprolactam Kapasitas 100.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dikarenakan penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, yang dalam kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

- 1) Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- 2) Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S. T., M. T., selaku Sekertaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Bapak Dr. David Bahrin, S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
- 4) Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) Seluruh staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Orang tua dan teman kami Nanda Citra Arisma yang telah memberikan motivasi, saran, serta dukungan yang terbaik.

Penulis berharap tugas akhir ini agar dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Palembang, Agustus 2020

Penulis

## RINGKASAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN CAPROLACTAM KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Agustus 2020

Annisa Fadhila Ramadhani dan Yayat Setiawan; Dibimbing oleh Dr.David Bahrin,S.T.,M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxvi + 482 halaman, 15 tabel, 7 gambar, 4 lampiran

### RINGKASAN

Pabrik pembuatan Caprolactam dengan kapasitas produksi 100.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 4 Ha. Bahan baku dari pembuatan Caprolactam ini adalah Cyclonehexanon Oxim dan Asam Sulfat. Proses pembuatan Caprolactam ini mengacu pada US Patent No. 2018/9902700 dengan proses BASF dengan mereaksikan cyclohexanon oxim dengan asam sulfat. Reaktor pertama dan kedua adalah reaktor jenis *continuous stirred tank reactor*. Reaktor pertama beroperasi pada temperatur 110°C dan tekanan 1 atm sedangkan reaktor kedua beroperasi pada temperatur 110°C dan tekanan 1 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 222 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik caprolactam ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment* (TCI) = US \$ 38.848.660,00
- Total Penjualan = US \$ 920.037.616,00
- *Total Production Cost* (TPC) = US \$ 882.658.688,00
- *Annual Cash Flow* = US \$ 20.885.815,00
- *Pay Out Time* = 2,0115 Tahun
- *Rate Of Return On Investment* (ROR) = 62,59%
- *Break Even Point* (BEP) = 25,083%
- *Service Life* = 11 Tahun

**Kata Kunci:** Caprolactam, BASF, *Continous Stirred Tank Reactor*, Perseroan Terbatas

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Ir. H. Svaiful, DEA

NIP. 195810031986031003

Palembang, Agustus 2020

Pembimbing,



Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 197808222002122001



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERBAIKAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan .....	2
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan .....	3
1.3.1. Proses Pembuatan Caprolactam dengan bahan baku CHCA .....	3
1.3.2. Proses Pembuatan Caprolactam dengan Proses Photonitrasi .....	3
1.3.3. Proses Pembuatan Caprolactam dengan Proses Photonitrasi .....	4
1.4. Sifat Fisika dan Kimia .....	5
1.4.1. Cyclonehexanon Oxim .....	6
1.4.2. Asam Sulfat .....	6
1.4.3. Air .....	7
1.4.4. Benzena .....	7
1.4.5. Ammonium Hidroksida .....	8
1.4.6. Caprolactam .....	9
<b>BAB II PERENCANAAN PABRIK</b> .....	10
2.1. Alasan Pendirian Pabrik .....	10

2.2. Pemilihan Kapasitas .....	11
2.3. Pemilihan Bahan Baku .....	13
2.4. Pemilihan Proses .....	13
2.5. Uraian Proses .....	14
2.5.1. Tahap Persiapan .....	14
2.5.2. Tahap Reaksi (Sintesa Produk) .....	14
2.5.3. Tahap Purifikasi .....	14
<b>BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK .....</b>	<b>15</b>
3.1. Lokasi Pabrik .....	15
3.1.1. Penyediaan Bahan Baku.....	15
3.1.2. Pemasaran Hasil Produksi .....	15
3.1.3. Transportasi.....	15
3.1.4. Utilitas .....	16
3.1.5. Tenaga Kerja .....	16
3.1.6. Keadaan Geografis .....	16
3.1.7. Kebijakan Pemerintah .....	17
3.2. Tata Letak Pabrik .....	19
3.3. Perkiraan Luas Tanah .....	22
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS .....</b>	<b>23</b>
4.1. Neraca Massa .....	23
4.1.1. Neraca Massa Melter – 01 (ME – 01) .....	24
4.1.2. Neraca Massa Reaktor – 01 (R – 01) .....	25
4.1.3. Neraca Massa Reaktor – 02 (R – 02) .....	25
4.1.4. Neraca Massa Ekstraktor – 01 (EK – 01).....	25
4.1.5. Neraca Massa Evaporator-01 (EV-01) .....	26
4.1.6. Neraca Massa Kolom Distilasi – 01 (KD – 01) .....	26
4.1.7. Neraca Massa Condenser – 01 (CD – 01) .....	27
4.1.8. Neraca Massa Reboiler – 01 (RB – 01) .....	27
4.1.9. Neraca Massa Accumulator – 01 (ACC – 01) .....	26
4.1.10. Neraca Massa Kolom Distilasi – 02 (KD – 02) .....	27

4.1.11. Neraca Massa Condenser – 02 (CD – 02) .....	28
4.1.12. Neraca Massa Reboiler – 02 (RB – 02) .....	29
4.1.13. Neraca Massa Accumulator – 02 (ACC – 02) .....	29
4.2. Neraca Panas .....	29
4.2.1. Neraca Panas Melter – 01 (ME – 01).....	29
4.2.2. Neraca Panas Reaktor – 01 (R – 01).....	30
4.2.3. Neraca Panas Reaktor – 02 (R – 02).....	30
4.2.4. Neraca Panas Ekstraktor – 01 (EK – 01) .....	31
4.2.5. Neraca Panas Evaporator – 01 (EV – 01) .....	31
4.2.6. Neraca Panas Kolom Distilasi – 01 (KD – 01).....	31
4.2.7. Neraca Panas Condenser – 01 (CD – 01).....	31
4.2.8. Neraca Panas Reboiler – 01 (RB – 01) .....	32
4.2.9. Neraca Panas Heater – 01 (H – 01).....	32
4.2.10. Neraca Panas Heater – 02 (H – 02).....	32
4.2.11. Neraca Panas Cooler – 01 (C – 01).....	32
4.2.12. Neraca Panas Cooler – 02 (C – 01).....	33
4.2.13. Neraca Panas Chiller – 01 (CH – 01).....	33
4.2.14. Neraca Panas Heater – 03 (H – 03).....	33
4.2.15. Neraca Panas Heater – 04 (H – 04).....	34
4.2.16. Neraca Panas Heater – 05 (H – 05).....	34
4.2.17. Neraca Panas Cooler – 03 (C – 03).....	34
4.2.18. Neraca Panas Kolom Distilasi – 02 (KD – 02) .....	35
4.2.19. Neraca Panas Condenser – 02 (CD – 02).....	35
4.2.20. Neraca Panas Reboiler – 02 (RB – 02) .....	35
<b>BAB V UTILITAS .....</b>	<b>36</b>
5.1. Unit Pengadaan Air .....	36
5.1.1. Air Pendingin .....	36
5.1.2. Air Umpan Boiler.....	39
5.1.3. Air Domestik.....	39
5.1.4. Total Kebutuhan Air .....	41

5.2. Unit Pengadaan Refrigeran .....	41
5.3. Unit Pengadaan <i>Steam</i> .....	42
5.3.1. <i>Steam</i> Pemanas.....	42
5.3.2. <i>Steam</i> Penggerak Turbin .....	42
5.4. Unit Pengadaan Listrik .....	44
5.4.1. Listrik untuk Peralatan .....	44
5.4.2. Listrik untuk Penerangan .....	44
5.4.3. Total Kebutuhan Listrik .....	45
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar .....	46
5.5.1. Bahan bakar Boiler untuk <i>Steam</i> Pemanas .....	46
5.5.2. Bahan bakar keperluan generator.....	37
<b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>48</b>
6.1. Tangki – 01 (T – 01) .....	48
6.2. Tangki – 02 (T – 02) .....	49
6.3. Tangki – 03 (T – 03) .....	50
6.4. Tangki – 04 (T – 04) .....	51
6.5. Tangki – 05 (T – 05) .....	52
6.6. Pompa – 01 (P – 01) .....	53
6.7. Pompa – 02 (P – 02) .....	54
6.8. Pompa – 03 (P – 03) .....	56
6.9. Pompa – 04 (P – 04).....	57
6.10. Pompa – 05 (P – 05).....	58
6.11. Pompa – 06 (P – 06) .....	60
6.13. Pompa – 07 (P – 07) .....	61
6.14. Pompa – 08 (P – 08).....	63
6.15. Pompa – 09 (P – 09).....	64
6.16. Pompa – 10 (P – 10) .....	65
6.17. Hopper-01 (HP – 01) .....	66
6.18. Screw Conveyor – 01 (SC – 01) .....	67
6.19. Bucket Elevator – 01 (BE – 01) .....	68
6.20. Melter-01 (ME – 01) .....	69

6.21. Reaktor – 01 (R – 01).....	70
6.22. Reaktor – 02 (R – 02).....	71
6.23. Ekstraktor (EK – 01).....	73
6.24. Evaporator (EV – 01).....	74
6.25. Kolom Distilasi (KD – 01).....	74
6.26. Reboiler (RB – 01).....	75
6.27. Akumulator (ACC – 01).....	76
6.28. Heater (H – 01).....	77
6.29. Heater (H – 02).....	78
6.30. Heater (H – 03).....	79
6.31. Heater (H – 04).....	80
6.32. Heater (H – 05).....	81
6.33. Cooler (C – 01).....	81
6.34. Condenser (CD – 01).....	82
6.35. Chiller (CH – 01).....	83
6.36. Cooler – 02 (C – 02).....	85
6.37. Kolom Distilasi (KD – 02).....	86
6.38. Akumulator (ACC – 02).....	87
6.39. Reboiler (RB – 02).....	88
6.40. Condenser (CD – 02).....	89
<b>BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN .....</b>	<b>91</b>
7.1. Bentuk Perusahaan .....	91
7.2. Struktur Organisasi Perusahaan .....	92
7.3. Tugas dan Wewenang .....	93
7.3.1. Dewan Komisaris .....	93
7.3.2. Direktur .....	93
7.3.3. Manajer Produksi .....	93
7.3.4. Manajer Keuangan dan Pemasaran .....	95
7.3.5. Manajer Personalia dan Umum .....	96
7.3.6. Sekretaris .....	97
7.4. Kepegawaian.....	97

7.5. Sistem Kerja .....	98
7.5.1. Jam Kerja Karyawan <i>Shift</i> .....	98
7.5.2. Jam Kerja Karyawan Non - <i>Shift</i> .....	99
7.6. Penentuan Jumlah Buruh .....	99
7.6.1. Pengelompokkan Buruh Pabrik .....	99
7.6.2. Metode Penentuan Jumlah Buruh .....	100
<b>BAB VIII ANALISA EKONOMI .....</b>	<b>105</b>
8.1. Profitabilitas (Keuntungan) .....	106
8.1.1. Total Penjualan Produk .....	106
8.1.2. Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i> .....	106
8.2. Lama Waktu Pengembalian Pinjaman .....	107
8.2.1. Lama Pengembalian Modal.....	107
8.2.2. Waktu Pengembalian ( <i>Pay Out Time / POT</i> ).....	107
8.3. Total Modal Akhir .....	108
8.3.1. <i>Net Profit Over Total Life of Project</i> (NPOTLP) .....	108
8.4. Total Capital Sink (TCS) .....	109
8.5. Laju Pengembalian Modal ( <i>Rate of Return</i> ) .....	110
8.5.1. <i>Rate of Return Invesment</i> (ROR) .....	110
8.5.1. <i>Discounted Cash Flow Rate of Return</i> (DCF-ROR).....	110
8.6. <i>Break Even Point</i> (BEP) .....	111
<b>BAB IX KESIMPULAN .....</b>	<b>114</b>
<b>BAB X TUGAS KHUSUS .....</b>	<b>115</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>131</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Impor Caprolactam di Indonesia .....	11
Tabel 2.2. Data Impor Caprolactam di Berbagai Negara.....	13
Tabel 5.1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Utilitas.....	30
Tabel 5.2. Total Kebutuhan Air .....	34
Tabel 5.3. Total Kebutuhan Refrigeran.....	35
Tabel 5.4. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 180 °C.....	36
Tabel 5.5. Total Kebutuhan Steam.....	36
Tabel 5.7. Total Kebutuhan Bahan Bakar .....	40
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal <i>Shift</i> Kerja Karyawan .....	84
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan .....	85
Tabel 8.1. Angsuran pembayaran pinjaman dan bunga .....	88
Tabel 8.2. Kesimpulan Analisa Ekonomi Pabrik Caprolactam.....	93

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Alir Proses Pabrik Pembuatan Caprolactam .....	14
Gambar 3.1. Peta Rencana Pola Ruang Kabupaten Gresik.....	17
Gambar 3.2. Peta Sungai dan Waduk Kabupaten Gresik.....	18
Gambar 3.3. Denah Lokasi Pabrik Caprolactam.....	19
Gambar 3.4. Tata Letak Peralatan Pabrik Caprolactam.....	20
Gambar 3.5. Perencanaan Tata Letak Pabrik.....	30
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	89
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i> .....	92



## DAFTAR NOTASI

### 1. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
He	= Tinggi head, m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Desain, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
$V_h$	= Volume ellipsoidal head, $m^3$
$V_s$	= Volume silinder, $m^3$
$V_t$	= Volume tangki, $m^3$
W	= Laju alir massa, kg/jam
$\rho$	= Densitas, $kg/m^3$

### 2. REAKTOR

$C_{Ao}$	= konsentrasi awal umpan masuk, $kmol/m^3$
C	= Tebal korosi yang diizinkan, atm
$D_K$	= Diameter katalis, cm
$F_{Ao}$	= Laju alir umpan, $kmol/jam$
Hr	= Tinggi Reaktor, m
ID	= Inside Diameter, m
k	= Konstanta laju reaksi, $m^3/kmol.s$
N	= 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 <sub>t</sub>	= Volume reaktor, m <sup>3</sup>
X	= Konversi
ρ	= Densitas
σ	= Diameter Partikel, cm

### 3. SCREW CONVEYOR

ρ	= Densitas bahan, lb/ft <sup>3</sup>
Q	= volumetric flowrate, ft <sup>3</sup> /jam
W	= Laju alir massa, kg/jam

### 4. 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 <sub>s</sub>	= Laju alir massa, kg/jam

### 5. COOLER, HEATER, CONDENSER, CHILLER, EVAPORATOR

A	= Area perpindahan panas, ft <sup>2</sup>
C	= Clearance antar tube, in
D	= Diameter dalam tube, in
D <sub>e</sub>	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, ft <sup>2</sup> /in <sup>2</sup>
G <sub>s</sub>	= Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft <sup>2</sup>
G <sub>t</sub>	= Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam.ft <sup>2</sup>
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F

$h_i, h_{io}$	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
$jH$	= Faktor perpindahan panas
$k$	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$L$	= Panjang tube, pipa, ft
$LMTD$	= Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
$N_t$	= Jumlah tube
$P_T$	= Tube pitch, in
$\Delta P_r$	= Return drop sheel, Psi
$\Delta P_s$	= Penurunan tekanan pada shell, Psi
$\Delta P_t$	= Penurunan tekanan tube, Psi
$ID$	= Inside Diameter, ft
$OD$	= Outside Diameter, ft
$\Delta P_T$	= Penurunan tekanan total pada tube, Psi
$Q$	= Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
$R_d$	= Dirt factor, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$R_e$	= 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
$T_c$	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
$t_c$	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
$U_c, U_d$	= Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$W_1$	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
$W_2$	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
$\mu$	= Viscositas, cp

## 6. POMPA

$A$	= Area alir pipa, in <sup>2</sup>
$BHP$	= Brake Horse Power, HP
$D_i \text{ opt}$	= Diameter optimum pipa, in

E	= Equivalent roughness
f	= Faktor friksi
FK	= Faktor keamanan
$g_c$	= Percepatan gravitasi, $\text{ft/s}^2$
Gpm	= Gallon per menit
$H_f \text{ suc}$	= Total friksi pada suction, ft
$H_f \text{ dis}$	= Total friksi pada discharge, ft
$H_{fs}$	= Skin friction loss
$H_{fsuc}$	= Total suction friction loss
$H_{fc}$	= Sudden Contraction Friction Loss ( $\text{ft lb}_m/\text{lb}_f$ )
$H_{fe}$	= Sudden expansion friction loss ( $\text{ft lb}_m/\text{lb}_f$ )
ID	= Inside diameter pipa, in
$K_C, K_S$	= Contraction, expansion loss contraction, ft
L	= Panjang pipa, ft
$L_e$	= Panjang ekuivalen pipa, ft
NPSH	= Net positive suction head (ft)
$N_{Re}$	= Reynold number, dimension less
$P_{Vp}$	= Tekanan uap, Psi
$Q_f$	= Laju alir volumeterik
$V_f$	= Kapasitas pompa, lb/jam
V	= Kecepatan alir
$\Delta P$	= Beda tekanan, Psi

## 7. AKUMULATOR

Cc	: Tebal korosi maksimum, in
ID, OD	: Inside diameter, Outside diameter, m
Ej	: Efisiensi pengelasan
P	: Tekanan desain, psi
T	: Temperatur Operasi, °C
L	: Panjang accumulator, m

S	:	Tegangan kerja diizinkan, psi
t	:	Tebal dinding tangki, cm
V	:	Volume total tangki, m <sup>3</sup>
V <sub>s</sub>	:	Volume silinder, m <sup>3</sup>
W	:	Laju alir massa, kg/jam
ρ	:	Densitas, lb/ft <sup>3</sup>

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN 1 PERHITUNGAN NERACA MASSA.....</b>	<b>133</b>
<b>LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN NERACA PANAS .....</b>	<b>160</b>
<b>LAMPIRAN 3 SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>201</b>
<b>LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN EKONOMI.....</b>	<b>356</b>

# **BAB I**

## **PEMBAHASAN UMUM**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia sebagai negara berkembang dirasa perlu meningkatkan jumlah industrinya. Semakin pesat perkembangan industri di suatu negara maka semakin maju pula negara tersebut (Yusof R,2011). Kemajuan bidang ilmu pengetahuan dan teknologi memaksa manusia untuk selalu melakukan inovasi-inovasi dan berkreasi dalam usahanya untuk memenuhi kebutuhan hidup. Pola ini pun diterapkan dalam dunia perindustrian khususnya industri kimia. Industri kimia sangat diperlukan karena hampir setiap kebutuhan primer maupun kebutuhan sekunder dari manusia dipasok dan juga dihasilkan dari proses sektor industry kimia (Soerawidjadja,1991). Industri kimia merupakan salah satu sektor yang mampu memberikan kontribusi terhadap penerimaan devisa sebesar 126,57 miliar dolar AS (Kemenperin,2020).

Industri kimia akan menghasilkan material kimia menjadi produk yang memiliki nilai lebih dengan proses-proses kimia. Untuk menjalankan suatu industri kimia, tentunya dibutuhkan bahan baku. Umumnya, proses pengolahan bahan baku menjadi produk yang bermanfaat melalui beberapa proses. Bahan baku tersebut dapat berupa bahan mentah dari alam ataupun bahan mentah yang telah diproses. Bahan yang melalui proses pengolahan terlebih dahulu ini disebut juga sebagai produk antara. Bahan-bahan penunjang yang digunakan dalam industri kimia sangat beragam salah satunya adalah Caprolactam.

Caprolactam merupakan senyawa organik dengan rumus kimia  $C_6H_{11}NO$  yang dapat diperoleh dari reaksi oksimasi antara sikloheksanon, hidroksilamin sulfat, dan Amonium hidroksida. Kegunaan dari kaprolaktam adalah sebagai bahan baku nilon-6 serta dapat digunakan secara luas pada industri plastik asam amino kaproat, poliuretan, cat mobil. Perkembangan industri yang mengkonsumsi kaprolaktam

menyebabkan peningkatan kebutuhan kaprolaktam dalam negeri dari tahun ke tahun. Pendirian pabrik pembuatan Caprolaktam di Indonesia ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan di Indonesia akan impor bahan-bahan kimia dari luar negeri, dan diharapkan kaprolaktam dapat dijadikan komoditi ekspor. Hal ini juga tentunya akan berimbas terhadap penghematan devisa negara. Tak hanya itu, pendirian pabrik kaprolaktam ini juga dapat memicu pertumbuhan industri yang lain di Indonesia, sehingga akan membuka lapangan kerja baru dan memperluas kesempatan kerja bagi masyarakat.

## **1.2 Sejarah dan Perkembangan**

Caprolactam telah dikenal sejak abad XIX. S.Gabriel dan T.A Maas (1991) mensintesis caprolactam dengan siklinasi dari  $\epsilon$ -amino-asam caproic. O.Wallach melakukan proses sintesis caprolactam dengan menggunakan proses Rearrangement Beckmann dari sikloheksanonoxim. Ketertarikan dunia usaha akan caprolactam meningkat pada tahun 1938 saat P.Schlack dari perusahaan IG Farben Industri memproduksi polimer pertama yang dapat berputar secara molecular terhadap sumbunya dengan proses polikondesasi caprolactam. Produk ini diberi nama *Perlon*. Sejak saat itu caprolactam menjadi salah satu produk petrokimia yang penting. Produk skala besar dengan cepat pada tahun 1986 yang mencapai 3 juta metrik ton.

## **1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan**

### **1.3.1 Proses Pembuatan Caprolactam dengan bahan baku CHCA**

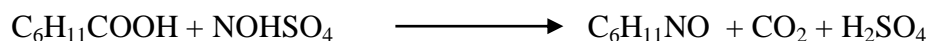
Caprolactam didapatkan melalui reaksi antara sikloheksana karbosilik *acid* dan nitrosil *sulfuric acid* menjadi caprolactam dengan kehadiran oleum. Asam sikloheksana karbosilik (CHCA) dicampur terlebih dahulu dengan sikloheksana dan oleum pada suhu 35°C pada tekanan atmosferik yang diumpankan ke dalam reaktor. Yield keseluruhan reaksi caprolactam terhadap CHCA adalah 76 % berat.

Terdapat 2 Tahap dalam proses CHCA. Tahap-tahap tersebut :

#### **1. Tahap Sintesa**



Proses dekarbosisasi dari asam sikloheksana karbosiklik dengan nitroso asam sulfat menjadi caprolactam.



## 2. Tahap Purifikasi

Proses pemurnian produk caprolactam. Pemurnian produk ini merupakan pemisahan zat-zat pengotor seperti CHCA, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan alkil phenol dari produk caprolactam.

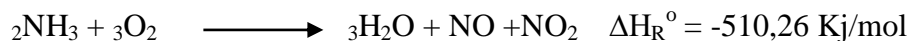
### 1.3.2. Proses Pembuatan Caprolactam dengan Proses Photonitrasi

Proses photonitrasi (PNC) adalah proses pengubahan sikloheksana menjadi sikloheksanon oxim dihidroklorida yang diikuti oleh Rearrangement Beckmann. Sikloheksana tersebut direaksikan dengan nitrosyl klorida untuk membentuk sikloheksanon oxim dihidroklorida.

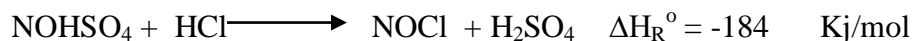
Tahap-tahap reaksi adalah sebagai berikut :

1. Preparasi asam nitrosyl sulfur dari senyawa gas nitrogen yang didapat dari pembakaran ammonia dengan asam sulfat.

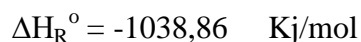
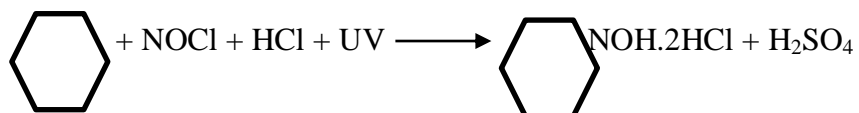
Reaksi pembentukan larutan asam nitrosyl sulfat di dalam asam sulfat terjadi pada tekanan atmosferik.

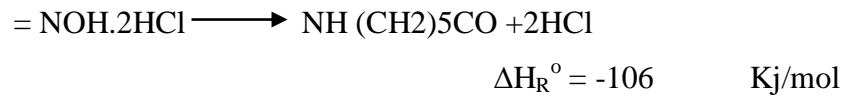


2. Preparasi nirtosil klorida dengan merekasikan produk pada proses pertama dengan hidrogen klorida dengan suhu 75°C.



3. Reaksi Fotokimiawi





Yield caprolactam terhadap senyawa sikloheksana oxim lebih besar dari 90% berat, sedangkan molar yield teoritis terhadap sikloheksana adalah 81%.

### 1.3.3. Proses Pembuatan Caprolactam dengan bahan baku Sikloheksanon

Proses ini, sikloheksanon direaksikan dengan hidroksilamina untuk menghasilkan sikloheksanon oxime, setelah itu sikloheksanon oxim yang diperoleh akan mengalami proses rearrangement Beckmann menjadi caprolactam.

Sikloheksanon dapat diperoleh melalui dua cara, yaitu dari sikloheksana atau phenol. Proses ini, Sikloheksanon yang diperoleh dengan menggunakan sikloheksana.

#### 1. Proses Oximaksi Sikloheksanon

Sikloheksanon oxim terbentuk dari reaksi antara sikloheksana dengan hidroksilamina ammonium sulfat yang mengandung ammonium sulfat. Proses oximasi dilakukan pada sejumlah reaktor berpengaduk yang seri atau di dalam kolom dengan beberapa injeksi langsung. Asam sulfat yang terbentuk di proses ini, kemudian dinetralisasi oleh ammonia membentuk ammonium sulfat yang terjadi pada suhu 85-90°C dengan pencampuran terus menerus di dalam larutan asam lemah.

#### 2. Proses Menggunakan Sikloheksana

Proses ini meliputi dua tahap. Mula-mula sikloheksana dioksidasi menjadi campuran sikloheksanon, kemudian di dehidrogenasi menjadi sikloheksanon. Produk keseluruhan yang di dapat berupa 84% sikloheksanon.

Reaksi yang terjadi adalah reaksi endotermis pada suhu 400°C dan tekanan atmosferik dengan katalis seng.

#### 3. Proses Pembuatan Sikloheksanon dari Hidrogenasi Phenol

Proses berfasa cair ini, dikembangkan oleh Inventa dan *Allied Chemical Phenol* yang telah dimurnikan dihidrogenasi pada suhu 175°C di dalam tiga reaktor seri yang bekerja pada tekanan  $1,3 \times 10^6$  Pa.

Katalis yang digunakan adalah 5 % berat palladium yang terdeposit di atas batubara sebanyak 0,5% berat umpan. Reaksi ini digunakan 95% volume hidrogen dengan excess sebanyak 20%. Temperatur keluaran reaktor dijaga agar tidak melebihi 200°C, keluaran reaktor didinginkan sampai 90°C dan di centrifuge untuk memperoleh kembali katalis yang terbawa.

#### 4. Proses Pembuatan Hidroksilamina

Hidroksilamina merupakan salah satu bahan baku yang digunakan di dalam pembuatan caprolactam. Proses ini hidrosilamina dan sikloheksanon akan direaksikan untuk menghasilkan sikloheksanon oxim.

Umumnya hidroksilamina dibuat dengan menggunakan Teknik Raschig. Ammonia dibakar dengan udara pada 85°C dengan menggunakan katalis foam platinum. Panas yang dihasilkan reaksi akan digunakan oleh boiler untuk menghasilkan steam. Produk yang terbentuk adalah nitrogen oksida.

Larutan ammonium karbonat dibuat melalui reaksi antara CO<sub>2</sub> dengan ammonia kemudian ammonium karbonat dan nitrogen oksida direaksikan untuk menghasilkan ammonium nitrit dan juga reaksi harus di kontrol temperaturnya agar tidak terjadi dekomposisi nitrit yang terbentuk. Hidrosilamina disulfonat dibuat melalui reaksi antara SO<sub>2</sub> dengan campuran ammonium nitrit dan karbonat pada temperature 95°C.

#### 5. Rearrangement Beckmann

Sikloheksanin oxim yang terbentuk akan mengalami Rearrangement Beckmann. Sebagai media rearrangement digunakan asam sulfat atau oleum.

Rearrangement yang meliputi pembukaan cincin sikloheksil, berlangsung sangat cepat dan sangat eksotermis. Oleh karena itu, sikloheksanon oxim dan oleum (27%) dicampur secara simultan dengan sejumlah besar produk yang telah diproses terlebih dahulu

### 1.4. Sifat-Sifat Fisika dan Kimia

Setiap senyawa kimia memiliki sifat fisika dan kimia tertentu yang berbeda-beda antara satu senyawa dengan senyawa lainnya. Sifat fisika dan kimia menjadi salah satu acuan yang diperlukan untuk meninjau jenis proses dan perancangan alat proses yang digunakan dalam mendirikan suatu pabrik. Pada proses pembuatan propana ini sifat fisika dan kimia tiap senyawa yang digunakan.

#### 1.4.1. Cyclonehexanon Oxim

Rumus molekul	: $C_6H_{11}NO$
Berat Molekul	: 98,145 gr/mol
Fase pada suhu kamar	: Padatan
Titik Didih	: 208 °C
Titik Leleh	: 92 °C
Temperatur Kritis	: 441,85 °C
Tekanan Kritis	: 46,29 atm

*(Coulson and Richardson edisi 4 volume 6)*

#### b) Sifat Kimia

Mudah terbakar dan beracun  
Dapat menyebabkan kanker

#### 1.4.2. Asam Sulfat

Rumus molekul	: $H_2SO_4$
Berat Molekul	: 98 gr/mol
Densitas	: 1,834 g/cm <sup>2</sup>
Fase pada suhu kamar	: Cair
Titik Didih	: 336,85 °C
Titik Leleh	: 10,31 °C
Temperatur Kritis	: 651,85 °C

Tekanan Kritis : 497,9 atm

*(Coulson and Richardson edisi 4 volume 6)*

b) Sifat Kimia

Dapat korosif terhadap logam

Menyebabkan kulit terbakar yang parah dan kerusakan mata

Dapat menyebabkan efek bahaya jangka panjang pada kehidupan perairan

1.4.3. Air

a) Sifat Fisika

Rumus Molekul : H<sub>2</sub>O

Berat Molekul : 18,015 gr/mol

Densitas : 998 kg/m<sup>3</sup>

Fase pada suhu kamar : Liquid

Titik Didih : 100 °C

Titik Leleh : 0 °C

Temperatur Kritis : 373,98 °C

Tekanan Kritis : 217,67 atm

*(Coulson and Richardson edisi 4 volume 6)*

b) Sifat Kimia

Sifat pelarut suatu zat bergantung pada pereaksinya

Air akan bersifat basa jika bereaksi dengan asam lemah

Air akan bersifat asam jika bereaksi dengan basa lemah

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia

1.4.3. Benzena

a) Sifat Fisika

Rumus Molekul : C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>

Berat Molekul : 78,11

Densitas	: 0.8765 g/cm <sup>3</sup>
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik Didih	: 80,1 °C
Titik Leleh	: 5,5 °C
Temperatur Kritis	: 288,9 °C
Tekanan Kritis	: 48.31 atm

*(Coulson and Richardson edisi 4 volume 6)*

b) Sifat Kimia

Bersifat karsinogenik (beracun).

Senyawa non polar.

Kurang reaktif tapi mudah terbakar dan menghasilkan banyak jelaga.

Lebih mudah reaksi substitusi dari pada adisi.

1.4.4. Ammonium Hidroksida

a) Sifat Fisika

Rumus Molekul	: NH <sub>4</sub> OH
Berat Molekul	: 35,04
Densitas	: 0.88 gr/cm <sup>3</sup>
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik Didih	: 27 °C
Titik Leleh	: -5 °C
Temperatur Kritis	: 207,5°C
Tekanan Kritis	: 111,3 atm

*(Coulson and Richardson edisi 4 volume 6)*

b) Sifat Kimia

Ammonium Hidroksida mudah terbakar di udara. Ammonia akan terbakar oleh oksigen di atmosfer dan menghasilkan gas nitrogen dan uap air.

Amonium hidroksida akan teroksidasi ketika direaksikan dengan oksida logam pada suhu tinggi nampak seperti reaksi oksida dari tembaga dan oksida plumbum dengan amonia

#### 1.4.4. Caprolactam

##### a) Sifat Fisika

Rumus Molekul	: $C_6H_{11}NO$
Berat Molekul	: 113
Densitas	: $0,96 \text{ gr/cm}^3$
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik Didih	: $270 \text{ }^\circ\text{C}$
Titik Leleh	: $70 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperatur Kritis	: $532,85 \text{ }^\circ\text{C}$
Tekanan Kritis	: $366,57 \text{ atm}$

*(Coulson and Richardson edisi 4 volume 6)*

##### b) Sifat Kimia

Bersifat Harmful.

Dapat menyebabkan iritasi pada kulit, dan juga mata.

Dapat menyebabkan iritasi pada bagian respirasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bank Indonesia. 2019. Suku Bunga Penjaminan. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/suku-bunga>.(Diakses pada Tanggal 1 Agustus 2020).
- Branan, C. R. 2005. *Rules of Thumb for Chemical Engineers 4<sup>th</sup> Edition*. United State: Elsevier Inc.
- Brown, G. G. 1950. Unit Operations. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Comtrade. 2019. Data Impor Caprolactam dari Tahun 2012-2019. (Online). <http://www.Comtrade.un.org/>. (Diakses pada Tanggal 2 Februari 2020).
- Felder, R. M. 2005. *Elementary Principles of Chemical Processes 2<sup>nd</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Fogler, S. H. 2004. Element of Chemical Reaction Engineering 3rd Edition. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Geankoplis, C. J. 1993. Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition. United States of America: Prentice-Hall International.
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw Hill.
- Kesner, M. 1999. *Bromine and Bromine Compounds from The Dead Sea, Israel Products in The Service of People*. Israel: Weizmann Institute of Science.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. United State of America: John Wiley and Sons.
- Ludwig, E. E. 1997. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2, Third Edition*. Gulf Publishing Co: Houston.
- Matches Engineering. 2017. *Equipment Cost Index*. <http://www.matche.com/equipcost.html>. (Diakses pada tanggal 25 Oktober 2018).
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5<sup>th</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Perry, Robert H. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook Seventh Edition*. United State: McGraw Hill.
- Peter, M. S., & Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th Edition*. New York: Mc Graw Hill.



- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4<sup>th</sup> Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Soerawidjadja.1991.*Perkembangan Industri Kimia dan Penguasaan Teknologi Proses*.Bandung : BATAN.
- Stephen, O. B. E. 1962. *Solubilities of Inorganic and Organic Compounds*. Oxford: Pergamon Press.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operation 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). [http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU\\_13\\_2003.pdf](http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf). (Diakses pada Tanggal 5 Juli 2020).
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. USA: Butterworth-Heinemann.
- Yaws. C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Texas: Mc-Graw-Hill.