

**PRARANCANGAN PABRIK AKRILAMIDA DARI
AKRILONITRIL DENGAN KATALIS *RANEY COPPER*
KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor 201 (RE-201))**

(Skripsi)

Oleh:

DESTRI MAYANG SARI

1615041025



JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

**PRARANCANGAN PABRIK AKRILAMIDA DARI
AKRILONITRIL DENGAN KATALIS *RANEY COPPER*
KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor 201 (RE-201))**

Oleh

DESTRI MAYANG SARI

(Skripsi)

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRACT

PRARANCANGAN PABRIK AKRILAMIDA DARI AKRILONITRIL DENGAN KATALIS *RANEY COPPER* KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN

(Perancangan Raktor (RE-201))

By

DESTRI MAYANG SARI

A plant to produce acrylamide from acrylonitrile and water, is planned to be located at Cilegon Industrial Area, Banten Province. The plant is established by considering availability of raw materials, transportation facilities, readily available labor and environmental conditions.

Capacity of the plant is 22.000 tons/year operating 24 hour/day and 330 working days/ year. The plant required 1.157,8595 kg/h of acrylonitrile; 2.133,7696 kg/h of water.

Quantity of labor is around 196 people. The plant is managed as a Limited Liability Company (PT), which is headed by a Director. The company is organized in the form of line and staff structure.

From analysis of the plant economy is obtained:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp. 649.289.900.135,-
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp. 114.580.570.612,-
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp. 763.870.470.748,-
<i>Break Even Point (BEP)</i>	= 40 %
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	= 20 %
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)_a</i>	= 3,1 tahun
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)_a</i>	= 25,27 %
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	= 34,14%

By considering above the summary, it is suitable study further the acrylamide plant since plant is profitable and has good prospects.

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK AKRILAMIDA DARI AKRILONITRIL DENGAN KATALIS *RANEY COPPER* KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN

(Perancangan Raktor (RE-201))

Oleh

DESTRI MAYANG SARI

Pabrik akrilamida berbahan baku akrilonitril dan air direncanakan didirikan di Kawasan Industri Cilegon, Provinsi Banten. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi Akrilamida sebanyak 22.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 330 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah Akriloniril sebanyak 1.157,8595 kg/jam dan Air sebanyak 2.133,7696 kg/jam.

Jumlah karyawan sebanyak 196 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang direktur. Sistem manajemen perusahaan menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp. 649.289.900.135,-
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp. 114.580.570.612,-
<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= Rp. 763.870.470.748,-
<i>Break Even Point</i> (BEP)	= 40 %
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 20 %
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) _a	= 3,1 tahun
<i>Return on Investment after Taxes</i> (ROI) _a	= 25,27 %
<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	= 34,14%

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik akrilamida ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK AKRILAMIDA DARI
AKRILONITRIL DENGAN KATALIS *RANEY COPPER*
KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor *Fixed Bed Multitube (RE-201)*)**

Nama Mahasiswa : Destri Mayang Sari

No. Pokok Mahasiswa : 1615041025

Jurusan : Teknik Kimia


Fakultas : Teknik



Dr. Elida Purba., S.T., M.Sc.
NIP. 196809021997022005

Donny Lesmana, S.T., M.Sc.
NIP. 198410082008121003

Ketua Jurusan Teknik Kimia


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

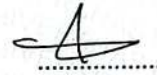
MENGESAHKAN

Tim Penguji

Ketua : Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.



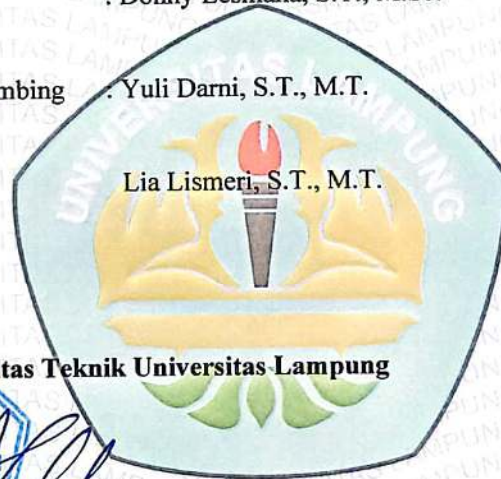
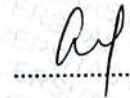
Sekretaris : Donny Lesmana, S.T., M.Sc.



Penguji
Bukan Pembimbing : Yuli Darni, S.T., M.T.



Lia Lismeri, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **16 Juni 2023**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023



Destri Mayang Sari

NPM. 1615041025

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Ketapang, pada tanggal 25 Desember 1997, sebagai anak ke-tiga dari lima bersaudara, dari pasangan Bapak Indrayana dan Ibu Hartini. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Nurul Ummah pada Tahun 2004. Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Ketapang pada Tahun 2010, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sungkai Selatan pada Tahun 2013 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Kotabumi pada Tahun 2016.

Pada Tahun 2016, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur masuk SNMPTN Universitas Lampung 2016.

Pada Tahun 2019, penulis melakukan Kerja Praktek di PT Semen Baturaja Persero Tbk. Baturaja, Ogan Komering Ulu (OKU). Unit Produksi Plant 1 dengan Tugas Khusus “Menghitung Neraca Massa dan Neraca Panas di *Suspension Preheater*”. Selain itu, penulis melakukan penelitian dengan judul “Zat Warna Alami dari Proses Ekstraksi Batang Kayu Sungkai (*Peronema Canescens Jack*) Sebagai Pewarna Tekstil”, dimana penelitian tersebut dipublikasikan pada Tahun 2022. Selama kuliah penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila pada periode 2016/2017 sebagai Staff Departemen Dana dan Usaha FT Unila.

MOTTO

“MAN JADDA WA JADA”

“Siapa yang bersungguh-sungguh pasti akan berhasil”

“ALL is WELL”

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan, Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan) tetaplah bekerja keras untuk urusan yang lain”

-(Qs. Al-Insyirah : 6-7)-

**“Selama kamu masih BERUSAHA dan YAKIN
akan selalu terbuka jalan menuju MASA
DEPAN yang INDAH”**

(Destri Mayang Sari, 2023)

Sebuah Karya

Kupersembahkan dengan sepenuh hati untuk :

Allah SWT, berkat Rahmat dan Ridho-Nya aku dapat menyelesaikan karyaku ini

Ayah dan Ibu sebagai pengganti atas pengorbanan yang sudah tak terhitung jumlahnya, terima kasih atas do'a, kasih sayang dan pengorbanannya selama ini

Kakak & Adikku, terima kasih atas do'a, dan dukungannya selama ini

Sahabat-Sahabat Tercintaku, Terima kasih telah menjadi bagian hidupku selama ini. Apa yang kita alami demi teman kadang-kadang melelahkan dan menjengkelkan, tetapi itulah yang membuat persahabatan mempunyai nilai yang indah. Semoga suatu saat nanti kita bertemu kembali dengan kisah kesuksesan kita dan dapat saling tolong menolong di akhirat kelak

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan banyak kenikmatan dan segalanya yang membuat penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Prarancangan Pabrik Akrilamida dari Akrilonitril dengan Katalis *Raney Copper* Kapasitas 22.000 Ton/Tahun” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh derajat kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang Maha Esa dan Maha Pengasih serta yang Maha Pemberi Rezeki.
2. Ayah dan Ibuku tersayang, atas segala doa yang engkau panjatkan selama ini, kesabaran untuk menunggu selesainya kuliah, dan moril yang tak akan pernah bisa terbalaskan oleh penulis.
3. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia yang telah memberikan bantuan untuk kelancaran proses belajar selama di kampus.
4. Alm. Bapak Edwin Azwar, S.T., PgD. MTA. Ph.D. dan/atau Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan sarannya selama berada di kampus.
5. Ibu Dr. Elida Purba., S.T. M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing 1, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
6. Bapak Donny Lesmana, S.T. M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing 2 atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Ibu Yuli Darni, S.T. M.T., sebagai Dosen Penguji 1, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.

8. Ibu Lia Lismeri., S.T. M.T., sebagai Dosen Penguji 2, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
9. Seluruh Dosen dan Staf Teknik Kimia yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan.
10. Kakak dan Adikku serta keponakanku, yang telah memberikan semangat, doa dan mendukung perjuanganku dalam penyelesaian tugas akhir ini.
11. Swarna Darma, sebagai partner tugas akhir, yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
12. Sobat *Q* wkwwk (Noer Dea Astriza, S.Tr. Keb., dan Elsit Hafizha Suhaili, S.Tr. Keb.) atas dukungannya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir yang spesial ini dengan baik.
13. Teman seperjuangan ku Lutfia Rahma Riyadi (Lulu), Adhitya Yulianto, Luthfiana Indriati (Fifi), terima kasih kalian telah sangat membantu diriku yang tidak tau apa-apa ini.
14. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016, Terimakasih yang sebanyak-banyaknya untuk kalian semua yang telah memberikan kepercayaan lebih kepada saya dan membantu saya dalam segala hal. Kalianlah keluarga terbaik yang pernah saya punya di tempat perjuangan ini. Sukses untuk kita semua dan semoga kita dapat dipertemukan kembali dalam keadaan yang lebih baik suatu saat nanti. Tak akan ada apa-apanya saya tanpa kehadiran kalian semua.
15. Adik-adik dan kakak-kakak tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak memberikan warna-warni selama berada di kampus.
16. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Bandar Lampung, 21 Juni 2023

Penulis

Destri Mayang Sari

DAFTAR ISI

COVER DALAM	i
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Kegunaan Produk	2

1.3. Ketersediaan Bahan Baku	3
1.4. Analisis Pasar	3
1.5. Lokasi Pabrik.....	8
BAB II. DESKRIPSI PROSES	12
2.1. Jenis Proses Pembuatan Akrilamida	12
2.2. Tinjauan Proses	17
2.3. Berdasarkan Kelayakan Ekonomi	20
2.4. Pemilihan Proses	24
2.5. Uraian Proses	25
BAB III. SPESIFIKASI BAHAN	26
3.1. Bahan Baku	26
3.2. Produk	29
BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI	31
4.1. Neraca Massa Alat	31
4.2. Neraca Energi	33
BAB V. SPESIFIKASI ALAT	36
5.1. Spesifikasi Peralatan Proses	36
5.2. Spesifikasi Alat Pengolahan Air	46
BAB VI. UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	74
6.1. Unit Pendukung Proses	74
6.2. Unit Pengolahan Limbah.....	85
6.3. Laboratorium.....	86

6.4. Instrumentasi dan Pengendalian Proses	88
BAB VII. LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	91
7.1. Pemilihan Lokasi Pabrik	92
7.2. Tata Letak Pabrik	94
7.3. Tata Letak Peralatan Proses	99
BAB VIII. SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI	
PERUSAHAAN	102
8.1. Bentuk Perusahaan	102
8.2. Struktur Organisasi Perusahaan	104
8.3. Tugas dan Wewenang	107
8.4. Status Karyawan dan Sistem Penggajian	113
8.5. Pembagian Jam Kerja Karyawan	114
8.6. Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	116
8.7. Kesejahteraan Karyawan.....	120
BAB IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	123
9.1. Investasi.....	123
9.2. Evaluasi Ekonomi	126
9.3. Angsuran Pinjaman	130
BAB X. SIMPULAN DAN SARAN	131
10.1. Kesimpulan.....	131
10.2. Saran.....	131
DAFTAR PUSTAKA	

LAMPIRAN A. PERHITUNGAN NERACA MASSA

LAMPIRAN B. PERHITUNGAN NERACA ENERGI

LAMPIRAN C. PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

LAMPIRAN D. PERHITUNGAN UTILITAS

LAMPIRAN E PERHITUNGAN NERACA EKONOMI

LAMPIRAN F PERHITUNGAN TUGAS KHUSUS

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Data Impor Akrilamida di Indonesia	4
Tabel 1.2. Pabrik Akrilamida yang Beroperasi di Dunia	5
Tabel 1.3 Industri Pengolahan Limbah dan Pemurnian Air	7
Tabel 1.4 Industri <i>Pulp and Paper</i>	8
Tabel 2.1 Nilai $\Delta H^{\circ f}$ dan $\Delta G^{\circ f}$ Komponen pada Kondisi Standar	18
Tabel 2.2. Perbandingan Proses Pembuatan Akrilamida.....	24
Tabel 4.1.1 Neraca Massa MP-101	31
Tabel 4.1.2 Neraca Massa R-201	32
Tabel 4.1.3 Neraca Massa disekitar MD-301	32
Tabel 4.1.4 Neraca Massa disekitar CD-301	32
Tabel 4.1.5 Neraca Massa disekitar RB-301	33
Tabel 4.2.1 Neraca Energi MP-101	33
Tabel 4.2.2 Neraca Energi HE-101	33
Tabel 4.2.3 Neraca Energi disekitar R-201	34
Tabel 4.2.4 Neraca Energi disekitar HE-201	34
Tabel 4.2.5 Neraca Energi disekitar MD-301	34
Tabel 5.1.1 Spesifikasi Tangki Akrilonitril (ST-101)	36
Tabel 5.1.2 Spesifikasi Tangki Akrilamida (ST-301)	37
Tabel 5.1.3 Spesifikasi Heater (HE-101)	37

Tabel 5.1.4 Spesifikasi Reaktor (RE-201)	38
Tabel 5.1.5 Spesifikasi Heater (HE-201)	39
Tabel 5.1.6 Spesifikasi Kolom Distilasi (MD-301)	40
Tabel 5.1.7 Spesifikasi Condensor (CD-301)	40
Tabel 5.1.8 Spesifikasi Accumulator (AC-301)	41
Tabel 5.1.9 Spesifikasi Reaktor (RE-201)	41
Tabel 5.1.10 Spesifikasi Cooler (CO-301)	42
Tabel 5.1.11 Spesifikasi Pompa Proses (PP-101)	43
Tabel 5.1.12 Spesifikasi Pompa Proses (PP-102)	43
Tabel 5.1.13 Spesifikasi Pompa Proses (PP-201)	44
Tabel 5.1.14 Spesifikasi Pompa Proses (PP-301)	44
Tabel 5.1.15 Spesifikasi Pompa Proses (PP-302)	45
Tabel 5.2.1 Spesifikasi bak sedimentasi (BS – 401)	46
Tabel 5.2.2 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 401)	46
Tabel 5.2.3 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 402)	46
Tabel 5.2.4 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> kaporit (DT – 401)	47
Tabel 5.2.5 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 403)	48
Tabel 5.2.6 Spesifikasi gudang penyimpanan alum (GD – 401)	48
Tabel 5.2.7 Spesifikasi <i>screw conveyor</i> (SC – 401)	48
Tabel 5.2.8 Spesifikasi <i>bucket elevator</i> (BE – 401)	49
Tabel 5.2.9 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> alum (DT – 402)	49
Tabel 5.2.10 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 404)	50
Tabel 5.2.11 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> NaOH (DT – 403)	50

Tabel 5.2.12 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 405)	51
Tabel 5.2.13 Spesifikasi <i>clarifier</i> (CL – 401)	51
Tabel 5.2.14 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 406)	52
Tabel 5.2.15 Spesifikasi <i>sand filter tank</i> (SF – 401)	52
Tabel 5.2.16 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 407)	53
Tabel 5.2.17 Spesifikasi <i>filter water tank</i> (FWT – 401)	53
Tabel 5.2.18 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 408)	54
Tabel 5.2.19 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 409)	54
Tabel 5.2.20 Spesifikasi <i>domestic water tank</i> (DWT – 401)	55
Tabel 5.2.21 Spesifikasi <i>hydrant water tank</i> (HWT – 401)	55
Tabel 5.2.22 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 410)	56
Tabel 5.2.23 Spesifikasi <i>hot basin</i> (HB – 401)	56
Tabel 5.2.24 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 411)	56
Tabel 5.2.25 Spesifikasi <i>storage tank</i> H ₂ SO ₄ (ST – 401)	57
Tabel 5.2.26 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 412)	57
Tabel 5.2.27 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> H ₂ SO ₄ (DT – 404)	58
Tabel 5.2.28 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 413)	58
Tabel 5.2.29 Spesifikasi <i>storage tank dispersant</i> (ST – 402)	59
Tabel 5.2.30 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 414)	59
Tabel 5.2.31 Spesifikasi <i>storage tank scale inhibitor</i> (ST – 403)	60
Tabel 5.2.32 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 415)	60
Tabel 5.2.33 Spesifikasi <i>storage tank corrosion inhibitor</i> (ST – 404)	61
Tabel 5.2.34 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 416)	61
Tabel 5.2.35 Spesifikasi <i>cooling tower</i> (CT – 401)	62

Tabel 5.2.36 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 417)	62
Tabel 5.2.37 Spesifikasi <i>cold basin</i> (CB – 401)	62
Tabel 5.2.38 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 418)	63
Tabel 5.2.39 Spesifikasi <i>storage tank</i> air kondensat (ST – 405)	63
Tabel 5.2.40 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 419)	64
Tabel 5.2.41 Spesifikasi <i>cation exchanger</i> (CE – 401)	64
Tabel 5.2.42 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 420)	65
Tabel 5.2.43 Spesifikasi <i>anion exchanger</i> (AE – 401)	65
Tabel 5.2.44 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 421)	66
Tabel 5.2.45 Spesifikasi <i>storage tank</i> air demineral (ST – 406)	66
Tabel 5.2.46 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 422)	67
Tabel 5.2.47 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 423)	67
Tabel 5.2.48 Spesifikasi <i>storage tank hydrazine</i> (ST – 407)	68
Tabel 5.2.49 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 424)	68
Tabel 5.2.50 Spesifikasi <i>deaerator</i> (DA – 401)	69
Tabel 5.2.51 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 425)	69
Tabel 5.2.52 Spesifikasi <i>boiler</i> (BO – 401)	69
Tabel 5.2.53 Spesifikasi <i>steam blower</i> (SB – 401)	70
Tabel 5.2.54 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 401)	70
Tabel 5.2.55 Spesifikasi <i>belt conveyor</i> (BC – 401)	70
Tabel 5.2.56 Spesifikasi <i>air dryer</i> (AD – 501)	71
Tabel 5.2.57 Spesifikasi <i>air compressor</i> (AC – 501)	71
Tabel 5.2.58 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 501)	72

Tabel 5.2.59 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 502)	72
Tabel 5.2.60 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 503)	72
Tabel 5.2.61 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 504)	73
Tabel 5.2.62 Spesifikasi <i>cyclone</i> (CC – 501)	73
Tabel 5.2.63 Spesifikasi generator penyedia listrik (GS – 601)	73
Tabel 6.1 Kebutuhan air umum	75
Tabel 6.2 Kebutuhan air untuk pembangkit <i>steam</i>	75
Tabel 6.3 Kebutuhan air pendingin	77
Tabel 6.4 Tingkatan kebutuhan informasi dan sistem pengendalian	89
Tabel 7.1 Perincian Luas Tanah	97
Tabel 8.1 Jadwal Kerja Masing-Masing Regu	115
Tabel 8.2 Perincian Tingkat Pendidikan	116
Tabel 8.3 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Proses	118
Tabel 8.4 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat Utilitas	118
Tabel 8.5 Perincian Jumlah Karyawan Berdasarkan Jabatan	118
Tabel 9.1 Perincian <i>Total Capital Investment</i> Pabrik Akrilamida	124
Tabel 9.2 1 Perincian <i>Total Capital Cost</i> Pabrik Akril	125
Tabel 9.3 <i>Minimum Acceptable present return on investment</i>	126
Tabel 9.4 <i>Acceptable payout time</i> untuk tingkat resiko pabrik	127
Tabel 9.5 Hasil Uji kelayakan ekonomi	130

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Data Impor Akrilamida di Indonesia	4
Gambar 2.1 Diagram Blok Proses Pembuatan Akrilamida dengan Asam Sulfat	14
Gambar 2.2. Diagram Blok Proses Pembuatan Akrilamida dengan Proses Hidrolisis	16
Gambar 6.1 Diagram <i>Cooling Water System</i>	79
Gambar 7.1 Peta Lokasi Pabrik	90
Gambar 7.2 Lokasi Pabrik	91
Gambar 7.3 Tata Letak Pabrik	98
Gambar 7.4 Layout Peralatan	101
Gambar 8.1 Struktur Organisasi Perusahaan	106
Gambar 9.1 Variasi tingkat produksi basis tahunan	128
Gambar 9.2 Kurva <i>Cumulative Cash Flow</i>	129

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan bidang ilmu pengetahuan dan teknologi memaksa manusia untuk selalu melakukan inovasi-inovasi dan berkreasi dalam usahanya untuk memenuhi kebutuhan hidup. Pola ini diterapkan dalam dunia perindustrian khususnya industri kimia. Pembangunan industri kimia ini ditekankan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, pemanfaatan sumber daya alam yang ada menciptakan lapangan kerja dan mendorong perkembangan industri lain.

Sebagai negara berkembang Indonesia banyak melakukan pembangunan disegala bidang, salah satunya adalah pembangunan industri. Menurut Kementerian Perindustrian Republik Indonesia, pertumbuhan pembangunan industri kimia di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 5,29%, namun Indonesia masih mengalami ketergantungan impor produk dari luar negeri menyebabkan devisa Negara semakin berkurang sehingga diperlukan suatu usaha untuk mengatasi ketergantungan tersebut. Salah satu usaha untuk mengatasi ketergantungan tersebut adalah dengan mendirikan industri untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Indonesia telah memiliki banyak industri untuk memenuhi

kebutuhan dalam negeri, namun ada beberapa kebutuhan yang hingga saat ini masih impor dengan jumlah yang besar. Salah satu produk impor tersebut adalah akrilamida. Akrilamida dengan rumus molekul C_3H_5NO merupakan turunan dari asam karboksilat dan menjadi senyawa yang paling penting dalam kelompok akrilat dan metakrilat amid. Akrilamida merupakan senyawa kimia berwarna putih tidak berbau berbentuk kristal padat yang larut dalam air. Akrilamida dalam larutan bersifat stabil pada suhu kamar dan tidak berpolimerisasi secara spontan.

Menurut Badan Statistik (2021) kebutuhan impor akrilamida mengalami kenaikan dari tahun ketahun. Sementara itu, di Indonesia pabrik akrilamida yang sudah berdiri, yaitu : PT Mitsui Eterindo Chemical memproduksi akrilamida dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Meskipun telah berdiri pabrik akrilamida di Indonesia, kebutuhan akrilamida dalam negeri masih mengimpor dari negara-negara seperti China, Amerika Serikat, Jepang dan Korea. Hal ini menjadi kesempatan yang cukup berpotensi untuk mendirikan pabrik akrilamida di Indonesia agar dapat mengurangi kebutuhan impor. Karena alasan-alasan tersebut maka perlu dilakukan pengkajian kelayakan teknis/ekonomis mengenai pendirian pabrik yang akan memproduksi akrilamida. Dengan demikian dapat diketahui peluang pembangunan pabrik akrilamida di Indonesia.

1.2 Kegunaan Produk

Akrilamida merupakan bahan *intermediate* yang sebagian besar digunakan untuk pembuatan *polyacrylamide*. *Polyacrylamide* digunakan

dalam flokulan untuk memisahkan padatan dari larutan pada pengolahan air limbah dan pemurnian air, bahan tambahan pada proses pengemasan bahan aditif pada industri tekstil dan *pulp and paper* (Krik Othmer, 1991).

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama dan bahan baku penunjang yang akan digunakan dalam pembuatan akrilamida adalah Akrilonitril (C_3H_5N), katalis *Raney Copper* dan Air. Akrilonitril diperoleh dengan mengimpor dari Thailand PPT Acrylonitrile dengan kapasitas produksi 200.000 ton/tahun. Untuk katalis *raney copper* diimpor dari Zhejiang Bainianyin Industry & Trade Co., Ltd. Di China. Hal ini dilakukan karena belum ada pabrik di Indonesia yang memproduksi bahan tersebut. Sedangkan air diperoleh dari sungai Cidanau.

1.4 Analisa Pasar

Analisis pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk. Adapun analisis pasar meliputi data impor, data konsumsi dan data produksi akrilamida di Indonesia.

1.4.1. Data Impor

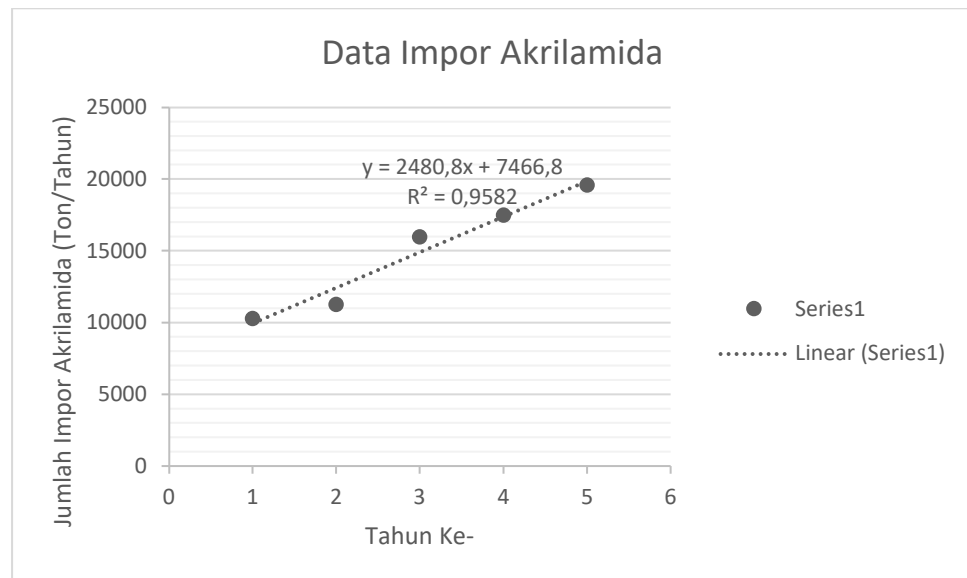
Berikut ini data impor akrilamida di Indonesia yang berasal dari Badan Pusat statistik.

Tabel 1.1 Data Impor Akrilamida di Indonesia

Tahun Ke	Tahun	Impor (ton/tahun)
1	2017	10.278
2	2018	11.257
3	2019	15.963
4	2020	17.475
5	2021	19.573

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2017-2021

Dari **Tabel 1.1** dapat dibuat kurva sebagai berikut:

**Gambar 1.1** Grafik Data Impor Akrilamida di Indonesia

Dari data diatas terlihat bahwa besar impor akrilamida dari tahun 2017 sampai tahun 2021 mengalami kenaikan. Berdasarkan data yang sudah diplotkan pada Gambar 1.1 dilakukan pendekatan linear, $y = ax + b$.

Dimana : y = kebutuhan impor Akrilamida (ton/tahun)

x = tahun ke (14)

Melalui perhitungan persamaan di atas diperoleh persamaan

$y = 2840,8x + 7466,8$ yang dapat digunakan untuk memprediksi impor Akrilamida di Indonesia pada tahun 2030.

$$y = 2840,8x + 7466,8$$

$$y = 2840,8 (14) + 7466,8$$

$$y = 43984,8$$

Sehingga didapatkan prediksi jumlah impor Akrilamida di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 43984,8 ton/tahun.

1.4.2. Data Produksi

Di Indonesia sudah ada pabrik yang memproduksi akrilamida yaitu PT Mitsui Eterindo Chemical memproduksi akrilamida dengan kapasitas 10.000 ton/tahun. Berikut adalah data kapasitas produksi pabrik Akrilamida di dunia.

Tabel 1.2 Pabrik Akrilamida yang Beroperasi di Dunia

Nama Pabrik	Kapasitas (Ton/tahun)
BASF, Inggris	60.000
Kemira, Belanda	40.500
Ondeo Nalco, Garyville, LA, USA	15.890
Dia-Nitrix, Jepang	65.000
S.N.F, India	18.000
Beijing Hengju Oilfield, China	85.000
S.N.F, China	150.000
Yongsam-Mitsui-Tomen JV, Korea	12.000
S.N.F, Prancis	60.000
Mitsui Chemical, Jepang	43.000

Jiangxi Agriculture Academy, China	20.000
Ashland, Rusia	15.000

Sumber : TranTech Consultants, Inc., 2020

1.4.3. Kapasitas Rancangan

Berdasarkan data-data yang telah dijelaskan diatas, maka kapasitas pabrik ditentukan berdasarkan data impor dalam negeri dan kapasitas produksi pabrik dalam negeri. Berdasarkan kepada Undang-Undang No. 5 Tahun 1999 Pasal 17 (2) yang menyatakan bahwa pelaku usaha diduga atau dianggap melakukan penguasaan atas produksi dan atau pemasaran barang dan atau jasa jika pelaku usaha menguasai lebih dari 50% pangsa pasar.

Kebutuhan impor dalam negeri = 43984,8 ton/tahun.

Kapasitas produksi pabrik yang akan berdiri adalah sebesar 50% dari kebutuhan yang belum terpenuhi di dalam negeri yaitu impor sebesar

= $0,5 \times 43984,8$ ton/tahun

= 21992,4 ton/tahun \approx 22.000 ton/tahun.

Adapun tujuan didirikannya pabrik akrilamida di Indonesia dengan kapasitas produksi 22.000 ton/tahun adalah sebagai berikut:

1. Sasaran utama untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi impor akrilamida dari negara lain.
2. Memicu berdirinya industri lain yang memiliki bahan baku akrilamida.

3. Membuka lapangan pekerjaan baru sehingga dapat mengurangi jumlah pengangguran.

1.4.4. Kebutuhan Akrilamida di Indonesia

Di Indonesia, Akrilamida paling banyak dikonsumsi oleh industri Pengolahan Limbah dan Pemurnian Air, industri *Pulp and Paper*, dan industri Tekstil.

1. Industri Pengolahan Limbah dan Pemurnian Air

Menurut WHO tahun 1985, sekitar 65% Akrilamida digunakan sebagai bahan baku di Industri Pengolahan Limbah dan Pemurnian Air sebagai flokulan. Pengolahan Limbah dan Pemurnian Air di Indonesia diwakilkan pada Tabel 1.3 sebagai berikut.

Tabel 1.3. Industri Pengolahan Limbah dan Pemurnian Air

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Prasadha Pamunah Limbah Industri.*	Bogor	25.000
PT Tenang Jaya Sejahtera**	Karawang	20.000
PT Triata Mulya Indonesia***	Surabaya	25.000
Total		70.000

sumber: *www.republika.com;

www.alamatkudetik.com; *www.triata.co.id

Dari tabel diatas, diketahui total produksi pengolahan limbah dan pemurnian air sebesar 70.000 ton/tahun. Kebutuhan akrilamida dalam pengolahan limbah dan pemurnian air adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan} &= 65\% \times 70.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 45.000 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

2. Industri *Pulp and Paper*

Selain digunakan di industri pengolahan limbah dan pemurnian air, sekitar 15% Akrilamida digunakan sebagai aditif pada industri *pulp and paper* (WHO,1985). Data Industri *Pulp and Paper* di Indonesia diwakilkan pada Tabel 1.4 sebagai berikut:

Tabel 1.4. Industri *Pulp and Paper*

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
PT Tjiwi Kimia Tbk.*	Jawa Timur	1.200.000
PT Pindo Delli Pulp and Paper**	Karawang	913.000
PT Indah Kiat Pulp and Paper***	Tangerang	106.000
Total		2.219.000
sumber: *www.merdeka.com; **www.tuf.com; ***www.datacon.co.id		

Dari tabel diatas, diketahui total produksi *pulp and paper* sebesar 2.219.000 ton/tahun, kebutuhan akrilamida dalam *pulp and paper* adalah:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan} &= 15\% \times 2.219.000 \text{ ton/tahun} \\ &= 332.000 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

1.5 Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik merupakan hal yang penting dalam menunjang keberhasilan suatu industri. Kesalahan pemilihan lokasi pabrik dapat menyebabkan biaya produksi menjadi mahal sehingga tidak ekonomis. Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan dengan cermat agar didapat

keuntungan yang maksimal bagi perusahaan. Secara geografis penentuan letak lokasi suatu pabrik sangat menentukan kemajuan pabrik tersebut saat produksi maupun di masa yang akan datang. Sehingga pemilihan lokasi yang tepat dari pabrik akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang seminimal mungkin. Penentuan lokasi pabrik yang tepat dapat menekan biaya produksi dan dapat memberikan keuntungan-keuntungan lain. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk menentukan lokasi pabrik yang dirancang agar secara teknis dan ekonomis menguntungkan. Pabrik akrilamida ini direncanakan akan dibangun dekat dengan lokasi sumber bahan baku di Kawasan industri Cilegon, Provinsi Banten. Adapun faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi pabrik, antara lain sebagai berikut.

1. Keberadaan Bahan Baku

Lokasi pabrik sebaiknya dekat dengan penyediaan bahan baku untuk menghemat biaya transportasi. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan akrilamida adalah akrilonitril. Akrilonitril didapatkan melalui impor dari Thailand PTT Acrylonitrile dan Katalis *Raney Copper* didapatkan melalui impor dari Zhejiang Bainianyin Industry & Trade Co., Ltd. China. Pemilihan Cilegon sebagai lokasi merupakan tempat yang tepat karena dekat dengan Pelabuhan Merak yang merupakan Pelabuhan ekspor impor sehingga dapat meminimalkan biaya transport.

2. Pemasaran Produk dan Sarana Transportasi

Lokasi pabrik yang dipilih harus dapat mempermudah transportasi dan pendistribusian barang sampai dengan tujuannya yang dapat memberikan efek terhadap waktu dan uang. Pemasaran hasil produksi untuk kebutuhan local tidak akan mengalami hambatan karena tersedianya transportasi darat (jalan raya dan jalan rel kereta api), transport udara melalui bandara sedangkan untuk transportasi laut biasanya melalui Pelabuhan. Daerah Cilegon merupakan daerah yang strategis untuk pendirian suatu pabrik karena dekat dengan Jakarta sebagai pusat perdagangan Indonesia. Pemilihan Cilegon sebagai lokasi pabrik juga akan memudahkan dalam proses pendistribusian produk karena perusahaan penggunaan akrilamida sebagian besar berada di pulau Jawa.

3. Penyediaan Utilitas

Perlu diperhatikan sarana-sarana pendukung seperti tersedianya air, listrik, dan sarana lainnya sehingga proses produksi dapat berjalan dengan baik. Air merupakan kebutuhan yang dibutuhkan dalam jumlah banyak. Apabila ketersediaan air tidak mencukupi maka keberlangsungan proses akan terganggu. Penyediaan air disuplai dari air sungai yang terlebih dahulu diproses di unit pengolahan air agar layak pakai. Air sungai tersebut digunakan sebagai air proses, air pendingin dan air sanitasi. Penentuan lokasi pabrik di kota Cilegon, Banten berdekatan dengan beberapa sumber air. Sumber air yang dapat digunakan untuk keperluan air pabrik yaitu Sungai

Cidanau. Penyediaan kebutuhan listrik direncanakan akan disuplai secara internal menggunakan pembangkit listrik dengan bahan bakar bagas tebu dan juga secara eksternal dari PT. PLN Suralaya.

4. Tenaga Kerja

Tersedianya tenaga kerja yang terampil mutlak diperlukan untuk menjalankan mesin-mesin produksi. Sumber tenaga yang dibutuhkan baik tenaga berpendidikan tinggi, menengah maupun kerja terampil serta tenaga *engineer*. Dan tenaga kerja tersebut dapat direkrut dari masyarakat sekitar pabrik dan tenaga ahli yang berasal dari daerah sekitar pabrik maupun luar daerah. Penerimaan tenaga kerja untuk pabrik akrilamida ini dapat mengurangi jumlah pengangguran di daerah tersebut.

5. Letak Geografis

Lokasi yang dipilih memiliki kondisi geografis yang cukup baik berupa dataran rendah dan rata. Struktur tanah cukup baik sehingga memungkinkan tidak adanya faktor gangguan cuaca maupun bencana alam seperti gempa bumi dan banjir.

6. Perijinan

Lokasi pabrik dipilih pada daerah Kawasan Cilegon Provinsi Banten khusus untuk Kawasan industri sehingga memudahkan dalam perijinan pendirian pabrik.

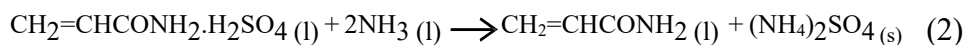
II. URAIAN PROSES

Usaha produksi dalam pabrik kimia membutuhkan berbagai sistem proses dan sistem pemroses yang dirangkai dalam suatu sistem proses produksi yang disebut teknologi proses. Secara garis besar, sistem proses utama dari sebuah pabrik kimia adalah sistem reaksi serta sistem pemisahan dan pemurnian. Proses perubahan bahan baku menjadi produk terjadi dalam sistem reaksi. Sistem pemroses bagi sistem reaksi adalah reaktor. Sistem pemisahan dan pemurnian bertujuan agar hasil dari sistem pereaksian sesuai dengan permintaan pasar sehingga layak dijual.

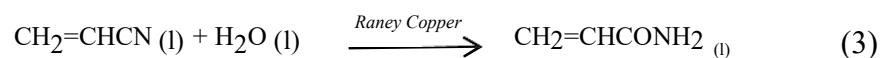
2.1 Jenis Proses Pembuatan Akrilamida

Ada dua proses dalam pembuatan akrilamida antara lain :

- a. Proses Asam Sulfat (reaksi antara akrilonitril, asam sulfat, dan air)

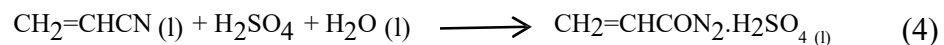


- b. Proses Hidrolisis Katalitik (reaksi antara akrilonitril dan air dengan bantuan katalis *raney copper*)



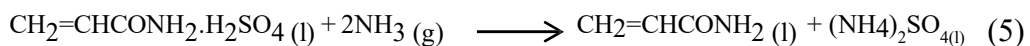
2.1.1 Proses Asam Sulfat

Proses asam sulfat merupakan metode konvensional dengan proses mereaksikan asam sulfat monohidrat ($\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dengan akriloniril. Reaksi yang terjadi yaitu:



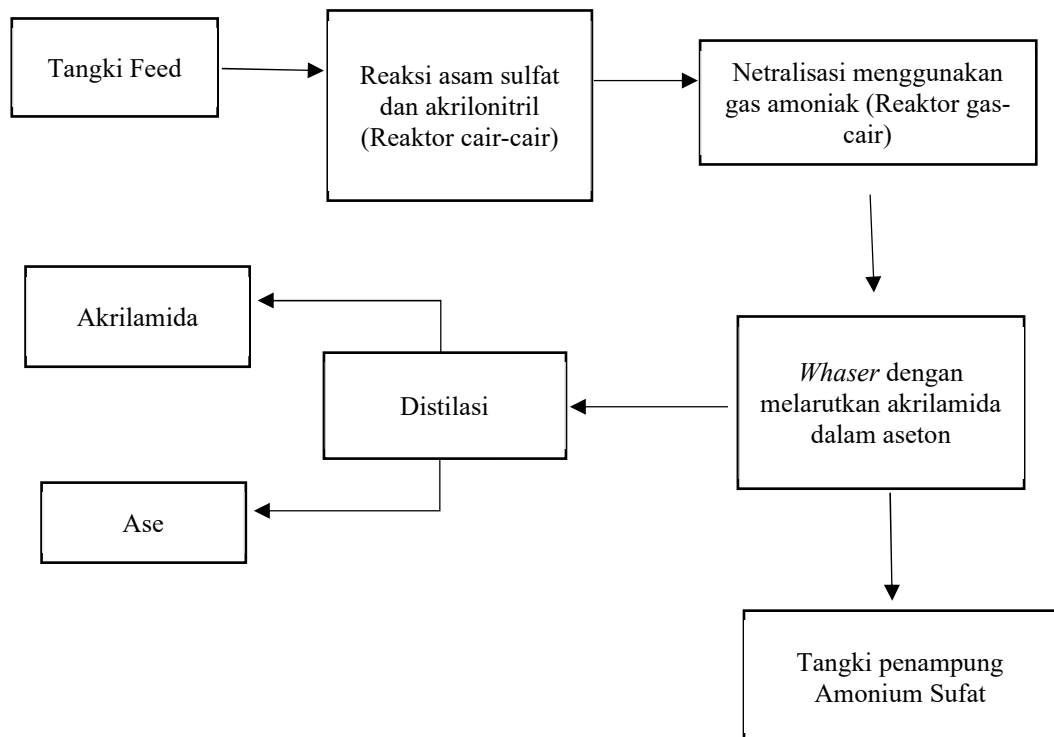
Reaksi pada metode asam sulfat biasanya berlangsung pada *glass-line equipment* pada suhu 90 hingga 100°C dengan waktu tinggal 1 jam. *Yield* dari reaksi diatas adalah sebesar 75% (US Patent 3.257.454). Reaksi yang terjadi sangat eksotermis. Semakin lama waktu tinggal dan semakin tinggi suhu yang dapat menaikkan selektivitas dari impuritas, terutama polimer dan asam akrilat.

Dari reaksi diatas kemudian dihasilkan akrilamida sulfat yang selanjutnya dinetralsir dengan menambahkan gas amoniak hingga menghasilkan kristal akrilamida dan ammonium sulfat sebagai hasil samping. Reaksi yang terjadi :



Bagian tersulit dan termahal dari proses ini adalah pemisahan akrilamida dengan ammonium sulfat. Setelah proses netralisasi dengan amoniak, dilanjutkan dengan proses pelarutan akrilamida menggunakan aseton (US Patent 3.474.141), karena aseton akan melarutkan akrilamida sedangkan amonium sulfat akan menjadi *cake* dan dilanjutkan dengan proses distilasi dengan aseton sebagai residu. Pada saat ini proses asam sulfat tidak lagi digunakan untuk memproduksi akrilamida secara komersial. (Kirk Othmer, 1991)

secara ringkas proses asam sulfat untuk menghasilkan akrilamida dapat dilihat pada diagram blo berikut:

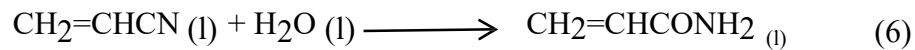


Gambar 2.1. Diagram Blok Proses Pembuatan Akrilamid dengan Proses Sulfat

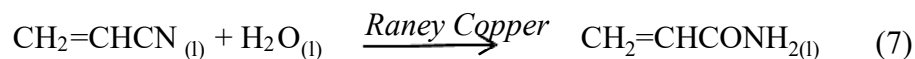
2.1.2 Proses Hidrolisis Katalitik

Untuk mengatasi kelemahan pada proses asam sulfat dalam pembuatan akrilamida maka dikembangkan proses hidrolisis katalitik dengan menggunakan katalis padat, misalnya mangan dioksida, tembaga oksida, tembaga krom oksida, *raney copper*, logam tembaga dikombinasikan dengan ion kupri atau kupro. Proses ini menghasilkan selektivitas hampir 100% tergantung pada jenis katalis yang

digunakan (US Patent 4.076.747). Katalis yang paling sering digunakan yaitu katalis *raney copper* yang terdiri dari 2-45% berat aluminium dengan kisaran diameter 0,002-0,5 inchi (US Patent 4.322.532). Reaksi yang terjadi pada proses hidrolisis katalitik, yaitu:



Reaksi terjadi pada kisaran 70 °C hingga 125 °C (US Patent 3929673A). Proses ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan proses asam sulfat, karena pada proses ini tidak menghasilkan produk samping sehingga proses pemurnian yang mahal dapat dihindari dan terjadi peningkatan konversi dari 80% jika menggunakan proses asam sulfat menjadi 90% jika menggunakan proses hidrolisis katalitik (WHO,1985). Reaksi hidrolisa akrilonitril merupakan reaksi eksotermis fase cair-cair dengan katalis padat (Kirk Othmer, 1991). Reaksi menggunakan reaktor fixed bed multitube dengan katalis *raney copper* dan menghasilkan produk akhir berupa larutan akrilamida 50%.

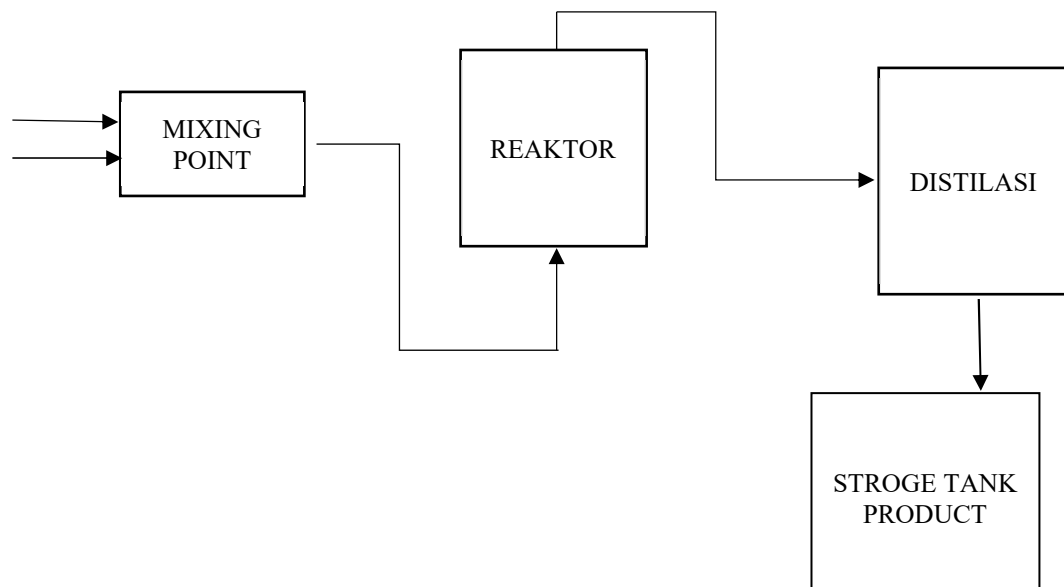


Bahan baku akrilonitril dan air menuju tangki pencampur. Perbandingan umpan masuk reaktor adalah 35% berat akrilonitril dalam air (US Patent 3.901.943). Larutan umpan 35% berat akrilonitril dimasukkan ke dalam reaktor fixed bed multitube (Kirk Othmer, 1991). Dengan suhu masuk reaktor 70 °C dan tekanan masuk reaktor 1 atm yang diatur agar reaksi tetap pada fase cair.

Pada reaktor terjadi proses hidrolisa akrilonitril menjadi akrilamida dengan adanya katalis *raney copper* pada pipa-pipa reaktor (US Patent 3.901.943). Pada reaksi ini tidak ada reaksi samping. Reaksi yang terjadi adalah eksotermis, sehingga digunakan reaktor fixed bed multitube dengan aliran pendingin berupa

air di dalam shell reaktor untuk menyerap panas reaksi. Produk reaktor yang terdiri atas akrilamida, sisa reaktan akrilonitril, dan air. Kemudian dialirkan ke distilasi. Produk diumpankan ke distilasi untuk memisahkan akrilonitril dari akrilamida dan air. Hasil atas distilasi masuk menuju akumulator. Sedangkan, produk *bottom* keluar dari distilasi selanjutnya dialirkan menuju dalam tangki penyimpanan produk pada tekanan 1 atm dan suhu 30 °C pada fase cair.

Secara ringkas proses hidrolisis katalitik untuk menghasilkan akrilamida dapat dilihat pada diagram blok berikut:



Gambar 2.2. Diagram Blok Proses Pembuatan Akrilamid dengan Proses Hidrolisis

2.2. Tinjauan Proses

Selain kondisi operasi, kelayakan sebuah industri dapat ditinjau dari termodinamikanya.

2.2.1 Tinjauan Termodinamika

Untuk mengetahui kondisi operasi dalam proses produksi akrilamida, maka harus mempertimbangkan beberapa faktor, salah satunya adalah faktor kelayakan proses secara teknis. Faktor ini mempertimbangkan beberapa hal seperti tekanan operasi, suhu operasi, panas pembentukan standar ($\Delta H^{\circ f}$) dan energi bebas gibbs pembentukan ($\Delta G^{\circ f}$). Tekanan dan suhu operasi yang digunakan dapat mempengaruhi besarnya konversi dan produk yang dihasilkan. Panas pembentukan standar ($\Delta H^{\circ f}$) merupakan besarnya panas reaksi yang dihasilkan atau dibutuhkan untuk berlangsungnya suatu reaksi kimia. ΔH yang bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut membutuhkan panas pada proses berlangsungnya reaksi (*endoterm*), sedangkan ΔH yang bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut menghasilkan panas selama proses berlangsungnya reaksi (*eksoterm*).

Sedangkan Energi Gibbs standar ($\Delta G^{\circ f}$) menunjukkan sedikit atau banyaknya reaktan yang berubah menjadi produk. ΔG° bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut sedikit reaktan yang berubah menjadi produk. Sedangkan ΔG° bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa banyak reaktan yang berubah menjadi produk. Oleh karena itu, semakin kecil atau negatif ΔG° maka reaksi tersebut akan semakin baik karena banyak reaktan yang berubah menjadi produk sehingga lebih ekonomis (Smith, 2005). Untuk mencari nilai ΔH dan ΔG°

reaksi dibutuhkan data ΔH dan ΔG standar pada masing-masing senyawa yang bereaksi, data tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** sebagai berikut.

Tabel 2.1 Nilai ΔH°_f dan ΔG°_f Komponen pada Kondisi Standar (298K)

Komponen	$\Delta H^{\circ}_{f,298}$ (kJ/mol)	ΔG°_f , kJ/mol
**C ₃ H ₃ N(l)	184,93	195,31
**H ₂ SO ₄ (l)	11,08	-25,1
*H ₂ O(l)	-285,83	-237,13
**NH ₃ (g)	-45,90	-16,40
**C ₃ H ₅ NO(l)	-170	-97,9
**C ₃ H ₅ NO.H ₂ SO ₄ (l)	-144,538	-144,437
*** (NH ₄) ₂ SO ₄ (s)	-1182,77	-902,67

Sumber : *Smith,2001 ; **Yaws, C.L., 1999 ; ***Patnaik, 2003

Dimana enthalpy reaksi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta H^{\circ}_{\text{reaksi}} = \Delta H^{\circ}_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta G^{\circ}_f = \Delta G^{\circ}_f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}_f_{\text{reaktan}}$$

Sumber: Yaws, C.L 1999

2.2.2.1 Proses Asam Sulfat

Menghitung nilai $\Delta H^{\circ}_{\text{reaksi}}$ dan ΔG°_f untuk masing-masing komponen

298K dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Reaksi 1



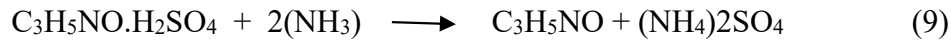
$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_{\text{reaksi}} &= \Delta H^{\circ}_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}_{\text{reaktan}} \\ &= (-144,538) - [(184,93 + (-285,83) + (11,08))] \\ &= -54,718 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta G^{\circ}_f = \Delta G^{\circ}_f_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ}_f_{\text{reaktan}}$$

$$= (-144,37) - [195,31 + (-237,13) + (-25,1)]$$

$$= -77,618 \text{ kJ/mol}$$

Reaksi 2



$$\Delta H^\circ_{\text{reaksi}} = \Delta H^\circ_{\text{produk}} - \Delta H^\circ_{\text{reaktan}}$$

$$= [(-170) + (-1182,77)] - [(-144,538) + (2 \times (-45,90))]$$

$$= -1116,43 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ_f = \Delta G^\circ_{f\text{produk}} - \Delta G^\circ_{f\text{reaktan}}$$

$$= [(-97,9) + (-902,67)] - [(-144,37) + (2 \times (-45,90))]$$

$$= -765,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H^0_{\text{reaksi total}} = \Delta H^0_{\text{reaksi 1}} + \Delta H^0_{\text{reaksi 2}}$$

$$= (-54,718 \text{ kJ/mol}) + (-1116,43 \text{ kJ/mol})$$

$$= -308,278 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^0_{\text{reaksi total}} = \Delta G^0_{\text{reaksi 1}} + \Delta G^0_{\text{reaksi 2}}$$

$$= (-77,618 \text{ kJ/mol}) + (-765,4 \text{ kJ/mol})$$

$$= -843,018 \text{ kJ/mol}$$

Dari hasil di atas disimpulkan bahwa reaksi pembentukan bernilai negatif yang berarti reaksinya eksotemis dan energy gibbs memiliki nilai negatif yang berarti jumlah produk lebih banyak daripada reaktan.

2.2.2.2 Proses Hidrolisis Katalitik

Nilai ΔH dan ΔG° untuk masing-masing komponen pada 298 K dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Reaksi Hidrolisis Katalitik



$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{\text{reaksi}} &= \Delta H^\circ_{\text{produk}} - \Delta H^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= -170 - (184,93 + (-285,83)) \\ &= -34,17 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_f &= \Delta H^\circ_f_{\text{produk}} - \Delta H^\circ_f_{\text{reaktan}} \\ &= -97,9 - (195,31 + (-237,13)) \\ &= -55,46 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari hasil di atas disimpulkan bahwa reaksi pembentukan bernilai negatif yang berarti reaksinya eksotemis dan energy gibbs memiliki nilai negatif yang berarti jumlah produk lebih banyak daripada reaktan

2.3. Berdasarkan Kelayakan Ekonomi

Dalam pemilihan proses mempertimbangkan beberapa faktor seperti Bahan baku yang digunakan, jumlah reaksi, suhu operasi, panas reaksi pada keadaan standar, katalis yang digunakan, *yield*, hasil samping, biaya bahan baku (perhitungan ekonomi kasar) dan harga pembuatan *acrylamide*/kg.

Perhitungan ekonomi kasar berdasarkan bahan baku yang dibutuhkan:

2.3.1 Proses Sulfat

Harga bahan : *Acrylonitrile* = 22.650/kg (BM: 53 kmol/kg)

H_2SO_4 = 17.500/kg (BM: 169 kmol/kg)

$Ca(OH)_2$ = 24.450/kg (BM: 74 kmol/kg)



(12)

Jumlah akrilonitril yang dibutuhkan pada proses asam sulfat :

$$\begin{aligned} \text{Massa } C_3H_3N &= \text{Mol } C_3H_3N \times \text{BM } C_3H_3N \\ &= 59,278 \text{ kmol/jam} \times 53 \text{ kg/kmol} \\ &= 3.141,738 \text{ kg/jam} \\ &= 3.141,738 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 24.882.533,28 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= 24.882.533,28 \text{ kg/tahun} \times 22.650/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 563.589.378.792,- \end{aligned}$$

Jumlah asam sulfat yang dibutuhkan pada proses asam sulfat :

$$\begin{aligned} \text{Massa } H_2SO_4 &= \text{Mol} \times \text{BM} \\ &= 50,278 \text{ kmol/jam} \times 98 \text{ kg/kmol} \\ &= 4.927.244 \text{ kg/24 jam/330 hari} \\ &= 39.023.772,48 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= 39.023.772,48 \text{ kg/tahun} \times 17.500/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 682.916.018.400,- \end{aligned}$$

Jumlah NH₃ yang dibutuhkan pada proses asam sulfat :

$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 &= \text{Mol} \times \text{BM} \\ &= 50,278 \text{ kmol/jam} \times 17 \text{ kg/kmol} \\ &= 854.7294 \text{ kg /24 jam/ 330 hari} \\ &= 6.769.456,848 \text{ kg/tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= 6.769.456,848 \text{ kg/tahun} \times 24.450/\text{kg} \\ &= \text{Rp. } 165.513.219.9344,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= 563.589.378.792 + 682.916.018.400 + 165.513.219.9344 \\ &= \text{Rp. } 2.901.637.596.536,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya produksi akrilamida} &= \text{Rp. } 2.901.637.596.536/ 22.000.000\text{kg/tahun} \\ &= \text{Rp.}131.892,61,- \end{aligned}$$

Maka, keuntungan yang diperoleh dari pembuatan akrilamida melalui reaksi antara *hidrolisis katalitik* dengan sulfur adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= \text{Rp.}140.000 - \text{Rp.}131.892,61 \\ &= \text{Rp. } 8.107,39,- \end{aligned}$$

2.3.2 Proses hidrasi katalitik

$$\begin{aligned} \text{Harga Bahan : Acrylonitrile} &= 22.650/\text{kg} \quad (\text{BM: } 53 \text{ kmol/kg}) \\ \text{Copper catalyst} &= 19.500/\text{kg} \end{aligned}$$



Jumlah akrilonitril yang dibutuhkan pada proses hidrolisis katalitik :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } C_3H_3N &= \text{Mol } C_3H_3N \times \text{BM } C_3H_3N \\
 &= 21,7115 \text{ kmol/jam} \times 53 \text{ kg/kmol} \\
 &= 1.150,7095 \text{ kg/jam} \\
 &= 1.150,7095 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 9.113.619,24 \text{ kg/tahun} \\
 &= 9.113.619,24 \text{ kg/tahun} \times 22.650/\text{kg} \\
 &= \text{RP.206.423.475.786,-/tahun}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan *Copper* selama 1 tahun, dengan asumsi :

- a) Perbandingan katalis dan *acrylonitrile* 1:2
- b) Waktu tinggal dalam reaktor 1 jam
- c) Katalis diregenerasi 1 tahun sekali

Jumlah katalis yang dibutuhkan pada proses hidrolisis katalis :

$$\begin{aligned}
 \text{Massa katalis} &= 0,5 \times 206.423.475.786.\text{kg}/24 \text{ jam}/330 \text{ hari} \\
 &= 13.031.785,0875 \text{ kg} \times 19.500/\text{kg} \\
 &=\text{Rp. 254.119.809.206,-}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Biaya} &= 254.119.809.206. + 206.423.475.786 \\
 &=\text{Rp. 460.543.284.992.-}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya produksi akrilamida/kg} &= \text{Rp. 460.543.284.992}/ 22.000.000 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp. 20.933,785/kg}
 \end{aligned}$$

Maka, keuntungan yang diperoleh dari pembuatan akrilamida melalui reaksi antara *hidrolisis katalitik* dengan *copper* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{harga produk} - \text{harga bahan baku} \\
 &= \text{Rp. 32.500} - \text{Rp. 20.933,785} \\
 &= \text{Rp. 11.566,215,-}
 \end{aligned}$$

2.4 Pemilihan Proses

Dari macam-macam proses pembuatan akrilamida yang telah diuraikan, maka perbandingan proses dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Perbandingan Proses Pembuatan Akrilamida

No.	Parameter	Asam Sulfat	Hidrolisis Katalitik
1	Bahan Baku	Akronitril, Asam Sulfat, Air, Amonia	Akronitril, Air, Raney Copper
2	Temperatur	90-100 °C	70 - 150 °C
3	Tekanan	1 atm	1 atm
4	Fasa	Cair, Gas	Cair
5	Konversi	80%	90%
6	Produk	Akrilamida, Ammonium Sulfat	Akrilamida
7	Harga produksi Acrylamide/kg	Rp. 2.901.637.596.536-	Rp. 20.933,785,-
8	Biaya bahan baku	Rp. 631.334.003,91,-	Rp. 460.543.284.992
9	Katalis	Tidak ada	Raney Copper
10	ΔHR	-308,278 kJ/mol	-34,17 kJ/mol

Dari perbandingan proses pembuatan Akrilamida pada Tabel 2.4, maka proses yang dipilih untuk produksi Akrilamida adalah proses hidrolisis katalitik. Proses ini dipilih karena terbukti sudah digunakan secara komersial pada industri akrilamida di dunia (Kirk Othmer, 1991). Selain itu, jika dibandingkan dengan proses asam sulfat, proses hidrolisis katalitik membutuhkan bahan baku yang sedikit, fase reaksi yang terjadi satu fase, yaitu: cair-cair, dan tidak ada proses pemisahan yang mahal untuk mendapatkan produk utama.

2.5 Uraian Proses

2.5.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Mula-mula bahan baku akrilonitril dan air yang berasal dari tangki penyimpanan dengan temperatur 30 C dan tekanan 1 atm dipompa menuju heater. Komposisi umpan masuk reaktor 7% berat akrilonitril. Kemudian bahan baku yang telah dipanaskan di heater dengan komposisi 7% akrilonitril yang kemudian dipompa menuju ke reaktor.

2.5.2 Tahap Pembentukan Akrilamida

Campuran akrilonitril dan air dengan komposisi 7% akrilonitril masuk ke dalam reaktor fixed bed. Reaktor berjalan secara adiabatik dan isothermal, dengan suhu reaktor 70°C dan tekanan 1 atm agar reaksi tetap berjalan pada fase cair. Di dalam reaktor terjadi proses hidrolisis akrilonitril menjadi akrilamida dengan adanya katalis *raney copper* dalam bed reaktor. Produk reaktor ini terdiri dari akrilamida, sisa akrilonitril, dan air.

2.5.3 Tahap Pemurnian Produk

Produk keluaran reaktor berupa akrilamida, sisa akrilonitril, dan air diumpankan ke distilasi untuk memisahkan akrilonitril dari akrilamida dan air, Selanjutnya hasil atas distilasi berupa akrilonitril di masukkan kedalam akumulator dan sebagian ada yang masuk dalam unit pengolahan limbah untuk dibuang, sedangkan hasil bawah *bottom* dialirkan menuju ke dalam tangki penyimpanan produk pada tekanan 1 atm dan suhu 30 °C pada fase cair.

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

Berikut ini adalah spesifikasi bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan Akrilamida serta produknya.

3.1 Bahan Baku

3.1.1 Akrilonitril (C₃H₃N)

a. Sifat Fisik

Berat Molekul	: 53,064 gr/mol
Wujud	: Cair
Titik didih (1 atm)	: 77,3 °C
Titik beku (1 atm)	: -83,5 °C
Densitas	: 0,806 kg/m ³
Temperatur kritis	: 216 °C
Tekanan kritis	: 44,21 atm
Viskositas 60 °F	: 0,34 cp
<i>Solubility</i>	: 75 gr/l
<i>Specific gravity</i> 20°C	: 0,8075
$\Delta H_f^{\circ}_{298}$: 150 kJ/mol
$\Delta G_f^{\circ}_{298}$: 195 kJ/mol
Kemurnian	: 99,5%

(Yaws, C.L., 2004)

b. Sifat kimia

1. Reaksi pada akrilonitril terjadi pada ikatan rangkap karbon atau pada bagian nitril. Homopolymer dan kopolimer mudah terjadi pada fase cair.
2. Hidrolisa dengan asam sulfat menjadi akrilamida sulfat ($C_3H_5NO.H_2SO_4$) dan dapat berubah menjadi akrilamida dengan netralisasi menggunakan basa.
3. Hidrolisis total menghasilkan asam akrilat dengan asam mineral/basa.
4. Hidrolisis parsial menghasilkan akrilamida dengan menggunakan katalis tembaga maupun biokatalisator.

(krik Othmer, 1991)

3.1.2 Air (H₂O)

a. Sifat Fisik

Berat Molekul	: 18,01 gr/mol
Wujud	: Cair
Titik didih (1 atm)	: 100 °C
Titik beku (1 atm)	: 0 °C
Densitas	: 999,97 kg/m ³
Temperatur kritis	: 373,98 °C
Tekanan kritis	: 217,66 atm
Viskositas 60 °F	: 1,206 cp
<i>Specific gravity</i> 20°C	: 1

$\Delta H_f^{\circ}_{298}$: -214,8 kJ/mol
$\Delta G_f^{\circ}_{298}$: -228,6 kJ/mol
Komposisi	: H ₂ O 100%

(Yaws, C.L., 2004)

b. Sifat kimia

1. Mudah melarutkan zat-zat baik cair, padat, maupun gas.
2. Merupakan reagent penghidrolisa pada proses hidrolisa.

*(krik Othmer, 1991)***3.1.3 Katalis Raney Copper**

a. Sifat Fisik

Wujud	: Padat berbentuk granular
Luas Permukaan	: 13,9 m ² /g
Diameter Pori	: 480 Å
Komposisi	: 79,1% Cu ; 20,9% Al
<i>Bulk density</i>	: 1.200 kg/m ³
Porositas	: 0,387
Umur katalis	: 2 tahun

(Onuoha & wainwright, 1984)

b. Sifat kimia

1. Stabil dibawah suhu dan tekanan normal.

2. Dapat bereaksi dengan bahan yang tidak kompatibel (Oksidator kuat, senyawa organik. Ammonia nitrat, *Bromates*, *Chlorates*, *Iodates*, halogen) untuk melepaskan zat berbahaya.

(MSDS, Pfalt & Bauer. Inc., 2017)

3.2 Produk

Akrilamida (C₃H₅NO) 50% Larutan

c. Sifat Fisik

Berat Molekul	: 71,079 gr/mol
Wujud	: Cair
Titik didih (1 atm)	: 104 °C
Titik beku (1 atm)	: 13 °C
Densitas	: 1,038 kg/m ³
Temperatur kritis	: 373,98 °C
Tekanan kritis	: 217,66 atm
Viskositas 25 °F	: 2,71 cp
<i>Solubility</i>	: 21,5 gr/ml
<i>Specific gravity</i> 30°C	: 1,041
$\Delta H_f^{\circ}_{298}$: -170 kJ/mol
$\Delta G_f^{\circ}_{298}$: -97,9 kJ/mol
Komposisi	: 50% C ₃ H ₅ NO dan 50% H ₂ O

(Krik Othmer, 1991)

d. Sifat kimia

1. Akrilamida merupakan monomer yang memiliki ikatan rangkap yang reaktif dan ikatan amida. Sehingga reaksi yang terjadi pada akrilamida juga melibatkan kedua jenis ikatan tersebut.
2. Pada kondisi asam akrilamida dapat dipisahkan dari air dengan cara klorinasi.
3. Bereaksi dengan asam sulfat berkonsentrasi menghasilkan garam akrilamida sulfat yang apabila reaksi dilanjutkan dengan alkohol akan menghasilkan akrilat ester.

(krik Othmer, 1991)

X. SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Akrilamida dari Akrilonitril dengan Katalis *Raney Copper* Kapasitas 22.000 Ton/Tahun dapat ditarik simpulan sebagai berikut :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 25,27%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 3,1 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 40,00% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20,00%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 34,14%, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil simpulan bahwa Prarancangan Pabrik Pabrik Akrilamida dari Akrilonitril dengan Katalis *Raney Copper* Kapasitas 22.000 Ton/Tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. 2022. *Statistic Indonesia*. Diakses melalui www.bps.go.id. pada 22 Desember 2022.

Banchero, Julius T., and Walter L. Badger. 1988. *Introduction to Chemical Engineering*. McGraw Hill : New York.

Bank Indonesia. 2023. *Nilai Kurs*. Diakses melalui www.bi.go.id. pada 27 Mei 2023.

Brown, G. George. 1950. *Unit Operation 6th Edition*. USA : Wiley & Sons, Inc.

Brownell, L. E. and Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design 3rd Edition*. John Wiley & Sons, New York.

Chemical Engineering Plant Cost Index. 2023. Diakses melalui www.chemengonline.com/pci. pada 27 Mei 2023

Coulson, J. M., and J. F. Richardson. 2005. *Chemical Engineering 4th edition*. Butterworth-Heinemann : Washington.

Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering 4th edition*. Prentice Hall International Inc. : United States of America.

Geankoplis, Christie. J. 1993. *Transport Processes and unit Operation 3rd edition*. Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Himmelblau, David. 1996. *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*. Prentice Hall Inc, New Jersey.

Kern, Donald Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Mcgraw-Hill Co.: New York.

Kirk, R.E and Othmer, D.F. 2006. “*Encyclopedia of Chemical Technologi*”, 4th edition, vol. 17. John Wiley and Sons Inc. New York.

Levenspiel, O. 1972. *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*. John Wiley and Sons Inc, New York.

Ludwig, E. Ernest. 1999. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants 3rd edition*. Houston : Gulf Publishing Company

Matches, 2023. *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. www.matche.com. Diakses pada 27 Mei 2023.

McCabe, W. L. and Smith, J. C. 1985. *Operasi Teknik Kimia*. Erlangga, Jakarta.

Perry, Robert H., and Don W. Green. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th edition*. McGraw Hill : New York.

Sinnott, R.K.. 2005. *Chemical Engineering Design 4th Edition Vol. 6*. Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann

Smith, J. M., H.C. Van Ness, and M. M. Abbott. 2001. *Chemical Engineering Thermodynamics 6th edition*. McGraw Hill : New York.

Timmerhaus, Klaus D., Max S. Peters, and Ronald E. West. 2002. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 5th edition*. McGraw-Hill : New York.

Treyball, R. E. 1983. *Mass Transfer Operation 3rd edition*. McGraw-Hill Book Company, New York.

Ulrich, G. D., 1984, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.

Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment*. Butterworth-Heinemann: Washington.

Welty, J.R.,R.E. Wilson, and C.E. Wick. 1976. *Fundamentals of Momentum heat and Mass Transfer*.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc Graw Hill Book Co., NewYork