

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Perkembangan industri di Indonesia terus mengalami peningkatan khususnya pada industri yang mengolah bahan mentah menjadi bahan setengah jadi maupun bahan jadi, sehingga Indonesia dituntut untuk mampu bersaing dengan negara lain dalam bidang industri. Perkembangan industri di Indonesia sangat berpengaruh pada ketahanan ekonomi Indonesia yang akan menghadapi banyak persaingan di pasar bebas nantinya. Sektor industri kimia, sebagai tulang punggung perekonomian negara begitu banyak memegang peranan dalam memajukan perindustrian di Indonesia. Inovasi proses produksi maupun pembangunan pabrik yang berorientasi untuk pengurangan ketergantungan pada produk impor maupun untuk menambah devisa negara juga diperlukan, salah satunya melalui pembangunan pabrik *acrylonitrile*.

Acrylonitrile (C_3H_3N) adalah senyawa kimia tak jenuh berikatan rangkap karbon-karbon yang berkonjugasi dengan golongan nitril (Kirk & Othmer, 1991). *Acrylonitrile* (C_3H_3N) atau yang sering disebut *acrylic acid nitrile*, *vinyl cyanide* dan *propenoic acid nitrile* adalah cairan jernih yang tidak berwarna dan larut dalam berbagai pelarut organik, seperti etanol, aseton, etil asetat, karbon tetraklorida dan *benzene*, namun hanya larut sebagian dalam air (Nexant, Inc., 2006). *Acrylonitrile* (C_3H_3N) mempunyai kegunaan yang penting dalam menunjang pembangunan pada sektor industri, yaitu sebagai penunjang bahan kimia antara (*intermediate*) pembuatan polimer seperti *acrylic fibers*, termoplastik, karet sintetis dan *adiponitrile* (Dimian dan Bildea, 2008).

Hingga saat ini produk *acrylonitrile* untuk kebutuhan didalam negeri masih diimpor dari luar negeri, serta tingginya kebutuhan *acrylonitrile* didalam negeri yang menyebabkan bertambahnya tiap tahun kebutuhan impor dari *acrylonitrile*. Dengan didirikannya pabrik *acrylonitrile* di Indonesia diharapkan akan menekan jumlah impor dan bahkan apabila produksi

acrylonitrile dalam negeri telah melebihi kebutuhan, maka *acrylonitrile* dapat dijadikan sebagai komoditas ekspor. Disamping itu, perkembangan industri di Indonesia yang semakin meningkat maka diperkirakan harga bahan baku *acrylonitrile* tiap tahunnya juga akan ikut meningkat. Selain pertimbangan diatas, pendirian pabrik *acrylonitrile* di Indonesia juga didasari oleh beberapa hal sebagai berikut:

- a. Untuk memenuhi kebutuhan *acrylonitrile* di Indonesia
- b. Untuk menekan angka kebutuhan impor *acrylonitrile*.
- c. Menjadikan tambahan devisa negara dengan cara mengekspor hasil produksi *acrylonitrile* ke luar negeri.
- d. Mengurangi angka pengangguran dengan mendirikan pabrik disekitar wilayah pabrik yang akan didirikan.

Dari berbagai pertimbangan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik *acrylonitrile* di Indonesia sangatlah diperlukan.

1.2 Maksud dan Tujuan

1.2.1 Maksud

Maksud dari pendirian pabrik *acrylonitrile* ini adalah

- Mengembangkan industry pabrik kimia di Indonesia dengan menghasilkan produk *acrylonitrile* sehingga dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan menekan penggunaan produk impor.
- Membangun daya ekonomi masyarakat disekitar lingkungan pabrik dan membuka lapangan kerja baru.
- Membantu meningkatkan taraf hidup masyarakat sekitar lingkungan pabrik serta mengurangi ketergantungan terhadap produk impor.
- Menyediakan kebutuhan industry pabrik kimia di Indonesia yang menggunakan bahan baku maupun bahan penunjang *acrylonitrile*.

1.2.2 Tujuan

Tujuan dari pendirian pabrik *acrylonitrile* ini adalah

- Menekan kebutuhan produk impor terhadap *acrylonitrile* mengingat masih tingginya angka kebutuhan impor dalam negeri.
- Mengaplikasikan ilmu pengetahuan di bidang teknik kimia, khususnya di bidang perancangan, analisa proses dan operasi teknik kimia sehingga memberikan gambaran kelayakan perancangan pabrik *acrylonitrile*.

1.3 Penentuan Kapasitas Produksi

Dalam mengatur strategi pasar dan melihat besarnya peluang penjualan, analisa pasar dan perencanaan kapasitas produksi menjadi hal yang paling mendasar dan utama dalam pendirian sebuah pabrik. Pertimbangan dalam pendirian pabrik *acrylonitrile* yaitu untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga dapat menekan angka penggunaan produk impor dari negara lain.

1.3.1 Kebutuhan Produk

Kebutuhan industri akan *acrylonitrile* di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan. Berdasarkan data yang diperoleh dari UN Comtrade, 2018 perkembangan jumlah impor sejak tahun 2013-2017 dapat dilihat pada tabel di bawah ini

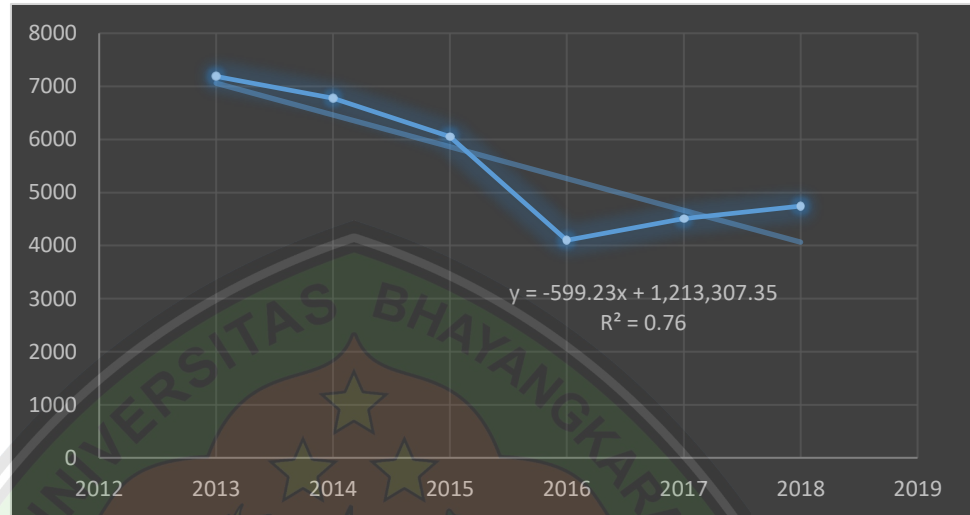
Tabel 1.1 Data kebutuhan impor *acrylonitrile* di Indonesia

Tahun	Kapasitas (ton/tahun)
2013	7188
2014	6776
2015	6055
2016	4510
2017	5241
2018	4744

(UN Comtrade,2018)

Data impor *acrylonitrile* jika diproyeksikan dalam bentuk grafik, dapat dilihat dari gambar dibawah ini:

Gambar 1.1 Grafik data impor *acrylonitrile* di Indonesia



Dari gambar 1.1 kebutuhan impor diatas diperoleh persamaan $y = -599,23x + 1213307,35$. Maka dengan memproyeksikan x sebagai 5 tahun yang akan mendatang dapat dilihat di tabel di bawah ini:

Tabel 1.2 Kebutuhan *acrylonitrile* di Indonesia 5 tahun yang akan datang

Tahun	Kapasitas (ton/tahun)
2018	4061,21
2019	3461,98
2020	2862,75
2021	2263,52
2022	1664,29
2023	1065,06

Dari tabel 1.2 kebutuhan *acrylonitrile* di Indonesia pada tahun 2023 adalah sebesar 1065,06 ton/tahun.

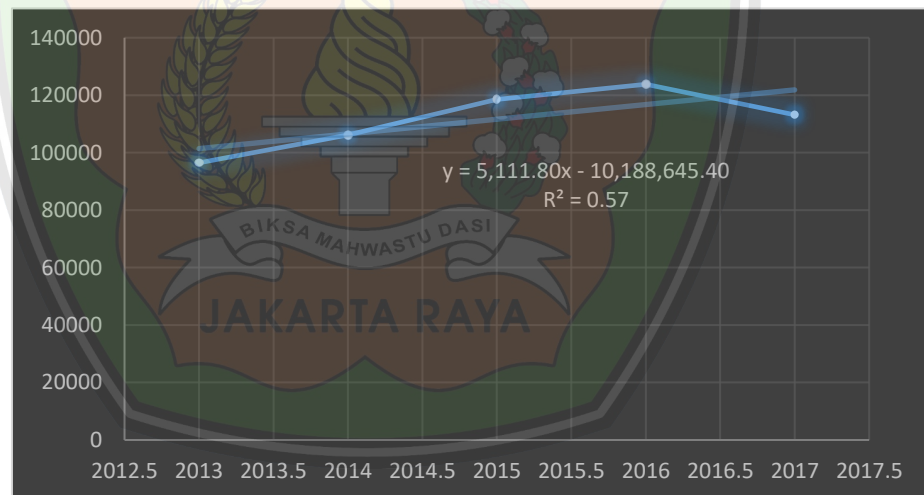
Kebutuhan *acrylonitrile* diberbagai negara Asia seperti Jepang dan Malaysia dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1.3 Kebutuhan *Acrylonitrile* di Asia (Jepang dan Malaysia)

Tahun	Kapasitas (ton/tahun)
2013	96.464
2014	106.165
2015	118.526
2016	123.795
2017	113.208

Jika data diatas diproyeksikan dalam bentuk grafik, maka akan diperoleh gambar sebagai berikut:

Gambar 1.2 Grafik Data Kebutuhan *Acrylonitrile* di Asia (Jepang dan Malaysia)



Dari grafik diatas, diperoleh persamaan $y = 5.111,80x - 10.188.645,40$. Maka untuk mengetahui kebutuhan *acrylonitrile* pada tahun 2023 di kedua negara tersebut yaitu diperkirakan sebesar

$$y = 5.111,80x + 10.188.645,40$$

$$y = 5.111,80 \times (2023) + 10.188.645,40$$

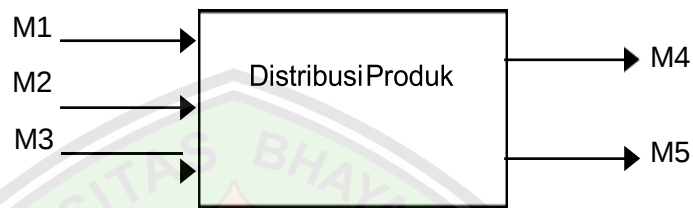
$$y = 152.526 \text{ ton/ tahun}$$

Tabel 1.4 Data konsumsi *acrylonitrile* di Indonesia

Nama Pabrik	Produk	Kapasitas (ton/th)
PT. ABS Indonesia	ABS Reesin	25.000
PT. Arbe Styrindo	ABS Resin	15.000
PT. Arbe Styrindo	SAN	30.000
PT. Graha Swakarsa Prima	ABS Resin	15.000
PT. Graha Swakarsa Prima	SAN	10.000
Total		95.000
Total Kebutuhan Resin ABS/SAN 17,1% dari Acrylonitrile		16.245
PT. Arindo Pacific Chemical	Acrylic Resin	3.600
PT. Avia-Avian	Acrylic Resin	2.500
PT. Biporin Agung	Acrylic Resin	3.600
PT. Diachem Resin Indonesia	Acrylic Resin	3.600
PT. Gajah Tunggal Prakarsa	Acrylic Resin	4.000
PT. Gyung Do Indonesia	Acrylic Resin	3.600
PT. Latexia Indonesia	Acrylic Resin	4.800
PT. Mitra Mulia Makmur	Acrylic Resin	1.200
PT. Pardic Jaya Chemicals	Acrylic Resin	5.000
PT. Rohm And Haaas Indonesia	Acrylic Resin	10.000
PT. Stella Resindo	Acrylic Resin	4.800
PT. Unimas Chemical & Coating	Acrylic Resin	3.600
Total		50.300
Total Kebutuhan Resin 1,2% dari acrylonitrile		603.6
PT. Asahimas Chemical	PVC	320.000
PT. Eastern Polymer	PVC	36.000
PT. Standard Toyo Polymer	PVC	176.000
PT. Thai Petrochemical	PVC	6.000
Total		538.000
Total Kebutuhan PVC 2,9% dari acrylonitrile		15.600
PT. Hamparan Redjeki	Acrylic Fiber	40.000
PT. Arindo Nusa Fiber	Acrylic Fiber	100.000
PT. Asia Pacific Fiber	Acrylic Fiber	54.000
Total		194.000
Total Kebutuhan Acrylic Fiber 37,7% dari acrylonitrile		73.138

1.3.2 Perhitungan Kapasitas Produksi

Semakin meningkatnya kebutuhan *acrylonitrile* di Indonesia dapat mempengaruhi penentuan kapasitas. *Acrylonitrile* sendiri sering digunakan sebagai bahan dasar dari industri pabrik kimia yang berkembang di Indonesia. Penentuan kapasitas dapat mempengaruhi dalam perhitungan teknis maupun ekonomis dalam perancangan pendiriannya.



Keterangan:

M1 = Kebutuhan impor di Indonesia

M2 = Kapasitas produksi di Indonesia

M3 = Kapasitas pabrik yang akan di bangun

M4 = Kebutuhan dalam negeri..

M5 = Konsumsi dalam negeri

$$M3 = M4 + M5 - M1 - M2$$

$$M3 = ((75\% \cdot 142.302,4) + 55.000 - 0 - 0) \text{ Ton/Tahun}$$

$$M3 = 161.726 \text{ Ton/Tahun}$$

Untuk memenuhi kebutuhan Indonesia dan 75% kebutuhan negara di Asia diperoleh kapasitas pabrik yang akan dibuat adalah 150.000 ton/tahun. Kapasitas dapat diharapkan memenuhi kebutuhan dalam negeri dan diekspor ke luar negeri.

1.3.3 Tinjauan Pustaka

1. *Acrylonitrile*

Acrylonitrile (C_3H_3N) adalah senyawa kimia tak jenuh dengan rumus kimia CH_2CHCN . *Acrylonitrile* merupakan cairan yang beracun, berwarna, berbau tajam, dan dapat larut dalam air, mudah terbakar dan cepat menguap. *Acrylonitrile*

dapat menghasilkan nitril dalam skala besar dan biasanya digunakan untuk membuat bahan kimia seperti plastik, karet sintesis dan serat akrilik. Sejak ditemukan oleh Sohio pada tahun 1950, lebih dari 90% produksi *acrylonitrile* secara komersial. Keberadaan atom nitrogen menyebabkan senyawa ini bersifat polar dengan elektron cenderung tertarik ke arah atom nitrogen.

2. *Ethylene Cyanohydrin*

Ethylene cyanohydrin pertama kali diproduksi sekitar tahun 1978 oleh *erlenmeyer* yaitu dengan memanaskan campuran *ethylene oxide* (C₂H₄O) dan *cyanide* (HCN) pada suhu 50-60°C dengan reaksi sebagai berikut:



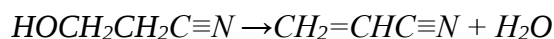
Reaksi tersebut dibantu menggunakan katalisator alkaline. *Ethylene cyanohydrin* dapat dikonsumsi secara besar sebagai zat antara pembuatan *acrylonitrile* dan ester asam akrilat.

1.3.4 Macam-macam Proses

Dalam menentukan proses mana yang akan dipakai dalam produksi *acrylonitrile* perlu dipertimbangkan beberapa faktor untuk mendapatkan proses yang menguntungkan. Faktor tersebut diantaranya meliputi pengadaan bahan baku yang murah dan mudah untuk didapat, pengolahan limbah yang minimum, biaya operasi yang rendah, faktor resiko kecil lainnya. Untuk menentukan pemilihan proses yang tepat, maka perlu diketahui beberapa macam proses pembuatan *acrylonitrile* diantaranya sebagai berikut:

1) Proses Dehidrasi *Ethylene Cyanohydrin* dengan katalis Alumina

Proses yang terjadi adalah dehidrasi *ethylene cyanohydrin* dengan reaksi sebagai berikut:



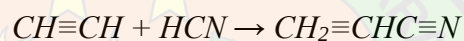
Ethylene cyanohydrin Yield 90% *Acrylonitrile* Air

Pada proses ini, reaksi dijalankan dalam fase cair atau gas pada tekanan atmosferis dan suhu 180-240°C dengan bantuan katalis alumina. Produk keluaran reaktor dikondensasikan dan kemudian dialirkan ke dalam decanter dimana campuran cairan yang terdiri dari *ethylene cyanohydrin*, *acrylonitrile* dan air terpisah menjadi dua *layer*. Masing-masing *layer* tersebut akan akan dimurnikan didalam menara distilasi. Hasil atas dari menara distilasi berupa *acrylonitrile* dengan kemurnian 99%. Sedangkan hasil bawahnya berupa *ethylene cyanohydrin* dengan kemurnian 97% dan akan di *recycle* untuk diproses kembali.

(Faith Keyes, 1957)

2) Proses Acetylene dengan Asam Sianida

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Acetylene + Hydrogen Cyanide Yield 80% Acrylonitrile

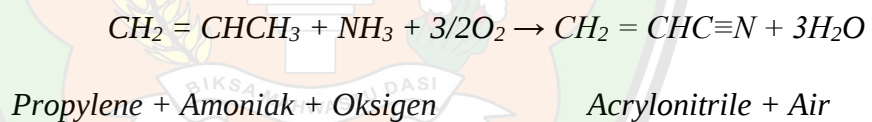
Proses ini berlangsung pada suhu 70°C dan tekanan atmosferis dalam fase gas dengan bantuan katalis *cuprus chloride* ($CuCl_2$) sebagai katalis. Yield yang diperoleh sebesar 80% terhadap *acetylene* dan 90-95% terhadap *hydrogen cyanide*. Hasil gas keluaran reaktor mengandung *acrylonitrile*, *acetylene* yang tidak bereaksi, 1-3% HCN dalam sejumlah kecil berbagai macam produk seperti *acetaldehyde*, *vinyl acetylene*, *divinyl acetylene*, *lactonitrile* (dari *acetaldehyde* dan HCN), *vinyl chloride*, *cyanibutadiene*, dan *chloroprene*. Produk-produk hasil keluaran ini menyebabkan hilangnya banyak bahan baku, sulitnya permurnian pada proses ini menyebabkan perubahan pada katalis *cuprus chloride* menjadi rendah. Untuk mengatasi hal ini, digunakan asetilen dan HCN dengan perbandingan 25:1 sampai 2:1 pada katalis cair yang bersifat anhidrat terutama dari *cuprus chloride* yang dilarutkan dalam solven nitril organik. Adanya air dalam reaksi ini tidak diinginkan karena akan menghasilkan produk samping karena itu reaksi ini alangkah baiknya dijalankan dengan reaktan dan katalis yang bersifat anhidrat

(tidak mengandung air). Gas-gas ini dikontakkan dengan air dalam scrubber untuk memisahkan *acrylonitrile*, *hydrocyanide acid*, dan beberapa produk samping. Gas-gas yang telah dikontakkan kemudian *direcycle* ke dalam reaktor, sedangkan air yang mengandung 1,5% *acrylonitrile* didestilasi dengan bantuan steam yang menghasilkan *acrylonitrile* 80%. *Crude acrylonitrile* ini difraksinasi secara singkat bertingkat untuk menghasilkan *acrylonitrile* 99%.

(Faith Keyes, 1957)

3) Proses *Propylene Ammoxidation*

Proses ini dikomersialkan oleh Sohio Company (BP Chemical) dan disebut dengan proses *propylene ammoxidation*. Bahan baku berupa propena, amoniak dari udara diumpankan dengan rasio mol 1:1, 2:10 ke dalam sebuah reaktor fluidized. Reaktor beroperasi pada suhu 400-500°C dan tekanan 5-30 psig dengan waktu tinggal ± 10 detik. Reaksi utama yang terjadi adalah sebagai berikut:



(Nexant, Inc., 2006)

Katalis yang digunakan dalam proses ini adalah *bismuth-phospho-molibdate*. Proses ammoksidasi katalitik ini dapat berlangsung secara *fixed bed* maupun *fluidized bed*. Proses *fluidized bed* digunakan untuk kapasitas pabrik sampai dengan 100.000 ton/tahun (Ozero dan Joseph, 1983).

Ammoksidasi propilen katalitik secara *fixed bed* digunakan pertimbangan sebagai berikut (Dutta dan Gualy, 1999):

- Bahan baku yang digunakan lebih murah
- Yield yang dihasilkan besar

- Tidak membutuhkan unit *recovery* katalis seperti pada proses *fluidized bed*
- Temperatur reaksi lebih rendah dari reaksi katalitik propylene dan nitrogen oksida

Produk samping yang ditimbulkan dari proses ini adalah HCN, asetonitrile dan senyawa nitril lainnya. Keunggulan dari proses ini yaitu penggunaan bahan baku propene yang relatif jauh lebih murah dibandingkan dengan asetilen dan asam sianida. Kekurangan dari proses ini yaitu suhu yang dipakai pada reaktor sangatlah tinggi yaitu berkisar 400-500°C dan prosesnya yang bersifat eksotermis dapat menyebabkan terjadinya pengurangan reaksi apabila proses reaksinya tidak terkontrol dengan baik.



Parameter	Proses Ethylene Cyanohydrin	Proses Acetylene	Proses Propylene Ammoxidation
Kondisi Operasi	T= 220-275°C P= atmosferis	T= 70-100°C P= atmosferis	T= 400-500°C P= 1,1-3,5 bar
	Nilai= 3	Nilai= 5	Nilai= 1
Reaktor	Fixed Bed Multitube	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk	Fixed Bed Multitube
	Nilai= 5	Nilai= 3	Nilai= 5
Katalis	Alumina	Cuprus Chloride	Bismuth-Molybdenum Oxide ($Bi_2O_3.MoO_3$)
	Nilai= 5	Nilai= 4	Nilai= 4
Yield	90%	80-95%	77%
	Nilai= 5	Nilai= 4	Nilai= 2
Kemurnian	99%	Tidak diketahui	Tidak diketahui
	Nilai= 5	Nilai= 0	Nilai= 0
Harga Katalis	200(\$/kg)	5500(\$/kg)	380(\$/kg)
	Nilai= 5	Nilai= 1	Nilai= 2
Ketersediaan Bahan Baku	Impor	Impor	Dalam negeri
	Nilai= 3	Nilai= 3	Nilai= 5
Recycle	Ada	Ada	Tidak ada
	Nilai= 5	Nilai= 5	Nilai= 1
Produk Samping	Tidak ada	Ada	Ada
	Nilai= 5	Nilai= 1	Nilai= 1
Proses Pemurnian	Sederhana	Lebih sulit dan rumit	Sederhana
	Nilai= 5	Nilai= 1	Nilai= 5
Total Nilai	46	27	26

1.3.5 Pemilihan Proses

Dengan melihat perbandingan ketiga proses diatas, maka pada pra rancangan pabrik *acrylonitrile* ini dipilih proses dehidrasi *Ethylene Cyanoydrin* dengan katalis alumina karena hanya menggunakan satu bahan baku, pemurniaannya lebih mudah karena tidak menghasilkan produk samping dan proses reaksinya yang paling sederhana.

1.3.6 Alumina (Al_2O_3) sebagai Katalis

Aluminium oksida (Al_2O_3) adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, pada umumnya diebut sebagai alumina atau korundum jika dalam bentuk kristal, dan serta masih banyak nama lainnya. Senyawa Alumina (Al_2O_3) termasuk dalam material aplikasi karena mempunyai sifat yang sangat mendukung pemanfaatannya dalam berbagai industri. Sifat lain dari senyawa ini yaitu daya tahannya terhadap korosi.

Katalis Alumina (Al_2O_3) berfungsi untuk membantu mereaksikan *ethylene cyanohydrin* menjadi *acrylonitrile* dalam proses dehidrasi. Dehidrasi *ethylene cyanohydrin* dapat menggunakan berbagai macam katalis seperti *active Al_2O_3 (alumina)*, *tin*, *pumice*, *alundum*, *slica gel*. Namun dipilih katalis Alumina (Al_2O_3) karena katalis ini dapat membantu menghasilkan yield tertinggi dibanding katalis lainnya.

(US Patent 1945)

1.3.7 Kegunaan Produk

Acrylonitrile merupakan salah satu produk kimia yang cukup luas pemanfaatannya bagi kebutuhan umat manusia, penggunaan *acrylonitrile* yang paling utama adalah untuk *acrylic fibers* selain itu pemanfaatan *acrylonitrile* juga dapat digunakan untuk produksi plastik. Kegunaan *acrylonitrile* secara umum adalah sebagai berikut:

1. Bahan untuk membuat *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dan *Styrene Acrylonitrile* (SAN). ABS mengandung 25% *acrylonitrile* dan SAN mengandung 30% *acrylonitrile*. ABS dan SAN digunakan untuk bahan konstruksi otomotif, mesin dan alat-alat rumah tangga.

2. Bahan untuk membuat *Acrylic Fibers*.

Acrylic fibers adalah salah satu produk turunan *acrylonitrile*. Serat ini banyak digunakan oleh pabrik-pabrik tekstil sebagai bahan baku pembuatan karpet, sweater dan baju olahraga.

3. Bahan untuk membuat *Nitrile Rubber*. *Nitrile rubber* mempunyai beberapa kegunaan, termasuk tahan terhadap bahan kimia, minyak, pelarut, panas, goresan, sifat-sifat dielektrik dan fleksibilitas temperature yang rendah. Penggunaan *nitrile rubber* diantaranya sebagai karet yang tahan terhadap minyak, bahan pelapis tangki, lem atau perekat, penutup pelindung, insulasi listrik, bahan campuran PVC dan lain-lain.
4. Bahan untuk membuat *acrylamide* sebagai bahan pengental.
5. Bahan untuk membuat *adiponitrile* yang dapat digunakan untuk *intermediate* dalam proses pembuatan nilon.

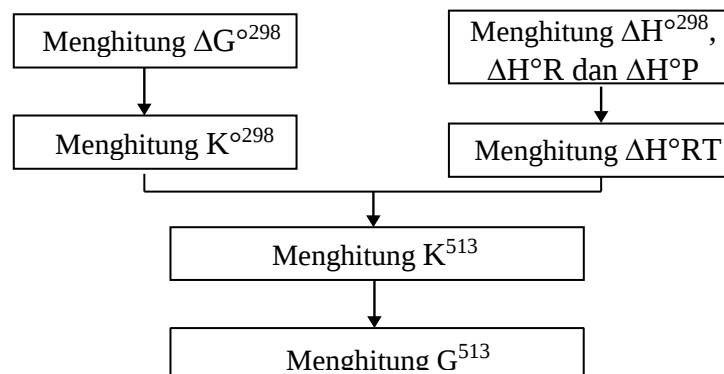
1.3.8 Tinjauan Termodinamika



Reaksi dilaksanakan pada suhu 180 °C-240 °C dan tekanan 1,3 atm.

Untuk mengetahui apakah reaksi berjalan secara spontan serta membutuhkan panas atau tidak, maka perlu dilakukan pencarian terhadap harga entalpi dan energi gibbs dari reaksi tersebut. Untuk mencari harga entalpi dan energi gibbs dari reaksi diatas, maka dapat dilakukan perhitungan secara bertahap seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Gambar 1.1 Diagram Alir Termodinamika



Dimana:

- $\Delta H^{\circ 298}$ = Perubahan entalpi pada suhu 298 K
 $\Delta H^{\circ R}$ = Perubahan entalpi reaktan pada suhu 513 K
 $\Delta H^{\circ P}$ = Perubahan entalpi produk pada suhu 513 K
 $\Delta H^{\circ RT}$ = Perubahan entalpi resultant
 K^{298} = Konstanta keseimbangan pada suhu 298 K
 K^{513} = Konstanta keseimbangan pada suhu 513 K
 $\Delta G^{\circ 298}$ = Perubahan energi Gibbs pada suhu 298 K
 $\Delta G^{\circ 513}$ = Perubahan energi Gibbs pada suhu 513 K

Mencari $\Delta G^{\circ 298}$:

Tabel 1.5 Harga Energi Gibbs pada suhu 298 K

Bahan	$\Delta G^{\circ 298}$
C_3H_3N	195,31
H_2O	-228,6
C_3H_5NO	-24

(Carl.L.Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ 298} &= \Delta G^{\circ 298}_{\text{produk}} - \Delta G^{\circ 298}_{\text{reaktan}} \\ &= (\Delta G^{\circ 298}_{C_3H_3N} + \Delta G^{\circ 298}_{H_2O}) - \Delta G^{\circ 298}_{C_3H_5NO} \\ &= (195,31 + (-228,6)) - (-24) \\ &= -9,29 \text{ kJoule/mol}\end{aligned}$$

Mencari K^{298}

$$\ln K = \frac{-\Delta G^{\circ}}{RT} \quad (\text{Fogler, 2006})$$

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

Dimana:

- R = Konstanta tetapan Gas Ideal (J/mol.K)
T = Suhu (K)
K = Konstanta kesetimbangan

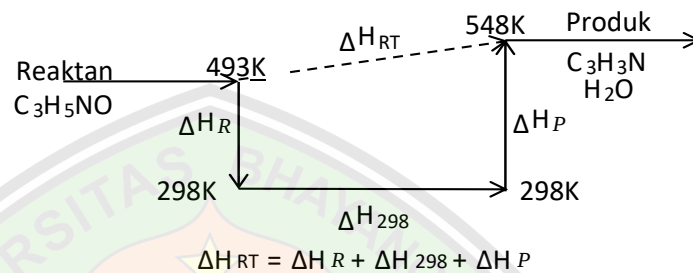
$$\Delta G^{\circ}_{298} = -RT \ln K$$

$$K^{298} = \exp(-\Delta G^{\circ}_{298} / RT)$$

$$= \exp[-(-9,29 \text{ kJoule/mol})(8,314 \cdot 10^{-3} \text{ kJoule/mol.K } 298 \text{ K})]$$

$$= 42,505$$

Mencari ΔH°_{RT}



Mencari ΔH_{298} :

Tabel 1.6. Nilai entalpi pada suhu 298K

Bahan	ΔH°_{298}
C ₃ H ₃ N	184,93
H ₂ O	-241,8
C ₃ H ₅ NO	-63,9

(Carl.L.Yaws, 1999)

$$\Delta H^{\circ}_{298 \text{ Reff}} = \Delta H^{\circ}_{298} \text{ Produk} - \Delta H^{\circ}_{298} \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H^{\circ}_{298 \text{ Reff}} = (\Delta H^{\circ}_{298} \text{ C}_3\text{H}_3\text{N} + \Delta H^{\circ}_{298} \text{ H}_2\text{O}) - \Delta H^{\circ}_{298} \text{ C}_3\text{H}_5\text{NO}$$

$$= \{184,93 + (-241,8)\} - (-63,9)$$

$$= 7,05 \text{ KJ/Kmol.K}$$

Mencari $\Delta H^{\circ}R$ dan $\Delta H^{\circ}P$

Tabel 1.7 Konstanta kapasitas panas dalam berbagai suhu

Bahan	A	B	C	D	E
C ₃ H ₃ N	18,425	1,8336E-01	1,0072E-04	1,8747E-08	9,1114E-13
H ₂ O	33,933	8,4186E-03	2,9906E-05	1,7825E-08	3,6934E-12
C ₃ H ₅ NO	8,90	3,11E-01	-2,08E-04	6,33E-08	-6,14E-12

(Carl.L.Yaws,1999)

Dengan persamaan:

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

Maka :

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}R &= \int_{298}^{513} c_p \text{ C}_3\text{H}_5\text{NO} \, dT \\ &= \int_{298}^{513} 8,90 + 3,11E-01T^2 + -2,08E-04T^3 + 6,33E-08T^4 + - \\ &\quad 6,14E-12 \, T^5\end{aligned}$$

$$= 22432,14 \text{ J/mol.K}$$

$$= 22432,14 \text{ KJ/Kmol.K}$$

$$\begin{aligned}\Delta H^{\circ}P &= \int_{298}^{513} c_p \text{ C}_3\text{H}_3\text{N} \, dT + \int_{298}^{513} c_p \text{ H}_2\text{O} \, dT \\ &= \int_{298}^{513} (18,425 + 1,8336E-01T^2 + 1,0072E-04T^3 + 1,8747E- \\ &\quad 08T^4 + 9,1114E-13T^5) + \int_{298}^{513} (33,933 + 8,4186E-03T^2 + \\ &\quad 2,9906E-05T^3 + 1,7825E-08T^4 + 3,6934E-12T^5) \\ &= 22432,14 + 28435310\end{aligned}$$

$$= 28457742 \text{ J/mol.K}$$

$$= 28457742 \text{ KJ/Kmol.K}$$

$$\Delta H^{\circ}RT = \Delta H^{\circ}R + \Delta H^{\circ}_{298} + \Delta H^{\circ}P$$

$$= 22432,14 \text{ KJ/Kmol.K} + 7,05 \text{ KJ/Kmol.K} + 28457742 \text{ KJ/Kmol.K}$$

$$= 28480181 \text{ KJ/Kmol.K}$$

Mencari K_{513} menggunakan persamaan Van't Hoff:

$$D(\ln K) = \frac{\Delta H_R}{RT^2} dT$$

$$\ln \frac{K_{298}}{K_{513}} = \frac{\Delta H_R}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{RT}} \right)$$

$$\ln 42,5057 - \ln K_{513} = \frac{15391,15}{8,314 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{513} \right)$$

$$\ln K_{513} = 2.836,207$$

$$K_{513} = 7,950223$$

(Fogler, 2006)

Persamaan Energi Gibbs:

$$\Delta G^{o513} = -RT \ln K_{513}$$

$$\Delta G^{o513} = -(8,314 \cdot 10^{-3})(513)(2.836,207)$$

$$\Delta G^{o513} = -11843,4899 \text{ KJ/mol}$$

Berdasarkan hasil perhitungan ΔH°_{RT} dan ΔG°_{RT} diatas, maka dapat diketahui bahwa reaksi pembuatan *acrylonitrile* dari *ethylene cyanohydrin* berjalan secara endotermis karena harga ΔH°_{RT} bernilai positif dan dapat berlangsung secara spontan pada rentang suhu 180-240°C dan tekanan 1,3 atm.

1.3.9 Kinetika Reaksi

Menurut National Institute of Standards and Technology (NIST), reaksi *dehidrasi* ethylene cyanohydrin termasuk reaksi orde 1. Dari segi kinetika, kecepatan reaksi *dehidrasi* ethylene cyanohydrin akan bertambah cepat dengan naiknya temperatur. Berdasarkan persamaan:

$$(-r_A) = k (P_A)$$

(Leidler, 1980)

Dimana :

k = konstanta kinetika reaksi pembentukan Acrylonitrile

P_A = tekanan keluar C_3H_5ON reaktor

Harga konstanta kecepatan reaksi (k)

$$\text{Log } k = 14,29 - \frac{234,9}{2,303 RT}$$

(*Journal of physical organic chemistry*, 1999)

R = konstanta gas (0,08206 atm.m³/kmol K)

T = temperatur operasi (K) = 250°C – 350°C

Kecepatan reaksi tidak hanya dipengaruhi oleh suhu, besarnya energi aktivasi juga berpengaruh, adanya katalis dapat menurunkan energi aktivasi yang dibutuhkan dalam reaksi. Dengan turunnya energi aktivasi, maka dapat menaikkan kecepatan

1.4 Penentuan Lokasi Pabrik

1.4.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku *Ethylene Cyanohydrin* yang diperlukan dalam proses pembuatan *Acrylonitrile* diperoleh dari impor luar negeri yaitu dari Kanto Chemical co.,Inc. yang berada di Taiwan dengan kapasitas produksi sebesar 120.000 ton/tahun, sedangkan udara dapat diperoleh dengan mudah dari lingkungan sekitar pabrik.

1.4.2 Sarana Transportasi

Daerah ini mendukung proses transportasi baik dari darat maupun laut. Dari darat dapat melalui medan jalur pantura, sedangkan untuk jalur laut dapat melalui pelabuhan terdekat. Dengan didukung oleh medan laut serta darat, maka ini akan mempercepat proses pendistribusian bahan baku maupun proses ekspor produk *acrylonitrile*.

1.4.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pabrik *acrylonitrile* ini rencananya akan didirikan di Cilegon, Jawa Barat. Peta lokasi perencanaan pabrik *acrylonitrile* dapat dilihat pada gambar berikut:

Gambar 1.3 Peta lokasi Pendirian Pabrik *Acrylonitrile*



1.4.4 Sumber Daya Manusia

Kawasan Cilegon sangat dekat dengan daerah Jawa Barat dan Jabodetabek. Daerah ini juga dekat dengan pemukiman warga setempat, sehingga untuk proses perekrutan karyawan dapat menggunakan warga sekitar sesuai dengan tenaga ahli dan tingkat pendidikannya.

1.5 Uraian Proses

1.5.1 Proses Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan *acrylonitrile* adalah *ethylene cyanohydrin* dengan menggunakan bantuan katalis alumina. Tujuan dari persiapan bahan baku adalah untuk mengubah fase *ethylen cyanohydrin* dari fase gas menjadi fase cair. Bahan baku disimpan di dalam tangki (T-01) pada suhu 35°C dan tekanan 1 atm dengan komposisi *ethylen cyanohydrin* 97% dan air 3%.

Tahap pertama yaitu *ethylen cyanohydrin* dari tangki (T-01) diumpankan ke dalam *vaporizer* (VP-01) untuk diuapkan. Hasil keluaran atas dari *vaporizer* (VP-01) yang berupa uap dari *ethylene*

cyanohydrin dengan suhu 210°C kemudian dialirkan ke dalam reaktor (R-01), sedangkan hasil keluaran bawah *vaporizer* (VP-01) yang berupa cairan akan di *recycle* untuk diuapkan kembali ke dalam *vaporizer* (VP-01).

1.5.2 Proses Reaksi

Ethylen cyanodydrin hasil dari proses penguapan di dalam *vaporizer* (VP-01) selanjutnya akan dialirkan menuju reaktor (R-01) untuk proses dehidrasi dengan tujuan agar di dapat produk *acrylonitrile*. Reaktor yang digunakan di dalam proses ini adalah jenis *multitube fixed bed reactor* dengan suhu operasi 240°C dan tekanan 1,3 atm dengan bantuan katalis alumina (Al_2O_3) yang berfungsi untuk mengkonversi *ethylene cyanohydrin* menjadi *acrylonitrile* dan air.

Reaksi yang terjadi di dalam reaktor:



Konversi yang terjadi pada reaksi ini adalah sebesar 98%. Karena reaksi yang terjadi yaitu bersifat endotermis, sehingga perlu digunakan pemanas untuk mencegah reaksi di dalam reaktor melewati batas suhu yang telah ditentukan.

Gas hasil reaksi keluaran reaktor (R-01) yang terdiri dari sisa *ethylene cyanohydrin*, *acrylonitrile* dan air dengan suhu 240°C dan tekanan 1,3 atm kemudian diubah fasenya terlebih dahulu menjadi fase cair menggunakan *condenser* (CD-01), kemudian diturunkan suhunya sampai 70°C.

1.5.3 Proses Finishing

Proses Distilasi

Hasil keluaran *condenser* (CD-01) dialirkan menuju menara destilasi (MD-1). Fungsi dari menara distilasi 1 (MD-01) adalah

bertujuan untuk memisahkan *acrylonitrile* dari air. selanjutnya dialirkan menuju menara distilasi 1 (MD-01). Hasil keluaran atas dari menara distilasi 1 (MD-01) berupa kandungan *acrylonitrile* 99% dan air 1% kemudian akan dikondensasikan di dalam *condenser* (CD-02) sampai suhunya turun menjadi 70 °C. Hasil keluaran dari *condenser* (CD-02) dialirkan menuju *accumulator 1* (ACC-01) , kemudian di pompa untuk sebagian dijadikan refluks. Sedangkan sisanya akan di pompa menuju tangka penyimpanan *acrylonitrile* (T-02).

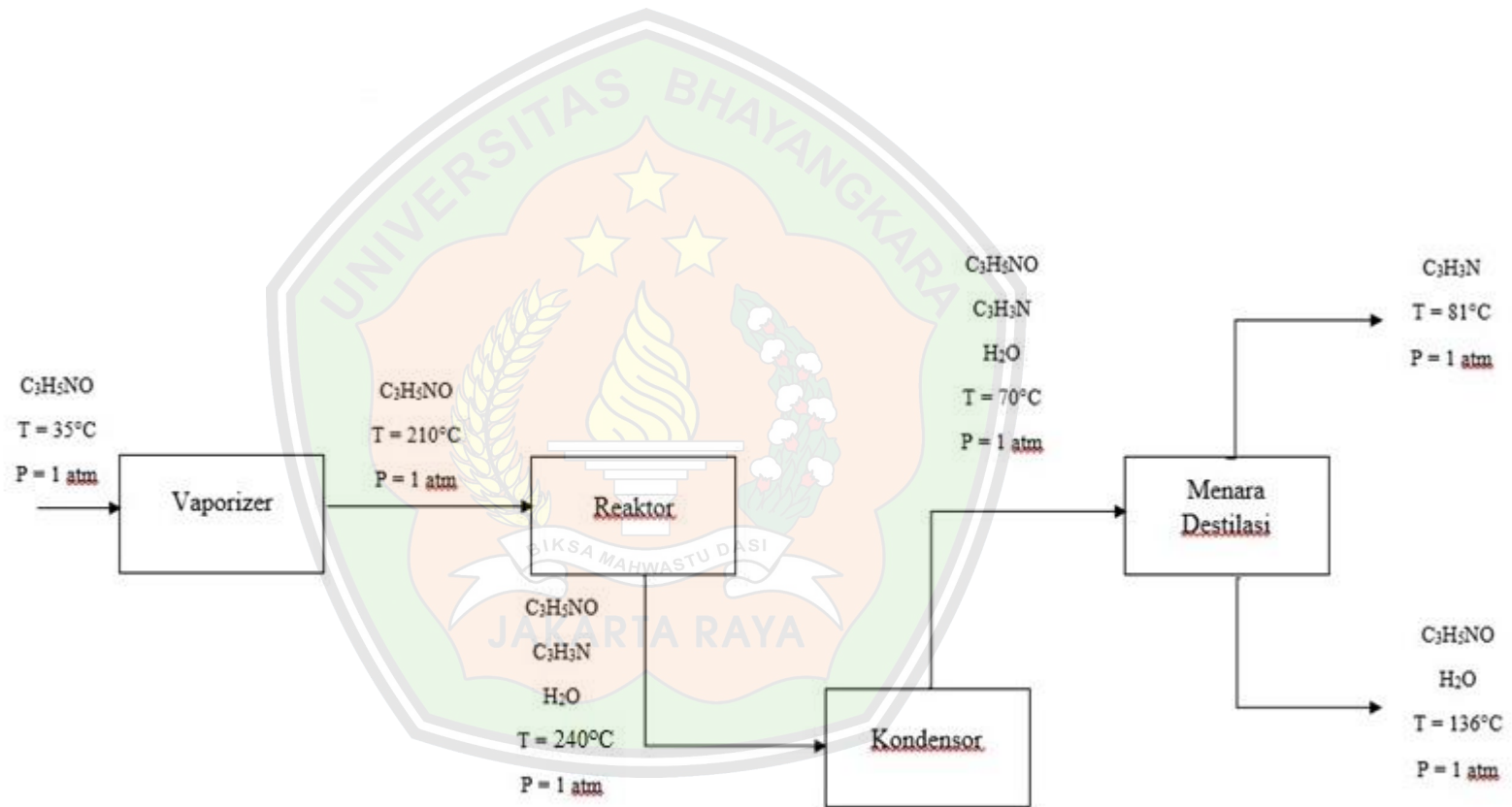
Proses Finish

Hasil keluaran bawah dari menara distilasi 1 (MD-01) yang sebagian besar terdiri dari air dan sedikit *acrylonitrile* akan dialirkan ke unit pengolahan limbah.



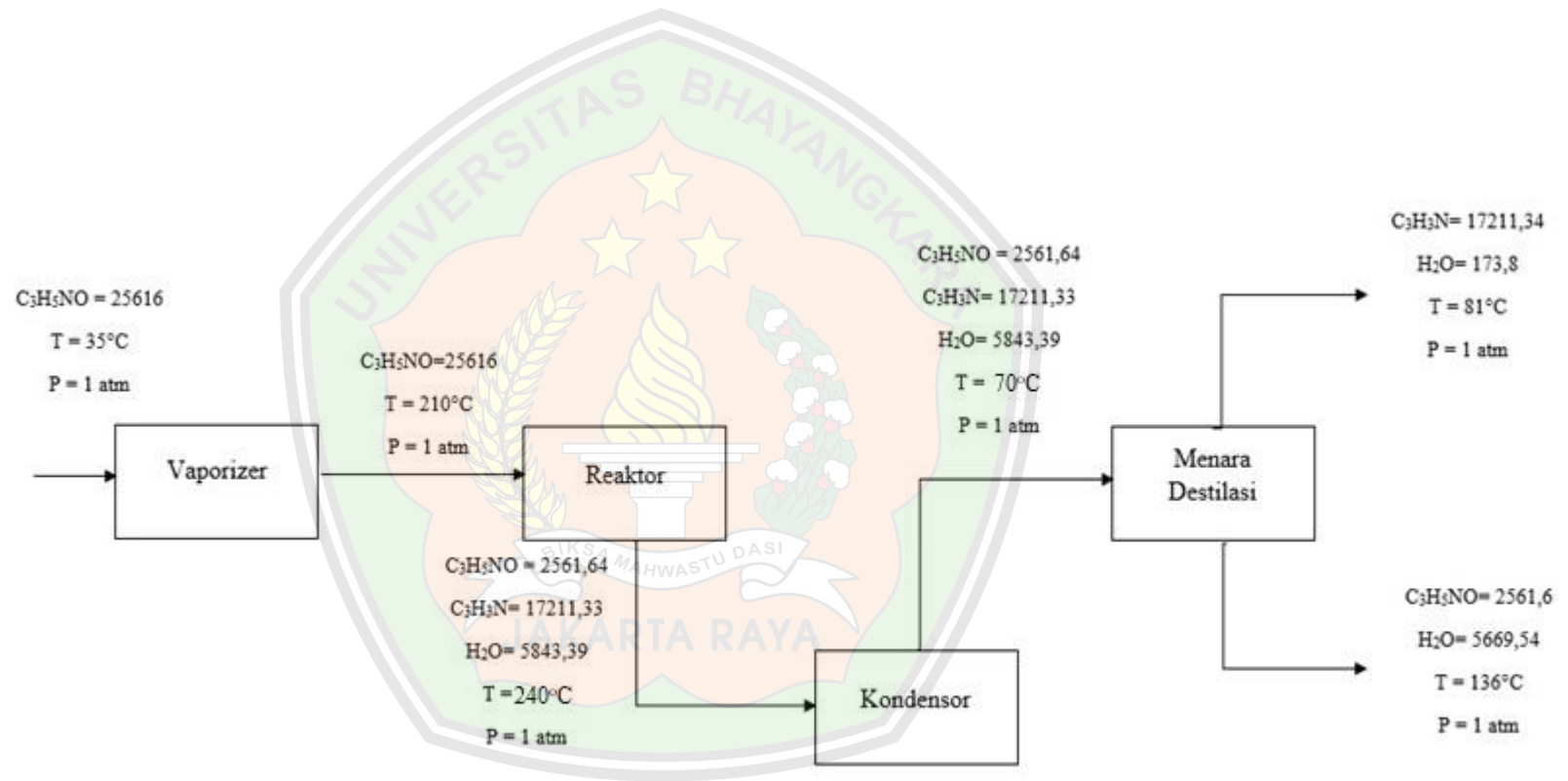
1.5.4 Diagram Alir Kualitatif

Gambar 1.4 Diagram Alir Kualitatif



1.5.5 Diagram Alir Kuantitatif

Gambar 1.5 Diagram Alir Kuantitatif



1.6 Spesifikasi Bahan Baku

1.6.1 Spesifikasi Bahan Baku

Ethylene Cyanohydrin

Sifat-sifat fisis:

- Rumus molekul : C_3H_3N
- Wujud : Cair
- Warna : Kekuning-kuningan
- Kemurnian : 97%
- Berat molekul : 71,08 gram/mol
- Titik didih : $228^{\circ}C$
- Titik lebur : $-40^{\circ}C$
- Densitas (gr/cc) $^{\circ}C$: 1,059
- Temperatur kritis : $417^{\circ}C$
- Tekanan kritis : 48,9 atm
- *Specific gravity* : 1,04
- Viscositas (cp) : 0,56
- ΔH°_f (J/mol) : -98,300
- ΔG°_f (J/mol) : 35.400
- Kelarutan dalam pelarut : Air : Mudah larut
Pelarut organik ; Mudah larut
dalam aseton, etanol
(Kanto Chemical.,Inc)

Sifat-sifat kimia:

- Larut dalam air, aseton, etil metil ketone, dan benzene. Tidak dapat larut dalam karbon disulfide, dan karbon tetraklorida.
- *Ethylene cyanohydrin* dapat dibentuk oleh reaksi *ethylene oxide* dengan *hydrogen cyanide*. Reaksi pembentukan *cyanohydrin*, dengan katalis ion sianida, pada reaksi ini sifatnya tidak dapat balik (*irreversible*).

- *Cyanohydrin* dapat juga dihasilkan oleh reaksi *ethylene cyanohydrin* dan sianida alkali dengan katalis asam sulfat mengandung air.

(Kirk Othmer, 1985)

1.6.2 Spesifikasi Katalis

Alumina (katalisator)

Sifat-sifat fisis:

- Rumus kimia : Al_2O_3
- Wujud : Padat
- Bentuk : Bola
- Berat molekul : 101,96 gram/mol
- Titik didih : $2976,85^\circ\text{C}$
- Titik leleh : $2071,85^\circ\text{C}$
- Temperatur kritis : 5062°C
- Ukuran (diameter) : 1/4, 3/8, 1/2, 3/4.in
- Tekanan kritis : 1953 atm
- *Specific gravity* : 3,99
- Ukuran partikel : 1-2 mm, 2-3 mm, 3-5 mm atau disesuaikan
- Densitas partikel : 3 gr/ml
- Densitas bulk : $1200\text{-}1500 \text{ kg/m}^3$
- Kelarutan : Tidak larut
- Umur katalis : 1,5 tahun

(Perry,1997; Kirk and Othmer, 1991)

Sifat-sifat kimia:

- Akan terurai menjadi γ *aluminium oxide* pada suhu sekitar 725 K
- Akan terurai menjadi *alpha, theta, delta aluminium oxide* pada suhu 576-625 K.

(Kirk Othmer, 1985)

Alasan pemilihan Alumina (Al_2O_3) adalah karena beberapa pertimbangan sebagai berikut:

- Berumur panjang
- Mudah diregenerasi
- Tahan terhadap racun
- Harganya murah
- Mempunyai tingkat pertahanan fisik yang cukup besar

1.6.3 Spesifikasi Produk

1. Acrylonitrile

Sifat-sifat fisis:

- Rumus molekul : $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$
- Berat molekul : 53,06 gram/mol
- Bentuk fisis : Cairan jernih berbau menyengat
- Titik didih 1 atm : $77,35^\circ\text{C}$
- Titik beku : $-83,65^\circ\text{C}$
- Densitas (gr/cc) 20°C : 0,806
- Volatilitas, 78°C : 99%
- Viskositas : 0,34 cp
- Temperatur kritis : $262,85^\circ\text{C}$
- Tekanan kritis : 45 atm
- Tekanan uap : 11,5 kPa
- Volume kritis : $210 \text{ m}^3/\text{gmol}$
- *Specific gravity* : 0,81
- ΔH°_f (J/mol) : 180.600
- ΔG°_f (J/mol) : 191.100
- Kelarutan (g/L) : 70
- Berat molekul : 53,06 gram/mol
- Wujud : Cair

- Kemurnian : 99% min
- Impuritas : 1% H₂O

Sifat-sifat kimia:

- Larut dalam Aceton, Benzena, Ether, Ethylene, Cyanohydrin, Metanol, Xylene, dan Kerosin.
- *Acrylonitrile* mengalami reaksi nitriles, mencakup hidrasi dengan asam belerang untuk membentuk *acrylamide sulfate* (C₃H₅NO.H₂SO₄), dapat menjadi ke *acrylamide* (C₃H₅NO) (Kirk Othmer, 1985)

2. Air

Sifat-sifat fisis:

- Rumus molekul : H₂O
- Berat molekul : 18 gram/mol
- Titik didih : 100°C
- Titik beku : 0°C
- Densitas (gr/cc) 20°C : 0,99823
- Kalor jenis : 4186 J/(kg.K)
- Tegangan permukaan : 73 dyne/cm pada 20°
- Tegangan uap : 0,0212 atm pada 20°C
- Viskositas : 1,002 centipoise pada 20°C
- Temperatur kritis : 373,85°C
- Tekanan kritis : 218
- Tekanan uap
- 20°C : 17,54 mmHg
- 30°C : 31,82 mmHg
- 50°C : 92,51 mmHg
- 90°C : 525,80 mmHg
- ΔH°_f (J/mol) : -285.830

- ΔG°_f (J/mol) : -228.600
- Wujud : Cair
- Warna : Tak berwarna

Sifat-sifat kimia:

- Bersifat polar karena adanya perbedaan muatan.
- Sebagai pelarut yang baik karena kepolarannya.
- Bersifat netral (pH=7) dalam keadaan murni.
- Struktur geometrinya yang tetrahedral ($109,5^\circ$)
- Keberadaan pasangan elektron bebas pada atom oksigen

