

# BAB I

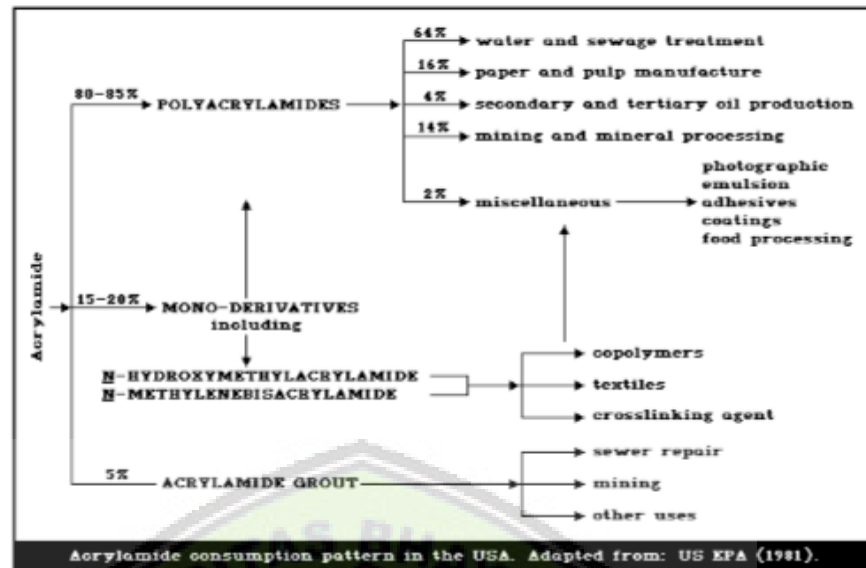
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Memasuki era perdagangan bebas, industri di Indonesia dituntut agar dapat bersaing dengan negara lain di bidang industri, maka kemajuan sektor industri menuntut ke arah industrialisasi dengan di dukung kemajuan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Dalam perkembangan Indonesia sektor industri kimia sangat berperan dalam memajukan perindustrian. Namun, Indonesia masih banyak tergantung dengan mengimpor bahan baku dari luar negeri. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap produk luar negeri maka perlu diadakan inovasi proses produksi maupun pembangunan pabrik baru untuk menambah devisa negara, salah satunya adalah dengan membangun pabrik *acrylamide*.

*Acrylamide* (amida akrilat) dengan rumus kimia  $C_3H_5N$  adalah senyawa organik sederhana dengan nama IUPAC-nya adalah *2-propenamida*. Bahan ini mulai diperkenalkan dan diperdagangkan sejak tahun 1954 dan mulai berkembang pesat. Pada awal tahun 1950 ditemukan bahwa "*height molekular weight*" *poliakrilamid* merupakan *flocculant* yang baik. *Acrylamide* dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan *thickeners*, *flocculant*, *oil recovery* dan kertas. Dapat juga digunakan untuk mempromosikan adhesi, *solvent resistance*, resin meningkatkan titik lunak dan sebagai komponen dari sistem *photo polimerizable*. (Kirk Othmer, 1991)

*Acrylamide* dan turunannya kegunaan terbesarnya adalah sebagai bahan baku untuk produksi polimer dan kapolimer. Poliakrilamid biasa digunakan *flocculant* untuk memisahkan padatan dari larutan dalam pemurnian air, proses penambangan dan pembuangan limbah industri. (WHO, 1985).



Gambar 1.1. Kegunaan Akrilamid

(WHO, 1985)

T

Semakin berkembangnya industri kimia di Indonesia, maka permintaan *acrylamide* pada tahun tahun mendatang juga akan meningkat sebagai bahan baku dan bahan pembantu. Maka perlu didirikan pabrik *acrylamide* dengan pertimbangan sebagai berikut :

- Dapat memberikan keuntungan secara ekonomi dari bahan baku *acrylonitrile*.
- Dapat memicu berdirinya pabrik yang membutuhkan bahan baku *acrylamide*.
- Membuka lapangan pekerjaan.
- Menghemat devisa negara, maka impor *acrylamide* dapat dikurangi.
- Menambah devisa negara dari produksi *acrylamide* ke luar negeri.

## 1.2 Penentuan Kapasitas Produksi

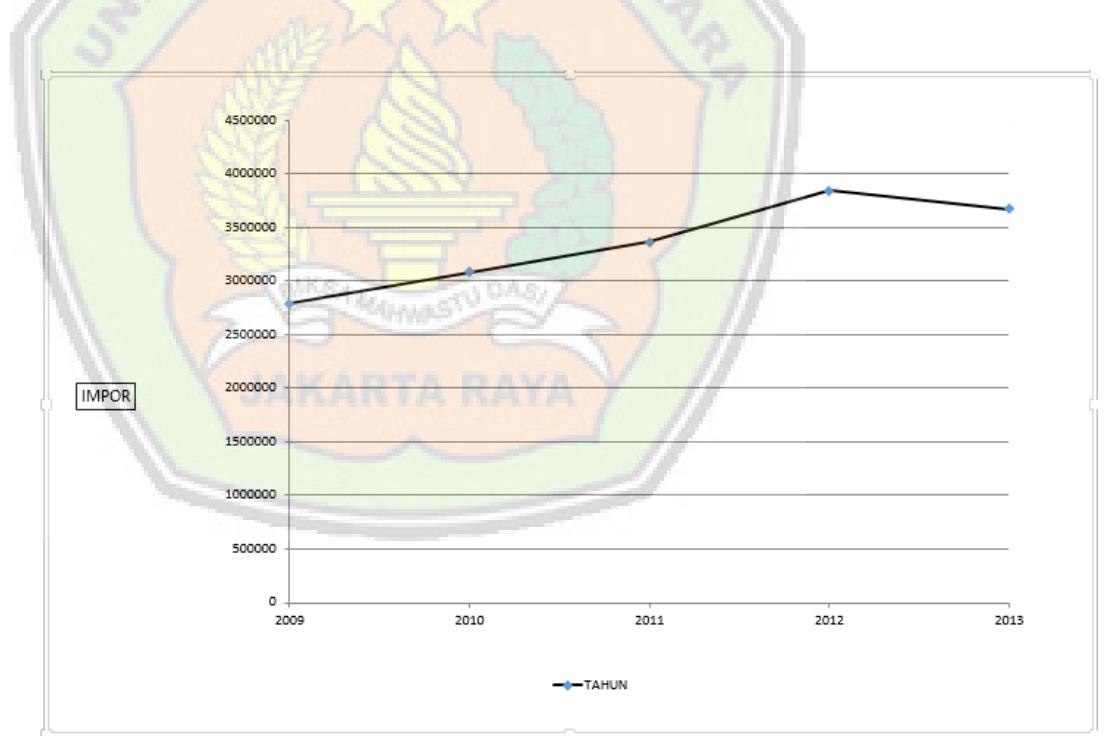
Pertimbangan-pertimbangan penentuan kapasitas produksi perancangan pabrik *acrylamide* sebagai berikut :

### 1.2.1 Prediksi kebutuhan acrylamide di Indonesia

Dapat dilihat berdasarkan data impor acrylamide di Indonesia bahwa kebutuhan acrylamide masih cukup besar

No.	Tahun	Impor (kg/tahun)
1	2009	2.786.230
2	2010	3.084.470
3	2011	3.362.811
4	2012	3.843.869
5	2013	3.673.250

Table 1 Kebutuhan Impor Acrylamide Tahun 2003-2013  
Biro Pusat Statistik, 2014



Gambar 2 Hubungan tahun dengan data kenaikan kebutuhan acrylamide di Indonesia

Tahun	Kebutuhan Impor (kg)	Presentase (%)
2009	2786230	
2010	3084470	10.7 %
2011	3362811	9 %
2012	3843869	14.3 %
2013	3673250	-4.4 %

Tabel 2 Kebutuhan Impor dalam Persen

Estimasi jumlah import pada tahun 2022 sebesar :

$$M_5 = p (1 + i)^n$$

$$M_5 = 3.673.250 (1+0.074)^9$$

$$M_5 = 3.673.250 ( 1.9 )$$

$$M_5 = 6.979.175 \text{ kg/tahun}$$

Jadi  $M_5 = 7.000 \text{ ton/tahun}$

Asumsi awal:

1. Industri yang sudah ada PT. Tridomain Chemical kapasitas  $m_2=10.000 \text{ ton}$
2. PT. Tridomain Chemical 65% ekspor dan 35 untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. ([www.tridomainchemical.com](http://www.tridomainchemical.com))
3. Target negara impor dan kebutuhan acrylamide :
  - BASF, Australia 7000 ton/tahun
  - Chang Chun Petrochemical, Kaohsiung Taiwan 12000 ton/tahun
  - Malaiyan Adhesive and Chemical, ASEAN Malaysia 8000 ton/tahun

Negara tersebut belum mampu memproduksi Acrylamide

3. Ekspor 27.000 dari kapasitas pabrik dengan target Australia, Malaysia dan Taiwan.

Peluang kapasitas pabrik baru

$$M3 = (27.000 + m5) - (m1+m2)$$

$$M3 = (27.000 + 7.000) - (0 + 10000)$$

$$M3 = 24.000 \text{ ton/tahun}$$

Jadi disini diestimasikan kapasitas pabrik kurang lebih 10% = 26.000 ton/tahun (Kusnarjo, 2010).

Di asumsikan pabrik ini akan memproduksi sebesar 26.000 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan acrylamide di Australia 7.000 ton/tahun, Malaysia 8.000 ton/tahun dan Taiwan 12.000 ton/tahun.

### 1.2.2. Kebutuhan Bahan Baku

*Acrylonitrile* sebagai bahan baku dapat diperoleh dari Tong Suh Petrochemical Corp, Korea Selatan yang mempunyai kapasitas produksi 300.00 ton/tahun

Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
Chemtall (Riberico, GA)	71.500
Ciba Specialty Chemicals (Suffolk, VA)	16.500
Cytec Industries (Fortier, LA, US)	45.000
Nalco (Garyville, LA, US)	17.500

Tabel 3 Perusahaan produksi *acrylamide* di dunia

### 1.2.3. Kapasitas Potensial

Di asumsikan pabrik ini akan memproduksi sebesar 26.400 ton/tahun untuk memenuhi kebutuhan acrylamide di Australia 7.000 ton/tahun, Malaysia 8.000 ton/tahun dan Taiwan 12.000 ton/tahun.

### 1.2.4. Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi pendirian pabrik merupakan salah satu faktor penting untuk kelangsungan operasi pabrik. Beberapa pertimbangan penentuan lokasi pabrik diantaranya transportasi, jarak pabrik dengan bahan baku, tersedianya tenaga kerja dan tersediannya sumber air dan listrik. Sehingga biaya produksi dan distribusi seminimal mungkin serta memiliki kemungkinan baik untuk dikembangkan.

Faktor-faktor pertimbangan pendirian lokasi pabrik acrylamide sebagai berikut :

➤ Ketersediaan Bahan Baku

Bahan Baku acrylonitrile merupakan kebutuhan utama untuk proses produksi. Bahan baku acrylonitrile diperoleh dari Tong Suh Petrochemical, Korea Selatan. Sehingga dipilih Cilegon untuk meminimalkan biaya transport karena letaknya yang berdekatan dengan pelabuhan.

➤ Pemasaran Produk

Lokasi pendirian pabrik dipilih dekat target penjualan produk seperti pabrik pembuatan polimer (*polyacrylamide*) untuk industri kertas, *water treatment* seperti *Rohm and Haas*, *BASF* dan *Clariant*.

➤ Utilitas

Kebutuhan air proses diperoleh dari PT. Krakatau Tirta Industri, untuk suplai kebutuhan listrik disuplai oleh PLN dan kebutuhan bahan bakar diperoleh dari Pertamina.

### 1.3 TINJAUAN PROSES

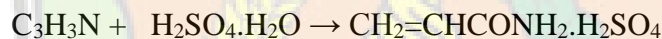
Setelah ditemukan *acrylonitrile* pada tahun 1940, *acrylamide* mulai diproduksi secara komersial. Pada tahun 1952 untuk pertama kalinya ditawarkan pada dunia oleh *American Cyanamid Company* dan produksi secara komersial mulai tahun 1954. Pada masa sekarang pabrik *acrylamide* sudah tersebar di USA, Jepang dan Eropa (Kirk Orthmer, 1991)

#### Macam-Macam Proses

- Proses pembuatan *acrylamide* dengan metode asam sulfat

Metode konvensional dengan mereaksikan *acrylonitrile* dengan asam sulfat monohidrat ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dengan menggunakan netralisasi basa dengan pemisahan produk dari garam sulfat. Dalam proses ini menggunakan sejumlah *acrylonitrile*, air dan asam sulfat monohidrat dengan perbandingan mol sama yang membentuk *acrylamide sulfat*.

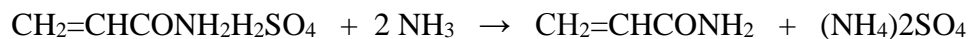
Reaksi yang terjadi :



Dalam proses ini mendapatkan yield dengan monomer yang cukup besar berbentuk larutan dan kristal. Prosesnya menggunakan *run in glass-line* equipment dengan waktu tinggal 1 jam dengan suhu pada 90-100 °C. Reaksi secara eksotermis dan semakin lama waktu tinggal dan suhu yang tinggi maka dapat menaikkan impuritas dan selektivitas pada polimer dan asam akrilat. (Kirk Othmer, 1991)

Bagian tersulit adalah memisahkan amonium sulfat sebagai hasil samping :

Reaksi yang terjadi :



- Proses pembuatan akrilamid dengan proses biologi

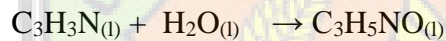
Pada tahun 1985 Nitto Chemical Industry mengembangkan mikroorganisme dengan proses hidrolisa enzimatik untuk menghasilkan *acrylamide* dari *acrylonitrile*. Mikroorganisme seperti *Nocardia*,

*Bacteridium, bacillus, Micrococcus* , dan *Pseudomonas* dapat menjadi katalis nitrile hidralase yaitu enzim nitriasi aktif. [ada suhu 0-15 0C dan pH 7-9 dan menggunakan bakteri yang telah dikembangkan *Rhodococcus rhodochous* dapat meningkatkan kapasitas dari 6000 ton/tahun menjadi 20.000 ton/tahun. (Kirk Othmer,1991)

- Proses pembuatan *akrilamide* dengan hidrolisa katalitik

Untuk mengatasi kelemahan pada metode asam sulfat. Menurut (US, Patent, 1978), dikembangkan katalis padat dalam pembuatan *acrylamide* dengan menggunakan mangan dioksida, tembaga dioksida, logam tembaga dikombinasikan dengan ion kupri atau kupro, tembaga krom oksida dan *raney copper*. Katalis *raney copper* memiliki aktivitas relatif sebesar 2 terdiri dari 2-45% berat aluminium dengan kisaran diameter 0,02-0,5 inchi. (US Patent, 1978).

Reaksi :



Reaksi dengan suhu 70-120 °C memiliki keuntungan karena tidak memiliki produk samping sehingga proses pemurnian dapat dihindari dan hasil konversi meningkat 87 %. (WHO, 1985). Komposisi acrylonitrile sebagai umpan masuk reaktor 5-60% dengan kelarutan maksimal acrylonitrile sebanyak 7 % berat. *Acrylonitrile* yang tidak terkonversi maka akan di destilasi dan menghasilkan produk *acrylamide* sebesar 50 %. (US Patent, 1979).

Metode Asam Sulfat	Proses Biologi	Hidrolisis Katalitik
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pemisahan antara produk utama dengan produk samping cukup sulit dan mahal</li> <li>• Konversi : 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menguntungkan untuk skala di atas 30.000 ton/tahun</li> <li>• Prosesnya lebih kompleks</li> <li>• Konversi : 98%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak adanya produk samping sehingga tidak memerlukan pemurnian yang mahal.</li> <li>• Sangat memerlukan alat pemisah katalis dari hasil reaksi</li> <li>• Konversi : 97%</li> </ul>

Tabel 2.4 Perbandingan Beberapa Proses Pembuatan *Acrylamide*



### 1.3.1 Kegunaan Produk

No	Jumlah Presentase acrylamide yang digunakan	Produk yang dihasilkan
1.	15-20 %	N-Hidrosimetilakrilamid N-Metilenebisakrilamid
2.	80-85 %	Poliakrilamid
3.	5 %	Acrylamide Grout

(WHO,1985)

Tabel 4 Kegunaan Produk *Acrylamide*

### 1.3.2. Sifat Fisika dan Kimia

#### Bahan Baku

- *Acrylonitril* ( $C_3H_3N$ )

#### a. Sifat Fisis

- berat molekul : 53,064 gr/grmol
- densitas : 0,806 g/cm<sup>3</sup> (20 °C)
- titik beku : -83,5 °C
- titik didih : 77,3 °C
- tekanan kritis : 3,54 MPa
- tekanan uap : 11,5 kPa (20 °C)
- temperatur kritis : 246 °C
- volume kritis : 3,798 cm<sup>3</sup>/g
- densitas kritis : 0,2503 g/cm<sup>3</sup>
- viscositas : 0,34 cP (25 °C)
- titik nyala : 0 °C
- Energi bebas pembentukan, gas : 195 kJ/mol (25 °C)
- Panas pembentukan, cair : 150 kJ/mol (25 °C)
- Kapasitas panas molar, cair : 2,09 kJ/(kg °K)

## b. Sifat Kimia

Reaksi-reaksi yang terjadi pada akrilonitril diantaranya :

- Hidrolisa dengan asam sulfat menjadi *acrylamide sulfat* ( $C_3H_5NO \cdot H_2SO_4$ ) dan dapat berubah menjadi akrilamid dengan netralisasi menggunakan basa.
- Hidrolisis total asam basa dengan menggunakan asam mineral.
- Adisi Diels-Alder membentuk produk senyawa siklis membentuk senyawa siksil.
- Katalis tembaga maupun biokatalisator dengan hidrolisis parsial dapat menghasilkan acrylamide.
- Adiponitrile dihasilkan adanya hidrodimerisasi.
- Dihalopropionitrile dihasilkan adanya adisi halogen.

(Kirk Othmer, 1991)

- Air (H<sub>2</sub>O)

### a. Sifat Fisis

berat molekul : 18 gr/gmol  
densitas : 0,99823 g/cm<sup>3</sup> (20 °C)  
titik beku : 0 °C  
titik didih : 1.00 °C (101,3 kPa)  
tekanan kritis : 220,55 bar  
temperatur kritis : 374 °C  
viscositas : 0,6985 cp

indeks bias : 1,333

kapasitas panas : 4,185 kJ/(kg 0K) (20 °C)

### b Sifat Kimia

- Mudah larut pada zat cair, padat dan gas,
- Merupakan reagent penghidrolisa pada prose hidrolisa.

(Kirk Othmer, 1991)

## Bahan Pembantu

- Katalis
- jenis : *Copper Nitrate (CuNO<sub>2</sub>)*
- bentuk : Cair

(US Patent, 1975)

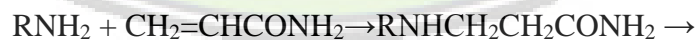
## Produk

- berat molekul : 71,08 gr/grmol
- densitas : 1,038 g/cm<sup>3</sup> (25/4 °C)
- titik kristalisasi : -8-13 °C
- titik didih : 99-104 °C (101,3 kPa)
- tekanan uap : 27,93 kPa (70 °C)
- viscositas : 2,71 cp (25 °C)
- titik nyala : 138 °C
- specific gravity : 1,0412 (25 °C)
- pH : 5,0-6,5
- panas polimerisasi : -85,4 kJ/mol

### b Sifat Kimia

Acrylamide merupakan monomer ikatan amida dan memiliki ikatan rangkap. Sehingga reaksinya selalu melibatkan kedua jenis ikatan tersebut :

- Reaksi nonkatalis akrilamid dengan amina primer menghasilkan produk mono atau bis.



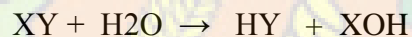
- Bereaksi dengan bisulfit atau natrium sulfit menghasilkan natrium-β-sulfopropionamid.
- Bereaksi dengan keton aktif menghasilkan *adducts* menjadi lactam yang dapat terhidrolisa menjadi asam propionat.
- *Acrylamide* pada kondisi asam dapat dipisahkandengan cara *klorinasi*.
- Bereaksi dengan *Dienes* membentuk *Diels-Alder*.

- Dengan menggunakan katalis *osmium tetroxide*, *acrylamide* dapat menghasilkan glikol dengan natrium hipoklorit.
- Tanpa katalis oksidasi akrilamid menghasilkan *N-vinil-N'-akriloilurea*.
- *Acrylamide* yang bereaksi dengan asam sulfat dapat menghasilkan garam akrilamid sulfat.
- *Acrylonitrile* dapat dihasilkan dengan dehidrolisa *acrylamide* menggunakan mangan dioksida atau fosfor pentaoksida.
- *Acrylamide* bereaksi dengan aldehid dalam kondisi netral atau basa menghasilkan N-metilolakrilamid.

(Kirk Othmer, 1991)

#### 1.4. Tinjauan Umum Proses

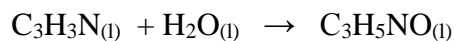
Hidrolisa merupakan suatu proses dekomposisi dengan air, hidrogen bergabung dengan komponen lain dan ion hidroksil dengan hasil dari dekomposisi.



Didalam industri untuk memecah suatu senyawa dengan senyawa lain biasa digunakan reaksi hidrolisa. Dalam pembuatan *acrylamide* dari *acrylonitrile* reaksi hidrolisa dilakukan secara tidak sempurna atau dengan hidrolisa parsial dengan cara mengkondisikan kondisi operasi dan jenis katalis yang sesuai.

Reaksi hidrolisa *acrylonitrile* menggunakan katalis padat, reaksi eksotermis dan dalam fase cair-cair (Kirk Othmer, 1991). Reaksi ini dengan reaktor *fixed bed multitube* dengan katalis *raney cooper* yang menghasilkan larutan *acrylamide* 50 % .

Reaksi :



Secara umum pembentukan *acrylamide* adalah sebagai berikut :

Mula-mula bahan baku dari tangki storage air dan *acrylonitrile* di pompa menuju mixer. Pada mixer ini juga ditambahkan arus *reycyle acrylonitrile* dan air dari menara destilasi. Perbandingan umpan masuk kedalam reaktor adalah 7% berat *akrilonitrile* dalam air (US Patent, 1983). Larutan pencampuran dimasukkan

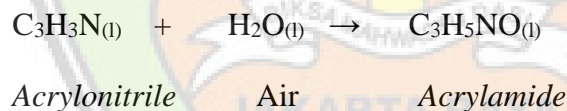
kedalam *reaktor fixed bed multitube*. (Kirk Othmer, 1991). Reaksi pada fase cair-cair sehingga suhu masuk rektor 70 °C dan tekanan diatur 3,03 bar. Dengan bantuan katalis *raney copper* pada reaktor terjadi proses hidrolisis *acrylonitrile* menjadi *acrylamide*. Pada reaksi produk terdiri air, *acrylonitrile* dan *acrylamide* sehingga tidak terjadi hasil samping. Pada destilasi dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didih sehingga menghasilkan produk sesuai spesifikasi *acrylamide* 50 %.



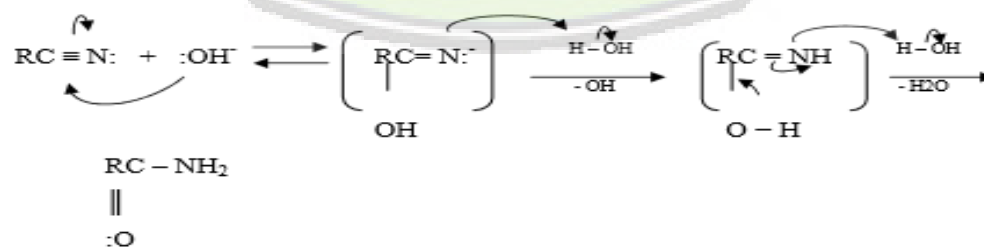
## 1.5 Dasar Reaksi

Reaksi pembuatan *acrylamide* dari *acrylonitrile* dari air. Mula-mula bahan baku dari tangki storage air dan acrylonitrile di pompa menuju mixer. Pada mixer ini juga ditambahkan arus recycle acrylonitrile dan air dari menara destilasi. Perbandingan umpan masuk kedalam reaktor adalah 7% berat akrilonitrile dalam air (US Patent, 1975). Larutan pencampuran dimasukkan kedalam reaktor countinuous stirred reactor (CSTR). (US Patent, 1975). Reaksi pada fase cair-cair sehingga suhu masuk rektor 70°C dan tekanan diatur 3,03 bar. Konversi reaksi sebesar 97%. (WHO,1985). Dengan bantuan katalis Copper Nitrate pada reaktor terjadi proses hidrolisis acrylonitrile menjadi acrylamide. Pada reaksi produk terdiri air, acrylonitrile dan acrylamide sehingga tidak terjadi hasil samping. Pada destilasi dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didih sehingga menghasilkan produk sesuai spesifikasi acrylamide 50 %.

Reaksi yang terjadi :



## 1.6 Mekanisme Reaksi



Gambar 3 Mekanisme Reaksi *Acrylamide*

(Fessenden and Fessenden, 1999)

## 1.7. Tinjauan Kinetika

Konstanta kecepatan orde satu dapat dihitung dengan persamaan :

$$k = 1,36 \times 10^6 \exp (-15.000/RT)$$

dimana k : konstanta kecepatan reaksi (detik-1)

R : konstanta gas ideal = 1,987 cal/mol. K

T : suhu (K)

Persamaan kecepatan reaksi dapat menunjukkan pengaruh temperatur dan katalis terhadap reaksi

### ➤ Pengaruh Katalis

Adanya katalis akan meminimalkan energi aktivasi reaksi dari pada reaksi tanpa adanya katalis akan memperbesar energi aktivasi katalis.

### ➤ Pengaruh Temperatur

Adanya temperatur yang meningkat, maka kecepatan reaksi semakin cepat karena adanya harga konstanta kecepatan reaksi (k).

## 1.8 Tinjauan Termodinamika

Perhitungan harga tetapan konstanta kesetimbangan (K) dapat ditinjau dari persamaan :

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

Dengan :  $\Delta G^\circ$  : tenaga Gibbs standart (KJ/mol)

R : tetapan gas ideal

K : konstanta kesetimbangan

Data untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel 2.1

Table 2.6 Harga  $\Delta H_f^\circ$  dan  $\Delta G_f^\circ$  pada keadaan standart

Komponen	$\Delta H_f^\circ$ 298 °K (KJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ 298 °K (KJ/mol)
Akronitril	185	195.31
Air	-241,8	-228.6
Akrilamid	-170	-97.9

(Carl L Yaws, 1999)

Sehingga  $\Delta G_f^\circ = \Delta G_f^\circ$  produk -  $\Delta G_f^\circ$  reaktan

$$= -97,9 - (195,31 - 228,6) \text{ KJ/mol}$$

$$= -64,61 \text{ KJ/mol}$$

$$\ln K_{298} = \frac{\Delta G_f^\circ}{RT}$$

$$\ln K_{298} = \frac{-(-64,61 \frac{\text{KJ}}{\text{MOL}})}{8,3144 \frac{\text{J}}{\text{MOLK}} 298 \text{K}}$$

$$\ln K_{298} = 26,07669$$

$$K_{298} = 2,113319 \times 10^{11}$$

Maka nilai K pada T °K dapat dihitung dengan meninjau persamaan kesetimbangan di bawah ini :

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \left( -\frac{\Delta H}{R} \right) \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

Dengan:

$$\Delta H_{298} = \Delta H \text{ produk} - \Delta H \text{ reaktan}$$

$$= (-170) - (185 - 241,8) \text{ KJ/mol}$$

$$= -113,125 \text{ KJ/mol}$$

Sehingga harga K pada suhu 80 °C dapat dihitung menggunakan persamaan :



$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \left( -\frac{\Delta H}{R} \right) \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{2,113319 \times 10^{11}} = \left( -\frac{(-113,125 \text{ kJ/mol})}{8,3144 \text{ J/molK}} \right) \left( \frac{1}{353} - \frac{1}{298} \right)$$

$$\ln K_2 = 33,19045881$$

$$K_2 = 2.59676 \times 10^{14}$$

Karena nilai  $K_2$  pada suhu  $80^\circ\text{C}$  sangat besar, maka reaksi bersifat tidak dapat balik.

Untuk mengetahui sifat reaksi, dapat diketahui dengan menghitung entalpi reaksi total pada  $T$  operasi yaitu :

$$\Delta H_{\text{total}} = \Delta H_{\text{reaktan}} + \Delta H_{298} + \Delta H_{\text{produk}}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Akronitril}} &= \int_{298}^{353} C_p dT \\ &= \int_{298}^{353} 33,62 + 5.8644E - 01T + (-1.8625E - 03)T^2 + 2.4956E - 06T^3 dT \\ &= 33.362T + 5.8644 E - 01 \frac{T^2}{2} - 1.8625 E - 03 \frac{T^3}{3} + 2.4956 E - 06 \frac{T^4}{4} \\ &= 6221.92799 \text{ j/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Air}} &= \int_{298}^{353} C_p dT \\ &= \int_{298}^{353} 92.053 + -3.9953 E - 02T + (-2.1103 E - 04)T^2 + 5.3469 E - 07T^3 dt \\ &= 4136,2565 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Acrylamide}} &= \int_{298}^{353} C_p dT \\ &= \int_{298}^{353} -48.597 + 6221.92799 + 4136.2565 + (-113.125 \times 1000) j/mol \\ &= -95851.60549 \text{ j/mol} \end{aligned}$$

Jadi reaksi pembentukan akrilamid dari akrilonitril dan air merupakan reaksi eksotermis, karena nilai  $\Delta H$  total negatif. Dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan akrilamid merupakan reaksi irreversible (tidak dapat balik), eksotermis pada temperatur 80 °C.

