
BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kegiatan perindustrian di Indonesia, khususnya Industri Kimia, mengalami peningkatan yang cukup baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Hal ini berpengaruh terhadap meningkatnya kebutuhan industri terhadap bahan baku, bahan pembantu dan tenaga kerja. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, banyak Industri Kimia yang didirikan dengan tujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan dari luar negeri, sehingga mampu menciptakan produk yang mampu bersaing dari segi kualitas dan harga dengan produk dari luar negeri.

Salah satu bahan yang sering digunakan adalah *Acrylonitrile*. *Acrylonitrile*, sering juga disebut *Vinyl Cyanide*, adalah cairan jernih, berbau menyengat, cepat menguap dan larut dalam air. Secara komersil, sebagian besar *Acrylonitrile* digunakan sebagai bahan baku industri *Acrylic Fiber*. Di Amerika, dapat dikatakan *Acrylic Fiber* apabila mengandung minimal 85% monomer *Acrylonitrile*. Sedangkan sisanya, digunakan dalam industri *acrylonitrile butadiene styrene* (ABS), *styrene acrylonitrile* (SAN), resin, termoplastik, bahan intermediate dalam sintesa organik, *Adiponitrile*, *Acrylamid*, *nitrile rubber*. Pabrik *Acrylonitrile* termasuk kedalam pabrik yang beresiko tinggi, dikarenakan *Acrylonitrile* bersifat mudah terbakar.

(Kirk Othmer, 2004)

Dengan semakin meningkatnya perkembangan industri di Indonesia, termasuk perkembangan industri *Acrylic Fiber*, maka diperkirakan kebutuhan

pasar terhadap *Acrylonitrile* pada tahun-tahun mendatang juga akan meningkat. Berdasarkan pertimbangan diatas, maka pabrik *Acrylonitrile* layak didirikan di Indonesia dengan alasan sebagai berikut:

- a. Pendirian pabrik *Acrylonitrile* dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.
- b. Menghemat devisa negara, dengan adanya pabrik *Acrylonitrile* di dalam negeri maka impor *Acrylonitrile* dapat dikurangi.
- c. Membuka lapangan kerja baru kepada penduduk di sekitar wilayah industri yang akan didirikan.
- d. Dapat memacu berdirinya pabrik - pabrik baru yang menggunakan bahan baku *Acrylonitrile*.

Bahan baku yang akan digunakan dalam pembuatan *Acrylonitrile* adalah *Ethylen Cyanohydrin*. *Ethylen Cyanohydrin* diperoleh dengan cara diimpor dari Cina.

B. Prospek Pasar

1. Data Ekspor – Impor

Kebutuhan *Acrylonitrile* di Indonesia sebagian besar masih diperoleh dari produksi luar negeri. Berdasarkan data yang diperoleh dari BPS, kebutuhan industri dalam negeri terhadap *Acrylonitrile* adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Data Kebutuhan Import *Acrylonitrile*

Tahun	Jumlah (Ton)
2009	6.252,186
2010	8.947,247
2011	9.086,833
2012	9.316,292
2013	9.688,118
2014	9.975,995

(www.bps.go.id, 2015)

2. Sasaran Pasar

Kebutuhan *Acrylonitrile* sebagai bahan baku maupun bahan pembantu didunia sangat besar. *Acrylonitrile* yang dihasilkan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri atau diekspor ke berbagai negara.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Kirk & Othmer, ada beberapa negara yang mengkonsumsi *Acrylonitrile* dalam jumlah besar. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kebutuhan *Acrylonitrile* didunia

Negara	1988 (ton)	1985 (ton)	1980 (ton)	1976 (ton)
Eropa Barat	1.200.000	1.140.000	880.000	880.000
Jepang	680.000	635.000	510.000	570.000
Amerika Serikat	660.000	640.000	660.000	590.000
Timur Tengah	560.000	385.000	270.000	200.000
Amerika Selatan	250.000	200.000	130.000	81.000

(Kirk Othmer, 2004)

3. Lokasi

Pabrik asam akrilat ini direncanakan didirikan di Kawasan Industri Bekasi, Jawa Barat. Adapun dasar pertimbangan pemilihan lokasi pendirian pabrik tersebut adalah:

a) Penyediaan bahan baku

Bahan baku merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan suatu pabrik sehingga penyediaan bahan baku harus diperhatikan. Bahan baku berupa *Ethylene Cyanohydrin* diimpor dari pabrik Shanghai Ruizheng Chemical Technology di Cina. Lokasi pabrik di daerah Bekasi, Jawa Barat merupakan jarak yang cukup dekat dengan pelabuhan Tanjung Priok, sehingga memudahkan penyediaan bahan baku dari segi transportasi.

b) Pemasaran

Produk *Acrylonitrile* banyak dibutuhkan sebagai bahan aplikasi untuk *acrylic fibers*, *nitrile rubbers*, *acrylonitrile-butadiene-styrene* (ABS), dan *styrene acrylonitrile* (SAN). Lokasi pabrik di Bekasi, Jawa Barat cukup strategis karena dekat dengan pelabuhan Tanjung Priok dan dekat dengan daerah pemasaran industri yang tersebar di daerah Jawa Barat dan Jakarta. Sehingga mempermudah pemasaran dalam negeri, dan juga luar negeri.

c) Sarana transportasi

Transportasi di Banten, Jawa Barat melalui darat dan laut cukup lancar, karena telah tersedia jalan raya yang memadai dan dekat dengan pelabuhan Tanjung Priok sehingga memudahkan pendistribusian bahan baku ke pabrik dan produk kepada konsumen.

d) Penyediaan tenaga kerja

Penyediaan tenaga kerja yang berkualitas (terampil dan terdidik) untuk pengoperasian alat-alat industri harus dipertimbangkan. Untuk tenaga kerja yang berkualitas dipenuhi dari alumni perguruan tinggi seluruh Indonesia dan luar negeri bila diperlukan, sedangkan yang kurang terdidik dapat dipenuhi dari penduduk daerah sekitar serta transmigran sehingga dapat mengurangi pengangguran.

e) Penyediaan utilitas

Di Banten, Jawa Barat lokasi pabrik dekat dengan sungai citarum yang memiliki debit air yang besar. Untuk pabrik *Acrylonitrile* ini, air utilitas diperoleh dari pengolahan air dari sungai citarum. Demikian juga kebutuhan listrik tidak akan mengalami kesulitan karena memperoleh suplai dari PLN dan penyediaan unit generator.

C. Tinjauan Pustaka

1. Tinjauan *Acrylonitrile*

Acrylonitrile adalah molekul tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap karbon yang berkonjugasi dengan unsur nitril. Senyawa ini memiliki rumus molekul C_3H_5N ($H_2C=CHCN$). *Acrylonitrile* bersifat polar karena adanya heteroatom nitrogen dan dapat larut pada kebanyakan pelarut organik, seperti *acetone*, *benzene*, *carbon tetrachloride*, *diethyl ether*, *ethyl acetate*, *petroleum ether*, *toluene*, beberapa *kerosene*, dan metanol.

Produksi *Acrylonitrile* dapat dilakukan dengan berbagai macam proses, antara lain proses dehidrasi *Ethylene Cyanohydrin*, proses

Amoxidation, dan proses yang mereaksikan *Acetylene* dan *Hydrogen Cyanide*.

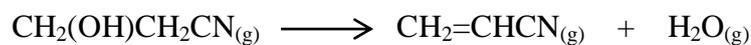
(Kirk and Othmer, 2004)

2. Tinjauan Proses

Berikut tinjauan mengenai berbagai macam proses pembuatan *Acrylonitrile*:

a) Proses Dehidrasi *Ethylene Cyanohydrin*

Proses ini berlangsung dengan cara memisahkan air dari *ethylene cyanohydrin*, sehingga akan didapatkan produk *acrylonitrile* seperti yang terlihat pada reaksi berikut ini:

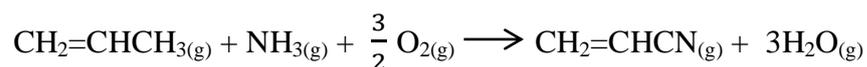


Reaksi ini berlangsung pada suhu 220 °C - 275 °C, pada tekanan 1 atm. Katalisator yang digunakan pada reaksi ini adalah *activated alumina*. Yield yang dihasilkan sebesar 80-90%.

(US. Patent 2.374.052)

b) Proses *Amoxidation*

Proses ini berlangsung antara oksidasi Propilen dan Amoniak dengan menggunakan udara secara katalitik. Proses ini dikenal sebagai proses amoksidasi. Reaksi yang terjadi adalah:

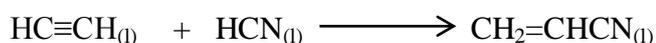


Proses ini berlangsung pada suhu 400°C - 500°C dan tekanan 0,5 - 2 atm. Katalis yang digunakan pada proses ini adalah *Bismuth Molybdate*. Yield yang dihasilkan sebesar 70%.

(Keyes, 1975)

c) Reaksi *Acetylene* dan *Hydrogen Cyanide*

Reaksi antara *Acetylene* dan *Hydrogen cyanide* adalah salah satu cara untuk memproduksi *Acrylonitrile*. Reaksi yang terjadi adalah:



Proses ini dilakukan dengan cara mereaksikan *Hydrogen Cyanide* dan *Acetylene* berlebih dengan perbandingan 10:1 pada suhu 80°C. Katalis yang digunakan pada proses ini adalah *Cuprous Chloride*.

(Kirk Othmer, 2004)

3. Potensial Ekonomi

Potensial Ekonomi merupakan perhitungan secara ekonomi yang berdasarkan pada harga bahan baku dan produk. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui apakah proses tersebut menguntungkan atau tidak. Data harga bahan baku serta produk dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Harga Bahan Baku dan Produk

Bahan	Berat Molekul (Kg/Kmol)	Harga (\$/Kg)
C ₃ H ₃ N	53	2,1319
C ₃ H ₅ NO	71	1,01
C ₂ H ₂	26	1,2517
HCN	27	1,7651
C ₃ H ₆	42	1,1749
NH ₃	17	1,7307

(www.bps.go.id, 2015)

Dari data diatas dapat diketahui potensial ekonomi (PE) dari setiap proses yang ada dengan menggunakan persamaan:

$$\text{PE} = (\text{BM produk} * \text{Harga produk}) - (\text{BM bahan baku} * \text{Harga bahan baku})$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, maka dapat diketahui potensial ekonomi (PE) dari setiap proses yang ada.

a. Proses *Ethylene Cyanohydrin*

$$\begin{aligned} \text{PE} &= \sum(\text{BM C}_3\text{H}_3\text{N} * \text{Harga C}_3\text{H}_3\text{N}) - \sum(\text{BM C}_3\text{H}_5\text{NO} * \text{Harga C}_3\text{H}_5\text{NO}) \\ &= \{(53 \text{ Kg/Kmol} * \$ 2,1319 /\text{Kg})\} - (71 \text{ Kg/Kmol} * \$ 1,01 /\text{Kg}) \\ \text{PE} &= \$ 41,2807 /\text{Kmol} \end{aligned}$$

b. Proses *Amoxidation*

$$\begin{aligned} \text{PE} &= \sum(\text{BM C}_3\text{H}_3\text{N} * \text{Harga C}_3\text{H}_3\text{N}) - \sum((\text{BM C}_3\text{H}_6 * \text{Harga C}_3\text{H}_6) \\ &\quad + (\text{BM NH}_3 * \text{Harga NH}_3)) \\ &= \{(53 \text{ Kg/Kmol} * \$ 2,1319 /\text{Kg})\} - \{(42 \text{ Kg/Kmol} * \$ 1,1749 /\text{Kg}) + \\ &\quad (17 \text{ Kg/Kmol} * \$ 1,7307/\text{Kg})\} \\ \text{PE} &= \$ 34,233 /\text{Kmol} \end{aligned}$$

c. Proses *Acetylene dan Hydrogen Cyanide*

$$\begin{aligned} \text{PE} &= \sum(\text{BM C}_3\text{H}_3\text{N} * \text{Harga C}_3\text{H}_3\text{N}) - \sum((\text{BM C}_2\text{H}_2 * \text{Harga C}_2\text{H}_2) \\ &\quad + (\text{BM HCN} * \text{Harga HCN})) \\ &= (53 \text{ Kg/Kmol} * \$ 2,1319 /\text{Kg}) - \{(26 \text{ Kg/Kmol} * \$ 1,2517 /\text{Kg}) + \\ &\quad (27 \text{ Kg/Kmol} * \$ 1,7651 /\text{Kg})\} \\ \text{PE} &= \$ 32,7888 /\text{Kmol} \end{aligned}$$

Tabel 4. Matriks Pemilihan Proses

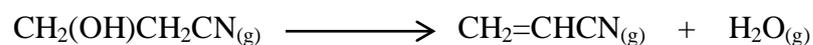
Spesifikasi	Proses Ethylene Cyanohydrin		Proses Amoxidation		Proses Acetylene dan Hydrogen Cyanide	
	Deskripsi	Nilai	Deskripsi	Nilai	Deskripsi	Nilai
Bahan Baku						
Fase	Cair	***	Gas	**	Cair	***
Kemurnian	99%	***	Tidak diketahui	**	Tidak diketahui	**
Impurities	H ₂ O	***	Tidak diketahui	**	Tidak diketahui	**
Proses						
Reaktor	Fixed Bed Multitube	**	Fixed Bed Multitube	**	Reaktor Alir Tangki Berpengaduk	***
Suhu (°C)	220-275	**	400-500	*	80	***
Tekanan	1 atm	***	0,5-2 atm	**	1 atm	***
Yield	80-90%	***	70%	**	Tidak ada data	*
Harga Katalis	200(\$/Ton)	***	380(\$/kg)	*	5500(\$/Ton)	**
Produk						
Fase	Cair	***	Cair	***	Cair	***
Ekonomi						
PE (\$/Kmol)	41,2807	***	34,233	**	32,7888	*
Total (*)	23		17		21	

Keterangan: * = Kurang Baik

** = Baik

*** = Sangat Baik

4. Tinjauan Termodinamika

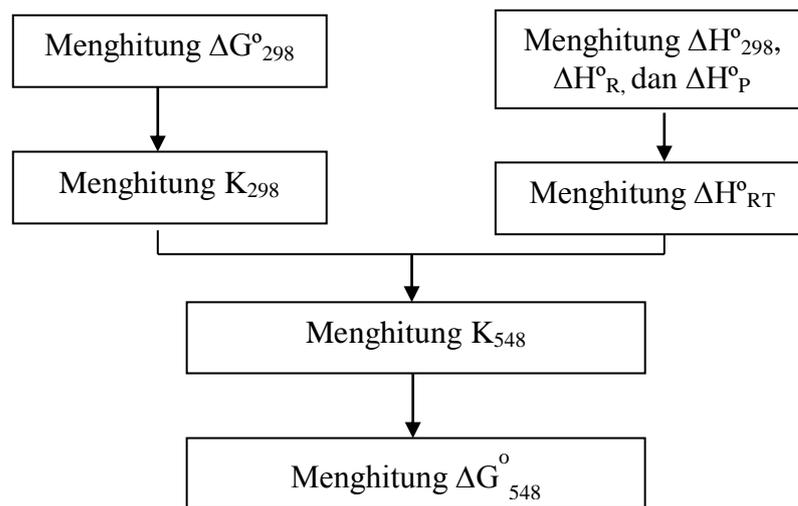


Reaksi dilaksanakan pada suhu 220 °C-275 °C dan tekanan 1 atm.

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. Diagram Alir Termodinamika

Dimana :

ΔH°_{298} = Perubahan entalpi pada suhu 298 K

ΔH°_R = Perubahan entalpi reaktan pada suhu 548 K

ΔH°_P = Perubahan entalpi produk pada suhu 548 K

ΔH°_{RT} = Perubahan entalpi resultant

K_{298} = Konstanta keseimbangan pada suhu 298 K

K_{548} = Konstanta keseimbangan pada suhu 548 K

ΔG°_{298} = Perubahan energi Gibbs pada suhu 298 K

ΔG°_{548} = Perubahan energi Gibbs pada suhu 548 K

Mencari ΔG°_{298} :

Tabel 5. Harga energi gibbs pada suhu 298°K

Bahan	ΔG°_{298}
C ₃ H ₃ N	195,31
H ₂ O	-228,6
C ₃ H ₅ NO	-24

(Carl.L.Yaws, 1999)

$$\begin{aligned}\Delta G^{\circ}_{298} &= \Delta G^{\circ}_{298} \text{ produk} - \Delta G^{\circ}_{298} \text{ reaktan} \\ &= (\Delta G^{\circ}_{298} \text{ C}_3\text{H}_3\text{N} + \Delta G^{\circ}_{298} \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^{\circ}_{298} \text{ C}_3\text{H}_5\text{NO}) \\ &= \{195,31 + (-228,60)\} - \{-24\} \\ &= -9,29 \text{ kJoule/mol}\end{aligned}$$

Mencari K_{298} :

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

(Fogler, 2006)

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

Dimana :

R: Konstanta tetapan Gas Ideal (J/mol.K)

T: Suhu (K)

K: Konstanta kesetimbangan

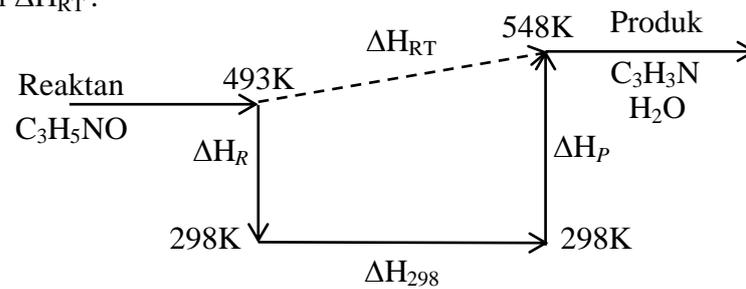
$$\Delta G^{\circ}_{298} = -RT \ln K_{298}$$

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

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

$$= 42,50572443$$

Mencari ΔH_{RT} :



$$\Delta H_{RT} = \Delta H_R + \Delta H_{298} + \Delta H_P$$

Mencari ΔH_{298} :

Tabel 6. Nilai entalpi pada suhu 298°K

Bahan	ΔH°_{298}
C3H3N	184,93
H2O	-241,8
C3H5NO	-63,9

(Carl.L.Yaws, 1999)

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

$$\Delta H^{\circ}_{298} = (\Delta H^{\circ}_{298} \text{ C3H3N} + \Delta H^{\circ}_{298} \text{ H2O}) - \Delta H^{\circ}_{298} \text{ C3H5NO}$$

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

$$= 7,05 \text{ KJ/mol}$$

Mencari ΔH_R dan ΔH_P :

Tabel 7. Konstanta kapasitas panas dalam berbagai suhu

Bahan	A	B	C	D	E
C3H3N	18,425	1,8336E-01	1,0072E-04	1,8747E-08	9,1114E-13
H2O	33,933	8,4186E-03	2,9906E-05	1,7825E-08	3,6934E-12
C3H5NO	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 :

$$\begin{aligned}\Delta H_R &= \int_{298}^{493} c_p \text{C}_3\text{H}_5\text{NO} \, dT \\ &= \int_{298}^{493} [(8,90) + (3,11\text{E-}01\text{T}) + (-2,08\text{E-}04\text{T}^2) + (6,33\text{E-}08\text{T}^3) + \\ &\quad (-6,14\text{E-}12\text{T}^4)] \\ &= -19.977,9306 \text{ J/mol.K} \\ &= -19.977,9306 \text{ KJ/Kmol.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_P &= \int_{298}^{548} c_p \text{C}_3\text{H}_3\text{N} \, dT + \int_{298}^{548} c_p \text{H}_2\text{O} \, dT \\ &= \int_{298}^{548} [(18,425) + (1,8336\text{E-}01\text{T}) + (-1,0072\text{E-}04\text{T}^2) + \\ &\quad (1,8747\text{E}08\text{T}^3) + (9,1114\text{E-}13\text{T}^4)] + \int_{298}^{548} [(33,933) + \\ &\quad (-8,4186\text{E-}03\text{T}) + (2,9906\text{E-}05\text{T}^2) + (-1,7825\text{E-}08\text{T}^3) + \\ &\quad (3,6934\text{E-}12\text{T}^4)] \\ &= 19754,2718 \text{ J/mol.K} + 8637,7224 \text{ J/mol.K} \\ &= 28391,9942 \text{ J/mol.K} \\ &= 28391,9942 \text{ KJ/Kmol.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{RT} &= \Delta H_R + \Delta H_{298} + \Delta H_P \\ &= -19.977,9306 \text{ KJ/Kmol.K} + 7,05 \text{ KJ/Kmol.K} + \\ &\quad 28391,9942 \text{ KJ/Kmol.K} \\ &= 8421,1136 \text{ KJ/Kmol.K}\end{aligned}$$

Mencari K_{548} menggunakan persamaan Van't Hoff :

$$d(\ln K) = \frac{\Delta H_r}{RT^2} dT$$

$$\ln \frac{K_{298}}{K_{548}} = \frac{\Delta H_r}{R} \left(\frac{1}{T_{reff}} - \frac{1}{T_{RT}} \right)$$

$$\ln 42,5057 - \ln K_{548} = \frac{-19.977,9306}{8,314 \times 10^{-3}} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{548} \right)$$

$$\ln K_{548} = 3.682, 359$$

(Fogler, 2006)

Persamaan Energi Gibbs :

$$\Delta G_{548}^0 = -RT \ln K_{548}$$

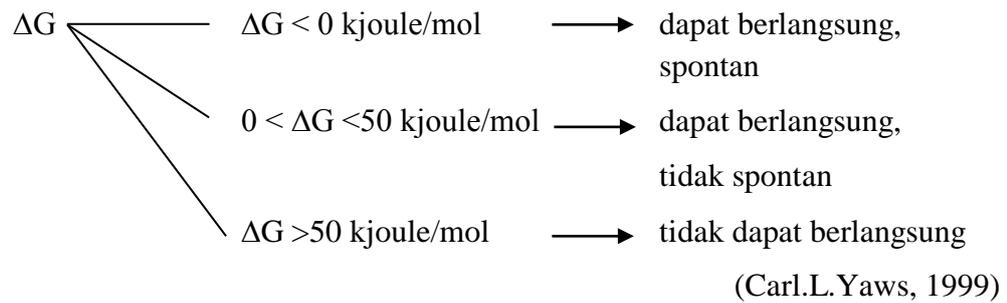
$$\Delta G_{548} = -(8,314 \times 10^{-3})(548)(3.682, 359)$$

$$\Delta G_{548} = -16777,0925 \text{ KJ/mol}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, diperoleh harga ΔG dari rentang suhu 220 °C - 275 °C pada tabel 8.

Tabel 8. Harga energi gibbs pada rentang suhu 220 °C - 275 °C

T (K)	Ln K	ΔG (KJ/mol)
493	3.193, 171	-15.093, 2602
498	3.242, 108	-15.246, 3359
503	3.290, 071	-15.399, 4116
508	3.337, 091	-15.552, 4872
513	3.383, 194	-15.705, 5629
518	3.428, 407	-15.858, 6385
523	3.472, 756	-16.011, 7142
528	3.516, 264	-16.164, 7899
533	3.558, 956	-16.317, 8655
538	3.600, 855	-16.470, 9412
543	3.641, 982	-16.624, 0168
548	3.682, 359	-16.777, 0925



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 $220^{\circ}\text{C} - 275^{\circ}\text{C}$ dan tekanan 2 atm.

5. Tinjauan Kinetika

Nilai kecepatan reaksi pembentukan *Acrylonitrile* dari *Ethylene Cyanohydrin* diasumsi mengikuti persamaan Antoine:

$$k = A \text{Exp} \left(\frac{-Ea}{R.T} \right)$$

dimana:

k = konstanta kecepatan reaksi (s^{-1})

A = Faktor tumbukan

Ea = Energi aktivasi

R = Konstanta gas

T = Suhu reaksi (K)

Tabel 9. Data percobaan reaksi pada suhu 220°C

No	Bahan Baku	Mr	Kemurnian	Massa (gram)	Waktu reaksi (Jam)	Yield (%)	Konversi (%)
1	C ₃ H ₅ NO	71	97%	250	4,4	77,3	78
2	C ₃ H ₅ NO	71	97%	250	1,9	83,8	85
3	C ₃ H ₅ NO	71	97%	250	1,6	82,5	83
4	C ₃ H ₅ NO	71	97%	250	1,4	78	79

(U.S Patent 2.374.052, 1945)



Reaksi pembentukan *acrylonitrile* dari *ethylene cyanohydrin* adalah reaksi elementer. Untuk mencari nilai faktor tumbukan dan energi aktivasi dapat dilakukan dengan mencari nilai konstanta kecepatan reaksi dari tiap percobaan diatas.

Untuk mencari nilai konstanta kecepatan reaksi dapat dihitung dengan:

$$-r_A = k C_A$$

$$-\left(\frac{dC_A}{dt}\right) = k C_A$$

$$-\int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = k \int_{t_0}^t dt$$

$$-(\ln C_A - \ln C_{A0}) = k (t - t_0)$$

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = k (t - t_0)$$

$$k = \frac{-\ln \frac{C_A}{C_{A0}}}{(t - t_0)}$$

Untuk mencari nilai C_A:

$$C_A = C_{A0} (1 - X_A)$$

$$C_{A0} = \frac{n_{A0}}{V}$$

$$n_{A0} = \frac{\text{massa x kemurnian}}{\text{Mr}}$$

Diasumsi reaksi mengikuti persamaan gas ideal. Maka volume dapat dicari dengan rumus gas ideal.

$$V = \frac{n \times R \times T}{P}$$

Keterangan:

r_A = kecepatan reaksi pembentukan A ($\frac{\text{mol}}{\text{L.s}}$)

C_A = konsentrasi mol A per volume ($\frac{\text{mol}}{\text{L}}$)

C_{A0} = konsentrasi mol A mula – mula per volume ($\frac{\text{mol}}{\text{L}}$)

n_{A0} = jumlah mol A mula – mula (mol)

V = volume (L)

T = waktu (s)

R = konstanta gas ideal ($0.08205 \frac{\text{L atm}}{\text{mol K}}$)

P = Tekanan (atm)

Dengan menggunakan perhitungan diatas maka dapat diperoleh harga konstanta kecepatan reaksi setiap percobaan seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil perhitungan konstanta reaksi

No	Bahan Baku	Massa (gram)	Konversi (%)	C_A (mol/L)	k (s^{-1})
1	C ₃ H ₅ NO	250	78	0,0535	9,5814 E ⁻⁵
2	C ₃ H ₅ NO	250	85	0,0375	2,7390 E ⁻⁴
3	C ₃ H ₅ NO	250	83	0,0407	3,1108 E ⁻⁴
4	C ₃ H ₅ NO	250	79	0,0518	3,0758 E ⁻⁴
Total					9,8837 E ⁻⁴
Rata – rata nilai konstanta kecepatan reaksi					2,4709 E ⁻⁴

Mencari nilai faktor tumbukan dan energi aktivasi:

$$k = A \text{Exp} \left(\frac{-E_a}{R.T} \right)$$

$$\text{Ln } k = \text{Ln } A + \left(\frac{-E_a}{R.T} \right)$$

Untuk setiap kenaikan suhu sebesar 10°C, maka kecepatan reaksi naik dua kali lipat. Maka:

$$T_1 = 220^\circ\text{C} = 493^\circ\text{K}$$

$$\frac{1}{T_1} = 0,0020284 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$k_1 = 2,4709 \text{ E-4 s}^{-1}$$

$$\text{ln } k_1 = -8,3057 \text{ s}^{-1}$$

$$T_2 = 230^\circ\text{C} = 503^\circ\text{K}$$

$$\frac{1}{T_2} = 0,001988 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

$$k_2 = 2 \times k_1 = 4,9418 \text{ E-4 s}^{-1}$$

$$\text{Ln } k_2 = -7,6126 \text{ s}^{-1}$$

Nilai energi aktivasi dapat dihitung dengan cara eliminasi

$$-8,3057 = \text{Ln } A + \left(\frac{-E_a}{R} \right) 0,002028$$

$$-7,6126 = \text{Ln } A + \left(\frac{-E_a}{R} \right) 0,001988$$

$$-0,6931 = \left(\frac{-E_a}{R} \right) 4,0326\text{E}^{-5}$$

$$-\frac{E_a}{R} = \frac{-0,6931}{4,0326\text{E}^{-5}}$$

$$-\frac{E_a}{R} = -17.198,952$$

menghitung nilai faktor tumbukan

$$\ln k = \ln A + \left(\frac{-E_a}{R.T} \right)$$

$$- 8,3057 = \ln A + (-17.198,952 \times 0,002028)$$

$$\ln A = - 8,3057 - (-17.198,952 \times 0,002028)$$

$$= 26,5699$$

$$A = 3,4608E+11$$

Setelah nilai faktor tumbukan dan energi aktivasi diperoleh, maka persamaan untuk mencari nilai konstanta kecepatan reaksi menjadi

$$k = 3,4608E+11 \text{ Exp} \left(\frac{-17.198,952}{T} \right)$$

Pada Tabel 11. dapat dilihat nilai konstanta kecepatan reaksi yang diperoleh pada rentang suhu 220°C - 275°C.

Tabel 11. Harga konstanta kecepatan reaksi pada suhu 220°C - 275°C

Suhu (°K)	Harga k (s ⁻¹)
493	2,4448E-04
498	3,4703E-04
503	4,8917E-04
508	6,8488E-04
513	9,5263E-04
518	1,3166E-03
523	1,8085E-03
528	2,4693E-03
533	3,3518E-03
538	4,5240E-03
543	6,0724E-03
548	8,1072E-03

BAB II

PROSES PRODUKSI

A. Spesifikasi Bahan

1. Bahan Baku

Bahan baku : *Ethylene Cyanohydrin*

Sifat fisis dan sifat kimia :

Ethylene Cyanohydrin

Wujud : Cair

Rumus Molekul : C₃H₅NO

Rumus Bangun :

$$\begin{array}{ccccccc} & & \text{H} & & \text{H} & & \\ & & | & & | & & \\ \text{H} & - & \text{O} & - & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{C} & \equiv & \text{N} \\ & & & & | & & | & & & & \\ & & & & \text{H} & & \text{H} & & & & \end{array}$$

Titik Didih (P = 1 atm) : 227°C - 228°C

Titik Beku (P = 1 atm) : -46,2°C

Berat Molekul : 71,08

Kemurnian : 99%

Impuritas : 1% water

Kelarutan dalam air : 10 gram/100 mL (20°C)

(Shanghai Ruizheng Chemical Technology Co., Ltd)

Kapasitas Panas (T) : $104,867 + 6,5944\text{E-}01\text{T} + (-1,6508\text{E-}03)\text{T}^2 + 1,7649\text{E-}06\text{T}^3$

Densitas (T) : $(0,29250)(0,23676) - (1-\text{T}/690\text{K})^{0,22451}$

Viskositas (T) : $\text{Log}_{10} n_{\text{Liq}} = -13,0827 + 1,9718\text{E}03/\text{T} + 2,6820\text{E-}02\text{T} + -2,0038\text{E-}05\text{T}^2$

(Carl L Yaws, 1999)

2. Bahan Pembantu

Bahan Pembantu : *Activated Alumina* (katalis) dan Dowtherm A
(Pemanas)

Sifat fisis dan sifat kimia :

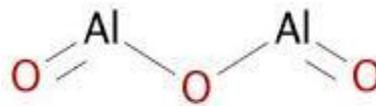
a) *Activated Alumina*

Wujud : Padat

Bentuk : Bola

Rumus Molekul : Al_2O_3

Rumus Bangun :



Size : 3-5 mm

Komposisi Kimia : Al_2O_3 : $\geq 93\%$
 Na_2O : 0,15 – 0,3 %

Bulk Density : 0,70 – 0,80

Surface Area : ≥ 300

Water Absorption : 50 – 70%

Crushing Strength(mm) : ≥ 150

(Pingxiang Xingfeng Chemical Packing Co., Ltd.)

b) Dowtherm A

Wujud : Uap Jenuh

Bahan isian : *Biphenyl* ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}$)

Diphenyl Oxide ($\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{O}$)

Suhu : 257°C-400 °C

Tekanan uap	: 2,38 Bar
Panas laten	: $274,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Densitas uap	: $9,071 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Konduktivitas Termal	: $0,0275 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$
Kapasitas panas	: $1,961 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$

3. Produk

Produk : *Acrylonitrile*

Sifat fisis dan sifat kimia :

Acrylonitrile

Wujud	: Cair
Rumus Molekul	: $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$
Rumus Bangun	: $\begin{array}{ccccccc} & & \text{H} & & \text{H} & & \\ & & & & & & \\ \text{H} & - & \text{C} & = & \text{C} & - & \text{C} \equiv \text{N} \end{array}$

Berat Molekul : 53,064

Titik Didih (P = 1 atm) : 77 °C

Titik Beku (P = 1 atm) : -83,5 °C

Kelarutan dalam air : 7,3

(% berat; 20°C)

(Kirk Othmer, 2004)

Kemurnian : 99 %

Impuritas : 1 % (*water*)

(www.Alibaba.com)

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Panas (T)} & : 33,362 + 5,8644\text{E-}01\text{T} + (-1,8625\text{E-}03)\text{T}^2 + \\ & \quad 2,4956\text{E-}06\text{T}^3 \\ \text{Densitas (T)} & : (0,25030)(0,22930)^{- (1-\text{T}/535\text{K})^{0,28939}} \\ \text{Viskositas} & : \text{Log}_{10} n_{\text{Liq}} = -6,3470 + 8,1502\text{E}02/\text{T} + \\ & \quad 1,5664\text{E-}02\text{T} + (-1,7275\text{E-}05)\text{T}^2 \end{aligned}$$

(Carl L Yaws, 1999)

B. Deskripsi Proses

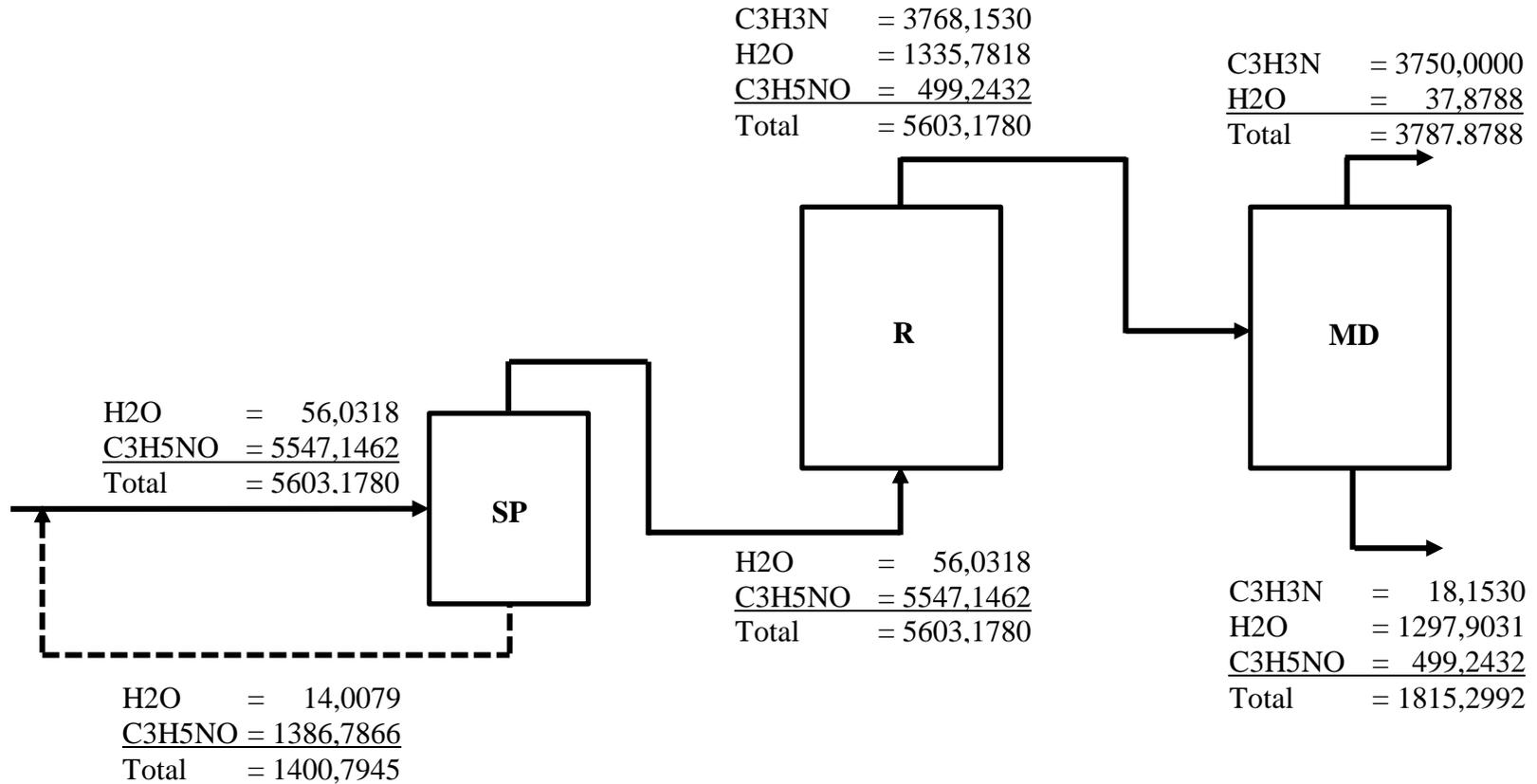
Bahan baku yang digunakan adalah *ethylene cyanohydrine* ($\text{C}_3\text{H}_5\text{NO}$) dalam fase cair. Umpan segar dari tangki penyimpan dialirkan dengan pompa menuju *vaporizer* (V-01) untuk diuapkan. Campuran uap dan cairan dari *vaporizer* dialirkan ke *separator* (SP-01) untuk dilakukan pemisahan antara uap dan cairan. Bahan baku dalam fase cair akan *direcycle* ke dalam *vaporizer*, sedangkan bahan baku yang telah menjadi uap dialirkan melalui *heater* (HE-01) untuk dipanaskan. Setelah dipanaskan, bahan baku dialirkan kedalam reaktor (R-01) untuk direaksikan.

Didalam reaktor terjadi reaksi dehidrasi *ethylene cyanohydrin* menjadi *acrylonitrile* dan air dengan menggunakan katalis *activated alumina* dalam fase gas, pada suhu 220°C - 275°C dan tekanan 2 atm. Hasil keluar reaktor berupa campuran gas *acrylonitrile*, air, dan *ethylene cyanohydrin* dialirkan kedalam *condenser* total (CD-01) untuk diembunkan seluruhnya. Hasil embunan dari *condenser* total kemudian diumpankan ke menara distilasi (MD-01) untuk dilakukan pemisahan sehingga didapatkan hasil dengan kemurnian yang tinggi.

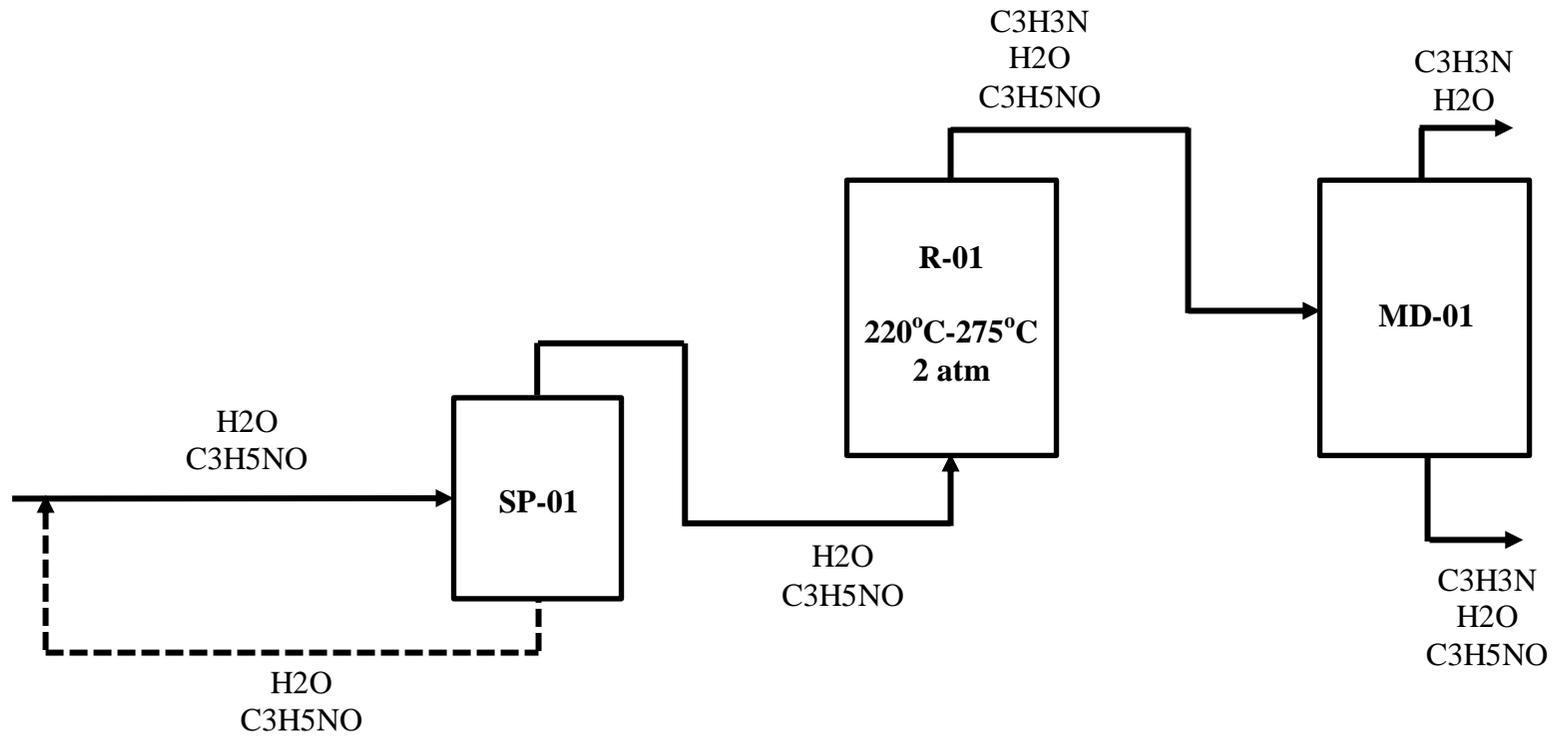
Hasil atas menara distilasi berupa campuran kemudian disimpan ke dalam tangki sebagai produk *acrylonitrile*, sedangkan hasil bawah menara distilasi dialirkan ke UPL. Komponen yang terdistribusi sebagai hasil atas adalah *acrylonitrile* (99%) dan air (1%). Komponen yang terdistribusi sebagai hasil bawah adalah *acrylonitrile* (1%), air (71,5%) dan *ethylene cyanohydrin* (27,5%).

C. Diagram Alir

Laju alir massa menggunakan satuan Kg/Jam



Gambar 2. Diagram Alir Kuantitatif



Gambar 3. Diagram Alir Kualitatif

Tabel 12. Spesifikasi alat utama

Nama	Kode	Fungsi	Jenis	Jumlah	T(°C)	Ukuran (m)	Bahan Konstruksi
Reaktor	R-01	Mendehidrasi <i>ethylene cyanohydrin</i> dengan bantuan katalis <i>alumina activated</i>	FixedBed Multitubular	1	220	D = 0,6988 H = 1,7425	Stainless Steel

BAB III

UTILITAS

Unit utilitas merupakan unit pendukung dalam keberlangsungan proses produksi pada pabrik. Unit ini meliputi unit penyediaan air, unit pembuatan *steam*, unit penyediaan udara tekan, unit penyediaan listrik dan bahan bakar yang keberadaannya memegang peranan penting dalam produksi.

A. Unit Penyediaan Air

Kebutuhan air yang diperlukan untuk pabrik *acrylonitrile* ini meliputi air pendingin, air umpan boiler, air kebutuhan kantor dan rumah tangga serta kebutuhan lain (air sanitasi), air hidran dan air servis. Kebutuhan air diperoleh dari pengolahan air sungai citarum.

B. Unit Penyediaan Steam

Steam yang dibutuhkan pada pabrik *acrylonitrile* ini adalah *steam* jenuh (*saturated steam*). Alat yang digunakan sebagai pembuat *steam* yaitu boiler dengan tipe *fire tube boiler*. *Steam* yang dihasilkan digunakan untuk memenuhi kebutuhan steam pada reboiler (RB-01).

C. Unit Penyediaan Pemanas

Pada pabrik *acrylonitrile* ini pemanas yang digunakan adalah Dowtherm A. Pemanas ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemanas pada Reaktor (R-01), *Heater* (HE-01) dan Vaporizer (V-01).

D. Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan listrik pada pabrik ini meliputi:

1. Sumber tenaga listrik untuk alat-alat proses dan unit utilitas.
2. Sumber tenaga listrik untuk instrumentasi kontrol.
3. Sumber tenaga listrik untuk laboratorium, perkantoran, dan rumah tangga.

Kebutuhan listrik dipenuhi dengan membeli dari PLN. Namun apabila terjadi pemadaman oleh PLN atau hal-hal lain, maka disediakan generator untuk cadangan dengan bahan bakar solar.

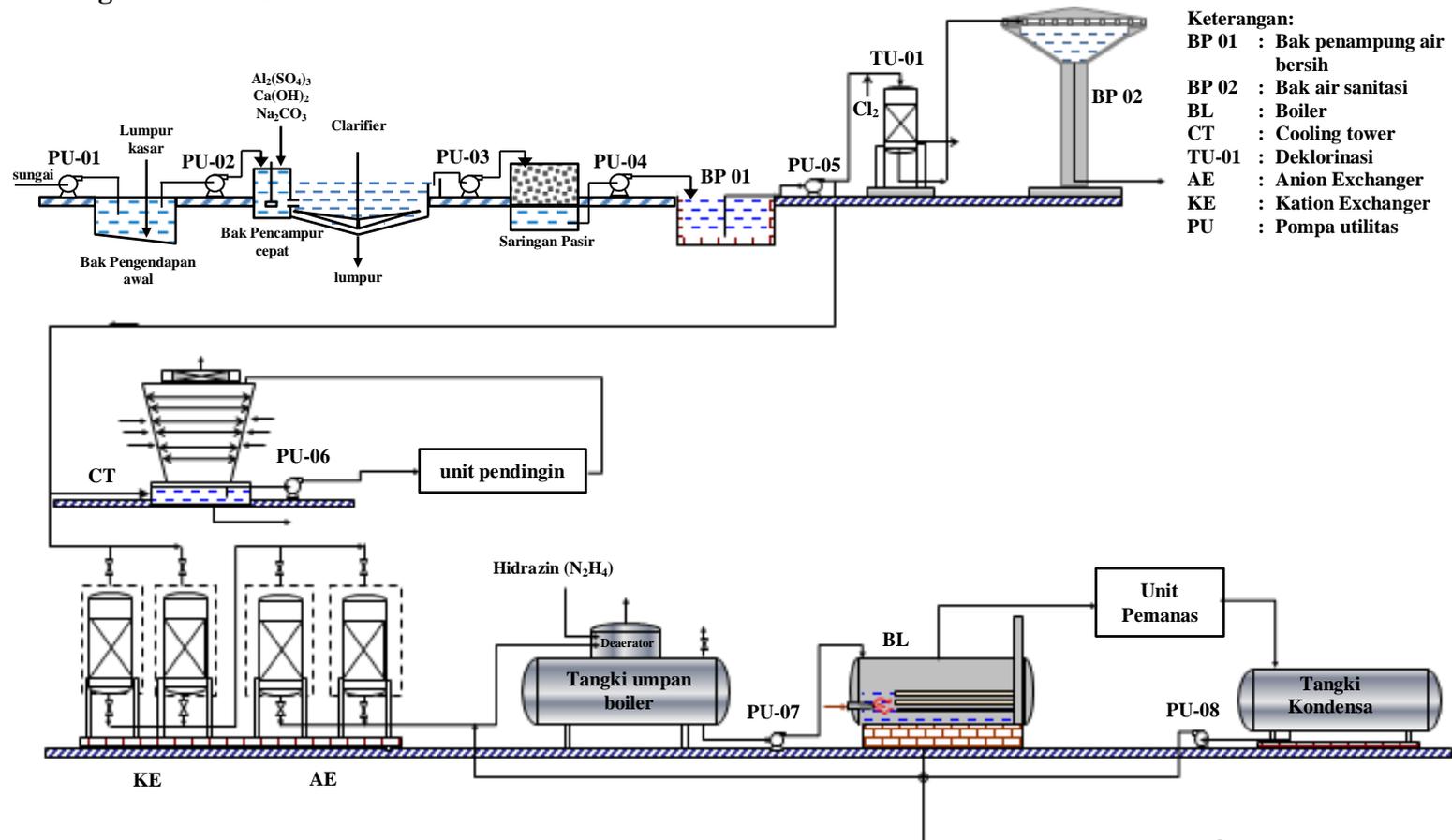
E. Unit Bahan Bakar

Untuk bahan bakar generator dan bahan bakar *boiler* digunakan solar

F. Unit Penyedia Udara Tekan

Kebutuhan udara tekan yang digunakan untuk instrumentasi pengendali dan kebutuhan lainnya.

G. Gambar Pengolahan Air Utilitas



Gambar 4. Gambar Pengolahan Air Unit Utilitas

BAB IV

MANAJEMEN PERUSAHAAN

A. Bentuk Badan Usaha

Bentuk perusahaan yang dipilih memakai sistem organisasi “*line and staff organization*” dengan bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT), yaitu perusahaan yang terdiri dari pemegang saham dan berbentuk badan hukum. Dasar pertimbangan pemilihan bentuk perusahaan Perseroan Terbatas adalah sebagai berikut:

- a. Kontinuitas perusahaan sebagai badan hukum lebih terjamin sebab tidak tergantung pada pemegang saham, di mana pemegang saham dapat berganti-ganti.
- b. Pemegang saham memiliki tanggung jawab yang terbatas terhadap adanya hutang-hutang perusahaan. Ini berarti resiko pemegang saham hanya terbatas sampai besarnya modal yang disetorkan.
- c. Dapat memperluas lapangan usaha karena lebih mudah memperoleh tambahan modal dengan menjual saham-saham baru.
- d. Mudah memindahkan hak pemilik dengan menjual saham kepada orang lain.
- e. Manajemen dan sosialisasi yang baik memungkinkan pengelolaan sumber-sumber modal secara efisien.
- f. Pemegang saham melalui rapat umum dapat memilih Dewan Direksi yang cakap dan berkualitas untuk menjalankan perusahaan.

Bentuk perusahaan ini dipimpin oleh direksi yang terdiri dari seorang direktur utama dan dibantu oleh manajer-manajer. Direktur dipilih oleh rapat umum anggota, yang dipilih menjadi direktur tidak selalu orang yang memiliki saham, dapat juga orang lain. Pekerjaan direksi sehari-hari diawasi oleh rapat umum para pemilik saham.

Dewan komisaris berhak mengadakan pemeriksaan sendiri atau dibantu akuntan pabrik apabila perusahaan tidak berjalan sebagaimana mestinya. Direksi dan komisaris dipilih kembali oleh rapat umum pemilik saham setelah masa jabatan habis. Kekuasaan tertinggi dalam perseroan terbatas adalah rapat umum para pemilik saham yang biasanya dilakukan satu tahun sekali.

B. Bentuk Organisasi

Sistem organisasi perusahaan yang dipilih yaitu sistem organisasi fungsional. Pada sistem ini, garis kekuasaan lebih sederhana dan praktis pada pembagian tugas kerja, dimana seorang karyawan hanya bertanggung jawab pada seorang atasan saja. Kekuasaan mengalir secara langsung dari direksi kemudian ke manager diteruskan ke karyawan-karyawan dibawahnya.

1. Klasifikasi pegawai

Klasifikasi kepegawaian terutama berdasarkan latar belakang pendidikan formal. Beberapa jabatan penting masih ditambah dengan persyaratan lain diantaranya adalah pengalaman kerja, kepribadian, pendidikan khusus serta beberapa persyaratan lainnya.

2. Sistem penggajian

Sistem gaji pada karyawan dilaksanakan pada setiap awal bulan dan besarnya gaji disesuaikan dengan jabatan atau golongan, tingkat pendidikan, pengalaman kerja, dan keahlian yang dimiliki.

3. Rencana kerja dan jumlah tenaga kerja

Dalam kegiatan operasi, pabrik beroperasi secara kontinyu selama 330 hari dalam satu tahun, 24 jam dalam satu hari. Karyawan dibagi menjadi dua kelompok yaitu karyawan *shift* dan karyawan *non shift*.

a. Karyawan *shift*

Karyawan *shift* merupakan tenaga yang secara langsung menangani produksi. Kelompok kerja *shift* ini dibagi menjadi 3 *shift* sehari, masing-masing bekerja selama 8 jam, sehingga harus dibentuk 4 kelompok dimana setiap hari 3 kelompok bertugas dan 1 kelompok istirahat, dengan pengaturan *shift* sebagai berikut:

Shift I (pagi) : jam 07.00 – 15.00 WIB

Shift II (siang) : jam 15.00 – 23.00 WIB

Shift III (malam) : jam 23.00 – 07.00 WIB

Tabel 13. Jadwal karyawan *Shift*

Regu	Hari											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	I	I	I		II	II	II		III	III	III	
B		II	II	II		III	III	III		I	I	I
C	II		III	III	III		I	I	I		II	II
D	III	III		I	I	I		II	II	II		III

Regu	Hari											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	I	I	I		II	II	II		III	III	III	
B		II	II	II		III	III	III		I	I	I
C	II		III	III	III		I	I	I		II	II
D	III	III		I	I	I		II	II	II		III

Keterangan:

A,B,C,D : Kelompok kerja *shift*

1,2,3, ... : Tanggal



: Libur

b. Karyawan *non shift*

Karyawan *non shift* merupakan karyawan yang tidak langsung menangani proses produksi. Jumlah tenaga kerja disesuaikan dengan kebutuhan pekerjaan agar pekerjaan dapat diselesaikan secara efektif.

Karyawan *non shift* bekerja selama 5 hari kerja dalam satu minggu dan libur pada hari sabtu dan minggu serta hari-hari besar agama ataupun hari nasional. Sehingga total kerjanya 40 jam dalam satu minggu. Dengan pengaturan sebagai berikut:

Senin – Kamis : Pukul 08.00 – 17.00
Pukul 12.00 – 13.00 (istirahat)

Jumat : Pukul 08.00 – 17.00
Pukul 11.30 – 13.00 (istirahat)

c. Jumlah tenaga kerja

Jumlah tenaga kerja yang direncanakan untuk pabrik *acrylonitrile* adalah sebagai berikut:

Tabel 14. Jumlah tenaga kerja *non shift*

Jabatan		Tenaga kerja (orang)
A	Direktur utama	1
	Sekretaris Direktur utama	1
B	Direktur proses	1
	Sekretaris Direktur proses	1
C	Direktur umum	1
	Sekretaris Direktur umum	1
D	Kepala Departemen	5
E	Kepala Seksi	17
F	Staff	
	Personalia	2
	Litbang	3
	Bengkel dan Pemeliharaan	4
	Pembelian dan Pemasaran	3
	Administrasi	2
	Supir (Driver)	3
	Keuangan	2
	Dokter	3
	Perawat	10
	Total	69

Tabel 15. Jumlah tenaga kerja *shift*

Jabatan		Tenaga kerja
A	Keamanan	24 orang
B	Supervisor	8 orang
C	Listrik dan instrumentasi	12 orang
D	Laboratorium	12 orang
E	K3	8 orang
F	Buruh proses	23 orang
G	Buruh utilitas	23 orang
Total		110 orang

Sehingga diperoleh total tenaga kerja sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Total jumlah tenaga kerja} &= \text{tenaga kerja non shift} + \text{tenaga kerja shift} \\
 &= 69 \text{ orang} + 110 \text{ orang} \\
 &= 179 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

C. Jaminan Sosial

Untuk meningkatkan kesejahteraan para karyawan maka perusahaan selain memberikan gaji bulanan juga memberikan fasilitas dan jaminan sosial sebagai berikut:

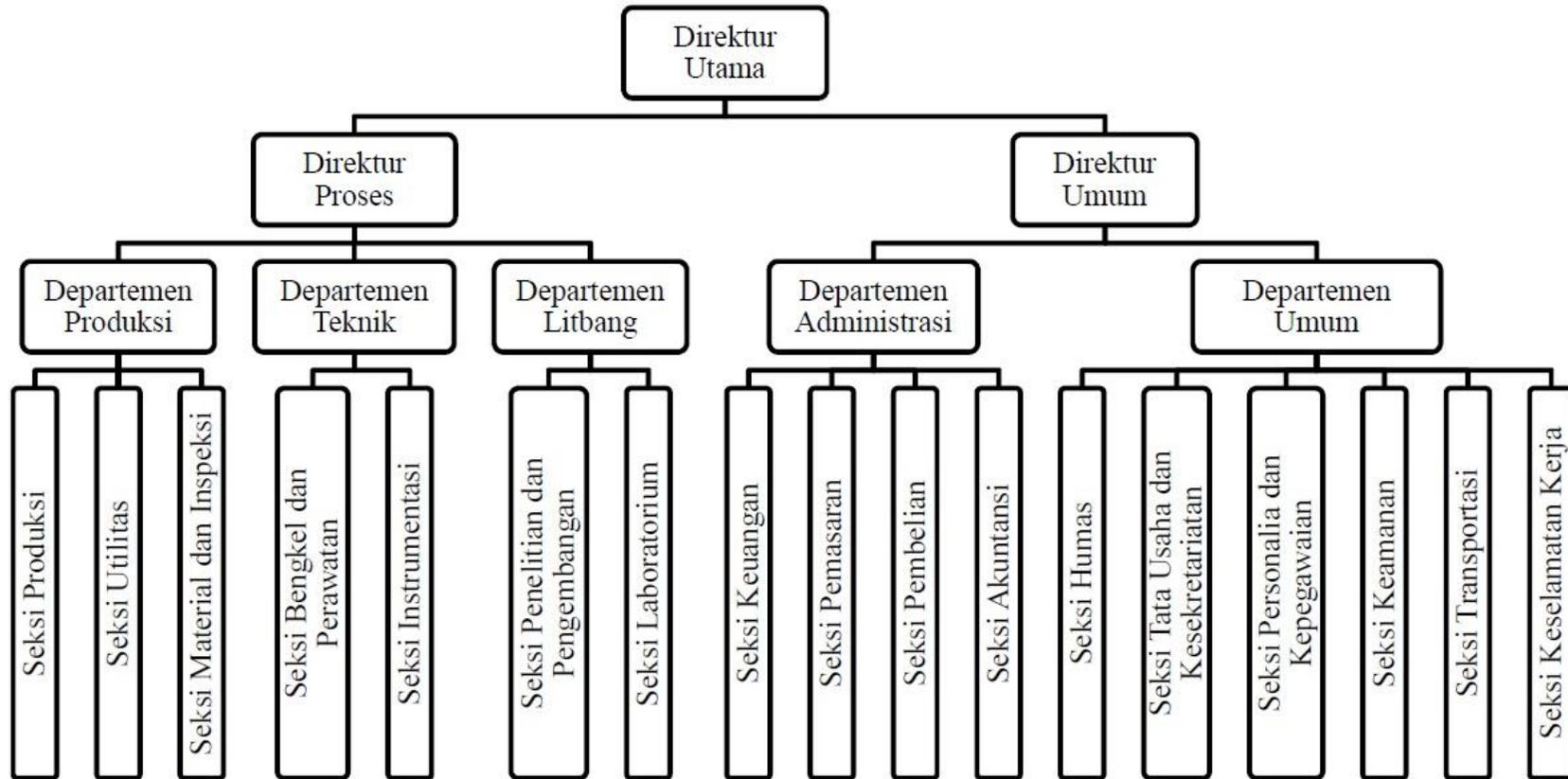
- a. Tunjangan istri/suami dan anak, antara lain:

Tunjangan istri/ suami sebesar 25% dari gaji pokok.

Tunjangan anak sebesar 2 % dari gaji pokok.

-
- b. Fasilitas perumahan dinas yang diberikan kepada karyawan atau pimpinan perusahaan sesuai dengan kemajuan dan keuntungan perusahaan.
 - c. Fasilitas kesehatan bagi karyawan, istri atau suami dan anak karyawan berupa sebuah poliklinik. Jika penyakit memerlukan penanganan khusus akan dirujuk ke rumah sakit rujukan.
 - d. Pakaian kerja 3 buah lengkap dengan alat-alat untuk perlindungan terhadap keselamatan kerja sebanyak 2 kali dalam setahun.
 - e. Fasilitas transportasi berupa bus pegawai bagi karyawan yang rumahnya jauh dari lokasi pabrik.
 - f. Fasilitas olah raga.
 - g. Fasilitas pendidikan berupa kursus dan pelatihan yang diselenggarakan oleh perusahaan.
 - h. Fasilitas peribadatan berupa masjid di lingkungan perusahaan.
 - i. Uang bonus setiap tahun yang besarnya disesuaikan dengan keuntungan perusahaan dan uang tunjangan hari raya.
 - j. Hak pensiun bagi karyawan yang telah memasuki masa pensiun.

D. Struktur Organisasi



Gambar 5. Struktur organisasi perusahaan