BAB I
PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara berkembang yang sedang giatnya melaksanakan pembangunan baik dari sektor pertanian dan industri. Salah satu indutri di Indonesia yang sedang berkembang adalah industri kimia, yang akhir-akhir ini mengalami peningkatan baik secara kualitas maupun kuantitasnya, sehingga kebutuhan akan bahan baku dan bahan penunjang akan meningkat pula.

Saat ini Indonesia masih tergantung pada negara lain dalam memenuhi bahan baku, baik yang digunakan sebagai bahan baku maupun sebagai bahan pembantu. Oleh karena itu perlu adanya pembangunan dalam industri kimia.

Salah satunya adalah isopropilamin. Isopropilamin sendiri terdiri atas monoisopropilamin (MIPA), diisopropilamin (DIPA), dan triisopropilamin (TIPA). Isopropilamin sebagian besar digunakan dalam bidang pertanian yaitu sebagai bahan baku pada industri pembuatan herbisida dan insectisida. Selain itu juga digunakan untuk : pelarut murni, industri karet sintetis, bidang farmasi, industri tekstil, industri detergent, tetapi dalam jumlah yang cukup sedikit.

Isopropilamin dapat dihasilkan dengan beberapa cara, antara lain:

1. Dari Bahan Baku Alkohol dan Amonia dengan Dehidrasi Katalis
2. Dari Amoniak, Alkohol, dan Hidrogen dengan Dehidrogenasi Katalis
3. Dari Amoniak, Aseton dan Hidrogen dengan Hidrogenasi Katalis
4. Dari Amoniak dan Alkilhalida

Perkembangan industri isopropilamin sejalan dengan kemajuan dalam bidang pertanian khususnya dalam bidang pemberantasan hama (herbisida, insektisida, bakterisida). Industri isopropilamin secara konvensional pertama kali didirikan di Amerika pada tahun 1902. Berikut adalah data kapasitas pabrik isopropilamin di dunia:

Tabel 1.1 Pabrik Isoproplamin di Dunia

No	Nama Pabrik	Lokasi	Kapasitas (Ton/Tahun)
1	ALPHA CHEMIKA	India	69.312
2	Haihang Industri (Jinan) Co., Ltd.	China	22.040
3	Xiamen Aeco Chemical Industry	China	55.100
4	Qindao Little Fox Biological	China	10.000
5	A. B Enterprises	India	10.664
6	Shianghai ZZ New Material Tech	China	11.540
7	Jinan Boss Chemical Industry	China	15.435

(Sumber:www.alibaba.com,2019)

Pengguanaan utama isopropilamin adalah dalam bidang pertanian yaitu sebagai bahan baku pada industri pembuatan herbisida dan insektisida. Di samping digunakan dalam bidang pertanian isopropilamin juga digunakan dalam :

a. Industri Tekstil.

Digunakan sebagai adiktif pada bahan pencelup atau pewarna dan juga sebagai bahan adiktif pada proses pembuatan tekstil yang memiliki sifat khusus.

b. Industri Detergent.

Sebagai adiktif pada industri detergent yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan detergent menurunkan tegangan permukaan, sehingga proses pencucian berlangsung dengan cepat dan efektif.

c. Industri Karet Sintetis.

Sebagai bahan intermediet yang berfungsi untuk mempercepat proses pembentukan karet.

1.1.1 Penentuan Kapasitas Produksi

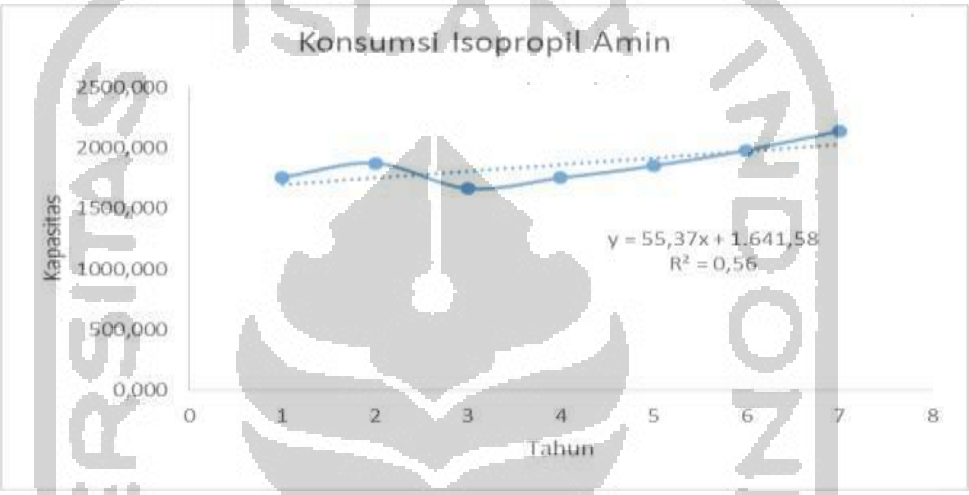
Kebutuhan isopropilamin di Indonesia semakin meningkat sejalan dengan semakin meningkatnya kebutuhan pembuatan herbisida dan insektisida dalam bidang pertanian. Berikut data konsumsi isopropilamin di Indonesia:

Tabel 1.2 Data Konsumsi Isopropilamin (Ton/Tahun)

Tahun	Konsumsi Isopropilamin (Ton/Tahun)
2012	1.759,607
2013	1.877,554
2014	1.667,437
2015	1.754,745
2016	1.854,356

Tahun	Konsumsi Isopropilamin (Ton/Tahun)
2017	1.985,456
2018	2.142,113

(Sumber : www.bps.go.id),2018)



Gambar 1.1 Grafik Konsumsi Isopropilamin

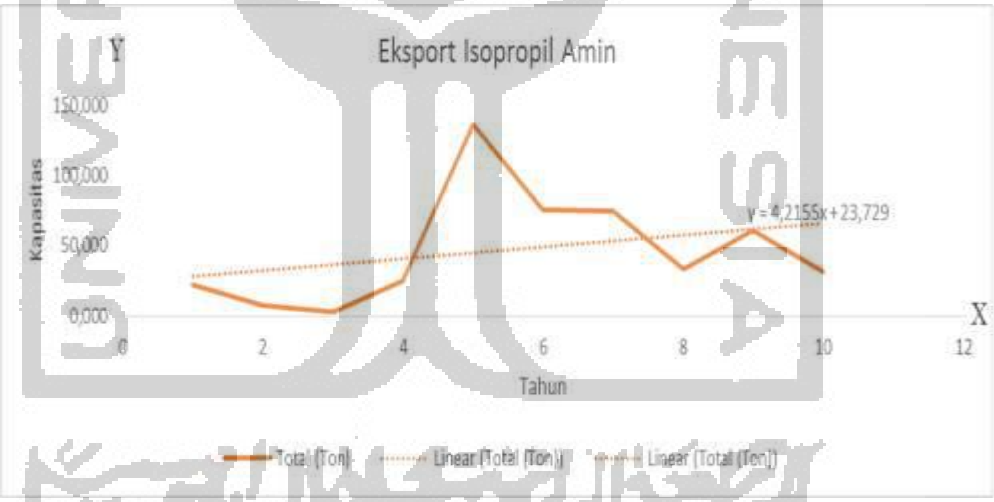
Perkiraan kapasitas produksi merupakan hal yang sangat penting dalam suatu pabrik, agar tidak terjadi kesalahan yang menyebabkan hasil produksi tidak seluruhnya di serap oleh pasar. Perkiraan kapasitas sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, ekspor, impor, laju konsumsi, dan kapasitas pabrik terdahulu (lama). Berikut data ekspor impor isopropilamin:

Tabel 1.3 Data Ekpor Isopropilamin

Tahun	Total (Ton)
2009	22.200
2010	7.370

Tahun	Total (Ton)
2011	3.016
2012	24.908
2013	136.099
2014	75.388
2015	74.680
2016	33.692
2017	60.593
2018	31.201

(Sumber : www.bps.go.id,2018)

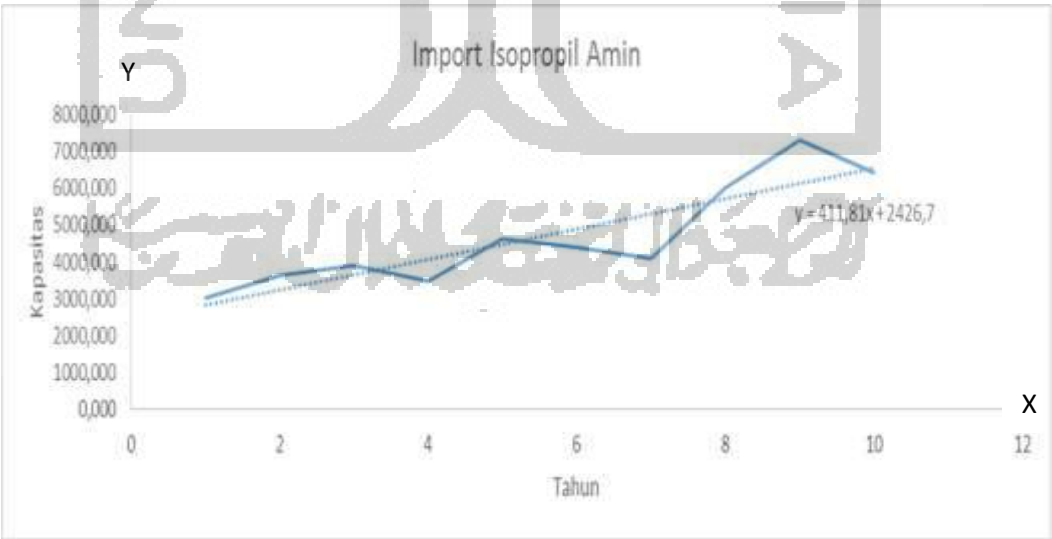


Gambar 1.2 Grafik Ekspor Isopropilamin

Tabel 1.4 Impor Isopropilamin di Indonesia

Tahun	Total (Ton)
2009	3.030,806
2010	3.651,153
2011	3.921,162
2012	3.492,680
2013	4.629,494
2014	4.394,984
2015	4.083,975
2016	5.986,125
2017	7.306,372
2018	6.419,433

(Sumber:www.bps.go.id,2018)



Gambar 1.3 Impor Isopropilamin di Indonesia

Tabel 1.5 Ketersediaan Bahan Baku Di Indonesia

Senyawa	Tersedia (Ton/Tahun)	Nama Pabrik	Lokasi
Hidrogen	120.540	PT. Air Liquid	Cilegon
Aseton	96.000	Wu Han Kang Zeng	Cina
Amonia	825.000	PT. Petrokimia Gresik	Gresik

Berdasarkan persamaan regresi *linear*, di perkirakan impor isopropilamin di Indonesia sebanyak 9431.250 ton/tahun pada tahun 2025. Secara matematis kapasitas produksi pabrik baru dapat ditulis sebagai berikut :

$$X = (A + B) – (C + D)$$

Dimana :

X = Kapasitas Produksi Pabrik Baru

A = Konsumsi Dalam Negri

B = Ekspor

C = Impor

D = Kapasitas Produksi Pabrik Lama

Sehubungan dengan rencana pendirian pabrik isoproplamin maka beberapa data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

a. Laju Import isopropilamin

Besarnya laju kebutuhan isopropilamin salama 7 tahun terakhir dapat dilihat dari Tabel 1.2 dapat diketahui bahwa laju konsumsi Isopropilamin tiap tahun mengalami kenaikan, sehingga pada tahun 2025 besar laju impor Isoproplamin

sebesar 9431.250 ton/tahun (Menggunakan Microsoft Excel). Dengan pendirian pabrik baru diharapkan kebutuhan dalam negeri sudah terpenuhi, sehingga import isopropilamin di tahun 2024 sama dengan nol.

b. Kapasitas pabrik lama

Dari Badan Pusat Statistik diketahui sampai tahun 2019 belum terdapat pabrik isopropilamin di indonesia, sehingga kapasitas pabrik lama sama dengan nol.

c. Laju konsumsi isopropilamin

Karena pabrik yang memproduksi isopropilamin belum ada, maka laju konsumsi sama dengan laju impor. Dengan demikian di tahun 2024, besar konsumsi Isopropylamine sebesar 9431.250 ton/tahun.

d. Ekspor

Pertumbuhan laju konsumsi isopropylamine cukup pesat, maka pendirian pabrik isopropilamin diharapkan memiliki andil dalam memenuhi permintaan dunia. Untuk itu 5% dari kapasitas produksi di ekspor.

Dengan menggunakan persamaan diatas, dapat dihitung kapasitas produksi pabrik yang baru yaitu :

$X = 9431.250 + 0 - (0,05 \times 9431.250) – 0$

$X = 9902.8125$ ton/tahun

Untuk itu Kapasitas terpasang pada Pabrik ini direncanakan sebesar : 10.000 ton/tahun dengan alasan pabrik isopropilamin yang telah berdiri di dunia sejauh ini

memiliki kapasitas terkecil 10.000 ton/tahun, sehingga kami memilih kapasitas 10.000 ton/tahun agar pabrik dapat berjalan optimal.

Tabel 1.6 Kualitas suatu produk Pabrik Isopropylamine

Komponen Utama	% Berat	Impuritis	% Berat
Isopropilamin	99 % (Minimal)	Aseton	1 % (Maximal)

(Sumber : www.bps.go.id,2013)

Dari tabel tersebut dapat diketahui perdagangan isopropylamin mempunyai kemurnian minimal 99 % dengan impuritis aseton (1 % max). Hal ini disebabkan karena dalam proses pembuatan isopropilamin aseton tidak dapat di pisahkan oleh separator.

1.2 TINJAUAN PUSTAKA

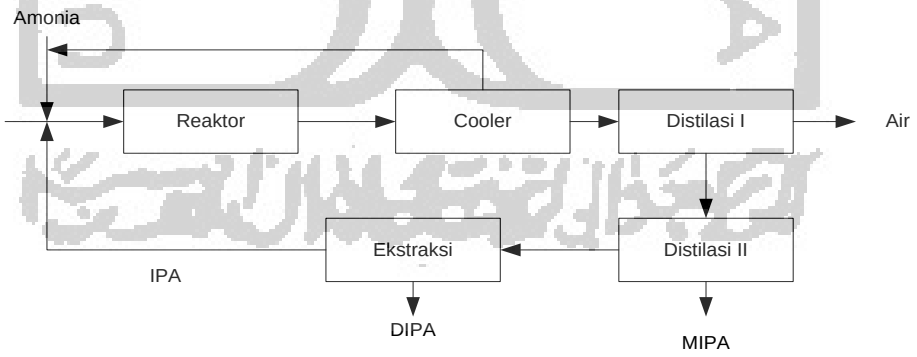
1.2.1 Macam-macam Proses

Pembuatan monoisopropilamin (MIPA) secara komersial dikenal ada empat macam proses, yaitu :

1. Proses dengan bahan baku amonia dan isopropanol
2. Proses dengan bahan baku amonia, isopropanol, dan hidrogen
3. Proses dengan bahan baku amonia, aseton, dan hidrogen
4. Proses dengan bahan baku amonia dan isopropil

Pada prinsipnya keempat proses tersebut hampir sama, yaitu pada suhu dan tekanan tinggi dalam fase gas. Secara garis besar proses tersebut terdiri dari dua unit utama yaitu amonisasi dan purifikasi (distilasi). Unit amonisasi merupakan unit pembentukan MIPA, sedang unit purifikasi adalah unit pemisahan atau pemurnian.

A. Proses dengan bahan Baku Amonia dan Isopropanol



Proses ini terjadi pada fase gas dengan menggunakan katalis dehidrasi yaitu alumina. Reaksi dijalankan pada reaktor fixed multiple bed, pada suhu 300 – 500

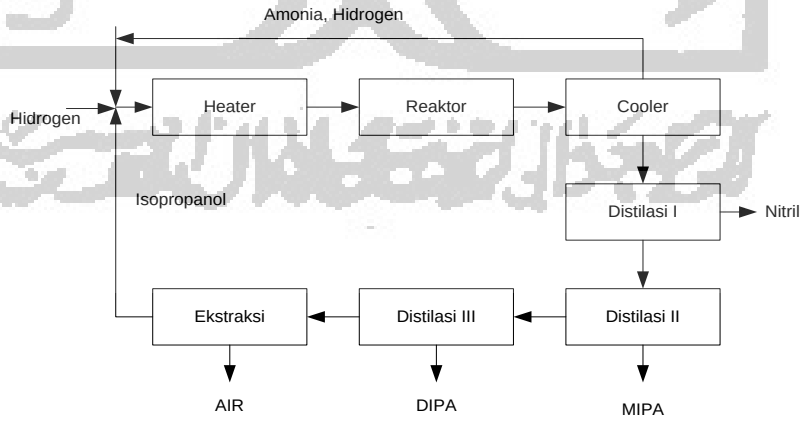
°C dan tekanan 790 – 3500 kPa (100 – 500 psig) dengan kecepatan gas 500 – 1500 vol/vol/jam.

Amonia dan isopropanol dari storage dengan perbandingan 6 : 1 dipanaskan dalam suatu heater sampai menjadi gas superheater, kemudian dimasukkan dalam suatu reaktor fixed multiple bed yang berisi katalis alumina. Reaksi yang terjadi adalah reaksi heterogen gas – solid.

$$NH_3 + (CH_3)_2CHOH \longrightarrow (CH_3)_2CHNH_2 + H_2O$$

MIPA crude selanjutnya mengalami proses pemurnian yaitu dengan jalan gas campuran MIPA, DIPA, NH_3, uap air, isopropanol didinginkan sehingga amonia yang tetap pada fase gas dapat dipisahkan dengan di recycle. Sedangkan MIPA dan air dipisahkan dengan cara distilasi, DIPA dan isopropanol dipisahkan dengan cara ekstraksi. Isopropanol yang dapat dari proses ekstraksi di recycle. Kemurnian MIPA yang diperoleh ± 99,9 % dan yield proses 80 %.

B. Proses dengan bahan Baku Amonia, Isopropanol, dan Hidrogen



Proses ini juga dijalankan pada fase gas tetapi menggunakan katalis dehidrogenasi yaitu tembaga. Reaksi terjadi pada reaktor fixed multiple bed dengan

suhu 130 – 250 °C tekanan 790 – 3550 kPa (100 – 500 psig) kecepatan gas 500 – 1500 vol/vol/jam. Reaksi yang terjadi adalah reaksi herogen gas solid. Reaksi utama sama dengan reaksi pada proses dengan bahan baku amonia dan isopropanol, dengan produk samping nitril, amida, dan DIPA.

Campuran amonia, isopropanol, dan hidrogen dengan perbandingan 6 : 1: 5 dipanaskan dengan heater sampai suhunya ± 200 °C sehingga seluruh *feed* berubah menjadi gas *superheated*. Campuran gas ini dimasukkan kedalam reaktor fixed multiple bed yang berisi katalis tembaga. Yang perlu dicatat adalah bahwa pada proses ini tidak dikonsumsi hidrogen. Hidrogen pada *feed* berfungsi untuk menjaga aktivitas katalis dengan cara menghambat pembentukan *coke*, sehingga katalis tidak cepat keracunan. Produk yang keluar dari reaktor dipisahkan dengan beberapa tahap untuk mendapatkan MIPA dengan kemurnian yang tinggi.

Tahap pertama adalah pendinginan (*cooler*) pada tahap ini dipisahkan amonia sisa reaksi dan hidrogen, karena hidrogen dan amonia tetap berbentuk gas. Tahap dua adalah tahap destilasi yang berfungsi untuk memisahkan air, nitril, amida, dan produk utama yaitu MIPA. Tahap terakhir yaitu ekstraksi yang berfungsi untuk memisahkan isopropanol di *recycle* untuk menghindari kehilangan bahan baku. Yield pada proses ini sekitar 97 % yang merupakan campuran DIPA dan MIPA. Kemurnian produk lebih rendah dari proses dengan bahan baku amonia dan isopropanol.

C. Proses dengan bahan Baku Amonia, Aseton, dan Hidrogen

Reaksi pada proses ini dijalankan pada kondisi yang sama dengan proses dengan bahan baku amonia, aseton, dan hidrogen. Perbedaan skema tersebut adalah pada proses penyerapan hidrogen secara reaksi, sehingga perlu diperhatikan disain reaktor. Karena selama proses akan terjadi penurunan tekanan yang cukup besar. Keuntungan proses ini adalah reaksi berjalan dengan cepat, sehingga yield nya tinggi dengan impurities yang sangat kecil.

Reaksi yang terjadi adalah :

$$CH_3COCH_3 + H_2 + NH_3 \longrightarrow (CH_3)CHNH_2 + H_20$$

Produk gas yang keluar dari reaktor dipisahkan dengan cara yang sama dengan proses bahan baku amoniak dan isopropanol.

D. Proses dengan bahan Baku Amonia dan Isopropil

Proses ini dijalankan sama dengan kondisi pada proses dengan bahan baku amonia dan isopropanol. Namun fungsi isopropanol sebagai zat yang mengalami amonisasi diganti dengan isopropil klorida. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$NH_3 + (CH_3)_2CHCl \longrightarrow (CH_3)_2CHNH_2 + HCl$$

Proses pemurnian MIPA sama seperti pada proses dengan bahan baku amonia dan isopropanol. Yield yg diperoleh sekitar 80%.

1.2.2 Seleksi Proses

Untuk mendapatkan proses yang terbaik dari berbagai proses yang ada, maka dilakukan seleksi dengan cara membuat perbandingan aspek teknis dan ekonomis dari masing – masing proses.

Tabel 1.7 Perbandingan pembentukan Isopropilamin berdasarkan proses

Parameter	Proses A	Proses B	Proses C	Proses D
1. Tekanan				
a. Proses				
- Kemurnian bahan baku	99,5 %	99,5 %	99%	98 %
- Kemurnian produk	99,9 %	99,5 %	99,9%	99,9 %
- Katalis	Alumina	Tembaga	Nikel	Alumina
- Yield	85%	97 %	98 %	84 %
b. Operasi				
- Suhu (°C)	300 – 500	130 – 250	105 – 269	300 – 500
- Tekanan (psig)	100 – 500	100 – 500	1 – 12	100 – 500
- Fase	Gas	Gas	Gas	Gas

(Sumber : www.patents.com,2013)

Berdasakan perbandingan tersebut, maka proses yang dipilih adalah proses C yaitu proses dengan bahan baku amonia, aseton, dan hidrogen dalam fase gas dengan katalis nikel, dasar pemilihan proses ini adalah sebagai berikut :

1. Kemurnian produk lebih tinggi
2. Yield tinggi
3. Kondisi Operasi yang lebih rendah dan aman dari pada proses yang lain
4. Alat proses yang di gunakan lebih sederhana dari proses lain

1.2.3 Sifat Reaktan dan Kegunaan

A. Aseton

Aseton juga dikenal sebagai propanon, dimetil keton, 2-propanon, propan-2-on, dimetilformaldehida, dan β-ketopropana, adalah senyawa berbentuk cairan yang tidak berwarna dan mudah terbakar. Ia merupakan keton yang paling sederhana. Aseton larut dalam berbagai perbandingan dengan air, etanol, dietil eter,dll. Ia sendiri juga merupakan pelarut yang penting. Aseton digunakan untuk membuat plastik, serat, obat-obatan, dan senyawa-senyawa kimia lainnya.

a. Sifat fisis Aseton

Berat Molekul	: 60 g/mol
Titik Didih (1 atm)	: 56,53 °C (329,4 K)
Titik Lebur (1 atm)	: −94,9 °C (178,2 K)
Density	: 0,79 g/cm³, cair
Viskositas	: 0,32 cP pada 20 °C

b. Sifat kimia Aseton

- Merupakan reduktor yang lebih lemah daripada aldehid
- Dapat menghasilkan alkohol sekunder
- Apabila dikondensasi dengan asetilen membentuk 2 metil 3 butynediol, suatu intermediate untuk isoprene
- Apabila dengan hidrogen sianida dalam kondisi basa akan menghasilkan aseton sianohidrin

Kegunaan Aseton : sebagai cairan pembersih, selain itu juga dapat sebagai pelarut berbagai macam plastik, dan juga sebagai stok umpan dalam bidang industri.

B. Amonia

Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus molekul NH_3. Senyawa ini di dapati berupa gas dengan bau tajam. Walaupun amonia memiliki sumbangan penting bagi keberadaan nutrisi di bumi. Amonia memiliki 2 sifat, yaitu sifat fisis dan sifat kimia :

a. Sifat fisis Amonia

Berat molekul	: 17 gram/gmol
Titik didih (1 atm)	: 239,7 K
Titik beku (1 atm)	: 195,4 K
Density kritis	: 0,639 gram/ml
Tekanan kritis	: 111,3 atm
Suhu kritis	: 405,6 K
Volume kritis	: 72,5 m^3/gmol

b. Sifat kimia Amonia (Kirk dan Othmer, 1991)

- Amonia dapat membentuk senyawa dengan garam dan membentuk senyawa yang baik. Meskipun senyawa tersebut bukan konduktor, tetapi dapat menyebabkan inisiasi suatu elektrolit.
- Amonia bereaksi secara katalitik dengan rantai alkil pada hidrokarbon aromatis nitrile, atau olefin dan beberapa rantai alkana.

Kegunaan amonia : Bahan campuran pupuk urea $CO(NH_2)_2$, sebagai bahan bakar roket, sebagai pembuat NH_4Cl, sebagai zat untuk membuat hidrazin (N_2H_4), sebagai bahan dasar pembuat bahan peledak.

C. Hidrogen

Hidrogen adalah unsur yang sangat berguna. Karena hidrogen digunakan untuk membuat amonia untuk pupuk, logam penyulingan, dan metanol untuk membuat bahan dasar seperti plastik.

a. Sifat fisis Hidrogen

Titik lebur : -259,140 ^{o}C

Titik didih : -252,87 ^{0}C

Warna : Tidak berwarna

Bau : Tidak berbau

Densitas : 0,08988 g/cm^3 pada 293 K

Kapasitas Panas : 14,304 J/gK

b. Sifat kimia Hidrogen

Panas Fusi : 0,117 kJ/mol H_2

Energi Ionisasi 1 : 1312 kJmol

Afinitas Electron : 72,7711 kJ/mol

Panas Atomisasi : 218 kJ/mol

Panas Penguapan : 0,904 kJ/mol H_2

Jumlah Kulit : 1

Biloks Minimum : -1

Elektronegatifitas : 2,18 (skala Pauli)

Konfigurasi Elektron : 1s1

Biloks Maksimum : 1

Volume Polarisasi : 0,7 Å3

Kegunaan : Hidrogen banyak di gunakan di berbagai jenis industri seperti industri pupuk, minyak goring, makanan, bahan bakar, dll.

1.2.4 Sifat Produk dan Kegunaan

A. Isopropilamin

Isopropilamin adalah senyawa organik, sebuah amina. Ini adalah cairan tidak berwarna higroskopis dengan bau seperti amonia. Senyawa ini mudah larut dengan air dan mudah terbakar. Senyawa ini adalah perantara yang berharga dalam industri kimia

a. Sifat fisis Isopropilamin

- Fase : Cair
- Berat molekul : 59,112 g/mol
- Kondisi penyimpanan : suhu 30 °C, tekanan 1 atm
- Titik didih : 33 °C (306,15 K)
- Titik leleh : -95,20 °C (177,95 K)
- Densitas : 688 mg/ml
- Temperatur kritis (Tc) : 337 °C
- Tekanan kritis (Pc) : 47 atm
- Tekanan uap : 63,41 kpa (pada 20 ^{o}C)
- Kapasitas panas : 163,85 JK-1 mol-1
- Kelarutan dalam air : Larut

Kegunaan utama isopropilamin adalah dalam bidang pertanian yaitu sebagai bahan baku pada industri pembuatan herbisida dan insektisida.

1.2.5 Tinjauan Termodinamika

Entalpi reaksi (ΔH) dapat digunakan untuk menentukan apakah reaksi endotermis atau eksotermis. Entalpi reaksi aseton,hidrogen dan amonia dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Ln\ Ke = -\Delta H^o/RT + \Delta S^o/R$$

Dari hasil plot antara ln Ke Vs 1/T diperoleh persamaan y = -7797,26x + 24,33. Maka dengan mensubtitusi nilai R = 0,00831447 kJ/mol.K pada slope, diperoleh nilai ΔH = 64,83 kJ/mol (Chandavasu,1997).

Karena entalpi reaksi bernilai positif, maka reaksi antara aseton, hidrogen, dan amonia merupakan reaksi endotermis. Untuk reaksi endotermis, maka kenaikan suhu akan mengakibatkan kenaikan harga konstanta kesetimbangan (K).

Pada kondisi suhu reaksi 105ºC, diperoleh konstanta kesetimbangan sebesar Ke = 3,114 (Chandavasu,1997). Harga K kecil, menunjukan bahwa reaksi pembuatan isopropilamin merupakan reaksi *reversible*.

Apabila ditinjau dari energi Gibbs (ΔGf^0):

ΔGf^0 C_3H_6O = -162,51 kjoule/mol

ΔGf^0 H_2 = -365,21 kjoule/mol

ΔGf^0 NH_3 = -339 kjoule/mol

ΔGf^0 C_3H_9N = -228,6 kjoule/mol

$\Delta Gf^0 = \Delta Gf^0$produk – ΔGf^0reaktan

= (-339 + (-228,6)) – (-162,51+(-365,21)) kjoule/mol

= -39,88 kjoule/mol

ΔGf^0 = -RT ln K

K = exp (ΔGf^0/RT)

= exp (−39,88 kJ/mol/(0,00831447 kJ/mol.K)x(336K))

= 6,3099E-07

K = $[C][D]/[A][B]$

K = $[X/83,7652][X/83,7652]/[(9,3072-X)/83,7652][(74,4579-X)/83,7652]$

K = $X^2/[9,3072-X][74,4579-X]$

6,3099E-07 = $X^2/[9,3072-X][74,4579-X]$

X = 8,2850

1.2.6 Tinjauan Kinetika

Konversi kesetimbangan yang dicapai pada kondisi operasi T = 105 ^{0}C, P = 0,39 atm dengan perbandingan mol aseton : hidrogen : amonia = 1 : 3 : 3 dan konsentrasi katalis nikel 1,1 mol/L adalah sebesar : XAe = 0,9581 (Chandavasu,1997).

Untuk reaksi *reversible*, konversi reaksi diambil 99% dari konversi kesetimbangan, maka diperoleh konversi reaksi sebesar XA = 0,9102 (Smith, 1985).

Secara umum reaksi esterifikasi aseton, hidrogen dan amonia dapat di simbolkan sebagai berikut:

$$A + B + C \rightleftharpoons D$$

Dimana :

A = aseton

B = hidrogen

C = amonia

D = isopropilamin

Persamaan kecepatan reaksinya :

$$(-ra) = k1.\ C_A.\ C_B.\ C_C - k\text{-}1.\ C_D.$$

Dengan :

k = konstanta kecepatan reaksi esterifikasi

k-1 = konstanta kecepatan reaksi hidrogenasi

C_A = konsentrasi aseton

C_B = konsentrasi hidrogen

C_C = konsentrasi amonia

C_D = konsentrasi isoropilamin

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

$C_B = C_{BO} - C_{AO}\ .\ X_A = C_{AO}.\ (M1 - X_A)$, dengan $M1 = C_{BO}/C_{AO}$

$C_C = C_{CO} - C_{AO} . X_A = C_{AO}. (M2 - X_A)$, dengan $M2 = C_{CO}/C_{AO}$

$C_D = C_{DO} - C_{AO} . X_A = C_{AO}. (M3 - X_A)$, dengan $M3 = C_{DO}/C_{AO}$

Persamaan kecepatan reaksinya menjadi:

$(-ra) = K1.C_{AO}^2.(1-X_A). (M1-X_A). (M2+X_A) - K_{-1}.C_{AO}^2.(M3+X_A)$

Dengan :

C_{AO} = konsentrasi aseton

X_A = konversi reaksi

k1 = 0,0233 L/mol.jam

k_{-1} = 0,007482 L/mol.jam

(Candavasu, 1997)