



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Secara umum, industri kimia di Indonesia menunjukkan kenaikan produksi yang cukup mantap walaupun sempat dilanda krisis moneter. Hal ini disebabkan adanya perluasan kapasitas produksi beberapa pabrik, pembangunan pabrik-pabrik kimia baru, dan makin meningkatnya permintaan pasar terutama pasar ekspor. Salah satu industri kimia yang mempunyai kegunaan penting dan memiliki prospek yang bagus adalah *hexamine*.

Hexamine merupakan salah satu produk industri kimia yang sangat penting. Selama perang Dunia II bahan ini banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan *cyclonite* yang mempunyai daya ledak sangat tinggi. Setelah masa perang usai, bahan peledak ini masih diperlukan untuk keperluan pertahanan dan keamanan. Selain sebagai bahan baku pembuatan peledak, *hexamine* banyak digunakan juga dalam berbagai bidang antara lain: bidang kedokteran (bahan baku antiseptik), industri resin (*curing agent*), industri karet (*accelerator* yaitu agar karet menjadi elastis), industri tekstil (*shrink-proofing agent* untuk memperindah warna), industri serat selulosa (menambah elastisitas), pada industri buah digunakan sebagai fungisida pada tanaman jeruk untuk menjaga tanaman dari serangan jamur, sebagai bahan anti korosi dalam industri logam, pendeteksi logam, sebagai bahan penyerap gas beracun dan sebagai anti *caking agent* (penggumpalan) dalam industri pupuk urea (Kent, 1974).

Melihat banyaknya kegunaan *hexamine* dalam berbagai bidang dan perkembangan industri di Indonesia yang memanfaatkan produk ini sebagai bahan baku, maka pendirian pabrik ini sangat diperlukan. Selain itu, secara tidak langsung pendirian pabrik *hexamine* diharapkan dapat:

1. Membuka lapangan kerja baru, sehingga menurunkan tingkat pengangguran,
2. Menghemat devisa negara karena mengurangi beban impor, dan



3. Dapat memacu pertumbuhan industri-industri hulu khususnya yang memproduksi formaldehid dan amoniak, serta memacu pertumbuhan industri-industri hilir yang menggunakan *hexamine* sebagai bahan baku maupun bahan pembantu.

1.2 Kapasitas Perancangan

Penentuan kapasitas produksi *hexamine* didasarkan pada tiga pertimbangan:

- a. Data impor produk
- b. Ketersediaan bahan baku
- c. Kapasitas pabrik yang sudah ada

1. Data Impor Produk

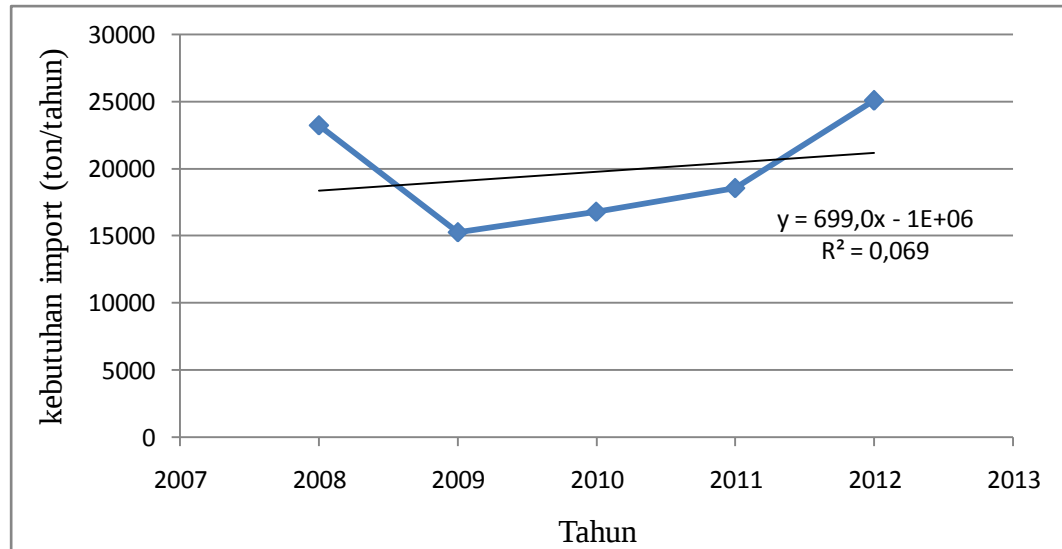
Kebutuhan *hexamine* dalam negeri masih banyak didatangkan dari luar negeri. Hal ini dapat dilihat dari data impor Badan Pusat Statistik

Tabel 1.1 Data impor produk *hexamine* 2008-2013.

Tahun	Jumlah (Ton)
2008	23.2417
2009	15.2820
2010	16.8289
2011	18.5779
2012	25.0892
2013	21.4410

(Badan Pusat Statistik, 2013)

Dari data impor Tabel 1.1 di atas, kemudian dilakukan regresi linier untuk mendapatkan kecenderungan kenaikan impor *hexamine*, termasuk memperkirakan impor *hexamine* pada tahun 2014 di Indonesia. Data impor dan persamaan hasil regresi linier ditunjukkan dalam Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Data import *hexamine* setiap tahun pada prarancangan pabrik *hexamine* dengan proses Leonard kapasitas 35.000 Ton/Tahun.

Kenaikan impor *hexamine* sesuai dengan persamaan garis lurus:

$$\text{Impor} = 699 \times \text{tahun} - 1000000$$

Dari persamaan tersebut dapat dihitung besarnya impor *hexamine* pada tahun 2014 adalah sebesar 28.576 Ton/Tahun. Dengan prediksi kebutuhan *hexamine* di atas maka ditetapkan perancangan kapasitas pabrik sebesar 35.000 Ton/Tahun. Kelebihan produksi dialokasikan untuk ekspor di kawasan Asia, seperti: Filipina, Singapura, China, India, dan Pakistan, yang juga masih membutuhkan *hexamine*, serta tidak menutup kemungkinan untuk diekspor di kawasan lainnya.

2. Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku untuk memproduksi *hexamine* yang berupa amoniak dan formaldehid banyak dihasilkan oleh pabrik-pabrik dalam negeri baik di pulau Kalimantan maupun di luar Kalimantan. Bahan baku amoniak dapat diperoleh dari PT Pupuk Kaltim yang memproduksi amoniak sebesar 1,85 juta ton/tahun. Sedangkan bahan baku formaldehid diperoleh dari beberapa perusahaan penghasil formaldehid yang terletak di Kalimantan yaitu:



Tabel 1.2 Pabrik penghasil formaldehid.

No.	Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas (Ton/tahun)
1	PT Batu Penggal Chemical Industry	Palaran, Samarinda	28.000
2	PT Benua Multi Lestari	Pontianak	68.000
3	PT Cakram Utami Jaya	Palaran, Samarinda	10.492
4	PT Duta Pertiwi Nusantara	Pontianak	50.000
5	PT Citra Gelora Kimia Abadi	Barito, Banjarmasin	48.000
6	PT Giat Ultra Chemical Industry	Barito Kuala, Kalimantan Selatan	20.000
7	PT Korindo Aria Bima Sari	Pangkalan Bun, Kalimantan Tengah	15.000
8	PT Kurnia Kapuas Utama	Pontianak	38.000
9	PT Lakosta Indah	Makujenang, Samarinda	30.000

(Anonim, 2013)

3. Kapasitas Minimal

Untuk menentukan kapasitas pabrik perlu juga memperhitungkan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi (Anonim, 2013):

Tabel 1.3 Kapasitas pabrik yang sudah ada.

No.	Nama perusahaan	Lokasi	Kapasitas (ton/tahun)
1.	New Tech Polymer India P.Ltd.	India	18.000
2.	Jinan Sanhoos Trase Co.,Ltd.	China	12.000
3.	Jinan Xingxing Auxiliary Agent Factory	China	1.200
4.	Wuhan Chujiang Chemical Co.,Ltd.	China	5.000
5.	Kanoria Chemicals & Ind.Ltd.	India	20.000
6.	Sina Chemical Industrial	Iran	25.000
7.	Jinan Xiangrui Chemical Co.,Ltd.	China	50.000
8.	PT Intan Wijaya International Tbk	Indonesia	8.000

PT Intan Wijaya International Tbk merupakan pabrik penghasil *hexamine* dengan kapasitas produksi 8.000 Ton/Tahun yang berlokasi di Banjarmasin, Kalimantan Selatan (Anonim, 2013). Berdasarkan data kebutuhan impor, ketersediaan bahan baku, dan kapasitas pabrik yang sudah ada, pada prarancangan pabrik ini ditetapkan kapasitas 35.000 Ton/Tahun.



1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi suatu pabrik dapat mempengaruhi kedudukan pabrik dalam persaingan maupun kelangsungan hidup pabrik tersebut. Pemilihan lokasi pabrik yang tepat, ekonomis, dan menguntungkan dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sebelum pabrik didirikan perlu dilakukan studi kelayakan terhadap faktor-faktor primer maupun faktor sekunder.

1. Faktor Primer

Faktor primer secara langsung mempengaruhi tujuan utama dari usaha pabrik. Tujuan utama ini meliputi kegiatan produksi dan distribusi produk yang diatur menurut macam dan kualitas, waktu dan tempat yang dibutuhkan konsumen pada tingkat harga yang terjangkau, sementara masih memperoleh keuntungan yang wajar. Faktor primer meliputi enam hal:

a. Letak pasar

Tujuan lokasi pabrik mendekati pasar adalah untuk menghemat biaya distribusi produk dan agar produk dapat segera sampai ke konsumen. Pemasaran produk *hexamine* untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang tersebar di daerah Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan daerah lain di Indonesia. Pemasaran dalam negeri dapat langsung diserap oleh PT Pindad dan PT Dahana (Jawa Barat) sebagai pabrik pembuat bahan peledak.

b. Letak sumber bahan baku

Keuntungan letak pabrik dekat dengan sumber bahan baku yaitu:

1. Menyangkut masalah keamanan arus bahan baku
2. Tingkat kerusakan bahan baku kecil
3. Biaya transportasi bahan baku relatif murah

Bahan baku amoniak diambil dari PT Pupuk Kaltim dengan kapasitas produksi 1,85 juta ton/tahun dan bahan baku formaldehid diambil dari beberapa pabrik penghasil formaldehid di daerah Kalimantan. Untuk meningkatkan efektivitas kerja dan menekan biaya produksi maka pemilihan Provinsi Kalimantan sebagai lokasi pendirian pabrik adalah tepat karena masih dalam satu kawasan.



c. Fasilitas transportasi

Bontang merupakan kawasan industri. Telah tersedianya sarana transportasi yang memadai yaitu jalan raya sebagai sarana transportasi darat dan tersedia pelabuhan sebagai sarana transportasi laut sehingga memudahkan dalam transportasi bahan baku dan pemasaran produk, di samping itu dapat memperkecil biaya investasi.

d. Tenaga kerja

Tenaga kerja di Indonesia cukup banyak sehingga kebutuhan tenaga kerja mudah diperoleh, dapat dijamin adanya penyediaan tenaga kerja yang cukup, dari tingkat sarjana sampai tenaga kasar.

e. Utilitas

Utilitas yang utama meliputi penyediaan air, *steam*, bahan bakar, dan listrik. Penyediaan air diperoleh dari Sungai Kapuas, dan bahan bakar sebagai sumber energi diperoleh dengan membeli dari Pertamina, dan untuk listrik didapat dari PLN serta menyediakan generator untuk cadangan.

f. Perizinan

Bontang merupakan kawasan industri yang ditetapkan pemerintah dan berada dalam teritorial negara Indonesia sehingga secara geografis pendirian pabrik di kawasan tersebut tidak bertentangan dengan kebijakan pemerintah.

2. Faktor Sekunder

Faktor sekunder meliputi lima hal:

a. Perluasan area pabrik

Perluasan area pabrik memungkinkan untuk pengembangan lebih jauh serta penambahan kapasitas produksi di masa mendatang.

b. Peraturan daerah dan keberadaan masyarakat

Diusahakan tidak mengganggu dan menjadi hambatan bagi masyarakat sekitar dalam pendirian, operasi, dan berkembangnya pabrik. Biasanya masyarakat akan terbiasa dengan berada di daerah dekat dengan pabrik karena akan mendapatkan keuntungan antara lain dengan terbukanya

lapangan kerja dan dapat mendirikan usaha kecil di sekitar lokasi pabrik.

c. Iklim

Kondisi iklim di Kalimantan Timur seperti keadaan iklim di Indonesia pada umumnya dan tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap proses produksi.

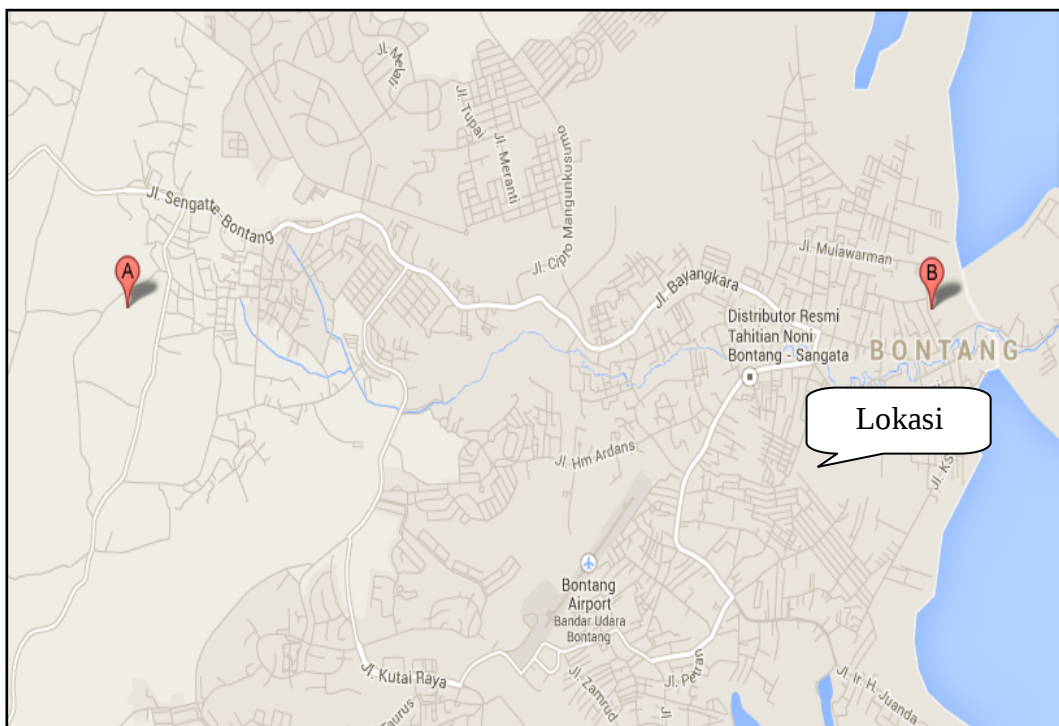
d. Limbah buangan pabrik

Buangan limbah cair yang mengandung bahan kimia terlebih dahulu diolah di *waste water treatment* agar tidak mencemari ketika limbah tersebut dibuang ke sungai.

e. Prasarana

Adanya prasarana pendidikan, tempat ibadah, hiburan, bank, perumahan, pusat perbelanjaan, dan lain-lain.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut di atas, lokasi pendirian pabrik dipilih daerah Bontang, Kalimantan Timur.



Gambar 1.2 Lokasi pendirian pabrik *hexamine* dengan proses Leonard kapasitas 35.000 Ton/tahun.



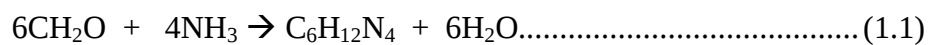
1.4 Tinjauan Pustaka

1. Macam-macam Proses

Pembuatan *hexamine* secara komersial dengan bahan baku amoniak dan formaldehid dapat dilakukan dengan tiga proses:

a. Proses Meissner

Proses ini pertama kali dikembangkan oleh Firtz Meissner pada tahun 1950 di Jerman Barat. Bahan baku yang digunakan adalah gas amoniak anhidrat dan gas formaldehid. Reaksi yang terjadi:



Formaldehid dialirkan dari tangki formaldehid masuk ke dalam reaktor bersama amoniak. Reaksi yang terjadi sangat cepat sehingga yang mengontrol kecepatan reaksi adalah kecepatan pembentukan kristal *hexamine*. Pada proses ini panas reaksi yang terjadi pada reaktor digunakan untuk menguapkan air hasil reaksi. Reaktor dalam proses ini didesain sangat khusus, karena selain sebagai tempat reaksi antara gas amoniak dan gas formaldehid juga digunakan sebagai *evaporator* dan *crystallizer*. Suhu reaksi adalah 40°C. Untuk menjaga suhu reaksi digunakan gas inert ataupun dengan pengaturan tekanan total saat campuran dalam reaktor mendidih. Hal ini untuk mengurangi kebutuhan pendingin. Produk *hexamine* keluar reaktor dengan konsentrasi 25-30%. Dengan adanya panas yang terbentuk, *hexamine* dapat dikristalkan langsung dengan reaktor. Uap dalam reaktor dikondensasikan, sedangkan bahan inert serta impuritas seperti metanol dibuang dari bagian atas reaktor sebagai *waste gas*. Gas ini masih mengandung hidrogen 18-20% dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Dari reaktor produk masuk ke dalam *centrifuge* untuk dicuci dengan air kemudian dikeringkan dan dipasarkan. Konversi dari proses ini adalah 97% dan *yield* proses ini mencapai 95% (European Patent Office no.0468353b).



b. Proses Leonard

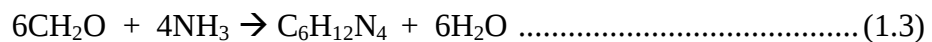
Bahan baku yang digunakan dalam proses ini adalah amoniak cair dan larutan formaldehid dengan konsentrasi 37%. Reaksi yang terjadi:



Reaksi berlangsung pada suhu 30-50°C dengan pH 7-8. Untuk mempertahankan suhu digunakan pendingin air. Larutan formaldehid yang mengandung metanol kurang dari 2% diumpankan bersama dengan amoniak cair ke dalam reaktor. Produk yang keluar dari reaktor kemudian masuk ke dalam *evaporator*. Di dalam *evaporator* terjadi penguapan sisa-sisa reaktan dan mulai terjadi proses pengkristalan. Produk keluar *evaporator* kemudian dimasukkan ke dalam *centrifuge* dan dikeringkan di *dryer*, setelah itu produk kemudian dikemas. Dengan proses ini dapat diperoleh *yield overall* sebesar 95-96% berdasarkan reaktan formaldehid (Kent, 1974). Konversi dari reaksi pembuatan *hexamine* dari amoniak dan formaldehid pada proses ini adalah 98% (Kermode and Steven, 1965).

c. Proses AGF Lefebvre

Bahan baku yang digunakan dalam proses ini adalah larutan formaldehid bebas metanol sebesar 30-37% berat dan gas anhidrat amoniak. Reaksi yang terjadi:



Bahan baku formaldehid diumpankan ke dalam reaktor yang dilengkapi dengan pengaduk dan gas amoniak anhidrat diumpankan secara pelan-pelan dari bagian bawah reaktor. Reaksi berlangsung dalam kisaran suhu 20-30°C dan merupakan reaksi eksotermis sehingga membutuhkan pendingin. Untuk menyempurnakan reaksi maka digunakan amoniak berlebih. Produk yang keluar dari reaktor kemudian masuk ke dalam *vacuum evaporator*. Dalam *evaporator* bahan mengalami pemekatan dan pengkristalan. Kristal yang terbentuk dikumpulkan di bagian bawah *evaporator* yaitu di dalam *salt box* kemudian diumpankan ke dalam *centrifuge* untuk memisahkan kristal



hexamine dan air. Untuk memperoleh bahan dengan kemurnian yang tinggi, air yang masih banyak mengandung kristal *hexamine* (*mother liquor*) yang keluar dari *centrifuge* dikembalikan ke *evaporator*. Setelah ini produk dikeringkan dan dikemas. Dengan proses ini mempunyai konversi 97% dan didapatkan *yield* sebesar 95% (Grupta, 1987).

Dengan membandingkan ketiga macam proses di atas, sebagaimana diringkaskan dalam Tabel 1.4 maka dalam perancangan pabrik *hexamine* dipilih proses Leonard dengan empat pertimbangan:

1. Reaksi yang berlangsung merupakan reaksi homogen fase cair sehingga penanganan lebih mudah jika dibandingkan dengan reaksi fase heterogen yaitu gas dan cair.
2. Konversi yang dihasilkan cukup besar yaitu 98% dan *yield* 95-96% dibandingkan dengan proses Meissner yaitu konversi 97% dan *yield* 95% dan proses AGF Lefebvre yaitu konversi 97% dan *yield* 95%.
3. Panas reaksi yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan proses lainnya, sehingga memudahkan pengontrolan suhu reaktor.
4. Dengan panas yang kecil maka kebutuhan pendingin lebih sedikit. Hal ini dapat menghemat biaya operasi reaktor.

Tabel 1.4 Perbandingan proses pembuatan *hexamine*.

No.	Sifat	Proses		
		Meissner	Leonard	AGF Levebvre
1	Fase bahan baku	Gas-gas	Cair-cair	Cair-gas
2	Suhu reaksi (°C)	20-30	30-50	20-30
3	Tekanan reaksi (atm)	1	16	1
4	Konversi	97%	98%	97%
5	<i>Yield</i>	95%	96%	95%

2. Kegunaan Produk

Selain sebagai bahan baku *cyclonite*, *hexamine* banyak digunakan dalam berbagai bidang:

- a. Dalam bidang kedokteran sebagai bahan antiseptik yang dikenal sebagai urotropin
- b. Sebagai bahan anti korosi dalam industri logam
- c. Sebagai bahan pendeteksi logam



- d. Sebagai bahan penyerap gas beracun
 - e. Sebagai anti *caking agent* (penggumpalan) dalam industri pupuk urea
 - f. Dalam industri resin digunakan sebagai bahan aditif
 - g. Dalam industri karet dimanfaatkan sebagai *accelerator* dan untuk mencegah karet tervulkanisasi
 - h. Sebagai *shrink-proofing agent* dalam industri tekstil yaitu untuk memperindah warna
 - i. Digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan serat selulosa (menambah elastisitas)
 - j. Dalam industri makanan (buah) dimanfaatkan sebagai bahan fungisida
- (Kent, 1974)

3. Sifat-sifat Fisik dan Kimia

1. Amoniak (NH_3)

Sifat-sifat fisik:

Berat molekul	: 17 kg/kmol
Fase	: cair
Warna	: tak berwarna
Berat jenis	: 618 kg/m^3
Titik didih	: -33°C

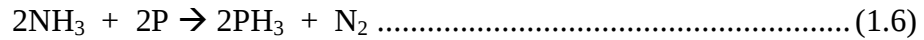
Sifat-sifat kimia:

- a. Amoniak bereaksi dengan formaldehid menghasilkan *hexamine* dan air, reaksi yang terjadi:
$$6\text{CH}_2\text{O}_{(\text{aq})} + 4\text{NH}_3_{(\text{aq})} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4_{(\text{aq})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \dots\dots\dots (1.4)$$
- b. Amoniak stabil pada temperatur sedang, tetapi terdekomposisi menjadi hidrogen dan nitrogen pada temperatur yang tinggi, pada tekanan atmosfer dekomposisi terjadi pada $450\text{-}500^\circ\text{C}$
- c. Oksidasi amoniak pada temperatur yang tinggi menghasilkan nitrogen dan air
- d. Reaksi antara amoniak dan karbondioksida menghasilkan amonium karbamat, reaksi yang terjadi:
$$2\text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NH}_2\text{CO}_2\text{NH}_4 \dots\dots\dots (1.5)$$



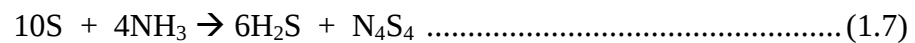
Amonium karbamat kemudian terdekomposisi menjadi urea dan air

- e. Amoniak bereaksi dengan uap fosfor pada panas yang tinggi menghasilkan nitrogen dan *phospine*

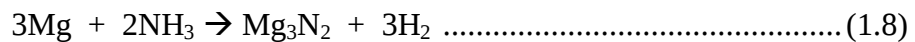


- f. Amoniak bereaksi dengan uap belerang menghasilkan amonium sulfat dan nitrogen

- g. Belerang dan amoniak anhidrat cair bereaksi menghasilkan hidrogen sulfida



- h. Pemanasan amoniak dengan logam yang reaktif seperti magnesium menghasilkan magnesium nitrit



- i. Reaksi antara amoniak dan air bersifat *reversible*. Reaksi yang terjadi:



Kelarutan amoniak turun dengan cepat dengan naiknya temperatur

- j. Halogen bereaksi dengan amoniak. Klorin dan bromin melepaskan nitrogen dari amoniak yang berlebihan untuk menghasilkan garam-garam amonium

- k. Reaksi antara amoniak dan *ethyleneoxide* akan membentuk mono-, di-, dan *triethanolemine*

(Kirk and Othmer, 1981)

2. Formaldehid (CH₂O)

Sifat-sifat fisik:

Berat molekul : 30 kg/kmol

Fase : cair

Bau : tajam

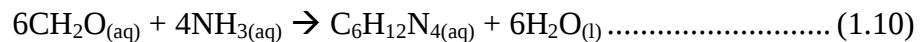
Warna : tak berwarna

Berat jenis : 815,3 kg/m³

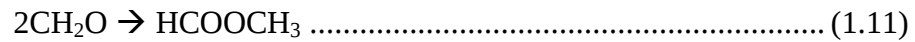
Titik didih : 33°C

Sifat-sifat kimia:

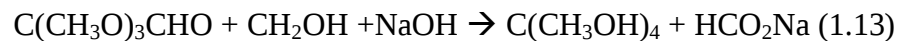
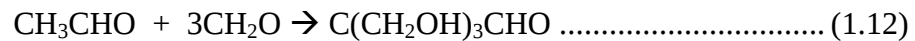
- a. Bereaksi dengan amoniak membentuk *hexamine* dan air



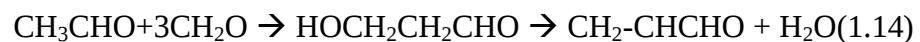
- b. Formaldehid akan tereduksi menjadi metal format dengan bantuan katalis tembaga atau asam borat, reaksi yang terjadi:



- c. Bereaksi dengan asetaldehid pada fase cair membentuk *pentaerythriol*



- d. Bereaksi dengan asetaldehid pada fase gas dan suhu 285°C membentuk akrolein



- e. Pada kondisi katalis asam dan fase cair formaldehid bereaksi dengan alkohol membentuk formals, misalnya *dimethoxymethane* dari metanol. Reaksi yang terjadi:



- f. Reaksi antara larutan formaldehid dengan hidrogen sianida menghasilkan *glyconitrile*:



- g. Formaldehid bereaksi dengan *acetylene* dengan bantuan katalis tembaga atau perak *acetylide* menghasilkan *acetylene alcohol* (reaksi Reppe)



- h. Formaldehid bereaksi dengan syntesis gas (CO , H_2) menghasilkan etilen glikol melalui dua tingkat proses:



(Kirk and Othmer, 1992)

3 Hexamine ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$)

Sifat-sifat fisik:

Berat molekul : 140,19 kg/kmol

Fase : padat

Bentuk : kristal

Warna : putih dan berkilauan



Berat jenis : 1,331 kg/m³

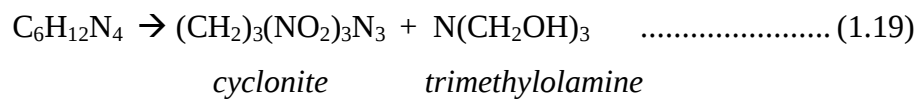
Titik didih : 280°C

Titik leleh : 200°C

Sifat-sifat kimia:

- a. Pada reaksi nitrasi *hexamine* akan dihasilkan *cyclotrimethylenetrinitramine* yang mempunyai daya ledak tinggi

Reaksi yang terjadi:



- b. *Hexamine* tidak bereaksi dengan alkohol pada kondisi netral ataupun biasa, tetapi bereaksi pada kondisi asam membentuk garam amonium.

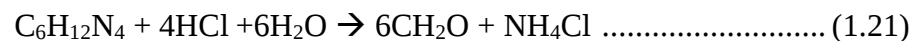
Reaksinya:



- c. Reaksi dengan senyawa anorganik

Jika *hexamine* dipanaskan dengan asam kuat dan fase cair akan terhidrolisis membentuk formaldehid dan garam amonium

Reaksi yang terjadi:



(Kirk and Othmer, 1992)

4. Tinjauan Proses secara Umum

Reaksi pembentukan *hexamine* termasuk reaksi kondensasi. Bahan bakunya adalah amoniak dan formaldehid. Secara umum kondisi operasi dari proses sintesis *hexamine* adalah:

Tekanan : 16 atm

Temperatur : 40°C

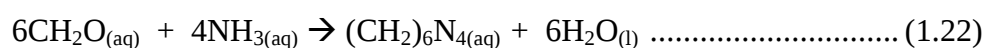
Konversi : 98%

Rasio mol NH₃ : CH₂O : 2:3

Reaktor : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)

Fase reaksi : Cair-cair

Reaksi yang terjadi:





Tahap pembuatan *hexamine* secara garis besar:

1. Penyediaan bahan baku

Merupakan tahap awal perlakuan bahan baku (reaktan) sebelum direaksikan di dalam reaktor, meliputi penyimpanan bahan dalam kondisi cair yaitu menggunakan kondisi bertekanan dan penyesuaian suhu.

2. Pembentukan produk

Merupakan tahap reaksi antara CH_2O dan NH_3 membentuk $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ dan H_2O .

3. Pemurnian dan pengkristalan produk

Merupakan tahap penghilangan sisa-sisa reaktan yang masih ada dan pengkristalan produk.

4. Pengemasan dan penyimpanan produk

Pengemasan dan penyimpanan disesuaikan dengan produk atau fase.