

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) di Indonesia yang semakin berkembang sangat berpengaruh terhadap inovasi-inovasi terbaru dalam berbagai bidang industri. Pembangunan industri sebagai bagian dari usaha ekonomi jangka panjang diarahkan untuk menciptakan struktur ekonomi yang lebih baik dan seimbang, yaitu struktur ekonomi yang di titik beratkan pada industri maju dengan didukung dengan pertanian yang tangguh. Industri yang terus melakukan inovasi dan perkembangan adalah industri kimia, perkembangan yang terjadi akibat permintaan pasar yang terus meningkat, baik kebutuhan bahan baku maupun bahan penunjang lainnya.

Jumlah dan macam industri yang belum dapat dipenuhi sendiri cukup banyak dan biasanya diperoleh dengan cara mengimpor dari negara lain. Salah satu bahan yang diimpor dalam jumlah banyak adalah Melamin. Melamin adalah senyawa basa organik dengan rumus kimia $C_3H_6N_6$ dan memiliki nama IUPAC 1,3,5-triazina-2,4,6-triamina. Melamina adalah trimer dari sianamida, dan seperti sianamida, ia mengandung 66% Nitrogen (berdasarkan massa). Dia merupakan metabolit dari siromazina, sejenis pestisida.

Melamin terbentuk dalam tubuh mamalia yang mengonsumsi siromazina. Melamin diantaranya digunakan sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, bahan pencampur cat, pelapis kertas, tekstil, leather tanning dan lain-lain. Bahan baku yang digunakan pada proses pembuatan melamin adalah urea dan campuran amoniak dengan katalis alumina, namun dengan tekanan yang tinggi proses pembuatan melamin dilakukan tanpa menggunakan katalis.

Tingginya kebutuhan melamin harus seimbang dengan peningkatan produksinya, sehingga kebutuhan dalam negeri dapat terpenuhi. Meningkatnya permintaan dari dalam negeri belum mampu terpenuhi dengan ketersediaan melamin sehingga Indonesia masih mengimpornya dari Negara Luar. Di Indonesia ada dua pabrik yang memproduksi melamin yaitu PT. Sri Melamine Rejeki (SMR) di Palembang dengan Kapasitas 20.000 Ton/Tahun dan PT. DSM Kaltim Melamine di Kalimantan Timur dengan Kapasitas 50.000 Ton/tahun.

Senyawa melamin di Indonesia memiliki peluang yang baik untuk dikembangkan, baik dari segi bahan baku maupun pasarnya. Sehingga sangat tepat apabila Indonesia mendirikan pabrik melamin dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang cenderung meningkat di setiap tahunnya, demi mengurangi impor dari luar negeri dan membuka lapangan pekerjaan baru untuk mengurangi pengangguran yang ada di Indonesia.

1.2 Tinjauan Pustaka

Melamin pertama kali disintesis oleh Liebig pada tahun 1834. Pada produksi awal, kalsium sianamida diubah menjadi disiandiamida, kemudian dipanaskan di atas titik leburnya untuk menghasilkan melamin. Namun, pada zaman sekarang, kebanyakan pabrik industri menggunakan urea untuk menghasilkan melamin melalui reaksi berikut :



Selanjutnya melamin banyak dijumpai pada aplikasi industri untuk proses produksi resin melamin formaldehid. Pada sekitar tahun 1960, melamin diproduksi dari dicyanamid. Proses ini berlangsung didalam *autoclave* pada tekanan 10 Mpa dan suhu 400⁰ C dengan adanya gas amoniak, sesuai persamaan reaksi :



Pada awal 1940, Mackay menemukan bahwa melamin juga bisa disintesa dari urea pada suhu 400⁰ C dengan atau tanpa katalis. Sejak saat itu melamin mulai diproduksi dari bahan baku urea. Dan penggunaan cyanamid sebagai bahan baku dihentikan pada akhir dekade 1960.

Macam - macam Proses

Melamin dapat disintesa dari urea pada suhu 350 – 400⁰ C dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Reaksinya bersifat endotermis membutuhkan 629 KJ per mol melamin. Secara garis besar proses pembuatan melamin dapat diklasifikasikan menjadi 2 :

1. Proses tekanan rendah dengan menggunakan katalis.
2. Proses tekanan tinggi (38 Mpa) tanpa menggunakan katalis.

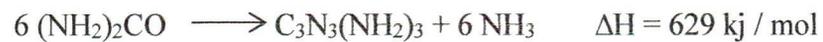
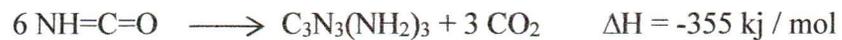
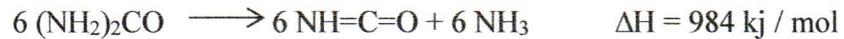
Masing-masing proses terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap sintesa, recovery dan pemurnian melamin serta pengolahan gas buang.

1. Proses Tekanan Rendah Dengan Menggunakan Katalis

Proses tekanan rendah dengan katalis menggunakan reaktor Fluidized bed pada tekanan atmosferik sampai 1 Mpa pada suhu 390 – 410⁰ C. Sebagai fluidizing gas digunakan amoniak murni atau campuran antara amoniak dan proses tekanan rendah dengan katalis menggunakan reaktor Fluidized bed pada tekanan atmosferik sampai 1 Mpa pada suhu 390 – 410⁰ C. Sebagai fluidizing gas digunakan amoniak murni atau campuran antara amoniak dan karbondioksida yang terbentuk selama reaksi. Katalis yang digunakan yaitu silica dan alumina.

Melamin meninggalkan reaktor berupa gas bersama dengan *fluidizing* gas. Kemudian dipisahkan dari amoniak dan karbondioksida dengan *quenching* gas atau menggunakan air (yang diikuti dengan kristalisasi). Pada proses menggunakan

katalis, langkah pertama adalah dekomposisi urea menjadi asam isocyanat dan amoniak kemudian diubah menjadi melamin berikut mekanisme Reaksi :



Yield yang diperoleh adalah 90-95 %. Ada 4 proses pada tekanan rendah yaitu:

a. Proses BASF (Badische Anilin and Soda Fabrik)

Pada proses ini menggunakan reaktor satu stage, dimana lelehan urea diumpankan ke fluidized bed reaktor pada suhu 395-400⁰ C pada tekanan atmosferik. Katalis yang digunakan adalah alumina dengan fluidizing gas berupa amoniak dan karbondioksida. Suhu reaktor dijaga dengan mensirkulasi lelehan garam dengan menggunakan koil pemanas. Produk yang keluar dari reaktor berupa gas terdiri dari campuran melamin, urea yang tidak bereaksi, biuret, amoniak dan karbondioksida. Katalis yang terbawa aliran gas ditahan pada siklon separator dalam reaktor.

Campuran gas tersebut didinginkan dalam cooler sampai temperatur dew point campuran gas produk. Campuran gas kemudian masuk desublimer lalu bercampur dengan off gas yang telah direcycle pada temperatur 140⁰ C hingga berbentuk kristal melamin. Lebih dari 98 % melamin dapat mengkristal. Kristal melamin yang dihasilkan dipisahkan dari campuran gas dengan menggunakan siklon. Gas recycle dari siklon dialirkan ke scrubber atau washing tower untuk mengambil urea yang tidak beraksi, dan gas digunakan sebagai fluidizing gas pada reaktor dan media pendingin pada desublimer. Proses ini dapat menghasilkan melamin dengan kemurnian 99,9 %.

b. Proses Chemie linz

Proses ini ada dua tahap, tahap pertama yaitu *molten urea* terdekomposisi dalam *Fluidized Sand Bed Reactor* sehingga menjadi amoniak dan *isocyanic acid* pada kondisi suhu 350°C dan tekanan 0,35 Mpa. Amoniak digunakan sebagai fluidizing gas. Panas yang dibutuhkan untuk dekomposisi disuplai ke reaktor oleh lelehan garam panas yang disirkulasi melalui koil pemanas. Aliran gas kemudian diumpankan ke *fixed bed reactor* dimana asam *isocyanic* dikonversi menjadi melamin pada suhu 450°C dan tekanan mendekati tekanan atmosfer. Melamin dipisahkan dari hasil reaksi yang berupa fase gas melalui quenching dengan menggunakan air *mother liquor* yang berasal dari *centrifuge*. Suspensi melamin dari quencer didinginkan lalu dikristalisasi menjadi melamin. Setelah di *centrifuge*, kristal dikeringkan dan dimasukkan ke penyimpanan.

c. Proses Stamicarbon

Seperti pada proses BASF, proses DSM Stamicarbon menggunakan reaktor satu stage. Proses berlangsung pada tekanan 0,7 Mpa, dengan fluidizing gas berupa amoniak murni. Katalis yang digunakan berupa alumina dan silika. Lelehan urea diumpankan kedalam reaktor bagian bawah. Katalis silika alumina difluidisasi oleh amoniak yang masuk ke reaktor bagian bawah dari reaktor fluidized bed. Reaksi dijaga pada suhu 400°C dengan mensirkulasi lelehan garam melewati koil pemanas dalam bed katalis.

Melamin yang terkandung dalam campuran zat keluaran reaktor kemudian di quenching. Pertama dalam *quench cooler* kemudian dalam *scrubber* untuk di srub dengan *mother liquor* dari *centrifuge*. Dari *scrubber*, suspensi melamin dialirkan kedalam kolom KO drum dimana sebagian dari amoniak dan CO_2 terlarut dalam suspensi dipisahkan, lalu campuran gas ini dialirkan ke absorber dan akan membentuk amonium karbamat dari KO drum kemudian produk dialirkan ke mixing vessel dan dicampur dengan karbon aktif. Kemudian dimasukkan dalam precoat filter

kemudian airnya diuapkan didalam evaporator, kemudian dikristaliser dan pemisahan dari mother liquornya oleh centrifuge.

d. Proses Osterreichische Stickstoffwerke (OSW)

Dalam proses ini dibagi menjadi 2 tahapan yaitu :

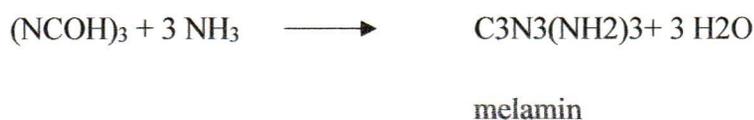
1. Terdekomposisinya urea dalam reaktor unggun terfluidisasi (*Fluidized Bed Reaktor*).
2. Terbentuknya melamin dalam *Fixed Bed Catalytic Reaktor*. Urea yang digunakan dalam pembuatan melamin berbentuk butiran-butiran kecil (*prilled urea*) dengan kemurnian 99,3%

2. Proses Tekanan Tinggi Tanpa Menggunakan Katalis

Reaksi yang terjadi pada tekanan tinggi dengan tekanan lebih dari 7 Mpa dan suhu yang digunakan lebih dari 370 0C. Secara umum, lelehan urea dimasukkan dalam reaktor menjadi campuran lelehan urea dan melamin.

Proses ini menghasilkan melamin dengan kemurnian > 94 %. Panas yang dibutuhkan untuk reaksi disupply dengan electric heater atau sistem heat transfer dengan menggunakan lelehan garam panas.

Mekanisme reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Pada proses dengan tekanan tinggi dikenal ada 3 macam proses, yaitu :

a. Proses Melamin Chemical Process

Proses ini menghasilkan melamin dengan kemurnian 96 – 99,5%. Molten urea yang dikonversi menjadi melamin dalam reaktor tubuler pada suhu 370-425⁰C dan tekanan 11 – 15 Mpa, liquid melamin dipisahkan dari off gas dalam gas separator dimana produk melamin akan terkumpul dibagian bawah. Produk yang keluar diquenching dengan NH₃ cair pada unit pendingin, konversi yang dihasilkan adalah 99,5 %. *Molten urea* diumpankan ke reaktor pada suhu 150⁰ C. Campuran hasil reaksi meninggalkan reaktor masuk ke *quencher* kemudian *diquenching* dengan amoniak cair dan CO₂ untuk mengendapkan melamin. Amoniak dan CO₂ terpisah dibagian atas *quencher* *direcycle* ke pabrik urea.

b. Proses Mont Edison

Proses ini berlangsung pada suhu 370⁰ C dan tekanan 7 Mpa. Panas reaksi disuplai dengan sistem pemanasan menggunakan lelehan garam. Hasil reaksi yang dihasilkan kemudian *diquenching* dengan amoniak cair dan CO₂ untuk mengendapkan melamin, sedangkan gas CO₂ dan NH₃ *direcycle* ke pabrik urea.

c. Proses Nissan

Proses Nissan berlangsung pada suhu 400⁰ C dan tekanan 10 Mpa. Produk melamin yang dihasilkan didinginkan dan diturunkan tekanannya dengan larutan amoniak, setelah melalui proses pemisahan produk melamin dikeringkan dengan *prilling* sehingga diperoleh melamin serbuk.

1.3. Kegunaan Produk

Kegunaan melamin diantaranya sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, *leather tanning* dan lain-lain. Berikut beberapa sektor industri yang menggunakan bahan baku melamin.

1. Industri *adhesive*

Merupakan industri yang memproduksi *adhesive* untuk keperluan industri *woodworking* seperti industri *plywood*, industri *blackboard*, industri *particleboard*.

2. Industri *moulding*

Merupakan industri yang diantaranya menghasilkan alat keperluan rumah tangga.

3. Industri *surface coating*

Adalah industri yang menghasilkan cat, *thinner*, dempul.

4. Industri laminasi

Industri yang menghasilkan *furniture*.

1.4 Kapasitas Rancangan

Penentuan kapasitas pabrik melamin dengan pertimbangan pertimbangan sebagai berikut :

1 Perkiraan kebutuhan melamin di Indonesia

Berkembangnya industri-industri pemakai melamin di Indonesia, seperti Industri *moulding*, industri *adhesive*, industri *surface coating* menyebabkan kebutuhan melamin di Indonesia semakin meningkat. Saat ini Indonesia memiliki dua pabrik yang memproduksi melamin yaitu :

A. PT Sri Melamin Rejeki (SMR)

PT. SMR mulai berproduksi pada tahun 1994 dengan kapasitas 20.000 ton/tahun. Pabrik ini mendapat pasokan bahan baku dari PT Pupuk Sriwijaya Palembang.

B. PT DSM Kaltim Melamin

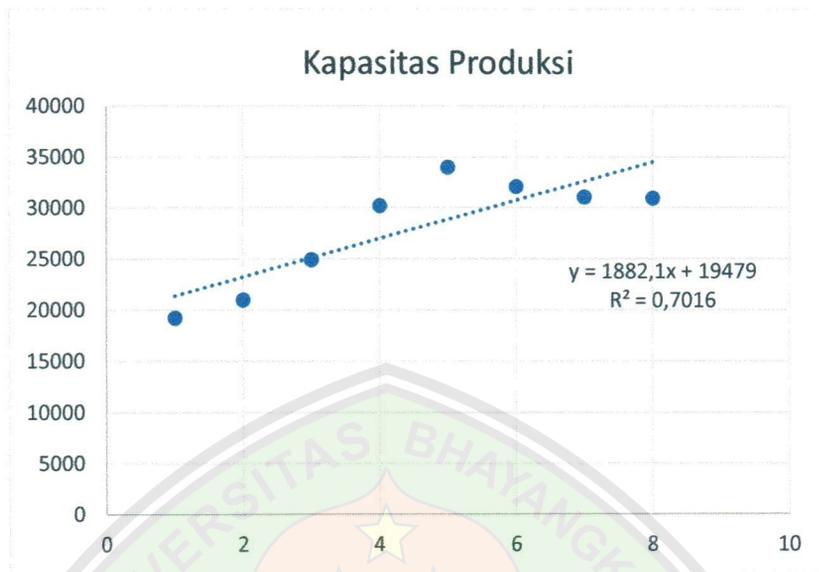
PT DSM Kaltim Melamin mulai beroperasi pada tahun 1996, sebagai hasil *joint venture* antara Pupuk Kalimantan Timur Tbk dengan DSM Holland. Kapasitas design pabrik ini 40.000 ton/ tahun dan telah dinaikkan menjadi 50.000 ton / tahun.

Sedangkan kebutuhan melamin yang tidak dapat dipenuhi oleh produksi dalam negeri, masih mengimpor dari negara lain. Berikut data-data produksi dan impor melamin Indonesia dari tahun 2009 sampai tahun 2016 :

Tabel 1.1 Kebutuhan Impor Melamine

Tahun	Impor (Ton)
2009	19.230
2010	20.982
2011	24.941
2012	30.232
2013	34.021
2014	32.091
2015	31.091
2016	30.981

(Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia)



Gambar 1.1 Grafik Data Kebutuhan Melamine

Perhitungan kapasitas perancangan yaitu dengan melihat peningkatan jumlah impor melamin, karena produksi Melamine akan digunakan untuk pemenuhan kebutuhan dalam negeri.

Dengan melihat data impor diatas, maka dibuat grafik linierisasi hubungan antara tahun dan besarnya import maka akan didapatkan garis lurus dengan persamaan umum :

$$\begin{aligned}
 Y &= a(x) + b \\
 Y &= 1882,1(7) + 19.479 \\
 &= 32.653,7 \text{ Ton/Tahun}
 \end{aligned}$$

Jadi dari hasil perhitungan linieritas perkiran kebutuhan melamin pada tahun 2023 adalah 35.000 Ton/Tahun.

1.5 Penentuan Lokasi Pabrik

Lokasi yang dipilih untuk pendirian pabrik melamin ini adalah daerah Cikampek, Jawa Barat. Pemilihan lokasi ini berdasarkan pada beberapa factor yaitu :

1. Penyediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan melamin adalah urea yang kebutuhannya didapat dari PT Pupuk Kujang yang berada di daerah Cikampek, Jawa Barat.

2. Daerah Pemasaran

Industri pemakai produk Melamin di pulau jawa, seperti Jawa Timur, Jawa Barat dan Jawa Tengah, DKI Jakarta sebagai contoh PT. Arjuna Karya Utama yang merupakan produsen bahan perekat dan lain-lain.

3. Penyediaan Bahan Bakar dan Energi

Daerah Cikampek merupakan kawasan Industri sehingga penyediaan bahan bakar dan energi dapat dipenuhi dengan baik.

4. Penyediaan Air

Kebutuhan air untuk proses produksi dapat diperoleh dari sumber air Sungai Waduk Jatiluhur, Parungkadali dan sungai Cikao.

5. Transportasi

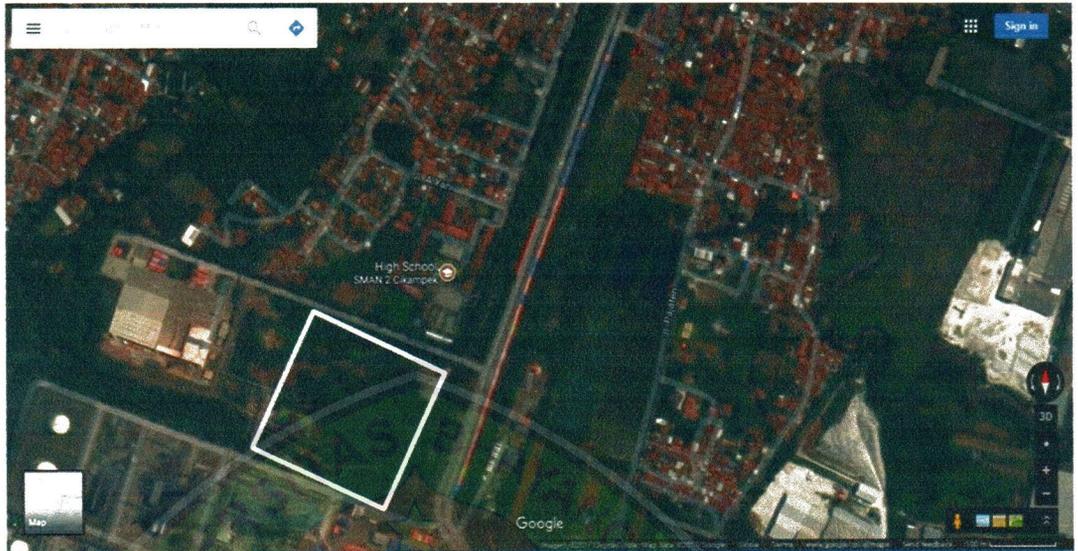
Sarana transportasi darat di daerah Cikampek sangat memadai Karena tersedianya jalan raya dan rel atau jalur kereta api. Disamping itu dekat dengan pelabuhan laut untuk keperluan transportasi laut.

6. Tenaga kerja

Kawasan Cikampek berlokasi tidak jauh dari wilayah Jabotabek yang sarat dengan lembaga pendidikan formal sehingga memiliki potensi tenaga ahli maupun non ahli baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

7. Karakterisasi lokasi

Daerah Cikampek merupakan kawasan industri sehingga untuk pendirian suatu pabrik akan lebih mudah.

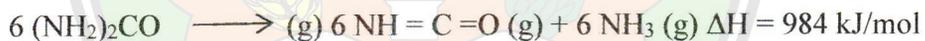


Gambar 1.2 Lokasi Pendirian Pabrik Melamin

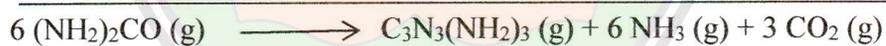
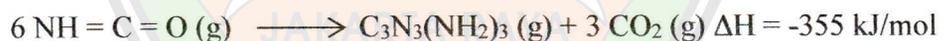
1.6 Mekanisme reaksi

Mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut :

1. Dekomposisi urea menjadi *isocyanic acid* dan amoniak



2. *Isocyanic acid* berubah menjadi melamin dan karbondioksida



$\Delta H = 629 \text{ kJ/mol}$

Jadi reaksi totalnya adalah endotermis dengan $\Delta H = 629 \text{ kJ/mol}$, reaksi tersebut berlangsung pada fasa gas dengan bantuan katalis berfase padat. Konversi reaksi yang terjadi sebesar 97 %.

Proses pembuatan melamin dari bahan baku urea dijalankan pada kondisi :

- Reaktor : *Fluidized bed reactor*
- Suhu : 400^0 C
- Tekanan : 1,68 Mpa
- Katalis : $\text{Al}_2\text{O}_3.\text{SiO}_2$

1.6.1 Tinjauan Kinetika

Dari segi kinetika, kecepatan reaksi polimerisasi melamin akan bertambah cepat dengan naiknya temperatur. Berdasarkan persamaan Arrhenius :

$$k = A \cdot e^{-E/RT}$$

dimana :

k = konstanta kecepatan reaksi

A = faktor frekuensi tumbukan

E = energi aktivasi

R = konstanta gas (1,987 kal/mol K)

T = temperatur operasi (K)

Dari persamaan diatas sehingga dapat diketahui bahwa harga k semakin besar jika :

- Faktor tumbukan diperbesar
Faktor tumbukan dapat diperbesar dengan pengadukan.
- Energi aktivasi
Energi aktivasi ini dapat diperkecil dengan adanya katalis.
- Suhu operasi tinggi

Reaktor yang digunakan dalam pembuatan melamin ini adalah *fluidized bed Reactor* sehingga temperatur dapat dianggap seragam meskipun untuk reaktor yang bersifat endotermis. (Ullman's, Vol A16,2002), maka berlaku persamaan (Levenspiel, 1972).

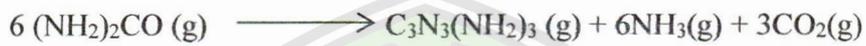
$$t = CA_0 \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A)(1 + \varepsilon_A X_A)}$$

Untuk pabrik pembuatan Melamin dengan proses *DSM Stamicarbon* dengan $T = 400^{\circ}\text{C}$ didapat data referensi :

Residence Time = 60 detik (US Patent : US 7,253,280 B2)

Konversi = 97% (US Patent : 2010/0222582 A1)

Reaksi :



Persamaan kecepatan reaksi nya :

Reaksi gas:

$$t = CA_o \int_0^{0,97} \frac{dX_A}{1 - X_A} = \frac{1}{K_A} \ln \frac{1}{(1 - X_A)} \Big|_0^{0,97}$$

$$t = \frac{1}{K_A} \ln \frac{1}{(1 - X_A)}$$

$$60 = \frac{1}{K_A} \ln \frac{1}{(1 - 0,97)}$$

$$K_A = \frac{1}{60} \times 3,506$$

$$K_A = 0,0584 \text{ detik}^{-1}$$

1.7 Tinjauan Termodinamika

Reaksi pembentukan melamin adalah reaksi endotermis. Bila ditinjau dari energi bebas Gibbs diperoleh rumus dari Smith Van Ness (1996) :

$$\Delta G = \Delta G \text{ Produk} - \Delta G \text{ Reaktan}$$

$$R = 8,314 \text{ J/mol K}$$

$$T = 673^0 \text{ K}$$

Diketahui ΔG^0 masing-masing komponen pada 298^0K :

$$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = 30,69 \text{ kJ/mol}$$

$$(\text{NCNH}_2)_3 = 177 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{CO}_2 = -394,38 \text{ kJ/mol}$$

$$\text{NH}_3 = -16,4 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^0 \text{ reaksi} = \Delta G^0 \text{ Produk} - \Delta G^0 \text{ Reaktan}$$

$$\Delta G^0 \text{ reaksi} = [(177 + 3 (-394,38) + 6 (-16,4)) - 6 (30,69)] \text{ kJ/mol}$$

$$= -1288,68 \text{ kJ/mol}$$

Harga konstanta kesetimbangan (K) pada suhu 400^0C (673^0K) diperoleh dengan

rumus (Smith – Van Ness, 1996) :

$$K = \exp (-\Delta G / RT)$$

$$\ln K = \frac{1288,68 \text{ J/Kmol}}{0,008314 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}} \times 673 \text{ K}}$$

$$\ln K = 230,314$$

$$K = 1,057 \times 10^{100}$$