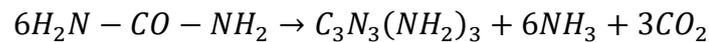




## BAB II URAIAN DAN PEMILIHAN PROSES

### II.1 Macan – Macam Proses

Produk melamin didapatkan dari bahan baku urea pada suhu 390 – 410°C dengan persamaan reaksi:



Dengan reaksi bersifat endotermis membutuhkan 629 KJ per mol, melamin dimulai dengan lelehan urea pada suhu 135°C. Pembuatan melamin dapat diklasifikasikan menjadi 2 dengan masing – masing proses memiliki tiga tahap yaitu tahap sintesa, melamin *recovery* dan pemurnian melamin serta pengolahan gas buang, berikut 2 klasifikasi proses pembuatan melamin:

1. Proses tekanan rendah dengan katalis

Proses tekanan rendah dengan katalis menggunakan reactor fluidized bed pada tekanan atmosferik sampai 1 Mpa pada suhu 390 – 400°C. gas fluidisasi dapat berupa amonia murni atau campuran antara amonia dan karbondioksida yang terbentuk selama reaksi. Katalis yang digunakan yaitu silika atau alumina.

Melamin yang meninggalkan reaktor berupa gas bersama dengan gas fluidisasi. Kemudian dipisahkan dari ammonia dan karbondioksida dengan quenching gas atau menggunakan air yang diikuti dengan kristalisasi atau sublimasi. Pada proses menggunakan katalis, langkah pertama adalah dekomposisi urea menjadi asam isocyanic dan amonia kemudian diubah menjadi melamin. Yield yang diperoleh adalah 90 – 95%. Terdapat tiga 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 - 400°C pada tekanan atmosferik. Katalis yang digunakan adalah alumina dengan fluidizing gas berupa amonia dan karbondioksida.



## PRA RANCANGAN PABRIK

### “Pabrik Melamine dari Urea dengan Proses Chemie Linz”

---

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, amonia 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 140°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

#### b. Proses Chemie Linz

Proses ini ada dua tahap, tahap pertama yaitu molten urea terdekomposisi dalam Fluidized Sand Bed Reaktor sehingga menjadi amonia dan asam isocyanic pada kondisi suhu 350°C dan tekanan 0,35 Mpa. Amonia digunakan sebagai fluidizing gas. Panas yang dibutuhkan untuk dekomposisi disuplai ke reaktor oleh lelehan garam panas yang disirkulasi melalui koil pemanas. Tahap kedua, aliran gas kemudian diumpankan ke fixed bed reaktor 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. Quencher didesain khusus agar dapat bekerja dengan cepat sehingga mencegah hidrolisis melamin menjadi ammeline dan ammeline. Suspensi melamin dari quencer



## PRA RANCANGAN PABRIK

### “Pabrik Melamine dari Urea dengan Proses Chemie Linz”

---

dinginkan 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 amonia murni. Katalis yang digunakan berupa alumina dan silika. Lelehan urea diumpankan kedalam reaktor bagian bawah. Katalis silika alumina difluidisasi oleh amonia 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 quencing. 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 amonia dan CO<sub>2</sub> 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.

#### 2. Proses tekanan tinggi ( $\geq 8$ MPa) tanpa katalis

Reaksi yang terjadi pada tekanan tinggi dengan tekanan lebih dari 7 Mpa dan suhu yang digunakan lebih dari 370°C. 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 elektrik heater atau sistem heat transfer dengan menggunakan lelehan garam panas. Proses pada tekanan tinggi terdapat 3 proses, yaitu:

##### a. Proses Nissan



## PRA RANCANGAN PABRIK

### “Pabrik Melamine dari Urea dengan Proses Chemie Linz”

---

Proses Nissan berlangsung pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 10 Mpa. Produk melamin yang dihasilkan didinginkan dan diturunkan tekanannya dengan larutan amonia, setelah melalui proses pemisahan produk melamin dikeringkan dengan prilling sehingga diperoleh melamin serbuk.

b. Proses Mont Edison

Proses ini berlangsung pada suhu  $370^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 7 Mpa. Panas reaksi disuplai dengan sistem pemanasan menggunakan lelehan garam. Hasil reaksi yang dihasilkan kemudian diquencing dengan amonia cair dan  $\text{CO}_2$  untuk mengendapkan melamin, sedangkan gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{NH}_3$  direcycle ke pabrik urea.

c. Proses Melamin chemical process

Proses ini menghasilkan melamin dengan kemurnian 96 – 99,5 %. Molten urea yang dikonversi menjadi melamin dalam reaktor tubuler pada suhu  $370 - 425^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 11 – 15 Mpa, liquid melamin dipisahkan dari off gas dalam gas separator dimana produk melamin akan terkumpul dibagian bawah. Produk yang keluar diquencing dengan  $\text{NH}_3$  cair pada unit pendingin, konversi yang dihasilkan adalah 99,5 %. Molten urea diumpankan ke reaktor pada suhu  $150^{\circ}\text{C}$ . Campuran hasil reaksi meninggalkan reaktor masuk ke quencher kemudian diquencing dengan amonia cair dan  $\text{CO}_2$  untuk mengendapkan melamin. Amonia dan  $\text{CO}_2$  terpisah dibagian atas quencher direcycle ke pabrik urea.



## II.2 Seleksi Proses

Berdasarkan uraian proses diatas, maka dapat ditabelkan sebagai perbandingan dari masing – masing proses sebagai berikut:

Tabel II. 1 Seleksi Proses Pembuatan Melamin

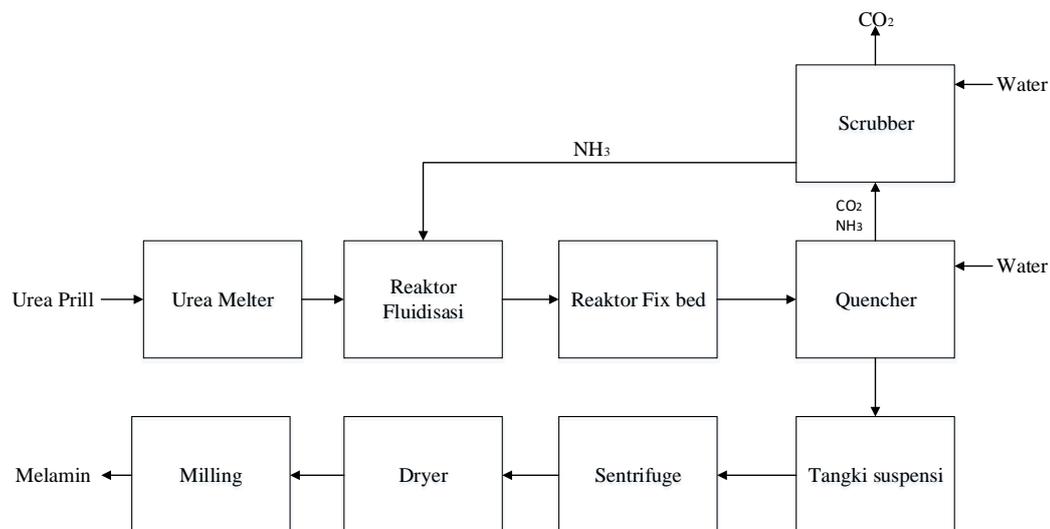
Parameter	Macam proses tekanan rendah		
	Proses BASF ( <i>Badische Anilin and Soda Fabrik</i> )	Proses <i>Chemie Linz</i>	Proses <i>Stamicarbon</i>
Proses	1 tahap	2 tahap	1 tahap
Reaktor yang digunakan	<i>Fluidized bed</i>	<i>Fluidized bed</i> dan <i>fixed bed</i>	<i>Fluidized bed</i>
Konversi	90-95%	89-98%	90-95%
Suhu reaktor	395 - 400°C	350°C dan 450°C	400°C
Tekanan reaktor	1 Mpa	0,35 Mpa	0,7 Mpa
Katalis	Alumina	Alumina	Alumina dan silika

Parameter	Macam proses tekanan tinggi		
	Proses Nissan	Proses <i>Mont Edison</i>	Proses <i>Melamine Chemical</i>
Proses	1 tahap	1 tahap	1 tahap
Reaktor yang digunakan	<i>Fluidized bed</i>	<i>Fluidized bed</i>	<i>Fluidized bed</i>
Konversi	>94%	>94%	96-99,5%
Suhu reaktor	400°C	370°C	370-425°C
Tekanan	10 Mpa	7 Mpa	11-15 Mpa

Berdasarkan beberapa proses pembuatan melamin di atas, maka proses yang dipilih dalam pembuatan melamin adalah proses Chemie Linz dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Tekanan operasi lebih rendah sehingga kebutuhan energi juga tidak terlalu tinggi
2. Menghasilkan konversi yang cukup tinggi, yaitu berkisar antara 89-98%
3. Reaksi pembentukan melamin terjadi secara 2 tahap dan dapat mengurangi lumping atau terkondensasinya katalis
4. Amonia dan karbondioksida dipisahkan dalam dua aliran terpisah yang mudah digunakan untuk proses yang berbeda

### II.3 Uraian Proses



**Gambar II. 1 Blok Diagram Proses Pembuatan Melamin dari Urea dengan Proses Chemie Linz**

Proses pembuatan melamin dengan bahan baku urea terbagi menjadi tiga tahap, antara lain:

#### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

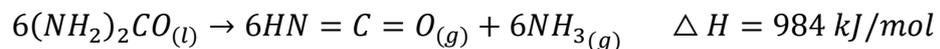
Pada tahap ini bahan baku urea yang berbentuk prill dipersiapkan sebelum masuk ke reaktor. Urea dengan kemurnian 98,5% berat disimpan



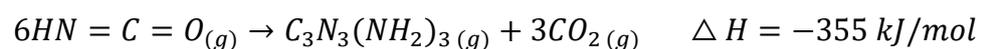
di Silo. Penyimpanan dilakukan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Dari silo, urea prill diangkut menggunakan *belt elevator* diumpankan ke *melter* melalui *weight feeder*, untuk dilelehkan pada suhu 138°C dengan tekanan 0,34 atm (*US Patent 3,147,174*). Pada kondisi ini urea meleleh dan kandungan airnya akan menguap hingga kurang dari 1%. Lelehan urea dari *melter* selanjutnya dipompa ke *fluidized bed reaktor*.

## 2. Tahap Reaksi

Pada tahap ini urea yang telah dilelehkan dipompa dan diinjeksikan dalam *fluidized bed reaktor* melalui beberapa *nozzle* pada reaktor. Lelehan urea akan menguap secara spontan dan bereaksi dengan *fluidizing gas* yang berupa gas ammonia diperoleh dari off gas hasil *quenching* melamin yang telah dipisahkan oleh *scrubber*. *Fluidizing gas* dari *scrubber* dinaikkan tekanannya hingga menuju heater dengan menggunakan kompresor dan dipanaskan hingga suhu 380° C dan tekanan 3,6 ATM (*US Patent 9,114,371*). Pada reaktor fluidisasi terjadi dekomposisi urea menjadi amonia dan asam isocyanic pada kondisi suhu 350°C dan tekanan 3,5 ATM (*Ullmann's, 2012*). Reaksi yang terjadi pada reaktor pertama yaitu :



Panas yang dibutuhkan untuk dekomposisi disuplai ke reaktor oleh lelehan garam berupa 40% KNO<sub>3</sub> dan 60% NaNO<sub>3</sub> pada *salt vessel tank*. Pemanasan lelehan garam menggunakan heater, panas disirkulasi melalui koil pemanas. Tahap kedua, aliran gas kemudian diumpankan ke *fixed bed reaktor* dengan katalis berupa alumina, dimana asam isocyanic dikonversi menjadi melamin pada suhu 450°C dan tekanan mendekati tekanan atmosfer (1,5 ATM) (*Ullmann's, 2012*). Reaksi yang terjadi pada reaktor kedua yaitu :



## 3. Tahap Separasi Produk

Produk keluaran reaktor bersuhu 450°C berfase gas di umpankan ke *quencher*. Pada *quencher*, gas hasil reaksi di kontakkan dengan air



## PRA RANCANGAN PABRIK

### “Pabrik Melamine dari Urea dengan Proses Chemie Linz”

---

pendingin. Suhu *off gas* menuju scrubber 169°C, suhu liquid melamin 140°C dengan tekanan 1 ATM (*US Patent 2023/0125818*). Gas amonia, dan karbondioksida akan menuju ke scrubber, sedangkan liquid melamin akan terkumpul pada bagian bawah quencher yang kemudian dipompa ke sentrifuge untuk memisahkan padatan melamin. Kemudian melamin hasil dari sentrifuge dipompakan ke rotary dryer dipanaskan hingga suhu 120°C dengan *superheated steam* untuk menghilangkan kadar air melamin (*US. 6,397,494*). Produk kristal melamin tersebut disimpan di dalam gudang penyimpanan.

Gas amonia, dan karbondioksida menuju ke scrubber dan dinaikkan tekanannya menggunakan kompresor untuk menjadi 4 ATM (*US. 6,858,755*). Scrubber akan menyerap gas  $\text{NH}_3$  dengan pelarut air, sedangkan gas  $\text{CO}_2$  akan masuk kedalam tangki penyimpanan  $\text{CO}_2$ . Larutan ammonia diumpakan menuju vaporizer dengan suhu 65°C dan tekanan 0,8 ATM. Amonia akan menguap menjadi gas dan disimpan di tagki penyimpanan ammonia, yang nantinya akan digunakan sebagai fluidizing gas pada reaktor fluidisasi