



**PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN NERACA PANAS PADA PRA-
RANCANG PABRIK MELAMIN DENGAN BAHAN BAKU UREA
KAPASITAS 47.000 TON/TAHUN**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia**

Oleh

Ratna Indah Lestari (5213416008)

**TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ratna Indah Lestari

NIM : 5213416008

Program Studi : Teknik Kimia

Skripsi dengan Judul " Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Perancangan Pabrik Melamine Kapasitas 47.000 Ton/Tahun." Telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 18 September 2020

Pembimbing



Dhoni Hartanto, S. T., M. T., M. Sc.

NIP.198711112015041003

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul " Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Perancangan Pabrik Melamine Kapasitas 47.000 Ton/Tahun." telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada 5 Oktober 2020.

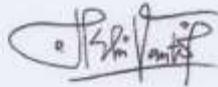
Oleh

Nama : Ratna Indah Lestari
NIM : 5213416008
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia

Ketua Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik

Sekretaris Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik



Dr. Dewi S. Fardhyanti, S.T.,
NIP. 197103161999032002



Dr. Megawati, S.T., M.T
NIP. 197211062006042001

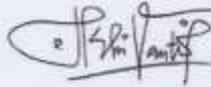
Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing



Dr. Ratna D. Kusumaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 1976031120000122001



Dr. Dewi S. Fardhyanti, S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002



Dhoni Hartanto, S.T., M.T., M.Sc
NIP. 198711112015041003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

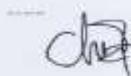
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah, asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 18 September 2020

Yang membuat pernyataan,



Ratna Indah Lestari

NIM. 5213416008

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Jangan tunda sampai besok apa yang anda bias lakukan hari ini.” (Benjamin Franklin)

“sesungguhnya hanya orang yang bersabar yang dicukupkan pahala mereka tanpa batas”. (Q.S. Az-Zumar : 10)

“seorang alim yang Rabbani adalah dia yang mengajari manusia ilmu yang sebesar-besar hingga sekecil-kecilnya”.(Abdullah ibnu Abbas)

“seorang yang berilmu belumlah beranjak dari kebodohan atas yang diilmuinya, hingga dia mengamalkannya”. (Fuadhil ibnu Iyadh)

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT
2. Rasullullah Muhammad SAW
3. Ibu dan Bapak tercinta
4. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
5. Teman-teman Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang Angkatan 2016
6. Almamater Universitas Negeri Semarang

ABSTRAK

Ratna Indah Lestari. 2020. “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas pada Pra-rancangan Pabrik Melamin dengan bahan Baku Urea Kapasitas 47.000 ton/tahun”. Skripsi. Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dhoni Hartanto, S. T., M. T., M.Sc.

Melamin digunakan sebagai perekat, pelapis, *moulding*, dll. Melamine memiliki keunggulan antara lain ketahanan terhadap abrasi kimia, fisika, dan termal. Meningkatnya permintaan laminasi dekoratif dalam aplikasi konstruksi perumahan meningkatkan permintaan melamin dalam industri laminasi, dimana wilayah pasar terbesarnya adalah Amerika Serikat. Konsumsi melamin global untuk industri laminasi dan perekat mencapai 80%. Industri laminasi antara lain produk furniture, lantai, lemari, meja, dan dinding. Produk perekat kayu yang menggunakan melamin antara lain papan serat, papan partikel, kayu lapis. Beberapa negara penghasil melamin terbesar antara lain Cina, Belanda, Jerman, Polandia, Jepang, dan Amerika Serikat. Selama ini kebutuhan melamin dikawasan Asia termasuk Indonesia mendapat pasokan melamin dari Cina. Dalam rangka memenuhi kebutuhan melamin di dalam negeri dan beberapa negara di Kawasan Asia, maka direncanakan pendirian pabrik melamin dari urea dengan katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun. Produk melamin yang dihasilkan berupa padatan berwarna putih. Kebutuhan bahan baku urea sebanyak ton/tahun dan katalis alumina sebanyak ton/tahun. Proses reaksi pembentukan melamin terjadi dalam reactor fluidized bed yang berisi katalis alumina dan fluidizing gas berupa campuran gas ammonia dan karbondioksida dari hasil recycle, reactor dioperasikan pada kondisi suhu 395 °C dan tekanan 3 atm dengan konversi reaksi 95%. Proses yang digunakan adalah proses BASF dengan alat utama berupa tangka pelelehan urea, Reaktor, Gas Filter, Reaktor, Desublimer, Cylone, dan Scrubber. Gas campuran melamin yang dihasilkan reactor dipisahkan dari produk sampingnya (melam dan melem) menggunakan gas filter. Melamin dikristalkan dalam desublimer hingga suhunya 190 °C dan pisahkan padatan melamin dan off gas nya dalam cyclone. Konversi melamine sebesar 99,9%. Dari perhitungan analisis neraca massa dan neraca panas berada pada kondisi setimbang atau tidak ada massa dan panas yang hilang.

Kata kunci : *Melamin, Urea, Neraca Massa, Neraca Panas.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Karena dengan rahmat dan hidayah-Nya serta partisipasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu baik moril maupun materil sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi yang berjudul “Prarancangan Pabrik Melamin dari Urea Dengan Katalis Alumina Proses Basf Kapasitas 47.000 Ton/Tahun”. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, MT., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
4. Dhoni Hartanto, S.T.,M.T., M. Sc Dosen Pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan pengarahan dalam penyusunan skripsi.
5. Dr. Ratna Dewi K, S. T., M. T. dan Dr. Dewi Selvia F, S. T., M. T. yang telah memberi masukan dan pengarahan dalam penyusunan Skripsi.
6. Semua Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan serta doa.
8. Serta semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini. Penulis juga menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharap kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini.

Semarang, 18 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	viii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pembatasan Masalah	3
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Melamin	4
2.2 Kegunaan produk	4
2.3 Tinjauan Termodinamika	5
2.3 1 Perhitungan Panas Pembentukan Standar ($\Delta H^{\circ}f$).....	5
2.3 2 Konstanta Kesetimbangan Pada Kondisi Standar	6
2.4 Tinjauan Kinetika.....	7
2.4 Tinjauan proses	11
2.5 Spesifikasi Bahan Baku.....	13
2.5 Neraca Massa	16
2.6 Neraca panas	17
BAB III	18
METODE PENELITIAN.....	18

3.1	Waktu dan Tempat Pelaksanaan	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.3	Pengambilan Data	18
BAB IV		19
PEMBAHASAN		19
4.1	Perhitungan Neraca Massa	19
1.	Neraca Massa Melter (M-01)	21
2.	Neraca Massa Reactor (R-01)	22
3.	Neraca Massa Desublimier (K-01)	25
4.	Neraca Massa Cyclone (FG-02)	26
4.2	Perhitungan Neraca Panas	27
1.	Neraca Panas Melter (M-01)	27
2.	Neraca Panas Reaktor (R-01)	29
3.	Neraca Panas Desublimier (K-01)	32
4.	Neraca Panas Cyclone (FG-02)	33
BAB V		35
PENUTUP		35
5.1	Simpulan	35
5.2	Saran	35
DAFTAR PUSTAKA		36
LAMPIRAN		37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

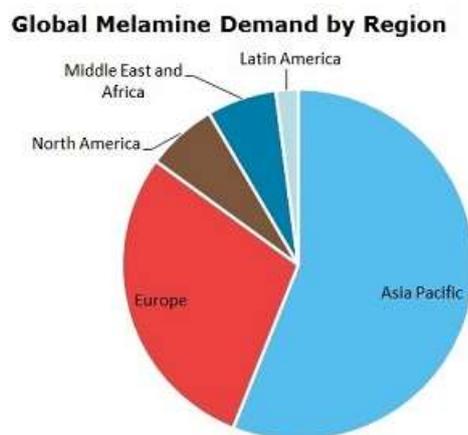
Pertumbuhan produksi industri manufaktur baik besar maupun sedang di Indonesia pada tahun 2018 mengalami kenaikan sebesar 4,07% dengan industri kimia turun sebesar 4,95% (BPS, 2019). Peluang pengembangan industri kimia nasional masih terbuka lebar dimasa mendatang dengan jumlah penduduk sekita 230 juta jiwa dan ketersediaan sumber daya alam yang cukup melimpah, Indonesia memiliki peluang menempatkan diri pada garis depan pengembangan industri kimia (Hamali, 2019).

Dewasa ini, perkembangan industri melamine di Indonesia terus mengalami peningkatan. Dimana hal itu dapat dilihat dari data kebutuhan impor melamine dari tahun 2016 hingga tahun 2018 semakin meningkat (BPS, 2019). Oleh sebab itu untuk mengantisipasi kebutuhan impor melamine, perlu didirikannya pabrik melamine didalam negeri guna memenuhi kebutuhan melamine dalam negeri.

Melamine merupakan bahan kimia yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan resin, plastik berlaminasi, kertas laminasi, peralatan makanan, lantai berlaminasi, dan penghapus papan tulis, bahan cat, perekat dll. Melamine memiliki rumus kimia $C_3N_6H_6$ yang sering dikenal dengan nama 2-4-6 *triamino* 1-3-5 *triazine* dimana senyawa ini berbentuk kristal *monocyclic* berwarna putih dengan berat molekul sebesar 126, 123 gr/mol (Kunni, 2005) . Melamine memiliki keunggulan antara lain ketahanan terhadap abrasi kimia, fisika, dan termal. Meningkatnya permintaan laminasi dekoratif dalam aplikasi konstruksi perumahan meningkatkan permintaan melamin dalam industri laminasi, dimana wilayah pasar terbesarnya adalah Amerika Serikat. Konsumsi melamin global untuk industri laminasi dan perekat mencapai 80%. Industri laminasi antara lain produk furniture, lantai, lemari, meja, dan dinding. Produk perekat kayu yang menggunakan melamin antara lain papan serat, papan partikel, kayu lapis. Perekat kayu dari melamin mampu meningkatkan ketahanan dan kelembaban papan kayu. Begitu juga dengan Asia, penggunaan melamin didominasi untuk industri otomotif dan konstruksi (AP News.com). Seiring meningkatnya industri transportasi menyebabkan

menyebabkan konsumsi melamin sebagai pelapis dalam industri otomotif meningkat secara signifikan serta Meningkatnya permintaan melamin akibat meningkatnya pembangunan di sektor konstruksi diperkirakan akan mendorong permintaan di kawasan Asia Pasifik.

Permintaan melamin global diproyeksikan meningkat sebesar 3,5% tiap tahun selama tahun 2020-2025 (HIS Markit.com)



Gambar 1.1 Permintaan Melamine Global

Sumber : Merchant Research& Consulting Ltd.

Beberapa negara penghasil melamin terbesar antara lain Cina, Belanda, Jerman, Polandia, Jepang, dan Amerika Serikat. Selama ini kebutuhan melamin di kawasan Asia termasuk Indonesia mendapat pasokan melamin dari Cina. Bahan baku pembuatan melamine adalah urea, dimana bahan baku tersebut dapat disuplai dari dalam negeri. Bahan baku urea diperoleh dari PT. Pupuk kundang cikampek dan katalis alumina dari PT. Chemical Alumina Indonesia. Reaksi berlangsung pada suhu 395 C dan tekanan 3 atm dengan gas fluidisasi berupa campuran gas ammonia dan karbondioksida. Dengan kemurnian produk melamin yang dihasilkan sebesar 99,9%. Penggunaan katalis yang murah dan mudah didapat serta waktu reaksi yang lebih singkat membuat proses ini lebih ekonomis dan efisien. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian perhitungan neraca massa dan neraca panas pada prarancangan pabrik melamin dengan proses BASF katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun diharapkan dapat membantu memenuhi kebutuhan melamin di Indonesia

dan Malaysia, menciptakan lapangan kerja, bahkan sebagai komoditi ekspor yang dapat menambah devisa Negara sekaligus sebagai acuan dalam perancangan pabrik.

1.2 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dari pra-rancangan pabrik ini adalah pabrik melamin dengan bahan baku urea dengan katalis alumina. Objek pra-rancangan pabrik berupa Melter, Reaktor, Desublimmer, dan Cyclone.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik melamin dari urea dengan katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun ?
2. Berapa konversi produk melamin yang dihasilkan dari perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik melamin dari urea dengan katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun ?
3. Bagaimana perhitungan neraca panas pada pra-rancangan pabrik melamin dari urea dengan katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun ?

1.4 Tujuan

1. Mengetahui jumlah selisish massa yang masuk dan massa yang keluar pada perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik melamin dari urea dengan katlis alumina kapasitas 47.000 ton/tahu.
2. Mengetahui konversi produk melamin yang dihasilkan dari perhitungan neraca massa pada pra-rancangan pabrik melamin dari urea dengan katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun ?
3. Mengetahui jumlah selisih panas yang masuk dan keluar pada perhitungan neraca panas pada pra-rancangan pabrik melamin dari urea dengan katalis alumina kapasitas 47.000 ton/tahun.

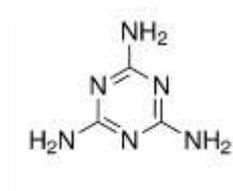
1.5 Manfaat

1. Mengetahui prinsip perhitungan neraca massa
2. Mengetahui prinsip perhitungan neraca panas
3. Mengetahui konversi produk

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Melamin

Melamin merupakan senyawa yang tergolong kedalam basa lemah yang memiliki rumus kimia ($C_3N_3(NH_2)_3$). Melamin mempunyai nama lain 2-4-6 triamino 1-3-5 triazine yang berbentuk kristal dengan berat molekul 126,123 gr/mol. Pada tahun 1885 A.W Von Hoffman mempublikasikan struktur molekul melamin yaitu sebagai berikut :



Gambar 2.1 Struktur Kimia Melamin

(NIST, 2019)

Melamin pertama kali dipelajari pada tahun 1834 oleh Liebig, dimana melamin didapatkan dari proses peleburan potasium tiosianat dengan amoniumklorida. Seiring berjalannya waktu melamin disintesa dari urea pada suhu 400 C dengan katalis maupun tanpa katalis. Produk pabrik melamin pertama didunia yaitu berupa resin melamin-formaldehid yang diproduksi pada tahun 1930, dan sejak saat itu melamin menjadi produk yang semakin berkembang dalam dunia industri (US Patent, US 9,114,371 B2)

2.2 Kegunaan produk

Dalam dunia industri, melamin banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan melamin resin, bahan sintesa organik dll.

Berikut adalah data penggunaan Melamin dunia.

Kegunaan	Eropa (%)	Amerika (%)	Jepang (%)
Laminas	47	35	6
Adhesive	25	4	62
Moulding	9	9	16
Coating	8	39	12
Tekstil	11	5	3
Lain-lain	-	8	1

2.3 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika digunakan untuk mengetahui sifat reaksi apakah berjalan secara endotermis atau eksotermis serta untuk mengetahui arah reaksi apakah *reversible* atau *irreversible*.

Tabel 1.13 Data ΔH°_f dan ΔG°_f pada reaksi pembentukan Melamin

Komponen	ΔH°_f (kJ/mol)	ΔG°_f (kJ/mol)
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	-79,565	-196,8
$\text{C}_3\text{N}_6\text{H}_6$	-17,141	177
CO_2	-94,054	-393,5
NH_3	-12,741	-16,5

(Yaws, 1999)

Penentuan sifat dan arah reaksi dapat dihitung dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH°_f) dan (ΔG°_f) pada tekanan 1 atm dan suhu 198 K pada reaksi pembentukan melamin pada tabel 1.13

2.3.1 Perhitungan Panas Pembentukan Standar (ΔH°_f)

Reaksi pembentukan melamin dari urea adalah sebagai berikut :



(EP Patent 1479672A1)

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_f_{298\text{K}} &= \sum \Delta H^\circ_f \text{ produk} - \sum \Delta H^\circ_f \text{ reaktan} \quad (1.9) \\ &= (\Delta H^\circ_f \text{C}_3\text{N}_6\text{H}_6 + \Delta H^\circ_f \text{NH}_3 + \Delta H^\circ_f \text{CO}_2) - (\Delta H^\circ_f \\ &\quad (\text{NH}_2)_2\text{CO}) \\ &= [(-17,141) + (6 \times -12,741) + (3 \times -94,054)] - [(6 \times -79,565)] \\ &= 101,641 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, nilai panas pembentukan standar (ΔH°_f) bernilai positif artinya reaksi berjalan secara endotermis.

2.3 2 Konstanta Kesetimbangan Pada Kondisi Standar

Harga konstanta kesetimbangan (K) pada suatu reaksi dapat diketahui setelah mengetahui arah reaksi berjalan secara *reversible* atau *irreversible* melalui persamaan *Van't Hoff* berikut (Smith & Van Ness, 1987):

$$\frac{d\Delta G^0/RT}{dT} = \frac{-\Delta H^0}{RT^2} \quad (1.10)$$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (1.11)$$

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{-\Delta H^0}{RT^2} \quad (1.12)$$

Pada suhu operasi, harga konstanta kesetimbangan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\ln \frac{K}{K^{298}} = - \left(\frac{\Delta H^0_{298}}{R} \right) \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{298}} \right) \quad (1.13)$$

Dimana :

K = konstanta kesetimbangan reaksi

T = suhu reaksi (K)

R = konstanta ideal ($8,314 \times 10^{-3}$ kJ/mol)

ΔH = perubahan entalpi karena reaksi

Harga konstanta kesetimbangan reaksi dalam pembuatan melamin pada suhu 395°C (668,15 K) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \Delta G^0_{f, 298K} &= \Sigma \Delta G^0_f \text{ produk} - \Sigma \Delta G^0_f \text{ reaktan} \quad (1.14) \\ &= (\Delta G^0_f \text{C}_3\text{N}_6\text{H}_6 + \Delta G^0_f \text{NH}_3 + \Delta G^0_f \text{CO}_2) - (\Delta G^0_f \\ &\quad (\text{NH}_2)_2\text{CO}) \\ &= 78,3 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta H^0_{f, 298K} = 101,641 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G^0 = -RT \ln K$$

$$78,3 = -(8,314 \times 10^{-3} \times 298 \times \ln K)$$

$$K = 5,2 \times 10^{13}$$

Maka nilai K pada suhu operasi (668,15 K)

$$\ln \frac{K}{K_{298}} = \frac{-\Delta H^0_{298}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298,15} \right) \quad (1.15)$$

$$\ln \frac{K}{5,2 \times 10^{13}} = - \frac{101,641}{8,314} \left(\frac{1}{668,15} - \frac{1}{298,15} \right) \quad (1.16)$$

$$\frac{K}{5,2 \times 10^{13}} = \exp \left[-\frac{101641}{8,314} \left(\frac{1}{668,15} - \frac{1}{298,15} \right) \right] \quad (1.17)$$

$$\frac{K}{5,2 \times 10^{13}} = 7266831931 \quad (1.18)$$

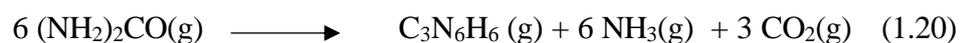
$$K = 3,8 \times 10^{23} \quad (1.19)$$

Harga konstanta kesetimbangan (K) sangat besar sehingga reaksi pembentukan melamine bersifat searah. Harga K sangat besar, dimana $K = k_1/k_2$ menunjukkan nilai k_2 jauh lebih kecil dibandingkan k_1 sehingga k_2 diabaikan dan dianggap berjalan satu arah (*irreversible*). Reaksi samping dalam perhitungan termodinamika diabaikan, karena menurut studi yang dilakukan oleh Ono et al., (1998) kandungan impuritas pada produk melamin jumlahnya sangat kecil, terutama untuk melamin jumlahnya hampir tidak terdeteksi-0,02% dan melamin jumlahnya hampir tidak terdeteksi hingga 0,05%. Sehingga jika diakumulasikan selektivitas melamin dan melamin sebesar 0,025%.

2.4 Tinjauan Kinetika

Tinjauan kinetika digunakan untuk mengetahui konstanta kecepatan reaksi (k) yang dapat menentukan kecepatan suatu senyawa dalam bereaksi menjadi produk. Pembuatan melamine terdiri dari reaksi utama yang berjalan secara *irreversible* dan reaksi samping melamin dan melamin yang berjalan secara *reversible*.

Reaksi samping dalam perhitungan kinetika diabaikan, karena menurut studi yang dilakukan oleh Ono et al., (1998) kandungan impuritas pada produk melamin jumlahnya sangat kecil, terutama untuk melamin jumlahnya hampir tidak terdeteksi-0,02% dan melamin jumlahnya hampir tidak terdeteksi hingga 0,05%. Sehingga jika diakumulasikan selektivitas melamin dan melamin sebesar 0,025%. Menurut EP Patent (1479672A1) Reaksi pembentukan melamine dari urea adalah sebagai berikut :



Reaksi pembentukan melamin dapat diasumsikan sebagai reaksi orde satu. Reaktan berupa gas urea dengan katalis padat alumina, sehingga reaksi yang digunakan adalah model Pseudo homogen yang mengasumsikan reaksi-

reaksi senyawa heterogen dianggap seolah-olah homogen. Dengan demikian kinetika reaksi yang terjadi dapat diasumsikan mengikuti persamaan *power law* (Wiratama dkk, 2017). Bentuk persamaannya menjadi (Bischoff et al., 1979):

$$\frac{dCA}{dt} = -kCA \quad (1.21)$$

Atau,

$$-r_A = kCA \quad (1.22)$$

Keterangan :

$-r_A$ = kecepatan reaksi reaktan A ($\text{mol/m}^3 \cdot \text{s}$)

CA = konsentrasi reaktan A (mol/m^3)

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

Dalam fluidized bed reaktor, terjadi perubahan volume (m^3) dalam reaktor akibat dari perubahan fase yaitu dari cair ke gas, dan karena penambahan volume fluidizing gas masuk reaktor. Fenomena ini didekati dengan persamaan (Levenspiel, hal 68):

$$V = V_0 + V_0 \cdot \epsilon_A \cdot X_A \quad (1.23)$$

$$= V_0(1 + \epsilon_A \cdot X_A) \quad (1.24)$$

Keterangan :

V = volume saat waktu t (m^3)

V₀ = volume awal

X_A = konversi A

ϵ_A = fraksi perubahan volume saat X_{A0}=0 dan saat X_A

Mol sisa reaktan (N_A) saat stoikiometri dapat didekati dengan persamaan:

$$N_A = N_{A0} - N_{A0} \cdot X_A \quad (1.25)$$

$$N_A = N_{A0}(1 - X_A) \quad (1.26)$$

Keterangan :

N_{A0} = mol reaktan mula-mula dikurangi mol reaktan yang bereaksi

Maka (Levenspiel, hal 69) :

$$CA = \frac{N_A}{V} \quad (1.27)$$

Substitusi persamaan (1.24) dan (1.26) ke persamaan (1.27) untuk mendapatkan nilai CA.

$$C_A = \frac{N_{A0}(1-X_A)}{V_0(1+\varepsilon_A X_A)} \quad (1.28)$$

Karena ,

$$C_{A0} = \frac{N_{A0}}{V_0} \quad (1.29)$$

Maka persamaan (1.29) disubstitusi ke (1.28) , menjadi :

$$C_A = C_{A0} \frac{1-X_A}{(1+\varepsilon_A X_A)} \quad (1.30)$$

Persamaan (1.30) disubstitusikan ke (1.22) menjadi :

$$-r_A = k_A C_{A0} \frac{1-X_A}{1+\varepsilon_A X_A} \quad (1.31)$$

Untuk reaktor fluidized bed maka dapat didekati dengan persamaan pada reaktor alir pipa (RAP). Neraca massa reaktan A dalam reaktor pada kondisi stoikiometri dinyatakan dalam (Levenspiel, hal 102) :

Input = output + reaktan A bereaksi

$$F_{A0} = F_A + (-r_A \cdot V) \quad (1.32)$$

$$\begin{aligned} \text{Flowrate reaktan yang bereaksi(mol/s)} &= -r_A \cdot v & (1.33) \\ &= \frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \cdot \text{m}^3 \\ &= \frac{\text{mol}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Keterangan :

F_{A0} = flowrate reaktan di input(mol/s)

F_A = flowrate reaktan di output (mol/s)

$$F_A = F_{A0} - (F_{A0} \cdot X_A) \quad (1.34)$$

Substitusi persamaan (1.39) ke (1.37) sehingga menjadi :

$$F_{A0} = F_{A0} - (F_{A0} \cdot X_A) + (-R_A \cdot V) \quad (1.35)$$

Penyederhanaan persamaan (1.40) menjadi :

$$F_{A0} \cdot X_A = -R_A \cdot V \quad (1.36)$$

$$X_A = \frac{-r_A \cdot V}{F_{A0}}$$

Maka konversi A per waktu adalah :

$$\int \frac{dX_A}{dt} = \int \frac{-r_A V}{F_{A0}} \quad (1.37)$$

$$\int_0^t dt = F_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{-r_A V} \quad (1.38)$$

Diberikan nilai F_{A0} (mol/s) adalah :

$$F_{A0} = C_{A0} V_0 \quad (1.39)$$

Substitusi persamaan (1.29) dan (1.44) ke persamaan (1.43) menjadi (Levenspeil, hal 102 :

$$t - 0 = C_{A0} V_0 \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A) V_0 (1 + \varepsilon_A X_A)} \quad (1.40)$$

$$t = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(-r_A) (1 + \varepsilon_A X_A)} \quad (1.41)$$

Substitusikan persamaan (1.36) ke (1.46) menjadi :

$$t = C_{A0} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{\left[k_A C_{A0} \frac{(1-X_A)}{(1+\varepsilon_A X_A)} \right] (1+\varepsilon_A X_A)} \quad (1.42)$$

$$t = \frac{1}{k_A} \int_0^{X_A} \left[\frac{dX_A}{1-X_A} \right] \quad (1.42)$$

Untuk pabrik melamin dengan proses BASF dengan $T = 395^\circ\text{C}$ didapat data (Ullman, 2005) :

Residence time = 3 menit

Yield urea = 95%

Konversi = 95%

Sehingga,

$$t = \int_0^{0,95} \left[\frac{dX_A}{1-X_A} \right] \quad (1.44)$$

$$t = \frac{1}{k_A} \ln \frac{1}{1-X_A} \Big|_0^{0,95} \quad (1.45)$$

$$180 = \frac{1}{k_A} \ln \frac{1}{1-0,95} \quad (1.46)$$

$$k_A = \frac{1}{180} \times 2,996 \quad (1.47)$$

$$k_A = \frac{0,0166}{\text{detik}}$$

2.4 Tinjauan proses

Tahapan reaksi pembuatan melamine berlangsung pada suhu 395 °C dengan tekanan 3 atm. Proses selanjutnya yaitu mendinginkan campuran gas produk dengan *cooler* supaya melam dan melem menjadi padatan dan dapat dipisahkan. Kemudian dilakukan kristalisasi melamine didalam desublimer dan produk padatan melamine dipisahkan menggunakan *cyclone*.

Proses pembuatan melamine dari urea secara garis besar dapat dibagi menjadi empat tahapan proses, yaitu :

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap pembentukan produk
3. Tahap pengkristalan produk
4. Tahap pemisahan produk
5. Tahap pemisahan produk *recycle*

Adapun penjelasan untuk masing-masing tahapan sebagai berikut :

1. Tahap persiapan bahan baku

Tahap ini bertujuan untuk mempersiapkan bahan baku sebelum masuk Reaktor. Bahan baku disimpan dalam kondisi 30°C dan tekanan 1 atm. Dalam tahap ini, bahan baku urea prill dipanaskan menggunakan steam didalam melter (M-01) sehingga menjadi lelehan urea pada suhu 140 °C dan fase nya akan sama dengan urea hasil *recycle* ketika dicampur didalam tangki (TT-01) sebelum diumpankan ke dalam Re aktor (R-01) dan *Scrubber* (P-01).

Bahan baku pembuatan melamine adalah urea, dengan kemurnian 99,3% . lelehan urea dari melter (M-01) kemudian dipompakan ke Tangki (TT-01) untuk dicampur dengan urea hasil *recycle* . dari tangki lelehan urea dipompakan ke Reaktor (R-01) dan *scrubber* (P-01) untuk menjerap urea, melamine, dan biuret *recycle*.

2. Tahap pembentukan produk

Tahap ini merupakan tahap proses terjadinya reaksi pembentukan melamine. Tahap ini bertujuan untuk Mereaksikan lelehan urea didalam Reaktor fluidized bed (R-01) dengan *fluidizing gas* berupa campuran NH_3 dan CO_2 dan katalis alumina.

Reaksi berlangsung dalam Reaktor fluidized bed (R-01) pada suhu $395\text{ }^\circ\text{C}$ dan tekanan 1 atm menggunkan katalis alumina dan dilengkapi dengan koil pemanas karena reaksi berjalan pada kondisi endotermis. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

Reaksi utama :



Untuk Selektivitas rekasi utama yaitu sebesar 99,75% sedangkan untuk selektivitas reaksi samping yaitu sebesar 0,025%.



Melamine melem



Melamine melam

3. Tahap pengkristalan produk

Tahap pengkristalan terdiri dari 2 macam, yaitu pengkristalan produk samping dan produk utama. Pada pengkristalan produk samping gas keluaran Reaktor (R-01) diumpankan ke dalam *Cooler* (E-01) sehingga suhu nya turun dari $395\text{ }^\circ\text{C}$ menjadi $360\text{ }^\circ\text{C}$. setelah didinginkan kemudian diumpankan ke dalam Gas Filter (GF-01) untuk dipisahkan antara padatan melam melem dan campuran gas melaminenya. Selanjutnya campuran gas melamine dikristalkan di dalam Desublimer (K-01) untuk didapatkan padatan melamine.

4. Tahap pemisahan produk

Dari Desublimer (K-01), selanjutnya dilakukan pemisahan antara padatan melamine dan campuran off gas nya didalam *Cyclone* (FG-02). Produk bawah *Cyclone* (FG-02) berupa padatan melamine ditampung didalam Hopper (HO-01) untuk kemudian dialirkan menggunakan Belt

Conveyor (BC-02) menuju Silo penyimpanan produk (SL-02). Sedangkan untuk produk atas *Cyclone* (FG-02) berupa campuran *off gas* untuk sebagian di purging sebanyak 20% untuk mengurangi inert nya. *Sebagian off gas* akan dialirkan ke *Scrubber* (P-01) untuk memisahkan gas dan sisa urea untuk di *recycle*.

5. Tahap pemisahan produk *recycle*

Tahap ini untuk memisahkan campuran *off gas* dari produk atas *Cyclone* (FG-02) berupa gas NH_3 dan CO_2 dari padatan melamin, urea, dan biuret. Pemisahan gas NH_3 dan CO_2 dari partikel padatannya dilakukan di *Scrubber* (P-01). Liquid penjerap berupa lelehan urea dari tangki (TT-01) yang umpankan ke *Scrubber* (P-01). Produk bawah *Scrubber* (P-01) berupa urea, biuret, dan melamin yang dipompa ke tangki (TT-01) untuk dicampur dengan lelehan urea dari melter sebagai produk *recycle* sebelum diumpankan ke Reaktor. Sedangkan produk atas dari *Scrubber* (P-01) berupa gas NH_3 dan CO_2 yang digunakan sebagai gas fluidisasi di Reaktor (R-01) dan gas pendingin di Desublimer (K-01) (Paten A.S. 4138560).

2.5 Spesifikasi Bahan Baku

Sifat fisika dan kimia bahan baku

a. Sifat fisika urea

- Wujud : padat , bentuk prill tak berwarna
- Ukuran butiran : 6-18 US mesh
- Rumus molekul : $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- Berat molekul : 60,06 g/mol
- Densitas : 1,323 g/cm³
- Energi bebas gibbs pembentukan : -197,150 J/mol
- Panas fusi : 251 J/g
- Panas larutan dengan air : 243 J/g
- Panas kristalisasi urea(70% Urea) : 460 J/g
- Panas spesifik (cp)
 - Suhu 0⁰C : 1,439 J(kg.K)
 - Suhu 50⁰C : 1,661 J(kg.K)

- Suhu 100°C : 1,887 J(kg.K)
- Suhu 150°C : 2.109 J(kg.K)
- Titik leleh : 132,7-135°C
- Titik didih : 195°C
- Bulk density : 0,74 g/cm³
- Berat jenis : 1,335 g/cc
- Kemurnian minimum : 99% berat
- Kadar nitrogen min : 46%
- H₂O maks : 0,5%
- Biuret maks : 0,5%

b. Sifat kimia urea

- Bereaksi dengan formaldehid membentuk monometilourea dan dimetilourea
- Pada kondisi vakum dan suhu 180-190°C menyublim menjadi amonium cyanat (NH₄OCN)
- Pada tekanan tinggi dan adanya amonia akan merubah menjadi *cyanic acid* dan *cynuric acid*

(Kirk&Othmer, 1978)

c. Sifat fisika katalis alumina

- Wujud : butiran padat
- *Surface area* : 250 m²/g
- Kadar Al₂O₃ min : 92%
- Kadar SiO₂ maks : 0,1%
- Kadar Fe₂O₃ maks : 0,04%
- Kadar Ne₂O maks : 0,45%
- Diameter : 0,3-0,5 mm
- *Bulk density* : 0,6-0,7 g/cm³
- *Absorption rate min*: 20%
- *Porosity volume min* : 0,45 ml/g
- Volume pori : 0,4 ml/gr partikel

Sifat fisika dan kimia produk

a. Sifat fisika melamine

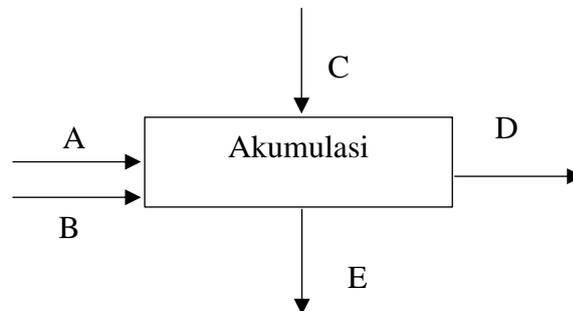
- rumus molekul : $C_3N_6H_6$
- wujud : padatan kristal berwarna putih
- berat molekul : 126,123 g/mol
- kemurnian min : 99,9%
- urea maks : 0,05%
- ukuran partikel : 15-100 μm
- titik leleh : 350°C
- panas pembentukan standar : 71,72 kJ/mol
- panas pembakaran standar : -1976 kJ/mol
- panas sublimasi : -121 kJ/mol
- density : $1,573 \text{ g/cm}^3$
- kapasitas panas (cp) :
 - suhu 273-353 K : 1470 J/kg.K
 - suhu 300-450 K : 1630 J/kg.K
 - suhu 300-550 K : 1720 J/kg.K
- kelarutan dalam suu 300 C dalam gr/100 ml pada :
 - etanol : 0,06 g/100 cc
 - aseton : 0,03 g/100 cc
 - air : 0,5 g/100 cc
- entropi : 149 J/K.mol
- energi gibbs standar : 177 kJ/mol
- entropi pembentukan : -835 J/K.mol
- temperatur kritis : $905,56^\circ\text{C}$
- tekanan kritis : 99,47 atm
- pH : 7,5-9,5

(Kirk&Othmer, 1978)

2.5 Neraca Massa

Neraca massa digunakan untuk mengetahui aliran-aliran massa yang masuk dan keluar. Neraca massa adalah perhitungan dari bahan yang masuk, terakumulasi dan keluar dalam waktu tertentu. Menurut Wirakartakusumah (dikutip dalam Maflahah, 2010), menyatakan bahwa jumlah materi dalam suatu sistem apapun akan tetap walaupun terjadi perubahan bentuk ataupun keadaan fisik.

Persamaan neraca massa secara umum adalah:



Gambar 1. Diagram Alir Neraca Massa

Persamaan Neraca Massa:

Massa masuk = massa keluar + massa yang terakumulasi

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E + M_{\text{akumulasi}} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 1)}$$

Bila tidak ada massa yang terakumulasi, maka persamaan menjadi:

Massa masuk = massa yang keluar

$$M_A + M_B + M_C = M_D + M_E \dots\dots\dots \text{(Persamaan 2)}$$

2.6 Neraca panas

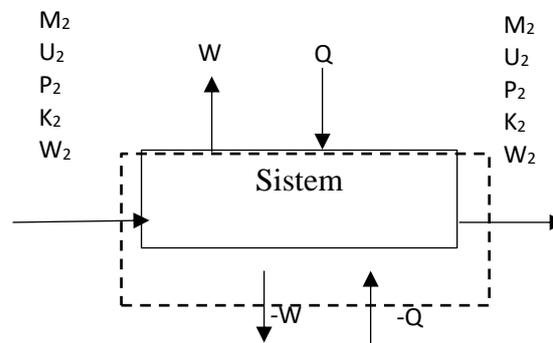
Neraca panas digunakan untuk mengetahui efisiensi perpindahan panas pada pra-rancangan pabrik melamin.

Persamaan Neraca Energi:

$$(\text{energi masuk}) - (\text{energi keluar}) + (\text{Generasi energi}) - (\text{konsumsi energi}) = (\text{Akumulasi energi})$$

(Himmelblau, et al, 1996)

Energi secara umum yang terlibat berupa Energi (Q) dan Kerja (W).



Gambar 2. Diagram Alir Proses Secara Umum Perpindahan Energi Pada Sistem

Persamaan Neraca Panas:

Heat Transfer Feed Streams:

$$Q_{feed} = n \times Cp \times \Delta T \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3})$$

Heat Transfer Output Streams:

$$Q_{output} = n \times Cp \times \Delta T \dots\dots\dots(\text{Persamaan 4})$$

Heat Transfer to Cooling Water:

$$Q_{cw} = F_{cw} \times Cp_{cw} \times \Delta T \dots\dots\dots(\text{Persamaan 5})$$

Keterangan:

- ΔH = Perubahan Energi (kJ)
- n = Kuantitas Materi (kmol)
- Cp = Kapasitas Energi (kJ/kmol.K)
- ΔT = Perbedaan temperatur (K)

(Smith, 1987)

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan perhitungan neraca massa alat secara keseluruhan, tidak ada selisih massa yang masuk dan panas yang keluar, maka neraca massa sistem berada pada kesetimbangan.
- b. Konversi produk melamin yang dihasilkan sebesar 99,9%
- c. Berdasarkan perhitungan neraca massa alat secara keseluruhan, tidak ada selisih massa yang masuk dan panas yang keluar, maka neraca massa sistem berada pada kesetimbangan.

5.2 Saran

- a. Perlakuan optimasi perlu diterapkan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih maksimal.
- b. Perhitungan neraca massa menggunakan software Hysys perlu dilakukan agar hasil yang keluar lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, 2019. *Statistik Indonesia 2019*. www.bps.go.id/Jakarta
- Budi, P. 2017. *Biosynthesis Of Silver Nanoparticles Using Ketapang Leaf Extract , Modification With P- Coumaric Acid For Detecting Melaminee Biosintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Daun Ketapang , Modifikasi dengan Asam p- kumarat untuk Aplikasi Deteksi Melami*. 4(2), 367–372.
- Hamali, S. 2019. *Jurnal Manajemen Bisnis Dan Kewirausahaan. Jurnal Manajemen Bisnis dan Kewirausahaan*, 3(4), 126–137. <https://doi.org/10.24912/jmbk.v3i4.4998>
- Himmelblau.1996. *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering*. London: Prentice Hall International.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia, <https://kemenperin.go.id/direktori-perusahaan>. Diakses pada 4 November 2019.
- Kunni, D. And Levenspiel, O. 2005. *Fluidization Engineering*. Original Edition, Robert E/ Krieger Publishing Co. New York
- NIST Chemistry WebBook, <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C75138&Units=SI&Mask=1#Thermo-Gas> diakses pada tanggal 4 November 2019
- Perry, R. H. and Green, D.W., 1999, *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 7th edition. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- Yaws, C. L., 1999, *Thermodynamics and Physical Property Data*, McGraw-Hill Book Co, Tokyo.
- Kirk, R. E. and Othmer, D. F. 1978. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol.1, 2nd edition. Interscience Publishing Inc., New York
- Perry, R. H. 1984. *Perry's Chemical Engineering Hand Book*. 7th ed., Mc. Graw Hill International Edition, New Yo.
- Smith, J.M and Van Ness, H.C., 1987, *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics*, 4th edition, McGraw Hill International Book Company, Tokyo
- US8431696B2. 2013. *Method For Continuously Producing Melaminee*.
- Yaws, C. L., 1999, *Thermodynamics and Physical Property Data*, McGraw-Hill Book Co, Tokyo.