

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia merupakan negara berkembang yang memiliki kewajiban untuk melaksanakan pembangunan pada segala bidang. Salah satunya adalah pembangunan di sektor ekonomi, yang sedang digiatkan oleh pemerintah untuk mencapai kemandirian perekonomian nasional. Untuk mencapai tujuan ini pemerintah menitikberatkan pada pembangunan di sektor industri. Perkembangan industri kimia di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.

Dengan berkembangnya sektor pertanian, perkebunan, dan tanaman pangan serta sektor industri lain menyebabkan kebutuhan produk pupuk urea meningkat. Oleh sebab itu kebutuhan pupuk urea sebagai faktor penunjang sangat diperlukan. Pupuk urea yang diproduksi secara komersial berbentuk prill dan granul. Bentuk granul pada urea mudah untuk larut dalam air dan mudah untuk diangkut serta sebagai pupuk tanpa residu garam setelah dilakukan pemakaian pada tanaman sehingga sangat aman dan mudah untuk dipakai. Kandungan nitrogen dalam urea merupakan yang paling tinggi (46 %) dibandingkan dengan semua pupuk padat. Pada awalnya urea dibuat oleh woehler metode sintesa dengan cara melakukan pemanasan NH_4CNO yaitu pada tahun 1828, kemudian urea dibuat dengan cara dehidrasi amonium karbamat, tetapi baru diproduksi secara komersil pada 50 tahun kemudian. Sejak saat itu produksi serta konsumsi urea terus meningkat dan teknologi pembuatan urea terus berkembang. Urea diproduksi dengan mereaksikan karbon dioksida dengan amonia pada suhu dan tekanan yang cukup tinggi. Pada saat ini produksi urea mengalami perkembangan teknologi yang cukup signifikan dengan adanya teknologi proses daur ulang, hemat energi, meningkatkan pemanfaatan CO_2 dan kualitas produk.

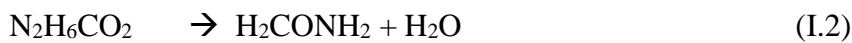
I.2. Tinjauan Pustaka

Urea atau biasa disebut dengan *Carbonyl Diamide* merupakan suatu senyawa organik yang terdiri atas empat unsur penyusun yaitu karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen dengan rumus molekul CON_2H_4 atau $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. *Carbamide*

merupakan nama lain dari urea yang biasa digunakan di kawasan Eropa. Urea mengandung nitrogen sebesar 46% dan merupakan yang tertinggi di antara semua pupuk padat (Hidayah, 2016).

I.3. Tinjauan Proses

Prinsip pembuatan urea yaitu dengan mereaksikan antara amonia dan karbondioksida pada temperatur dan tekanan yang tinggi untuk membentuk amonium karbamat dalam reaktor kontinyu dan dilanjutkan dengan dehidrasi untuk menjadi urea. Berikut merupakan reaksi umum pada pembuatan Urea :



Secara komersial pembuatan produk urea menggunakan 3 proses yaitu:

a. *Once-Through Process*

Amonium Karbamat yang tidak terkonversi menjadi urea didekomposisi menjadi gas NH_3 dan CO_2 dengan cara memanaskan keluaran urea sintesis reaktor pada tekanan rendah . Gas NH_3 dan CO_2 dipisahkan dari larutan urea dan dimanfaatkan untuk memproduksi garam amonium dengan cara mengabsorpsi NH_3 dengan larutan asam nitrat atau asam sulfat sebagai absorben.

b. *Conventional Recycle Process*

Memiliki ciri-ciri yaitu semua amonia dan CO_2 yang tidak terkonversidiumpankan kembali ke dalam reaktor. Pada generasi pertama metode conventional recycle process, pengumpanan amonia dan CO_2 yang tidak terkonversi ke dalam reaktor dilakukan dalam dua tahap yaitu pengumpanan pertama dilakukan pada tekanan 18 – 25 bar dan yang kedua dilakukan pada tekanan rendah (2-5 bar). Kedua proses ini sudah lama ditinggalkan karena pada 5 proses sekali lewat banyak bahan yang terbuang, sedangkan pada proses konvensional membutuhkan energi besar dan rasio perbandingan NH_3CO_2 yang tinggi yaitu 5:1.

c. *Stripping Processes*

Pada *stripping process* CO_2 ataupun NH_3 digunakan sebagai *stripping agent* zat yang tidak terkonversi di dalam larutan urea yang keluar dari reaktor. *Stripping process* merupakan proses yang saat ini paling banyak digunakan karena memiliki keunggulan antara lain energi yang dibutuhkan lebih kecil dan perbandingan

reaktan yang lebih rendah. Pada *Stripping process*, pengolahan urea dibedakan menjadi tiga proses dasar, yaitu meliputi proses *Stamicarbon*, *snamprogetti*, dan teknologi *ACES*. (Ullmann's, 2002).

1. *Stamicarbon CO₂ Stripping process*

Menggunakan kolom *stripping* untuk memisahkan urea hasil sintesis dengan memanfaatkan CO₂ sebagai media *stripping*, karena kelarutan CO₂ yang relatif kecil dalam aliran, sehingga cocok digunakan untuk media *stripper*. Reaktan yang tidak bereaksi dan hasil samping berupa karbamat di umpankan kembali pada reaktor. Kondisi operasi reaktor pada tekanan 140 bar, suhu 168 °C dengan perbandingan molar NH₃:CO₂ 3:1 dan menghasilkan konversi sebesar 60% (Ullmann, 2002)

2. *Snamprogetti NH₃ and Self Stripping Process*

Pada generasi awal ammonia digunakan sebagai media *stripping*. Karena kelarutan ammonia yang besar pada aliran, mengakibatkan efluen yang dihasilkan *stripper* mengandung ammonia dalam jumlah besar, yang mempengaruhi 6 kelebihan ammonia pada aliran selanjutnya. Generasi selanjutnya digunakan panas untuk media *stripping*, yang menyebabkan suhu yang relatif tinggi untuk mencapai hasil yang optimum. Karena suhu tinggi ini, bahan *stainless steel* tidak cocok digunakan sebagai bahan konstruksi. Kondisi operasi reaktor pada tekanan 150 bar dan suhu 185°C dengan rasio perbandingan umpan molar NH₃ : CO₂ 3,5 dan menghasilkan konversi 64% (Ullmann, 2002).

3. *Advanced Process for Cost and Energy Saving (ACES)*

Unit sintesis terdiri dari reaktor, *stripper*, *scrubber* dan dua unit *carbamate condenser* yang dipasang secara parallel. Kondisi operasi reaktor yaitu pada tekanan 175 bar, suhu 190 °C dengan perbandingan molar umpan NH₃ : CO₂ 4:1 dan menghasilkan konversi 68% (Ullmann, 2002).

I.4. Pemilihan Proses

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas terdapat tiga proses yang dapat digunakan sebagai pilihan untuk kemudian di aplikasikan ke dalam proses

produksi. Perbandingan masing-masing proses dipaparkan pada Tabel I.1 sebagai berikut:

Tabel I. 1 Pebandingan Masing – Masing Proses Parameter Proses

Parameter	Proses		
	<i>Stamicarbon</i>	<i>Snamprogeti</i>	<i>ACES</i>
Tekanan reaktor, bar	140	150	175
Suhu reaktor, °C	180	185	190
Konversi CO ₂ , %	60	64	68
Reaktor	<i>Plug Flow</i>	Bubble	Bubble
Fase	Cair menjadi gas	Cair menjadi gas	Cair menjadi gas
Bahan baku	Amonia	Amonia	Amonia

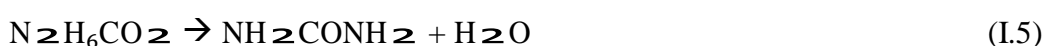
(sumber: JURNAL TEKNIK ITS Vol 10. No 1. 2021)

Berdasarkan Tabel I.1 di atas dipilih metode *Stamicarbon* dengan dasar pemilihan sebagai berikut :

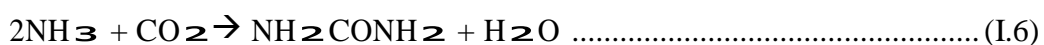
1. Membutuhkan sarana utilitas yang relatif lebih sedikit, sehingga dapat meminimalkan kebutuhan energi.
2. Perbandingan mol NH₃ : CO₂ yang lebih kecil dibandingkan perbandingan mol pada proses yang lain sehingga penghematan biaya dapat dilakukan .
3. Hanya menggunakan satu decomposer, sehingga terdapat penghematan alat proses .
4. Suhu yang digunakan tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan dua metode lainnya dengan pertimbangan menghasilkan kenaikan konversiyang cukup signifikan.

1.4.1 Tinjauan Kinetika

Reaksi :



Dengan total reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Berdasarkan Jurnal X.P. Zhang yang berjudul *Simulation of urea reaktor of industrial proses* kinetika reaksinya sebagai berikut :

$$R_4 = kC_r(xr_6 - \frac{1}{K_{xr,4}} \cdot \frac{xr_6 \cdot xr_1}{xr_4})$$

Dengan harga nilai konstanta kecepatan reaksinya adalah :

$$k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right)$$

$$k = 2,5 \cdot 10^8 S^{-1} \cdot \exp\left(\frac{-100000 \text{ J/mol}}{(8,13475 \text{ J/mol})(441,15K)}\right)$$

$$k = 3,6113 \cdot 10^{-4} \text{ L/Kmol.s}$$

dimana :

k = Konstanta kecepatan reaksi (1/sec)

S = Entropi

R₄ = Nilai Reaksi 4

C_r = Konsentrasi Total pada fasa gas

R = Konstanta gas ideal (8,3145 J/mol)

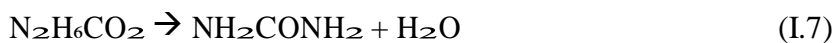
T = Suhu Fluida (441,15K)

k₀ = Faktor A (2,5 · 10⁸S⁻¹)

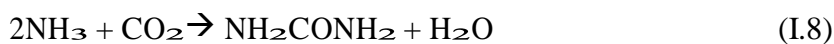
E_a = Energi aktivasi (-100000 J/mol)

I.4.2. Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika dipergunakan sebagai acuan untuk mengetahui arah reaksi dan sifat reaksi. Panas reaksi dapat ditentukan dengan perhitungan panas pembentukan standar (ΔH⁰F) pada P = 1 atm dan T = 298,15 K, reaksi yang terjadi dalam pembuatan urea :



Dengan total reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Data enthalpy pembentukan (ΔH⁰F) pada suhu 298,15 K dapat dilihat pada Tabel I.2

Tabel I. 2 Harga ΔH°_f masing-masing komponen

Komponen	ΔH°_f	ΔG°
CO ₂	-393,5 kJ/mol	394,39 kJ/mol
NH ₃	-45,9 kJ/mol	16,4 kJ/mol
H ₂ O	-241,8 kJ/mol	237,14 kJ/mol
(NH ₂) ₂ CO	-333,41 kJ/mol	47,12 kJ/mol
N ₂ H ₆ CO ₂	37,4 kJ/mol	20,6954 kJ/mol

Jadi,

$$\begin{aligned} \Delta H^{\circ}_f (298 \text{ K}) &= \Delta H^{\circ}_f \text{ produk} - \Delta H^{\circ}_f \text{ Reaktan} \\ &= ((-45,9) - (-393,5)) + ((-333,41) - (-241,8)) \\ &= -89,91 \text{ kJ/mol.K} \end{aligned}$$

Karena harga ΔH°_f (298,15 K) bernilai negatif, maka reaksi bersifat *eksotermis* sehingga dalam proses reaksi melepaskan energi panas agar reaksi berjalan. Dalam perancangan pabrik urea reaksi pembentukannya ialah reaksi *reversible*, hal ini dapat ditunjukkan dengan harga konstanta kesetimbangan (K) dari energi bebas gibbs dari reaktan dan produk adalah :

Persamaan :

$$\Delta G^{\circ} = (\Delta G^{\circ}_f)_{\text{produk}} - (\Delta G^{\circ}_f)_{\text{reaktan}}$$

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

$$\text{Maka : } K = \exp \left[\frac{-\Delta G^{\circ}}{R.T} \right]$$

Dengan :

ΔG° = Energi bebas gibbs standard (kJ/mol)

T = Temperatur (K)

R = Ketetapan gas ($8,314 \times 10^{-3}$ kJ/mol.K)

K = Konstanta kesetimbangan pada 298 K

1. Reaksi utama

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ &= \Delta G^\circ_{\text{produk}} - \Delta G^\circ_{\text{reaktan}} \\ &= ((47,12) + (237,14)) - ((394,39) + (16,4)) \\ &= -142,93 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

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

$$\ln K = \frac{-\Delta G^\circ}{R.T}$$

$$\ln K = \frac{-(-142,93 \text{ kJ/mol})}{8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol.K} \times 298 \text{ K}}$$

$$\ln K = 57,6895$$

$$K = 5,0551$$

Dari Persamaan :

$$\ln\left(\frac{K}{K_{298K}}\right) = -\frac{\Delta H_{298K}}{R} \times \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)$$

(Smith & Van Ness Equation, 1997)

dengan :

K_{298} : Konstanta kesetimbangan pada temperatur 298 K

T : Temperatur tertentu (K)

ΔH_{298} : Panas reaksi pada 298 K

Pada suhu 441 K besarnya konstanta kesetimbangan dapat dihitung sebagai berikut.

$$\ln\left(\frac{K_{441K}}{K_{298K}}\right) = -\frac{\Delta H_{298K}}{R} \times \left(\frac{1}{441} - \frac{1}{298}\right)$$

$$\ln\left(\frac{4,0551}{K}\right) = -\frac{(-89,91 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}})}{(8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol.K})} \times \left(\frac{1}{441} - \frac{1}{298}\right) \text{K}$$

$$K = 7,7419 \times 10^5$$

Harga konstanta kesetimbangan relatif besar yaitu $7,7419 \times 10^5$, sehingga reaksi yang berlangsung adalah Searah (*irreversible*).

I.5. Penentuan Kapasitas Pabrik

I.5.1. Data Ekspor

Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik), menunjukkan ekspor urea yang cenderung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, yang ditunjukkan

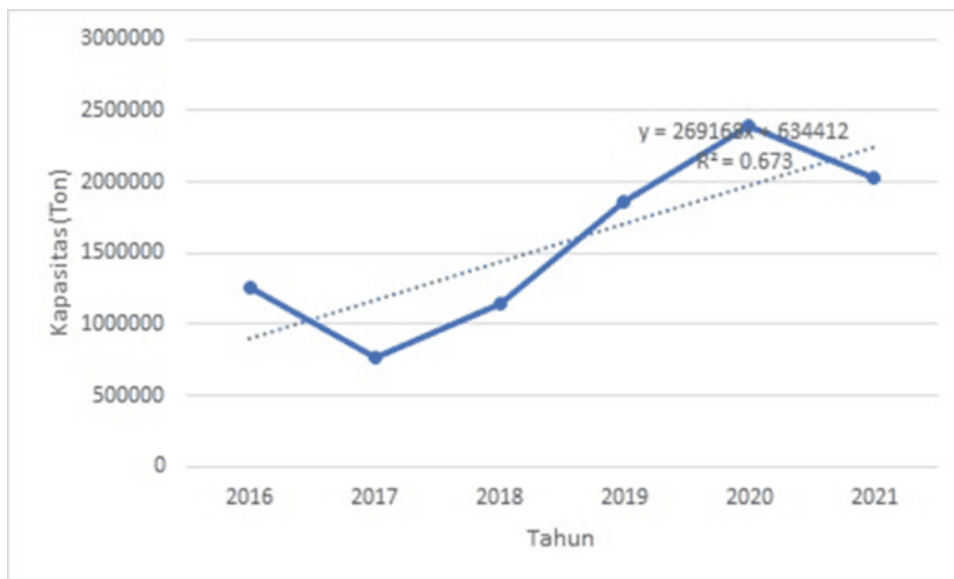
pada Tabel I.3 dibawah ini :

Tabel I. 3 Data Ekspor Urea

Tahun	Volume (ton)
2016	1264219,9150
2017	770575,3980
2018	1141793,9020
2019	1860466,5385
2020	2387365,3360
2021	2034590,7310

Sumber : Badan Pusat Statistik 2016-2021

Dari data ekspor pada tabel, dilakukan regresi linear untuk mendapatkan nilai kenaikan ekspor urea yang dipergunakan untuk memperkirakan ekspor urea pada tahun 2030.



Gambar I. 1 Grafik Ekspor Urea dari Indonesia

Persamaan linear yang digunakan :

$$Y = AX + B$$

Dimana, X = Tahun

Y = Kapasitas Produksi

Setelah dilakuakan perhitungan dengan data ekspor yang ada didapatkan

$$Y = -1865,02 - 812,88$$

$$Y = 1.648.273,0196 \text{ Ton pertahun}$$

Dengan kebutuhan urea dinegara india, brazil, dan amerika yang masih sangat tinggi yaitu sekisar antara empat sampai sembilan metric ton ditunjukkan pada data dari statista sebagai berikut :

Tabel I. 4 Data Impor Urea di Dunia

Negara	Volume (metric ton)
India	9,678
Brazil	5,897
United Stades	4,889

Sumber: Statista

I.5.2. Kapasitas Pabrik yang Sudah Berdiri

Dengan pertimbangan beberapa pabrik urea seperti pupuk kaltim dan petrokimia gresik, dengan melihat pasar global dalam kebutuhan urea maka pabrik dapat didirikan dalam kapasitas yg tinggi. Namun karena ketersediaan bahan baku kapasitas pabrik dapat didirikan dengan kapasitas 60.000 ton/tahun dengan pertimbangan bahan baku CO₂ mengambil 80% dari kapasitas dari pupuk kujang yaitu 40.000 ton/tahun dengan konversi reaksi menjadi produk sebesar 60%.

I.5.3. Pemilihan Lokasi Pabrik

a. Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan Urea adalah Amonia dan gas *Carbon Dioxide*. Ammonia yang digunakan bedasal dari PT. Pupuk Kujang Cikampek dengan kapasitas 330.000 Ton/Tahun yang terletak di kawasan industri jawa barat sehingga bisa menggunakan jalur darat untuk ke tempat pendirian pabrik Amonia. Bahan baku lainnya yaitu *Carbon Dioxide* yang berasal dari PT. Pupuk Kujang Cikampek dengan kapasitas 50.000 Ton/Tahun.

b. Letak Pabrik dengan daerah Pemasaran Produk

Pupuk Urea merupakan pupuk organik yang digunakan dalam pertanian sebagai pemasok Nitrogen. Kabupaten Majalengka merupakan daerah yang tepat untuk daerah pemasaran karena banyaknya wilayah pertanian yang sedang

berkembang diantaranya Kabupaten Majalengka, Kabupaten Sumedang, Kabupaten Subang, dan masih banyak lagi di wilayah Indonesia.

c. Utilitas

Fasilitas utilitas yang dibutuhkan meliputi air, bahan bakar, dan listrik. Untuk pemenuhan kebutuhan air diperoleh dari waduk Jatigede ataupun bekerjasama dengan PLTU Cirebon dan PLTA Jatigede. Berikut merupakan peta lokasi pendirian pabrik Urea di Kabupaten Majalengka – Jawa Barat.

d. Sarana Transportasi

Transportasi dalam suatu pabrik merupakan sarana yang digunakan untuk menunjang keperluan mengangkut bahan baku serta memasarkan produk sehingga dapat ditempuh melalui jalur darat maupun laut. Di daerah Majalengka itu sendiri terdapat jalur darat yang berupa jalan raya serta jalur laut dari Cirebon yang salah satunya pelabuhan Cirebon, sehingga pemasaran produk urea dapat dihubungkan antar pulau.

e. Tenaga Kerja

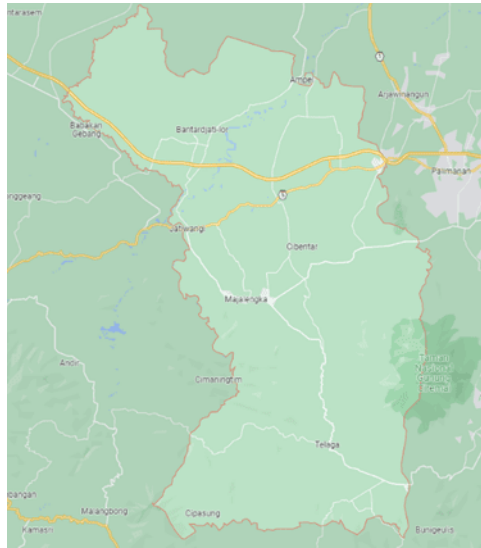
Untuk tenaga ahli kualitas tertentu dapat diperoleh dari instansi pendidikan meski tidak berasal dari daerah setempat. Sedangkan untuk tenaga kerja non ahli bisa didapatkan dari masyarakat sekitar dari lulusan formal pendidikan yang ada di Majalengka dan sekitarnya.

f. Kondisi Iklim

Daerah Majalengka beriklim tropis dengan rata-rata suhu sekitar 30⁰C, dari bulan Juni - Agustus terjadinya curah hujan maksimum sedangkan pada bulan September – Desember terjadinya curah hujan minimum dengan kondisi iklim yang cukup stabil sepanjang tahunnya sehingga operasi pabrik dapat berjalan dengan lancar. Disamping itu daerah Majalengka merupakan kawasan industri dengan pengaturan serta penanggulangan terkait dampak pada lingkungan dilaksanakan secara baik.

g. Undang-undang dan peraturan

Letak pabrik yang berada di kawasan industri sehingga persoalan izin pemerintah dan masyarakat dapat berjalan dengan mudah dan baik serta memperlancar proses pendirian pabrik.



Gambar I. 2 Lokasi Pendirian Pabrik