

Pra Desain Pabrik Urea dari Amonia dan CO₂ Berbasis Proses *Stamicarbon* CO₂ Stripping

Mochamad Irfan Dwiputri, Aupal Nawasanjani, Renanto dan Rendra Panca Anugraha
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: renanto@chem-eng.its.ac.id

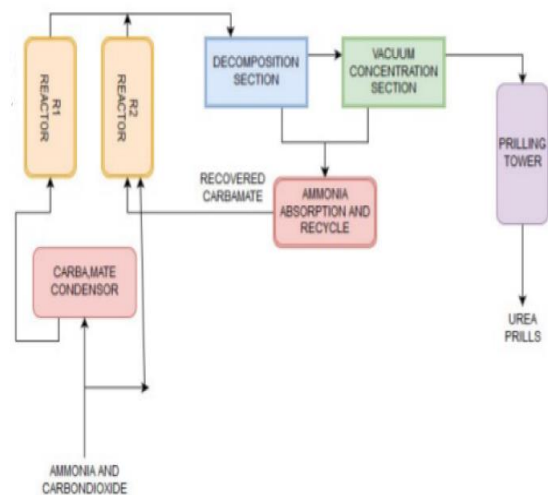
Abstrak—Indonesia merupakan negara agraris dimana mayoritas penduduknya merupakan petani yang bekerja pada sektor pertanian dengan berkembangnya sektor pertanian, perkebunan, dan tanaman pangan serta sektor industri lain menyebabkan kebutuhan produk pupuk urea meningkat. Oleh sebab itu, kebutuhan pupuk urea sebagai faktor penunjang sangat diperlukan. Lokasi pabrik direncanakan di Kawasan Industri Kaltim *Industrial Estate*, Bontang, Provinsi Kalimantan Timur. Bahan baku utama dalam proses pembuatan pupuk urea adalah amonia cair yang memiliki komposisi sebesar 99,8% NH₃ dan 0,2% H₂O. Selain itu, terdapat bahan baku penunjang yaitu CO₂. Kapasitas produksi pupuk urea ini direncanakan sebesar 570.000 ton urea/tahun. Proses produksi pupuk urea dari amonia dan CO₂ pada pabrik yang akan didirikan menggunakan proses *stamicarbon*, dimana menggunakan gas CO₂ sebagai agen *stripping* dalam menjalankan prosesnya. Untuk tahapan proses yang pertama adalah persiapan bahan baku kemudian dilanjutkan dengan proses sintesa urea yang terjadi melalui peralatan HPCC, reaktor, dan *stripper*. Setelah proses sintesa, dilanjutkan dengan proses resirkulasi larutan karbamat dengan yang akan digunakan kembali dengan cara memisahkan dari larutan urea kemudian di resirkulasi kembali ke reaktor. Kemudian dilanjutkan proses pemurnian yaitu memurnikan larutan urea yang masih ada sedikit kandungan karbamat dan reaktan sisa dan meningkatkan kepekatan urea nya. Setelah itu larutan urea pekat dialirkan menuju *prilling tower* untuk dirubah menjadi bentuk urea prill. Untuk studi kelayakan Pra Desain Pabrik ini, dari segi ekonomi telah dilakukan analisa ekonomi dengan hasil. Total Investasi (TCI) yang didapat adalah sebesar Rp 898.483.250.725,22 dan *Net Present Value* (NPV) yang didapat adalah sebesar Rp 2.200.043.820.353,20 atau sama dengan positif. *Internal Rate of Return* (IRR) pabrik ini adalah 38,16%. Dengan waktu pengembalian modal pabrik pada 2,47 tahun. Sedangkan pada analisa sensitifitas, penambahan dan pengurangan harga bahan baku dan harga produk hingga sebanyak 20%. Sehingga berdasarkan analisa-analisa yang telah dilakukan, pabrik urea ini layak untuk didirikan.

Kata Kunci—Kapasitas, *Stamicarbon*, *Stripping*, Urea.

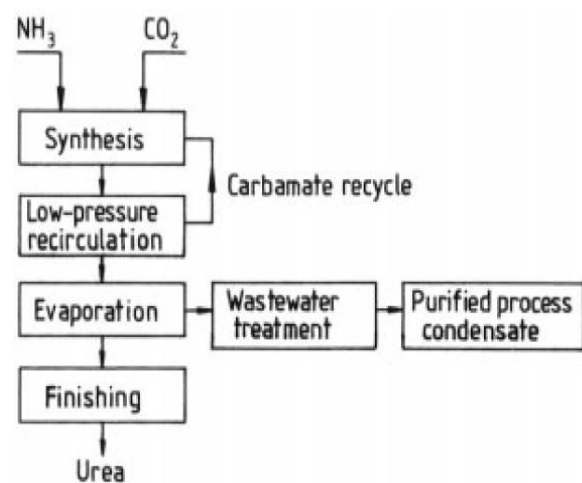
I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan negara agraris dimana mayoritas penduduknya merupakan petani yang bekerja pada sektor pertanian. Selain itu, pemerintah dengan program swasembada pangannya tentu sangat memperhatikan sektor pertanian tersebut. Penambahan pupuk bertujuan agar kesuburan tanah meningkat, sehingga tanaman menjadi lebih produktif serta memperbaiki keadaan kimiawi tanah. Pupuk dengan kandungan nitrogen yang tinggi biasa digunakan dalam sektor pertanian salah satunya yaitu urea, dimana memiliki kandungan nitrogen sebesar 46,6 [1].

Dengan berkembangnya sektor pertanian, perkebunan, dan tanaman pangan serta sektor industri lain menyebabkan kebutuhan produk pupuk urea meningkat. Oleh sebab itu,

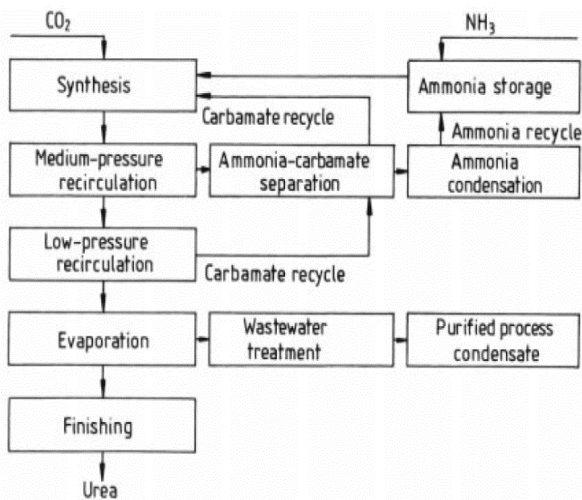


Gambar 1. Diagram Mitsui Toatsu Process.

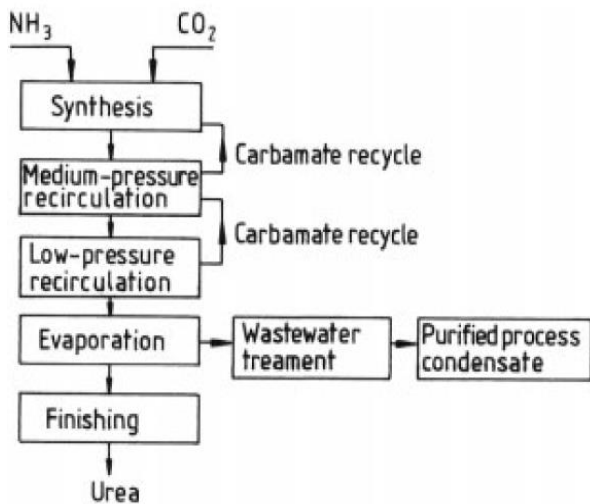


Gambar 2. Diagram *Stamicarbon* CO₂ - Stripping Process.

kebutuhan pupuk urea sebagai faktor penunjang sangat diperlukan. Pupuk urea yang diproduksi secara komersial berbentuk prill dan granul. Urea prill paling banyak digunakan untuk segmen tanaman pangan dan industri, sedangkan urea granul lebih cocok untuk segmen perkebunan dan memiliki prospek ekspor, meskipun dapat juga untuk tanaman pangan. Selain sebagai pupuk, urea juga digunakan sebagai bahan baku pembuatan produk lain, seperti urea ammonium sulfat, urea fosfat, asam karbiturit, kafein, etil urea, hidrazin, melamin, asam sulfat, dan urea formaldehid. Di Indonesia sendiri untuk saat ini terdapat 5 pabrik yang menghasilkan pupuk urea yaitu PT Pupuk Iskandar Muda di Aceh, PT Pupuk Sriwidjaja di Palembang Sumatera Selatan, PT Pupuk Kujang di Cikampek Jawa Barat, PT Pupuk



Gambar 3. Diagram Snamprogetti Ammonia Stripping Process (Saipem).



Gambar 4. Diagram ACES 21 Process.

Kalimantan Timur di Bontang Kalimantan Timur, dan PT Petrokimia Gresik di Gresik Jawa Timur.

Berdasarkan data dari Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia diketahui bahwa kebutuhan domestik urea setiap tahunnya cenderung mengalami peningkatan dalam jumlah yang besar. Peningkatan kebutuhan domestik urea dapat dilihat pada tabel 1 [2].

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kebutuhan urea dalam negeri telah mencapai lebih dari 5 juta ton tiap tahunnya. Kebutuhan urea yang besar diiringi oleh kebutuhan dalam negeri yang besar pula untuk sektor pangan, sereal, kabi, hortikultura, kebun rakyat, peternakan, perkebunan, perikanan, serta industri. Bila kebutuhan domestik sudah bisa terpenuhi dan mencukupi untuk dua pekan kedepan maka pupuk urea yang diproduksi akan diekspor untuk meningkatkan devisa negara. Volume ekspor pupuk urea pada waktu dekat ini sedang meningkat dikarenakan produsen pupuk urea yang berskala besar seperti China sedang melakukan peremajaan alat, sehingga demand pupuk urea ke China dialihkan ke beberapa negara salah satunya Indonesia. India merupakan salah satu negara peralihan yang dimana sedang tinggi-tingginya memiliki permintaan pupuk urea yang tinggi. Berdasarkan penjelasan dan pertimbangan

Tabel 1. Statistik Produksi Lokal, Impor, Ekspor dan Kebutuhan Domestik Pupuk Urea di Indonesia (dalam ton).

Tahun	Produksi Lokal	Impor	Ekspor	Kebutuhan Domestik
2007	5.865.856	1.794	690.270	5.177.380
2008	6.213.292	9.990	180.206	6.043.076
2009	6.874.630	31.552	607.511	6.298.671
2010	6.721.947	39.072	879.196	5.881.823
2011	6.743.422	53.992	750.430	6.046.984
2012	6.907.237	145.872	989.612	6.063.497
2013	6.698.349	64.745	1.359.109	5.403.985
2014	6.742.366	120.750	1.107.880	5.755.236
2015	6.917.372	95.434	831.894	6.180.912
2016	6.462.938	625.900	1.253.200	5.835.638
2017	6.838.063	86.355	766.864	6.157.554

Tabel 2. Komposisi Bahan Baku NH₃

Komponen	% Berat
NH ₂	99,8
H ₂ O	0,2

Tabel 3. Komposisi Bahan Baku CO₂

Komponen	% Berat
CO ₂	99
H ₂ O	1

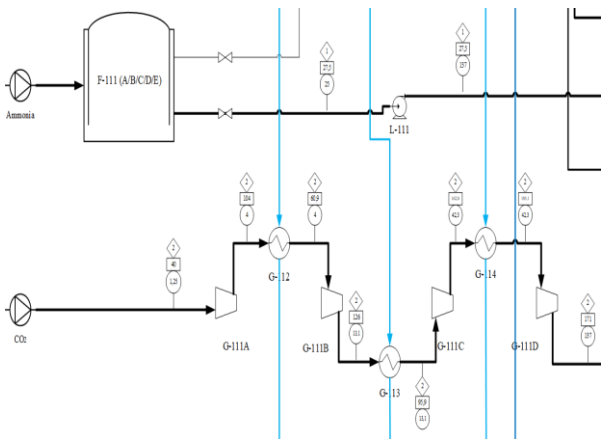
Tabel 4. Spesifikasi Produk Urea

Limit Produk	Produk Urea
Kadar Nitrogen	> 46%
Kadar Air	< 0,5% berat
Kadar Biuret	< 1,2% berat
	46,6 %
	0,003% berat
	0,007% berat

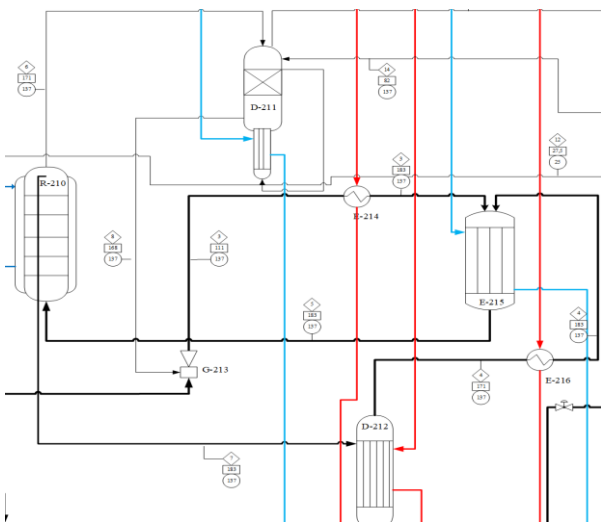
di atas, pabrik pupuk urea akan didirikan di Indonesia dengan alasan sebagai berikut:

1. Memenuhi kebutuhan urea di dalam negeri.
2. Meningkatkan nilai ekspor urea sehingga meningkatkan devisa negara.
3. Menyediakan bahan baku bagi pabrik yang memanfaatkan urea.
4. Mencegah kelangkaan pupuk di Indonesia.
5. Menyerap tenaga kerja sehingga mengurangi pengangguran.

Ada beberapa teknologi produksi yang dapat digunakan untuk membuat pupuk urea dari bahan baku ammonia (NH₃) dan CO₂, antara lain : *Mitsui Toatsu Process*. Pada proses ini, digunakan tiga tingkatan dekomposisi untuk *recovery* karbamat. Ammonia dan karbon dioksida dialirkan ke reaktor yang dioperasikan pada suhu 195°C dan tekanan 193 atm dengan perbandingan mol NH₃:CO₂ adalah 4:1. Larutan dari reaktor dimasukkan ke *high pressure decomposer* yang dioperasikan pada tekanan 18 – 20 bar untuk memisahkan urea dari ammonium karbamat, gas ammonia, dan karbon dioksida [3]. Sisa ammonia dan karbon dioksida dihilangkan dengan menggunakan *low pressure decomposer* yang dioperasikan pada tekanan 1 – 2 bar dan kemudian dialirkan ke gas separator yang dioperasikan pada tekanan atmosfer. Larutan yang dikeluarkan dari separator gas, dimana mengandung 74 % urea, dimurnikan dalam evaporator. Produk urea cair dikonsentrasikan di dalam evaporator pada tekanan vakum. Kemudian urea dibentuk menjadi butiran



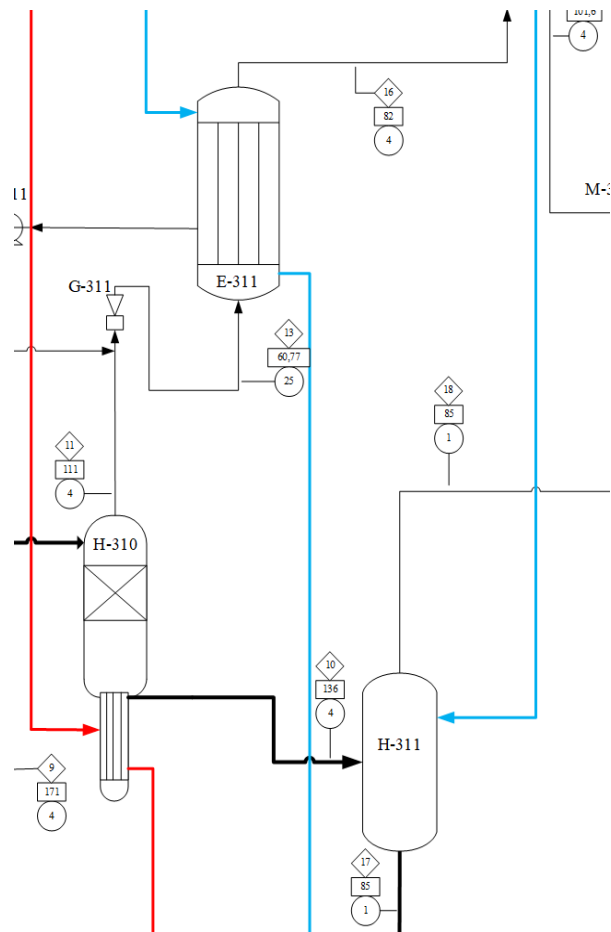
Gambar 5. Process Flow Diagram Persiapan Bahan Baku.



Gambar 6. Process Flow Diagram Unit Sintesa Urea.

menggunakan prilling atau granulasi [3]. Selanjutnya ammonium karbamat sisa, di-recycle kembali ke reaktor. Sisa-sisa gas yang mengandung eksep ammonia dan karbon dioksida dari pemecahan karbamat dialirkan ke *high pressure absorber*. Hasil atas pada alat ini, berupa gas amonia dan karbon dioksida, digunakan pada tahap berikutnya untuk memekatkan urea. Kemudian, ammonia dikondensasikan dengan *cooling water* dan di-recycle ke reaktor [4]. Diagram Mitsui toasts proses dapat dilihat pada Gambar 1 [3].

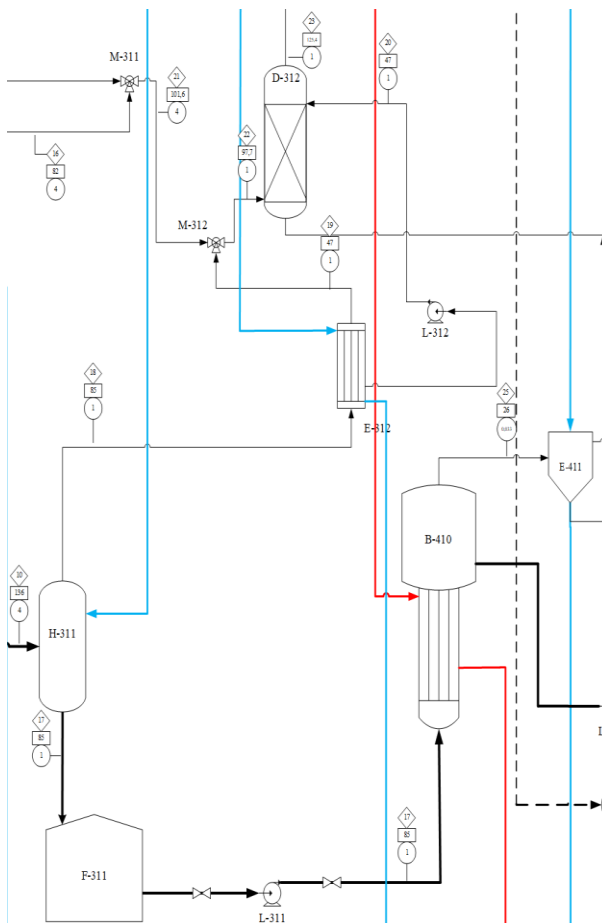
Selanjutnya, *Stamicarbon CO₂ - Stripping Process*. Pada proses ini, gas CO₂ dan NH₃ cair masuk ke dalam HPCC (*High Pressure Carbamate Condenser*) pada tekanan 141 kg/cm² dengan suhu 183°C membentuk ammonium karbamat. Rasio NH₃:CO₂ adalah 3:1. Reaksi pembentukan karbamat bersifat eksotermis. Larutan ammonium karbamat dengan gas NH₃ dan CO₂ yang tidak bereaksi ini kemudian diumpangkan ke dalam reaktor sintesis urea pada tekanan 141 kg/cm² dan suhu 183°C. Larutan urea yang terbentuk dalam reaktor memiliki konsentrasi 38% dan konversi gas CO₂ sekitar 60% [4]. Larutan urea keluar reaktor secara *overflow* kemudian dikirim ke *high pressure stripper* untuk stripping ammonia dan CO₂ yang tidak terkonversi menggunakan gas CO₂ secara *counter current*. Larutan *outlet* reaktor distripping dengan gas CO₂ yang bertujuan untuk menurunkan tekanan parsial gas ammonia sehingga terjadi perubahan kesetimbangan dimana ammonia fasa cair akan berubah menjadi gas, sedangkan gas CO₂ yang terlarut dalam ammo



Gambar 7. Process Flow Diagram Unit Resirkulasi.

nium karbamat akan ikut keluar menjadi fasa gas sebagai produk atas kolom stripper. Hasil bawah stripper memiliki yaitu larutan urea dengan konsentrasi urea sekitar 56% diumpangkan ke unit resirkulasi dan unit evaporasi sehingga diperoleh konsentrasi urea 99%. Larutan urea ini kemudian dipompa ke unit prilling untuk dibuat urea prill [3]. Diagram stamicarbon CO₂-Stripping process dapat dilihat pada Gambar 2 [3].

Berikutnya, *Snamprogetti Ammonia Stripping Process (Saipem)*, Pada proses ini, pengoperasian reaktor sintesis urea yang digunakan pada suhu 188°C dan tekanan 158 kg/cm² dengan NH₃:CO₂ adalah sekitar 3,3 – 3,5. Hal ini memungkinkan tercapainya konversi CO₂ hingga 64% di *outlet* reaktor. Larutan urea yang keluar reaktor kemudian dimasukkan ke stripper dimana sebagian karbamat yang tidak terkonversi menjadi urea didekomposisi menjadi ammonia dan karbon dioksida dengan agen stripping NH₃ [4]. Uap NH₃ dan CO₂ yang keluar dari bagian atas stripper kemudian dipertemukan dengan larutan karbamat recycle dari seksi *medium pressure* untuk selanjutnya dikondensasikan di *carbamate condenser* sebagai larutan karbamat. Kemudian gas-gas *inert* yang ada dalam larutan karbamat keluar dari *carbamate condenser* dipisahkan dalam *carbamate separator* dan larutan karbamatnya dikembalikan ke reaktor menggunakan *carbamate ejector* dengan memanfaatkan *high pressure NH₃* dari *discharge* pompa ammonia *high pressure* sebagai fluida penggerak. Selanjutnya sisa karbamat dan ammonia yang terdapat dalam larutan urea keluar dari stripper dapat diperoleh kembali setelah melalui 2 tahap resirkulasi yang beroperasi pada tekanan 17 kg/cm² (seksi



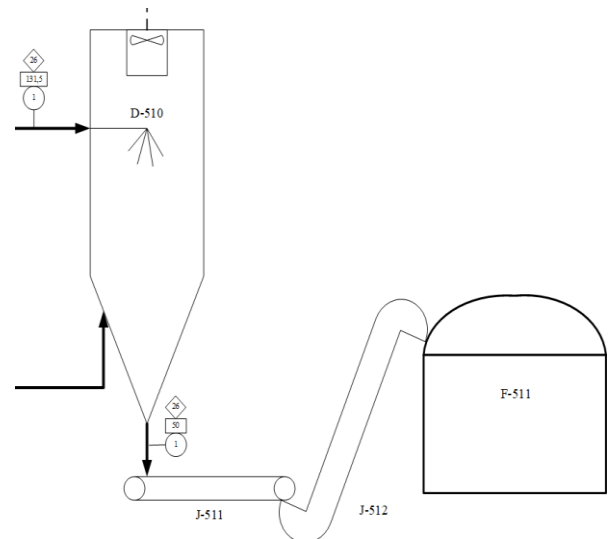
Gambar 8. Process Flow Diagram Unit Pemurnian (Pemekatan Urea).

medium pressure) dan $3,9 \text{ kg/cm}^2$ (seksi low pressure) sehingga diperoleh larutan urea dengan konsentrasi 69 – 71%. Pemekatan larutan urea dilakukan melalui 2 tahap juga dengan melewati 2 evaporator, sehingga diperoleh larutan urea dengan konsentrasi 96% yang selanjutnya ditransfer ke seksi granulasi atau prilling [4]. Diagram Samprogetti ammonia stripping process (saipem) dapat dilihat pada Gambar 3 [3].

Terakhir, *Advanced Process for Cost and Energy Saving 21 (ACES21)*. Proses ini terdiri dari sebuah reaktor, stripper, dan karbamat condenser. Cairan ammonia diumpankan ke reaktor melalui *high pressure carbamate* sebagai tenaga penggerak selama sirkulasi di sintesa loop. Reaktor beroperasi pada tekanan 178 atm dan suhu 190°C dengan rasio $\text{NH}_3:\text{CO}_2$ sebesar 4. Konversi CO_2 sebanyak 64% menjadi urea ketika keluar reaktor. Larutan urea kemudian diumpankan ke stripper dimana karbamat yang tidak terkonversi didekomposisi *thermal*. Ammonia ekses dan CO_2 dipisahkan dengan stripping CO_2 . Larutan urea dari bagian bawah stripper dengan konsentrasi 49% dikirim ke unit *medium pressure* dan *low pressure decomposer, vacuum concentrator*, dan evaporator sehingga diperoleh konsentrasi urea sebesar 96% berat. Larutan urea ini kemudian dipompa ke di unit granulasi atau prilling [4]. Diagram ACES 21 process dapat dilihat pada Gambar 4 [3].

II. URAIAN PROSES

Pada proses pembuatan urea, perlu dilakukan seleksi pemilihan proses untuk menentukan proses yang paling



Gambar 9. Process Flow Diagram Unit Prilling Tower.

efisien agar memperoleh hasil yang maksimal dengan waktu yang minimal. Selain itu, seleksi proses juga dapat dilandaskan pada faktor lain seperti kondisi operasi reaktor, kandungan biuret pada produk dan lain-lain. Dengan bahan baku utama dengan komposisi yang telah didapatkan, dapat diproyeksikan produk yang akan dihasilkan yaitu urea akan memenuhi syarat mutu pupuk urea. Tabel 2 merupakan komposisi bahan baku NH_3 . Dan bahan baku CO_2 dengan komposisi dapat dilihat pada Tabel 3. Dengan ketentuan bahan baku dan produk, didapatkan secara keseluruhan proses pembuatan urea dari amonia dan CO_2 terdiri dari 5 tahapan unit proses yaitu unit persiapan bahan baku, unit sintesa urea, unit resirkulasi, unit permunian, dan unit *prilling tower*.

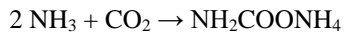
A. Unit Persiapan Bahan Baku

Pada unit ini bahan baku yang akan digunakan dalam proses pembuatan urea. Bahan baku utama adalah cairan NH_3 yang ditampung di tangki penyimpanan (F-111) pada tekanan $25,5 \text{ kg/cm}^2$ dan suhu $27,5^\circ\text{C}$ sebelum masuk ke unit sintesa urea. Kemudian NH_3 cair dikirim ke ejector (G-213) melalui pompa (L-111) yang kemudian dari ejector akan dilanjutkan menuju unit sintesa urea yaitu *High Pressure Carbamate Condenser* (E-215) dengan tekanan sekitar 137 atm. Kemudian untuk bahan baku penunjang yaitu gas CO_2 dialirkan ke unit sintesa urea melalui pipa pada tekanan 1,25 atm dan suhu 30°C yang dikompresi dengan kompresor sentrifugal (G-111 A/B/C/D) secara bertingkat sebanyak 4 stage. Pada setiap *stage* gas CO_2 melalui tahap pendinginan di *intercooler* (G-111/G-112/G-113). Kompresor memiliki 3 intercooler yang berfungsi untuk mendinginkan gas CO_2 . Proses kompresi bertingkat ini di lakukan sampai tekanan CO_2 yang akan di kirim ke stripper sebesar 137 atm dengan temperatur 171°C . CO_2 yang telah di kompresi akan menuju ke *high pressure stripper* (D-212) untuk men-*stripping* reaktan yang tidak terkonversi di reaktor. Prpcess flow diagram persiapan bahan baku dapat dilihat pada Gambar 5.

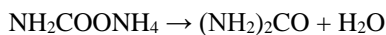
B. Unit Sintesa Urea

Unit ini berfungsi untuk mereaksikan reaktan hingga terbentuknya urea. Sintesa urea bermula dari keadaan NH_3

dan CO₂ bereaksi di dalam HPCC (E-215). Ammonium karbamat terbentuk di dalam HPCC berdasarkan reaksi :



Reaksi pembentukan karbamat merupakan reaksi eksotermis. Reaksi pembentukan karbamat berlangsung pada kondisi 137 atm, temperatur 183°C, dan rasio molar NH₃/CO₂ adalah 3. Di dalam HPCC (E-215), larutan karbamat dan sisa reaktan tersebut dialirkan menuju bagian bawah reaktor urea. Reaktor (R-210) ini beroperasi pada tekanan 137 atm dan temperature 183°C. Dalam reaktor terjadi reaksi dehidrasi larutan karbamat sebagai berikut:



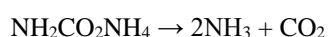
Reaksi ini adalah reaksi endotermis dan berlangsung lebih lambat. Dalam prosesnya panas reaksi pembentukan karbamat akan dimanfaatkan untuk proses pembentukan urea. Namun dari reaksi ini ada hal yang perlu diperhatikan yaitu reaksi pembentukan biuret. Reaksi ini dihindari karena biuret merupakan racun bagi tanaman. Reaksi pembentukan biuret terjadi sebagai berikut :



Campuran hasil reaksi yang terjadi di dalam reaktor mengalir ke HP stripper (D-212). Reaktan yang tidak bereaksi menjadi urea dialirkan menuju *high pressure scrubber* (D-211). Gas di HP scrubber (D-211) dikurangi kandungan NH₃ nya dengan larutan karbamat dari unit resirkulasi. Bottom outlet reaktor yang mengandung urea lalu dialirkan ke HP stripper (D-212) untuk dikurangi kandungan karbamatnya dengan bantuan CO₂ sebagai agen stripping-nya. Kemudian gas yang terikat bersama CO₂ dari outlet atas HP stripper (D-212) diumpangkan ke dalam HPCC (E-215) dan bottom outletyadikirim ke unit resirkulasi. Temperatur stripper sekitar 183°C dan gas CO₂ yang dialirkan secara counter current suhu 171°C masuk ke tube, hal ini menyebabkan tekanan parsial NH₃ di HP stripper (D-212) turun dan mengakibatkan karbamat yang terikat dengan larutan urea akan terurai (terdekomposisi). Level di dalam HP stripper (D-212) dijaga serendah mungkin untuk memperkecil pembentukan biuret dan hidrolisa urea. Process flow diagram unit sintesa urea dapat dilihat pada Gambar 6.

C. Unit Resirkulasi

Unit resirkulasi berfungsi untuk menggunakan kembali sisa reaktan yang tidak terkonversi untuk dikembalikan lagi ke unit sintesa. Pengambilan reaktan ini dilakukan dengan cara penguraian karbamat menjadi CO₂ dan NH₃ dengan cara ekspansi dari tekanan sintesa 137 atm menjadi 4 atm sebelum masuk ke unit *Low Pressure Decomposer*. Sebagai akibat dari ekspansi ini, larutan karbamat akan terdekomposisi, panas yang diperlukan diambil dari larutan itu sendiri sehingga temperature keluar menjadi 136°C dan konsentrasi urea meningkat dalam larutan. Campuran gas dan cairan dari HP stripper (D-212) dialirkan ke *LP Decomposer* kemudian dipanaskan hingga suhu 136°C. Pemanasan ini bertujuan untuk menguraikan karbamat yang masih ada . Penguraian karbamat terjadi sebagai berikut:



Setelah dipanaskan, larutan urea masuk separator yang berada di *LP Decomposer*. Di separator ini fasa gas dan cairan akan terpisahkan. Larutan urea yang semakin pekat dialirkan menuju *Flash Separator* (H-311) secara gravitasi. Pada *Flash Separator* (H-311) terjadi penurunan tekanan dari 4 atm menjadi 1 atm yang mengakibatkan konsentrasi urea naik menjadi sekitar 80% yang secara gravitasi akan mengalir menuju tangki *urea solution* (F-311) sebelum dikirim ke unit pemurnian. Temperatur larutan urea akan turun dari 136°C menjadi 85°C. Uap air dan gas yang keluar dari *flash separator* (H-311) akan menuju *vapour condenser* (E-312) yang akhirnya menuju absorber (D-312). Gas yang keluar dari *LP Decomposer* yang masih mengandung CO₂, NH₃, dan uap air akan dikondensasikan di LPCC (E-311). Reaksi pembentukan karbamat sama seperti di HPCC (E-215). Untuk memperbaiki rasio N/C saat kembali ke unit sintesa, maka pada *inlet* LPCC ditambahkan NH₃ yang berasal dari tanki (F-111). Kemudian larutan karbamat dipompakan ke unit sintesa untuk menangkap gas keluaran reaktor (R-210) di *scrubber* (D-211) menggunakan pompa (L-211), sedangkan keluaran gas yang mengandung sedikit CO₂, NH₃, dan uap air dialirkan ke *absorber* (D-312). Process flow diagram unit resirkulasi dapat dilihat pada Gambar 7.

D. Unit Pemurnian (Pemekatan Urea)

Pada tahap ini larutan urea dengan konsentrasi masih 80% dari unit resirkulasi dinaikkan konsentrasinya menjadi 99%, kemudian larutan urea tersebut dibuat menjadi berbentuk prill. Pemekatan urea dilakukan di dalam evaporator pada tekanan vakuum 0,033 atm. Larutan urea dari tangki larutan urea suhu 85°C dipompa ke *evaporator* (B-410). Pada *evaporator* (B-410), konsentrasi urea naik menjadi 99% dengan tekanan 0,033 atm. Di bagian evaporator, uap yang terbentuk dipisahkan dengan cairannya. Uap tersebut dikondensasikan di dalam *barometric condenser* (E-411), sedangkan cairannya mengalir ke *suction urea melt pump* (L-411) untuk selanjutnya dikirim ke unit *Prilling Tower* (D-510). Process flow diagram unit pemurnian (pemekatan urea) dapat dilihat pada Gambar 8.

E. Untit Prilling Tower

Larutan urea dengan konsentrasi 99% dari *Evaporator* (B-410) dialirkan dengan pompa (L-411) ke *Prilling tower* (D-510). *Prilling tower* (D-510) yang digunakan adalah jenis *spray crystallizer*, dimana terjadi dua proses yaitu solidifikasi dan pendinginan di dalam *tower*. Larutan urea disemprot untuk menghasilkan tetesan yang mengalami proses kristalisasi menjadi partikel urea dan pendinginan. Urea prill yang keluar dari *Prilling Tower* (D-510)) memiliki kondisi operasi 1 atm dan 50°C untuk kemudian dimasukkan ke dalam gudang penyimpanan urea (F-511) melalui *Belt Conveyer* (J-511) dan *Bucket Elevator* (J-512). Process flow diagram unit prilling tower dapat dilihat pada Gambar 9.

III. NERACA MASSA DAN ENERGI

Berdasarkan hasil perhitungan (Tabel 4) dari *material balance* dengan kapasitas bahan baku utama yaitu NH₃ cari sebesar 439.906,53 ton/tahun dan CO₂ sebesar 510.670,97 dapat dihasilkan produk utama yaitu urea sebesar 570.000

ton/tahun. Berikut ini merupakan spesifikasi dari produk yang akan dihasilkan.

Berdasarkan hasil perhitungan dari *energy balance*, jumlah produk yang dipaparkan dapat dicapai dengan total kebutuhan *low pressure steam* sebesar 1.278.090,183 ton/tahun, kebutuhan *cooling water* 13.254.280,449 ton/tahun dan kebutuhan listrik 519.041,639 kWh/tahun.

IV. ANALISA EKONOMI

Dalam melakukan analisa keuangan pada kasus ini, berikut ini merupakan beberapa asumsi yang digunakan.

1. Eskalasi biaya operasi yang meliputi biaya bahan penolong, biaya utilitas dan biaya tetap sebesar nilai inflasi 1,68 % setiap tahun.
2. Sumber dana investasi berasal dari modal sendiri sebesar 50 % biaya investasi dan pinjaman jangka pendek sebesar 50 % biaya investasi dengan bunga sebesar 9.8 % per tahun.
3. Penyusutan investasi alat & bangunan terjadi dalam waktu 10 tahun secara *straight line*.

Selain itu, analisa keuangan yang digunakan adalah dengan menggunakan metode *discounted cash flow* yang terdiri dari perhitungan biaya produksi dan aliran kas/kinerja keuangan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan nilai tukar rupiah USD 1 = IDR 14.154,1 [3]. Dengan harga produk yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan adalah USD 450 urea/ton.

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan *total cost investment* pabrik ini sebesar IDR

959.742.936.043,86 dengan bunga 9.8% per tahun. Selain itu, diperoleh IRR sebesar 38.16% dan sensitif terhadap penurunan harga produk dimana pengembalian modalnya selama 2.47 tahun. Umur efektif dari pabrik ini diperkirakan selama 10 tahun dengan operasi 330 hari/tahun dan masa periode pembangunannya selama 2 tahun.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa ekonomi didapatkan nilai IRR sebesar 38.16% yang lebih tinggi dari suku bunga bank yaitu 9.8% per tahun dengan pengembalian modalnya selama 2.47 tahun maka pabrik urea ini layak didirikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segala elemen dari Laboratorium Rekayasa Sistem Proses dan Departemen Teknik Kimia FTIRS-ITS atas segala fasilitas, dukungan, bantuan dan saran yang telah diberikan selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. J. Overdahl, W. Rehm, and H. L. Merdith, "Fertilizer Urea," Minneapolis, University of Minnesota Extension, 1991.
- [2] A. P. P. Indonesia, "Ekspor dan Impor Pupuk Urea." APPI Pupuk Indonesia, Jakarta, 2020, [Online]. Available: <http://www.appi.or.id>.
- [3] S. Pandey, "Description of Various Urea Manufacturing Process." National Fertilizers Limited, India, 2014, [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/sameer281192/description-of-various-urea-manufacturing-process>.
- [4] F. Ullmann and W. Gerhartz, *Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5th ed. Weinheim: Federal Republic of Germany, 1985.