

# Pra Desain Pabrik Pupuk Urea Dari Ammonia (NH<sub>3</sub>) dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Menggunakan Teknologi ACES21

Arditya Novan Farros, Yeni Rahmawati, dan Anissa Candraningtyas  
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: rifqah\_18des@chem-eng.its.ac.id

**Abstrak**—Negara Indonesia dikenal sebagai negara agraris, dimana banyak masyarakat nya yang bekerja di sector pertanian. Karena itulah, tingkat konsumsi pupuk di Indonesia sangat tinggi karna merupakan komponen penting untuk kualitas tumbuhan. Pupuk urea adalah pupuk yang mengandung unsur Nitrogen sebanyak 46% yang berperan dalam pembentukan dan pertumbuhan bagian-bagian vegetative tanaman seperti pembentukan klorofil, membentuk lemak, protein, dan mempercepat pertumbuhan daun, batang dan akar. Pembangunan pabrik urea direncanakan memiliki kapasitas 600.000 ton/tahun pupuk urea dalam bentuk prill, dimana pabrik akan didirikan di Kawasan Industri Kariangau, Balikpapan. Kawasan ini cukup dekat dengan sumber bahan baku, serta memadai dalam factor transportasi serta utilitas. Berdasarkan analisa neraca massa dan energi, pabrik ini membutuhkan bahan baku sebanyak 2122 ton/tahun NH<sub>3</sub> dan 1223 ton/tahun CO<sub>2</sub> dengan kebutuhan steam 51.270 kg/jam, cooling water 16.557.227 kg/jam serta listrik sebesar 11.193 KW/tahun. Pabrik ini terdiri dari enam tahap, yaitu sintesa, purifikasi, konsentrasi, pembutiran, recovery, serta condensate treatment. Bahan baku pada awalnya akan masuk sebagai liquid dan direaksikan menjadi urea pada reactor dengan kemurnian sekitar 30%. Kemudian, bahan baku yang belum berhasil bereaksi akan direaksikan Kembali di seksi selanjutnya untuk mendapatkan kemurnian urea hingga 99,7%. Larutan urea akan dipadatkan dalam bentuk prilling pada seksi pembutiran menggunakan alat prilling tower. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, pabrik urea memadai untuk didirikan dengan nilai IRR = 20,2%, NPV = 310,4 Juta Dolar, dan Pay Out Time (POT) selama 3 tahun.

**Kata Kunci**—Pupuk Urea, Internal Rate of Return, Break Even Point, Pembutiran, Pertanian.

## I. PENDAHULUAN

INDONESIA bergerak menjadi negara agraris, yaitu dimana sektor pertanian memegang peranan penting dalam perekonomian nasional. Hal tersebut didukung oleh data dari Badan Pusat Statistika (BPS) per Agustus 2022, dimana persen pekerja informal di seluruh provinsi Indonesia yang bekerja di sektor pertanian memiliki rata-rata 86,54%.

Pupuk urea adalah pupuk yang mengandung unsur Nitrogen sebanyak 46% yang berperan dalam pembentukan dan pertumbuhan bagian-bagian vegetative tanaman seperti pembentukan klorofil, membentuk lemak, protein, dan mempercepat pertumbuhan daun, batang dan akar. Pupuk urea banyak digunakan di Indonesia dalam bentuk granul maupun prill.

Kebutuhan pupuk urea di Indonesia masih sangat tinggi melihat data konsumsi dan import pupuk urea yang tinggi di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2017 - 2021, terjadi peningkatan angka konsumsi serta ekspor dari pupuk urea di Indonesia. Nilai tersebut

Tabel 1.

Spesifikasi Bahan Baku Ammonia (NH <sub>3</sub> ) Cair		
Spesifikasi	Kuantitas	Satuan
Tekanan	25	Kg/cm <sup>2</sup> G
Temperatur	25 – 30	°C
Jumlah	40,7	MT/Jam
Komposisi NH <sub>3</sub>	99,5	% Berat
Komposisi H <sub>2</sub> O	0,5	% Berat

Tabel 2.

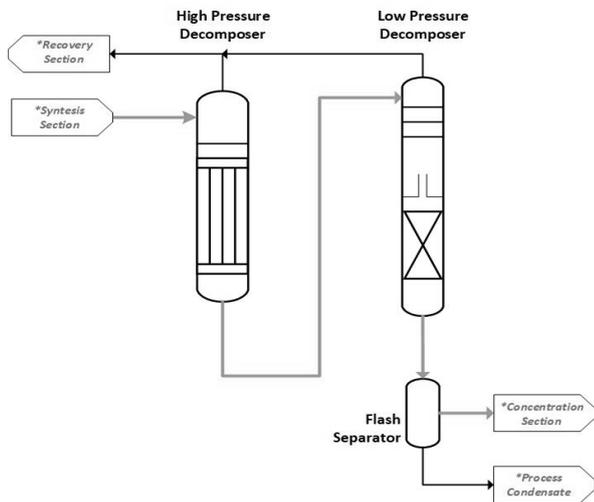
Spesifikasi Bahan Baku Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) Gas		
Spesifikasi	Kuantitas	Satuan
Tekanan	0,6	Kg/cm <sup>2</sup> G
Temperatur	38	°C
Komposisi CO <sub>2</sub> (basis)	99,85	% dry mole
Komposisi H <sub>2</sub> O	45,2	% dry mole
Komposisi H <sub>2</sub>	0,13	% dry mole
Komposisi N <sub>2</sub>	0,02	% dry mole

diasumsikan akan semakin meningkat mengetahui bahwa terdapat pengerucutan pupuk subsidi menjadi pupuk urea dan NPK di Indonesia oleh pada Peraturan Menteri Pertanian Nomor 10 Tahun 2022 tentang “Tata Cara Penetapan Alokasi dan Harga Eceran Tertinggi Pupuk Bersubsidi Sektor Pertanian” pada BAB II, pasal 2, ayat 2 serta Indonesia yang mengekspansi impor pupuk urea nya ke berbagai negara di Indonesia salah satunya Korea Selatan.

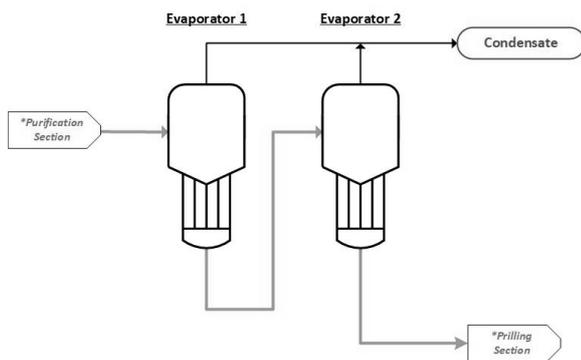
Saat ini, di Indonesia sudah terdapat 5 perusahaan yang memproduksi pupuk urea. Perusahaan tersebut adalah PT Pupuk Iskandar Muda di Aceh, PT Pupuk Sriwidjaja di Palembang Sumatera Selatan, PT Pupuk Kujang di Cikampek Jawa Barat, PT Pupuk Kalimantan Timur di Bontang Kalimantan Timur, dan PT Petrokimia Gresik di Gresik Jawa Timur [1]. Namun, dengan keberadaan 5 pabrik tersebut, masih terdapat isu bahwa terjadinya kekurangan pupuk di beberapa provinsi di Indonesia. Berdasarkan penjabaran diatas, maka dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik pupuk urea masih dibutuhkan di Indonesia dengan tujuan sebagai berikut.

1. Mencegah kelangkaan pupuk urea di Indonesia dikarenakan perkiraan permintaan pupuk urea yang akan meningkat.
2. Meningkatkan devisa negara melalui ekspor pupuk urea.
3. Memperbanyak sumber distribusi pupuk urea di Indonesia.
4. Memanfaatkan sumber daya yang dimiliki Indonesia secara maksimal untuk memproduksi pupuk urea.

Untuk mendirikan suatu pabrik, letak geografis menjadi salah satu faktor yang sangat penting. Karena itulah, terdapat beberapa parameter dalam menentukan lokasi pabrik yaitu ketersediaan bahan baku, ketersediaan lahan, lokasi pemasaran, tenaga kerja, akses transportasi, utilitas, serta kondisi iklim. Menggunakan metode AHP (*Analytical*



Gambar 1. Proses Pada Unit Purifikasi



Gambar 2. Proses Pada Unit Konsentrasi

Hierarchy Process), didapatkan pabrik urea akan didirikan di daerah Kariangau, Balikpapan, Kalimantan Timur.

Untuk memproduksi pupuk urea, bahan baku yang digunakan adalah ammonia (NH<sub>3</sub>) cair dan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Bahan baku yang digunakan tentunya memiliki spesifikasi khusus agar dapat melalui proses produksi secara aman dan efisien. Tabel 1 dan Tabel 2 adalah spesifikasi bahan baku dari produksi pupuk urea.

Sementara untuk produk pupuk urea juga memiliki spesifikasi khusus sebagai acuan dari perhitungan neraca massa. Spesifikasi ini didapatkan berdasarkan SNI dan standar teknologi ACES21. Tabel 3 adalah spesifikasi dari produk pupuk urea. Pemilihan kapasitas pabrik urea ditentukan berdasarkan kebutuhan pupuk urea di Indonesia pada tahun rencana pabrik akan didirikan yaitu 2027 menggunakan persamaan berikut [1].

$$m = P (1 + i)^n \tag{1}$$

Dimana m adalah kebutuhan pada tahun tertentu, P adalah nilai kebutuhan pada tahun terakhir, i merupakan rata-rata pertumbuhan, dan n adalah selisih antar tahun yang diinginkan dan tahun terakhir. Nilai yang dihitung adalah nilai ekspor, impor, konsumsi, dan produksi pupuk urea di Indonesia pada tahun 2027 meninjau data-data pada tahun sebelumnya yang didapatkan dari Badan Pusat Statistika. Kemudian, kebutuhan pupuk urea pada tahun 2027 akan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Kebutuhan Produk} = (\text{Konsumsi} + \text{Ekspor}) - (\text{Produksi} + \text{Impor}) \tag{2}$$

Tabel 3. Spesifikasi Produk Pupuk Urea

Spesifikasi	Kuantitas	Satuan
Kadar Air	Maksimal 0,5	% Berat
Kadar Biuret	Maksimal 1	% Berat
Bentuk	Prill (butiran) tidak berdebu	% dry mole
Warna	Merah muda	-
Ukuran	1-3,35	mm
Kadar Nitrogen	Minimal 46	% Berat

Tabel 4. Perbandingan Parameter pada Teknologi Produksi Pupuk Urea

Parameter	Teknologi Proses Pabrik Urea			
	Once Through	Stamicarbon	Snamprogetti	ACES21
Lingkungan				
Limbah beracun	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Rendah
	Kondisi Operasi			
Rasio NH <sub>3</sub> /CO <sub>2</sub>	3	2	2,5 - 3,5	4
Rasio H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub>	2,5 - 3	2,25 - 2,5	2,8	2 - 2,5
Konversi CO <sub>2</sub>	50 - 60%	60%	63%	68%
Tekanan (bar)	150 - 200	155	150 - 200	152
Temperatur (C)	180-220	180	170 - 200	182 - 185
Konsumsi Utilitas				
Listrik (kWh)	132 - 170	15 - 155	20 - 120	30 - 121
Cooling Water (m <sup>3</sup> )	60	70	80	60
Ekonomi				
Efisiensi terhadap biaya	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sangat Tinggi

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan kebutuhan pupuk urea di Indonesia pada tahun 2027 adalah sebesar 5.317.872 ton/tahun. Maka, ditentukan kapasitas pabrik pupuk urea sebesar 600.000 ton/tahun yang akan memenuhi 11,3% dari kebutuhan pupuk urea di Indonesia pada tahun tersebut.

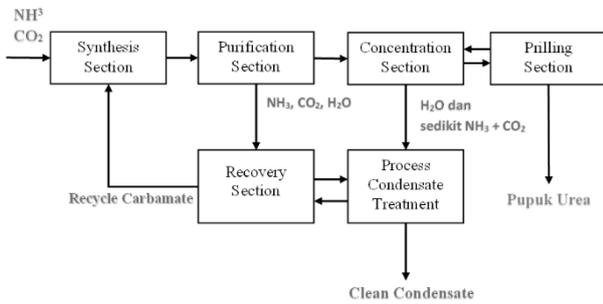
## II. SELEKSI PROSES

Terdapat beberapa teknologi proses yang umum digunakan dalam produksi pupuk urea. Berikut adalah beberapa teknologi tersebut.

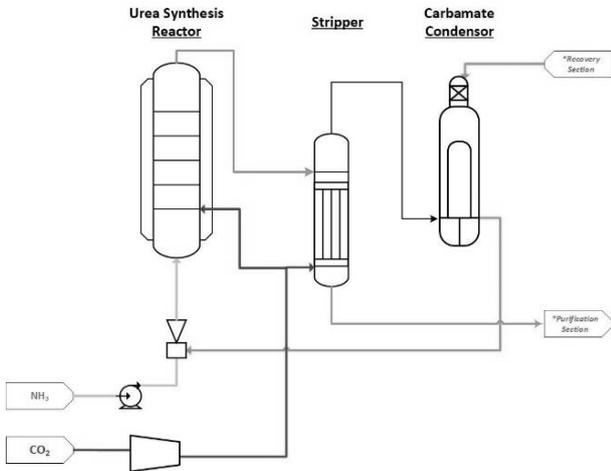
1. Proses Urea Once Through
2. Proses Stripping – Based Plant : Snamprogetti Technology dan Stamicarbon CO<sub>2</sub> Process
3. *Advanced Process For Cost and Energy Saving 21* (ACES 21)

Setiap teknologi diatas tentunya memiliki kekurangan dan kelebihan, ditinjau dari berbagai aspek seperti spesifikasi produk yang dihasilkan, dampak terhadap lingkungan, dan segi ekonomi. Tabel 4 adalah perbandingan teknologi produksi pupuk urea [2].

Untuk parameter efisiensi terhadap biaya dapat diurutkan dari tinggi ke rendah dengan proses ACES21 yang diklaim memiliki efisiensi produksi yang paling tinggi, biaya produksi yang paling rendah, dan emisi gas CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi urea konvensional. Untuk yang tertinggi kedua yaitu proses Stamicarbon karena



Gambar 3. Diagram Alir Proses ACES21.



Gambar 4. Proses Pada Unit Sintesa.

memiliki efisiensi yang lebih tinggi dan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan dengan Once Through Urea Process (OTUP) dan penggunaan bahan baku yang lebih efisien. Dilanjutkan dengan ncSnamprogetti yang biaya produksinya lebih mahal dibandingkan dengan OTUP dan Stamicarbon, namun teknologi ini memiliki fleksibilitas dan kemampuan untuk menghasilkan produk yang berbeda-beda dengan kualitas yang tinggi. Dan yang memiliki efisiensi biaya paling rendah adalah Once Through Urea Process (OTUP), meskipun teknologi ini relatif sederhana dan mudah dioperasikan, biaya produksinya dapat menjadi lebih mahal dibandingkan dengan teknologi lainnya dan memiliki emisi gas CO<sub>2</sub> yang tinggi [3].

Sementara untuk parameter pencemaran limbah terhadap lingkungan dari tinggi ke rendah untuk pencemaran yang tertinggi pertama adalah Once Through Urea Process (OTUP) karena emisi gas CO<sub>2</sub> yang tinggi, sehingga berdampak negatif terhadap lingkungan yang paling besar dari teknologi lainnya. Tertinggi kedua adalah Snamprogetti, meskipun teknologi ini memiliki kemampuan untuk menghasilkan produk yang berbeda-beda dengan kualitas yang tinggi, namun diklaim memiliki dampak negatif terhadap lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Stamicarbon dan ACES21. Yang ketiga adalah Stamicarbon karena penggunaan bahan baku yang efisien dapat meminimalisir dampak negatif bagi lingkungan. Proses dengan tingkat pencemaran terendah adalah ACES21 karena emisi gas CO<sub>2</sub> yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi urea lainnya. Selain itu ACES21 dapat mengurangi emisi GHG (Gas rumah kaca) hingga sekitar 40%. Selain dari data pertimbangan diatas, dapat dilihat juga dari perbandingan kelebihan dan kekurangan yang tertera pada Tabel 5 [2]. Dengan meninjau data pada Tabel 5 serta

Tabel 5. Perbandingan Kekurangan dan Kelebihan dari Setiap Teknologi Produksi Pupuk Urea

Teknologi Urea	Proses	Perbandingan	
		Kelebihan	Kekurangan
<i>Once-Through Urea Process (OTUP)</i>	• Proses mudah sederhana	yang cukup dan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi CO<sub>2</sub> cukup rendah</li> <li>• Biaya dan kebutuhan energi relatif tinggi</li> <li>• Pencemaran lingkungan</li> <li>• Banyaknya produk samping berupa garam ammonia</li> </ul>
<i>Stamicarbon</i>	• Kemurnian produk yang tinggi		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kebutuhan energi yang tinggi</li> <li>• Biaya proses yang mahal</li> <li>• Pencemaran lingkungan</li> </ul>
<i>Snamprogetti</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi CO<sub>2</sub> cukup tinggi</li> <li>• Rendahnya konsumsi steam tekanan rendah</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kebutuhan energi yang tinggi</li> <li>• Biaya proses yang mahal</li> <li>• Pencemaran lingkungan</li> </ul>
<i>Advanced Process for Energy Saving 21 (ACES21)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konversi CO<sub>2</sub> yang tinggi</li> <li>• Biaya produksi rendah</li> <li>• Tingkat pencemaran rendah</li> <li>• Kemurnian tinggi</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modal awal yang tinggi</li> <li>• Biaya operasional (pembelian, pemeliharaan dan pemasangan) yang mahal</li> </ul>

melakukan analisa AHP, didapatkan teknologi proses yang akan digunakan adalah ACES21.

### III. URAIAN PROSES TERPILIH

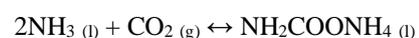
Gambar 1 adalah diagram blok dari keseluruhan proses pada teknologi ACES21.

#### A. Unit Sintesa

Unit sintesis merupakan unit dimana feed akan pertama kali bereaksi dengan tujuan membentuk urea. Terdapat tiga alat utama pada unit ini yaitu stripper, reaktor, dan carbamate condenser. Proses pada unit sintesa tertera pada Gambar 2.

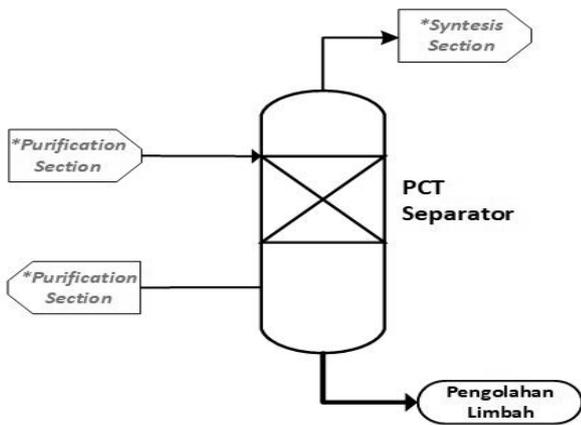
##### 1) Reaktor

Pada reaktor sintesa, terjadi reaksi antara ammonia dan CO<sub>2</sub> membentuk ammonium karbamat sebagai produk intermediet sebelum terbentuknya urea. Ammonia akan masuk dalam bentuk cair menggunakan *ammonia feed pump* dan dipanaskan menggunakan *ammonia pre-heater*. Selanjutnya, ammonia yang telah dipanaskan akan masuk menuju reaktor sintesa bersama dengan karbamat melalui *ejector* karbamat. Pada reaktor, terbentuk reaksi sebagai berikut.

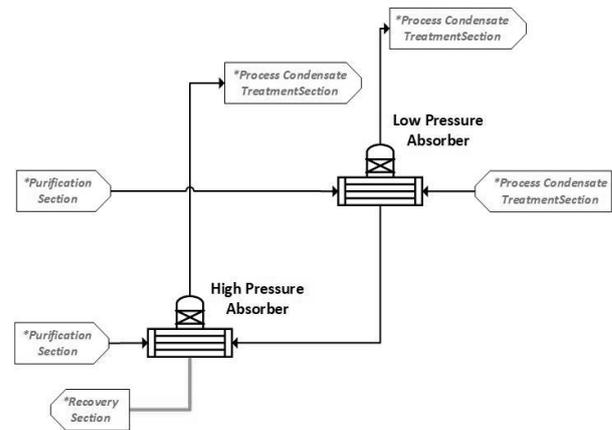


##### 2) Stripper

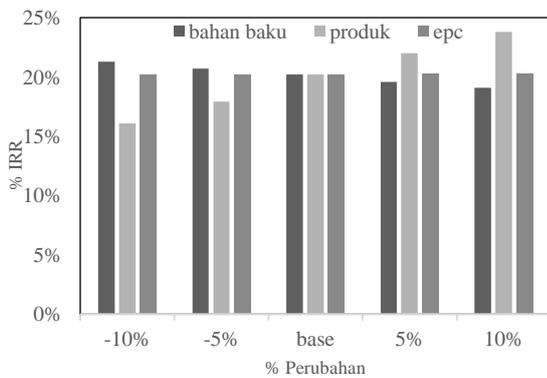
Unit *stripper* berfungsi untuk mendekomposisi serta menyerap sisa karbamat, ammonia, serta CO<sub>2</sub> yang tidak bereaksi di reaktor. *Stripper* yang digunakan adalah *shell &*



Gambar 7. Proses pada Unit Process Condensate Treatment (PCT).

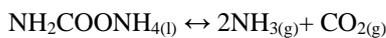


Gambar 5. Proses pada Unit Recovery.



Gambar 8. Sensitivitas IRR Terhadap Harga Bahan Baku, Harga Produk, dan EPC Cost.

*tube stripper*, dimana larutan urea dan keluaran dari reaktor akan masuk ke bagian tube dan mengalami pemisahan yang membentuk lapisan *liquid film* pada dinding *interior tube*. Larutan kemudian akan mengalir ke bawah mengikuti gravitasi dan berkontak secara *counter current* dengan gas CO<sub>2</sub>. Berikut adalah reaksi dekomposisi dari larutan karbamat yang tidak bereaksi.



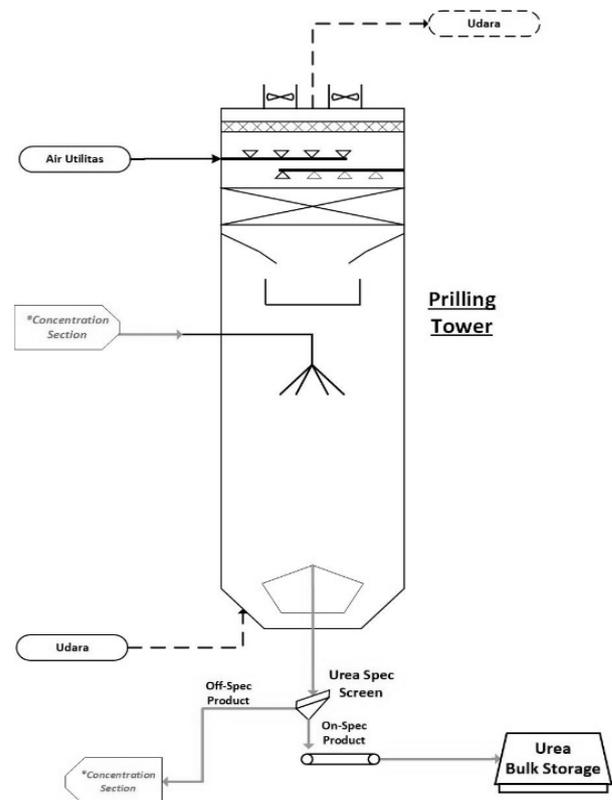
Reaksi ini bersifat endotermis dan *reversible*. Pemanasan pada *stripper* dilakukan menggunakan saturated steam pada sisi *shell*. CO<sub>2</sub> gas akan umpangkan ke *stripper* sebagai media stripping dan membawa NH<sub>3</sub> menjadi keluaran produk atas gas yang selanjutnya akan di kondensasikan pada karbamat *condenser*. Sementara keluaran bawah *stripper* merupakan larutan dengan kepekatan urea yang lebih tinggi.

*Stripper* sendiri diharapkan beroperasi pada suhu 170° - 180° C. Temperatur yang tinggi mengindikasikan efisiensi *stripping* yang tidak maksimal dan menyebabkan kandungan ammonia yang tinggi pada larutan urea. Larutan keluaran *stripper* akan dialirkan ke seksi purifikasi.

### 3) Carbamate Condensor

Karbamat *condenser* merupakan unit lanjutan dari *stripper* dan reaktor yang fungsinya hampir serupa dengan reaktor, yaitu membentuk ammonium karbamat dari ammonia dan CO<sub>2</sub>. Namun, pada unit ini ammonia dan CO<sub>2</sub> yang bereaksi merupakan hasil kondensasi yang terjadi di bagian bawah karbamat *condenser*. Karbamat *condenser* beroperasi pada suhu 180° C dan tekanan 155 kg/cm<sup>2</sup>g.

Karbamat *condenser* yang digunakan merupakan *vertical submerged carbamate condenser* (VSCC) dimana terdapat



Gambar 6. Proses pada Unit Prilling.

dua bagian, yaitu bagian kondensasi dan bagian *scrubbing* (*scrubber*). Pada bagian kondensasi, gas keluaran *stripper* (S-120) akan dikondensasikan dan kemudian membentuk reaksi pembentukan ammonium karbamat yang dilanjutkan dengan hidrolisa urea. Ammonia dan CO<sub>2</sub> yang bersisa akan dilanjutkan ke bagian *scrubbing*, dimana ammonia dan CO<sub>2</sub> akan diserap oleh larutan karbamat sisa yang didatangkan dari seksi *recovery*. Larutan keluaran VSCC yang kaya urea dan karbamat akan dikembalikan ke *ejector* untuk direaksikan kembali di reaktor sementara gas keluarannya akan dialirkan ke seksi purifikasi dan seksi *recovery*.

### B. Unit Purifikasi

Seksi purifikasi bertujuan untuk memurnikan kembali larutan urea keluaran *stripper* dengan kemurnian 49% hingga mencapai kemurnian 65%. Terdapat dua alat utama pada seksi ini yaitu *High Pressure Decomposer* dan *Low Pressure Decomposer* yang memiliki konsep kerja menguraikan ammonia dan CO<sub>2</sub> dengan menurunkan dan meningkatkan tekanan. Proses pada unit purifikasi tertera pada Gambar 3.

### 1) High Pressure Decomposer (HPD)

Pada *High Pressure Decomposer* (HPD), akan terdapat dua proses yang terjadi. Proses pertama adalah dekomposisi dimana ammonium karbamat pada larutan urea akan terdekomposisi menjadi gas ammonia dan CO<sub>2</sub> yang akan keluar sebagai produk atas dari HPD. Dekomposisi terjadi pada tekanan 16,5 atm dengan temperatur dekomposisi terjadi pada 152° C. Kemudian, larutan urea akan mengalir ke bagian bawah HPD dan terjadi tahap kedua yaitu pemisahan ammonium karbamat berlebih yang tidak terdekomposisi pada larutan urea dengan pemanasan larutan urea dibagian bawah HPD. Panas yang digunakan untuk proses ini disediakan oleh steam yang bertekanan 4,5 atm. Tekanan HPD sebesar 16,5 atm didasari pada proses penguapan NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, dan serta H<sub>2</sub>O sementara temperature dijaga pada suhu 152° C untuk mencegah pembentukan biuret.

### 2) Low Pressure Decomposer (LPD)

Proses pada *Low Pressure Decomposer* (LPD) merupakan penyempurnaan proses pada *High Pressure Decomposer* (HPD). Proses pada LPD menggunakan tekanan 2,6 atm dan temperature 138° C untuk mencegah terjadinya pembentukan biuret dan hidrolisa urea yang meningkatkan jumlah ammonium karbamat.

LPD tersusun atas *sieve tray* pada bagian atas, *shell & tube* pada bagian tengah, dan *packed bed* pada bagian bawah. Larutan urea yang berasal dari HPD akan masuk ke LPD melalui bagian atas *sieve tray* dimana akan terjadi proses *flashing* akibat penurunan tekanan dari 16,5 atm ke 2,6 atm. Uap yang ter *flash* akan menyebabkan pemisahan antara larutan urea dengan ammonium karbamat berlebih yang kemudian akan terdekomposisi menjadi gas ammonia dan CO<sub>2</sub>. Pada *sieve tray* larutan urea akan dikontakkan dengan gas dari *stripper* sehingga ammonium karbamat yang masih belum bereaksi akan mengalami dekomposisi menjadi gas ammonia dan CO<sub>2</sub> yang akan mengalir ke bagian atas LPD menggunakan steam bertekanan 3,87 atm pada temperatur 137°C. Larutan urea kemudian akan memasuki *packed bed* dimana terjadi injeksi CO<sub>2</sub> yang bertujuan untuk mencegah terjadinya reaksi hidrolisis urea dan *men-stripping* sisa ammonia yang masih berada di larutan urea. Gas keluaran LPD dan HPD akan memasuki seksi *recovery* sementara larutan urea akan dialirkan menuju unit selanjutnya.

Unit selanjutnya setelah HPD dan LPD adalah *flash separator* yang akan memisahkan ammonia dan CO<sub>2</sub> berlebih dan dikirimkan menuju seksi *process condensate treatment*. Larutan urea keluaran *flash separator* akan dilanjutkan ke seksi konsentrasi untuk diproses menjadi urea *prill*.

### C. Unit Konsentrasi

Seksi konsentrasi merupakan seksi dimana urea dipekatan hingga mencapai angka kemurnian 99,6% sebelum kemudian dilanjutkan ke seksi *prilling*. Proses pada seksi ini dilakukan menggunakan alat utama evaporator yang terdiri dari dua tingkat (*multi effect evaporator*) pada kondisi vakum untuk menurunkan suhu operasi akibat titik didih air yang menurun dan menghindari reaksi pembentukan biuret. Proses unit konsentrasi tertera pada Gambar 4.

Pada evaporator 1, didapatkan kepekatan urea sebesar 96% dengan menggunakan kondisi operasi 250 mmHgA dengan suhu sekitar 133° C. Pemanasan pada tahap ini mendapatkan

bantuan dari LP *steam*. Sementara untuk evaporator, diharapkan konsentrasi urea yang didapatkan mencapai 99,5 - 99,6% dengan tekanan 25 mmHgA pada suhu 138° C dimana pemanasan juga dilakukan menggunakan LP *steam*.

### D. Unit Recovery

Seksi *Recovery* berfokus pada proses *recycle* gas yang telah terdekomposisi pada seksi purifikasi dengan menyerap gas tersebut dengan karbamat menggunakan dua jenis absorber yang akan menghasilkan *recycle carbamate* dan dikirimkan ke seksi sintesis untuk nantinya digunakan kembali. Gas hasil dekomposisi dari *High Pressure Decomposer* (HPD) dan *Low Pressure Decomposer* (LPD) pada seksi purifikasi yang berupa NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> akan diserap oleh *High Pressure Absorber* (HPA) dan *Low Pressure Absorber* (LPA) pada seksi *Recovery*. Proses unit recovery tertera pada Gambar 5.

#### 1) Low Pretabelssure Absorber (LPA)

LP Absorber akan menyerap gas NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> yang merupakan produk gas dari LP *Decomposer* dengan *process condensate* dari seksi *process condensate treatment* sebagai *absorbent*. LP Absorber beroperasi pada tekanan 2,32 atm dan temperatur 45° C. Produk bawah dari LP Absorber berupa *carbamate recycle* yang mengandung NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> akan dibawa menuju HP Absorber sebagai *absorbent*.

#### 2) High Pressure Absorber (HPA)

Gas NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> yang diserap oleh HP Absorber dari HP *Decomposer* dengan *carbamate recycle* dari LP Absorber sebagai *absorbent*. Tekanan dan temperatur pada HP Absorber dijaga sebesar 14,51 atm dan 106° C. HP *Decomposer* akan menghasilkan *recycle carbamat*.

*Recycle carbamat* yang berhasil terbentuk pada HP Absorber akan dibawa ke seksi sintesa dan digunakan kembali pada *Carbamate Condensor*. Produk atas berupa gas NH<sub>3</sub> dan CO<sub>2</sub> yang tidak berhasil diserap pada seksi *recovery* ini akan diproses lebih lanjut pada seksi *Condensate Treatment* dalam unit *condensate separator*.

### E. Unit Pembutiran

Larutan urea yang terbentuk dari seksi konsentrasi dan tersimpan di *urea solution tank* dialirkan menuju ke bagian atas *prilling tower*. *Molten urea* akan di spray sebagai tetesan urea *molten liquid* ke bagian bawah *prilling tower* menggunakan *prilling basket* dan menjadi butiran padat setelah kontak dengan udara dari bagian bawah *prilling tower* yang berasal dari fan. Arah *spray urea* berlawanan dengan arah udara dari fan (*counter current*). Urea *prill* yang terbentuk akan melewati *screening urea* untuk menyesuaikan dengan produk yang diinginkan. Ukuran urea *prill* yang diinginkan berkisar 14 – 6 Mesh atau disebut urea *on-spec*. Urea *on-spec* yang terbentuk akan dibawa menggunakan *belt conveyor* menuju *urea bulk storage* sebagai produk akhir. Proses pada unit *prilling* tertera pada Gambar 6.

Sementara untuk debu urea yang terbentuk pada *dust chamber* akan dilarutkan dengan air utilitas dan dicampur dengan urea *off spec*, yaitu produk urea yang tidak memenuhi spesifikasi. Kedua larutan ini akan di proses kembali pada unit konsentrasi.

### F. Unit Process Condensate Treatment (PCT)

Gas yang tidak berhasil terikat pada seksi konsentrasi dan

mengandung  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  akan dikirim dan digunakan kembali pada seksi PCT ini dan menghasilkan kondensat. Gas dari seksi konsentrasi akan dikondensasi di surface condenser dan disimpan dalam *condensate tank*. Beberapa kondensat yang sudah terbentuk dan terkumpul pada tank akan didistribusikan menuju seksi *recovery* dan menjadi absorbent untuk LP *Absorber* dan sisanya akan dikirim ke *Condensate Separator*. Proses pada unit PCT tertera pada Gambar 7.

#### IV. NERACA MASSA

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa *material balance* pada pabrik pupuk urea dengan proses ACES21 ini, dibutuhkan bahan baku Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) cair sebanyak 885,106 kg/hari dan gas Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ) sebanyak 1,305,472.32 kg/hari untuk menghasilkan produk Urea sebesar 1,648,999 kg/hari atau setara dengan kapasitas produksi pabrik yaitu 600,000 Ton/Tahun.

#### V. ANALISA EKONOMI

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan nilai CAPEX dari pabrik ini sebesar \$413,16 Juta Dollar dan OPEX sebesar \$3,55 Juta Dollar. Selain itu, diperoleh IRR (*Internal Rate of Return*) sebesar 20,2% dan rata-rata BEP (*Break Even Point*) sebesar 43%. Didapatkan juga nilai NPV (*Net Present Value*) sebesar \$310,4 Juta Dollar dan POT (*Pay Out Time*) yaitu 3 tahun setelah masa produksi. Menganalisa nilai-nilai diatas, maka pabrik pupuk urea dianggap memadai untuk didirikan karna nilai IRR yang lebih tinggi dari WACC yaitu 7,6%, serta nilai NPV yang positif. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 10 tahun dengan masa periode pembangunannya selama 4 tahun di mana operasi pabrik ini 330 hari/tahun.

Dalam analisa ekonomi, dihitung pula sensitivitas IRR

untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh dalam IRR pabrik urea. Hasil dari analisa tersebut ditampilkan pada Gambar 8. Berdasarkan Gambar.8, dapat dilihat bahwa aspek yang paling berpengaruh terhadap nilai IRR merupakan harga bahan baku karna memberikan perubahan nilai IRR yang paling signifikan apabila nilainya diturunkan ataupun dinaikkan.

#### VI. KESIMPULAN/RINGKASAN

Pabrik Urea dengan Teknologi ACES21 akan didirikan di Daerah Industri Kariangau, Balikpapan, Kalimantan Timur mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, keberadaan sarana dan transportasi, serta kondisi iklim kapasitas produksi sebesar 600.000 ton produk/tahun dan lama operasi 330 hari pertahun selama 24 jam. Bahan baku yang dibutuhkan adalah Ammonia ( $\text{NH}_3$ ) sebanyak 885,106 kg/hari dan  $\text{CO}_2$  sebanyak 1,648,999 kg/hari. Berdasarkan Analisa ekonomi yang dilakukan, pendirian pabrik urea membutuhkan CAPEX sebesar \$413,16 Juta Dollar dan OPEX sebesar \$3,55 Juta Dollar. Selain itu, pabrik ini memiliki nilai IRR (*Internal Rate of Return*) sebesar 20,2% dan rata-rata BEP (*Break Even Point*) sebesar 43%. Didapatkan juga nilai NPV (*Net Present Value*) sebesar \$310,4 Juta Dollar dan POT (*Pay Out Time*) yaitu 3 tahun setelah masa produksi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Peters, K. D. Timmerhaus, and R. E. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw-Hill, 2003. ISBN: 9780072392661.
- [2] B. Kumar and P. C. Das, "Manufacture of Urea," Department of Chemical Engineering: National Institute of Technology, 2007.
- [3] C. W. Warren, "Methods For The Manufacture Of Urea," in *Urea As a Protein Supplement*, Amsterdam: Elsevier, 1967. ISBN: 9780072392661.