

Pra Desain Pabrik Pupuk Urea dari Amonia dan Karbon Dioksida Berbasis *Advance Process for Cost and Energy Saving 21 (ACES 21)*

Dirotsa Sukma Wardani, Ulfiyah Afnian Sari, Tri Widjaja
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: dirotsa26@gmail.com

Abstrak—Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki iklim tropis dimana curah hujan tinggi namun sinar matahari selalu ada sepanjang tahun. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistika (BPS) tahun 2021 88,43% masyarakat Indonesia bekerja pada sektor pertanian. Salah satu hal yang berperan besar dalam hal pertanian adalah pupuk. Pupuk urea merupakan salah satu jenis pupuk berbentuk granule atau prill yang memiliki warna putih untuk pupuk non subsidi dan merah muda untuk pupuk subsidi. Kandungan nitrogen pada pupuk urea memiliki kadar tertinggi dibanding pupuk kimia lain yaitu sebesar 46%. Berdasarkan data kebutuhan pupuk urea di Indonesia, kebutuhan urea dalam negeri berada dalam angka yang cukup tinggi yaitu sekitar 5,8 juta ton per tahun. Di lain sisi, terdapat Peraturan Menteri Pertanian No. 10 Tahun 2022 terkait perubahan pupuk subsidi menjadi urea dan NPK. Dengan adanya kebijakan tersebut diprediksi kebutuhan pupuk urea akan meningkat. Pabrik Pupuk Urea dari Amonia dan Karbon Dioksida berbasis *Advance Process for Cost and Energy Saving 21* direncanakan didirikan di daerah Kawasan Industri Dumai, Kota Dumai, Riau Pabrik ini direncanakan beroperasi secara continues 24 jam selama 330 hari/ tahun dengan kapasitas produksi adalah 570.000 ton/ tahun. Berdasarkan analisis ekonomi, laju pengembalian modal (IRR) pabrik ini sebesar 15,41% pada tingkat suku bunga bank sebesar 8%, dengan laju inflasi sebesar 5,42% per tahun. Sedangkan untuk waktu pengembalian modal (POT) adalah 4,86 tahun dan titik impas (BEP) sebesar 20%. Umur pabrik selama 10 tahun dan masa konstruksi adalah 2 tahun. Untuk memproduksi pupuk urea sebanyak 570.000 ton/tahun, diperlukan biaya total produksi (TPC) sebesar Rp.5.518.770.958.180,00 dengan biaya investasi total (TCI) sebesar Rp. 2.103.196.497.943,00.

Kata Kunci—ACES 21, Amonia, Karbon Dioksida, Pupuk, Urea.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA adalah salah satu negara yang memiliki iklim tropis dimana curah hujan tinggi namun sinar matahari selalu ada sepanjang tahun. Dengan kondisi demikian itu menyebabkan Indonesia memiliki tanah yang subur hingga dijuluki sebagai negara agraris. Alasan Indonesia disebut sebagai negara agraris yaitu karena sebagian besar penduduknya bekerja di sektor pertanian. Lahan pertanian yang luas serta sumber daya alam yang melimpah. Berdasarkan data, 88,43% masyarakat Indonesia bekerja pada sektor pertanian [1]. Salah satu hal yang berperan besar dalam hal pertanian adalah pupuk yang sangat mempengaruhi hasil pertanian. Salah satu produk pupuk yang banyak dipakai dalam pertanian yaitu pupuk urea.

Pupuk urea merupakan salah satu jenis pupuk berbentuk granule atau prill yang memiliki warna putih untuk pupuk non subsidi dan merah muda untuk pupuk subsidi. Urea memiliki sifat mudah larut dalam air dan mudah menghisap air

(higroskopis). Kandungan nitrogen pada pupuk urea memiliki kadar tertinggi dibanding pupuk kimia lain yaitu sebesar 46%. Nitrogen merupakan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman, yang dapat membuat bagian tanaman lebih hijau dan segar, mempercepat pertumbuhan, menambah kandungan protein hasil panen, dan dapat digunakan untuk semua tanaman pangan, perkebunan, serta peternakan dan perikanan.

Kebutuhan pupuk urea di Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Konsumsi domestik pupuk urea di Indonesia berada dalam angka yang cukup tinggi yaitu sekitar 5,8 juta ton per tahun. Selain itu, Indonesia juga melakukan ekspor pupuk urea yang cukup besar dan cenderung terus bertambah dari tahun ke tahun. Berdasarkan Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (2022), dimana produksi dan impor dibanding konsumsi dan ekspor pupuk urea masih mengalami defisit dengan rata-rata 147.000 ton per tahunnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa produksi dan impor pupuk urea masih tersisa.

Di lain sisi, dengan adanya 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 disebutkan bahwa pupuk bersubsidi hanya terdiri dari 2 jenis pupuk yaitu urea dan NPK [2]. Dengan adanya peraturan tersebut, maka terjadi perubahan untuk pupuk subsidi yang awalnya terdapat lima jenis yaitu urea, NPK, ZA, SP-36, dan petroganik menjadi dua jenis saja yaitu urea dan NPK. Dengan adanya kebijakan tersebut diprediksi kebutuhan pupuk urea akan meningkat. Peningkatan kebutuhan urea dikarenakan banyak konsumen yang awalnya memakai produk ZA, SP-36, dan petroganik bersubsidi berganti menjadi urea dan NPK yang harganya lebih murah karena bersubsidi. Kebutuhan pupuk urea diprediksi akan mengalami kenaikan juga dikarenakan kenaikan kebutuhan salah satu pupuk bersubsidi lainnya yaitu NPK, yang mana salah satu bahan untuk memproduksi NPK adalah urea. Dalam produksi urea menggunakan amonia dan karbon dioksida, terdapat beberapa standarisasi metode yang digunakan sebagai berikut :

A. Mitsui Toatsu Corporation Conventional Processes

Pada teknologi ini bahan baku amonia dan karbon dioksida dialirkan ke reaktor yang dioperasikan pada suhu 195°C dan tekanan 193 atm dengan perbandingan mol NH_3 : CO_2 adalah 4:1 [3].

B. Stamicarbon Stripping Process

Untuk produksi urea menggunakan teknologi ini memiliki kondisi operasi pada reaktor dengan tekanan optimal 140 bar, dengan rasio NH_3 : CO_2 yaitu 3:1 [4].

Tabel 1.
Spesifikasi amonia sesuai SNI 06-0045-1987

Parameter	Keterangan
Bentuk	Cair
Kadar NH ₃	Minimal 99,5%
Kadar H ₂ O	Maksimal 0,5%
Temperatur	30°C
Tekanan	25 kg/cm ²

Tabel 2.
Spesifikasi karbon dioksida sesuai SNI 06-1603-1992

Parameter	Keterangan
Bentuk	Gas
Kadar CO ₂	99,85% dry mole
Kadar H ₂ O	,2% dry mole
Kadar H ₂	0,13% dry mole
Kadar N ₂	0,02% dry mole
Temperatur	36,9°C
Tekanan	0,78 kg/cm ²

Tabel 3.
Spesifikasi pupuk urea sesuai SNI 02-2801-1998

Parameter	Keterangan
Kadar air	Maksimal 0,50%
Kadar Biuret	Maksimal 1%
Kadar Nitrogen	Minimal 46%
Bentuk	Butiran tidak berdebu
Warna	Merah muda
Ukuran	1-3,35 mm

Tabel 4.
Data produksi, konsumsi, ekspor, dan impor pupuk urea 2017-2021

Tahun	Produksi (ton/tahun)	Konsumsi (ton/tahun)	Ekspor (ton/tahun)	Impor (ton/tahun)
2017	6838063	5970397	766864	88461
2018	7444697	6265196	1141720	112327
2019	7722799	5425657	1860700	12602
2020	7983042	5994437	2379861	24084
2021	7968504	5738365	1974166	0
Rata Rata	7591421	5878810,4	1624662,2	47494,8

C. Snamprogetti Urea Technology

Metode produksi urea ini diinisiasi oleh *Saipem Technology*, Italia dan mulai pertama kali dioperasikan pada 1971. Pada proses pembuatan urea teknologi ini menggunakan reaktor dioperasikan pada 150 bar dan rasio feed molar NH₃: CO₂ yaitu 3.5:1.

D. Advanced Process for Cost and Energy Saving

Metode ini merupakan proses yang dikembangkan oleh *Toyo Engineering Corporation*. Pada teknologi ini reaktor untuk memproduksi urea dioperasikan pada 190°C dan rasio umpan molar untuk NH₃: CO₂ adalah 3:1 [5].

E. Isobaric Double – Recycle Process

Metode yang disebut juga dengan *IDR Process* dikembangkan oleh Montedison, dicirikan dengan *recycle* sebagian besar amonia yang tidak bereaksi dan amonium karbamat dalam dua pengurai secara seri. Proses pembuatan urea yang dilakukan di reaktor memiliki kondisi operasi suhu reaktor 185 °C, tekanan 174 atm, serta rasio NH₃: CO₂ molar pada proses ini terhitung tinggi pada reaktor yaitu 5:1 [6].

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Bahan baku dari pabrik urea dengan metode *Advance Process for Cost and Energy Saving 21* (ACES 21) dimana terdapat 2 macam bahan baku yaitu amonia dan karbondioksida. Amonia dan karbon dioksida didapatkan atau *disupply* dari pabrik amonia milik teman yang merupakan rekan satu dosen pembimbing, dimana karbon dioksida merupakan hasil samping dari pabrik teman.

Spesifikasi amonia sesuai SNI 06-0045-1987 disajikan pada Tabel 1. Spesifikasi karbon dioksida sesuai SNI 06-2603-1992 disajikan pada Tabel 2. Dari kedua bahan baku yaitu amonia dan karbon dioksida akan diproses dengan metode *Advance Process for Cost and Energy Saving 21* (ACES 21) menjadi pupuk urea. Pupuk urea yang dihasilkan berbentuk butiran atau *prill* yang dikemas dalam karung 50 kg dengan kualitas sesuai SNI 02-2801-1998. Spesifikasi pupuk urea sesuai SNI 02-2801-1998 disajikan pada Tabel 3.

B. Kapasitas Produksi

Pabrik pupuk urea dari amonia dan karbon dioksida ini akan direncanakan pengoperasiannya pada 2025. Dalam

penentuan kapasitas produksi di tahun tersebut ditinjau dari data statistik urea terkait produksi, ekspor, impor, dan kebutuhan domestik dari tahun 2017 - 2021 yang disajikan pada Tabel 4. Kebutuhan pupuk urea di tahun 2025 dapat ditentukan dengan rumus berikut.

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

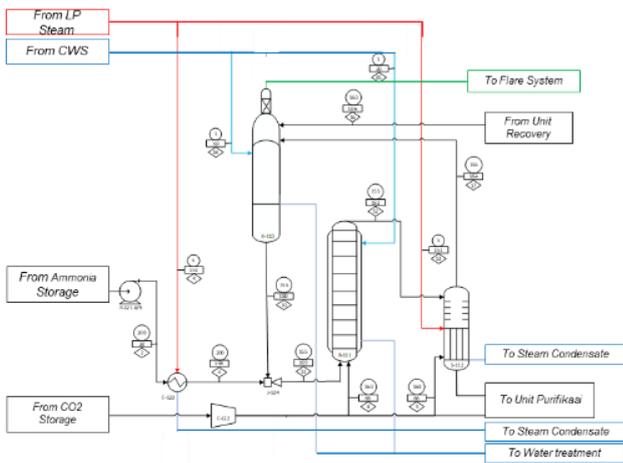
Dengan m kebutuhan urea di tahun 2025, P jumlah kebutuhan urea di tahun 2021, i pertumbuhan, n selisih tahun (2025-2021). Dari persamaan (1) didapatkan kebutuhan urea pada tahun 2025 sebesar 8965514 ton/tahun.

Berdasarkan kebutuhan urea tersebut penentuan kapasitas produksi juga didasarkan pada kapasitas produksi pabrik pupuk urea yang sudah ada saat ini. Di Indonesia pabrik pupuk yang memproduksi pupuk urea antara lain PT Petrokimia Gresik (Pabrik IA dan IB), PT Pupuk Kaltim (Pabrik 1A, 2, 3,4, dan 5), PT Pupuk Sriwijaya (pabrik IB, IIB, III, dan IV), PT Pupuk Iskandar Muda (unit PIM 1 dan PIM 2), serta PT Pupuk Kujang (unit IA dan IB). Kelima perusahaan tersebut rata-rata memproduksi pupuk urea dengan kapasitas 624.166 ton/tahun, dengan 12 unit pabrik dari 15 pabrik memiliki kapasitas produksi 570.000 ton/tahun.

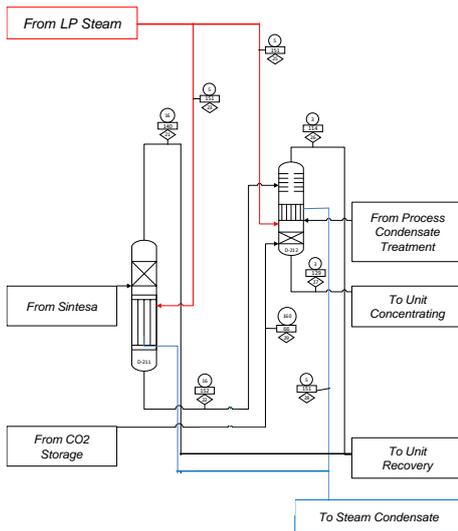
Oleh karena itu pabrik urea akan direncanakan memiliki kapasitas produksi sebesar 570.000 ton/tahun dimana 3.000 ton/tahun akan dikirim sebagai bahan baku pabrik NPK. Sisanya yaitu 567.000 ton urea/tahun digunakan untuk memenuhi kebutuhan nasional di tahun 2025 sebesar 6,32%.

C. Penentuan Lokasi

Dalam penentuan lokasi pabrik mempertimbangkan beberapa aspek. Penentuan lokasi pabrik sangat penting karena akan mempengaruhi keberlangsungan dan kemajuan suatu pabrik karena berpengaruh terhadap faktor produksi dan distribusi serta memaksimalkan keuntungan dan dapat memberikan kemungkinan untuk dapat memperluas atau menambah kapasitas dari pabrik yang akan didirikan. Pabrik Pupuk Urea ini akan didirikan di Kawasan Industri Dumai, Dumai, Riau dengan mempertimbangkan beberapa aspek-aspek berikut:



Gambar 1. Diagram alir unit sintesis.



Gambar 2. Diagram alir unit purifikasi.

1) *Bahan Baku*

Bahan baku yang diperlukan untuk pabrik urea adalah amonia dan karbon dioksida yang didapatkan sepenuhnya dari pabrik amonia milik Mukhlis-Rosyid. Dimana pabrik amonia membutuhkan bahan baku berupa gas alam dan Kawasan Industri Dumai bisa mengambil bahan baku gas alam dari PT Conoco Philips yang memiliki kapasitas produksi gas alam 1000,58 MMSCFD.

2) *Ketersediaan Lahan*

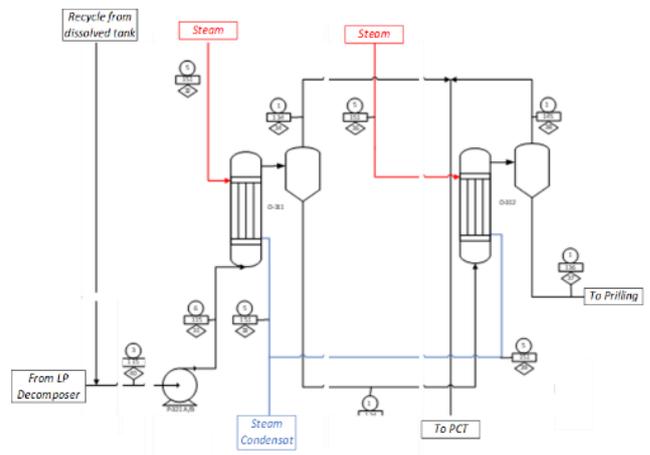
Di Kawasan Industri Dumai ketersediaan lahan kosong masih cukup besar yaitu sebesar 1969 hektar yang masih cukup untuk pendirian pabrik pupuk urea.

3) *Lokasi Pemasaran*

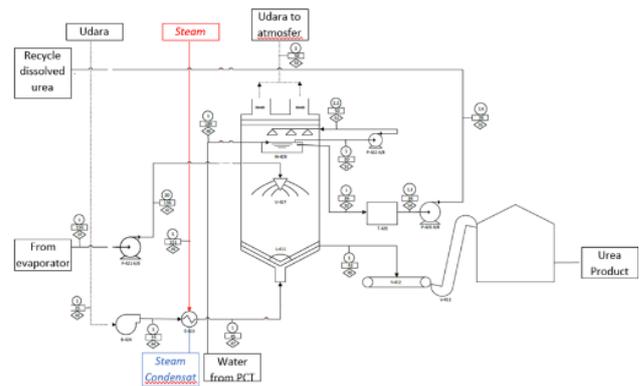
Dengan memilih Kawasan Industri Dumai sebagai lokasi pendirian pabrik produk pupuk urea dapat dipasarkan di daerah Riau, Sumatra Barat, dan Jambi yang mana bersaing dengan PT Iskandar Muda dan juga PT Pupuk Sriwijaya. Selain itu dapat pula dipasarkan di luar negeri sebagai produk ekspor ke daerah Malaysia, Jepang, Australia, dan lainnya.

4) *Transportasi*

Di Dumai, Riau terdapat empat kawasan pelabuhan, yaitu Pelabuhan Lubuk Gaung, Pelabuhan Dock Area, Pelabuhan Kota, dan Pelabuhan Pelintung. Pelabuhan Dumai yang memiliki akses jalur perdagangan berdekatan dengan Selat



Gambar 3. Diagram alir unit pemekatan konsentrasi.



Gambar 4. Diagram alir unit prilling.

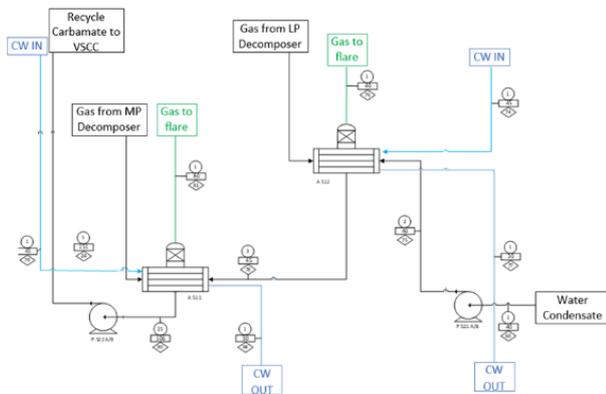
Malaka yang merupakan selat tersibuk kedua di dunia, yang memungkinkan adanya potensi ekspor yang besar melalui selat tersebut. Kota Dumai juga memiliki keunggulan yang komprehensif dan daya tarik sendiri, dengan garis pantai yang panjang dan dalam serta dilindungi oleh Pulau Rupta sebagai break water alami, hal ini sangat menguntungkan bagi Pelabuhan Dumai, kedalaman lautnya selalu terjaga sehingga dapat disinggahi oleh kapal-kapal tanker bertonase tinggi. Keseluruhan pelabuhan Dumai memiliki kedalaman laut pelayaran rata-rata 10 sampai dengan 15 meter disaat surut terendah dengan alur pelayaran yang dapat dilintasi oleh kapal-kapal besar dan dapat disandari kapal tanker dengan bobot 20.000 hingga 50.000 DWT.

5) *Utilitas*

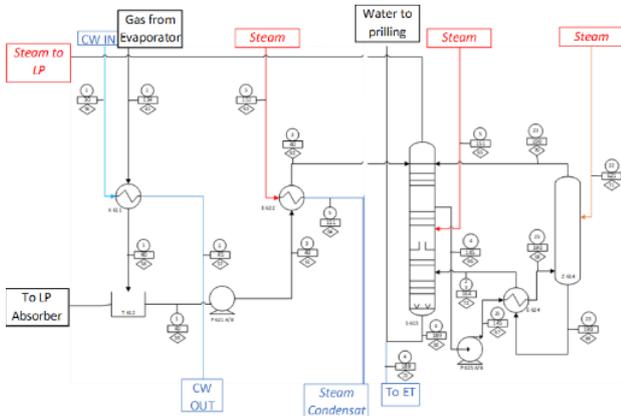
Dipilihnya Kawasan Industri Dumai sebagai lokasi pendirian pabrik pupuk urea dimana utilitas utama yang dibutuhkan yaitu air dan listrik. Kebutuhan utilitas air akan didapatkan dari air laut Selat Malaka yang nantinya akan diproses melalui unit desalinasi untuk mengubah air laut menjadi air tawar kemudian dilanjut proses demineralisasi untuk menghilangkan demin untuk air yang akan digunakan pada boiler.

6) *Tenaga Kerja*

Salah satu aspek penting dalam penentuan lokasi yaitu jumlah tenaga kerja. Hal tersebut dikarenakan ketika suatu pabrik baru dibangun akan membutuhkan banyak sekali tenaga kerja baik untuk hal-hal operasional atau yang lainnya. Jumlah tenaga kerja di suatu daerah dapat dilihat dari banyaknya angkatan kerja. Dari segi tenaga kerja jumlah



Gambar 5. Diagram alir unit recovery.



Gambar 6. Diagram alir unit process condensate treatment.

angkatan kerja di daerah Dumai, Riau adalah sebesar 150323 jiwa.

7) *Kondisi Iklim dan Bencana Alam*

Dipilihnya Kawasan Industri Dumai sebagai lokasi pendirian pabrik pupuk urea karena dari segi kondisi iklim dan bencana alam yang relatif stabil. Daerah Dumai rata-rata berupa dataran rendah beriklim tropis dengan suhu udara berkisar antara 25°C - 36°C dengan tingkat kelembapan 82-84 persen dan terdapat dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Jika dilihat dari segi bencana alam yang mungkin terjadi untuk Kota Dumai yang terletak di Provinsi Riau menurut data Badan Pusat Statistika di tahun 2021 mengalami bencana alam berupa tanah longsor sebanyak 21 kali, banjir 455 kali, banjir bandang 1 kali, gelombang pasang laut 15 kali, angin puting beliung 53 kali, kebakaran hutan 194 kali, kekeringan 51 kali, dan tidak pernah terjadi gempa bumi, tsunami, serta gunung Meletus.

8) *Komunitas Sekitar*

Dalam penentuan lokasi pabrik, komunitas sekitar merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan. Di lokasi baru, masyarakat setempat diharapkan bisa menerima pendirian pabrik baru. Di Kawasan Industri Dumai masyarakat bisa menerima terkait adanya pendirian pabrik, apalagi di sana juga sudah berdiri beberapa pabrik yang telah beroperasi.

9) *Dampak Lingkungan dan Pembuangan Limbah*

Untuk melakukan pembuangan limbah ke lingkungan, pabrik harus memiliki izin pembuangan limbah dari Walikota sesuai peraturan perundang-undangan. Pertukaran perundang-undangan yang dipakai ialah UU RI No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan

Hidup. Di Dumai, pembuangan limbahnya akan dikenakan tarif Rp. 5000 / meter kubik.

10) *Situasi Politik dan Kebijakan Pemerintah*

Dalam rangka percepatan penyebaran dan pemerataan pembangunan industri ke seluruh wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia dan dalam rangka memudahkan sinergi dan koordinasi dalam pembangunan industri di daerah, maka secara administratif wilayah dibagi ke dalam 10 (sepuluh) Wilayah Pengembangan Industri (WPI). Penumbuhan kawasan industri diprioritaskan berada di luar Jawa. Dumai (Riau) berada di urutan 14.

III. URAIAN PROSES TERPILIH

Proses produksi pupuk urea dari amonia dan karbon dioksida terdiri dari enam unit proses yang dimulai dengan sintesis, purifikasi, pemekatan konsentrasi, *prilling*, *recovery*, dan *process condensate treatment*.

A. *Unit Sintesis*

Unit sintesis terdiri atas tiga peralatan utama yaitu reaktor, stripper, dan karbamat kondensor. Alat reaktor sebagai tempat berjalannya reaksi antara amonia dan karbon dioksida. Amonia cair menjadi input ke unit reaksi serta dinaikkan tekanannya menggunakan pompa amonia (L-111 A/B) dari tangki amonia (F-110). Campuran amonia dan karbamat diumpankan ke *ejector carbamat* (G-131) dan menjadi input reaktor (R-130) untuk bereaksi dengan CO₂. Konversi CO₂ yang diperoleh tinggi yaitu 64%. Kemudian output larutan urea bersama dengan excess amonia, CO₂, dan Karbamat sisa meninggalkan bagian atas reaktor diumpankan ke bagian atas *stripper* (D-140). Diagram alir unit sintesis disajikan pada Gambar 1.

Unit *stripping* bertujuan untuk menyerap dan mendekomposisi ekse NH₃, CO₂, dan sisa karbamat yang tidak bereaksi di reaktor. *Stripper* (D-140) yang digunakan merupakan paduan *sieve tray stripper* dan *shell & tube* dimana larutan karbamat yang tidak bereaksi akan terdekomposisi menjadi amonia dan karbon dioksida. Reaksi yang terjadi pada *stripper* merupakan reaksi endotermis dimana pemanasan digunakan saturated steam bertekanan 5 atm pada sisi *shell*. *Overhead gas* yang keluar dari *stripper* (D-140) bagian atas selanjutnya akan dikondensasikan dalam kondenser karbamat (E-150). Unit kondensasi berfungsi untuk mengkondensasikan gas gas dari *stripper* dengan melarutkan gas dalam larutan karbamat encer dari unit *recovery*. Jenis karbamat kondenser (E-150) yang digunakan yaitu *Vertical Submerged Carbamate Condenser*. Gas *inert* yang mengandung sedikit NH₃ dan CO₂ kemudian dikirim ke *MP Decomposer* (E-210) unit purifikasi.

B. *Unit Purifikasi*

Unit purifikasi bertujuan untuk menguraikan dan memisahkan *excess* amonia, air, dan amonium karbamat yang tidak terkonversi dari urea dengan pemanasan dan penurunan tekanan. Unit purifikasi terdiri dari beberapa peralatan utama, seperti *Medium Pressure (MP) Decomposer* (E-210) dan *Low Pressure (LP) Decomposer* (E-220). Larutan urea dari bawah *stripper* menuju ke bagian atas *MP decomposer* dioperasikan pada tekanan 16,5 atm. Sebagian amonium karbamat yang tidak bereaksi terdekomposisi menjadi NH₃ dan CO₂. Gas

amonia dan karbon dioksida akan menuju *MP absorber*. Panas *steam* yang digunakan bertekanan 5 atm. Temperatur yang digunakan adalah 152 °C agar mencegah pembentukan biuret. Diagram alir unit purifikasi disajikan pada Gambar 2.

Larutan urea dari bagian bawah *MP decomposer* menuju ke bagian atas *LP decomposer* dengan penurunan tekanan 2,5 atm. Larutan akan dipisahkan dengan uap kemudian residu amonia karbamat akan terdekomposisi. Gas kemudian menuju ke bagian atas *LP decomposer*. Larutan urea menuju *packed bed* dimana residu amonia di stripping oleh gas CO₂. Produk dari proses ini memiliki kandungan urea sebesar 67% wt. Campuran gas menuju ke unit *recovery* sedangkan larutan urea menuju ke unit pemekatan konsentrasi.

C. Unit Pemekatan Konsentrasi

Pada tahap ini dilakukan pemekatan konsentrasi urea menjadi 99,5%. Urea yang keluar dari unit purifikasi akan dipekatkan di evaporator yang terdiri dari dua tingkat dan beroperasi pada tekanan vakum. Hal tersebut dilakukan agar reaksi samping yang tidak diinginkan yaitu reaksi pembentukan biuret dari urea bisa ditekan. Diagram alir unit pemekatan konsentrasi disajikan pada Gambar 3.

Urea yang keluar dari unit purifikasi akan dipompa dengan pompa sentrifugal (L-311 A/B) menuju evaporator tingkat pertama (V-310) dengan kondisi operasi tekanan 150 mmHgA dan suhu 132°C urea dipekatkan konsentrasinya menjadi 96%. Pada evaporator tingkat pertama (V-310) pemekatan urea dibantu oleh pemanas berupa *LP steam*. Selanjutnya urea akan dipekatkan lagi konsentrasinya di evaporator tingkat kedua (V-320) menjadi urea dengan konsentrasi 99,5%. Pada tingkat kedua ini evaporator beroperasi dengan tekanan 25 mmHgA dan suhu 138°C dan untuk pemanasan digunakan *low pressure steam*. Urea yang telah dipekatkan konsentrasinya selanjutnya dikirim ke unit *prilling*.

D. Unit Prilling

Dalam unit *prilling*, urea yang awalnya berbentuk *melt* diubah bentuk menjadi butiran. Larutan urea pekat (*molten urea*) hasil keluaran evaporator (V-320) dialirkan menuju bagian atas *prilling tower* menggunakan pompa (L-321 A/B). Larutan dari *head tank* dialirkan ke *distributor* (A-414) yang berupa *acoustic granulator* dan membentuk tetesan (*droplets*). Tetesan urea didinginkan untuk membentuk butiran *solid* melalui pengontakkan dengan udara dari bawah yang dibantu dengan blower (G-413). Udara dipanaskan terlebih dahulu di *heater* (E-412). Tujuan pemanasan udara ialah agar produk urea dalam bentuk *prill* suhunya tidak terlalu dingin atau sama dengan suhu lingkungan sehingga tidak akan terjadi aglomerasi. Setelah butiran urea terbentuk selanjutnya *prill* urea disaring menggunakan *bar screen* yang bergabung di *belt conveyor* (J-420) sehingga urea dengan diameter lebih dari 1,7 mm dilarutkan kembali dan dicampur dengan larutan pencuci di *dissolved tank* (F-440) kemudian dikembalikan ke unit pemekatan konsentrasi tepatnya ke evaporator tingkat pertama (V-310). Gas yang sudah tidak mengandung urea dibuang ke udara, sedangkan cairan hasil *scrubber* digunakan sebagai pelarut di *dissolved tank* (F-440). Urea yang lolos proses *screening* dilakukan *spray* dengan *anti-caking* untuk mencegah penggumpalan dan selanjutnya didistribusikan oleh *bucket elevator* (J-430) menuju gudang

untuk proses pengemasan. Diagram air unit *prilling* pada Gambar 4.

E. Unit Recovery

Dalam unit *recovery* ini gas-gas hasil penguraian dari unit purifikasi akan diserap menggunakan larutan karbamat. Selanjutnya hasilnya akan dikirim kembali ke unit sintesis kemudian dikembalikan ke reaktor sebagai larutan *recycle*. Proses *recovery* ini dibantu oleh 2 *absorber*. Gas yang keluar dari proses purifikasi tepatnya di *LP decomposer* (E-220) akan masuk ke *Low Pressure (LP) absorber* (D-520) untuk diabsorpsi CO₂ dan NH₃ nya menggunakan absorbent berupa proses kondensat yang berasal dari tangki kondensat. *LP absorber* (D-520) beroperasi pada tekanan 2,32 atm dan suhu 45°C. Gas CO₂ dan NH₃ diabsorpsi ke dalam proses kondensat menjadi larutan lean carbamate. Kemudian *lean carbamate* ini sebagian akan digunakan sebagai *absorbent* di *MP absorber*. Gas yang tidak terabsorpsi akan dibawa ke flare dan selanjutnya dibuang ke lingkungan.

Diagram alir unit *recovery* disajikan pada Gambar 5. Gas yang keluar dari proses purifikasi di bagian *MP decomposer* (E-210) akan masuk ke *MP absorber* (D-510). Dalam *MP absorber* gas-gas CO₂ dan amonia akan diabsorpsi oleh larutan *lean carbamate* yang berasal dari *LP absorber* (D-520). *MP absorber* (D-510) beroperasi pada tekanan 14,51 atm dan suhu 106°C. Pada proses ini dihasilkan larutan *rich carbamate* yang akan dikirim kembali ke unit sintesa tepatnya ke kondensor karbamat (E-150) dengan bantuan pompa (L-521 A/B).

F. Unit Process Condensate Treatment

Diagram alir unit *process condensate treatment* disajikan pada Gambar 6. Dalam proses pemekatan konsentrasi urea menggunakan evaporator dihasilkan uap air, dimana uap air tersebut umumnya masih mengandung karbamat, NH₃, dan CO₂. Pada tahap *condensate treatment* ini akan diambil kandungan-kandungan yang masih ada dalam uap air hasil evaporasi tersebut. Setelah dipanaskan proses kondensat akan masuk ke *lower column urea hydrolizer* (X-640) untuk dikontakkan dengan *MP steam*. Urea yang terkandung di dalam kondensat dapat terhidrolisis menjadi NH₃ dan CO₂ dan selanjutnya didinginkan dengan proses kondensat yang keluar dari *stripper*, dan setelah suhunya dingin dikembalikan ke *stripper* (D-630) untuk dilakukan *stripping* dan selanjutnya dialirkan ke *LP decomposer* (E-220). Kondensat yang telah bebas dari urea digunakan sebagai *recovery* panas untuk memanaskan umpan proses kondensat yang akan masuk ke *hydrolizer*. Kondensat keluaran *stripper* (D-630) sebagian digunakan sebagai dust scrubber di unit *prilling* dan sebagian masuk ke water treatment.

IV. MATERIAL BALANCE DAN ANALISA EKONOMI

Berdasarkan hasil perhitungan neraca massa Pra Desain Pabrik Pupuk Urea dari Amonia dan Karbon Dioksida Berbasis *Advance Process for Cost and Energy Saving 21* (ACES 21) didasarkan pada kapasitas pabrik 570.000 ton urea/tahun dengan waktu operasi 330 hari kerja/tahun dan waktu kerja pabrik 24 jam dibutuhkan bahan baku berupa amonia sebesar 277.028 ton/tahun dan karbon dioksida sebesar 1.147.777 ton/tahun.

Berdasarkan analisa ekonomi untuk memproduksi pupuk

urea dari amonia dan karbon dioksida dengan metode *Advance Process for Cost and Energy Saving 21* (ACES 21) dengan kapasitas 570.000 ton/tahun diperlukan biaya total produksi (TPC) sebesar Rp5.518.770.958.180,00 dan biaya investasi total (TCI) yang dibutuhkan adalah sebesar Rp2.103.196.497.943,00. Keuntungan rata-rata yang dihasilkan pertahunnya atau *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp656.481.954.097 dengan harga jual pupuk urea sebesar Rp4.693,42/kg. Laju pengembalian modal atau *Internal Rate of Return* (IRR) didapatkan sebesar 15,41% dengan waktu pengembalian modal atau *pay out time* (POT) sebesar 4,86 tahun. Dari analisa ekonomi ini juga didapatkan nilai *break event point* (BEP) sebesar 20%. Jika dievaluasi nilai NPV bernilai positif, IRR lebih tinggi dari nilai bunga bank yaitu 8%, waktu pengembalian modal dibawah umur pabrik (10 tahun), dan nilai BEP kurang dari 50% maka dapat disimpulkan bahwa Pabrik Pupuk Urea dari Amonia dan Karbon Dioksida Berbasis *Advance Process for Cost and Energy Saving 21* (ACES 21) memiliki kelayakan untuk dilanjutkan ke tahap perencanaan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan aspek teknis dan ekonomi yang disampaikan

dalam pabrik pupuk urea dari amonia dan karbon dioksida berbasis metode ACES 21, maka pabrik layak didirikan tahun 2025 dengan umur pabrik selama 10 tahun. Dimana pabrik pupuk urea berbasis metode ACES 21 ini akan didirikan dengan kapasitas produksi 570.000 ton/tahun dengan waktu operasi 330 hari dalam setahun selama 24 jam per hari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik Jakarta, "Persentase Tenaga Kerja Informal Sektor Pertanian (Persen) 2022," Badan Pusat Statistik Jakarta, Jakarta, 2022.
- [2] Kementerian Pertanian, "Peraturan Menteri Pertanian Nomor 10 Tahun 2022 tentang Tata Cara Penetapan Alokasi dan Harga Eceran Tertinggi Pupuk Bersubsidi Sektor Pertanian," Kementerian Pertanian, Jakarta, 2022.
- [3] A. V. Slack, "Urea Technology: A Critical Review," Fertiliser Production and Technology National Seminar, 14th Annual General Meeting of The Fertiliser Association of India, New Delhi, India 1969.
- [4] G. Baboo, P., Brouwer, M., Ejikenboom, J., Mohammadian, M., Notten, G., & Prakash, "The Comparison of Stamicarbon and Saipem Urea Technology," Technical Paper, 2016.
- [5] Y. Kojima, H. Morikawa, E. Sakata, "The Improved ACES Urea Technology - Case Studies in China and Indonesia," Toyo Engineering Corporation, Poland, 2003.
- [6] Ledda, A., Pagani, G., Mariani, L., "Isobaric Double Recycle Urea Process: Two Years of Commercial Operation," Fertilizer 83 International Conference Proceedings of the Conference, London, 1983.