

Pra Desain Pabrik Amonia Dari Gas Alam Menggunakan Metode KBR-Purifier Berkapasitas 2900 MTPD Jurnal Teknik ITS

Ahmad Mujiburrosyid, Mukhlis Sholehudin, dan Tri Widjaja
Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: mujiburrosyida@gmail.com

Abstrak—Amonia adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 yang memiliki sifat kaustik dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Senyawa yang pertama kali ditemukan oleh J. B. Priestly pada tahun 1774 ini banyak digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan pupuk, mulai dari urea, amonium fosfat, amonium nitrat, hingga kalsium amonium nitrat. Oleh karena itu, industri amonia sangat dipengaruhi oleh kebutuhan pupuk dan umumnya akan meningkat ketika masa cocok tanam yang membuat petani akan lebih sering menggunakan pupuk. Proses pembuatan Amonia menggunakan metode *KBR-Purifier* dapat diuraikan menjadi beberapa tahapan proses berikut, diawali *desulfurisasi*, *reforming*, *shift conversion*, absorpsi, *methanasi*, *drying*, *purifier*, *converter* dan *refrigerasi* amonia. Bahan baku utama dalam proses pembuatan amonia yaitu gas alam dengan komposisi 94,46% hidrokarbon, 5,5% CO_2 , dan sisanya adalah N_2 . Kapasitas produksi Amonia direncanakan sebesar 957.000 ton/tahun. Perencanaan ini berdasarkan dari nilai produksi, konsumsi, ekspor, dan impor Amonia yang diproyeksikan hingga tahun 2025. Dalam memenuhi kapasitas produksi, pabrik akan beroperasi kontinyu 24 jam sehari selama 330 hari setahun. Bahan baku gas alam yang digunakan dalam proses pembuatan Amonia berupa gas alam sebesar 5517 kgmol per jam atau kurang lebih sekitar 120 MMSCFD. Dari perhitungan analisa ekonomi, dengan harga jual Amonia sebesar \$800 per ton. Diperoleh nilai *Internal Rate Return (IRR)* sebesar 26,08%. Dengan IRR tersebut mengindikasikan bahwa pabrik layak untuk didirikan dengan suku bunga 6% dan waktu pengembalian modal (*pay out period*) selama 2,7 tahun. Perhitungan analisa ekonomi didasarkan pada *discounted cash flow*. Modal untuk pendirian pabrik menggunakan rasio 40% modal sendiri dan 60% modal pinjaman. Modal total yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik adalah sebesar \$ 777.765.687. Sedangkan *Break Event Point (BEP)* yang diperoleh adalah sebesar 55%.

Kata Kunci—Amonia, *Break Even Point*, *Internal Rate of Return*, *KBR-Purifier*, *Natural Gas*.

I. PENDAHULUAN

AMONIA adalah senyawa kimia dengan rumus NH_3 . Senyawa ini biasanya dijumpai dalam fasa gas ataupun cair dengan bau tajam yang khas. Amonia memiliki sifat kaustik dan dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Meskipun begitu, amonia memiliki peran penting dalam pemenuhan nutrisi di bumi. Senyawa yang pertama kali ditemukan oleh J. B. Priestly pada tahun 1774 ini banyak digunakan sebagai bahan baku utama pembuatan pupuk, mulai dari urea, amonium fosfat, amonium nitrat, hingga kalsium amonium nitrat. Beberapa sektor penggunaan lain dari amonia selain pupuk adalah bahan kimia, *refrigerants*, fiber dan plastik, farmasi, pulp dan kertas.

Indonesia adalah negara kepulauan dengan potensi sumber daya alam yang besar, salah satunya di sektor pertanian.

Tabel 1.
Komposisi Natural Gas

Komposisi	Design (dry basis)
CH_4	82,78 % vol
C_2H_6	6,04 % vol
C_3H_8	3,41 % vol
i- C_4H_{10}	0,55 % vol
n- C_4H_{10}	0,66 % vol
i- C_5H_{12}	0,26 % vol
n- C_5H_{12}	0,14 % vol
C_6H_{14}	0,12 % vol
C_7H_{16}	0,13 % vol
CO_2	4,91 % vol
N_2	1 % vol
Hg	300 ppb
S (H_2S)	-
S organik	0
Moisture	20 Lb/MMSCF
Tekanan	15 Kg/cm ²
Temperature	30 C
Density	11,43 Kg/m ³

Konsumsi pupuk yang kian menanjak tiap tahunnya membuat industri pupuk di Indonesia memiliki prospek yang cerah kedepannya. Oleh karena itu, melalui tugas akhir desain pabrik kimia, kami bersama dengan tiga kelompok lainnya dalam satu dosen pembimbing yang sama yaitu Bapak Prof. Tri Widjaja membuat Pra Desain Pabrik dengan tema pupuk. Terdapat empat macam Pra Desain Pabrik yang akan saling terintegrasi satu dengan lainnya, yaitu Pra Desain Pabrik amonia, pupuk urea, pupuk ZA, dan pupuk NPK. Pra Desain Pabrik ini akan membahas bahan baku utama dari pupuk, yaitu amonia.

Ukuran pasar global amonia adalah USD 67,01 miliar pada tahun 2020 [1]. Pengaruh COVID-19 yang secara tiba-tiba terjadi menyebabkan penurunan permintaan yang signifikan di semua wilayah saat terjadi pandemi. Pada tahun 2020, penurunan yang terjadi adalah sebesar 16,8 % dibandingkan dengan rata-rata pertumbuhan dari tahun 2019 hingga 2019. Indonesia sendiri termasuk dalam 5 besar negara produsen amonia terbesar dengan China sebagai pemimpin global yang tak tertandingi dalam hal volume produksi amonia. Negara ini pada tahun 2016 memproduksi lebih dari 59,78 juta ton pada tahun 2016 atau setara dengan 30% dari total volume produksi dunia. Berdasarkan data dari Pupuk Indonesia dan Badan Pusat Statistika (BPS), beberapa tahun terakhir produksi dan konsumsi amonia selalu mengalami peningkatan. Produksi amonia di Indonesia dapat dikatakan sudah oversupply atau produksinya melebihi kebutuhan amonia di dalam negeri. Banyaknya sisa produksi yang tidak tersalurkan diekspor ke luar negeri dengan jumlah yang tidak kalah besar dengan kompetitor lainnya di pasar global.

Dalam perancangan pabrik amonia perlu dilakukan penentuan proses produksi yang akan digunakan. Sebelum

Tabel 2.
SNI 06-0045-2006 Kualitas Amonia

Uraian	Satuan	Persyaratan
Kadar amonia sebagai NH ₃	%b/b	Min. 99,5
Kadar air	%b/b	Max. 0,5
Kadar minyak	ppm	Max/ 10,0

Tabel 3.
Data Kapasitas Pabrik Amonia di Indonesia yang Direncanakan Beroperasi pada 2025

Perusahaan	Kapasitas (ton/tahun)	Kapasitas (ton/hari)
Pabrik Kaltim Papua Barat	825.000	2.500
Pabrik Pusri IIIB	445.500	1.350
Total	1.270.500	3.850



Gambar 1. Lokasi pendirian pabrik amonia.

itu, perlu dilakukan seleksi proses dari beberapa pilihan teknologi produksi. Proses pembuatan amonia dalam segi ekonomi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan dan harga bahan baku pembuatan hidrogen. Proses dengan sumber energi gas alam semakin diminati dengan biaya *study cost capital* yang rendah. Hal ini sesuai dengan persentase pabrik amonia dengan bahan baku gas alam sebesar 76%, sedangkan 24% lainnya adalah pabrik amonia dengan bahan baku batu bara [2]

Sedangkan terkait teknologi produksi amonia dalam industri, telah hadir tiga lisensor yang digunakan dalam pembangunan pabrik baru yaitu *Kellog Brown and Root (KBR)*, *Haldor-Topsoe*, dan *ThyssenKrupp Industrial Solution (TKIS)* [3]. *Kellog Brown and Root (KBR)* memiliki proses yang dilengkapi dengan *KBR Purifier*. Pada proses *KBR Purifier*, proses diawali dengan desulfurisasi dan kompresi sesuai dengan karakteristik bahan baku yang ada. Berikut merupakan keuntungan menggunakan metode *KBR Purifier* :

1. Berkurangnya *impurities* sehingga produksi amonia menjadi lebih maksimal.
2. Berkurangnya konsumsi energi terutama gas alam, dikarenakan energi yang digunakan untuk *fuel* hampir 50%-nya berasal dari metana hasil keluaran *purifier*
3. Mengurangi *capital cost*, dikarenakan tidak perlu membangun *purge gas recovery unit*.
4. Operasi menjadi lebih stabil dan fleksibel dikarenakan reforming section tidak perlu untuk mengontrol produksi H₂/N₂ rasio secara presisi dan sudah dikontrol oleh *purifying section*.

II. DATA DASAR PERANCANGAN

A. Ketersediaan dan Kualitas Bahan Baku dan Produk

Bahan baku utama dalam pembuatan amonia adalah gas alam. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil gas

Tabel 4.
Expert Choice Pemilihan Lokasi Pabrik

Indikator	Skor		
	Batam	Dumai	Teluk Bintuni
Lokasi pemasaran	1,145	0,916	0,687
Ketersediaan bahan baku	0,963	1,284	1,605
Fasilitas transportasi	0,46	0,575	0,345
Ketersediaan tenaga kerja	0,485	0,388	0,291
Ketersediaan utilitas	0,236	0,295	0,177
Ketersediaan lahan	0,196	0,147	0,245
Dampak terhadap lingkungan	0,188	0,141	0,235
Komunitas sekitar	0,185	0,148	0,111
Iklim	0,112	0,084	0,14
Situasi politik dan Kebijakan Pemerintah	0,057	0,076	0,095
Total Skor	4,027	4,054	3,931

alam terbesar di dunia. Gas alam yang digunakan untuk membuat amonia berasal dari PT. ConocoPhillips Grissik Ltd, dengan menarik pipa sepanjang 25 km dari pipa jaringan gas alam di Dumai, Riau. Berikut adalah komposisi dari gas alam sesuai Pertamina (2021) yang akan digunakan.

Pabrik ini menghasilkan produk utama berupa amonia dan produk samping berupa CO₂. Karakteristik atau spesifikasi dari amonia sudah diatur dalam SNI 06-0045-2006 dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Kapasitas

Dalam penentuan kapasitas, juga mempertimbangkan kebutuhan dari kelompok lain yang membangun pabrik urea, ammonium sulfat, dan NPK. Pembangunan pabrik amonia dirancang selama 3 tahun sehingga diperkirakan akan mulai beroperasi pada tahun 2025. Berdasarkan data produksi, konsumsi, ekspor, dan impor amonia maka proyeksi kebutuhan amonia di Indonesia pada tahun mendatang dapat diperkirakan dengan perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

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

Dari persamaan (1) didapatkan kebutuhan urea sebesar 1.675.000 ton/tahun pada tahun 2025. Selain itu, dipertimbangkan juga pabrik-pabrik yang telah direncanakan beroperasi pada tahun 2025. Tabel 3 merupakan data kapasitas produksi dari pabrik-pabrik tersebut.

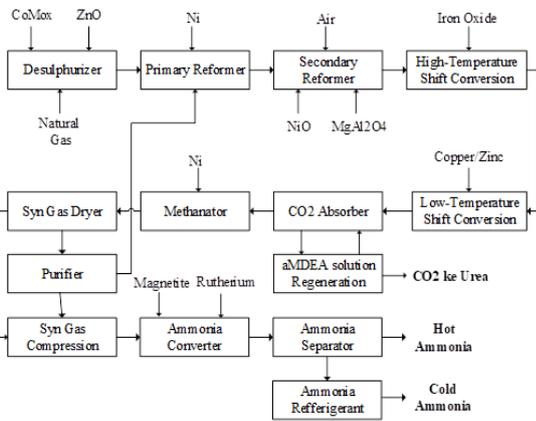
Disisi lain, Pupuk Indonesia sudah memproyeksikan pembangunan pabrik amonia di dua lokasi yaitu Palembang dan Papua Barat dengan kapasitas 1.320.000 ton/tahun. Sehingga masih terdapat potensi kurang lebih 350.000 ton ditambah kebutuhan amonia kelompok lain sebesar 611.000 ton dapat dihitung kapasitas pabrik yang akan dibangun sebesar 957.000 ton/tahun atau 2900 MTPD.

Dalam perancangan pabrik, diperlukan basis perhitungan yang nantinya akan digunakan dalam proses perhitungan neraca massa. Berikut basis perhitungna pada pabrik amonia ini,

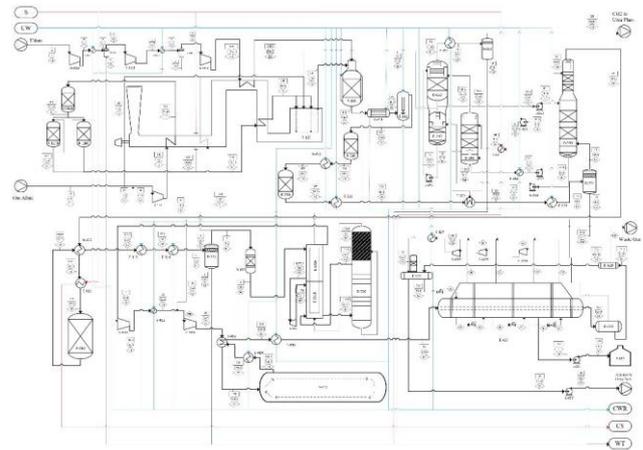
- a. Basis perhitungan : 24 jam operasi
- b. Waktu operasi : 330 hari/tahun
- c. Kapasitas pabrik : 957.000 ton/tahun
2900,0 ton/hari

C. Penentuan Lokasi

Lokasi geografis pabrik secara kuat mempengaruhi



Gambar 2. Diagram blok pabrik amonia dari gas alam.



Gambar 3. Diagram alir pabrik amonia dari gas alam.

keberhasilan suatu pabrik karena berpengaruh terhadap factor produksi dan distribusi produk. Pemilihan lokasi pabrik perlu mempertimbangkan faktor-faktor berikut:

1) *Ketersediaan Bahan Baku*

Bahan baku utama dari pabrik ini adalah hidrogen yang berasal dari gas alam dan nitrogen dari udara. Dari ketiga lokasi pilihan (Batam, Dumai, dan Teluk Bintuni), kebutuhan gas alam untuk pabrik amonia dapat tercukupi, dengan kebutuhan gas alam kurang lebih sebesar 5517 kgmol atau kurang lebih 120 MMSFCD.

2) *Lokasi pemasaran*

Produk amonia yang dihasilkan dari pabrik akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan pabrik urea milik Ulfi dan Dirotsa sebesar 321.000 ton/tahun, pabrik ammonium sulfat milik Rosse dan Anggi sebesar 210.000 ton/tahun, pabrik NPK milik Naning dan Lala sebesar 80.000 ton/tahun, serta di ekspor ke luar negeri sebesar 115.000 ton/tahun. Jika ditinjau dari jarak tempuh lokasi dengan negara tujuan ekspor, dari ketiga lokasi pilihan (Batam, Dumai, dan Teluk Bintuni), Batam memiliki peluang yang sangat tinggi dikarenakan berada di salah satu pusat jalur perdagangan internasional sehingga jaraknya cukup dekat dengan negara-negara tujuan ekspor amonia.

3) *Ketersediaan utilitas*

Untuk mendukung keberjalanan proses didalam pabrik, system utilitas merupakan salah satu bagian penting. Unit utilitas yang perlu diperhatikan adalah ketersediaan air dan listrik. Dikarenakan pra-desain pabrik dalam bimbingan Prof. Tri Widjaja dalam satu kompleks dan terdiri dari 4 pabrik dengan kapasitas besar, maka membutuhkan pasokan energi listrik yang cukup besar, sehingga ketersediaan listrik di lokasi juga harus dapat memenuhi kebutuhan listrik dari pabrik kami. Provinsi Riau memiliki kapasitas pembangkit listrik yang tertinggi dibanding Riau dan Papua Barat sebesar 2.517 MW sehingga memungkinkan pabrik untuk melakukan ekspansi kedepannya. Untuk memenuhi kebutuhan air, pabrik kami akan menggunakan air dari laut, sehingga lokasi dimanapun tidak akan membuat perubahan yang terlalu signifikan.

4) *Iklm*

Iklm memiliki pengaruh terhadap keberjalanan suatu pabrik, dengan mendirikan pabrik di lokasi yang memiliki cuaca yang ekstrim akan membutuhkan biaya perawatan yang lebih. Di Dumai, Riau memiliki suhu rata rata 27,1°C,

kelembapan udara 84,3%, curah hujan 245,75 mm, serta kecepatan angin 5,3 knot.

5) *Fasilitas Transportasi*

Aksesibilitas dan fasilitas transportasi juga menjadi faktor dalam memilih lokasi pabrik. Penyediaan bahan baku maupun pemasaran tentu akan membutuhkan kedua faktor tersebut agar pabrik dapat berjalan dengan baik. Untuk akses logistik bahan baku dan pemasaran, fasilitas dan kondisi transportasi yang ada di dekat lokasi akan sangat mempengaruhi biaya operasional perusahaan. Kota Dumai memiliki fasilitas transportasi yang lebih memadai dibanding lokasi lainnya dengan panjang jalan yang layak digunakan sepanjang 1.198 km. Disisi lain, kota Dumai juga terletak di selat malaka yang merupakan jalur perdagangan internasional sehingga memberikan keuntungan juga dalam segi pemasaran produk ke luar negeri.

6) *Ketersediaan lahan*

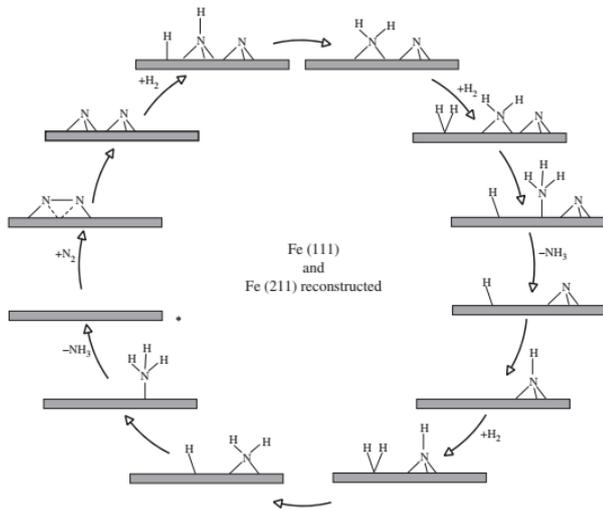
Dipilihnya Kawasan Industri Dumai sebagai lokasi pendirian pabrik karena dari luas ketersediaan lahannya sebesar 1.727 km². Dimana dengan luas tersebut menunjukkan bahwa lahan di lokasi diatas cocok untuk pendirian pabrik amonia.

7) *Dampak Terhadap Lingkungan*

Untuk melakukan pembuangan limbah ke lingkungan, pabrik harus memiliki izin pembuangan limbah dari Walikota sesuai peraturan perundang-undangan. Perturan perundang-undangan yang dipakai ialah UU RI No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Untuk segi pengajuan izin kurang lebih sama semuanya, yang membedakan adalah tarif retribusi untuk pembuangan limbahnya. Kota Dumai dipilih karena dari segi pembuangan limbah dalam standar rata-rata yaitu tarif Rp. 5000 / meter kubik.

8) *Ketersediaan Tenaga Kerja*

Lingkungan yang memiliki lebih banyak sumber tenaga kerja yang memadai tentunya akan lebih ideal untuk dijadikan target pembangunan suatu pabrik, karena akan lebih mudah mempekerjakan masyarakat sekitar dibandingkan masyarakat dari daerah lain. Kota Dumai memiliki jumlah Angkatan kerja terbanyak dan kualitas terbaik setelah Kota Batam. Dengan banyaknya



Gambar 4. Mekanisme Reaksi sintesis amonia dengan katalis Fe.

pengangguran terbuka, maka pembangunan pabrik amonia dari gas alam ini diharapkan mampu menyediakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat sekitar.

9) *Komunitas Sekitar*

Dalam penentuan lokasi pabrik, komunitas sekitar merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan. Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk pertimbangan adalah Indeks Pembangunan Manusia (IPM), dimana IPM menjelaskan bagaimana penduduk dapat mengakses hasil pembangunan dalam memperoleh pendapatan, kesehatan, pendidikan, dan sebagainya. Kota Dumai dipilih karena memiliki indeks pembangunan manusia sebesar 74,75.

10) *Situasi Politik dan Kebijakan Pemerintah*

Sesuai dengan amanat Pasal 14 Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian, maka selanjutnya perwilayahan industri dilakukan melalui pengembangan Wilayah Pusat Pertumbuhan Industri. Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional Tahun 2015 – 2035, Kota Dumai termasuk dalam daftar kota sebagai Wilayah Pusat Pertumbuhan Industri di Provinsi Riau.

Dari parameter-parameter yang telah dijelaskan, maka dilakukan penentuan lokasi Pra Desain Pabrik Amonia Dari Gas Alam Menggunakan Metode *KBR-Purifier* Berkapasitas 2900 MTPD dengan menggunakan metode *Analitycal Hierarchy Process* (AHP). Tabel 4 merupakan hasil pembobotan menggunakan *expert choice*. Gambar 1 merupakan denah lokasi pabrik yang akan didirikan yaitu di Kawasan industri Dumai (KID)

III. URAIAN PROSES TERPILIH

Produksi amonia pada pabrik ini menggunakan bahan baku gas alam menggunakan teknologi *KBR – Purifier*. Proses produksi terdiri atas *gas preparation, gas purification, final purification, dan amonia syntesi* [4]s. Gambar 2 merupakan diagram blok proses produksi amonia.

A. *Unit Gas Preparation*

Pada proses ini gas alam sebagai bahan baku diubah ke dalam bentuk gas sintesis yang komponen utamanya terdiri

dari nitrogen dan hidrogen sebagai reaktan proses pembentukan amonia.

1) *Feed Gas Compression*

Proses pertama pembuatan amonia dari gas alam adalah *feed gas compression*. Sebelum gas masuk ke kompresor, aliran gas terbagi menjadi dua, yakni sebagian aliran ke *Primary Reformer Furnace* sebagai fuel untuk dibakar pada *radiant section*, sebagian aliran lainnya mengalir ke *NG Compressor* (G-111). Pada *NG compressor*, sumber energi yang digunakan berasal dari *steam turbine* yang mengubah energi panas dari MP steam menjadi energi mekanik.

2) *Desulfurisasi*

Kemudian proses dilanjutkan dengan desulfurisasi berfungsi menghilangkan sulfur yang terdapat dalam aliran gas alam dikarenakan dapat menjadi racun bagi katalis Ni yang digunakan pada proses *reforming*. Proses desulfurisasi gas alam dengan *desulfurizer* hanya dapat menyerap sulfur dalam bentuk anorganik, yaitu *Hydrogen Sulfide* (H₂S). Oleh karena itu senyawa sulfur organik yang terdapat pada gas alam harus dirubah terlebih dahulu menjadi H₂S dengan menggunakan *Hydrotreater* (R-110A).

Setelah semua senyawa sulfur organik dirubah dalam bentuk H₂S, proses selanjutnya adalah desulfurisasi H₂S menggunakan *desulfurizer* (R-110B/C). Penyerapan sulfur terjadi secara kimiawi (*chemisorption*) pada permukaan Cu. Reaksi penyerapan secara kimiawi pada permukaan Cu adalah reaksi yang bersifat searah sesuai reaksi berikut.



Gas alam yang keluar dari proses ini diharapkan memiliki kandungan sulfur kurang dari 0,08 ppmv. Kondisi operasi pada proses ini adalah 370-400 oC.

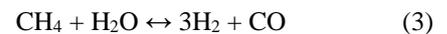
3) *Reforming*

Proses dilanjutkan dengan tahap *reforming* yang merupakan proses perubahan hidrokarbon menjadi H₂ melalui reaksi dengan steam dalam *reformer*. *Reformer* pada proses ini terdiri dari *primary reformer* dan *secondary reformer*. Sesuai dengan definisinya, tujuan dalam proses ini adalah untuk menghasilkan H₂ yang merupakan bahan baku dalam proses sintesis amonia. Pada tahap awal *primary reforming*, hidrokarbon berat akan terkonversi menjadi metana.

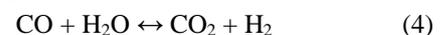
Pada tahap awal *primary reforming*, hidrokarbon berat akan terkonversi menjadi metana, dengan reaksi:



Reaksi utama proses *reforming* adalah mengonversikan metana menjadi hidrogen dan karbon monoksida, dengan reaksi:

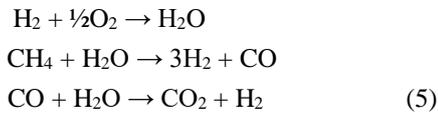


Selain itu, terjadi pula reaksi *shift conversion* yang mengonversi karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan lebih banyak H₂, dengan reaksi:



Gas alam yang telah didesulfurisasi hingga kandungan sulfurnya <0,1 ppmv dicampur dengan *Medium Pressured* (MP) steam sebelum memasuki *primary reformer* (R-120). Perbandingan jumlah steam dengan metana (S/C) pada proses ini adalah 2,7:1. Campuran reaktan ini memiliki temperatur 365 oC.

Setelah melewati *primary reformer*, gas masuk ke *secondary reformer* (R-130) untuk mereaksikan gas CH₄ yang belum habis bereaksi di *primary reformer* dengan bantuan katalis berbasis nikel. Udara yang masuk terlebih dahulu melewati *air compressor* (G-131) kemudian dicampur dengan *MP steam* dan mengalami *preheating* pada *convection section* sehingga temperaturnya menjadi 500 °C dan tekanan 39,5 kg/cm²G. Reaksi yang terjadi di *secondary reformer* adalah sebagai berikut.



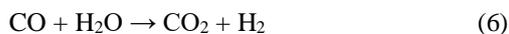
Pada *secondary reformer* CH₄ slip yang terjadi adalah sebesar 1,69%. Gas yang keluar dari *secondary reformer* memiliki suhu 897,7 °C dan tekanan 39,9 kg/cm²G.

B. Unit Gas Purification

Proses gas purification adalah proses purifikasi gas sintesis yang dihasilkan dari proses gas *preparation* dari CO dan CO₂ yang menjadi racun dalam proses sintesis amonia. Gas CO tidak dapat dihilangkan secara langsung, namun harus dikonversi terlebih dahulu menjadi CO₂ sehingga proses gas purification terdiri dari dua proses, yaitu *carbon monoxide shift conversion* dan *carbon dioxide removal*.

1) Carbon Monoxide Shift Conversion

Reaksi pada reformer menghasilkan produk antara yaitu karbon monoksida. Karbon monoksida ini akan diubah menjadi karbon dioksida di dalam CO shift conversion. Reaksi konversi karbon monoksida menjadi karbon dioksida terdiri dari 2 tahap yaitu HTS (*High Temperature Shift*) di HTS converter (R-210) dan LTS (*Low Temperature Shift*) di LTS converter (R-220). Suhu tinggi digunakan untuk mempercepat kecepatan reaksi dan suhu rendah untuk memperoleh keseimbangan reaksi yang lebih tinggi sehingga konversi dapat bertambah. Reaksi yang terjadi pada CO shift converter adalah sebagai berikut:



Target CO slip di HTS adalah 3,31%. Setelah melewati HTSC, suhu gas naik hingga 400 °C. Panas keluaran dari HTSC digunakan untuk memanaskan *boiler feed water* (BFW) dengan BFW *preheater* (E-213) secara seri. Selanjutnya gas dialirkan menuju LTSC dengan temperatur inlet 210 °C dan temperatur outletnya 232 °C. Katalis yang digunakan di dalam LTSC adalah Cu/Zn. CO slip dari LTSC adalah 0.3%.

2) Carbon Dioxide Removal

Gas yang hampir seluruh *Carbon monoxide*-nya telah dikonversi menjadi *carbon dioxide* pada proses sebelumnya kemudian memasuki proses CO₂ removal. Sebelum memasuki kolom CO₂ absorber (D-230), gas terlebih dahulu dilewatkan pada *raw gas separator* (D-231). Pada *raw gas separator*, gas proses dipisahkan dari air dengan cara mengkondensasi air. Gas proses masuk dari bagian bawah dari CO₂ absorber pada 70 °C. Gas ini akan dikontakkan dengan *semi-lean aMDEA* solution terlebih dahulu sebelum nantinya dikontakkan lagi dengan *lean aMDEA* pada bagian atas absorber.

Rich aMDEA solution kemudian dikirim ke *HP flash column* (D-240) dimana sebagian besar *impurities* di-

flashing/di-degassing dari *rich solution* untuk memastikan *high purity* dari produk CO₂. *Flashed gas* dari HP flash column kemudian mengalir ke *primary reformer* sebagai *auxiliary fuel*. Sementara *rich solution* dari HP flash column masuk dibagian top dari LP flash column (D-250). LP flash column dipertahankan pada 0,9 kg/cm²G. Cairan yang masuk ke LP flash column di-strip (dilucuti) dengan *overhead* gas dari CO₂ stripper (D-260).

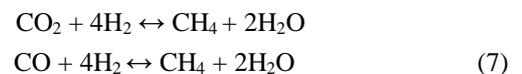
CO₂ yang ter-strip (terlucuti) mengalir ke atas stripper dan melewati LP flash column. *Lean solution* pertama kali didinginkan oleh *lean solution cooler* (E-262). *Lean solution* kemudian dipompakan ke top dari absorber dengan pompa *lean solution* (L-263) Aliran CO₂ dari top LP flash column didinginkan di LP flash column overhead condenser (E-251). *Liquid* yang terbentuk di LP flash column overhead reflux drum (D-252) menjadi kondensat sedangkan gas yang terpisah adalah gas CO₂ dan menjadi *byproduct* serta akan digunakan pada proses pembentukan urea di pabrik lainnya. Diagram alir pabrik amonia dari gas alam dapat dilihat pada Gambar 3.

C. Unit Final Purification

Setelah gas proses dipurifikasi dari CO dan CO₂, masih terkandung beberapa CO dan CO₂ dalam jumlah yang sangat kecil yang perlu diproses. Selain itu, perbandingan feed masuk antara H₂ dan N₂ perlu dioptimalkan untuk menghasilkan hasil sintesis amonia yang maksimal. Oleh karena itu, diperlukan *proses final purification* dengan tujuan untuk mengurangi *impurities* dan menyesuaikan rasio reaksi sintesis amonia yang optimal.

1) Methanasi

Metanasi bertujuan untuk mengonversi gas CO dan CO₂ yang tidak dapat diserap maupun di konversi di HTS, LTS dan CO₂ removal menjadi *methan* di methanator dengan menggunakan katalis Ni. Hal ini dilakukan karena CO dan CO₂ merupakan racun bagi katalis Fe pada *amonia converter*. Reaksi yang terjadi adalah:



Clean gas keluar CO₂ removal yang bersuhu 50 °C dan 36,4 Kg/cm²G dipanaskan sampai 310 °C di *methanator feed/effluent exchanger* (E-311) dan kemudian dipanaskan lagi di *methanator start up heater* (E-312) dengan *HP steam* untuk menjaga suhu masuk methanator 316 °C.

2) Synthesis Gas Drying

Syn gas yang telah dingin kemudian dikeringkan di *molecular sieve dryer* (D-320) menggunakan desikan zeolite untuk menghilangkan amonia, CO₂ sisa, dan air dari *flow total syn gas* dalam 24 jam siklus *drying* yang terdiri dari 7 tahap diantaranya *parallel*, *depressurization*, *heating*, *cooling*, *pressuring*, *small control step*, dan *stand-by*. Dalam proses *drying* ini diharapkan agar tidak ada kandungan air yang masuk ke proses selanjutnya

3) Cryogenic Purification

Kandungan *syn gas* yang keluar dari *dryer* adalah *methane*, argon, hidrogen, dan nitrogen. Unit purifikasi ini bertujuan untuk mengkondensasikan *methane* dan argon agar terpisah dari *syn gas*. *Cryogenic purifier* ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu *purifier feed/effluent exchanger*, *expander*,

purifier rectifier, dan *rectifier condenser*. Prinsip kerja purifikasi ini adalah berdasarkan sistem *cryogenic* dimana komponen gas dipisahkan berdasarkan *boiling point* masing-masing komponennya. *Cryogenic purifier* dioperasikan pada suhu $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pengoperasian *purifier* dikendalikan oleh sebuah analisis hidrogen pada gas sintesis dalam rangka menjaga rasio yang tepat tiga banding satu antara hidrogen dan nitrogen yang diperlukan untuk loop gas sintesis. Satu-satunya kontaminan yang tersisa dalam *make-up gas* sintesis adalah sekitar 0,3% mol argon.

D. Unit Amonia Synthesis

Syn gas yang keluar dari *cryogenic purifier* telah disesuaikan rasio yang antara hidrogen dan nitrogen yaitu 3:1. Syn gas dikompresi dalam dua tahap sampai tekanan $157\text{ kg/cm}^2\text{G}$ oleh *synthesis gas compressor* (G-411). *Ammonia synthesis* adalah proses pembentukan amonia (NH_3) dengan mereaksikan gas nitrogen (N_2) dan gas hidrogen (H_2). Reaksinya adalah:



Mekanisme reaksi sintesis amonia dengan katalis besi dapat dilihat pada Gambar 4. Konsentrasi amonia dalam umpan ke *converter* dan setelah keluar *converter* adalah masing-masing sekitar 1,80% mol dan 19,8% mol. Gas keluar dari *converter* pada temperatur $450,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ lalu didinginkan secara bertahap di *ammonia converter effluent exchanger* (E-414). Kemudian masuk ke *ammonia effluent cooler* (E-415) dan temperatur turun sampai $38\text{ }^{\circ}\text{C}$. Selanjutnya amonia dikondensasikan di *ammonia unitized chiller* (E-420) melalui pertukaran panas dengan gas sintesis yang kembali dari amonia *separator* (D-423) serta mendidihkan amonia cair pada 4 tingkat temperatur hingga $-33,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Amonia yang terkondensasi atau *cold ammonia* adalah produk akhir dari pabrik ini yang selanjutnya disimpan di tangki penyimpanan *cold ammonia* (F-422). Amonia *liquid* dari *ammonia letdown drum* dikirim ke *ammonia refrigerant receiver* (D-435). Produk amonia hangat dapat diambil dari *ammonia refrigerant receiver* yang kemudian dipompa dengan *hot ammonia product pump* (L-427) ke *urea plant*. Sementara, amonia cair yang tersisa dari *ammonia refrigerant receiver* dikirim ke *sistem unitized chiller*.

IV. MATERIAL BALANCE

Pada perhitungan neraca massa Pra Desain Pabrik Amonia Dari Gas Alam Menggunakan Metode *KBR-Purifier*

berkapasitas 2900 MTPD dengan asumsi pabrik beroperasi 24 jam selama 330 hari per tahun. Kebutuhan bahan baku yang digunakan berupa gas alam sebanyak 5.517 kgmol/hari serta menghasilkan produk amonia sebanyak 957.000 kg/hari .

V. ANALISA EKONOMI

Dengan estimasi umur pabrik selama 10 tahun, untuk memproduksi pupuk amonia dari gas alam menggunakan metode *KBR-Purifier* berkapasitas 2900 MTPD didapatkan *Internal Rate of Return (IRR)* sebesar 26,08% yang dimana nilainya lebih besar dari bunga pinjaman bank sebesar 6,00% dan WACC 5,77%. Kemudian didapatkan *Pay Out Time (POT)* sebesar 2,7 tahun, *Net Present Value (NPV)* sebesar \$ 777.765.687, dan *Break Even Point (BEP)* sebesar 55%. Dari analisa ekonomi tersebut dapat disimpulkan bahwa Pabrik Amonia dari Gas Alam menggunakan Metode *KBR-Purifier* berkapasitas 2900 MTPD memiliki kelayakan untuk dilanjutkan ke tahap perencanaan.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan aspek yang telah disampaikan dalam pabrik pupuk amonia dari gas alam menggunakan metode *KBR-Purifier* berkapasitas 2900 MTPD, maka pabrik layak didirikan tahun 2025 dengan masa konstruksi 2 tahun dan perencanaan operasi kontinyu selama 24 jam/ hari selama 330 hari. Kapasitas produksi yaitu $957.000\text{ ton amonia/ tahun}$ atau setara dengan 2900 MTPD.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Jaiswal, "Ammonia Market Research Report - Market Forecast Till 2030," North America, 2021.
- [2] C. D. Zeinalipour-Yazdi, J. S. J. Hargreaves, S. Laassiri, and C. R. A. Catlow, "A comparative analysis of the mechanisms of ammonia synthesis on various catalysts using density functional theory," *R Soc Open Sci*, vol. 8, no. 11, 2021, doi: 10.1098/rsos.210952.
- [3] J. K. Arthur and William, *Fundamentals of Natural Gas Processing*. New York: CRC Press, 2006. ISBN: 978-1-420-08519-8.
- [4] E. Ludwig, *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical*, 3rd ed., vol. 2. Houston: Gulf Publishing Co, 1965. ISBN: 978-0-88415-101-2.