
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Nitrogen

Nitrogen merupakan komponen gas yang menjadi salah satu pembentuk udara di atmosfer. Dalam proses pembuatan ammonia, nitrogen didapatkan dari udara bebas. Dalam udara bebas, nitrogen merupakan komponen yang terbanyak dikandung di dalamnya. Nitrogen adalah gas yang tidak berbau, tidak beracun, dan tidak berwarna.

Tabel 2. 1 Komposisi Udara

Komponen	Komposisi (%)
Nitrogen	78%
Oksigen	20,8%
Argon	0,9%
Karbon Dioksida	0,03%
Gas lain (helium, neon, krypton, hidrogen, dan methan)	0,27%

(Astuti, 2018)

II.1.2 Gas Alam

Gas alam sering juga disebut sebagai gas bumi atau gas rawa, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana CH_4 . Ia dapat ditemukan diladang minyak, ladang gas bumi dan juga tambang batu bara. Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan. Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), selain juga gas-gas yang mengandung sulfur (belerang).

Pada proses produksi ammonia, dibutuhkan nitrogen dan hidrogen. Hidrogen akan diambil dari gas alam, secara lebih spesifik rantai hidrokarbon yang terkandung dalam gas alam akan dipecah untuk diambil hidrogen. Pemecahan rantai hidrokarbon akan dilakukan dalam beberapa tahapan proses. (Mokhtab, 2020)



II.1.3 Ammonia

Amonia (NH_3) adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom nitrogen (N) yang terikat pada tiga atom hidrogen (H). Amonia dikenal luas sebagai bahan kimia industri yang penting dan digunakan terutama dalam produksi pupuk, tetapi juga memiliki berbagai aplikasi lainnya dalam industri kimia dan proses lainnya. Amonia ditemukan di alam, baik dalam bentuk gas maupun dalam larutan, dan juga dapat diproduksi secara sintetis melalui proses seperti Haber-Bosch, yang melibatkan reaksi nitrogen dan hidrogen pada suhu dan tekanan tinggi.

Amonia memiliki struktur molekul trigonal piramidal, di mana atom nitrogen berada di puncak piramida dan tiga atom hidrogen terikat pada sisi dasar piramida tersebut. Ikatan antara nitrogen dan hidrogen adalah ikatan kovalen polar, karena nitrogen lebih elektronegatif dibandingkan hidrogen, yang menyebabkan distribusi muatan yang tidak merata. Hal ini membuat molekul amonia bersifat polar, dengan sisi nitrogen memiliki muatan negatif parsial dan sisi hidrogen memiliki muatan positif parsial. Bentuk piramidal ini berkontribusi pada sifat-sifat fisik dan kimia dari amonia, termasuk titik didih dan kelarutannya dalam air.

Sifat Fisika Amonia

1. Wujud : Gas tidak berwarna dengan bau tajam.
2. Titik Didih : $-33,34\text{ }^\circ\text{C}$
3. Titik Leleh : $-77,73\text{ }^\circ\text{C}$.
4. Kelarutan : Sangat larut (34,5% pada suhu kamar), membentuk amonium hidroksida (NH_4OH) yang bersifat basa.
5. Kepadatan : Massa jenis $0,73\text{ g/L}$ pada 0°C dan 1 atm .
6. Bau : Khas, tajam dan menyengat.

Sifat Kimia Amonia

1. Bersifat Basa : Mampu menerima proton (H^+) untuk membentuk ion amonium (NH_4^+) dalam larutan.
2. Reaktivitas : Bereaksi dengan asam membentuk garam

-
- amonium, seperti dengan HCl menjadi NH_4Cl .
3. Proses Haber-Bosch : Amonia diproduksi dari nitrogen (N_2) dan hidrogen (H_2) melalui reaksi dengan katalis besi.
 4. Reaksi Reduksi : Amonia berfungsi sebagai agen pereduksi dalam beberapa reaksi kimia, seperti pada pembuatan senyawa nitrogen oksida.
 5. Membentuk Nitrogen Oksida : Amonia bereaksi dengan oksigen pada suhu tinggi untuk menghasilkan nitrogen oksida (NO_x).

(Tro, 2021)

II.1.4 Proses Pembuatan Ammonia

Proses pembuatan ammonia akan dibedakan berdasarkan patent ataupun lisensi yang digunakan oleh suatu pabrik. Secara umum, apabila ditinjau dari segi bahan baku utama dalam proses produksi ammonia, ada dua jenis proses yaitu proses produksi ammonia dengan *air reforming process* dan *partial oxidation process*.

Proses air reforming (atau steam methane reforming, SMR) adalah salah satu metode utama dalam produksi hidrogen yang digunakan dalam sintesis amonia. Hidrogen tersebut dihasilkan melalui reaksi metana (CH_4), yang terkandung dalam gas alam, dengan uap air (H_2O) pada suhu dan tekanan tinggi dalam kehadiran katalis nikel. Proses ini menghasilkan hidrogen dan karbon monoksida (CO) sebagai produk utama. Reaksi dasar dalam tahap ini adalah pembentukan gas hidrogen dan karbon monoksida dari metana dan uap air, yang dikenal dengan istilah "reforming." Hidrogen yang dihasilkan dari proses ini sangat penting karena menjadi bahan baku utama dalam produksi amonia.

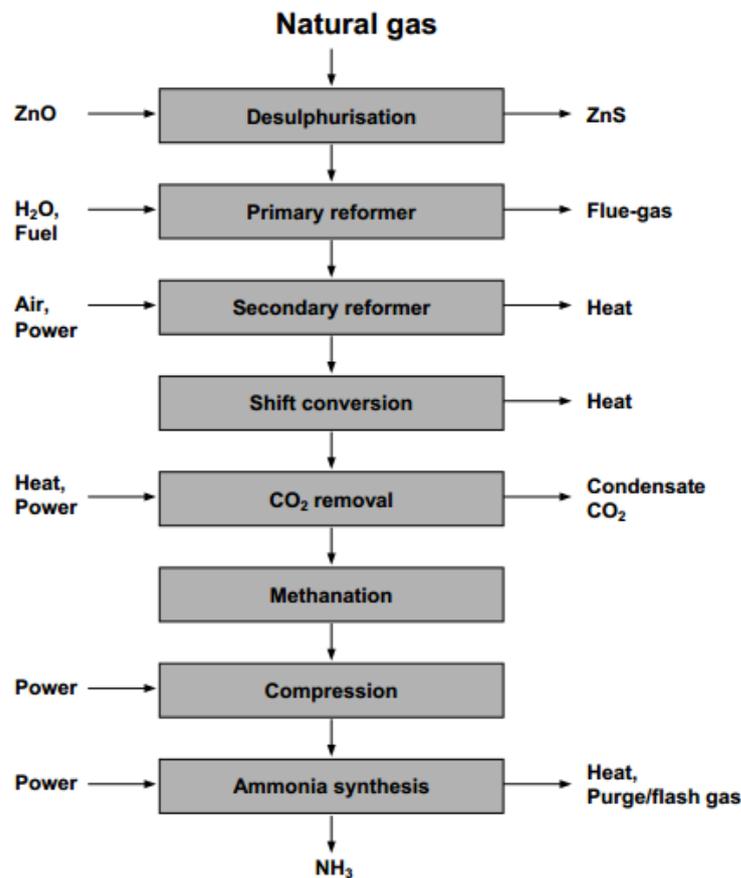
Hasil yang diperoleh dari reforming gas alam, yaitu campuran gas yang dikenal sebagai gas syngas, mengandung hidrogen, karbon monoksida, dan sejumlah karbon dioksida. Pada tahap selanjutnya, karbon monoksida perlu diubah menjadi lebih banyak hidrogen, melalui reaksi yang disebut water-gas shift



reaction. Dalam reaksi ini, karbon monoksida yang ada akan bereaksi dengan uap air, menghasilkan lebih banyak hidrogen dan karbon dioksida. Reaksi ini sangat penting karena meningkatkan konsentrasi hidrogen yang akan digunakan dalam sintesis amonia, sekaligus mengurangi jumlah karbon monoksida yang ada dalam campuran gas.

Gas yang dihasilkan masih perlu dimurnikan. Pada tahap pemurnian, hidrogen dipisahkan dari gas-gas lain seperti karbon dioksida dan karbon monoksida. Pemurnian hidrogen biasanya dilakukan menggunakan metode seperti Pressure Swing Adsorption (PSA), di mana hidrogen dipisahkan berdasarkan kemampuannya untuk diserap oleh material adsorben pada tekanan tinggi. Proses ini memastikan bahwa hidrogen yang dihasilkan memiliki tingkat kemurnian yang cukup tinggi, sehingga cocok untuk digunakan dalam reaksi Haber-Bosch.

Hidrogen kemudian dikompresi dan disiapkan untuk proses selanjutnya, yaitu reaksi Haber-Bosch untuk menghasilkan amonia. Pada tahap ini, hidrogen yang telah dimurnikan bereaksi dengan nitrogen (N_2) yang biasanya diperoleh dari udara dalam kondisi tekanan tinggi dan suhu tinggi (sekitar $400\text{--}500^\circ\text{C}$ dan $150\text{--}300\text{ atm}$), dengan bantuan katalis berbasis besi. Reaksi ini menghasilkan amonia (NH_3), yang merupakan senyawa penting dalam industri pupuk dan sejumlah aplikasi lainnya.



Gambar 2. 1 Skema *Air Reforming Process*

(Nieuwenhuyse, 2020)

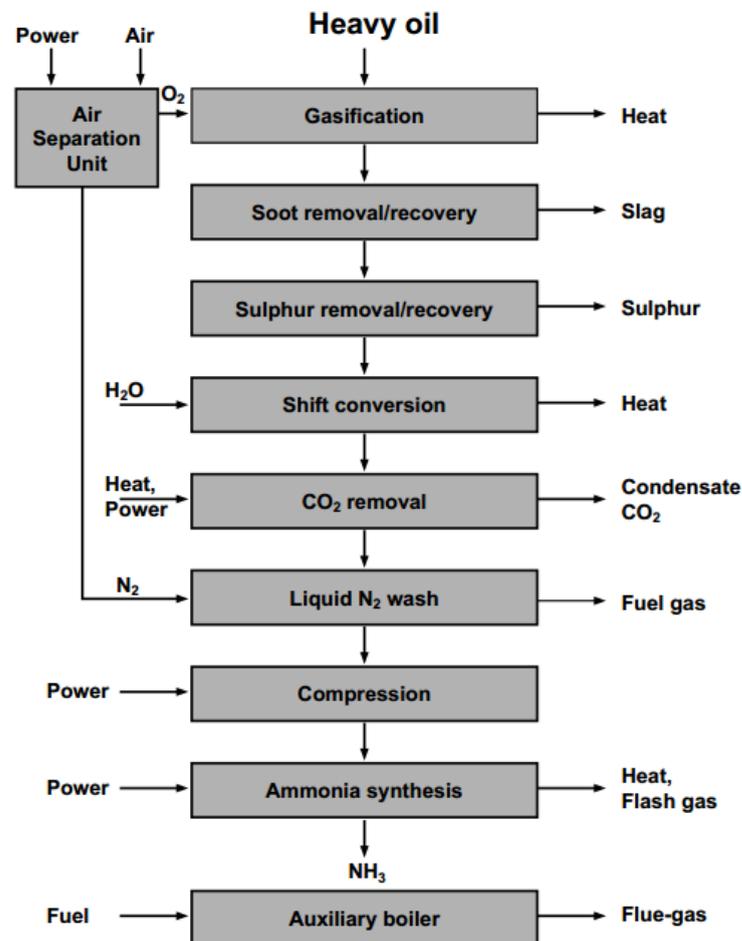
Proses partial oxidation (POX) adalah salah satu metode untuk menghasilkan hidrogen yang digunakan dalam produksi amonia, dengan memanfaatkan bahan bakar hidrokarbon seperti metana, gas alam, atau nafta. Pada dasarnya, proses ini melibatkan pengoksidasi sebagian bahan bakar hidrokarbon dengan oksigen (O₂) dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi. Hasil dari reaksi ini adalah gas sintesis (syngas) yang kaya akan hidrogen (H₂) dan karbon monoksida (CO), yang kemudian dapat digunakan dalam sintesis amonia melalui proses Haber-Bosch. Proses partial oxidation lebih efisien dibandingkan dengan reforming uap (steam methane reforming) karena dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar dan memerlukan sedikit energi untuk menghasilkan hidrogen.



Proses dimulai dengan penerimaan bahan baku, biasanya berupa metana, yang pertama kali diproses untuk menghilangkan kandungan sulfur dan kontaminan lainnya yang dapat merusak katalis. Setelah itu, bahan baku dicampur dengan oksigen dalam jumlah yang terkontrol di dalam reaktor partial oxidation. Di dalam reaktor yang bekerja pada suhu tinggi antara 800 hingga 1.200°C, sebagian dari hidrokarbon tersebut bereaksi dengan oksigen, menghasilkan hidrogen (H_2) dan karbon monoksida (CO). Reaksi ini berbeda dengan pembakaran total karena oksidasi hanya sebagian dari bahan bakar, sehingga tidak menghasilkan karbon dioksida (CO_2) secara berlebihan. Proses ini memberikan keuntungan dalam hal efisiensi energi dan fleksibilitas bahan baku.

Proses partial oxidation akan menghasilkan gas sintesis yang mengandung hidrogen dan karbon monoksida, langkah selanjutnya adalah reaksi water-gas shift. Pada tahap ini, karbon monoksida yang ada dalam gas sintesis direaksikan dengan uap air (H_2O) untuk menghasilkan lebih banyak hidrogen dan karbon dioksida. Reaksi ini terjadi di reaktor dengan menggunakan katalis tertentu, biasanya berbasis besi atau tembaga, pada suhu yang lebih rendah. Reaksi water-gas shift ini sangat penting untuk meningkatkan kandungan hidrogen dalam gas yang akan digunakan dalam proses Haber-Bosch.

Gas hasil reaksi water-gas shift yang sekarang mengandung lebih banyak hidrogen, gas tersebut harus dimurnikan untuk menghilangkan karbon dioksida dan gas-gas lainnya yang tidak diinginkan. Pemurnian hidrogen dilakukan dengan menggunakan metode seperti Pressure Swing Adsorption (PSA), di mana hidrogen dipisahkan dari komponen gas lain berdasarkan perbedaan kemampuan adsorpsi pada tekanan tinggi. Hidrogen yang telah dimurnikan ini kemudian dikompresi dan digunakan dalam proses Haber-Bosch, di mana ia bereaksi dengan nitrogen (N_2) untuk membentuk amonia (NH_3). Proses ini berlangsung pada suhu tinggi (sekitar 400–500°C) dan tekanan tinggi (150–300 atm) dengan bantuan katalis besi.



Gambar 2. 2 Skema *Partial Oxidation Process*

(Nieuwenhuysse, 2020)

II.1.5 Proses Pemurnian Ammonia

Proses pemurnian amonia hingga mencapai konsentrasi 99% dengan menggunakan refrigeran melibatkan beberapa tahapan yang kompleks. Setiap tahapan ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan dan meningkatkan kemurnian amonia, yang sangat penting untuk aplikasi industri seperti pembuatan pupuk, bahan kimia, atau sistem pendinginan. Proses pemurnian ini biasanya dilakukan dengan memanfaatkan teknik fisik, seperti kompresi, pendinginan, distilasi, dan adsorpsi.

Tahap pertama dalam proses pemurnian amonia adalah kompresi gas amonia yang dihasilkan dari reaksi kimia seperti proses Haber-Bosch atau dari



proses reforming lainnya. Pada tahap ini, gas amonia yang dihasilkan akan dikompresi menggunakan kompresor untuk meningkatkan tekanan dan memperkecil volume gas. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemisahan komponen-komponen dalam gas amonia yang terkompresi. Gas amonia yang terkompresi ini kemudian siap untuk diproses lebih lanjut. Peningkatan tekanan ini juga penting agar gas amonia dapat dipisahkan dengan lebih mudah dalam tahap pendinginan dan distilasi.

Gas amonia yang terkompresi harus didinginkan untuk mengurangi suhu dan mendorong terjadinya kondensasi. Proses pendinginan ini sering kali dilakukan dengan menggunakan refrigeran, yang dapat berupa amonia cair itu sendiri atau refrigeran lain yang lebih efisien dalam mengurangi suhu gas. Ketika gas amonia didinginkan, sebagian besar amonia akan mengembun menjadi cair, sementara kontaminan yang lebih volatil, seperti karbon dioksida (CO_2), air, atau gas-gas asam lainnya, tetap berada dalam fase gas. Proses ini memungkinkan amonia cair terpisah dari sebagian besar gas-gas kontaminan lainnya. Pendinginan ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi pemisahan dan mengurangi jumlah kontaminan dalam produk akhir.

Gas amonia dikondensasi menjadi cairan, tahap selanjutnya adalah pemisahan kontaminan yang masih ada dalam cairan amonia. Proses pemisahan ini umumnya dilakukan dengan distilasi atau menggunakan teknik adsorpsi. Distilasi dilakukan untuk memanfaatkan perbedaan titik didih antara amonia dan kontaminan lainnya. Amonia, yang memiliki titik didih yang relatif rendah (sekitar $-33,34^\circ\text{C}$), akan menguap dan terpisah dari zat-zat lain yang memiliki titik didih lebih tinggi. Kontaminan seperti air dan karbon dioksida, yang memiliki titik didih lebih tinggi, akan tetap berada dalam fasa cair atau dapat dipisahkan pada bagian bawah kolom distilasi. Distilasi dilakukan dalam beberapa tahap atau kolom untuk memurnikan amonia lebih lanjut, memastikan bahwa kadar amonia dalam cairan meningkat hingga mendekati 99%.

Proses pemisahan dapat dilakukan dengan menggunakan adsorben. Pada tahap ini, bahan adsorben seperti zeolit atau aktif karbon dapat digunakan untuk menyerap gas-gas yang lebih mudah menguap atau yang masih ada dalam amonia



cair, seperti hidrogen sulfida (H_2S) atau gas asam lainnya. Proses Pressure Swing Adsorption (PSA), yang memanfaatkan perubahan tekanan untuk memisahkan komponen berdasarkan kemampuannya untuk teradsorpsi pada media tertentu, juga dapat digunakan pada tahap ini. PSA efektif untuk menghilangkan jejak gas-gas yang tidak diinginkan dan memastikan amonia cair tetap murni.

Setelah melalui proses distilasi dan pemisahan yang cukup, amonia cair yang sudah sangat murni (mencapai 99% kemurnian) dapat dikondensasi kembali pada suhu rendah. Kondensasi dilakukan dengan menurunkan suhu cairan amonia lebih lanjut menggunakan sistem refrigerasi atau teknik pendinginan lainnya. Amonia cair yang dihasilkan pada tahap ini memiliki kemurnian yang sangat tinggi dan siap untuk disimpan atau digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Kondensasi juga membantu menjaga amonia dalam bentuk yang lebih stabil untuk penyimpanan dan distribusi. (Schlogl, 2019)