

BAB II

URAIAN PROSES

Proses penghasil amonia hijau mencakup transformasi sumber daya alam seperti air dan udara menjadi amonia (NH_3) tanpa menghasilkan emisi karbon. Amonia yang dihasilkan berbentuk cair pada suhu $-33\text{ }^\circ\text{C}$. Metode yang digunakan dalam proses ini adalah modifikasi dari proses *Haber-Bosch*, di mana amonia dihasilkan melalui konverter dengan *fixed-bed*.

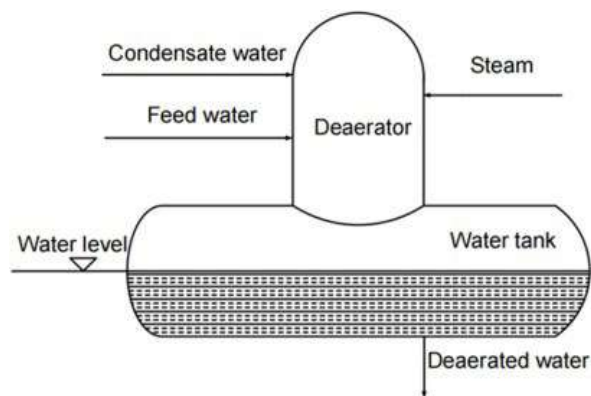
2.1. Produksi Hidrogen Melalui Elektrolisis Air

Gas hidrogen (H_2) diproduksi melalui proses elektrolisis air yang memanfaatkan teknologi *Solid Oxide Electrolyzer Cell* (SOEC) pada suhu tinggi. Proses ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan sebagai berikut.

2.1.1. Proses Deaerasi

Adanya gas terlarut dalam air, seperti oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2), dapat menimbulkan isu korosi serius, terutama karena sifat korosi tersebut yang bersifat lokal. Korosi yang disebabkan oleh CO_2 biasanya terjadi pada sistem kondensat dan jarang ditemukan dalam sistem distribusi air. Air yang mengandung amonia, terutama jika terdapat oksigen, dapat merusak tembaga dan paduan tembaga, yang mengakibatkan korosi. Proses korosi ini akan menghasilkan endapan pada permukaan pemindahan panas yang akan mengakibatkan penurunan efisiensi dan keandalan sistem (Dewi, 2023).

Air demineralisasi dipompa ke dalam *deaerator* (201-D) menggunakan pompa demin dari fasilitas untuk menghilangkan kandungan gas terlarut seperti oksigen dan karbon dioksida. Dalam proses deaerasi, sejumlah uap air *superheated steam* ditambahkan. Air yang bebas dari gas terlarut lalu akan mengalir ke dalam drum *deaerator* sebelum dipompa dengan pompa *Boiler Feed Water* (201-J) menuju *Waste Heat Boiler* (201-C) untuk memproduksi uap air yang diperlukan dalam proses SOEC serta untuk menggerakkan turbin generator.



Gambar 2. 1. Diagram proses *Deaerator*
Sumber: Zeng et al. (2022)

Peralatan yang digunakan dalam proses deaerasi meliputi:

- a. *Deaerator* dan *drum* (201-D) yang dilengkapi dengan *tray* untuk proses *stripping* gas serta ventilasi untuk mengeluarkan gas terlarut dari air demineralisasi. Pompa umpan ke *Waste Heat Boiler* (WHB) (201-J).
- b. *Waste Heat Boiler* (WHB).
- c. Pompa umpan ke *Waste Heat Boiler* (WHB) (201-J).

2.1.2. *Waste Heat Boiler* (WHB)

Air umpan dari deaerator akan dipompa menggunakan pompa BFW (201-J) ke dalam *steam drum* WHB untuk menghasilkan uap air *superheated* pada tekanan 47,0 kg/cm²G dan suhu 390 °C serta pada tekanan 5,0 kg/cm²G dengan suhu 180 °C. Sebelum memasuki steam drum, air umpan akan dialirkan terlebih dahulu ke BFW *preheater* yang terletak di keluaran konverter amonia untuk memanfaatkan panas hasil reaksi sintesis amonia.

Di dalam WHB, sumber panas berasal dari keluaran produk SOEC yang memiliki suhu tinggi dan terjaga pada kisaran 800 °C. Uap air *superheated* yang dihasilkan akan dialirkan ke dalam proses elektrolisis air, sedangkan sebagian akan digunakan untuk menggerakkan turbin generator sebagai penghasil listrik dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dalam area utilitas. Suhu uap air *superheated* akan dipertahankan dengan menambahkan injeksi air umpan pada keluaran WHB.

Tingkatan uap air *superheated* di dalam pabrik dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Untuk proses elektrolisis dengan tekanan 5,0 kg/cm²G dan suhu 800 °C.
2. Untuk penggerak turbin dengan tekanan 47 kg/cm²G dan suhu 390 °C.
3. Tekanan rendah untuk proses deaerasi dengan tekanan 5.0 kg/cm²G dan suhu 180 °C.

Peralatan yang digunakan dalam proses WHB meliputi:

- a. *Waste Heat Boiler* (WHB) (201-C), yang berfungsi untuk memanaskan air demineralisasi sebagai umpan yang menghasilkan tekanan 47 kg/cm²G dan 5 kg/cm²G.
- b. *Separator* hidrogen (204-D), untuk memisahkan air dan gas hidrogen yang dihasilkan dari elektrolisis.

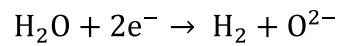
2.1.3. Proses Elektrolisis H₂O (Uap Air)

Solid Oxide Electrolyzer Cell (SOEC) merupakan suatu perangkat elektrokimia yang beroperasi pada suhu tinggi, berkisar antara 600 °C hingga 1.000 °C, untuk tujuan elektrolisis. Sel ini memiliki rancangan serba padat dengan elektrolit yang berada di antara anoda dan katoda yang berpori. Dengan memanfaatkan energi listrik, air (H₂O) direduksi di katoda, yang menghasilkan gas hidrogen (H₂) serta ion oksida (O²⁻). Setelah itu, ion O²⁻ bergerak melalui elektrolit padat menuju anoda, tempat oksigen (O₂) terbentuk melalui reaksi evolusi oksigen, yang juga mengeluarkan elektron. Karena elektrolit hanya dapat menghantarkan ion, elektron yang dirilis di anoda akan kembali ke katoda melalui sirkuit eksternal untuk melanjutkan siklus elektrokimia.

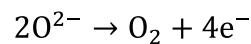
Proses operasional yang sederhana pada SOEC memberikan manfaat dalam hal kemampuan untuk diperbesar, sehingga cocok untuk aplikasi yang bersifat terpusat maupun terdistribusi sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, suhu tinggi saat beroperasi membantu mempercepat reaksi elektrokimia di dalam SOEC dan memungkinkan penggunaan katalis *metal non-noble*, yang membantu menekan biaya keseluruhan. Kebutuhan energi listrik untuk SOEC cukup rendah karena sebagian energi yang diperlukan untuk proses elektrolisis diperoleh dari

pemanasan. Dengan katalis *non-noble*, SOEC juga berpotensi untuk melakukan ko-elektrolisis CO₂ dan H₂O, yang menghasilkan *syngas* (campuran H₂ dan karbon monoksida, CO). Namun demikian, selama proses ini, air yang digunakan tidak mengandung CO₂ sehingga reaksi samping antara CO₂ dan H₂O tidak terjadi.

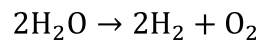
Air umpan dalam bentuk uap *superheated* yang dihasilkan dari *Waste Heat Boiler* (WHB) dialirkan ke dalam sel SOEC. Di dalam SOEC terdapat dua elektroda, yaitu anoda dan katoda, yang dipisahkan oleh elektrolit padat yang berfungsi sebagai media untuk transfer ion antara kedua kutub. Gas hidrogen dihasilkan pada katoda (-) melalui reaksi sebagai berikut:



Ion oksida (O²⁻) kemudian berpindah melalui pori-pori elektrolit padat menuju anoda (+), dimana terjadi reaksi oksidasi ion oksida menjadi oksigen (O₂) disertai pelepasan elektron sesuai reaksi berikut:



Dengan demikian, reaksi keseluruhan yang terjadi dapat dinyatakan sebagai:



Pengaturan tegangan (volt) yang diterapkan pada elektrolizer dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_{\text{H}_2\text{O}}^0 = -1.253 + 0.00024516 \times T \quad (\text{V})$$

di mana T adalah suhu operasi dalam Kelvin (K). Persamaan dan reaksi tersebut diadaptasi dari prinsip dasar elektrolisis suhu tinggi pada SOEC (Kazempoor & Braun, 2015).

Untuk memastikan suhu operasi SOEC tetap stabil di kisaran 800 °C, udara panas dari FD Fan (201-J) yang dilengkapi dengan pemanas listrik (202-C) dan uap air dimasukkan ke dalam kutub anoda, tempat di mana elektron dihasilkan. Konversi reaksi pembentukan hidrogen dijaga pada sekitar ±99.8%, sehingga masih

terdapat sekitar $\pm 0.2\%$ mol uap air yang tidak terkonversi. Produk keluaran dari SOEC terdiri dari dua aliran, yaitu:

1. Keluaran dari kutub katoda yang berupa campuran gas hidrogen (H_2) dan uap air sisa yang tidak terkonversi, dengan suhu sekitar $800\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. Keluaran dari kutub anoda yang berisi campuran udara, oksigen hasil reaksi, dan uap air dengan suhu sekitar $800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Karena suhu produk yang dihasilkan masih cukup tinggi ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$), panas tersebut dimanfaatkan untuk menghasilkan uap air di *Waste Heat Boiler* (WHB). Kondensat yang dihasilkan dari kedua aliran produk dikembalikan ke *deaerator*, sementara oksigen dibuang ke atmosfer. Terdapat sebuah sistem pendingin yang menggunakan air laut (204-C1/C2) untuk menurunkan suhu gas hidrogen hingga $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebelum masuk ke kompresor hidrogen (204-J) dan juga untuk menurunkan suhu gas oksigen hingga $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ sebelum dibuang ke atmosfer.

Gas hidrogen selanjutnya akan dipindahkan ke proses pengeringan (*drying*, 104-DA/DB) dan dikompresi dengan menggunakan kompresor hidrogen (204-J) untuk menghilangkan kandungan air yang dapat mengganggu kinerja reaktor konversi amonia (301-R). Pengaturan jumlah mol hidrogen yang masuk ke proses pengeringan dilakukan dengan mengatur laju produksi hidrogen di SOEC. Untuk keperluan awal operasi, terdapat penyimpanan H_2 dan N_2 cair.

Perangkat yang digunakan dalam proses elektrolisis meliputi:

- a. Sel SOEC (203-R), yang berfungsi dalam proses produksi hidrogen.
- b. *Steam heater* (203-C) yang menggunakan pemanas listrik untuk meningkatkan suhu steam yang akan masuk ke SOEC.
- c. *Heater* udara (202-C) yang juga menggunakan pemanas listrik untuk memastikan suhu operasional SOEC.
- d. *FD Fan* (202-J) berfungsi untuk mendistribusikan udara ke SOEC sebagai kontrol suhu di dalam SOEC.

2.1.4. Kompresi Gas H₂

Campuran gas hidrogen (H₂) dan sisa uap air (H₂O) yang tidak terkondensasi di dalam separator hidrogen akan dikompresi untuk mencapai tekanan sekitar 25 kg/cm²G dengan menggunakan kompresor hidrogen (204-J). Aliran gas disusun sedemikian rupa agar dapat diperoleh rasio mol H₂ dan N₂ sebesar 3:1, dengan nilai optimal rasio antara 2.8 hingga 2.9:1. Uap air yang terkompresi selama proses kompresi hidrogen akan dikumpulkan dan dikembalikan ke *deaerator*. Sementara, gas hidrogen yang masih tersisa akan dialirkan ke sistem bahan bakar dan dicampur dengan gas-gas hasil pembuangan dari sistem lainnya.

Perangkat yang digunakan dalam proses kompresi hidrogen mencakup:

- a. Kompresor hidrogen (H₂) (204-J) yang terdiri dari tiga tahap (*stages*) untuk meningkatkan tekanan gas secara bertahap.
- b. *Intercooler* (204-JC1, JC2) berfungsi untuk mendinginkan gas antara setiap tahap kompresi.
- c. *After cooler* (204-JC3) digunakan untuk mendinginkan gas setelah tahap kompresi terakhir.

2.2. Produksi Nitrogen dari Udara

Gas nitrogen (N₂) dihasilkan melalui proses pemisahan udara dengan cara distilasi dingin (*cryogenic distillation*), yang memungkinkan penghasilan gas N₂ dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Gas nitrogen yang telah dihasilkan kemudian dikompresi dan diarahkan menuju proses pengeringan (*drying*) bersamaan dengan gas hidrogen (H₂) dari elektrolisis, dengan komposisi molar H₂ dan N₂ dalam rasio 3:1. Proses pemisahan nitrogen dari udara terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi:

2.2.1. Kompresi Udara

Udara yang terdiri dari sekitar 78% nitrogen (N₂), 21% oksigen (O₂), serta argon dan gas-gas lainnya, dikompresi untuk menjadi udara bertekanan dengan tekanan antara 7-8.5 kg/cm²G. Sebelum masuk ke kompresor (101-J), udara terlebih

dahulu menjalani proses filtrasi (101-L) untuk menghilangkan partikel padat yang mungkin mengganggu kinerja kompresor.

Untuk menghilangkan kandungan uap air, dilakukan proses pemisahan pada keluaran masing-masing tahap (*stage*) kompresor, di mana air yang terkompresi dibuang sebagai *drain* kondensat.

Perangkat yang digunakan dalam proses kompresi udara adalah:

- a. Kompresor dengan tiga tahap (3 *stages*) (101-J) yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan udara secara bertahap.
- b. *Intercooler* (101-JC1, JC2) untuk mendinginkan udara di antara setiap tahap kompresi.
- c. *After cooler* (101-JC3) berfungsi untuk mendinginkan udara setelah tahap kompresi akhir.

2.2.2. Refrigeration dan Drying

Udara yang dihasilkan dari kompresor dengan suhu berkisar antara 40 hingga 45 °C didinginkan dalam *chiller* (101-C) hingga mencapai suhu antara 8 hingga 15 °C dengan kondisi titik embun (*dew point*) berada pada rentang 0 hingga 3 °C. Pengaturan ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses pengeringan (*drying*) di dalam *air dryer* (101-DA/DB) serta mengoptimalkan ukuran *dryer* agar tidak berukuran terlalu besar. *Air dryer* (101-DA/DB) menerapkan sistem TSA (*temperature swing adsorption*), yang memanfaatkan suhu panas dalam proses regenerasi adsorber. Media adsorber yang digunakan mencakup *molecular sieve* (untuk menangkap H₂O dan CO₂) serta *active alumina* (untuk menangkap H₂O) guna menghilangkan kandungan air, karbon dioksida (CO₂), dan hidrokarbon yang terdapat dalam udara. Keluaran dari *dryer* diharapkan memiliki kandungan CO₂ yang hampir nol, dengan titik embun maksimum yang mencapai -60 °C dan kandungan CO₂ mendekati nol persen.

Sistem *dryer* terdiri dari dua unit yang beroperasi secara bergantian antara mode pelayanan (*service*) dan regenerasi, dengan desain siklus berlangsung selama 12 jam. Selama proses regenerasi, gas yang digunakan adalah gas panas yang telah

melewati *heater* dengan suhu berkisar antara 90 hingga 120 °C. Gas panas tersebut berasal dari gas buang yang dihasilkan oleh distilasi *cryogenic* yang tidak dimanfaatkan dalam kolom distilasi.

Peralatan yang digunakan dalam proses refrigerasi dan pengeringan meliputi:

- a. *Unit chiller* (101-C) yang menggunakan media pendingin amonia untuk mendinginkan udara.
- b. Dua unit *dryer* (101-DA/DB) yang beroperasi secara bergantian untuk menghilangkan kandungan air dan gas pengotor.
- c. *Heater* (102-C) yang memanaskan gas selama proses regenerasi *dryer*.

2.2.3. Pertukaran Panas dan Distilasi

Udara kering yang telah dibebaskan dari uap air, karbon dioksida (CO₂), dan hidrokarbon kemudian dialirkan menuju unit distilasi dingin (*cryogenic distillation*). Sebelum memasuki kolom distilasi (103-D), udara terlebih dahulu didinginkan melalui penukar panas utama (*main heat exchanger*, 103-C) hingga mencapai suhu sekitar -165 °C sebelum masuk ke kolom distilasi.

Gas produk atas yang dihasilkan berupa nitrogen (N₂) murni, sedangkan produk bawah akan dikirim ke kolom *reboiler-condenser* untuk menghasilkan *reflux nitrogen*. Gas yang terbentuk sebagai gas buangan (*waste gas*) akan dialirkan kembali melalui penukar panas utama guna mengoptimalkan proses pertukaran panas sebelum diteruskan ke *expander* (102-J). Dalam kondisi normal, *expander* berfungsi untuk mengatur suhu udara umpan menuju kolom distilasi sehingga produk gas nitrogen dapat dikelola dan jumlah *refluks* dapat ditentukan guna memperoleh produk nitrogen cair. Saat proses *start-up*, fungsinya adalah untuk mempercepat pendinginan dalam sistem. Gas buangan dari keluaran *expander* juga dialirkan kembali melalui penukar panas utama sebelum akhirnya dibuang ke atmosfer. Sebagian *dari* gas buangan tersebut digunakan dalam proses regenerasi *air dryer*.

Peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

- a. Penukar panas utama (*main heat exchanger*) (102-C) mentransfer panas antara fluida proses untuk efisiensi energi.
- b. *Expander* (102-J) mengurangi tekanan gas sambil menghasilkan pendinginan dari ekspansi gas.
- c. Kolom distilasi (103-D) memisahkan komponen udara berdasarkan titik didihnya.
- d. *Reboiler-condenser* mengatur suhu dan aliran *reflux* dalam kolom distilasi untuk meningkatkan kemurnian produk.

2.2.4. Produksi gas N₂

Gas nitrogen (N₂) yang dihasilkan dari kolom distilasi (103-D) akan dialirkan ke unit kompresor nitrogen (103-J) untuk meningkatkan tekanannya hingga mencapai tingkat yang sesuai dengan kebutuhan proses selanjutnya. Peningkatan tekanan ini diperlukan agar gas nitrogen dapat dicampurkan dengan gas hidrogen (H₂) pada rasio molar 3:1, yang merupakan rasio stoikiometri dalam reaksi sintesis amonia.

Proses kompresi nitrogen dilakukan secara bertahap dengan menggunakan kompresor tiga tingkat (*3 stages*) untuk mencegah peningkatan suhu yang berlebihan serta untuk menjaga efisiensi kompresi. Di antara setiap tahap kompresi, gas nitrogen didinginkan menggunakan *intercooler* yang berfungsi untuk menurunkan suhu gas, sehingga menjaga kinerja kompresor dan menghindari kerusakan akibat panas yang berlebihan. Setelah tahap kompresi terakhir, gas nitrogen juga melewati *after cooler* untuk melakukan pendinginan akhir, memastikan bahwa gas berada pada suhu yang tepat sebelum dicampurkan dengan hidrogen dan diteruskan ke proses pengeringan (*drying*) di dalam *syngas dryer* (104-DA/DB).

Pengendalian suhu dan tekanan gas nitrogen yang akurat sangat penting untuk menjaga stabilitas proses sintesis amonia selanjutnya serta efisiensi reaktor.

Oleh karena itu, peralatan kompresi dan pendinginan ini memainkan peranan penting dalam keseluruhan proses produksi amonia yang ramah lingkungan.

Peralatan yang digunakan dalam proses produksi gas nitrogen ini meliputi:

- a. Kompresor nitrogen tiga tahap (*3 stages*) (103-J), untuk meningkatkan tekanan gas secara bertahap dengan efisien.
- b. *Intercooler* (103-JC1, JC2), sebagai pendingin gas di antara tahap kompresi untuk mengurangi suhu gas dan meningkatkan efisiensi sistem.
- c. *After cooler* (103-JC3), untuk mendinginkan gas nitrogen setelah tahap kompresi terakhir sebelum digunakan pada tahap berikutnya.

2.3. Sintesis Amonia

2.3.1. Syngas Drying

Gas yang memiliki komposisi sekitar 3 mol H_2 : 1 mol N_2 akan dialirkan ke unit pengering (*syngas dryer*, 104-DA/DB) yang memakai media zeolit (*molsieve*) untuk menghilangkan kandungan air (H_2O). Kandungan air harus dipastikan benar-benar hilang guna menghindari gangguan pada kinerja katalis dalam konverter amonia (301-R) yang menggunakan katalis besi (*Promoted Iron Synthesis Catalyst*). Dalam periode tertentu (desain siklus 12 jam), adsorber akan mencapai kondisi jenuh, sehingga diperlukan proses desorpsi (regenerasi) di mana gas N_2 akan digunakan sebagai media desorpsi dan dibuang ke sistem *flare*.

Sistem *syngas dryer* (104-DA/DB) terdiri atas dua unit yang beroperasi secara bergantian antara mode pelayanan (*service*) dan regenerasi. Saat regenerasi, gas N_2 yang telah dipanaskan melalui heater dengan suhu antara 200 hingga 250 °C.

Peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

- a. Dua unit *dryer* (104-DA/DB) untuk menghilangkan kandungan air secara bergantian antara *service* dan regenerasi.
- b. *Syngas Dryer Heater* (104-C) untuk memanaskan gas saat regenerasi *dryer*.

2.3.2. Kompresi

Campuran gas dari keluaran *syngas dryer* (104-DA/DB) selanjutnya dikompresi menggunakan kompresor *syngas* (301-J) hingga mencapai tekanan 155 kg/cm²G untuk mengoptimalkan reaksi sintesis amonia di konverter. Pada inlet tahap ketiga, gas tersebut dicampurkan dengan gas daur ulang yang tidak bereaksi dari *syngas chiller* (304-C). Komposisi mol H₂ : N₂ dijaga tetap 3 : 1 dengan mengatur komposisi mol H₂ : N₂ pada keluaran *syngas dryer* (104-DA/DB). Gas keluaran dari kompresor *syngas* dipanaskan dengan gas panas yang dihasilkan dari konverter amonia agar suhu inlet konverter berada pada kisaran 170 °C di *feed heater* (301-C), sehingga reaksi di dalam konverter amonia antara H₂ dan N₂ dapat berlangsung lebih optimal pada suhu sekitar 490 °C.

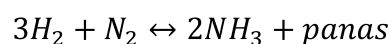
Peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

- a. Kompresor tiga tahap (*3 stage compressor*) (301-J) untuk menaikkan tekanan gas secara bertahap.
- b. *Intercooler* (301-JC) di stage 1 untuk mendinginkan gas sebelum masuk ke stage 2.

2.3.3. Sintesis Amonia

Produksi amonia dilakukan dalam *fixed bed converter* (301-R) menggunakan katalis besi (*Promoted Iron Synthesis Catalyst*), yang terdiri dari tiga *bed* katalis untuk menjaga stabilitas suhu reaksi. Sebelum campuran gas dari kompresor *syngas* dengan perbandingan mol hidrogen dan nitrogen 3:1 memasuki *fixed bed converter*, gas tersebut harus dipanaskan dengan gas panas dari *converter* melalui *feed heater* (301-C).

Seluruh proses reaksi sintesis amonia terjadi dengan konsentrasi amonia sekitar 22% mol. Reaksi ini ditentukan oleh kesetimbangan dan berlangsung secara eksotermik, sehingga menyebabkan peningkatan suhu yang signifikan di sepanjang katalis. Reaksi utamanya dapat dirumuskan sebagai berikut (Appl, 2011):



Energi yang dihasilkan dari reaksi sintesis amonia digunakan untuk meningkatkan suhu umpan melalui *feed heater* (301-C) dan memanaskan BFW di *BFW heater* (302-C). Selanjutnya, *syngas* didinginkan menggunakan *syngas cooler* (303-C) dengan media pendingin berupa air untuk mencapai suhu akhir sekitar 45 °C sebelum memasuki fase kondensasi dan pemisahan.

Gas tersebut kemudian didinginkan dan dikondensasikan dalam *syngas chiller* (304-C) menggunakan media pendingin amonia yang berasal dari sistem *refrigerant*. *Syngas chiller* dirancang untuk mendinginkan *syngas* hasil keluaran konverter amonia pada empat tingkat suhu yang berbeda, dengan suhu akhir sekitar -33 oC. Gas yang tidak mengalami kondensasi akan dikembalikan ke proses melalui sirkulasi ke inlet tahap 3 kompresor *syngas*. Untuk menghilangkan gas *inert* (Argon) agar tidak terakumulasi dalam sistem, sebagian gas dikeluarkan dari *loop* sintesis amonia melalui *purging*.

Produk cair NH_3 kemudian mengalami penurunan tekanan di LP Flash drum (305-D) untuk mencapai kemurnian 100%. Gas hasil outlet dari LP flash drum, yang masih mengandung H_2 dan N_2 , setelah penurunan tekanan akan dikompresi kembali melalui LP kompresor (305-J) sehingga dapat dicampurkan dengan proses recycle untuk reaksi selanjutnya. Sebagian produk NH_3 dari LP akan digabung dengan produk NH_3 dari LP NH_3 flash drum (306-D) sebelum dipompakan ke tangki produk. Gas outlet dari LP NH_3 flash drum akan dibuang ke flare.

Peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

- a. *Amonia converter* (301-R) sebagai tempat berlangsungnya reaksi sintesis amonia dengan katalis besi.
- b. *Feed heater* (301-C) berfungsi memanaskan gas keluaran konverter untuk memanfaatkan panas reaksi dan mengoptimalkan proses pemanasan selanjutnya.
- c. *Boiler Feed Water (BFW) preheater* (302-C) berfungsi memanaskan air umpan boiler menggunakan panas dari reaksi amonia untuk efisiensi energi.
- d. *Syngas cooler* (303-C) mendinginkan gas keluaran dari konverter sebelum proses pendinginan lanjut.

- e. *Syngas Chiller* (304-C) untuk mengkondensasikan dan mendinginkan amonia cair pada beberapa tingkat suhu untuk memisahkan amonia dari gas sintesis.
- f. *Amonia separator* (304-D / 305-D) memisahkan amonia cair dari gas sintesis yang tidak bereaksi agar dapat didaur ulang.
- g. LP Kompresor (305-J) untuk menaikkan tekanan gas dari keluaran LP *flash drum* (305-D) sehingga sama dengan tekanan *recycle* gas.

2.3.4. Refrigerasi Amonia

Sistem pendinginan digunakan untuk menurunkan suhu syngas di syngas chiller untuk menghasilkan amonia cair pada suhu sekitar -33°C . Uap amonia yang dihasilkan dari empat tingkat pendinginan (*syngas chiller*, 304-C) kemudian diarahkan ke kompresor refrigeran (401-J). Kompresor tersebut juga memproses uap amonia yang bersumber dari tangki penyimpanan amonia dan dari chiller udara di Unit Pemisahan Udara. Uap amonia yang telah mengalami kompresi kemudian mengalami proses kondensasi dalam kondensor amonia (401-C3) yang didinginkan, sebelum terakumulasi di akumulator amonia (401-T). Untuk menangani kelebihan amonia dalam sistem yang terjadi akibat tambahan uap amonia dari tangki penyimpanan, amonia cair dapat dimasukkan kembali ke tangki produk (3001-TA/TB) agar tidak terjadi akumulasi amonia di dalam sistem.

Peralatan yang digunakan dalam proses ini adalah:

- a. Kompresor 3 tahap (*3 stage compressor*) (401-J), untuk menaikkan tekanan dan sirkulasi uap amonia.
- b. *Intercooler* (401-JC1, JC2), untuk mendinginkan uap amonia di antara tahap kompresi.
- c. *Amonia condenser* (401-JC3), untuk mendinginkan uap amonia sebelum dikondensasikan.
- d. *Receiver* (401-T), tempat penampungan amonia cair di dalam sistem refrigerasi amonia.

2.4. Penyimpanan Amonia

Amonia cair disimpan dalam tangki penyimpanan (3001-TA/TB), dilengkapi dengan fasilitas pendingin (Kompresor *Boil Off Gas*, 3001-J) untuk menjaga stabilitas fisik dan kimia produk selama penyimpanan serta memastikan keamanan operasi. Suhu dan tekanan dalam tangki dijaga agar amonia tetap dalam bentuk cair dan untuk mencegah terjadinya penguapan yang berlebihan yang dapat menyebabkan peningkatan tekanan dalam tangki.

Pada kondisi normal, system pendinginan tangki menggunakan kompresor *refrigerant* (401-J) sedangkan ketika pabrik tidak beroperasi, kompresor BOG (3001-J) akan aktif.

Uap amonia yang terbentuk di permukaan cairan di tangki akan secara terus-menerus dialirkan kembali ke unit pendingin (401-J / 3001-J) untuk dikondensasikan menjadi cairan lagi. Sistem ini juga berfungsi untuk mengontrol tekanan uap dan meminimalkan kehilangan produk akibat penguapan. Proses daur ulang uap amonia ini sangat penting untuk menjaga efisiensi penyimpanan sekaligus mencegah emisi gas amonia ke lingkungan, sehingga pabrik dapat mematuhi standar keselamatan dan lingkungan yang berlaku.

Kapasitas penyimpanan dirancang untuk dua unit tangki dengan total kapasitas masing-masing sebesar ± 30.000 ton, serta direncanakan untuk pengapalan setiap dua minggu sekali, yang memungkinkan penampungan produk dalam jumlah besar sebagai cadangan stok dan mendukung distribusi secara berkala.

2.5. Distribusi Amonia

Pabrik amonia ini dirancang untuk melakukan pengiriman produk secara periodik setiap dua minggu menggunakan kapal laut ke berbagai tujuan distribusi. Sistem distribusi ini mempertimbangkan faktor keamanan dalam pengangkutan, efisiensi logistik, dan pemeliharaan kualitas amonia selama proses pengiriman.

Pengiriman melalui kapal laut dipilih sebagai moda transportasi utama karena dapat menampung volume produk yang besar dan menjangkau lokasi

konsumen atau pelabuhan tujuan dengan biaya yang relatif efisien. Di samping itu, jadwal pengiriman yang teratur memungkinkan pengelolaan stok yang lebih baik di tingkat pabrik dan konsumen, serta mendukung kontinuitas pasokan amonia di pasar.

2.6. Pengelolaan Limbah dan Emisi

Limbah yang dihasilkan selama proses produksi meliputi air *blowdown* dari generator uap (*boiler* dan *Waste Heat Boiler*), limbah pengolahan air, serta limbah minyak. Semua limbah ini harus dikelola dengan efektif sesuai dengan standar pengelolaan lingkungan yang berlaku, khususnya di bagian utilitas pabrik. Pengelolaan limbah mencakup proses pengolahan fisik, dan kimia untuk memastikan bahwa limbah yang dibuang ke lingkungan memenuhi batas aman dan tidak mencemari sumber daya alam sekitar.

Dalam konteks emisi gas rumah kaca, fasilitas ini mengeluarkan emisi yang sangat rendah. Karena seluruh proses produksinya memanfaatkan sumber energi terbarukan dan tidak menggunakan bahan bakar fosil, emisi karbon dioksida (CO₂) secara signifikan berkurang hingga mendekati nol. Dengan demikian, pabrik amonia ramah lingkungan ini mendukung prakarsa keberlanjutan serta sejalan dengan sasaran pengembangan berkelanjutan dan kebijakan pengurangan emisi baik di tingkat nasional maupun global.