

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Industri kimia telah mengalami perkembangan yang cepat dan menjadi komoditas penting bagi banyak sektor industri, khususnya bagi industri kimia itu sendiri. Selaras dengan hal tersebut, permintaan pasar, baik lokal maupun internasional, terus mengalami kenaikan setiap tahunnya. Untuk memenuhi permintaan tersebut, pengembangan sektor industri kimia di Indonesia perlu terus dilakukan, terutama dalam hal industri kimia setengah jadi dan produk kimia akhir. Peran industri kimia sangat penting dalam pembangunan ekonomi nasional karena mendukung berbagai sektor hilir, seperti pertanian, farmasi, energi, manufaktur, dan pengolahan air. Selain berfungsi sebagai produsen bahan baku, sektor ini juga memberikan kontribusi besar terhadap penciptaan lapangan kerja, peningkatan nilai tambah, dan daya saing ekspor Indonesia dalam kancah global (Kemenperin, 2025)

Amonia adalah salah satu senyawa kimia yang memiliki rumus molekul  $\text{NH}_3$ , yang dikenal dengan bau khas dan menyengat. Senyawa ini banyak digunakan sebagai bahan baku dalam beragam aplikasi industri, termasuk pembuatan obat-obatan, amonium klorida untuk baterai, asam nitrat, refrigeran, bahan peledak, serta pupuk. Selain itu, perkembangan terbaru menunjukkan bahwa amonia juga memiliki potensi sebagai sumber bahan bakar alternatif (Kasmi, 2024; ICSA, 2024).

Amonia adalah salah satu produk industri kimia yang paling sering digunakan, terutama sebagai bahan baku dalam produksi pupuk. Selain itu, amonia digunakan dalam pembuatan berbagai senyawa kimia lainnya, seperti amonium nitrat, amonium sulfat, amonium fosfat, dan asam nitrat. Dengan pertumbuhan sektor industri yang semakin pesat, permintaan amonia dalam negeri diperkirakan akan terus bertambah, mengingat pentingnya perannya sebagai bahan baku utama dalam berbagai proses produksi. Oleh karena itu, pendirian pabrik amonia domestik akan membawa dampak positif yang signifikan, baik untuk pemenuhan kebutuhan

industri nasional maupun untuk meningkatkan kemandirian sektor kimia Indonesia. Meskipun demikian, sebagian besar produksi amonia saat ini masih bergantung pada metode konvensional *Haber-Bosch* yang membutuhkan sumber daya fosil, khususnya gas alam, yang menghasilkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam jumlah besar (ICSA, 2024).

Amonia hijau adalah jenis amonia yang dihasilkan dari bahan baku non-hidrokarbon dan juga memanfaatkan sumber energi non-hidrokarbon (energi hijau). Salah satu metode produksi amonia hijau melibatkan reaksi hidrogen yang dihasilkan dari elektrolisis air dengan nitrogen yang diambil dari atmosfer (PKT, 2023).

Dengan meningkatnya kesadaran global terhadap perubahan iklim serta kebutuhan mendesak untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, pengembangan teknologi untuk produksi amonia hijau yang berbasis pada sumber energi terbarukan semakin mendesak dan relevan. Teknologi ini tidak hanya menangani isu lingkungan, tetapi juga membuka jalan untuk transisi menuju industri kimia yang lebih berkelanjutan di masa depan. Pabrik-pabrik penghasil amonia yang ada di Indonesia ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 1. 1. Pabrik Amonia di Indonesia dan Total Kapasitas Terpasang

| No           | Nama Perusahaan                       | Lokasi                      | Kapasitas Terpasang (Ton Amonia/Tahun) |
|--------------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 1            | PT Pupuk Kalimantan Timur (PKT)       | Bontang, Kalimantan Timur   | 2.740.000                              |
| 2            | PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) | Palembang, Sumatera Selatan | 460.000                                |
| 3            | PT Petrokimia Gresik                  | Gresik, Jawa Timur          | 445.000                                |
| 4            | PT Pupuk Kujang                       | Cikampek, Jawa Barat        | 330.000                                |
| 5            | PT Pupuk Iskandar Muda (PIM)          | Lhokseumawe, Aceh           | 570.000                                |
| 6            | PT Kaltim Parna Industri (KPI)        | Bontang, Kalimantan Timur   | 330.000                                |
| 7            | PT Panca Amara Utama (PAU)            | Banggai, Sulawesi Tengah    | 700.000                                |
| <b>Total</b> |                                       |                             | <b>5.575.000</b>                       |

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (2022)

Sekitar 85% dari total amonia yang dihasilkan di Indonesia digunakan sebagai bahan baku utama dalam industri pupuk, sementara bagian sisanya dimanfaatkan untuk produksi serat sintetis, plastik, bahan peledak, dan produk pembersih rumah tangga yang mengandung amonia. Permintaan akan amonia yang tinggi menunjukkan pentingnya molekul ini bagi dukungan sektor-sektor strategis nasional (Kemenperin, 2025).

Produksi amonia secara konvensional yang masih bergantung pada bahan bakar fosil berkontribusi besar terhadap emisi karbon. Dalam konteks ini, pabrik amonia hijau menawarkan solusi yang inovatif dan berkelanjutan. Teknologi ini memanfaatkan hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air dengan dukungan sumber energi terbarukan seperti energi hidro, solar, nuklir, atau angin, dan nitrogen yang diperoleh melalui pemisahan udara (*air separation process*).

Proses Haber–Bosch konvensional bekerja pada tekanan sangat tinggi (100–450 bar) dan suhu 350–550°C, dengan katalis besi, sehingga sangat boros energi dan biaya. Karena itu banyak penelitian dan industri mengembangkan *modified Haber–Bosch* untuk menurunkan suhu/tekanan, meningkatkan efisiensi, serta memungkinkan integrasi dengan energi terbarukan. Modifikasi proses tidak hanya pada sisi reaktor, tetapi juga pada sumber hidrogen serta menggunakan energi terbarukan (nature.com). Kondisi tersebut dipilih sebagai kompromi antara laju reaksi dan kesetimbangan, karena reaksi pembentukan amonia bersifat eksoterm sehingga suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan hasil, sedangkan suhu yang terlalu rendah menyebabkan reaksi berlangsung sangat lambat. (Britannica, 2024)

Dalam prosesnya, nitrogen biasanya diperoleh dari udara melalui proses pemisahan udara, sedangkan hidrogen umumnya dihasilkan dari gas alam melalui proses reforming uap. Gas nitrogen dan hidrogen yang telah dimurnikan kemudian dikompresi, direaksikan dalam reaktor, didinginkan untuk memisahkan amonia yang terbentuk, dan gas yang belum bereaksi didaur ulang kembali ke reaktor untuk meningkatkan efisiensi proses. (GeeksforGeeks, 2024)

Meskipun proses Haber–Bosch telah menjadi tulang punggung industri pupuk dan mampu meningkatkan produksi pangan global, proses ini membutuhkan energi yang sangat besar dan menghasilkan emisi karbon yang signifikan, terutama karena produksi hidrogen masih bergantung pada bahan bakar fosil. Oleh karena itu, saat ini berkembang konsep amonia hijau (green ammonia), yaitu amonia yang diproduksi menggunakan hidrogen dari elektrolisis air dengan sumber energi terbarukan, sehingga emisi karbon dapat ditekan secara signifikan. (MDPI, 2023)

Pengembangan teknologi amonia hijau menjadi penting untuk mendukung transisi energi bersih, mengurangi emisi gas rumah kaca, serta menciptakan industri kimia yang lebih berkelanjutan. Dengan demikian, proses produksi amonia, khususnya pengembangan menuju teknologi ramah lingkungan, menjadi topik yang relevan untuk diteliti dan dikembangkan.

## **1.2 Tujuan Pra Rancang**

Tujuan dari pra rancang pabrik amonia hijau ini adalah sebagai berikut:

1. Memenuhi kebutuhan amonia hijau di dalam negeri, sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan amonia konvensional yang masih bergantung pada bahan bakar fosil.
2. Mendukung upaya pengurangan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan penerapan teknologi produksi berbasis energi terbarukan, untuk mencapai industri kimia yang ramah lingkungan (industri hijau).

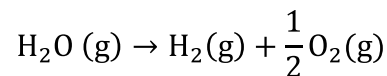
## **1.3 Tinjauan Pustaka**

Amonia adalah senyawa yang dihasilkan melalui reaksi antara gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dalam reaksi katalitik yang bersifat eksotermis pada suhu tinggi. Dalam proses produksi amonia hijau, gas hidrogen dihasilkan melalui reaksi elektrolisis air, sementara gas nitrogen diambil dari pemisahan udara dengan menggunakan proses distilasi dingin (*cryogenic distillation*).

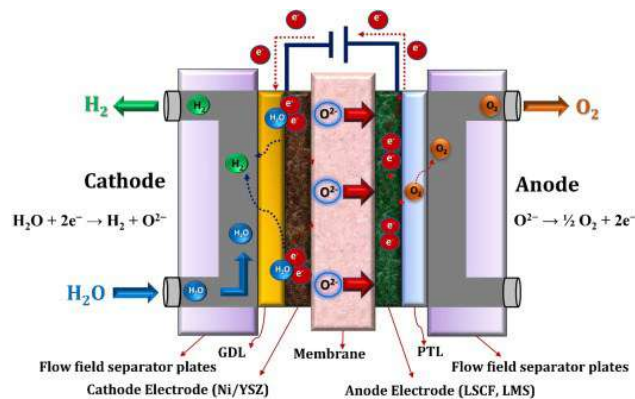
### 1.3.1 Elektrolisis Air

*Solid Oxide Electrolyzer Cell* (SOEC) adalah alat elektrokimia yang digunakan untuk memperoleh gas hidrogen melalui elektrolisis air pada suhu tinggi. Teknologi ini beroperasi dalam rentang suhu antara 600 hingga 1.000 °C dan terdiri dari tiga komponen utama, yaitu anoda, katoda, dan elektrolit padat yang umumnya terbuat dari keramik oksida seperti *yttria-stabilized zirconia* (YSZ) (Kazempoor & Braun, 2015).

Pada sisi katoda, uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) mengalami reaksi reduksi yang menghasilkan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan ion oksigen ( $\text{O}^{2-}$ ). Ion  $\text{O}^{2-}$  selanjutnya bergerak melalui elektrolit padat menuju anoda, di mana reaksi oksidasi terjadi dan menghasilkan gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) serta melepaskan elektron. Reaksi total yang berlangsung dalam proses ini dapat diringkas sebagai berikut (Kazempoor & Braun, 2015):



Dibandingkan dengan teknologi elektrolisis tradisional, SOEC menunjukkan efisiensi energi yang lebih optimal karena kemampuannya untuk memanfaatkan panas dari sumber eksternal, yang berpotensi mengurangi penggunaan energi listrik secara signifikan. Efisiensi keseluruhan sistem ini dapat melebihi 85%, menjadikannya pilihan utama dalam produksi hidrogen yang ramah lingkungan (Kazempoor & Braun, 2015).



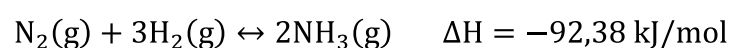
Gambar 1. 1. Skema Proses SOEC  
Sumber: Kumar & Lim (2022)

### 1.3.2 Amonia

Produksi amonia secara industri dimulai di Jerman pada awal abad ke-20, ketika Fritz Haber dan asistennya berhasil mengembangkan konsep reaksi sintesis nitrogen dengan hidrogen di tahun 1900. Proses ini kemudian dipatenkan melalui dua paten penting yang dikenal dengan nama paten sirkulasi dan paten tekanan tinggi. Perusahaan kimia Jerman, *Badische Anilin-und Soda-Fabrik* (BASF), mengembangkan lebih lanjut proses ini dengan kontribusi dari Carl Bosch dan Alwin Mittasch. Mereka kemudian mengambil alih paten tersebut dan melakukan rekayasa teknik untuk menerapkannya secara komersial.

Pabrik amonia industri pertama yang memanfaatkan proses ini mulai beroperasi pada tahun 1913 di Oppau/Ludwigshafen, Jerman, dengan kapasitas produksi awal sebesar 30 ton per hari. Kapasitas ini kemudian meningkat menjadi 250 ton per hari pada tahun 1916, dan pada akhir Perang Dunia I, produksi tahunan telah mencapai 240.000 ton. Pada tahun 1937, kapasitas produksi amonia di seluruh dunia mencapai 755.000 ton per tahun, dengan sekitar 72% di antaranya masih terpusat di kawasan Oppau. Perkembangan teknologi yang pesat kemudian menghasilkan kemampuan untuk memproduksi amonia dalam skala yang lebih besar dan dengan efisiensi yang lebih baik, termasuk penggunaan bahan baku alternatif dan sistem sintesis yang terintegrasi (Rouwenhorst et al., 2020).

Dari segi teknis, sintesis amonia modern dimulai dengan mengubah senyawa hidrokarbon, seperti gas alam ( $\text{CH}_4$ ), menjadi gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Selanjutnya, gas hidrogen kemudian direaksikan dengan gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dalam rasio stoikiometri 3:1. Sebelum sintesis terjadi, kandungan sulfur dalam hidrokarbon harus dihilangkan terlebih dahulu karena dapat meracuni (*poisoning*) katalis. Reaksi sintesis amonia dikemukakan sebagai berikut (Perry, 2008).



Reaksi ini bersifat eksotermis dan dioptimalkan pada tekanan tinggi (150 – 300 atm) serta suhu antara 400–500 °C. Dari perspektif termodinamika, kesetimbangan reaksi pembentukan amonia lebih menguntungkan pada suhu

rendah, tetapi laju reaksi menjadi sangat lambat pada suhu tersebut. Oleh karena itu, diperkenalkan katalis berbasis besi yang telah dipromosikan dengan oksida logam seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , dan  $\text{CaO}$  untuk meningkatkan laju reaksi tanpa mempengaruhi posisi kesetimbangan.

Inovasi dalam produksi amonia modern terus berlanjut, baik dalam hal efisiensi energi, desain reaktor, hingga pendekatan yang lebih ramah lingkungan seperti sintesis amonia hijau yang menggunakan hidrogen dari elektrolisis air dan nitrogen dari atmosfer.

Tabel 1. 2. Perbedaan proses amonia konvensional dan amonia hijau

| No | Aspek                                                | Amonia Konvensional                                                            | Amonia Hijau                                                                                            |
|----|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Sumber Hidrogen                                      | Hidrogen dihasilkan melalui <i>Steam Methane Reforming</i> (SMR) dari gas alam | Hidrogen diperoleh dari Elektrolisis air menggunakan energi terbarukan                                  |
| 2  | Sumber Nitrogen                                      | Pemisahan udara ( <i>Air Separation Unit</i> ) menggunakan energi fosil        | Pemisahan udara menggunakan energi terbarukan                                                           |
| 3  | Emisi Karbon                                         | Emisi $\text{CO}_2$ sangat tinggi                                              | Hampir tidak menghasilkan emisi $\text{CO}_2$ ( <i>Near-zero emission</i> )                             |
| 4  | Proses Produksi $\text{H}_2$                         | SMR $\rightarrow$ menghasilkan $\text{CO}_2$ sebagai produk samping            | Elektrolisis $\rightarrow$ tidak menghasilkan $\text{CO}_2$                                             |
| 5  | Kebutuhan Energi                                     | Lebih efisien secara termal, namun bergantung pada energi fosil                | Membutuhkan listrik besar, namun bersih jika dari energi terbarukan                                     |
| 6  | Biaya Produksi                                       | Lebih rendah; teknologi sudah matang dan infrastruktur tersedia                | Lebih tinggi; elektroliser dan energi terbarukan masih relatif mahal                                    |
| 7  | Proses Sintesis $\text{NH}_3$ ( <i>Haber-Bosch</i> ) | <i>Haber-Bosch</i> dengan $\text{H}_2$ dari SMR dengan kondisi operasi stabil  | Menggunakan $\text{H}_2$ dari elektrolisis; kadang perlu modifikasi untuk menyesuaikan fluktuasi energi |
| 8  | Dampak Lingkungan                                    | Tinggi (kontribusi besar terhadap emisi industri kimia)                        | Rendah (ramah lingkungan dan mendukung dekarbonisasi)                                                   |

| No | Aspek                               | Amonia Konvensional                                | Amonia Hijau                                                         |
|----|-------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 9  | Ketersediaan Teknologi              | Sangat mapan dan digunakan secara luas di industri | Berkembang pesat namun belum setara skala global dengan konvensional |
| 10 | Kesesuaian dengan Energi Terbarukan | Tidak sesuai: bergantung pada bahan bakar fosil    | Sangat sesuai; proses didesain untuk memanfaatkan energi terbarukan  |

### 1.3.3 Nitrogen

Nitrogen merupakan elemen gas yang sangat melimpah di atmosfer bumi, dengan konsentrasi sekitar 78% dalam udara dalam kondisi kering. Dalam sektor industri kimia, nitrogen ( $N_2$ ) secara luas digunakan sebagai bahan baku utama dalam sintesis amonia, serta dalam berbagai proses inertisasi dan pendinginan kriogenik. Nitrogen bersifat inert secara kimia pada kondisi standar, akan tetapi dapat bereaksi membentuk senyawa stabil seperti amonia ketika berada di kondisi suhu dan tekanan yang tinggi serta dengan adanya katalis.

Dalam sektor industri amonia berkelanjutan, nitrogen diperoleh melalui teknik pemisahan udara dengan menggunakan distilasi kriogenik. Proses ini memanfaatkan perbedaan titik didih antara nitrogen dan komponen lain di dalam udara, seperti oksigen dan argon. Distilasi kriogenik mampu menghasilkan nitrogen dengan kemurnian yang sangat tinggi (>99,9%) dan telah menjadi metode yang paling umum digunakan pada skala industri besar.

Udara yang dikompresi dan didinginkan pada suhu sekitar  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$  akan melintasi kolom distilasi untuk memisahkan nitrogen sebagai produk utama. Teknologi ini mendukung keberlanjutan dalam proses industri karena nitrogen diambil dari udara bebas, tidak memerlukan bahan baku berbasis fosil, dan tidak menghasilkan limbah berbahaya selama proses tersebut berlangsung (Leiva et al., 2020). Selain digunakan dalam sintesis amonia, nitrogen juga memiliki beragam aplikasi industri lainnya, seperti atmosfer inert dalam proses pengelasan, pendinginan logam, penyimpanan kriogenik, serta dalam sektor makanan dan farmasi.

### 1.3.4 Hidrogen

Hidrogen ( $H_2$ ) adalah unsur kimia yang sangat penting dalam industri modern, khususnya sebagai bahan baku utama dalam proses sintesis amonia. Dalam reaksi untuk sintesis amonia, tiga mol hidrogen berinteraksi dengan satu mol nitrogen untuk menghasilkan dua mol amonia melalui reaksi eksotermik dalam kondisi suhu dan tekanan tinggi.

Secara global, produksi hidrogen melebihi 90 juta ton per tahun. Sebagian besar (sekitar 95%) berasal dari proses berbasis bahan bakar fosil seperti reformasi metana dengan uap (SMR) dan gasifikasi batu bara. Proses-proses ini dikenal sebagai sumber hidrogen abu-abu (*grey hydrogen*) dan menghasilkan lebih dari 800 juta ton emisi karbon dioksida ( $CO_2$ ) per tahun, menjadikannya salah satu faktor penyumbang utama emisi industri secara global (IEA, 2019). Dalam upaya mendukung transisi menuju energi bersih, perhatian industri sekarang beralih pada produksi hidrogen hijau, yaitu hidrogen yang dihasilkan melalui elektrolisis air menggunakan energi terbarukan. Teknologi ini tidak menghasilkan emisi karbon secara langsung dan dianggap krusial untuk dekarbonisasi sektor-sektor yang menggunakan banyak energi, termasuk industri kimia, baja, dan transportasi berat.

Dalam konteks sintesis amonia hijau, hidrogen hijau menggantikan hidrogen yang berasal dari gas alam, sehingga memungkinkan tercapainya proses produksi yang rendah karbon bahkan mendekati nol emisi. Menurut laporan dari *International Renewable Energy Agency* (IRENA), penerapan hidrogen hijau dalam industri dapat menurunkan emisi gas rumah kaca hingga 70% dibandingkan dengan proses konvensional yang berbasis fosil (IRENA, 2020). Dengan efisiensi yang tinggi serta dampak lingkungan yang minimal, hidrogen hijau menjadi elemen strategis dalam perancangan pabrik amonia masa depan yang berkelanjutan (Kazempoor & Braun, 2015).

### 1.3.5 Proses Pemisahan Udara (*Air Separation Process*)

Proses pemisahan udara merupakan langkah yang sangat penting dalam produksi amonia hijau, karena gas nitrogen yang diperlukan untuk sintesis amonia

diperoleh dari atmosfer. Metode yang umum diterapkan dalam industri adalah destilasi kriogenik, yaitu teknik pemisahan komponen udara berdasarkan perbedaan titik didih melalui pendinginan yang sangat rendah.

Udara kering yang sudah dikompresi akan didinginkan hingga suhu sekitar  $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kemudian dimasukkan ke dalam kolom distilasi. Di dalam kolom ini, nitrogen dipisahkan sebagai produk pada bagian atas, sementara oksigen dan argon yang memiliki titik didih lebih tinggi tertinggal di bagian bawah kolom. Produk nitrogen yang dihasilkan memiliki tingkat kemurnian yang sangat tinggi ( $>99,9\%$ ), yang krusial untuk memastikan efisiensi dan selektivitas reaksi sintesis amonia dalam proses *Haber-Bosch* (Leiva *et al.*, 2020).

Selain menghasilkan nitrogen dengan kemurnian tinggi, teknologi destilasi kriogenik juga menawarkan keberlanjutan pasokan, karena udara merupakan sumber daya yang berlimpah dan tidak terbatas. Proses ini tidak menghasilkan limbah berbahaya, sehingga sejalan dengan prinsip produksi ramah lingkungan yang mendasari desain pabrik amonia hijau. Dari perspektif efisiensi energi, proses pemisahan udara modern dilengkapi dengan sistem integrasi panas, seperti penukar panas utama dan penggunaan gas buang dari kolom distilasi untuk regenerasi pengering. Hal ini memungkinkan penghematan energi secara signifikan dan mendukung konsep proses ramah lingkungan dalam industri kimia yang berkelanjutan (Kazempoor & Braun, 2015).

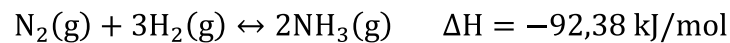
## **1.4 Pemilihan Proses**

### **1.4.1 Proses *Haber-Bosch***

Proses *Haber-Bosch* adalah metode industri untuk sintesis amonia yang melibatkan reaksi antara gas nitrogen dan gas hidrogen. Pembuatan amonia melalui proses ini dimulai dengan mengubah hidrokarbon, seperti gas alam, menjadi gas hidrogen melalui reformasi dengan uap air. Gas hidrogen yang diperoleh kemudian direaksikan dengan nitrogen dalam rasio stoikiometri 3:1.

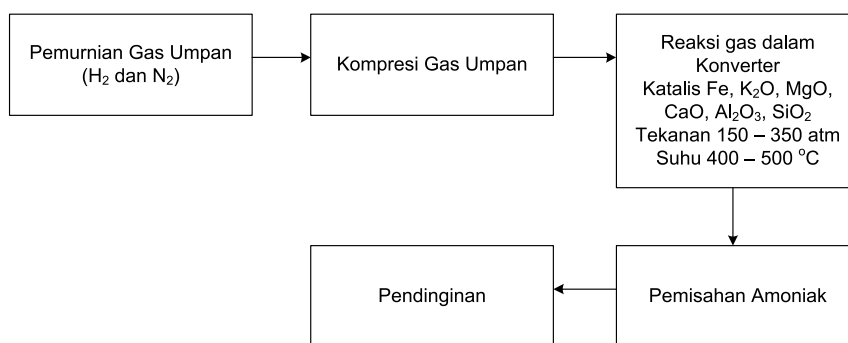
Sebelum proses sintesis dimulai, kadar sulfur dalam hidrokarbon harus dihilangkan karena dapat meracuni katalis. Reaksi sintesis amonia utama dalam hal

ini bersifat eksotermis dan berlangsung pada tekanan serta suhu yang tinggi. Persamaan reaksi untuk proses ini adalah sebagai berikut (Perry, 2008).



Komposisi gas nitrogen dan hidrogen memiliki dampak terhadap kesetimbangan reaksi. Dalam hal termodinamika, reaksi pembentukan amonia lebih menguntungkan pada suhu rendah, tetapi laju reaksi biasanya lebih lambat dalam kondisi tersebut. Oleh karena itu, katalis digunakan untuk mempercepat laju reaksi tanpa mengubah posisi kesetimbangan. Katalis yang digunakan dalam proses ini adalah besi yang dicampur dengan senyawa oksida seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , dan  $\text{K}_2\text{O}$ .

Kondisi operasional yang optimal untuk proses *Haber-Bosch* adalah pada suhu 400–500 °C dan tekanan 150–350 atm. Meskipun konversi amonia dalam satu lintasan reaksi relatif rendah, efisiensi proses ditingkatkan melalui penggunaan sistem resirkulasi gas sintesis yang memungkinkan pemanfaatan kembali gas yang tidak bereaksi.



Gambar 1. 2. Diagram Alir Proses *Haber-Bosch*  
Sumber: Diadaptasi dari Appl, M. (2011)

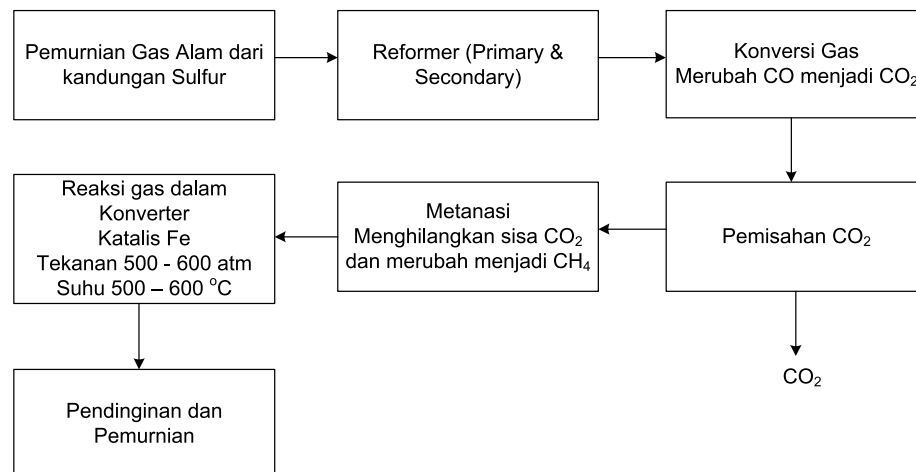
#### 1.4.2 Proses *Casale*

Proses *Casale* merupakan sebuah teknologi untuk sintesis amonia yang memanfaatkan gas alam sebagai bahan utama. Gas alam ini akan direformasi terlebih dahulu menjadi gas sintesis (*synthesis gas*) yang terdiri dari gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dalam rasio yang sesuai dengan stoikiometri. Reformasi dilakukan menggunakan *steam reformer* yang mengubah metana ( $\text{CH}_4$ ) dan uap air

menjadi hidrogen dan karbon monoksida, diikuti dengan proses *water-gas shift* dan pemurnian gas untuk menghilangkan kontaminan seperti sulfur.

Kelebihan dari proses *Casale* terletak pada desain reaktor konverternya, yang dapat beroperasi pada tekanan tinggi, berkisar antara 500 hingga 600 atm. Sistem ini memiliki mekanisme kontrol panas internal dengan melepaskan sebagian kecil produk amonia dari reaktor, sekitar 2–3%, untuk memperlambat laju reaksi dan mencegah penumpukan panas yang berlebihan dalam katalis. Aspek ini sangat penting karena reaksi sintesis amonia bersifat eksotermis (Appl, 2011).

Di samping itu, proses *Casale* mengaplikasikan sistem *radial flow converter* dan katalis spesifik yang memungkinkan efisiensi transfer panas yang baik serta memaksimalkan konversi dalam satu aliran. Proses ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan produksi besar dengan efisiensi yang tinggi, dan masih banyak digunakan dalam unit produksi amonia modern, baik sebagai sistem penuh maupun sebagai bagian dari modifikasi teknologi lainnya.



Gambar 1. 3. Diagram Alir Proses *Casale*  
Sumber: Diadaptasi dari Appl, M. (2011)

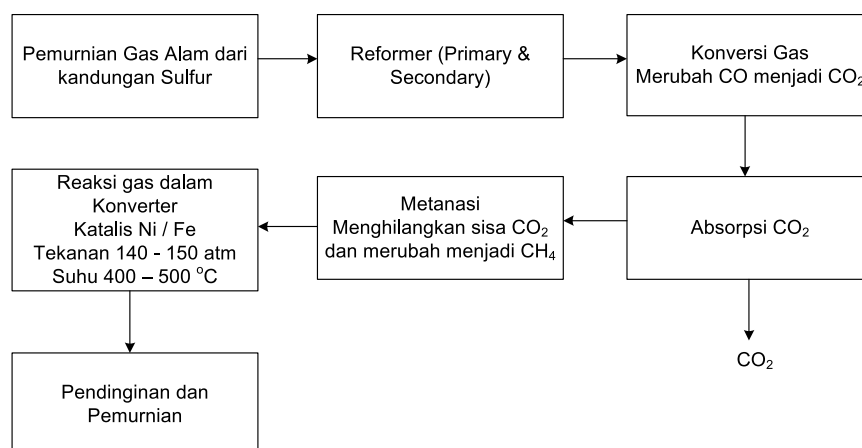
### 1.4.3 Proses *Kellogg*

Proses *Kellogg* adalah salah satu metode sintesis amonia yang sering diterapkan dalam industri besar, dengan gas alam sebagai bahan baku utamanya. Tahap awal dari proses ini meliputi konversi gas alam menjadi gas sintesis

(*synthesis gas*) dengan menggunakan unit *reformer*. Gas sintesis yang terbentuk kemudian dimurnikan secara menyeluruh untuk memastikan hanya mengandung gas hidrogen ( $H_2$ ) dan gas nitrogen ( $N_2$ ) dengan rasio selaras untuk reaksi sintesis amonia.

Reaksi sintesis amonia dilakukan di dalam konverter amonia pada kondisi operasi dengan tekanan sekitar 140–150 kg/cm<sup>2</sup>G (sekitar 137–147 atm) dan suhu reaksi antara 400 hingga 500 °C. Sistem katalitik yang digunakan pada proses ini biasanya terdiri dari katalis berbasis besi yang dipromosikan dengan oksida logam seperti  $Al_2O_3$  dan  $K_2O$ , dengan tujuan mempercepat reaksi tanpa mengubah kesetimbangannya (Valera-Medina et al., 2018).

Ciri khas proses *Kellogg* adalah penggunaan dua tipe reaktor, yaitu *Kellogg Horizontal Ammonia Converter* dan *Kellogg Vertical Quench Converter*. Reaktor tipe *quench* memberikan pengendalian suhu reaksi yang lebih konsisten melalui injeksi gas pendingin antara bed katalis. Teknologi ini diciptakan untuk meningkatkan efisiensi transfer panas dan menjaga performa konversi secara optimal. Kelebihan lain dari proses ini adalah sistem pemurnian gas sintesis yang sangat efisien, sehingga kontaminan seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida ( $CO_2$ ), dan senyawa sulfur dibuang sebelum gas masuk ke konverter. Aspek ini sangat penting untuk mempertahankan umur panjang katalis dan efisiensi reaksi dalam kurun waktu yang lama (AIChE, 2016).

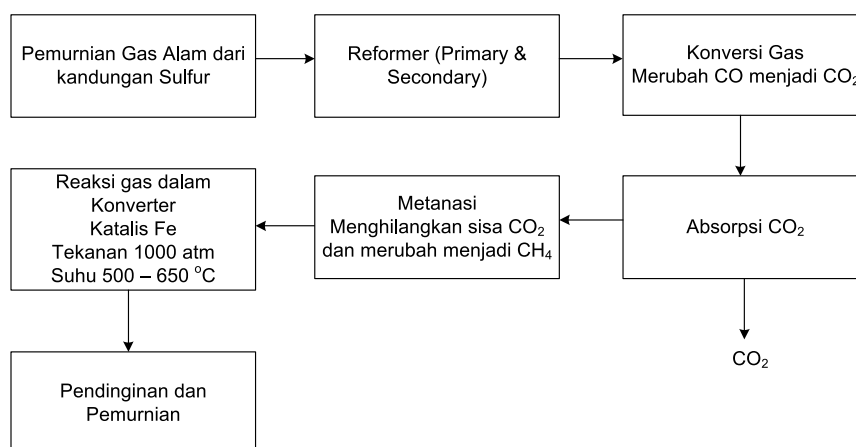


Gambar 1. 4. Diagram Alir Proses *Kellogg*  
Sumber: Diadaptasi dari Appl, M. (2011)

#### 1.4.4 Proses *Claude*

Proses *Claude* merupakan salah satu teknologi awal untuk sintesis amonia yang diperkenalkan oleh insinyur Prancis, Georges Claude, pada tahun 1917. Berbeda dengan proses *Haber-Bosch* yang menggunakan sistem resirkulasi gas, proses *Claude* dirancang untuk mencapai tingkat konversi yang tinggi dalam satu lintasan (*single-pass*) tanpa adanya daur ulang gas yang tidak bereaksi.

Dalam proses ini, hidrogen murni dihasilkan melalui fraksinasi gas dari oven kokas, sedangkan nitrogen diperoleh dengan cara likuifikasi udara. Reaksi sintesis amonia berlangsung pada tekanan yang sangat tinggi, yaitu sekitar 900 hingga 1.000 atm, dan pada suhu antara 500 dan 650 °C. Penggunaan tekanan tinggi ini memungkinkan pencapaian konversi amonia sekitar 40% dalam satu reaktor tanpa adanya sistem resirkulasi (Rouwenhorst et al., 2021).



Gambar 1. 5. Diagram Alir Proses *Claude*  
Sumber: Diadaptasi dari Appl, M. (2011)

Dalam merancang pabrik amonia berskala industri, pemilihan teknologi proses merupakan faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap efisiensi energi, biaya operasi, kemudahan pengembangan, serta keberlanjutan sistem. Berbagai proses sintesis amonia telah dikembangkan dan diterapkan secara komersial, antara lain proses *Haber-Bosch*, *Casale*, *Kellogg*, dan *Claude*. Setiap teknologi memiliki karakteristik unik terkait dengan bahan baku, suhu dan tekanan operasi, desain reaktor, serta tipe katalis yang digunakan. Oleh karena itu, penting untuk membandingkan parameter teknis dari keempat proses tersebut untuk

menentukan alternatif terbaik yang sesuai dengan tujuan produksi dan kondisi setempat.

Tabel 1. 3. Perbandingan Proses Pembuatan Amonia

| Parameter pertimbangan | Proses                |               |                |               |
|------------------------|-----------------------|---------------|----------------|---------------|
|                        | <i>Haber-Bosch</i>    | <i>Casale</i> | <i>Kellogg</i> | <i>Claude</i> |
| Bahan Baku             | Hidrogen dan Nitrogen | Gas Alam      | Gas Alam       | Gas Alam      |
| Suhu operasi (°C)      | 400 - 500             | 500 – 600     | 400 - 500      | 500 - 650     |
| Tekanan operasi (atm)  | 150 - 350             | 500 – 600     | 140 - 150      | 1000          |
| Desain konverter       | Sederhana             | Kompleks      | kompleks       | kompleks      |
| Katalis                | Berbasis Besi         | Berbasis besi | Berbasis Nikel | Berbasis besi |

Sumber: Appl, M. (2011)

Dalam perancangan pabrik amonia berskala industri, proses *Haber-Bosch* yang sudah dimodifikasi dipilih sebagai teknologi dasar berdasarkan beberapa pertimbangan teknis dan ekonomis, antara lain:

1. Efisiensi Produksi Amonia

Proses *Haber-Bosch* dianggap sebagai teknologi yang paling sederhana dan telah terbukti secara signifikan dalam mengonversi gas nitrogen ( $N_2$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ) menjadi amonia ( $NH_3$ ) melalui reaksi eksotermis yang berlangsung stabil pada suhu 400–500 °C dan tekanan 150–350 atm. Tingkat konversi dan efisiensi energi dari sistem ini telah dioptimalkan melalui pemanfaatan daur ulang gas yang tidak bereaksi.

2. Biaya Katalis

Penggunaan katalis berbasis besi (*iron-based catalyst*) menjadikan proses ini lebih ekonomis dibandingkan dengan proses lain seperti *Kellogg* yang menggunakan katalis berbasis nikel, yang lebih mahal dan lebih sensitif terhadap kontaminan. Ini sangat mendukung efisiensi biaya operasional dalam jangka panjang.

3. Kemudahan Pengembangan Pabrik

Dengan desain sistem yang sederhana dan fleksibel, proses *Haber-Bosch* memungkinkan peningkatan kapasitas dan integrasi teknologi mutakhir,

termasuk pemanfaatan energi terbarukan dalam produksi amonia ramah lingkungan. Oleh karena itu, proses ini lebih mudah untuk dikembangkan pada pabrik yang sudah beroperasi maupun yang direncanakan untuk masa depan.

### 1.5 Kapasitas Perancangan

Kapasitas produksi yang optimal perlu ditentukan dengan mempertimbangkan sejumlah elemen penting, seperti kuantitas kebutuhan amonia dalam negeri, kapasitas produksi dari pabrik-pabrik yang telah beroperasi di Indonesia, serta volume ekspor dan impor yang terjadi. Tabel berikut menyajikan data kebutuhan amonia nasional dari tahun 2019 hingga 2023, yang diperoleh dari data perdagangan amonia. Dengan asumsi tingkat pertumbuhan tersebut konstan, maka proyeksi kebutuhan amonia pada tahun 2030 dapat dihitung menggunakan rumus proyeksi pertumbuhan majemuk sebagai berikut (Sullivan et al., 2015):

$$F = P (1 + i)^n$$

Keterangan:

$F$  = Proyeksi kebutuhan amonia pada tahun 2030

$P$  = Kebutuhan amonia pada tahun 2023

$i$  = Pertumbuhan rata-rata

$n$  = Selang waktu (tahun)

Tabel 1. 4. Data Impor amonia di Indonesia 2019 – 2023

| Tahun                                         | Kebutuhan Amonia (Ton) | % Pertumbuhan |
|-----------------------------------------------|------------------------|---------------|
| 2019                                          | 12.303,9               | -             |
| 2020                                          | 20.206,0               | 64,22%        |
| 2021                                          | 38.100,0               | 88,56%        |
| 2022                                          | 34.009,1               | 10,74%        |
| 2023                                          | 38.319,5               | 12,67%        |
| <b>Pertumbuhan rata-rata (<math>i</math>)</b> |                        | <b>44,05%</b> |

Sumber: <https://wits.worldbank.org>

Rata-rata persentase kenaikan impor amonia yang ditunjukkan oleh tabel 1.4 adalah 44,05%. Sehingga perkiraan impor amonia pada tahun 2030 dapat diperkirakan melalui persamaan

$$F_1 = P (1 + i)^n$$

$$F_1 = 38.319,5 (1 + 44,05\%)^7 = 493.179,5388 \text{ Ton}$$

Tabel 1. 5. Data Ekspor amonia di Indonesia 2019 – 2023

| Tahun                                   | Kebutuhan Amonia (Ton) | % Pertumbuhan |
|-----------------------------------------|------------------------|---------------|
| 2019                                    | 1.792.830              | -             |
| 2020                                    | 1.611.940              | 10,09%        |
| 2021                                    | 1.790.380              | 11,07%        |
| 2022                                    | 1.929.220              | 7,75%         |
| 2023                                    | 1.795.080              | 6,95%         |
| <b>Pertumbuhan rata-rata (<i>i</i>)</b> |                        | <b>8,97%</b>  |

Sumber: <https://wits.worldbank.org>

Tabel 1.5 menunjukkan rata-rata nilai ekspor, dimana rata-rata kenaikan persentase ekspor amonia di Indonesia sebesar 8,97%. Sehingga perkiraan ekspor pada tahun 2030 yaitu

$$F_2 = P (1 + i)^n$$

$$F_2 = 1.795.080 (1 + 8,97\%)^7 = 3.274.497,442 \text{ Ton}$$

Tabel 1. 6. Data produksi amonia di Indonesia 2019 – 2023

| Tahun                                   | Kebutuhan Amonia (Ton) | % Pertumbuhan |
|-----------------------------------------|------------------------|---------------|
| 2019                                    | 6.200.000              | -             |
| 2020                                    | 6.500.000              | 4,84%         |
| 2021                                    | 6.800.000              | 4,62%         |
| 2022                                    | 7.000.000              | 2,94%         |
| 2023                                    | 7.200.000              | 2,86%         |
| <b>Pertumbuhan rata-rata (<i>i</i>)</b> |                        | <b>3,81%</b>  |

Sumber: [www.oec.world](http://www.oec.world)

Pada Tabel 1.6 menunjukkan data persentase kenaikan produksi amonia di Indonesia yaitu sebesar 3,81%. Untuk itu, produksi amonia pada tahun 2030 sebesar:

$$F_3 = P (1 + i)^n$$

$$F_3 = 7.200.000 (1 + 3,81\%)^7 = 9.356.161,617 \text{ Ton}$$

Tabel 1. 7. Data kebutuhan amonia di Indonesia 2019 – 2023

| Tahun | Kebutuhan Amonia (Ton) | % Pertumbuhan |
|-------|------------------------|---------------|
| 2019  | 5.700.000              | -             |
| 2020  | 5.900.000              | 3,51%         |

| Tahun                            | Kebutuhan Amonia (Ton) | % Pertumbuhan |
|----------------------------------|------------------------|---------------|
| 2021                             | 6.100.000              | 3,39%         |
| 2022                             | 6.300.000              | 3,28%         |
| 2023                             | 6.500.000              | 3,17%         |
| <b>Pertumbuhan rata-rata (i)</b> |                        | <b>3,34%</b>  |

Sumber: [www.oec.world](http://www.oec.world)

Berdasarkan data pada Tabel 1.7, rata-rata pertumbuhan kebutuhan amonia nasional selama lima tahun terakhir adalah sebesar 3,34% per tahun.

Perhitungan proyeksi kebutuhan amonia dalam negeri pada tahun 2030 adalah sebagai berikut:

$$F_4 = P (1 + i)^n$$

$$F_4 = 6.500.000 (1 + 3,34\%)^7 = 8.179.616 \text{ Ton}$$

$$\text{Peluang kapasitas} = (\text{Ekspor} + \text{Konsumsi}) - (\text{Impor} + \text{Produksi})$$

$$\begin{aligned} \text{Peluang kapasitas} &= (F_2 + F_4) - (F_1 + F_3) \\ &= (3.274.497,442 + 8.179.616) - (493.179,5388 + 9.356.161,617) \\ &= 1.604.772 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka peluang kapasitas pabrik amonia yang didirikan pada tahun 2030 sebesar 1.604.772 ton/tahun. Pada pra rancang pabrik amonia hijau ini ditetapkan kapasitas produksi sebesar 600.000 ton/tahun (37% dari peluang kapasitas pabrik amonia pada tahun 2030).

Dengan demikian, pabrik amonia hijau yang direncanakan akan mempunyai kapasitas produksi sebesar 600.000 ton per tahun dan diharapkan beroperasi selama 330 hari dalam setahun, dengan waktu operasional penuh selama 24 jam setiap hari. Rencana ini disusun berdasarkan proyeksi kebutuhan nasional dan mempertimbangkan kelangsungan dari sudut teknis maupun ekonomis termasuk biaya pembangunan pabriknya.

Peluang untuk membangun pabrik amonia hijau di Indonesia semakin menjanjikan, seiring dengan jumlah produsen domestik yang terbatas serta meningkatnya dukungan pemerintah terhadap target *net zero emission* (NZE) pada tahun 2060. Komitmen ini diperkuat melalui sejumlah regulasi nasional, di

antaranya Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 359. Pers/04/SJI/2021, dan beberapa kebijakan serta kesepakatan internasional, termasuk:

1. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 98 Tahun 2021, yang mengatur tentang nilai ekonomi karbon serta pengendalian emisi gas rumah kaca (GRK) dalam konteks pembangunan berkelanjutan di tingkat nasional.
2. Strategi IMO 2023 yang ditetapkan oleh Organisasi Maritim Internasional, yang bertujuan untuk mengurangi intensitas karbon di sektor pelayaran internasional hingga 40% pada tahun 2030, sehingga mendorong penggunaan energi alternatif seperti amonia sebagai bahan bakar serta produk-produk turunan.
3. Perdagangan karbon internasional yang diatur dalam perjanjian iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa dan Protokol Kyoto, yang mendukung inisiatif transisi energi melalui mekanisme kompensasi serta insentif lingkungan.

Dengan kapasitas produksi sebesar 600.000 ton setiap tahun, pabrik amonia hijau yang direncanakan berpotensi signifikan dalam menurunkan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) secara global, serta mendukung pergeseran menuju ekonomi rendah karbon. Selain itu, proyek ini dapat menciptakan peluang baru dalam pasar produk ramah lingkungan dan menjadi model untuk implementasi berskala besar di masa mendatang, terutama dalam mendorong transisi industri kimia menuju keberlanjutan jangka panjang.

## **1.6 Pemilihan Lokasi Pabrik dan Sarana Prasarana**

Pemilihan lokasi untuk pabrik amonia hijau adalah elemen strategis yang perlu dilaksanakan dengan perhatian yang seksama, mengingat dampaknya terhadap efisiensi operasional dan keberlanjutan proyek. Kriteria yang perlu diperhatikan dalam menentukan lokasi optimal pabrik meliputi:

1. Kedekatan dengan Pasar (Proksimitas ke Pasar)  
Penempatan yang berdekatan dengan pusat konsumen atau area industri yang menggunakan amonia dapat mengurangi biaya distribusi serta meningkatkan daya saing produk.

2. Ketersediaan Bahan Baku

Aksesibilitas yang mudah terhadap bahan baku utama, seperti air (untuk proses elektrolisis) dan udara (untuk pemisahan nitrogen), adalah aspek krusial untuk memastikan kelangsungan proses produksi.

3. Ketersediaan Tenaga Kerja

Area yang memiliki cukup sumber daya manusia, baik dalam hal jumlah maupun kualitas, akan memfasilitasi kelancaran operasional pabrik.

4. Ketersediaan Sumber Energi Terbarukan

Pabrik amonia yang ramah lingkungan bergantung pada sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, atau hidro; oleh karena itu, lokasi yang memiliki potensi energi bersih yang tinggi sangat dihargai.

5. Ketersediaan Air

Air merupakan bahan baku utama dalam proses elektrolisis untuk menghasilkan hidrogen, sehingga akses yang konsisten terhadap sumber air bersih sangat diperlukan.

6. Infrastruktur Transportasi

Ketersediaan jalan raya, pelabuhan, jalur kereta api, dan fasilitas logistik lainnya akan mendukung distribusi bahan baku dan produk akhir dengan efisien.

7. Dukungan Pemerintah dan Kebijakan Lingkungan

Lokasi yang terletak dalam kawasan yang menawarkan insentif investasi, kemudahan dalam izin, dan dukungan terhadap transisi energi berkelanjutan akan memberikan manfaat jangka panjang terhadap perkembangan industri.

8. Risiko dan Keamanan

Faktor geologis, iklim, kemungkinan terjadinya bencana alam, serta keamanan sosial dan politik juga berperan penting dalam meminimalkan gangguan terhadap operasional yang merugikan.

Proses pemilihan lokasi pabrik amonia hijau melibatkan perbandingan tiga alternatif wilayah, yaitu Cilegon, Karawang, dan Bontang. Analisis dilakukan

dengan menggunakan metode pembobotan dan penilaian berdasarkan kriteria, yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1. 8. Penilaian Penentuan Lokasi Pabrik

| No            | Variabel            | Bobot       | Cilegon |              | Kerawang |              | Bontang |              |
|---------------|---------------------|-------------|---------|--------------|----------|--------------|---------|--------------|
|               |                     |             | Nilai   | $B \times N$ | Nilai    | $B \times N$ | Nilai   | $B \times N$ |
| 1             | Proksimitas Pasar   | 25%         | 75      | 18.8         | 100      | 25.0         | 75      | 18.8         |
| 2             | Bahan Baku          | 15%         | 100     | 25.0         | 100      | 25.0         | 100     | 25.0         |
| 3             | Tenaga Kerja        | 20%         | 100     | 25.0         | 100      | 25.0         | 75      | 18.8         |
| 4             | Energi Terbarukan   | 15%         | 50      | 12.5         | 75       | 18.8         | 0       | 0.0          |
| 5             | Sumber Air          | 10%         | 100     | 25.0         | 100      | 25.0         | 100     | 25.0         |
| 6             | Dukungan Pemerintah | 5%          | 100     | 25.0         | 100      | 25.0         | 100     | 25.0         |
| 7             | Transportasi        | 5%          | 100     | 25.0         | 100      | 25.0         | 100     | 25.0         |
| 8             | Resiko Industri     | 5%          | 50      | 12.5         | 50       | 12.5         | 100     | 25.0         |
| <b>Jumlah</b> |                     | <b>100%</b> |         | <b>168.8</b> |          | <b>181.3</b> |         | <b>162.5</b> |

Sumber: Diolah oleh Peneliti (2025)

Data mengenai komposisi udara di area pabrik yang akan dibangun adalah sebagai berikut:

Tabel 1. 9. Komposisi udara bebas kabupaten Karawang, Jawa Barat

| No | Komposisi         | Satuan            | Nilai    |
|----|-------------------|-------------------|----------|
| 1  | Nitrogen          | %                 | 78.10    |
| 2  | Oksigen           | %                 | 20.93    |
| 3  | Argon             | %                 | 0.093    |
| 4  | CO <sub>2</sub>   | %                 | < 0.03   |
| 5  | Kelembaban        | %                 | Maks 85% |
| 6  | H <sub>2</sub> O  | %                 | < 0.01   |
| 7  | PM <sub>2.5</sub> | µg/m <sup>3</sup> | 26.1     |
| 8  | Suhu              | oC                | 24 - 35  |

Sumber: di olah oleh peneliti 2025 dengan merujuk kepada hasil Analisa laboratorium

Berdasarkan hasil evaluasi, Karawang meraih skor tertinggi sebesar 181,3, sehingga dipilih sebagai lokasi paling tepat untuk pembangunan pabrik amonia hijau. Beberapa alasan yang mendasari pemilihan ini adalah sebagai berikut:

1. Karawang terletak di dekat pusat industri yang menggunakan amonia, khususnya pada sektor pupuk dan pendinginan.
2. Terdapat banyak sumber energi terbarukan yang tersedia, seperti PLTA Cirata dengan kapasitas 1.008 MW, Saguling sebesar 700 MW, Cibadak yang memiliki kapasitas 18 MW, Jatiluhur dengan 187,5 MW, dan Cikalong yang mencapai 19,2 MW, sehingga total kapasitas energi mencapai 1.932,7 MW.
3. Kedekatan wilayah ini dengan sumber air dari laut serta akses langsung ke pelabuhan memfasilitasi penyediaan bahan baku dan distribusi produk.

## BAB II

### URAIAN PROSES

Proses penghasil amonia hijau mencakup transformasi sumber daya alam seperti air dan udara menjadi amonia ( $\text{NH}_3$ ) 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 ( $\text{H}_2$ ) 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 ( $\text{O}_2$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), dapat menimbulkan isu korosi serius, terutama karena sifat korosi tersebut yang bersifat lokal. Korosi yang disebabkan oleh  $\text{CO}_2$  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.