

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri kimia memiliki peran strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional serta ketahanan industri Indonesia. Dalam Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2015–2035, industri kimia dasar dikategorikan sebagai industri prioritas karena berperan sebagai pemasok bahan baku utama bagi berbagai industri hilir, seperti pupuk, petrokimia, farmasi, dan bahan peledak. Penguatan industri kimia dasar menjadi langkah penting untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor serta meningkatkan nilai tambah sumber daya alam domestik (Kemenperin, 2015).

Salah satu produk kimia dasar yang memiliki peran vital adalah amonia (NH_3). Amonia merupakan bahan baku utama dalam industri pupuk nitrogen, khususnya urea, ammonium nitrate, dan ammonium sulfate, yang sangat dibutuhkan untuk mendukung sektor pertanian nasional. Selain itu, amonia juga digunakan dalam industri petrokimia, refrigeran, pengolahan air, bahan peledak, serta sebagai carrier hidrogen yang potensial dalam pengembangan energi bersih di masa depan (Aziz, 2023). Tingginya kebutuhan tersebut menjadikan amonia sebagai komoditas strategis bagi perekonomian dan ketahanan pangan Indonesia.

Dari sisi ketersediaan bahan baku, Indonesia memiliki potensi yang besar untuk pengembangan industri amonia. Berdasarkan data dan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan dan produksi gas alam yang signifikan di kawasan Asia Tenggara. Salah satu wilayah yang memiliki sejarah dan potensi penting dalam pengembangan gas alam adalah Provinsi Aceh. Beberapa tahun terakhir telah dilakukan kegiatan eksplorasi di wilayah Cekungan Andaman, yang menunjukkan adanya temuan dan potensi sumber daya gas alam lepas pantai di wilayah barat Aceh. Gas alam, khususnya metana, merupakan bahan baku utama dalam produksi hidrogen yang selanjutnya digunakan dalam proses sintesis amonia. Ketersediaan gas alam di wilayah Aceh, termasuk potensi dari Cekungan Andaman, membuka peluang pengembangan pabrik amonia yang terintegrasi dengan sumber bahan baku

dan energi domestik, serta berpotensi mendukung pemerataan pembangunan industri di wilayah barat Indonesia (ESDM, 2022).

Proses Kellogg Gas *Recycle* merupakan teknologi reforming gas alam yang mengintegrasikan tahap *primary reforming* dan *secondary reforming* dengan penambahan udara sebagai sumber nitrogen, sehingga diperoleh rasio hidrogen dan nitrogen yang sesuai untuk sintesis amonia. Proses ini berlangsung pada tekanan dan temperatur tinggi dengan bantuan katalis, serta dilengkapi dengan desain reaktor dan sistem integrasi panas yang efisien. Panas yang dihasilkan dari unit reforming dan reaksi eksotermik dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan uap dan memenuhi kebutuhan energi internal pabrik, sehingga meningkatkan efisiensi energi keseluruhan proses produksi amonia (Nielsen, 1995).

Berdasarkan pertimbangan kebutuhan pasar, ketersediaan bahan baku, serta arah kebijakan pengembangan industri nasional, pendirian pabrik amonia di Indonesia memiliki prospek yang baik. Oleh karena itu, diperlukan suatu prarancangan pabrik amonia yang mencakup kajian teknis, ekonomi, dan operasional sebagai dasar perencanaan pendirian pabrik yang efisien, aman, dan layak secara ekonomi, serta mendukung pembangunan industri kimia nasional secara berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan pada latar belakang, rumusan masalah dalam prarancangan ini disusun sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang pabrik Amonia dari Hidrogen dan Nitrogen dengan kapasitas 240.000 ton/tahun yang memenuhi standar kelayakan teknis serta menguntungkan secara ekonomis dengan pemanfaatan gas alam sebagai bahan baku?
2. Bagaimana penerapan proses Kellogg Gas *Recycle* Berbasis Integrasi Panas dalam perancangan pabrik Amonia dari Hidrogen dan Nitrogen?
3. Bagaimana menyusun neraca massa dan neraca energi yang tepat untuk mencapai efisiensi produksi?
4. Bagaimana spesifikasi peralatan utama dan pendukung yang dibutuhkan

untuk operasional pabrik?

5. Bagaimana merancang sistem utilitas yang memadai untuk menjamin kontinuitas operasional pabrik Amonia?
6. Bagaimana sistem manajemen pabrik yang meliputi struktur organisasi, tenaga kerja, dan sistem operasi pabrik Amonia?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari prarancangan pabrik amonia ini adalah:

1. Meningkatkan nilai tambah (*value added*) sumber daya alam nasional dengan memanfaatkan gas alam sebagai bahan baku utama dalam produksi amonia yang bernilai ekonomis tinggi.
2. Untuk memenuhi kebutuhan pasar ekspor terhadap amonia yang terus meningkat, khususnya sebagai bahan baku industri pupuk dan industri kimia lainnya.
3. Menghitung kebutuhan proses yang meliputi bahan baku, neraca massa, dan neraca energi dalam produksi amonia.
4. Menetapkan dimensi dan kapasitas peralatan utama serta unit utilitas berdasarkan hasil perhitungan neraca massa dan energi guna menjamin kelancaran dan keamanan proses.
5. Melakukan optimasi pada PFD Exist
6. Menganalisis kelayakan pendirian pabrik amonia ditinjau dari aspek teknis dan ekonomi, yang meliputi perhitungan keuntungan, *Break Even Point* (BEP), *Pay Out Time* (POT), dan *Rate of Return* (ROR).

1.4 Manfaat Prarancangan Pabrik

Penyusunan pra-rancangan pabrik Amonia ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa yaitu sebagai sarana untuk mengaplikasikan dan mengintegrasikan teori-teori Teknik Kimia yang telah diperoleh selama perkuliahan dan melatih kemampuan berpikir analitis dan sistematis dalam memecahkan masalah perancangan (*process engineering design*), mulai

dari penentuan neraca massa hingga evaluasi ekonomi.

2. Memberikan informasi mengenai potensi pendirian industri kimia menengah yang dapat mendukung kemandirian industri nasional dan mengurangi ketergantungan impor (substitusi impor)
3. Bagi aspek keberlanjutan, prarancangan ini memberikan tinjauan awal mengenai pemanfaatan gas alam secara lebih optimal sebagai bahan baku industri kimia dibandingkan penggunaan sebagai bahan bakar langsung.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar pembahasan dalam prarancangan pabrik ini lebih terarah dan mendalam, serta mengingat luasnya cakupan permasalahan yang ada, maka penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Proses yang digunakan dalam pembuatan amonia adalah Proses Kellogg *Gas Recycle* Berbasis Integrasi Panas, yaitu reaksi antara nitrogen dan hidrogen pada tekanan dan temperatur tinggi dengan pengoptimalan energi dengan menggunakan katalis berbasis besi.
2. Bahan baku utama yang digunakan dalam prarancangan ini adalah gas alam sebagai sumber hidrogen dan udara sebagai sumber nitrogen.
3. Kapasitas produksi pabrik amonia ditetapkan sebesar 240.000 ton/tahun dengan asumsi operasi kontinu 330 hari per tahun.
4. Prarancangan ini mencakup uraian proses, perhitungan neraca massa dan neraca energi, spesifikasi peralatan utama, utilitas, tata letak pabrik, manajemen pabrik, serta analisis kelayakan ekonomi.
5. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di wilayah Aceh, yang ditetapkan berdasarkan pertimbangan ketersediaan bahan baku gas alam dan potensi pengembangan industri.

1.6 Penentuan Kapasitas Pabrik

Penentuan kapasitas rancangan sebuah pabrik merupakan langkah krusial yang menentukan keberlangsungan operasional dan nilai ekonomi dari proyek tersebut. Secara umum, penetapan kapasitas dilakukan dengan menganalisis

keseimbangan antara ketersediaan pasokan (*supply*) dan besarnya permintaan pasar (*demand*). Dengan meninjau data historis ekspor dan impor, dapat diidentifikasi besarnya peluang pasar (*market peluang*) yang masih terbuka. Kapasitas produksi yang ditetapkan harus berada di atas kapasitas minimal yang menguntungkan secara ekonomi, namun tidak melebihi proyeksi kebutuhan pasar agar tidak terjadi surplus produksi yang tidak terserap.

1.6.1 Ketersedian Bahan Baku Produksi Amonia

Dalam prarancangan pabrik amonia ini, bahan baku utama yang digunakan adalah gas alam dan udara. Gas alam dimanfaatkan sebagai sumber hidrogen (H_2), sedangkan udara digunakan sebagai sumber nitrogen (N_2). Hidrogen tidak diperoleh secara langsung, melainkan diproduksi di dalam pabrik melalui proses reforming gas alam, sedangkan nitrogen diperoleh melalui unit pemisahan udara (*Air Separation Unit*). Pemanfaatan gas alam sebagai sumber hidrogen merupakan praktik yang umum diterapkan secara industri karena ketersediaannya yang relatif melimpah dan efisiensi proses yang tinggi.

Pemilihan gas alam sebagai bahan baku utama menjadi semakin relevan dengan mempertimbangkan kondisi Indonesia, khususnya Provinsi Aceh, yang memiliki potensi gas alam cukup besar. Aceh dikenal sebagai wilayah dengan sejarah pengembangan gas alam melalui Arun. Ketersediaan gas alam di wilayah tersebut memberikan peluang bagi pendirian pabrik amonia yang terintegrasi dengan sumber bahan baku domestik.

1.6.2 Produksi Pabrik Amonia di Indonesia

Indonesia merupakan salah satu negara yang telah memiliki dan mengoperasikan pabrik amonia dalam skala industri, khususnya untuk mendukung sektor pertanian dan industri pupuk nasional. Produksi amonia di Indonesia umumnya terintegrasi dengan industri pupuk urea, karena amonia merupakan bahan baku utama dalam pembentukan urea.

Beberapa pabrik amonia besar di Indonesia dikelola oleh perusahaan yang berada di bawah naungan **PT Pupuk Indonesia (Persero)**. Contohnya adalah **PT Pupuk Kalimantan Timur (Pupuk Kaltim)** yang berlokasi di Bontang, Kalimantan Timur, serta **PT Pupuk Iskandar Muda (PIM)** yang berlokasi di Aceh

Utara, Aceh. Pabrik-pabrik tersebut memproduksi amonia secara *on-site* menggunakan bahan baku gas alam sebagai sumber hidrogen dan udara sebagai sumber nitrogen melalui proses industri konvensional.

1.6.3 Negara-Negara dengan Kebutuhan Amonia

Amonia merupakan bahan kimia penting yang banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, termasuk industri pupuk sebagai bahan baku utama produksi urea dan amonium nitrat, industri bahan kimia dasar, serta sektor energi sebagai sumber hidrogen dalam proses pengolahan bahan bakar. Selain itu, amonia juga dimanfaatkan dalam produksi bahan pendingin (*refrigeran*), pembersih industri, serta dalam sintesis berbagai senyawa nitrogen lainnya. Indonesia berperan sebagai pengekspor amonia ke berbagai negara di dunia. Berikut adalah Tabel 1.1 negara-negara dengan kebutuhan ammonia.

Tabel 1.1 Negara dengan Kebutuhan Amonia

No.	Negara
1.	Chili
2.	Belgia
3.	Swedia
4.	Spanyol
5.	Kazakhstan
6.	Australia
7.	Filipina
8.	Brazil
9.	Prancis
10.	Polandia

(Sumber: UN Comtrade, 2026)

1. Kebutuhan Impor Amonia di Negara Chili

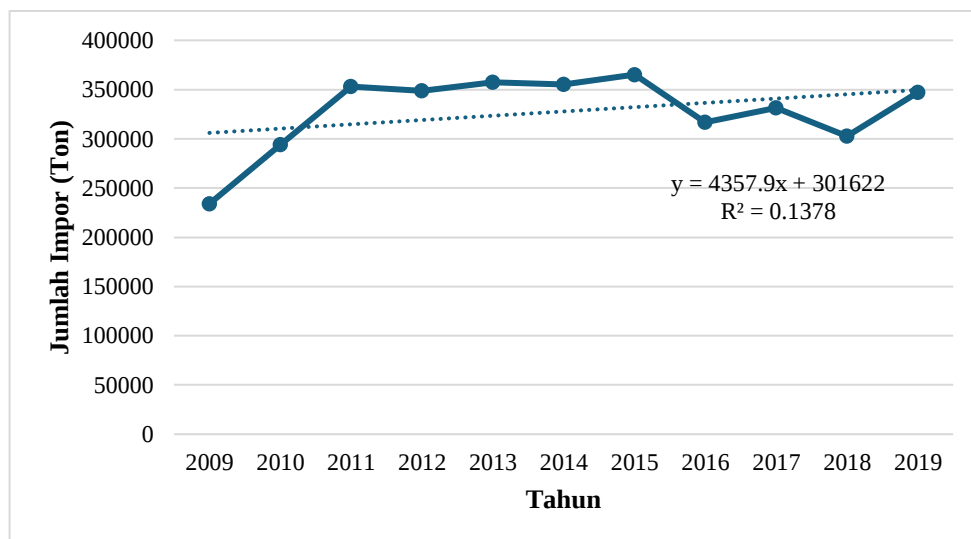
Analisis terhadap data impor amonia di negara Chili dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Berikut adalah data kebutuhan impor Chili selama periode 2009 hingga 2019 dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Data Impor Amonia di Chili

Tahun	Kapasitas (Ton)
2009	234.012
2010	294.170
2011	353.003
2012	348.504
2013	357.273
2014	355.448
2015	365.198
2016	316.587
2017	331.271
2018	302.796
2019	347.207

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan Tabel 1.2 yang menyajikan data impor amonia dari Chili pada periode tahun 2009-2019, terlihat bahwa volume impor amonia mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis kecenderungan perubahan impor amonia dari Chili, data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1, sehingga pola dan tren impor amonia dapat diamati secara lebih jelas.

**Gambar 1.1** Grafik Impor Amonia di Chili

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.0402$. Berdasarkan

persamaan geometrik, nilai impor Amonia di Chili pada tahun 2028 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.1)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke-n.

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Amonia di Chili dari 2020-2028 yaitu pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Amonia di Chili

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	361.166
2021	375.685
2022	390.787
2023	406.497
2024	422.839
2025	439.837
2026	457.519
2027	475.912
2028	495.044

Dapat dilihat pada Tabel 1.3, impor Amonia di Chili terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2028 diperkirakan mencapai 495.044 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2028 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2028 - Kebutuhan data terakhir (2019)

Peluang ekspor = 495.044 - 347.207

Peluang ekspor = 147.837 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Amonia pada tahun 2028 mencapai **147.837 Ton** ke negara Chili.

2. Kebutuhan Impor Amonia di Negara Belgia

Analisis terhadap data impor amonia di negara Belgia dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting

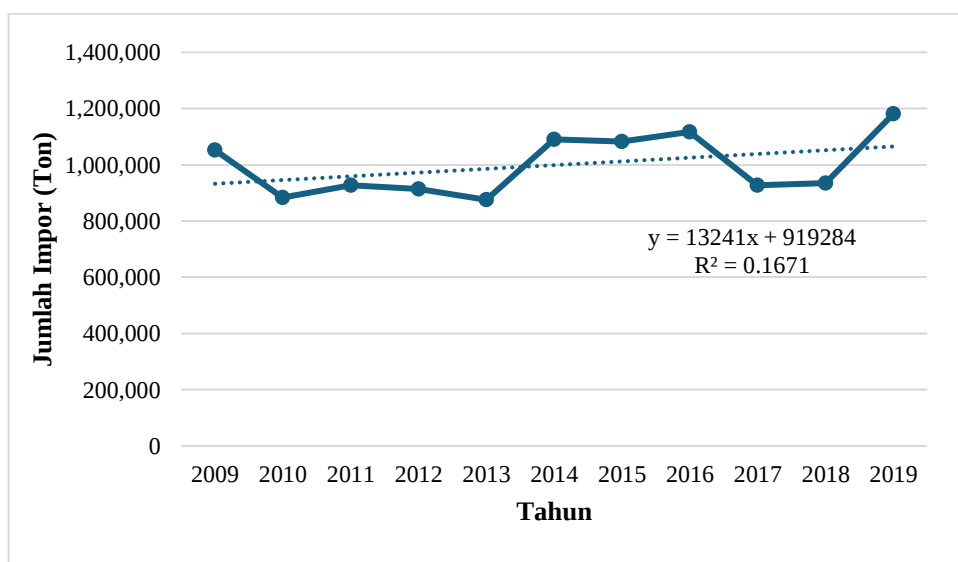
dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Belgia selama periode 2009 hingga 2019 dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Data Impor Amonia di Belgia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2009	1.052.551
2010	883.475
2011	927.781
2012	913.956
2013	875.463
2014	1.091.138
2015	1.082.386
2016	1.116.862
2017	926.442
2018	935.367
2019	1.180.587

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan tabel yang menyajikan data impor amonia dari Belgia pada periode tahun 2009–2019, terlihat bahwa volume impor amonia mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis kecenderungan perubahan impor amonia dari Belgia, data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.2, sehingga pola dan tren impor amonia dapat diamati secara lebih jelas.



Gambar 1.2 Grafik Impor Amonia di Belgia

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.01155$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Amonia di Belgia pada tahun 2028 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.2)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Amonia di Belgia dari 2020-2028 yaitu pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Amonia di Belgia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	1.194.218
2021	1.208.006
2022	1.221.953
2023	1.236.061
2024	1.250.332
2025	1.264.768
2026	1.279.371
2027	1.294.142
2028	1.309.084

Dapat dilihat pada Tabel 1.5, impor Amonia di Belgia terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2028 diperkirakan mencapai 1.309.084 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2028 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2028 - Kebutuhan data terakhir (2019)

Peluang ekspor = 1.309.084 - 1.180.587

Peluang ekspor = 128.497 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Amonia pada tahun 2028 mencapai **128.497 Ton** ke negara Belgia.

3. Kebutuhan Impor Amonia di Negara Swedia

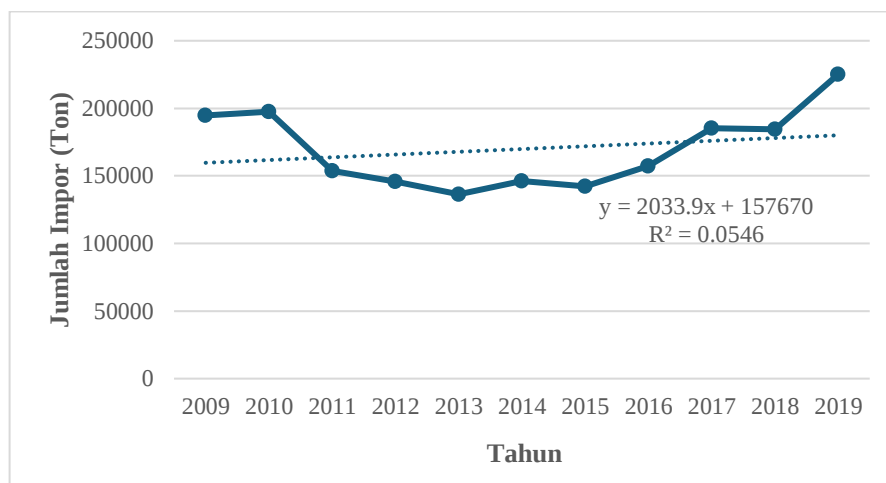
Data impor amonia di Swedia pada periode tahun pengamatan disajikan dalam bentuk tabel berikut untuk memberikan gambaran mengenai perkembangan dan pola impor amonia di negara tersebut. Penyajian data ini bertujuan untuk mempermudah analisis *tren* serta menjadi dasar dalam pembahasan selanjutnya terkait perbandingan kebutuhan dan ketergantungan impor amonia antar negara. Berikut Adalah data impor amonia di negara Swedia dapat dilihat pada Tabel 1.6.

Tabel 1.6 Data Impor Amonia di Swedia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2009	194.633
2010	197.614
2011	153.731
2012	145.690
2013	136.390
2014	146.018,56
2015	142.435
2016	157.138
2017	185.290
2018	184.619,51
2019	225.051,34

(Sumber: UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan kajian metodologi regresi yang dikemukakan oleh Ozili (2023), model regresi linear dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang rendah menunjukkan kemampuan yang lemah dalam merepresentasikan pola data, sehingga kurang tepat digunakan untuk tujuan proyeksi. Persamaan regresi linear memiliki nilai koefisien yang sangat kecil dan mendekati nol. Oleh karena itu, metode pertumbuhan tahunan digunakan sebagai alternatif yang lebih sesuai, karena metode ini mempertimbangkan laju perubahan data secara agregat dalam jangka panjang dan lebih representatif terhadap karakteristik data yang berfluktuasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3 Grafik Impor Amonia di Swedia

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0.0146$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Amonia di Swedia pada tahun 2028 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Amonia di Swedia dari 2020-2028 yaitu pada Tabel 1.7.

Tabel 1.7 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Amonia di Swedia

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	228.337
2021	231.670
2022	235.052
2023	238.484
2024	241.965
2025	245.498
2026	249.082
2027	252.719
2028	256.409

Dapat dilihat pada Tabel 1.7, impor Amonia di Swedia terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2028 diperkirakan mencapai 256.409 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2028 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2028 - Kebutuhan data terakhir (2019)

Peluang ekspor = 256.409 – 225.051,34

Peluang ekspor = 31.357,66 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Amonia pada tahun 2028 mencapai **31.357 Ton** ke negara Swedia.

4. Kebutuhan Impor Amonia di Negara Spanyol

Analisis terhadap data impor amonia di negara Spanyol dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Spanyol selama periode 2009 hingga 2019 dapat dilihat pada Tabel 1.8.

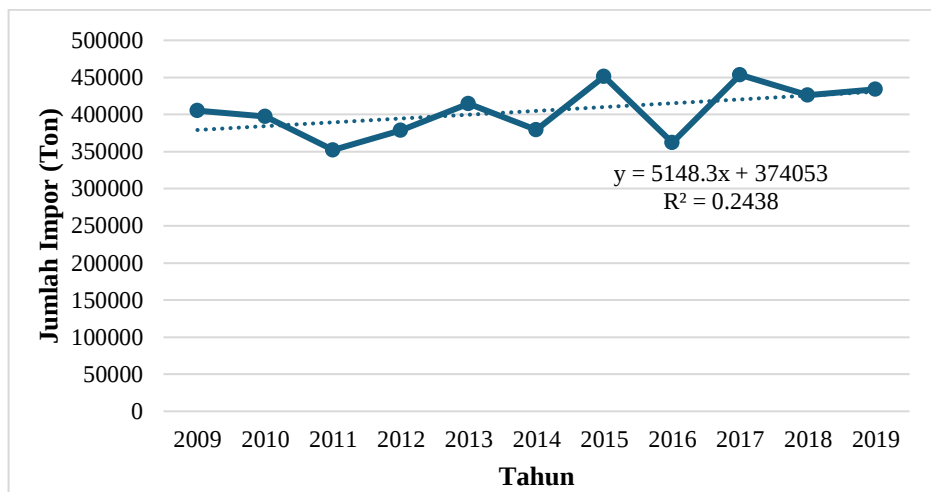
Tabel 1.8 Data Impor Amonia di Spanyol

Tahun	Kapasitas (Ton)
2009	405.513
2010	397.164
2011	352.228
2012	378.340
2013	414.941
2014	379.339
2015	451.213
2016	361.870
2017	453.490
2018	425.964
2019	434.311

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Data impor amonia yang dianalisis menunjukkan fluktuasi yang cukup tinggi serta pola yang tidak konsisten antar tahun. Kondisi ini menyebabkan regresi linear tidak mampu menggambarkan kecenderungan data secara akurat, khususnya untuk memproyeksikan nilai pada tahun 2028, yaitu tahun rencana pendirian

pabrik. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.4, di mana persamaan regresi linear memiliki nilai koefisien yang sangat kecil dan mendekati nol.



Gambar 1.4 Grafik Impor Amonia di Spanyol

Dalam menerapkan metode pertumbuhan tahunan, langkah awal yang dilakukan adalah mencari nilai laju pertumbuhan rata-rata tahunan (r). Dari hasil perhitungan didapat nilai rata-rata pertumbuhannya yaitu $r = 0,69$. Berdasarkan persamaan geometrik, nilai impor Amonia di Spanyol pada tahun 2028 dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P_t = P_0 (1 + r)^n \dots\dots\dots (1.4)$$

Dimana:

P_t = kapasitas akhir,

P_0 = kapasitas awal,

r = pertumbuhan rata rata,

n = proyeksi tahun ke- n .

Dari hasil perhitungan didapat nilai impor Amonia di Spanyol dari 2020-2028 yaitu pada Tabel 1.9.

Tabel 1.9 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Amonia di Spanyol

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	437.308
2021	440.326
2022	443.365
2023	446.426
2024	449.509
2025	452.614

Tahun	Kapasitas (Ton)
2026	455.742
2027	458.892
2028	462.066

Dapat dilihat pada Tabel 1.9, impor Amonia di Spanyol terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2028 diperkirakan mencapai 462.066 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2028 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2028 - Kebutuhan data terakhir (2019)

Peluang ekspor = 462.066 – 434.311

Peluang ekspor = 27.755 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Amonia pada tahun 2028 mencapai **27.755 Ton** ke negara Spanyol.

5. Kebutuhan Impor Amonia di Negara Kazakhstan

Analisis terhadap data impor amonia di negara Kazakhstan dilakukan untuk meninjau seberapa besar peluang pasar yang bisa dimanfaatkan. Hal ini penting dalam menentukan kapasitas produksi pabrik yang akan dirancang, sehingga produk dari Indonesia pada pra-rancangan ini nantinya memiliki nilai ekspor yang tinggi. Data kebutuhan impor Kazakhstan selama periode 2009 hingga 2019 dapat dilihat pada Tabel 1.10.

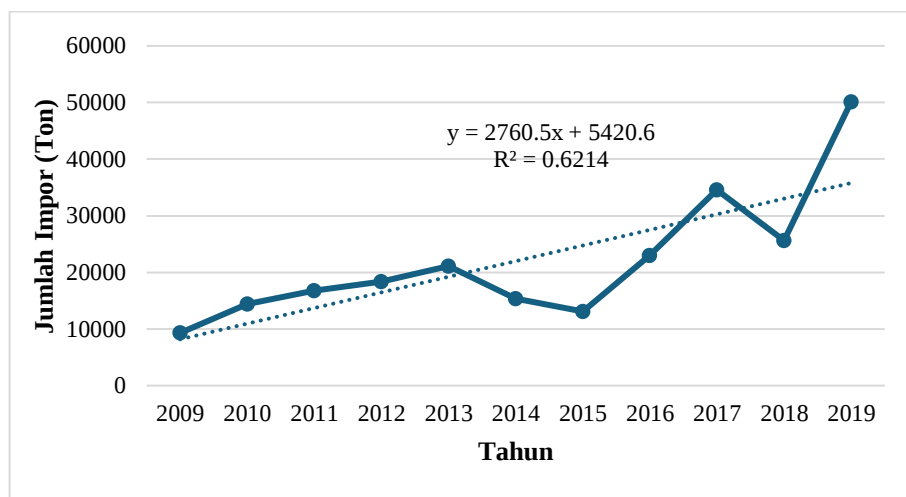
Tabel 1.10 Data Impor Amonia di Kazakhstan

Tahun	Kapasitas (Ton)
2009	9.303
2010	14.436
2011	16.806
2012	18.366
2013	21.096
2014	15.337
2015	13.069
2016	23.027
2017	34.619
2018	25.617
2019	50.142

(Sumber : UN Comtrade, 2026)

Berdasarkan tabel yang menyajikan data impor amonia dari Kazakhstan

terlihat bahwa volume impor amonia mengalami fluktuasi dari tahun ke tahun. Untuk mempermudah analisis kecenderungan perubahan impor amonia dari Kazakhstan, data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.5, sehingga pola dan tren impor amonia dapat diamati secara lebih jelas.



Gambar 1.5 Grafik Impor Amonia di Kazakhstan

Berdasarkan Gambar 1.5 dapat dilihat bahwa persamaan yang diperoleh adalah $y = 2760.5x + 5420.6$. Kebutuhan impor ammonia di India tiap tahunnya meningkat sesuai dengan persamaan garis lurus tersebut.

Dimana:

Y = Kebutuhan impor ammonia pada tahun tertentu dalam Ton

X = Tahun ke yang akan diperkirakan

Hasil ekstrapolasi kebutuhan impor Amonia di negara Kazakhstan yaitu pada Tabel 1.11.

Tabel 1.11 Data Hasil Perhitungan Kebutuhan Amonia di Kazakhstan

Tahun	Kapasitas (Ton)
2020	38.546,34545
2021	41.306,82727
2022	44.067,30909
2023	46.827,79091
2024	49.588,27273
2025	52.348,75455
2026	55.109,23636
2027	57.869,71818
2028	60.630,2

Dapat dilihat pada Tabel 1.11, impor Amonia di Kazakhstan terus meningkat tiap tahunnya. Menggunakan metode pertumbuhan geometrik, kebutuhan impor pada tahun 2028 diperkirakan mencapai 60.630,2 ton. Peluang ekspor kemudian dihitung berdasarkan selisih antara proyeksi tahun 2028 dengan data impor tahun terakhir untuk melihat potensi pasar yang tersedia.

Peluang ekspor = Kebutuhan Impor tahun 2028 - Kebutuhan data terakhir (2019)

Peluang ekspor = 60.630,2 - 50.142

Peluang ekspor = 10.488,2 Ton

Maka dapat diketahui bahwa pra-rancangan pabrik ini memiliki peluang mengekspor Amonia pada tahun 2028 mencapai **10.488 Ton** ke negara Kazakhstan.

Berikut Adalah data pabrik yang memproduksi ammonia di dalam negeri dapat dilihat Berdasarkan analisis kebutuhan impor dari negara-negara tujuan ekspor serta kebutuhan amonia dalam negeri, dilakukan estimasi alokasi distribusi hasil produksi pabrik. Hasil perhitungan estimasi distribusi tersebut disajikan pada Tabel 1.12.

Tabel 1.12 Perencanaan Ekspor Produksi Amonia

No.	Negara	Peluang Ekspor (Ton)	Jumlah Ekspor (Ton)	%Ekspor
1.	Chili	147.834	117.000	48,8%
2.	Belgia	128.497	76.000	31,7%
3.	Swedia	31.357	23.000	9,5%
4.	Spanyol	27.755	19.000	7,9%
5.	Kazakhstan	10.488	5.000	2,1%
Jumlah		345.934	240.000	100%

Berdasarkan perhitungan kebutuhan amonia di luar negeri, serta dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku utama berupa gas alam dan kondisi pabrik amonia yang telah beroperasi, maka kapasitas pra-rancangan pabrik amonia ditetapkan sebesar **240.000 ton per tahun**. Kapasitas ini direncanakan untuk memenuhi kebutuhan amonia luar negeri, khususnya sebagai bahan baku industri pupuk dan kimia, serta sebagian diarahkan untuk memenuhi kebutuhan pasar ekspor.

1.7 Perbandingan Proses

Amonia secara industri diproduksi melalui reaksi sintesis langsung antara gas nitrogen dan hidrogen dengan bantuan katalisator pada kondisi operasi tertentu. Seiring dengan kemajuan teknologi proses dan tuntutan efisiensi energi global, berbagai lisensi teknologi telah dikembangkan untuk mengoptimalkan konversi bahan baku, meminimalkan konsumsi energi spesifik, serta menekan emisi gas rumah kaca. Pemilihan teknologi proses dalam pra-rancangan pabrik amonia merupakan tahapan krusial yang harus mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, integrasi panas, keandalan operasional, serta aspek ekonomi yang mencakup biaya investasi dan operasional.

Secara umum, teknologi produksi amonia dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber bahan baku (seperti gas alam atau batu bara) serta variasi sistem loop sintesis yang digunakan. Perkembangan terkini menunjukkan tren pergeseran dari teknologi konvensional bertekanan tinggi menuju teknologi hemat energi yang mampu beroperasi pada tekanan rendah dengan selektivitas yang lebih tinggi. Uraian masing-masing kategori proses dijelaskan sebagai berikut:

1.7.1 Proses *Coal-Based Partial Oxidation*

Proses *Coal-Based Partial Oxidation* (POX) adalah metode konversi batu bara menjadi gas sintesis (*syngas*) melalui reaksi kimia dengan jumlah oksigen yang terbatas (sub-stoikiometri). Dalam konteks pabrik amonia, proses ini digunakan untuk menghasilkan hidrogen (H_2) sebagai bahan baku utama, menggantikan peran gas alam. Berbeda dengan *Steam Methane Reforming* (SMR) yang menggunakan panas eksternal, POX bersifat autotermal, artinya panas yang dibutuhkan untuk reaksi dihasilkan dari pembakaran sebagian batu bara itu sendiri di dalam reaktor.

Batu bara terlebih dahulu dihancurkan menjadi bubuk halus dan dicampur dengan air membentuk lumpur (*slurry*) atau dimasukkan dalam bentuk kering (tergantung teknologi seperti Lurgi, Shell, atau GE/Texaco). Batu bara ini kemudian direaksikan dengan oksigen (O_2) murni dari unit pemisahan udara (ASU) di dalam Gasifier pada suhu sangat tinggi ($1.200^\circ C - 1.500^\circ C$) dan tekanan tinggi (30 – 80 bar). Karena jumlah oksigen dibatasi (sub-stoikiometri), terjadilah oksidasi parsial

yang menghasilkan gas sintesis mentah (*raw syngas*) yang utamanya terdiri dari H₂ dan CO.

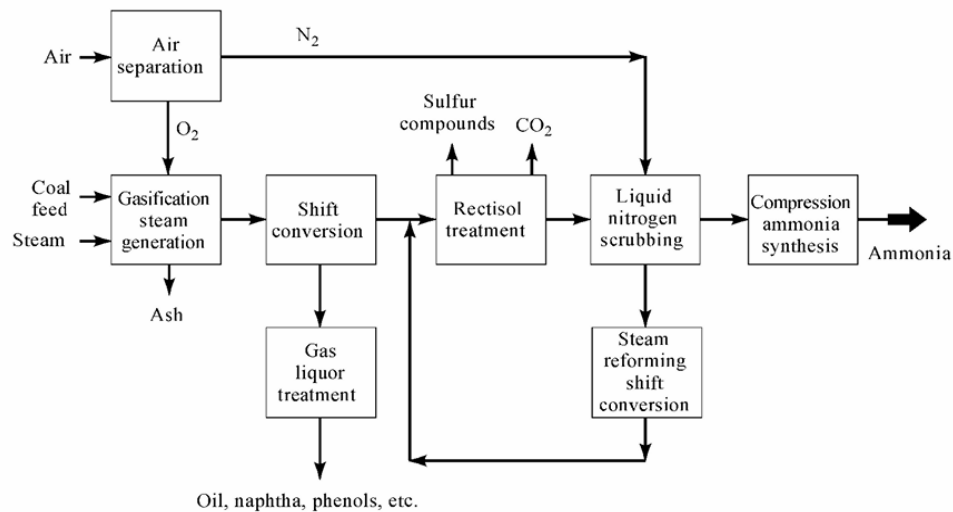
Gas panas yang keluar dari gasifier didinginkan secara mendadak (*quench*) dengan air untuk menurunkan suhunya dan menghilangkan abu (terak/slag) serta partikel debu. Berbeda dengan gas alam, syngas dari batu bara mengandung banyak pengotor seperti sulfur (H₂S dan COS). Sebelum lanjut ke tahap berikutnya, sulfur ini harus dipisahkan menggunakan unit *Acid Gas Removal* (AGR), biasanya menggunakan pelarut fisik seperti *Rectisol* (metanol dingin) atau *Selexol*.

Karena hasil gasifikasi didominasi oleh karbon monoksida (CO), maka CO tersebut harus diubah menjadi H₂ tambahan agar memenuhi rasio pembuatan amonia. Reaksi ini dilakukan di unit *Shift Converter* dengan mereaksikan CO dan uap air (H₂O):



Pada proses berbasis batu bara, tahap ini biasanya menggunakan *Sour Shift Catalyst* karena mampu bekerja meskipun gas masih mengandung sedikit sulfur.

Setelah reaksi *shift*, kandungan CO₂ dalam gas sangat tinggi. CO₂ dipisahkan menggunakan unit absorpsi (seringkali terintegrasi dengan unit *Rectisol* tadi). Untuk mendapatkan hidrogen murni, gas kemudian dilewatkan ke unit *Liquid Nitrogen Wash* (LNW). Di sini, nitrogen cair digunakan untuk "mencuci" sisa-sisa CO, metana, dan argon, sekaligus menyuplai nitrogen (N₂) yang dibutuhkan dalam rasio 3:1 untuk sintesis amonia. Gas yang sudah murni (3H₂ + N₂) kemudian dikompresi menuju *Ammonia Synthesis Loop*. *Flowsheet* dasar dari proses *Coal-Based Partial Oxidation* dapat dilihat pada Gambar 1.6.



Gambar 1. 6 Flowsheet Dasar Produksi Amonia Menggunakan Proses *Coal-Based Partial Oxidation*

(Kirk-Othmer, 2004)

Analisis ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan kotor (*Gross Profit Margin*) dari proses produksi Amonia melalui proses *Coal-Based Partial Oxidation*. Perhitungan ini didasarkan pada stoikiometri reaksi ideal untuk memproduksi produk Amonia dengan asumsi konversi sempurna pada perhitungan neraca massa teoritis. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.13.

Tabel 1.13 Analisa Ekonomi Awal Proses *Coal-Based Partial Oxidation*

Parameter	N ₂	Batu bara	O ₂	H ₂ O	Produk NH ₃
BM (g/mol)	28	-	32	18	17
Harga per kg	Rp336,42	Rp 2.028	Rp 500	Rp 1.062,50	Rp 5.779,54
Kebutuhan	0,5 kmol × 28 kg/kmol = 14 kg	13,6 kg	9 kg	13,50 kg	1 kmol × 17 kg/kmol = 17 kg
Harga total	14 × 336,02 = Rp 4.704,28	13,6 × 2.028 = Rp 27.200	9 × 500 = Rp 4.500	13,05 × 1.062,50 = Rp 14.343,75	17 × 5.779,54 = Rp 98.252,25
Analisa Ekonomi awal	Rp 98.252,25 – (Rp 4.704,28 + Rp 27.200 + Rp 4.500 + Rp 14.343,75) = Rp 98.252,25 – 50.748,03 = Rp. 47.504,22				

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{47.504,22}{98.252,25} \times 100\%$$

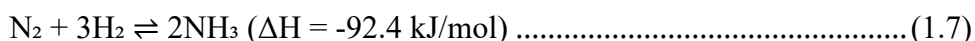
$$\% \text{ Keuntungan} = 48,3 \%$$

Maka persentase keuntungan produksi Amonia yang didapat dari proses Proses *Coal-Based Partial Oxidation* yaitu sebesar 48,3 %

1.7.2 Proses *Haber–Bosch*

Proses *Haber-Bosch* merupakan proses industri untuk memproduksi amonia dengan mereaksikan nitrogen dan hidrogen pada kondisi tekanan dan suhu tinggi menggunakan katalis. Nitrogen diperoleh dari udara melalui proses pemisahan udara, sedangkan hidrogen umumnya dihasilkan dari gas alam. Gas alam terlebih dahulu direaksikan dengan uap air pada suhu tinggi dalam proses steam reforming sehingga menghasilkan campuran hidrogen dan karbon monoksida. Campuran ini kemudian mengalami reaksi *water gas shift* untuk mengubah karbon monoksida menjadi karbon dioksida sekaligus menambah jumlah hidrogen. Karbon dioksida yang terbentuk dihilangkan melalui proses absorpsi, dan sisa karbon monoksida atau karbon dioksida yang masih ada dimethanasi agar tidak meracuni katalis pada tahap sintesis amonia.

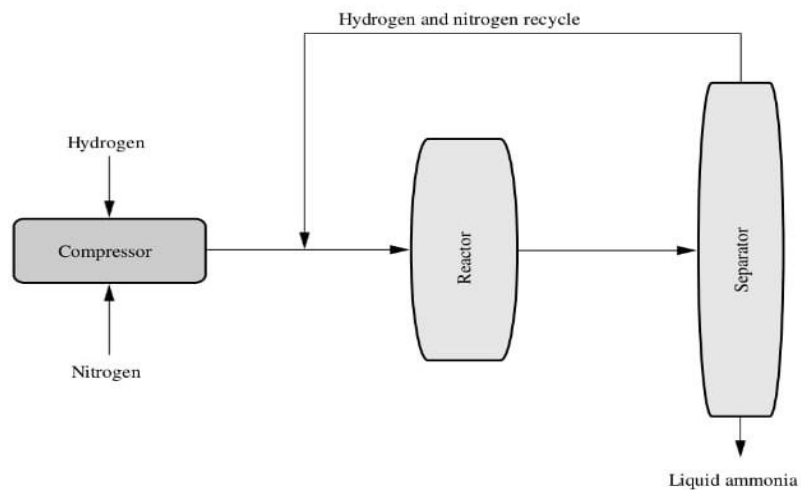
Gas nitrogen dan hidrogen yang telah dimurnikan kemudian dicampur dengan perbandingan molar 1:3 dan dikompresi hingga tekanan tinggi sebelum dialirkan ke dalam reaktor sintesis. Di dalam reaktor, campuran gas tersebut dilewatkan pada katalis berbasis besi pada suhu sekitar 400–500 °C dan tekanan sekitar 150–300 atm. Pada kondisi ini berlangsung reaksi kesetimbangan eksoterm antara nitrogen dan hidrogen yang menghasilkan amonia. Meskipun konversi gas per satu kali lintasan relatif kecil, kondisi operasi dipilih sebagai kompromi antara laju reaksi dan pergeseran kesetimbangan agar proses tetap ekonomis.



(Appl, 1999)

Gas keluaran dari reaktor kemudian didinginkan sehingga amonia yang terbentuk mengembun dan dapat dipisahkan dalam bentuk cair. Gas nitrogen dan hidrogen yang tidak bereaksi tidak dibuang, melainkan dikompresi kembali dan direcycle ke dalam reaktor sintesis. Dengan sistem sirkulasi dan pemisahan ini,

efisiensi keseluruhan proses menjadi tinggi meskipun konversi reaksi per lintasan rendah. Amonia cair yang dihasilkan selanjutnya dapat disimpan atau digunakan sebagai bahan baku utama dalam industri pupuk dan berbagai produk kimia lainnya. Diagram alir proses dapat dilihat pada Gambar 1.7.



Gambar 1.7 Flowsheet Dasar Produksi Amonia Menggunakan Proses Haber–Bosch

(Speight, 2002)

Analisis ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan kotor (*Gross Profit Margin*) dari proses produksi Amonia melalui proses Haber–Bosch. Perhitungan ini didasarkan pada stoikiometri reaksi ideal untuk memproduksi produk Amonia dengan asumsi konversi sempurna pada perhitungan neraca massa teoritis. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.14.

Tabel 1.14 Analisa Ekonomi Awal Proses

Parameter	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Produk NH ₃
BM (g/mol)	28	16	18	17
Harga per kg	Rp336,42	Rp 5.175,39	Rp 1.062,50	Rp 5.779,54
Kebutuhan	0,5 kmol × 28 kg/kmol = 14 kg	0,375 kmol × 16 kg/kmol = 6 kg	0,75 kmol × 18 kg/kmol = 13,50 kg	1 kmol × 17 kg/kmol = 17 kg
Harga total	14 × 336,02 = Rp 4.704,28	6 × 5.175,39 =Rp 31.052,34	13,50 × 1.062,50 = Rp 14.343,75	17 × 5.779,54 =Rp 98.252,25
Analisa Ekonomi awal	Rp 98.252,25 – (Rp 4.704,28 + Rp 31.052,34 + 14.343,75) = Rp 98.252,25 – 50.100,37 = Rp. 48.151,88			

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{48.151,88}{98.252,25} \times 100\%$$

$$\% \text{ Keuntungan} = 49\%$$

Maka persentase keuntungan produksi Amonia yang didapat dari proses *Haber–Bosch* yaitu sebesar 49%.

1.7.3 Proses Kellog *Brown and Root* (KBR)

Transformasi nitrogen (N_2) dan hidrogen (H_2) menjadi amonia dalam lisensi teknologi KBR modern dilakukan melalui siklus sintesis bertekanan tinggi yang sangat terintegrasi. Secara teknis, gas umpan atau *make-up gas* dikompresi hingga mencapai tekanan operasional antara 120 hingga 150 bar, yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan proses Haber-Bosch tradisional berkat efisiensi desain reaktor KBR (Ghias & Murtaza, 2022). Reaksi ini berlangsung di dalam reaktor (seringkali menggunakan desain *KBR Magnetite* atau *KAAP Ruthenium-based converter*) pada rentang temperatur 350°C hingga 520°C . Pengendalian suhu ini sangat krusial; suhu tinggi diperlukan untuk memicu aktivitas katalitik, namun karena reaksi bersifat eksotermik, panas yang dihasilkan harus segera dikelola melalui sistem *inter-cooling* untuk menjaga kesetimbangan kimia agar tetap condong ke arah pembentukan produk NH_3 (Smith et al., 2021).



Efisiensi utama dari proses ini terletak pada mekanisme *Gas Recycle* dan sistem pemisahan produk. Karena konversi gas dalam satu kali lewati (*single pass*) hanya mencapai kisaran 20-30%, gas sisa yang tidak bereaksi dipisahkan dari amonia cair melalui proses pendinginan (*refrigerasi*) hingga suhu mencapai -33°C pada tekanan atmosferik atau melalui pemisahan tingkat lanjut pada tekanan tinggi. Gas sisa tersebut kemudian disirkulasikan kembali ke dalam loop sintesis menggunakan *recycle compressor* (Wang, 2021). Untuk mencegah akumulasi gas inert seperti argon dan metana yang dapat menurunkan tekanan parsial reaktan, sebagian aliran gas dibuang melalui sistem *purge*. Pada teknologi terbaru KBR, gas buang ini diproses kembali dalam unit *Hydrogen Recovery* untuk mengambil sisa

hidrogen, sehingga memaksimalkan efisiensi penggunaan bahan baku secara keseluruhan (Bicer et al., 2020). Berikut *flowsheet* dasar dari proses Kellogg *Brown and Root* :

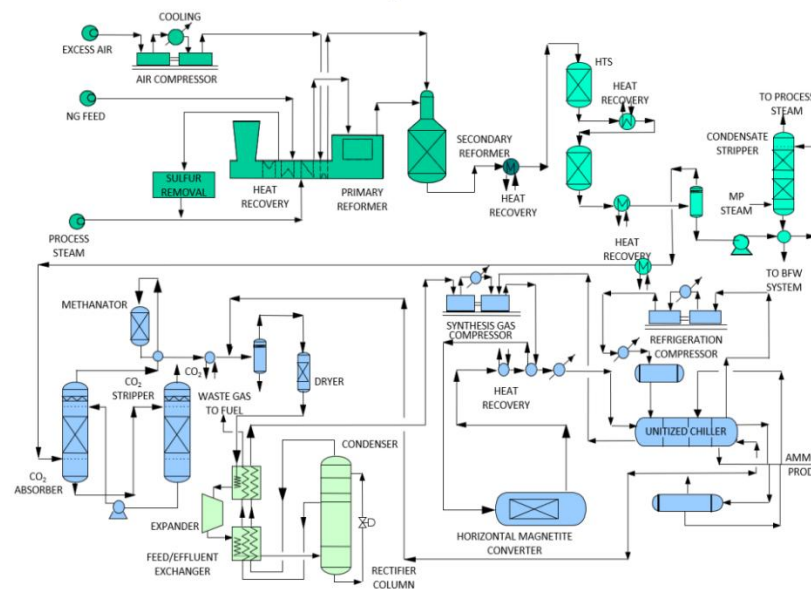


Fig : KBR Purifier™ for 6,000 MTPD Ammonia Plant

Gambar 1.8 *Flowsheet* Dasar Produksi Amonia Menggunakan Proses Kellogg *Brown and Root*

(Kellogg Brown & Root, 2022)

Analisis ekonomi awal dilakukan untuk mengetahui potensi keuntungan kotor (*Gross Profit Margin*) dari proses produksi Amonia melalui KBR. Perhitungan ini didasarkan pada stoikiometri reaksi ideal untuk memproduksi produk Amonia dengan asumsi konversi sempurna pada perhitungan neraca massa teoritis. Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1.15.

Tabel 1.15 Analisa Ekonomi Awal Proses Kellogg *Brown and Root* :

Parameter	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Produk NH ₃
BM (g/mol)	28	16	18	17
Harga per kg	Rp336,42	Rp 5.175,39	Rp 1.062,50	Rp 5.779,54
Kebutuhan	0,5 kmol × 28 kg/kmol = 14 kg	(0,95 × 0,375) kmol × 16 kg/kmol = 5,70 kg	(0,95 × 0,75) kmol × 18 kg/kmol = 12,83 kg	1 kmol × 17 kg/kmol = 17 kg
Harga total	14 × 336,02 = Rp 4.704,28	5,70 × 5.175,39 = Rp 29.499,72	12,83 × 1.062,50 = Rp 13.626,56	17 × 5.779,54 = Rp 98.252,25

Parameter	N ₂	CH ₄	H ₂ O	Produk NH ₃
Analisa Ekonomi awal	$\begin{aligned} & \text{Rp } 98.252,25 - (\text{Rp } 4.704,28 + \text{Rp } 29.499,72 + 13.626,56) \\ & = \text{Rp } 98.252,25 - 47.830,56 \\ & = \text{Rp.50.421,69} \end{aligned}$			

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{\text{Keuntungan}}{\text{Harga Bahan Baku}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Keuntungan} = \frac{50.421,69}{98.252,25} \times 100\%$$

$$\% \text{ Keuntungan} = 51,84\%$$

Maka persentase keuntungan produksi Amonia yang didapat dari Proses Kellog *Brown and Root* yaitu sebesar 51,84%

Proses yang dipilih harus mampu menghasilkan produk dengan kualitas yang memenuhi spesifikasi, memiliki tingkat konversi yang tinggi, mudah dioperasikan, serta memberikan dampak lingkungan dan biaya produksi yang dapat dikendalikan. Oleh karena itu, perbandingan ketiga proses ini dilakukan untuk mengevaluasi keunggulan dan keterbatasan masing-masing proses berdasarkan beberapa parameter penting, seperti bahan baku, reaksi yang terjadi, kondisi operasi, jenis reaktor, konversi, dampak lingkungan, serta biaya operasi dan kelayakan ekonomi awal. Hasil dari perbandingan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan proses yang paling sesuai untuk perancangan pabrik ammonia, disajikan pada Tabel 1.16.

Tabel 1.16 Perbandingan Proses Produksi Amonia

No.	Faktor Pemingding	Proses Pembuatan		
		<i>Coal-Based Partial Oxidation</i>	<i>Haber-Bosch</i>	KBR
1.	Bahan Baku	Batubara	H ₂ dan N ₂	H ₂ dan N ₂
2.	Reaksi	Gasifikasi batubara + sintesis NH ₃	N ₂ + 3H ₂ ⇌ 2NH ₃	N ₂ + 3H ₂ ⇌ 2NH ₃
3.	Kondisi Operasi	400-500 °C (150 – 250 bar)	430 -500 °C (150 – 250 bar)	400-800 °C (80 – 150 bar)
4.	Jenis Reaksi	Endoterm & eksoterm	Eksoterm	Eksoterm
5.	Jenis Reaktor	<i>Fixed-bed</i>	<i>Fixed-bed</i>	<i>Fixed-bed</i>
6.	Koversi	15-20%	15-20%	15-25%
7.	Impuritas	Tinggi (abu, sulfur, tar)	Lebih tinggi	sedang

No.	Faktor Pemanding	Proses Pembuatan		
		<i>Coal-Based Partial Oxidation</i>	<i>Haber-Bosch</i>	KBR
	Emisi CO ₂	Sangat tinggi	Rendah-sedang	rendah
8.	Dampak lingkungan	Tinggi	Rendah-lebih sedang	sedang
9.	Biaya Operasi	Tinggi	Sedang dan stabil	Rendah-sedang
10.	Analisa Ekonomi Awal	Rp. 47.504,22	Rp. 48.151,88	Rp. 50.421,69

Berdasarkan hasil perbandingan yang disajikan pada table diatas, proses **Kellogg Brown and Root** dipilih sebagai dasar perancangan pabrik amonia dengan adanya pertimbangan sebagai berikut :

1. Proses Kellogg memiliki konversi 15-25%, sehingga pembentukan NH₃ lebih efisien dan kehilangan reaktan sangat kecil.
2. Bahan baku H₂ dan N₂ pada proses KBR relatif lebih bersih, sehingga risiko peracunan katalis lebih kecil dan umur katalis lebih panjang.
3. Biaya operasi tergolong rendah-sedang karena efisiensi energi tinggi, konversi besar, serta kebutuhan pemurnian gas yang tidak terlalu kompleks.
4. Nilai analisa ekonomi awal (Rp.50.421,69) menunjukkan potensi keuntungan yang lebih baik dibandingkan proses lainnya.

1.8 Pemilihan Bahan Baku

Dengan terpilihnya proses Kellogg Brown and Root (KBR) sebagai dasar perancangan pabrik, maka tahap selanjutnya dalam perancangan adalah menentukan bahan baku yang sesuai dengan karakteristik proses tersebut. Pemilihan bahan baku menjadi sangat penting karena akan mempengaruhi kinerja proses, efisiensi reaksi, kebutuhan pemurnian, serta biaya produksi secara keseluruhan. Selain itu, kesesuaian bahan baku dengan teknologi proses yang dipilih juga berperan dalam menjaga stabilitas operasi pabrik dan umur pakai katalis yang digunakan pada proses sintesis ammonia. Oleh karena itu, setelah proses produksi ditentukan, perlu dilakukan kajian mengenai pemilihan bahan baku utama yang akan digunakan dalam proses produksi amonia.

Pemilihan bahan baku merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan suatu pabrik kimia karena akan mempengaruhi efisiensi proses, biaya produksi, ketersediaan bahan, serta keberlanjutan operasi pabrik dalam jangka panjang. Dalam perancangan pabrik amonia ini, bahan baku utama yang digunakan adalah nitrogen (N_2) dan hidrogen (H_2). Nitrogen diperoleh dari udara, sedangkan hidrogen diperoleh dari gas alam melalui proses reforming. Pemilihan kedua bahan baku ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan sumber, kemudahan pengolahan, kematangan teknologi, serta aspek ekonomi proses. Amonia merupakan salah satu bahan kimia penting yang banyak digunakan sebagai bahan baku industri pupuk, bahan peledak, bahan kimia dasar, serta berbagai produk industri lainnya (Appl, 1999). Reaksi pembentukan amonia dapat dituliskan sebagai berikut:



Reaksi tersebut bersifat eksotermis dan berlangsung pada temperatur sekitar 400–500°C dan tekanan tinggi sekitar 150–300 atm dengan katalis berbasis besi (Towler & Sinnott, 2013).

1.8.1 Nitrogen dari Udara

Nitrogen merupakan salah satu bahan baku utama dalam proses sintesis amonia. Nitrogen dipilih berasal dari udara karena udara mengandung sekitar 78% nitrogen sehingga sangat melimpah dan mudah diperoleh. Selain itu, pemanfaatan udara sebagai sumber nitrogen tidak memerlukan sumber bahan baku khusus sehingga sangat ekonomis untuk digunakan pada skala industri. Udara atmosfer merupakan campuran berbagai gas dengan komposisi utama nitrogen, oksigen, argon, karbon dioksida, serta sejumlah kecil gas lainnya. Komposisi udara kering secara umum dapat dilihat pada Tabel 1.17.

Tabel 1.17 Komposisi Udara

Komponen	Persentase Volume (%)
Nitrogen	78,08
Oksigen	20,95
Argon	0,93
Karbon Dioksida	0,04

Sumber: (Perry & Green, 2008)

Nitrogen yang digunakan dalam produksi amonia biasanya diperoleh melalui proses pemisahan udara menggunakan Air Separation Unit (ASU). Metode yang paling umum digunakan adalah distilasi kriogenik, yaitu proses pemisahan komponen udara berdasarkan perbedaan titik didih pada temperatur sangat rendah. Metode ini mampu menghasilkan nitrogen dengan kemurnian tinggi yang dibutuhkan untuk proses sintesis amonia. Selain distilasi kriogenik, teknologi lain seperti pressure swing adsorption (PSA) dan membrane separation juga dapat digunakan untuk memisahkan nitrogen dari udara, terutama pada kapasitas produksi yang lebih kecil. Namun, untuk kapasitas produksi besar seperti pada pabrik amonia, distilasi kriogenik masih menjadi metode yang paling umum digunakan karena efisiensi dan kemurnian produk yang dihasilkan lebih tinggi (Appl, 1999).

Penggunaan udara sebagai sumber nitrogen memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

1. Ketersediaan yang melimpah

Udara tersedia secara bebas di atmosfer sehingga tidak menimbulkan keterbatasan pasokan bahan baku.

2. Biaya bahan baku rendah

Karena udara merupakan sumber yang tidak terbatas, biaya bahan baku nitrogen relatif rendah dibandingkan dengan bahan baku lainnya.

3. Teknologi pemisahan yang sudah berkembang

Teknologi pemisahan nitrogen dari udara telah digunakan secara luas di berbagai industri sehingga proses operasinya telah teruji dan efisien.

Dengan mempertimbangkan faktor tersebut, penggunaan udara sebagai sumber nitrogen menjadi pilihan yang paling umum dan ekonomis dalam industri produksi amonia.

1.8.2 Hidrogen dari Gas Alam

Selain nitrogen, hidrogen merupakan bahan baku utama dalam produksi amonia. Hidrogen dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti gas alam, minyak bumi, batubara, maupun melalui elektrolisis air. Namun, pada industri amonia modern, hidrogen umumnya diperoleh dari gas alam karena prosesnya lebih

ekonomis dan teknologinya telah berkembang dengan baik. Gas alam sebagian besar terdiri dari metana (CH_4) dengan kandungan mencapai sekitar 70–95%. Metana merupakan senyawa hidrokarbon yang memiliki rasio hidrogen tinggi sehingga sangat cocok digunakan sebagai sumber hidrogen dalam produksi amonia. Komposisi umum gas alam dapat dilihat pada Tabel 1.18.

Tabel 1.18 Komposisi Gas Alam

Komponen	Presentase Volume (%)
Metana	70-95
Etana	1-10
Propana	<5
Karbon Dioksida	<2
Nitrogen	<5

Sumber: (Towler & Sinnott, 2013)

Hidrogen dari gas alam diperoleh melalui proses *Steam Methane Reforming* (SMR). Pada proses ini metana direaksikan dengan uap air pada temperatur tinggi sekitar 700–1000°C dengan bantuan katalis nikel untuk menghasilkan gas sintesis yang mengandung karbon monoksida dan hidrogen. Reaksi utama pada proses reforming adalah:



Selanjutnya karbon monoksida yang dihasilkan akan direaksikan kembali dengan uap air melalui reaksi water gas shift untuk menghasilkan hidrogen tambahan:



Gas yang dihasilkan kemudian dimurnikan untuk menghilangkan karbon dioksida dan pengotor lainnya sehingga diperoleh hidrogen dengan kemurnian tinggi yang siap digunakan dalam proses sintesis amonia. Pemilihan gas alam sebagai bahan baku hidrogen didasarkan pada beberapa pertimbangan berikut:

1. Kandungan hidrogen tinggi

Metana memiliki rasio hidrogen yang tinggi sehingga dapat menghasilkan hidrogen dalam jumlah besar.

2. Teknologi proses yang matang

Proses steam methane reforming telah digunakan secara luas dalam industri kimia sehingga teknologi ini telah terbukti efisien dan dapat diandalkan.

3. Biaya produksi yang lebih ekonomis

Dibandingkan dengan metode lain seperti elektrolisis air, produksi hidrogen dari gas alam masih lebih ekonomis untuk skala industri besar.

Saat ini sekitar 70–80% produksi amonia dunia menggunakan gas alam sebagai bahan baku utama hidrogen, sehingga metode ini menjadi standar dalam industri amonia modern (IEA, 2021).

Berdasarkan analisis ketersediaan bahan baku, kemudahan proses pengolahan, kematangan teknologi, serta pertimbangan ekonomi, maka bahan baku yang dipilih dalam perancangan pabrik amonia ini adalah:

- Nitrogen dari udara
- Hidrogen dari gas alam

Kombinasi kedua bahan baku tersebut merupakan pilihan yang paling umum digunakan dalam industri amonia modern karena mampu memberikan efisiensi proses yang tinggi serta biaya produksi yang relatif rendah.

1.9 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika berfungsi untuk menentukan apakah reaksi sintesis amonia berlangsung secara eksotermis atau endotermis. Secara termodinamika, reaksi pembentukan amonia dari nitrogen dan hidrogen dipengaruhi oleh perubahan entalpi (ΔH), energi Gibbs (ΔG), dan konstanta kesetimbangan (K) yang menentukan spontanitas reaksi serta kondisi kesetimbangan pada berbagai temperatur dan tekanan.

1. Pada keadaan kesetimbangan



Tabel 1.19 Harga ΔH°_f dan ΔG°_f masing-masing komponen

Komponen	ΔH°_f (Kj/mol)	ΔG°_f (Kj/mol)
N ₂ (Nitrogen)	0	0
H ₂ (Hidrogen)	0	0
NH ₃ (Amonia)	-46,11	-16,45

Sumber: (Yaws, 1999)

Panas reaksi standar (ΔH° 298 K)

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = \Delta H^\circ \text{ produk} - \Delta H^\circ \text{ reaktan}$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = (\Delta H^\circ \text{ NH}_3) - (\Delta H^\circ \text{ N}_2 + \Delta H^\circ \text{ H}_2)$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = (2(-46,11) - ((0) + 3(0)))$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = -92,22 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta H^\circ \text{ reaksi} = -92.220 \text{ J/mol}$$

Reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis karena harga entalpi reaksi bernilai negative. Reaksi berjalan searah atau bolak balik dapat diketahui dari harga konstanta kesetimbangan (K), menurut persamaan.

$$\ln K = - \Delta G^\circ / RT \dots\dots\dots (1.13)$$

Dimana:

$$\Delta G^\circ = \text{Energi bebas gibbs}$$

$$R = \text{Konstanta gas}$$

$$T = \text{Suhu}$$

$$K = \text{Konstanta Kesetimbangan}$$

Energi gibbs standar (ΔG° f 298 K)

$$\Delta G^\circ \text{ reaksi} = \Delta G^\circ \text{ produk} - \Delta G^\circ \text{ reaktan}$$

$$\Delta G^\circ \text{ reaksi} = (2(-16,45)) - ((0) + 3(0))$$

$$\Delta G^\circ \text{ reaksi} = -32,90 \text{ KJ/mol}$$

$$\Delta G^\circ \text{ reaksi} = -32.900 \text{ J/mol}$$

$$\ln K = - \frac{\Delta G^\circ}{RT}$$

$$\ln K = \frac{-(-32.900)}{8,314 \times 298}$$

$$\ln K = \frac{32.900}{2.477,57}$$

$$\ln K = 13,28$$

$$K = e^{13,28}$$

$$K \approx 5,85 \times 10^5$$

Nilai K yang diperoleh sangat besar ($K \gg 1$) yang menunjukkan bahwa pada kondisi standar, kesetimbangan sangat jauh ke produk (NH_3)

1.10 Pemilihan Lokasi

Pemilihan lokasi pabrik merupakan salah satu faktor krusial yang menentukan keberhasilan dan keberlanjutan suatu industri. Lokasi yang strategis akan memberikan keuntungan kompetitif, terutama dalam meminimalkan biaya produksi dan distribusi (*production and distribution cost*). Penentuan lokasi pabrik harus mempertimbangkan berbagai faktor, baik faktor utama (*primary factors*) seperti ketersediaan bahan baku dan pemasaran, maupun faktor pendukung seperti utilitas, iklim, dan kondisi sosial masyarakat. Lokasi pendirian pabrik didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan teknis dan ekonomis sebagai berikut:

1.10.1 Faktor Primer

Adapun faktor-faktor primer diantaranya sebagai berikut :

1. Penyediaan bahan baku

Bahan baku merupakan faktor utama dalam kelangsungan operasi suatu pabrik. Bahan baku ammonia adalah nitrogen dan hidrogen. Hidrogen umumnya diperoleh dari gas alam melalui proses steam reforming. Lhokseumawe memiliki keunggulan karena berada di dekat dengan Andaman, Cadangan gas alam arun, infrastruktur LNG dan jaringan gas telah tersedia sejak lama. Sehingga pasokan gas alam sebagai sumber hidrogen dapat lebih mudah diperoleh dengan biaya transportasi lebih rendah. Sedangkan nitrogen diperoleh dari udara atmosfer melalui unit pemisahan udara (air separation unit). Karena udara tersedia di semua Lokasi, penyediaan nitrogen tidak menjadi kendala di Lhokseumawe.

2. Letak Pasar dan Kondisi Pemasaran

Amonia merupakan intermediate utama dalam industri petrokimia, terutama sebagai bahan baku produk pupuk urea, pupuk ammonium. Dapat memenuhi kebutuhan pupuk untuk wilayah Indonesia bagian barat, dekat dengan Kawasan pertanian di Sumatera Utara, Riau, Sumatera Barat. Lokasi strategis untuk ekspor ke negara Asia Selatan melalui Selat Malaka.

3. Sarana Transportasi dan Infrastruktur Logistik

Lhokseumawe memiliki keunggulan strategis dalam aspek sarana transportasi dan infrastruktur logistik yang mendukung pendirian pabrik ammonia skala besar. Keberadaan Pelabuhan Industri Arun memberikan akses langsung bagi

kegiatan bongkar muat bahan baku serta distribusi produk amonia dalam jumlah besar. Selain itu, posisinya yang berdekatan dengan jalur pelayaran internasional Selat Malaka menjadikan wilayah ini memiliki konektivitas tinggi terhadap jalur perdagangan regional maupun global, sehingga mendukung efisiensi rantai pasok industri kimia dan pupuk secara berkelanjutan. Dari sisi transportasi darat, Lhokseumawe didukung oleh jaringan jalan utama yang menghubungkan Aceh dengan wilayah Sumatera Utara dan kawasan industri lainnya di Pulau Sumatera. Kondisi ini mempermudah penyaluran produk ke pasar domestik, khususnya sektor pertanian dan industri pupuk di Indonesia bagian barat. Dengan kombinasi akses laut dan darat yang memadai, Lokasi ini berpotensi menekan biaya distribusi, meningkatkan fleksibilitas logistik, serta memperkuat daya saing pabrik ammonia baik untuk kebutuhan nasional maupun peluang ekspor internasional.

4. Penyediaan Utilitas

Penyediaan utilitas merupakan aspek krusial dalam pendirian pabrik amonia di Lhokseumawe karena proses Kellogg membutuhkan suplai energi dan fasilitas pendukung dalam jumlah besar, seperti listrik, steam, air pendingin, serta bahan bakar untuk unit reformer. Keunggulan utama Lhokseumawe terletak pada keberadaan Kawasan Ekonomi Khusus Arun yang tengah dikembangkan sebagai kawasan industri terpadu, sehingga menyediakan potensi infrastruktur utilitas yang dapat dimanfaatkan secara terintegrasi. Selain itu, ketersediaan gas alam lokal menjadi faktor strategis dalam menjamin pasokan energi sekaligus menekan biaya operasional, sementara sumber air dari jaringan kawasan dan lingkungan sekitar dapat menunjang kebutuhan proses secara berkelanjutan. Meskipun demikian, penguatan dan modernisasi sistem utilitas tetap diperlukan agar kapasitas layanan energi dan fasilitas pendukung dapat optimal untuk mendukung operasi pabrik ammonia skala besar secara efisien dan kompetitif.

5. Tenaga Kerja dan Sumber Daya Manusia

Industri kimia berteknologi tinggi membutuhkan personel terampil, baik pada tahap konstruksi maupun operasional, seperti operator proses, teknisi instrumentasi, ahli keselamatan kerja, serta engineer kimia dan mesin. Lhokseumawe memiliki potensi yang cukup baik karena wilayah ini sebelumnya

telah berkembang sebagai kawasan industri energi dan pupuk di sekitar Arun, sehingga tersedia tenaga kerja lokal yang relatif familiar dengan lingkungan industri berat. Selain itu, keberadaan perguruan tinggi dan institusi pendidikan di Aceh dan Sumatera bagian utara dapat menjadi sumber penyediaan tenaga kerja baru yang dapat dilatih sesuai kebutuhan teknologi kellog *brown and root*. Dengan dukungan program pelatihan, pengembangan kompetensi, dan transfer teknologi, sumber daya manusia di Lhokseumawe dapat menjadi faktor pendukung utama dalam menjamin keberlanjutan operasi pabrik serta meningkatkan kontribusi ekonomi bagi masyarakat sekitar.

6. Harga Tanah dan Bangunan

Ketersediaan lahan menjadi faktor primer dalam pendirian pabrik ammonia karena fasilitas produksi seperti unit reformer, kompresor, reaktor kellog *brown and root*, serta tangki penyimpanan membutuhkan area yang sangat luas untuk menjamin kelancaran operasi dan keselamatan industri. Lhokseumawe memiliki keunggulan karena lahan industri yang tersedia relatif lebih lapang dibandingkan kawasan padat di Pulau Jawa, sehingga memungkinkan pembangunan pabrik skala besar dengan tata letak yang lebih optimal. Selain itu, harga tanah di wilayah ini cenderung lebih rendah dibandingkan kawasan industri mapan seperti Bontang atau Cilegon, sementara keberadaan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Arun menyediakan kawasan siap guna yang mendukung percepatan pembangunan. Kondisi tersebut secara langsung berkontribusi pada penurunan biaya investasi awal dan meningkatkan efisiensi perencanaan pendirian pabrik amonia.

7. Kondisi Masyarakat Sekitar dan Dukungan Lingkungan

Kondisi masyarakat dan dukungan lingkungan merupakan pertimbangan fundamental dalam pendirian pabrik amonia di Lhokseumawe, mengingat industri kimia skala besar berpotensi menimbulkan dampak sosial maupun ekologis. Masyarakat sekitar relatif telah terbiasa dengan aktivitas industri sejak keberadaan kawasan Arun, sehingga penerimaan sosial terhadap pengembangan pabrik baru cenderung lebih terbuka, terutama karena peluang penciptaan lapangan kerja dan peningkatan ekonomi lokal. Selain itu, lokasi yang berada dalam Kawasan Ekonomi Khusus Arun memberikan kerangka tata ruang dan regulasi yang lebih

terstruktur, termasuk kemudahan pengelolaan AMDAL serta perencanaan kawasan industri terpadu. Meskipun demikian, penerapan teknologi modern yang efisien dan sistem pengolahan limbah yang ketat tetap diperlukan untuk memastikan bahwa operasi pabrik berlangsung secara berkelanjutan, ramah lingkungan, dan selaras dengan prinsip pembangunan industri hijau.

1.10.2 Faktor Sekunder

Adapun faktor-faktor sekunder diantaranya sebagai berikut :

1. Perluasan Area Pabrik

Perluasan area pabrik merupakan aspek strategis dalam pendirian pabrik amonia di Lhokseumawe, karena industri amonia skala besar membutuhkan ruang tambahan untuk pengembangan kapasitas produksi, pembangunan unit utilitas baru, maupun penambahan fasilitas penyimpanan dan distribusi. Keunggulan wilayah ini terletak pada ketersediaan lahan yang relatif luas, terutama di kawasan KEK Arun, sehingga memungkinkan ekspansi industri secara bertahap tanpa menghadapi keterbatasan ruang seperti di kawasan industri padat.

2. Kebijakan Pemerintah dan Dukungan Regulasi

Pendirian pabrik amonia di Lhokseumawe didukung oleh kebijakan pemerintah melalui pengembangan Kawasan Ekonomi Khusus Arun yang dirancang sebagai pusat industri energi dan petrokimia. Status KEK memberikan keuntungan berupa kemudahan perizinan, insentif fiskal, serta dukungan infrastruktur yang terarah, sehingga menciptakan iklim investasi yang lebih kondusif bagi pembangunan industri kimia strategis seperti amonia.

3. Ketersediaan Fasilitas Penunjang Industri

Keberhasilan operasional pabrik amonia sangat bergantung pada fasilitas penunjang seperti pelabuhan industri, jaringan listrik, pasokan air, serta sistem distribusi gas alam. Lhokseumawe memiliki potensi kuat karena kawasan Arun telah memiliki fasilitas industri dasar peninggalan sektor LNG dan pupuk, sehingga pembangunan pabrik baru dapat memanfaatkan infrastruktur awal yang sudah tersedia dan mengurangi biaya pembangunan pendukung dari nol.

4. Keamanan dan Stabilitas Kawasan Industri

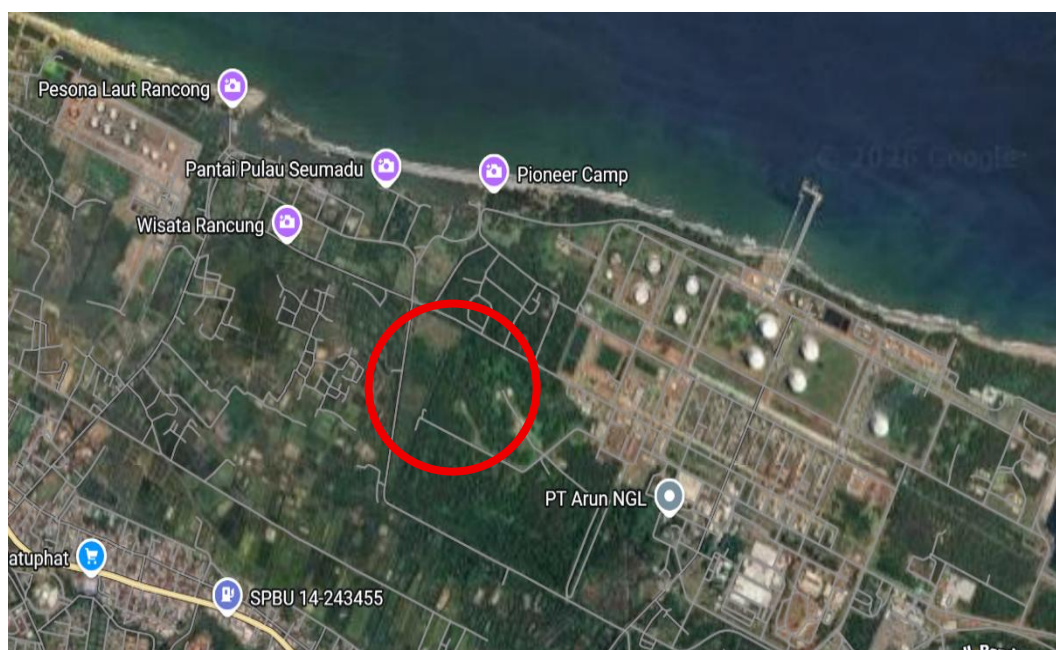
Keamanan dan stabilitas kawasan menjadi faktor penting untuk menjamin

kelangsungan operasi pabrik secara jangka panjang. Lhokseumawe sebagai kawasan industri strategis nasional terus mengalami penguatan sistem keamanan dan pengelolaan kawasan melalui pengawasan pemerintah serta pengembangan KEK, sehingga stabilitas sosial dan industri dapat lebih terjamin untuk mendukung investasi besar dalam sektor kimia.

5. Faktor Lingkungan dan Tata Ruang Wilayah

Aspek lingkungan dan tata ruang menjadi pertimbangan utama karena industri amonia melibatkan proses bertekanan tinggi dan emisi tertentu yang harus dikendalikan. **Lokasi daerah KEK Arun, Muara Satu, Kota Lhokseumawe, Aceh** memberikan keuntungan karena telah direncanakan sebagai zona industri, sehingga lebih sesuai dari segi tata ruang dan pengendalian dampak lingkungan. Dengan penerapan teknologi modern berbasis efisiensi energi dan integrasi panas, pabrik amonia di Lhokseumawe berpotensi memenuhi prinsip industri berkelanjutan sekaligus meminimalkan dampak terhadap ekosistem sekitar.

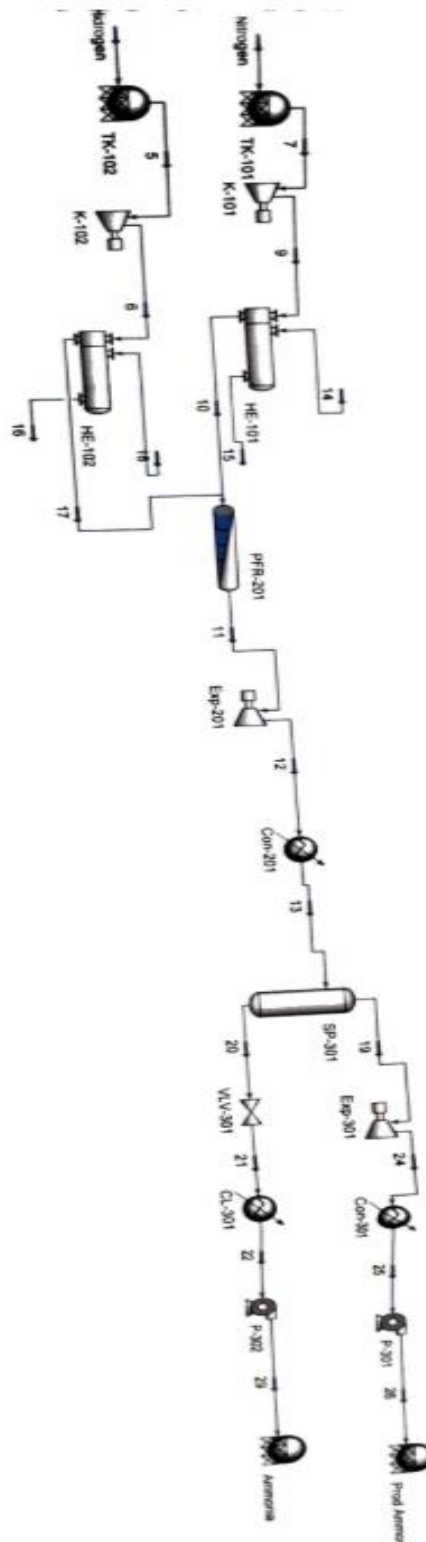
Berikut merupakan lokasi pabrik yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 1.9.



Gambar 1.9 Penentuan Lokasi Pabrik Amonia

1.11 Rencana Optimasi Energi dan Bahan Baku

Berikut merupakan flowsheet terdahulu dari judul Pra Rancangan Pabrik Amonia dari Nitrogen dan Hidrogen menggunakan Proses Kellog, Angkatan 2019. Diagram alir tersebut menggambarkan tahapan utama proses produksi amonia, mulai dari penanganan bahan baku, tahap kompresi, pemanasan, reaksi sintesis, hingga proses pemisahan dan pemurnian produk. Flowsheet terdahulu dapat dilihat pada Gambar 1.10.



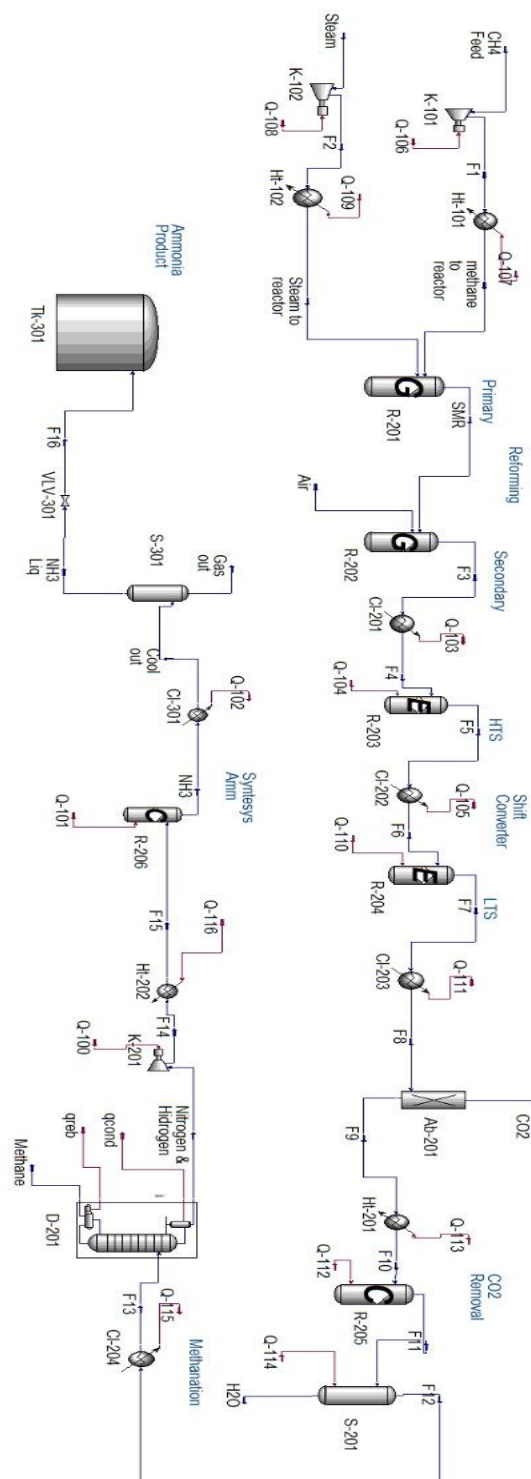
Gambar 1.10 *Flowsheet* Amonia dari Proses Kellog yang Dibuat Oleh Angkatan

2019

Adapun kelemahan dari Flowsheet di atas adalah sebagai berikut:

1. Ketidaktepatan dalam sistem penyimpanan bahan baku. Pada *flowsheet* ditampilkan sistem penyimpanan untuk bahan baku gas berupa tangki. Penyimpanan nitrogen dan hidrogen seharusnya tidak dirancang menggunakan tangki atau sistem penyimpanan gas.
2. Belum diterapkannya strategi optimasi energi dan bahan baku. *Flowsheet* awal belum menunjukkan adanya integrasi panas (*heat integration*), pemanfaatan kembali aliran tak bereaksi (*recycle*), maupun upaya minimisasi konsumsi energi dan bahan baku.
3. Ketergantungan pada utilitas eksternal. Masih terdapat penggunaan *heater* dan *cooler* yang sepenuhnya bergantung pada sumber energi dari luar sistem proses, tanpa adanya pemanfaatan panas buangan (*waste heat recovery*) dari unit lain. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi energi antar-unit belum dioptimalkan.
4. Sistem *heat exchanger* masih bergantung pada utilitas eksternal. Penukar panas yang digunakan dalam *flowsheet* masih memperoleh suplai energi sepenuhnya dari utilitas eksternal, tanpa adanya pemanfaatan panas dari aliran proses lain. Kondisi ini menunjukkan bahwa integrasi energi internal belum diterapkan secara optimal.
5. Belum diterapkannya sistem pertukaran energi antar-aliran proses. *Flowsheet* belum menunjukkan adanya jaringan penukar panas (*heat exchanger network*) yang memungkinkan terjadinya pertukaran panas antara aliran panas dan aliran dingin di dalam proses. Akibatnya, potensi efisiensi energi yang dapat diperoleh melalui integrasi panas belum dimanfaatkan.
6. Sistem pengendalian temperatur reaktor belum dirancang secara memadai. Reaktor sintesis amonia merupakan unit operasi yang sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Pada *flowsheet* awal belum ditunjukkan adanya sistem pengendalian temperature atau pengaturan laju alir, sehingga kestabilan operasi dan efisiensi konversi reaksi belum terjamin.

Berikut merupakan rencana prarancangan yang akan kami buat dapat dilihat pada Gambar 1.8.



Gambar 1.11 *Flowsheet* Rencana Prarancangan Pabrik Amonia

Berdasarkan Gambar 1.11 di atas, maka akan dirancang pabrik hidrogen dan pabrik nitrogen sebelum pabrik utama yaitu pabrik ammonia. Sebelum memasuki unit sintesis ammonia, akan dirancang pabrik nitrogen dan pabrik hidrogen yang berfungsi untuk memasok gas reaktan secara berkesinambungan. Pabrik nitrogen direncanakan menggunakan udara sebagai bahan baku utama, sementara itu pabrik hidrogen dirancang dengan memanfaatkan gas alam sebagai bahan baku yang akan diolah melalui proses reforming dan pemurnian guna menghasilkan hidrogen berkadar tinggi. Dengan demikian, sistem produksi yang direncanakan terdiri atas tiga unit pabrik yang terintegrasi, yaitu pabrik nitrogen, pabrik hidrogen, dan pabrik ammonia sebagai unit utama, sehingga kontinuitas pasokan bahan baku serta efisiensi operasional dapat terjamin. Berikut rencana optimasi yang akan dilakukan:

1. Pemanfaatan panas gas keluaran reaktor. Reaksi sintesis ammonia bersifat eksotermis, sehingga gas keluaran reaktor memiliki temperature tinggi.
2. Optimasi bahan baku dengan memasang sistem gas *recycle* untuk mengurangi kehilangan bahan baku, meningkatkan efisiensi penggunaan H_2 dan N_2 .
3. Memastikan rasio H_2 dan N_2 yaitu 3:1 dengan melakukan pengendalian rasio pas secara ketat sebelum masuk reaktor untuk menghindari kelebihan hidrogen dan nitrogen.
4. Optimasi energi menggunakan Heat Exchanger berbasis integrasi panas internal untuk mengurangi beban heater awal, mengurangi kebutuhan steam eksternal dan menstabilkan temperatur masuk reaktor.