

## ANALISIS PERFORMA REAKTOR KONVERSI AMONIA DITINJAU DARI RASIO H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> TERHADAP PERSEN MOL NH<sub>3</sub> OUTLET MELALUI SIMULASI ASPEN HYSYS V14

M. H. O. Putra<sup>1</sup>, R. Shirly<sup>2</sup> dan B. D. Afrah<sup>3\*</sup>

Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya, Palembang

\*Corresponding author e-mail: [bazlina.afrah@ft.unsri.ac.id](mailto:bazlina.afrah@ft.unsri.ac.id)

**ABSTRAK:** Kinerja reaktor konversi merupakan faktor kritis dalam menentukan efisiensi produksi amonia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performa reaktor konversi amonia dengan mengevaluasi pengaruh rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> terhadap persen mol NH<sub>3</sub> pada outlet serta konversi reaktan H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>. Analisis dilakukan dengan membandingkan data desain dengan data aktual selama 12 minggu menggunakan simulasi Aspen Hysys V14. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konversi aktual N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> serta persen mol NH<sub>3</sub> secara keseluruhan lebih rendah dibandingkan data desain. Konversi N<sub>2</sub> aktual berkisar antara 23,28% – 32,06% (rata-rata 27,65%), sedangkan desain sebesar 31,27%. Konversi H<sub>2</sub> aktual berada pada kisaran 26,85% – 29,73% (rata-rata 28,31%), lebih rendah dari desain 31,12%. Persen mol NH<sub>3</sub> aktual berkisar antara 15,41% – 17,16% (rata-rata 16,08%), sedangkan desain sebesar 17,78%. Rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> aktual juga bervariasi berkisar diantara 2,38 – 3,58 dan sering menyimpang dari rasio stoikiometri ideal 3:1, yang mempengaruhi efisiensi konversi. Pencapaian konversi dan produksi NH<sub>3</sub> yang maksimal memerlukan pengendalian ketat terhadap rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> yang ideal, yaitu sekitar 3:1.

Kata Kunci: Amonia, Aspen HYSYS, Persentase mol NH<sub>3</sub>, Rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>, Reaktor konversi amonia

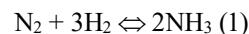
**ABSTRACT:** Conversion reactor performance is a critical factor in determining ammonia production efficiency. This study aims to analyze the performance of the ammonia conversion reactor by evaluating the effect of the H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> ratio on the mol percentage of NH<sub>3</sub> at the outlet and the conversion of H<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> reactants. The analysis was conducted by comparing the design data with the actual data for 12 weeks using Aspen Hysys V14 simulation. The simulation results show that the actual conversion of N<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> and the overall molar percentage of NH<sub>3</sub> are lower than the design data. The actual N<sub>2</sub> conversion ranges from 23.28% to 32.06% (average 27.65%), while the design is 31.27%. The actual H<sub>2</sub> conversion ranged from 26.85% to 29.73% (average 28.31%), lower than the design of 31.12%. The actual NH<sub>3</sub> mol percentage ranged from 15.41% to 17.16% (average 16.08%), while the design was 17.78%. The actual H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> ratio also varies between 2.38 and 3.58 and often deviates from the ideal stoichiometric ratio of 3:1, which affects conversion efficiency. Achieving maximum conversion and NH<sub>3</sub> production requires strict control of the ideal H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> ratio, which is around 3:1.

**Keywords:** Ammonia, Ammonia conversion reactor, Aspen HYSYS, H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> Ratio, NH<sub>3</sub> Mole Percent

### 1 Pendahuluan

Pabrik Pupuk memproduksi pupuk urea sebagai produk utama melalui reaksi antara amonia (NH<sub>3</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Amonia diperoleh dari reaksi antara gas sintesa nitrogen (N<sub>2</sub>) yang diambil dari udara dan hidrogen (H<sub>2</sub>) dari gas alam. Salah satu peralatan utama dalam proses sintesis amonia adalah reaktor konversi amonia, yaitu reaktor katalitik *fixed bed* yang dilengkapi *interchanger*. Menurut Agustria, et al. [1], kinerja reaktor konversi amonia sangat menentukan jumlah amonia yang dihasilkan melalui konversi gas nitrogen dan hidrogen. Dalam alat ini, gas sintesa (N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>) dari unit pemurnian gas sintesa akan direaksikan menjadi produk

ammonia. Reaktor konversi amonia berisikan *promoted iron catalyst*. Katalis ini terdapat dalam *bed* yang terdiri dari beberapa *catalyst bed* yang terpisah di dalam reaktor. Pada reaktor konversi amonia terjadi reaksi sebagai berikut:



Menurut Levenspiel [2], Reaksi yang terjadi pada reaktor konversi amonia bersifat eksotermis. Sebagaimana dibahas oleh Bahrin at al. [3], Ketika suhu meningkat, posisi kesetimbangan cenderung bergeser kembali ke sisi reaktan, sehingga jumlah amonia yang terbentuk menurun akibat sebagian produk terurai kembali menjadi zat asalnya. Pada *bed* pertama, produksi NH<sub>3</sub> meningkat secara

signifikan seiring dengan kenaikan suhu reaksi. Dilakukan proses pendinginan menggunakan *interchanger* agar temperatur gas sebelum memasuki *bed* kedua menurun. Penurunan suhu ini memicu kembali reaksi eksoterm yang menghasilkan kalor, sebagai bentuk keseimbangan terhadap panas yang sebelumnya berkurang. Reaksi akan bergeser ke arah kanan dan jumlah NH<sub>3</sub> yang terbentuk akan bertambah, meskipun peningkatannya tidak sebesar pada *bed* pertama. Proses berlanjut hingga *bed* terakhir, sehingga diperoleh hasil akhir sesuai yang diharapkan.

Optimalisasi konversi N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> menjadi NH<sub>3</sub> sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya rasio molar *feed* antara H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang secara teoritis harus memenuhi perbandingan 3:1. Sebagaimana dibahas oleh Nurisman, et al. [4], Rasio yang tidak terpenuhi dapat menurunkan performa dan kenaikan temperatur dapat menyebabkan penurunan derajat kesetimbangan amonia. Hal ini sejalan dengan temuan Aslan, et al. [5], yang menunjukkan bahwa rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> yang tidak ideal tidak hanya memengaruhi kesetimbangan, tetapi juga membatasi kinetika pembentukan NH<sub>3</sub>, di mana kelebihan salah satu komponen dapat menghambat laju reaksi serta menurunkan efisiensi konversi keseluruhan. Menurut Aziz, et al. [6], rasio yang seimbang sesuai stoikiometri tidak hanya mendukung pembentukan NH<sub>3</sub> yang optimal, tetapi juga mengurangi kebutuhan energi dalam sistem daur ulang gas dan meningkatkan efisiensi keseluruhan proses. Selain itu, komponen inert seperti argon dalam aliran *feed* juga dapat menyebabkan akumulasi di dalam sistem yang pada akhirnya menurunkan efisiensi konversi.

Dengan mempertimbangkan hal tersebut, dilakukan analisis kinerja reaktor konversi amonia untuk memastikan bahwa unit sintesis beroperasi dalam kondisi optimal dan efisien. Penelitian ini menganalisa pengaruh rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> terhadap konversi reaktan N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> serta persen mol NH<sub>3</sub>, menggunakan simulasi Aspen Hysys V14 dalam periode operasi pabrik selama 12 minggu. Melalui kajian ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman lebih mendalam mengenai hubungan antara parameter operasi dan hasil konversi amonia, sehingga dapat menjadi acuan dalam peningkatan performa proses.

## 2 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas khusus ini meliputi studi literatur, kegiatan observasi, serta proses pengumpulan dan pengolahan data. Evaluasi kinerja reaktor dilakukan selama 12 minggu, sehingga memungkinkan diperoleh hasil analisis yang lebih komprehensif dibandingkan apabila hanya mengandalkan

satu kali data. Pemeriksaan komposisi gas dilaksanakan satu kali setiap minggu, sehingga terkumpul sebanyak 12 set data.

### 2.1 Metode Perhitungan

Dalam menganalisis kinerja reaktor konversi amonia, baik melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Aspen Hysys maupun dengan perhitungan manual, diperlukan sejumlah data sebagai dasar pengolahan. Data tersebut dikelompokkan ke dalam dua jenis, yaitu data desain dan data aktual.

Data desain merupakan informasi spesifikasi teknis yang digunakan ketika reaktor konversi amonia pertama kali dirancang. Informasi ini mencakup:

- a) Komposisi %mol pada aliran masuk (*inlet*) dan keluar (*outlet*)
- b) Temperatur pada bagian *inlet* dan *outlet*
- c) Tekanan pada bagian *inlet* dan *outlet*
- d) Laju alir molar pada bagian *inlet* dan *outlet*

Data aktual adalah informasi yang diperoleh dari kondisi operasi nyata reaktor konversi amonia. Data ini diambil dari log sheet ruang kontrol Unit Amonia Pabrik Urea, sedangkan komposisi %mol ditentukan melalui hasil analisis laboratorium Pabrik. Adapun data yang diperlukan untuk analisis performa reaktor konversi amonia meliputi:

- a) Komposisi %mol pada *inlet* dan *outlet*
- b) Temperatur pada *inlet* dan *outlet* tiap *bed*
- c) Temperatur pada *inlet* reaktor konversi amonia
- d) Tekanan pada *inlet* reaktor konversi amonia
- e) Data *mass flow* pada aliran masuk
- f) Data Rasio reaktan H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

### 2.2 Perhitungan Konversi

Rumus yang digunakan dalam menghitung konversi adalah sebagai berikut:

Persamaan 1

$$\% \text{Konversi} = \frac{\text{Mol Input} - \text{Mol Output}}{\text{Mol Input}} \times 100\%$$

Sedangkan untuk menghitung rasio reaktan H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> digunakan persamaan:

Persamaan 2

$$\text{Rasio reaktan H}_2/\text{N}_2 = \frac{\text{Mole Fractions H}_2}{\text{Mole Fractions N}_2}$$

## 3 Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil

Tabel 3.1. Data Desain Temperatur Reaktor Konversi Amonia

Variabel	Bed 1		Bed 2A		Bed 2B	
	In	Out	In	Out	In	Out
T (°C)	352,0000	507,0000	382,0000	460,0000	460,0000	458,8000

Tabel 3.2. Data Aktual Temperatur Minggu ke-1 sampai Minggu ke-12

Minggu ke-	Temperatur Bed 1 (°C)		Temperatur Bed 2A (°C)		Temperatur Bed 2B (°C)	
	In	Out	In	Out	In	Out
1	367,5400	499,5400	381,5600	459,2300	459,2300	459,6100
2	363,5200	498,3000	377,4100	457,6800	457,6800	457,6800
3	363,5000	497,8000	378,7800	457,3900	457,3900	457,0800
4	365,0600	499,5400	379,1600	458,8900	458,8900	458,1000
5	367,7800	499,4600	372,1000	459,5600	459,5600	460,4300
6	366,5700	499,1600	381,4400	459,2400	459,2400	460,0400
7	365,9400	497,3400	380,0400	457,3900	457,3900	457,0900
8	371,7300	496,4400	388,2200	458,2400	458,2400	459,2200
9	372,3000	501,9200	387,5000	462,2900	462,2900	463,2300
10	365,1100	496,4200	380,5500	456,4000	456,4000	455,7200
11	366,9800	496,8900	382,0300	456,9800	456,9800	456,3600
12	367,8300	499,1500	383,3600	459,0400	459,0400	459,7200

Tabel 3.3. Hasil Pengolahan Data Desain

Variabel	Bed 1	Bed 2A	Bed 2B	Overall
Konversi H <sub>2</sub>	20,9946%	13,0108%	-0,2291%	31,1164%
Konversi N <sub>2</sub>	21,0973%	13,0914%	-0,2307%	31,2686%
Mol NH <sub>3</sub>	12,0128%	17,8647%	17,1777%	
Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	3,0147	3,0186	3,0214	

Tabel 3.4. Hasil Pengolahan Data Aktual Simulasi Konversi H<sub>2</sub>

Minggu ke-	Konversi H <sub>2</sub>			
	Bed 1	Bed 2A	Bed 2B	Overall
1	17,0239%	11,7873%	0,0638%	26,8513%
2	17,7995%	12,5717%	-0,8627%	27,5135%
3	18,3950%	12,8513%	-0,0531%	28,8446%
4	17,7786%	12,4991%	-0,0483%	28,0209%
5	17,9809%	14,1928%	0,1545%	29,7304%
6	18,1774%	12,7266%	0,1379%	28,6890%
7	17,7928%	12,4358%	-0,0623%	27,9711%
8	18,8484%	12,7432%	0,2184%	29,3444%
9	17,6322%	12,0581%	0,1716%	27,6884%
10	18,6185%	12,8969%	-0,1447%	29,0116%
11	17,8301%	12,2177%	-0,1146%	27,7868%
12	18,7870%	13,0177%	0,1164%	29,4413%

Tabel 3.5. Hasil Pengolahan Data Aktual Simulasi Konversi N<sub>2</sub>

Minggu ke-	Konversi N <sub>2</sub>			
	Bed 1	Bed 2A	Bed 2B	Overall
1	20,3292%	14,6598%	0,0821%	32,0646%
2	18,4234%	13,1118%	-0,9053%	28,4778%
3	17,5584%	12,1423%	-0,0498%	27,5327%
4	18,4111%	13,0441%	-0,0507%	29,0176%
5	17,5073%	13,7397%	0,1488%	28,9474%
6	16,8295%	11,5919%	0,1240%	26,5616%
7	17,8143%	12,4541%	-0,0624%	28,0048%
8	14,9561%	9,6489%	0,1597%	23,2846%
9	17,8611%	12,2487%	0,1747%	28,0480%
10	16,2211%	10,9147%	-0,1197%	25,2759%
11	17,6610%	12,0770%	-0,1131%	27,5232%
12	15,3854%	10,2321%	0,0887%	24,1106%

Tabel 3.6. Hasil Pengolahan Data Aktual Simulasi Persen Mol NH<sub>3</sub>

Minggu ke-	Rate Gas	Persen Mol NH <sub>3</sub>		
		Bed 1	Bed 2A	Bed 2B
1	97,9961%	10,3870%	16,0988%	16,1275%
2	102,9965%	10,4433%	16,3367%	15,9654%
3	109,1314%	10,5888%	16,4033%	16,3813%
4	103,8228%	10,6040%	16,4621%	16,4412%
5	109,5331%	10,6054%	17,0981%	17,1623%
6	112,6512%	10,5262%	16,2488%	16,3058%
7	106,9283%	10,3185%	16,0099%	15,9836%
8	126,0170%	10,0941%	15,3233%	15,4053%
9	108,6038%	10,2321%	15,7436%	15,8160%
10	117,0226%	10,2098%	15,8120%	15,7545%
11	109,6012%	10,1653%	15,6916%	15,6438%
12	120,3994%	10,3275%	15,9022%	15,9477%

Tabel 3.7. Hasil Pengolahan Data Aktual Simulasi Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>

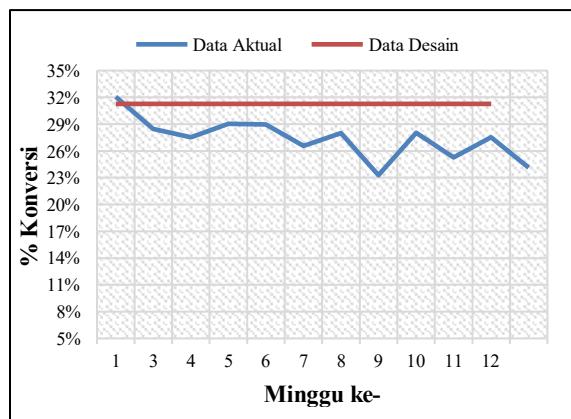
Minggu ke-	Rate Gas	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>3</sub>		
		Bed 1	Bed 2A	Bed 2B
1	97,9961%	3,5825	3,7311	3,8567
2	102,9965%	3,1051	3,1289	3,1483
3	109,1314%	2,8636	2,8345	2,8116
4	103,8228%	3,1067	3,1308	3,1504
5	109,5331%	2,9210	2,9042	2,8890
6	112,6512%	2,7775	2,7325	2,6975

7	106,9283%	3,0036	3,0044	3,0050
8	126,0170%	2,3805	2,2715	2,1937
9	108,6038%	3,0390	3,0474	3,0540
10	117,0226%	2,6137	2,5389	2,4824
11	109,6012%	2,9715	2,9654	2,9607
12	120,3994%	2,4568	2,3581	2,2849

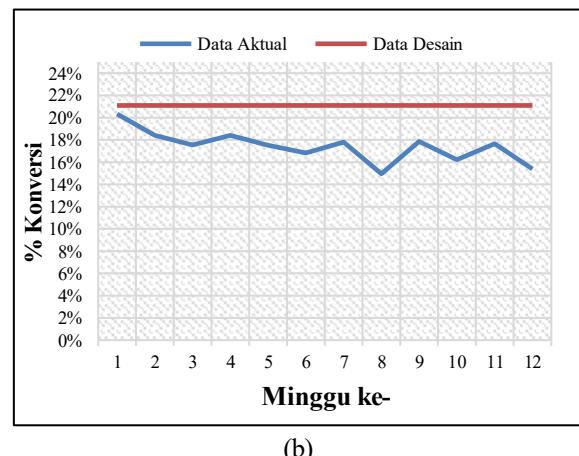
### 3.2 Pembahasan

Kinerja reaktor reaktor konversi amonia dinilai dari tingkat konversi nitrogen ( $N_2$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ) menjadi amonia ( $NH_3$ ). Secara operasional, bed 1 menjadi tahap utama konversi, diikuti bed 2A dan 2B sebagai penyempurna. Efektivitasnya salah satunya bergantung pada rasio  $H_2:N_2$ . Pengendalian rasio  $H_2:N_2$  terbukti penting untuk memaksimalkan konversi, meningkatkan hasil amonia, dan menjaga efisiensi reaktor secara keseluruhan.

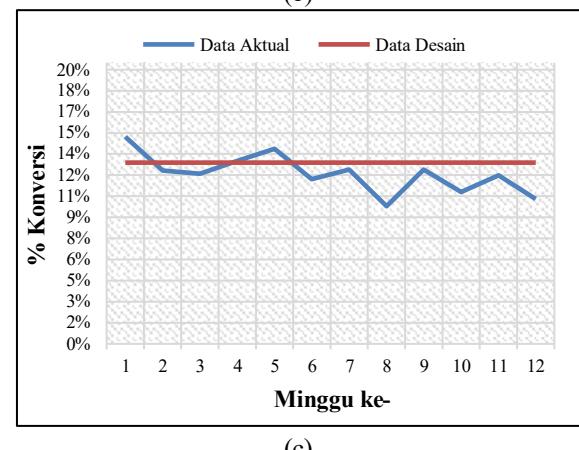
Menurut pembahasan Nahara, et al [7], salah satu parameter penting pada kinerja reaktor adalah besarnya konversi reaktan yang dicapai. Pada reaktor konversi amonia, performa reaktor dievaluasi melalui tingkat konversi nitrogen ( $N_2$ ) dan hidrogen ( $H_2$ ) yang bereaksi membentuk produk utama berupa amonia ( $NH_3$ ). Perbandingan antara konversi aktual dengan data desain divisualisasikan dalam bentuk grafik, di mana Gambar 3.1 menunjukkan perbandingan konversi nitrogen ( $N_2$ ), sedangkan Gambar 3.2 memperlihatkan konversi hidrogen ( $H_2$ ).



(a)

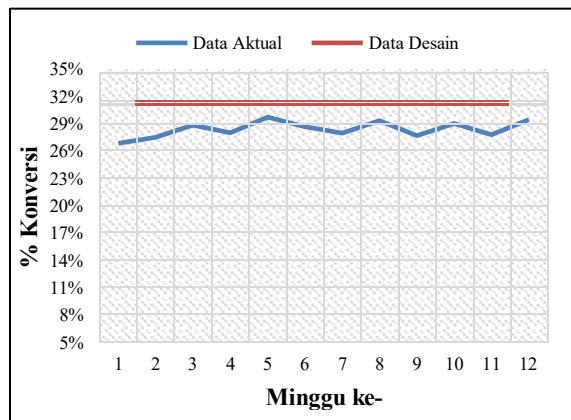


(b)

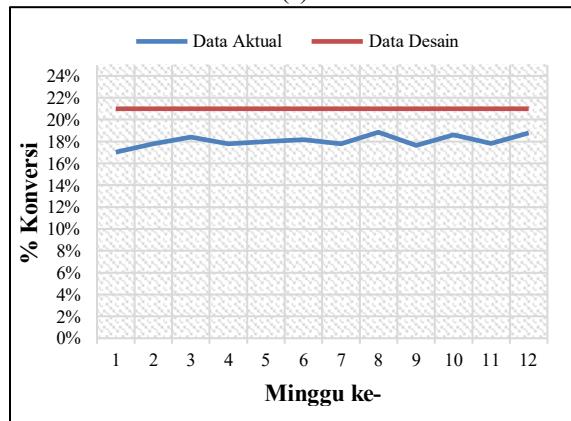


(c)

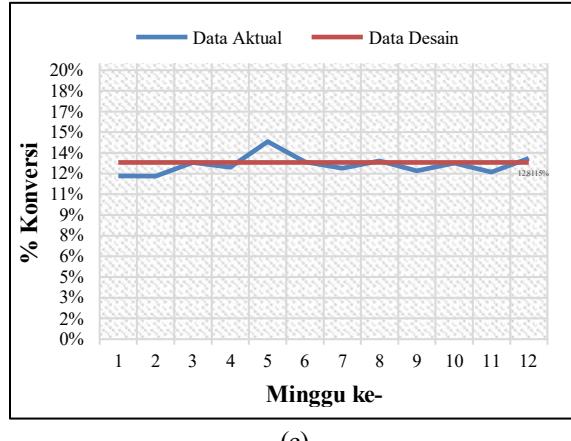
Gambar 3.1. Konversi Nitrogen (a) Konversi  $N_2$  Overall  
(b) Konversi  $N_2$  Bed 1 (c) Konversi  $N_2$  Bed 2



(a)



(b)



(c)

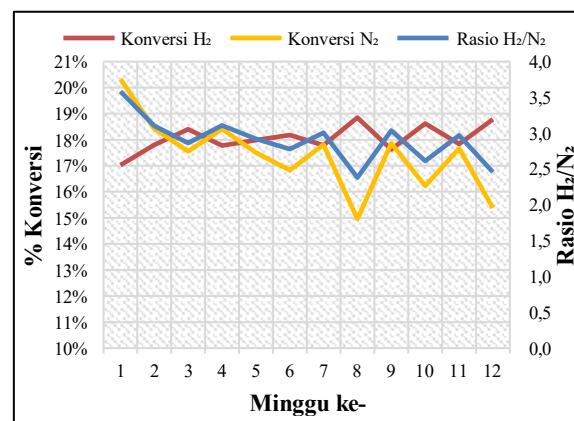
Gambar 3.2. Konversi Hidrogen (a) Konversi H<sub>2</sub> Overall  
(b) Konversi H<sub>2</sub> Bed 1 (c) Konversi H<sub>2</sub> Bed 2

Berdasarkan grafik hasil perbandingan, nilai desain untuk konversi N<sub>2</sub> adalah sebesar 31,2686%, sedangkan data aktual menunjukkan bahwa konversi N<sub>2</sub> keseluruhan berada pada rentang 23,2846% hingga 32,0646%, dengan nilai rata-rata sekitar 27,6519%. Secara umum, konversi N<sub>2</sub> aktual cenderung lebih rendah dibandingkan nilai desain. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain penurunan kinerja peralatan,

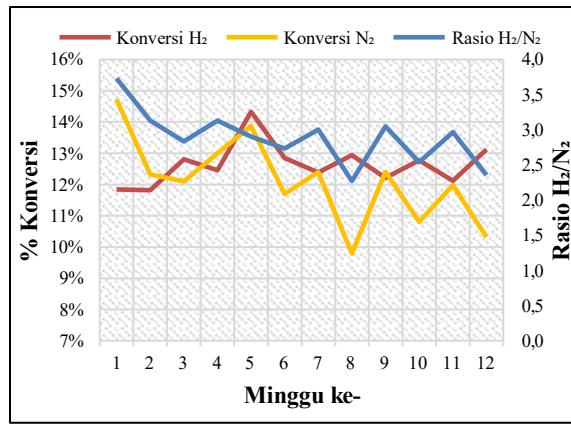
kondisi operasional yang tidak selalu ideal, serta faktor lingkungan yang kurang mendukung pada hari pengambilan data. Faktor-faktor tersebut berpengaruh langsung terhadap performa reaktor.

Namun demikian, terdapat titik data yang justru menunjukkan nilai konversi aktual N<sub>2</sub> lebih tinggi dibandingkan data desain. Hal ini terutama terjadi karena adanya variasi laju alir gas umpan (*rate gas*) yang mempengaruhi komposisi umpan ke reaktor. Sebagai contoh, pada minggu ke-1, tercatat *rate gas* sebesar 97,9961% yang mendekati data desain, dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> yaitu 3,5825, yang berdampak pada peningkatan konversi N<sub>2</sub>. Hasil serupa dilaporkan oleh Paramitha et al. [8], di mana perubahan laju alir gas dan tekanan operasi pada simulasi HYSYS berpengaruh terhadap kestabilan sistem dan menurunkan efisiensi pemisahan komponen utama, yang dalam konteks reaksi amonia dapat berimplikasi pada penurunan persen mol NH<sub>3</sub> *outlet*. Namun, jika dilihat lebih detail pada tiap bed katalis, konversi N<sub>2</sub> aktual di bed 1 cenderung lebih tinggi daripada desain, sedangkan pada bed 2 justru lebih rendah dibandingkan data desain.

Hal yang sama juga terlihat pada konversi H<sub>2</sub>. Berdasarkan desain, nilai konversi H<sub>2</sub> ditetapkan sebesar 31,1164%, sedangkan hasil aktual berada pada kisaran 26,8513% hingga 29,7304% dengan rata-rata 28,3133%. Tren ini menunjukkan bahwa, seperti halnya konversi N<sub>2</sub>, konversi H<sub>2</sub> aktual juga cenderung lebih rendah dibandingkan desain. Perbedaannya, tidak terdapat peningkatan signifikan pada data H<sub>2</sub> seperti yang terjadi pada N<sub>2</sub>. Pada grafik, konversi H<sub>2</sub> aktual di bed 1 dan bed 2 hanya sedikit melebihi desain pada beberapa titik saja dan selisihnya tidak terlalu besar, sedangkan di bed 3 terlihat jelas bahwa nilai konversi lebih rendah dibandingkan desain.



(a)

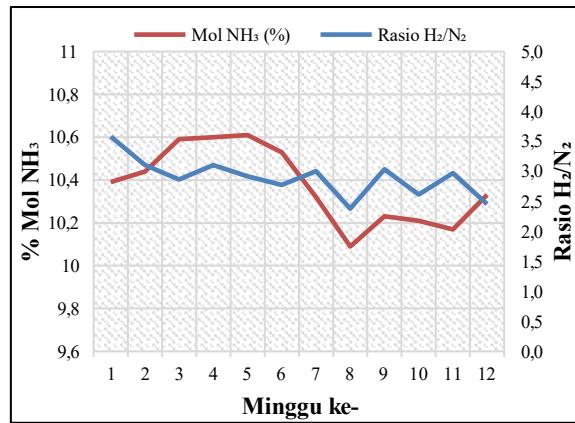


(b)

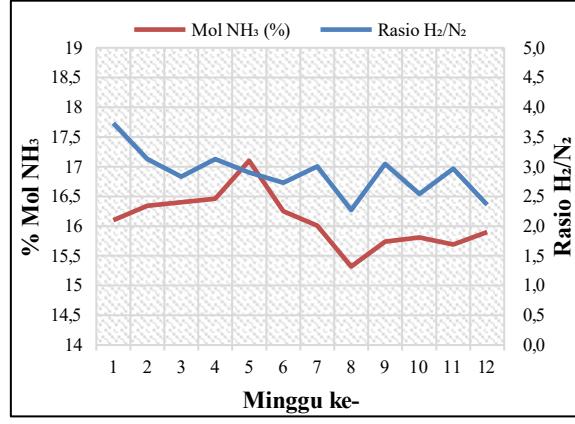
Gambar 3.3. Perbandingan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs Konversi (a) Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs Konversi Bed 1 (b) Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs Konversi Bed 2

Berdasarkan stoikiometri reaksi, pembentukan amonia membutuhkan perbandingan mol H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> sebesar 3:1. Rasio ini menunjukkan perbandingan jumlah gas H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang masuk ke dalam reaktor. Secara teoritis, apabila rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> lebih besar dari 3:1, berarti jumlah mol H<sub>2</sub> yang masuk melebihi kebutuhan ideal untuk bereaksi dengan N<sub>2</sub>. Menurut Rahmatullah, et al. (2019) [9], kondisi ini dapat menurunkan tingkat konversi baik untuk H<sub>2</sub> maupun N<sub>2</sub>. Peningkatan rasio menyebabkan lebih banyak mol H<sub>2</sub> masuk ke dalam converter, namun tidak seluruhnya dapat bereaksi akibat keterbatasan ketersediaan nitrogen. Dengan demikian, meskipun H<sub>2</sub> yang tersedia lebih banyak, sebagian tidak ikut bereaksi dan akan terakumulasi untuk kemudian dikembalikan ke dalam siklus proses.

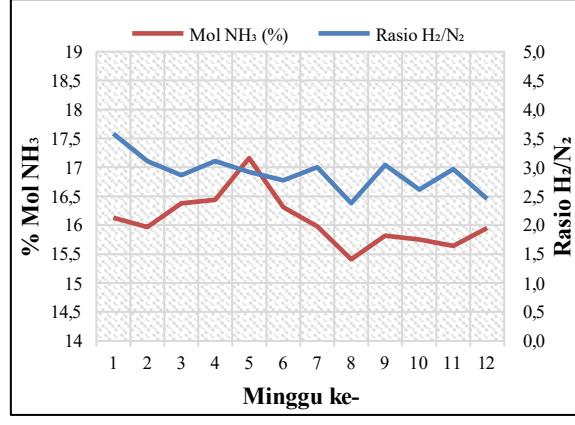
Konversi H<sub>2</sub> cenderung menurun ketika jumlah H<sub>2</sub> yang masuk berlebih, karena perhitungannya didasarkan pada perbandingan antara mol H<sub>2</sub> yang bereaksi dengan mol H<sub>2</sub> yang tersedia. Jika mol H<sub>2</sub> yang bereaksi tetap, sedangkan jumlah umpan H<sub>2</sub> meningkat, maka nilai konversinya otomatis turun. Oleh karena itu, menjaga rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> tetap mendekati 3:1 sangat penting untuk memastikan kesetimbangan reaktan tetap optimal. Berdasarkan data perhitungan pada Gambar 3.3, rasio reaktan yang masih memungkinkan terjadinya reaksi berada pada kisaran 2,5:1 hingga 3,5:1, dengan nilai optimum di sekitar 3:1.



(a)



(b)

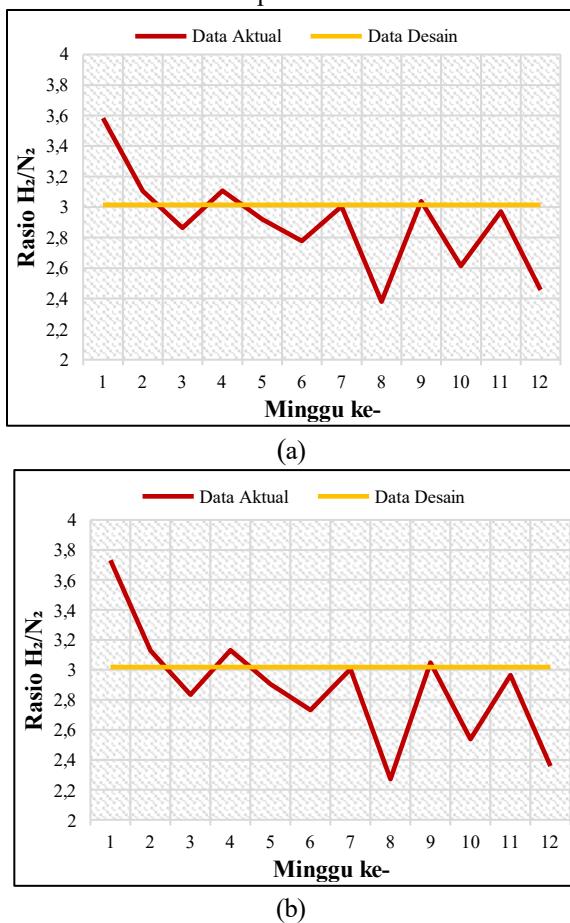


(c)

Gambar 3.4. Perbandingan Rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> vs %Mol NH<sub>3</sub> (a) Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs %Mol NH<sub>3</sub> Bed 1 (b) Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> vs %Mol NH<sub>3</sub> Bed 2 (c) Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet vs %Mol NH<sub>3</sub> Outlet

Berdasarkan Gambar 3.4, rasio H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> yang mendekati rasio desain menghasilkan konversi NH<sub>3</sub> lebih tinggi, seperti pada minggu ke-4 dan ke-7. Sebaliknya, ketika rasio menjauh dari nilai desain, baik lebih rendah maupun lebih tinggi, konversi NH<sub>3</sub> menurun. Hal ini menunjukkan bahwa rasio stoikiometris 3:1 sangat penting untuk menjaga kesetimbangan reaksi dan memaksimalkan

pembentukan  $\text{NH}_3$  di setiap bed.



Gambar 3.5. Perbandingan Rasio  $\text{H}_2/\text{N}_2$  Data Aktual vs Desain (a) Rasio  $\text{H}_2/\text{N}_2$  Aktual vs Desain *Bed 1* (b) Rasio  $\text{H}_2/\text{N}_2$  Aktual vs Desain *Bed 2*

Berdasarkan Gambar 3.5, rasio  $\text{H}_2:\text{N}_2$  aktual umumnya berbeda dari desain, dengan kecenderungan lebih tinggi akibat perbedaan komposisi gas umpan. Rasio  $\text{H}_2:\text{N}_2$  actual bervariasi antara 2,38-3,58 dan sering menyimpang dari rasio stoikiometri ideal 3:1, yang mempengaruhi efisiensi konversi. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Teurupun and Annasit [10], yang menunjukkan bahwa pengaturan parameter operasi sangat berpengaruh terhadap yield  $\text{NH}_3$  di ammonia converter. Kenaikan suhu bed secara terkontrol mampu meningkatkan hasil konversi hingga sekitar 4%, sehingga pengendalian suhu dan rasio menjadi kunci efisiensi proses sintesis amonia.. Hal ini menyebabkan produksi  $\text{NH}_3$  tidak maksimal karena rasio tidak sesuai dengan nilai desain. Misalnya, pada minggu ke-1 rasio sangat tinggi (3,58 di Bed 1 dan 3,73 di Bed 2) akibat dominasi  $\text{H}_2$  dan keterbatasan  $\text{N}_2$ . Sebaliknya, pada minggu ke-6 dan ke-12 rasio turun (sekitar 2,4-2,8) karena sebagian besar  $\text{H}_2$  telah bereaksi. Pada beberapa periode seperti minggu ke-7 dan

ke-9, rasio mendekati desain (sekitar 3:1), menghasilkan konversi  $\text{NH}_3$  lebih optimal.

Perbedaan rasio juga dipengaruhi oleh fluktuasi temperatur reaktor, komposisi gas umpan, serta kemungkinan kebocoran gas. Semakin jauh rasio dari nilai desain, baik lebih tinggi maupun lebih rendah, konversi  $\text{NH}_3$  menurun. Selain itu, laju alir gas (*rate gas*) yang terlalu tinggi seperti pada minggu ke-8 dan ke-12 menyebabkan waktu kontak gas dengan katalis berkurang dan rasio  $\text{H}_2:\text{N}_2$  menjadi tidak stabil. Akibatnya, reaksi kesetimbangan tidak tercapai, sehingga pembentukan  $\text{NH}_3$  menurun. Secara desain, produksi optimal amonia di Pabrik Pupuk dicapai ketika rate gas >95% dan rasio  $\text{H}_2:\text{N}_2$  stabil di sekitar 3:1.

#### 4 Kesimpulan

Konversi aktual  $\text{H}_2$  dan  $\text{N}_2$  pada reaktor konversi amonia secara konsisten lebih rendah 2–5% dibandingkan kondisi desain, dengan rata-rata konversi  $\text{N}_2$  sebesar 27,65% dan  $\text{H}_2$  sebesar 28,31%. Fluktuasi rasio  $\text{H}_2/\text{N}_2$  antara 2,38–3,58 menjadi penyebab penurunan konversi sebesar 3–8% pada berbagai periode operasi. Persentase mol  $\text{NH}_3$  outlet tertinggi sebesar 17,16% dicapai ketika rasio  $\text{H}_2/\text{N}_2$  berada pada 2,92, sedangkan penyimpangan dari parameter tersebut dapat menurunkan *yield*  $\text{NH}_3$  hingga 15,38%.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, perlu dilakukan pengendalian yang lebih ketat terhadap rasio  $\text{H}_2:\text{N}_2$  agar selalu mendekati nilai ideal 3:1, karena rasio yang menyimpang terlalu jauh akan menurunkan efisiensi konversi  $\text{NH}_3$ . Pengaturan laju alir gas (*rate gas*) juga perlu diperhatikan, sebab meskipun nilai yang tinggi dapat meningkatkan jumlah umpan, kondisi tersebut dapat mengurangi waktu kontak dengan katalis dan menurunkan efektivitas reaksi.

#### Daftar Pustaka

- [1] R. M. Y. Agustria, A. Azhar, and R. W. Putri, “Evaluasi Efisiensi Ammonia Converter Unit Ammonia pada Industri Pupuk Urea”, *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, n. 3, 70-74, 2019.
- [2] Levenspiel, “*Chemical Reaction Engineering Third Edition*”. USA: John Wiley & Sons, 1999.
- [3] D. Bahrin, I. N. S. Sakinah, dan F. U. K. Putri, “Analisa Performance Ammonia Converter Pabrik Pupuk Sebelum dan Sesudah Turn Around (TA)”, *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, no. 1, pp. 13–17, 2019.
- [4] E. Nurisman, Y. Effendi, and N. Septiani, “Analisis Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Ammonia Converter pada Pabrik IIB PT Pupuk Sriwidjaja”, *Jurnal Sain dan Teknik*, vol. 7, n. 1, 88-98, 2025.

- [5] M. Y. Aslan, J. S. J. Hargreaves, and D. Üner, “The effect of H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> ratio on the NH<sub>3</sub> synthesis rate and on process economics over the Co<sub>3</sub>Mo<sub>3</sub>N catalyst,” *Faraday Discussions*, vol. 229, pp. 475-488, 2021.
- [6] M. Aziz, A. T. Wijayanta, and A. B. D. Nandiyanto, “Ammonia as Effective Hydrogen Storage: A Review on Production, Storage and Utilization”, *Energies*, vol. 13, n. 12, 1-25, 2020.
- [7] A. R. Nahara, A. A. Mustofa, and D. R. Zuchrillah, “Pemilihan Jenis Reaktor pada Proses Mixed Acid Route di Pabrik Pupuk NPK”, *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, n. 2, 250-257, 2021.
- [8] O. J. Paramitha, C. E. Lusiani, K. Sa'diyah, B. K. Noviarto, E. Noersoesanto, and P. I. Uzlah, “Simulasi Hysys V12: Studi Pengaruh Injeksi Meg terhadap Hydrocarbon Dew Point, Water Dew Point dan Water Content Pada Gas Export”, *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, n. 4, 988-999, 2022.
- [9] R. Rahmatullah, F. Primesa, and F. P. Sari, “Evaluasi Performance Ammonia Converter Pabrik Urea Ditinjau dari Pengaruh Temperatur, Tekanan, Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, dan Mol Inert Inlet, Serta Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Panas dengan Simulator”, *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, n. 1, 21-30, 2019.
- [10] A. Teurupun and Annasit, “Upaya Peningkatan Yield Produk NH<sub>3</sub> di Ammonia Converter dengan Pengaturan Suhu Bed Reaktor Ammonia Converter Pada PT X”, *SNTEM*, vol. 3, n. 1, 287-301, 2023.