

# 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

Rahmatullah \*, Fanirazha Primesa C, Febriyanti Puspita Sari

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya  
Jln. Raya Palembang Prabumulih Km. 32 Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662  
Corresponding author: ffanirazha@gmail.com

## ABSTRAK

Proses sintesa ammonia terjadi pada unit Ammonia Converter (105-D). Ammonia Converter merupakan tempat terjadinya reaksi antara gas sintesa (H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>) yang dilengkapi oleh katalis *promoted iron*. Evaluasi kinerja Ammonia Converter dilakukan untuk mengetahui kondisi dan efisiensi Ammonia Converter sejak menggunakan *Distributed Control System* (DCS), berdasarkan temperatur, tekanan, rasio mol H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, dan mol inert inlet 105-D, serta perhitungan neraca massa dan neraca panas. Parameter yang diperhatikan adalah konversi total H<sub>2</sub>, konversi total N<sub>2</sub>, dan persentase mol NH<sub>3</sub> yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh tidak dapat menyatakan kondisi optimum pada Ammonia Converter karena data yang dihasilkan bersifat fluktuatif. Konversi total H<sub>2</sub> aktual tertinggi sebesar 31,58%, konversi total N<sub>2</sub> aktual tertinggi sebesar 30,25%, dan persentase mol NH<sub>3</sub> aktual tertinggi sebesar 18,18%. Berdasarkan ketiga parameter tersebut, kinerja Ammonia Converter telah mengalami penurunan, tetapi tidak signifikan karena hasil konversi total H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, dan persentase mol NH<sub>3</sub> yang dihasilkan masih berada pada kisaran yang telah ditentukan.

**Kata kunci:** Ammonia, ammonia converter, konversi N<sub>2</sub>, konversi H<sub>2</sub>, *yield* NH<sub>3</sub>.

## ABSTRACT

*Ammonia synthesis process occurs in the Ammonia Converter unit (105-D). Ammonia Converter is a place where the reaction between synthesis gas (H<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>) occurs, which is complemented by the promoted iron catalyst. Ammonia Converter performance evaluation was conducted to determine the condition and efficiency of Ammonia Converter since using Distributed Control System (DCS) based on temperature, pressure, mole ratio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>, and mol inert inlet 105-D, with the calculations of mass balance and heat balance. The parameters observed were total H<sub>2</sub> conversion, total N<sub>2</sub> conversion, and percentage mole NH<sub>3</sub> produced. The results obtained cannot state the optimum conditions in Ammonia Converter because the resulting data is fluctuating. The highest actual total H<sub>2</sub> conversion is 31.58%, the highest actual total N<sub>2</sub> conversion is 30.25%, and the highest actual percentage mole NH<sub>3</sub> is 18.18%. Based on these three parameters, Ammonia Converter's performance has decreased, because the conversion total of H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, and the percentage mole of NH<sub>3</sub> produced are still within the predetermined range.*

**Keyword:** Ammonia, ammonia converter, N<sub>2</sub> conversion, H<sub>2</sub> conversion, *yield* of NH<sub>3</sub>.

## 1. PENDAHULUAN

Pupuk urea dihasilkan dari reaksi antara ammonia (NH<sub>3</sub>) dengan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang keduanya dihasilkan pada unit ammonia. Proses pembuatan ammonia berlangsung melalui enam tahapan yaitu, *feed treating, reforming, purifikasi, sintesa ammonia, permurnian produk, dan recovery*. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan ammonia yaitu gas alam, udara, dan air.

Ammonia akan melalui proses sintesa di dalam ammonia converter. Ammonia Converter merupakan salah satu unit penting di dalam proses produksi ammonia khususnya di Unit Ammonia.

Ammonia Converter adalah reaktor berkatalis yang berfungsi sebagai tempat pembentukan NH<sub>3</sub> (ammonia) dari hidrogen (H<sub>2</sub>) dan nitrogen (N<sub>2</sub>). Performa yang dihasilkan dari unit tersebut sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan efisiensi pabrik ammonia, serta tercapainya kapasitas produksi industri urea

Kontrol dan evaluasi terhadap performa unit tersebut sangat dibutuhkan untuk mendapatkan proses yang lebih optimal. Performa ammonia converter dapat dilihat dari beberapa parameter, antara lain umur (*life time*) katalis, tekanan, temperatur operasi, *pressure drop*, dan konversi reaktan menjadi *ammonia*.

Dalam unit ini, gas sintesa ( $N_2$  dan  $H_2$ ) dari unit gas purification akan direaksikan menjadi produk ammonia. Ammonia converter berisikan 77,1 m<sup>3</sup> promoted iron catalyst. Katalis diletakkan di dalam internal basket yang di desain dengan dua bed terpisah di dalam reaktor horizontal. Bed katalis dibagi menjadi tiga seksi, volume katalis pada bed pertama berisi sepertiga dari jumlah katalis. Volume katalis dari bed pertama hingga bed kedua B akan semakin besar, hal ini dilakukan untuk membatasi kenaikan temperatur akibat panas reaksi eksotermis pada bed pertama (dimana akan terjadi reaksi tercepat), sehingga converter dapat dijaga pada temperatur yang diinginkan. Penggunaan interchanger 122-C bertujuan untuk menjaga temperatur converter, dimana temperatur inlet akan dinaikkan oleh gas ammonia keluaran bed 1, sehingga nilai temperatur reaksi akan selalu terjaga dalam kondisi yang telah ditentukan.

Faktor yang sangat mempengaruhi hasil konversi akhir pada pembentukan  $NH_3$  (*ammonia*) di dalam ammonia converter adalah temperatur *inlet*. Berdasarkan faktor tersebut diperlukan evaluasi dari kinerja ammonia converter dengan melihat pengaruh temperatur maupun tekanan *inlet* terhadap hasil konsentrasi  $NH_3$  total yang didapatkan dari data aktual, desain, dan juga data teoritis.

*Feed gas* yang merupakan outlet dari bagian *shell interchanger* 122-C akan diinjeksikan ke bagian atas *bed*. Keluaran gas dari *bed* pertama akan mengalir ke bagian *tube interchanger* 122-C sebelum dialirkan ke *bed* kedua pada temperatur desain 454-482°C dan tekanan 173-177 kg/cm<sup>2</sup>.

Adanya gas *inert* ( $CH_4$  dan Ar) akan memungkinkan terjadinya akumulasi sehingga perlu adanya *purging*. Jumlah gas *inert* dapat dijaga dengan mengatur jumlah *purge gas* dan meningkatkan kinerja dari seksi *reforming* agar jumlah  $CH_4$  *leakage outlet* menurun.

Pada *bed* 1,  $NH_3$  yang dihasilkan mengalami peningkatan yang tinggi dengan temperatur yang terus meningkat. Jika temperatur meningkat dan mencapai kesetimbangan, maka reaksi bergeser ke kiri yang menyebabkan  $NH_3$  turunan menjadi reaktan.

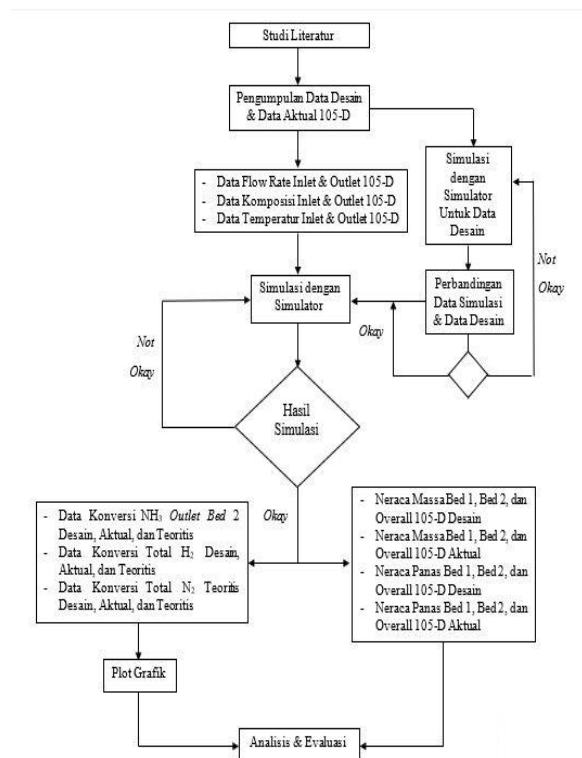
## 2. METODOLOGI

### A. Diagram Alir Evaluasi

Untuk melakukan perhitungan dilakukan pengumpulan beberapa studi literatur dan beberapa data, seperti data desain, data aktual dan data teoritis untuk unit ammonia converter.

Setelah itu dilakukan simulasi dengan simulator berupa aplikasi hysis untuk mengetahui perhitungan neraca massa tiap bed ammonia converter dan persen konversi yang dihasilkan.

Adapun Diagram alir untuk tahapan evaluasi tersebut tertera pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Evaluasi

### B. Data

Data yang digunakan dalam evaluasi *performance* Ammonia Converter yaitu, data desain, aktual, dan teoritis.

#### 1. Data Desain

Data desain merupakan data rancangan pada saat unit tersebut di desain. Data performa desain Ammonia converter (105-D) terdiri dari: Data temperatur *inlet* dan *outlet* untuk *bed 1* dan *bed 2*, *Flow rate* dan komposisi %mol *inlet* dan *outlet*, serta Tekanan dan temperatur tiap aliran yang melewati converter, Data rasio reaktan  $H_2/N_2$ , Data mol *inert*.

## 2. Data Aktual

Data ini merupakan data yang diperoleh pada saat berlangsungnya operasi. Data operasi didapat dari *Control Room* dan laboratorium unit PT PUSRI 1B Palembang dan terdata dalam *logsheet*. Data-data yang akan digunakan dalam mengevaluasi 105-D diambil sebanyak 9 data tahunan, yaitu pada tahun 2010-2018. Data yang akan digunakan di dalam mengevaluasi kinerja katalis ammonia converter (105-D) adalah:

- a) *Pressure drop*, Komposisi %mol *inlet* dan *outlet* 105-D, Temperatur dan tekanan *feed* 105-D, Temperatur antar *bed*, *Flow rate inlet* dan *outlet* 105-D, Data rasio reaktan  $H_2/N_2$ , Data mol *inert*.

## 3. Data Teoritis

Data teoritis merupakan data yang telah dihasilkan oleh penulis dengan memvariasikan temperatur dan tekanan dengan menggunakan simulator, untuk mengetahui pengaruh temperatur *inlet bed 1* dan tekanan *inlet ammonia converter* 105-D terhadap persentase mol ammonia yang dihasilkan dan konversi total  $H_2$  dan  $N_2$ . Variasi temperatur *inlet bed 1* yang digunakan yaitu 260-400°C dengan  $\Delta T$  20°C. Variasi tekanan *inlet ammonia converter* yang digunakan yaitu 155-185 kg/cm<sup>2</sup> dengan  $\Delta P$  5 kg/cm<sup>2</sup> dan *pressure drop* sebesar 1,4. Data *pressure drop* mengikuti data desain. Variasi rasio  $H_2/N_2$  yang digunakan yaitu 2,6-3,1 dan untuk variasi mol *inert* yang digunakan yaitu 2,5-15 %mol.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Neraca Massa Data Desain dan Data Aktual

Ditinjau dari data aktual, akan dilakukan perhitungan terhadap perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) yaitu dengan menghitung selisih entalpi molar *inlet* dan *outlet*.  $\Delta H$  reaksi pada *bed 1*, adalah sebesar -116,10 kJ/kmol (-368 kJ/kmol untuk desain), -16 kJ/kmol pada *bed 2* (-8,30 kJ/kmol untuk desain). Jumlah *heat flow* kondisi aktual adalah sebesar  $4,17 \times 10^7$  kJ/h dan  $3,87 \times 10^6$  kJ/h untuk data desain.

Hal ini menunjukkan energi yang dibutuhkan keadaan aktual bernilai lebih besar dibandingkan keadaan desain, sehingga penurunan terhadap kinerja Ammonia Converter terjadi. Hal ini tertera pada tabel 1.

Berdasarkan dari faktor kesetimbangan, penurunan tekanan akan menurunkan % konversi, dimana reaksi akan cenderung bergeser ke kiri. Tingginya selisih molar inlet dan outlet secara aktual juga dapat dipengaruhi dari lebih tingginya mass flow rate yang melalui converter yaitu sebesar 269600 kg/hr (aktual) dan 258800 kg/hr (desain), sehingga peningkatan konversi per pass

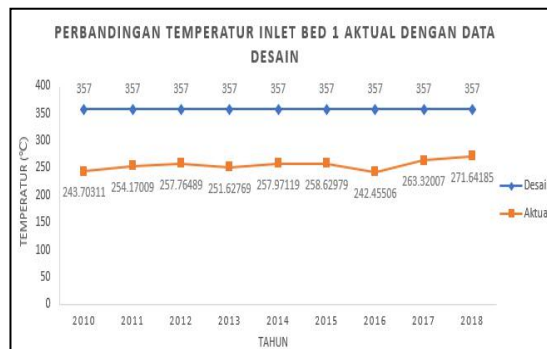
dapat lebih sulit dicapai karena kecilnya resident time yang dibutuhkan feed gas untuk melewati setiap bed pada converter.

**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Perhitungan Neraca Panas Desain dan Aktual

Variabel	Data Desain			Data Aktual		
	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	<i>Enthalpy Change</i> (kJ/kmol)/ <i>Heat Loss</i> (kJ/h)	<i>Inlet</i>	<i>Outlet</i>	<i>Enthalpy Change</i> (kJ/kmol)/ <i>Heat Loss</i> (kJ/h)
<i>Molar</i>	3757	4125	-368	-869,40	-985,50	-116,10
<i>Enthalpy</i>						
<i>Bed 1</i> (kJ/kmol)						
<i>Molar</i>						
<i>Enthalpy</i>	-170,60	-178,90	-8,30	-1770	-1786	-16
<i>Bed 2</i> (kJ/kmol)						
<i>Heat</i>						
<i>Flow</i>	$3,87 \times 10^6$	$3,87 \times 10^6$	-	$4,17 \times 10^7$	$4,17 \times 10^7$	-
<i>Overall</i> (kJ/h)						

Resident time yang cukup tinggi dapat meningkatkan konversi reaktan dan persen mol komposisi  $NH_3$  yang dihasilkan. Hal tersebut disebabkan karena waktu kontak antara senyawa reaktan dan katalis akan semakin lama, sehingga proses pemutusan rantai dari senyawa akan semakin cepat terjadi. Hal ini menyebabkan senyawa reaktan berikatan dengan lebih cepat dan dapat membentuk senyawa baru berupa  $NH_3$ .

### Temperatur Inlet Bed 1 pada Ammonia Converter



**Gambar 1.** Grafik Temperatur *Inlet Bed 1* Aktual 2010-2018

Berdasarkan Gambar 1, dapat terlihat bahwa temperatur *inlet bed 1* pada kondisi aktual bernilai lebih kecil dibandingkan temperatur *inlet bed 1* untuk kondisi desain. Nilai temperatur yang

rendah pada *inlet bed 1* kondisi aktual digunakan untuk mendapatkan nilai konversi H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, ataupun NH<sub>3</sub> yang lebih besar. Nilai temperatur yang paling mendekati data desain diperoleh pada tahun 2018 yang merupakan temperatur aktual tertinggi (271,64°C), dan nilai selisih temperatur terendah diperoleh pada tahun 2010 sebesar 243,70°C. Oleh karena itu, temperatur *inlet bed 1* kondisi aktual diatur rendah, dengan *range* temperatur 243,70-271,64°C dibandingkan dengan desain yang bernilai 357°C.

### Pengaruh Temperatur terhadap Konversi Total H<sub>2</sub> Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

**Tabel 2.** Pengaruh Perbedaan Temperatur *Inlet Bed 1* Terhadap Hasil Persentase Konversi H<sub>2</sub> pada Tahun 2010-2018

Tahun	Desain		Aktual		Selisih Konversi (%)
	Temperatur Inlet (°C)	Konversi (%)	Temperatur Inlet (°C)	Konversi (%)	
2010	357	32,69	243,70	31,58	1,11
2011	357	32,69	252,40	28,74	3,95
2012	357	32,69	257,80	28,97	3,72
2013	357	32,69	251,60	30,44	2,25
2014	357	32,69	258	30,78	1,91
2015	357	32,69	258,60	26,94	5,75
2016	357	32,69	242,50	27,95	4,74
2017	357	32,69	263,30	30,45	2,24
2018	357	32,69	271,60	29,98	2,71

Berdasarkan Tabel 2, dapat dinyatakan konversi H<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2010 dengan temperatur *inlet* 243,70°C, yaitu sebesar 31,58% dengan selisih konversi 1,11%. Selisih konversi tertinggi (5,75%) diperoleh pada tahun 2015 dengan temperatur *inlet* 258,60°C, yaitu sebesar 26,94%. Nilai selisih dari konversi H<sub>2</sub> tersebut, berada di dalam *range* 1,11-5,75%, dengan besaran *range* temperatur *inlet* 242,50-271,60°C. Perbandingan temperatur *inlet* dari data aktual dan desain terhadap konversi H<sub>2</sub> bersifat fluktuatif, sehingga tidak diketahui temperatur *inlet* optimum yang menyebabkan tercapainya konversi total H<sub>2</sub> yang telah ditentukan.

Penurunan konversi juga dipengaruhi oleh kinerja katalis pada *bed 1* dan *bed 2* dan *performance* dari *interchanger 122-C*. Rendahnya temperatur *inlet feed* Ammonia Converter akan meningkatkan dari beban *interchanger* menaikkan temperatur agar dapat mencapai temperatur reaksi yang diinginkan. Tercapainya temperatur reaksi juga dipengaruhi oleh temperatur *outlet bed 1* yang digunakan sebagai fluida panas dalam *interchanger 122-C*.

Kinerja katalis juga dapat mempengaruhi tercapainya energi aktivasi dari senyawa reaktan (H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>) untuk dapat bereaksi. Kinerja katalis yang baik mempercepat energi setiap senyawa

reaktan untuk teraktivasi, sehingga konversi H<sub>2</sub> meningkat. Sebaliknya, apabila kinerja katalis sudah tidak cukup baik maka energi dari setiap senyawa reaktan akan teraktivasi dengan lambat.

### 2. Pengaruh Temperatur terhadap Konversi Total N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

**Tabel 3.** Pengaruh Perbedaan Temperatur *Inlet Bed 1* Terhadap Hasil Persentase Konversi N<sub>2</sub> pada Tahun 2010-2018

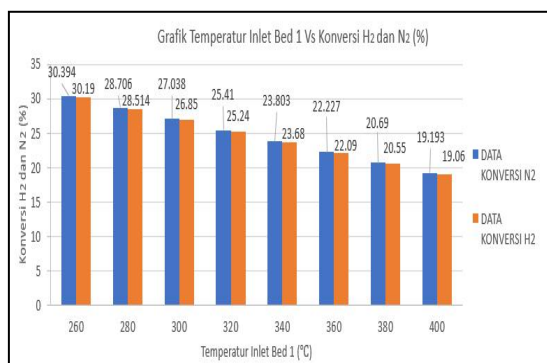
Tahun	Desain		Aktual		Selisih Konversi (%)
	Temperatur Inlet (°C)	Konversi (%)	Temperatur Inlet (°C)	Konversi (%)	
2010	357	32,69	243,70	27,65	5,04
2011	357	32,69	252,40	25,58	7,11
2012	357	32,69	257,80	26,26	6,43
2013	357	32,69	251,60	28,43	4,26
2014	357	32,69	258	28,64	4,05
2015	357	32,69	258,60	29,03	3,66
2016	357	32,69	242,50	25,67	7,02
2017	357	32,69	263,30	29,92	2,77
2018	357	32,69	271,60	30,25	2,44

Berdasarkan Tabel 3, dapat dinyatakan konversi N<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2018 dengan temperatur *inlet* 271,6°C yaitu sebesar 30,25%, dan selisih konversi sebesar 2,44% jika dibandingkan dengan data desain. Selisih konversi tertinggi (7,11%) diperoleh di tahun 2011 dengan temperatur *inlet* 252,4°C, yaitu sebesar 25,58%. Nilai selisih konversi N<sub>2</sub> berada pada *range* 2,44-7,11%, dengan *range* temperatur *inlet* 242,5-271,6°C. Tidak terlihat pengaruh dari temperatur yang signifikan, karena hasil konversi total N<sub>2</sub> tidak menghasilkan grafik linear. Perbandingan temperatur inlet dari data aktual dan data desain terhadap konversi N<sub>2</sub> bersifat fluktuatif atau tidak stabil, sehingga tidak diketahui temperatur *inlet* optimum yang dapat menyebabkan tercapainya konversi total N<sub>2</sub> yang telah ditentukan.

Penurunan konversi juga dipengaruhi oleh kinerja katalis pada *bed 1* dan *bed 2* dan *performance* dari *interchanger 122-C*. Rendahnya temperatur *inlet bed 1* akan meningkatkan beban *interchanger* untuk menaikkan temperatur tersebut agar mencapai temperatur reaksi. Tercapainya temperatur reaksi dipengaruhi oleh temperatur *outlet bed 1* yang digunakan sebagai fluida panas dalam *interchanger 122-C*.

Kinerja katalis juga dapat mempengaruhi tercapainya energi aktivasi dari senyawa reaktan (H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>) untuk dapat bereaksi. Kinerja katalis yang baik dapat mempercepat energi dari setiap senyawa reaktan untuk dapat teraktivasi, sehingga konversi N<sub>2</sub> akan meningkat. Sebaliknya, apabila kinerja katalis sudah tidak baik maka energi setiap senyawa reaktan akan teraktivasi dengan lambat.

## Pengaruh Temperatur terhadap Konversi Total N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Teoritis



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Temperatur *Inlet Bed 1* terhadap Konversi Total H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Teoritis

Akibat dari tidak diketahuinya pengaruh temperatur *inlet ammonia converter* terhadap nilai konversi total H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> berdasarkan data aktual, maka diperlukan perhitungan menggunakan data teoritis untuk mengetahui lebih jelas pengaruh temperatur *inlet* terhadap persen konversi reaktan yang dihasilkan. Berdasarkan dari data teoritis, peningkatan dari temperatur akan berbanding terbalik terhadap konversi total H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>.

Peningkatan dari temperatur menurunkan konversi total H<sub>2</sub> secara signifikan, dibandingkan dengan penurunan konversi N<sub>2</sub>. Hal tersebut disebabkan karena rasio ideal reaktan pada reaksi pembentukan *ammonia* adalah 3:1.

Rasio ini dapat diartikan bahwa jumlah mol hidrogen yang masuk ke dalam *Ammonia Converter* merupakan tiga kali lipat dari jumlah mol nitrogen.

Pengaruh Temperatur *Inlet Bed 1* terhadap Persentase Mol NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* Data Desain dan Data Aktual tertera pada tabel 4.

**Tabel 4.** Pengaruh Perbedaan Temperatur *Inlet Bed 1* Terhadap Hasil Persentase Mol NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* pada Tahun 2010-2018

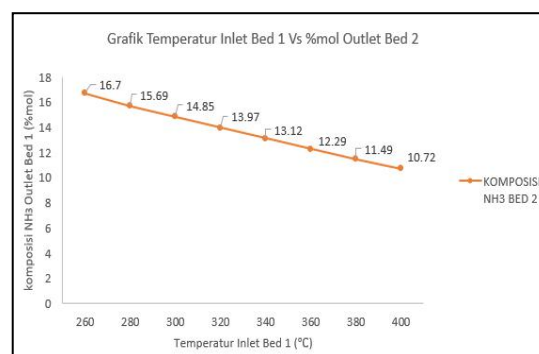
Tahun	Desain		Aktual		Selisih Komposisi (%mol)
	Temperatur Inlet (°C)	Komposisi (%mol)	Temperatur Inlet (°C)	Komposisi (%mol)	
2010	357	17,06	243,70	18,18	1,12
2011	357	17,06	252,40	16,67	0,39
2012	357	17,06	257,80	16,61	0,45
2013	357	17,06	251,60	17,18	0,12
2014	357	17,06	258	17,27	0,21
2015	357	17,06	258,60	16,21	0,85
2016	357	17,06	242,50	16,99	0,07
2017	357	17,06	263,30	16,64	0,42
2018	357	17,06	271,60	16,06	1,0

Berdasarkan Tabel 4, dapat dinyatakan bahwa komposisi NH<sub>3</sub> tertinggi didapatkan pada tahun 2010, yaitu sebesar 18,18% mol dengan nilai temperatur *inlet bed 1* sebesar 243,7°C. Nilai

komposisi ini memiliki nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan data desain, sebesar 17,06% mol. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai temperatur *inlet bed 1* data aktual 2010 dengan desain. Nilai temperatur *inlet bed 1* yang rendah menghasilkan nilai persentase *outlet bed 2* tinggi.

Temperatur *inlet bed 1* tertinggi bernilai 271,6°C dengan nilai konversi 16,06% mol. Nilai komposisi tersebut merupakan nilai konversi terendah yang didapatkan dari tahun 2010-2018. Berdasarkan hasil Tabel 4.5, dapat dilihat nilai temperatur *inlet bed 1* yang rendah menghasilkan nilai komposisi NH<sub>3</sub> *outlet bed 2* yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Berdasarkan Tabel 4.5. terjadi penurunan yang cukup besar, yaitu sebesar 1,06% mol dari tahun 2014 ke 2015. Penurunan tersebut disebabkan oleh kenaikan temperatur *inlet bed 1*. Kenaikan yang tidak terlalu signifikan pada temperatur *inlet bed 1* akan mempengaruhi komposisi NH<sub>3</sub> yang terbentuk pada *outlet bed 2* berdasarkan data aktual 2014 dan 2015.

## Pengaruh Temperatur *Inlet Bed 1* terhadap Komposisi NH<sub>3</sub> Dengan Data Teoritis



**Gambar 3.** Grafik Hubungan Temperatur *Inlet Bed 1* terhadap Komposisi NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* Berdasarkan Data Teoritis

Akibat dari tidak diketahuinya pengaruh temperatur *inlet ammonia converter* terhadap nilai komposisi dari NH<sub>3</sub> *outlet bed 2* berdasarkan data aktual, maka diperlukan perhitungan data teoritis untuk mengetahui secara lebih jelas pengaruh temperatur *inlet* terhadap persentase komposisi produk yang akan dihasilkan. Berdasarkan data teoritis, peningkatan temperatur akan berbanding terbalik terhadap komposisi NH<sub>3</sub> *outlet bed 2*. Komposisi NH<sub>3</sub> yang diinginkan berdasarkan data desain berada di *range* 17-18%. Berdasarkan grafik data teoritis, komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2* dapat dicapai apabila temperatur *inlet bed 1* berada dibawah 260°C. Peningkatan temperatur dapat menurunkan komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2* secara lebih signifikan.

## Tekanan Inlet Bed 1 pada Ammonia Converter



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Tekanan *Inlet* Berdasarkan Data Aktual dan Data Desain

Berdasarkan Gambar 4, dinyatakan bahwa rata-rata tekanan aktual bernilai lebih rendah daripada tekanan desain. Pada tahun 2014 dan 2017, terjadi peningkatan tekanan melebihi tekanan desain sebesar 4,67 kg/cm<sup>2</sup> pada tahun 2014, dan 5,84 kg/cm<sup>2</sup> tahun 2017. Sedangkan tekanan *inlet* terendah diperoleh di 2010 (145,41 kg/cm<sup>2</sup>) dengan selisih tekanan 32,99 kg/cm<sup>2</sup>.

## Pengaruh Tekanan *Inlet* Ammonia Converter terhadap Konversi Total H<sub>2</sub> Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

**Tabel 5.** Pengaruh Perbedaan Tekanan *Inlet Bed 1* terhadap Hasil Konversi H<sub>2</sub> pada Tahun 2010-2018

Tahun	Desain		Aktual		Selisih Konversi (%)
	Tekanan Inlet (kg/cm <sup>2</sup> )	Konversi (%)	Tekanan Inlet (kg/cm <sup>2</sup> )	Konversi (%)	
2010	177,80	32,69	145,41	31,58	1,11
2011	177,80	32,69	152,49	28,74	3,95
2012	177,80	32,69	152,18	28,97	3,72
2013	177,80	32,69	160,22	30,44	2,25
2014	177,80	32,69	183,06	30,78	1,91
2015	177,80	32,69	158,64	26,94	5,75
2016	177,80	32,69	151,34	27,95	4,74
2017	177,80	32,69	184,24	30,45	2,24
2018	177,80	32,69	176,41	29,98	2,71

Berdasarkan Tabel 5, dapat dinyatakan bahwa konversi dari H<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2010 dengan tekanan *inlet* 145,41 kg/cm<sup>2</sup>, yaitu sebesar 31,58%, dan selisih dari konversi 1,11% jika dibandingkan dengan desain. Selisih konversi tertinggi (6,75%) diperoleh pada tahun 2015 dengan nilai temperatur *inlet* 158,64 kg/cm<sup>2</sup> yaitu sebesar 26,94%. Sehingga nilai dari selisih konversi H<sub>2</sub> berada pada *range* 1,11-6,75%, dengan *range* tekanan *inlet* 145,45-184,24 kg/cm<sup>2</sup>.

Perbandingan dari tekanan *inlet* data desain dan aktual terhadap konversi H<sub>2</sub> bersifat fluktuatif, sehingga tidak diketahui tekanan *inlet* optimum yang menyebabkan tercapainya konversi total H<sub>2</sub> yang telah ditentukan. Hal ini dapat disebabkan karena terdapat ketidakstabilan kinerja *ammonia converter* yang dipengaruhi katalis.

## Pengaruh Tekanan *Inlet* Ammonia Converter terhadap Konversi Total N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

**Tabel 6.** Pengaruh Perbedaan Tekanan *Inlet Bed 1* terhadap Hasil Konversi N<sub>2</sub> pada Tahun 2010-2018

Tahun	Desain		Aktual		Selisih Konversi (%)
	Tekanan Inlet (kg/cm <sup>2</sup> )	Konversi (%)	Tekanan Inlet (kg/cm <sup>2</sup> )	Konversi (%)	
2010	177,80	32,69	145,41	27,65	5,04
2011	177,80	32,69	152,49	25,58	7,11
2012	177,80	32,69	152,18	26,26	6,43
2013	177,80	32,69	160,22	28,43	4,26
2014	177,80	32,69	183,06	28,64	4,05
2015	177,80	32,69	158,64	29,03	3,66
2016	177,80	32,69	151,34	25,67	7,02
2017	177,80	32,69	184,24	29,92	2,77
2018	177,80	32,69	176,41	30,25	2,44

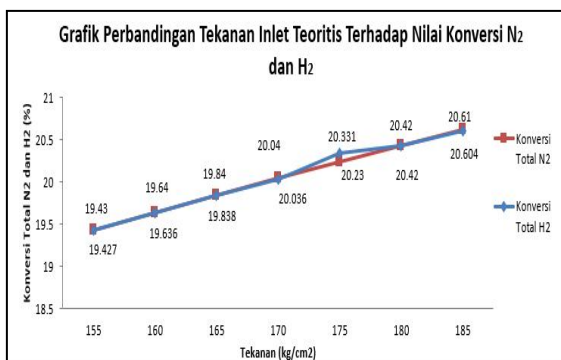
Berdasarkan Tabel 6, dapat dinyatakan bahwa konversi N<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2018 dengan tekanan *inlet* 176,41 kg/cm<sup>2</sup>, yaitu sebesar 30,25%, dan selisih konversi 2,44% apabila dibandingkan dengan desain. Selisih dari konversi tertinggi (7,11%) diperoleh pada tahun 2011 dengan tekanan *inlet* 152,1875 kg/cm<sup>2</sup>, yaitu sebesar 25,58%. Sehingga nilai selisih konversi N<sub>2</sub> berada pada *range* 2,44-7,11%, dengan *range* tekanan *inlet* 145,45-184,24 kg/cm<sup>2</sup>.

Perbandingan tekanan *inlet* data desain maupun data aktual terhadap konversi N<sub>2</sub> bersifat fluktuatif. Hal tersebut disebabkan karena ketidakstabilan kinerja *ammonia converter* yang dipengaruhi kinerja katalis.

## Pengaruh Tekanan *Inlet* Ammonia Converter terhadap Konversi Total N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Teoritis

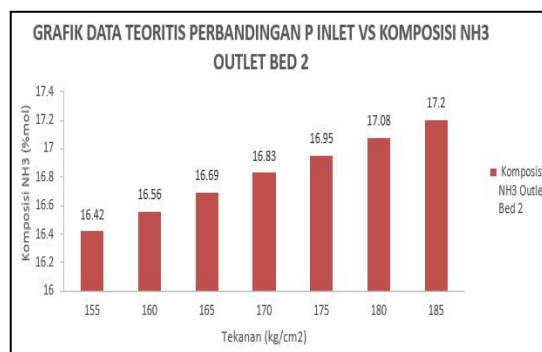
Berdasarkan data teoritis dapat terlihat bahwa tekanan dapat meningkatkan konversi reaktan. Hal ini dikarenakan reaktan yang masuk dalam *ammonia converter* berfase gas, sehingga peningkatan tekanan menyebabkan gas tersebut tertekan dan senyawa reaktan dapat berkontak dengan lebih mudah. Tingginya intensitas kontak pada senyawa reaktan dan ditambah dengan luasnya kontak dengan katalis meningkatkan nilai konversi dari kedua senyawa reaktan. Pengaruh yang tidak signifikan juga dapat terlihat pada nilai *pressure drop* yang dihasilkan.

Berdasarkan data aktual nilai *pressure drop* yang dihasilkan dari tahun 2010-2018 berada pada *range* 1-2,2 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai ini dapat diartikan bahwa tekanan *inlet* dan *outlet ammonia converter* hampir bernilai sama.



**Gambar 5.** Grafik Hubungan Tekanan *Inlet Bed 1* terhadap Konversi Total N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> Berdasarkan Data Teoritis

### Pengaruh Tekanan *Inlet Ammonia Converter* terhadap Persentase Mol NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* Berdasarkan Data Teoritis



**Gambar 6.** Grafik Hubungan Tekanan *Inlet Bed 1* terhadap Komposisi NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* Berdasarkan Data Teoritis

### Pengaruh Tekanan *Inlet Ammonia Converter* terhadap Persentase Mol NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

**Tabel 7** Pengaruh Perbedaan Tekanan *Inlet Bed 1* terhadap Persentase Mol NH<sub>3</sub> *Outlet Bed 2* pada Tahun 2010-2018

Tahun	Desain		Aktual		Selisih Komposisi (%mol)
	Tekanan Inlet (kg/cm <sup>2</sup> )	Komposisi (%mol)	Tekanan Inlet (kg/cm <sup>2</sup> )	Komposisi (%mol)	
2010	177,80	17,06	145,41	18,18	1,12
2011	177,80	17,06	152,49	16,67	0,39
2012	177,80	17,06	152,18	16,61	0,45
2013	177,80	17,06	160,22	17,18	0,12
2014	177,80	17,06	183,06	17,27	0,21
2015	177,80	17,06	158,64	16,21	0,85
2016	177,80	17,06	151,34	16,99	0,07
2017	177,80	17,06	184,24	16,64	0,42
2018	177,80	17,06	176,41	16,06	1,0

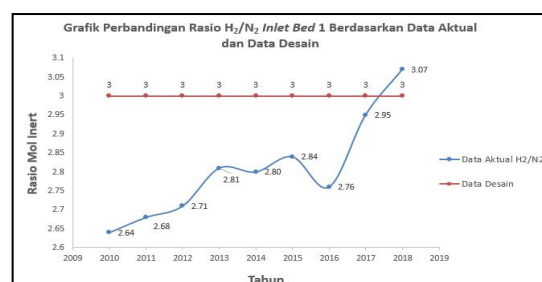
Berdasarkan Tabel 7, dapat dinyatakan komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2* tertinggi terjadi pada tahun 2010, yaitu sebesar 18,18% mol. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan data desain yang bernilai 17,06% mol. Nilai komposisi NH<sub>3</sub> *outlet bed 2* bersifat fluktuatif, sehingga tidak terlihat pengaruh tekanan yang signifikan, karena hasil tersebut tidak menghasilkan grafik yang linear. Hal ini menyebabkan kesulitan untuk menentukan hubungan antara tekanan *inlet bed 1* dengan komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2*.

Nilai optimum tekanan *inlet bed 1* yang dapat menghasilkan komposisi NH<sub>3</sub> *outlet bed 2* mendekati nilai desain berkisar antara 151,34-183,06 kg/cm<sup>2</sup>. Nilai komposisi NH<sub>3</sub> *outlet bed 2* pada tekanan tersebut yaitu sudah mendekati dan melebihi nilai komposisi desain dengan range 16,99-17,27% mol. Komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2* desain mencapai 17,06% mol pada tekanan sebesar 178,4 kg/cm<sup>2</sup>. Sehingga untuk mencapai komposisi optimal data actual, tekanan *input bed 1* range 151,34-183,06 kg/cm<sup>2</sup> dapat diatur.

Akibat tidak diketahuinya pengaruh dari tekanan *inlet* pada *ammonia converter* terhadap komposisi NH<sub>3</sub> *outlet bed 2* berdasarkan data actual, maka diperlukan perhitungan dengan menggunakan data teoritis untuk mengetahui secara lebih jelas pengaruh tekanan *inlet* terhadap nilai persentase dari komposisi produk yang telah dihasilkan pada *outlet bed 2*.

Berdasarkan Gambar 6, dinyatakan bahwa pengaruh tekanan terhadap komposisi produk tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat terlihat dari nilai komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2* berada pada range 16,42-17,2%. Selisih dari komposisi NH<sub>3</sub> pada *outlet bed 2*, yang tertinggi maupun terendah tidak terlalu jauh yaitu 0,78% mol. Pengaruh yang tidak signifikan juga dapat terlihat pada nilai *pressure drop* yang dihasilkan. Berdasarkan data actual nilai *pressure drop* yang dihasilkan dari tahun 2010-2018 berada pada nilai range 1-2,2 kg/cm<sup>2</sup>.

### Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *Ammonia Converter*



**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *Inlet Bed 1* Berdasarkan Data Aktual dan Data Desain

Berdasarkan Gambar 7, dapat terlihat bahwa nilai rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dengan data actual lebih kecil dibandingkan data desain. Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> pada data actual berada di range 2,64-3,07. Hal ini memperlihatkan terjadi peningkatan rasio rata-rata H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> dari tahun 2010-2018. Penurunan nilai rasio

H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> hanya terjadi pada tahun 2016. Penurunan rasio dipengaruhi kinerja alat pada unit *reforming*, dimana jumlah mol H<sub>2</sub> yang dihasilkan dari unit *reforming* akan sama besar dengan jumlah mol H<sub>2</sub> *inlet bed* 1. Selisih rasio terendah didapatkan pada tahun 2017 dengan nilai selisih 0,05, sedangkan selisih rasio tertinggi di tahun 2010 sebesar 0,36.

### Pengaruh Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Ammonia Converter terhadap Konversi Total H<sub>2</sub> Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

Tabel 8. Pengaruh Perbedaan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> terhadap Konversi Total H<sub>2</sub>

Tahun	Desain		Aktual		Selisih Konversi (%)
	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Konversi (%)	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Konversi (%)	
2010	3	32,69	2,64	31,58	1,11
2011	3	32,69	2,68	28,74	3,95
2012	3	32,69	2,71	28,97	3,72
2013	3	32,69	2,81	30,44	2,25
2014	3	32,69	2,8	30,78	1,91
2015	3	32,69	2,84	26,94	5,75
2016	3	32,69	2,76	27,95	4,74
2017	3	32,69	2,95	30,45	2,24
2018	3	32,69	3,07	29,98	2,71

Berdasarkan Tabel 8, dapat dinyatakan bahwa selisih konversi total H<sub>2</sub> terendah diperoleh pada tahun 2010, sebesar 1,11% dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 2,64. Sedangkan, selisih konversi total H<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2015, yaitu sebesar 5,75% dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 2,84. Sehingga selisih konversi yang dihasilkan berada pada *range* 1,11-5,75% dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> aktual berada pada *range* 2,64-3,07.

Perbandingan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *inlet* dari data desain dan data aktual terhadap konversi H<sub>2</sub> bersifat fluktuatif, sehingga tidak diketahui rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *inlet* optimum yang menyebabkan tercapai nilai konversi total H<sub>2</sub> yang ditentukan. Hal ini disebabkan karena adanya ketidakstabilan dari kinerja ammonia converter yang dipengaruhi kinerja katalis. Penurunan kinerja katalis secara langsung menurunkan *performance* dari ammonia converter, karena menurunkan nilai konversi total hidrogen yang terkonversi menjadi ammonia.

### Pengaruh Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Ammonia Converter terhadap Konversi Total N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual

Berdasarkan Tabel 9, dinyatakan bahwa selisih konversi total N<sub>2</sub> terendah diperoleh pada tahun 2018 sebesar 2,44% dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 3,07. Sedangkan, selisih konversi total N<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2011, yaitu sebesar 7,11% dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 2,76. Sehingga selisih konversi yang dihasilkan berada pada *range* 2,44-

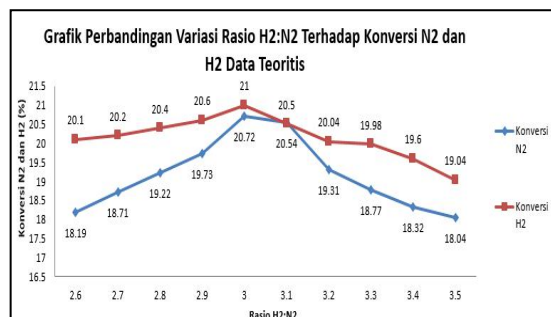
7,11% dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> aktual berada pada *range* 2,64-3,07.

Tabel 9. Pengaruh Perbedaan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> terhadap Konversi Total N<sub>2</sub>

Tahun	Desain		Aktual		Selisih Konversi (%)
	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Konversi (%)	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Konversi (%)	
2010	3	32,69	2,64	27,65	5,04
2011	3	32,69	2,68	25,58	7,11
2012	3	32,69	2,71	26,26	6,43
2013	3	32,69	2,81	28,43	4,26
2014	3	32,69	2,80	28,64	4,05
2015	3	32,69	2,84	29,03	3,66
2016	3	32,69	2,76	25,67	7,02
2017	3	32,69	2,95	29,92	2,77
2018	3	32,69	3,07	30,25	2,44

Perbandingan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *inlet* data desain dan aktual terhadap konversi N<sub>2</sub> bersifat fluktuatif, sehingga tidak diketahui rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *inlet* yang menyebabkan tercapai konversi total dari N<sub>2</sub> yang ditentukan. Hal ini disebabkan ketidakstabilan kinerja ammonia converter yang dipengaruhi katalis. Penurunan kinerja katalis menurunkan kinerja ammonia converter, karena konversi total N<sub>2</sub> yang menjadi NH<sub>3</sub> turun.

### Pengaruh Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Ammonia Converter terhadap Konversi H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Teoritis



Gambar 8. Grafik Hubungan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Bed I terhadap Konversi Total H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> Berdasarkan Data Teoritis

Akibat tidak diketahuinya pengaruh rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *inlet* ammonia converter terhadap konversi total H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> berdasarkan data aktual, maka diperlukan perhitungan dengan menggunakan data teoritis untuk mengetahui secara jelas pengaruh rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> *inlet* terhadap persentase konversi reaktan yang dihasilkan. Berdasarkan data teoritis peningkatan rasio reaktan 2,6-3,5 mengakibatkan peningkatan pada nilai konversi reaktan, namun rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> yang melebihi 3 terjadi penurunan konversi terhadap senyawa H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>.

Peningkatan rasio menyebabkan semakin banyak jumlah mol H<sub>2</sub> yang masuk ke dalam ammonia converter, sehingga semakin banyak mol H<sub>2</sub> yang dapat terkonsumsi di dalam ammonia



converter. Hal ini menyebabkan nilai dari rasio reaktan optimum berada pada nilai 3. Rasio dari reaktan yang bernilai 3 sesuai dengan stoikiometri reaksi, sehingga konversi H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> yang dicapai akan sesuai dengan yang ditentukan.

**Pengaruh Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Ammonia Converter terhadap Persentase Mol NH<sub>3</sub> Outlet Bed 2 Berdasarkan Data Desain dan Data Aktual**

**Tabel 10.** Pengaruh Perbedaan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> terhadap Persentase Mol NH<sub>3</sub> Outlet Bed 2

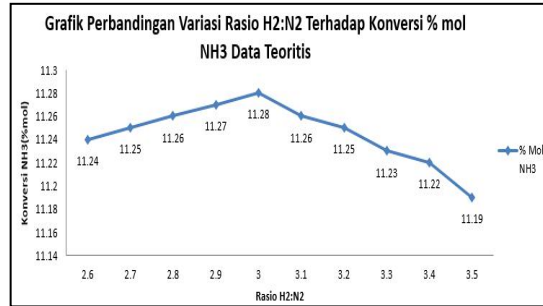
Tahun	Desain		Aktual		Selisih Komposisi (%mol)
	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Komposisi (%mol)	Rasio H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>	Komposisi (%mol)	
2010	3	17,06	2,64	18,18	1,12
2011	3	17,06	2,68	16,67	0,39
2012	3	17,06	2,71	16,61	0,45
2013	3	17,06	2,81	17,18	0,12
2014	3	17,06	2,80	17,27	0,21
2015	3	17,06	2,84	16,21	0,85
2016	3	17,06	2,76	16,99	0,07
2017	3	17,06	2,95	16,64	0,42
2018	3	17,06	3,07	16,06	1,0

Berdasarkan Tabel 10, dinyatakan bahwa selisih komposisi total NH<sub>3</sub> outlet bed 2 terendah diperoleh pada tahun 2016, yaitu sebesar 0,77% mol dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 2,76. Sedangkan, selisih konversi total N<sub>2</sub> tertinggi diperoleh pada tahun 2010, yaitu sebesar 1,12% mol dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> sebesar 2,64. Sehingga nilai selisih yang dihasilkan berada di range 0,07-1,12%mol dengan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> aktual berada pada range 2,64-3,07. Perbandingan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet dari data desain dan aktual terhadap komposisi NH<sub>3</sub> outlet bed 2 fluktuatif, sehingga tidak diketahui rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet optimum untuk mencapai komposisi total NH<sub>3</sub> yang telah ditentukan.

Berdasarkan data aktual, dapat dilihat kondisi aktual di 2015-2018 hampir mendekati kondisi desain untuk perbandingan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet, yaitu sebesar 2,76-3,07. Namun komposisi pada NH<sub>3</sub> outlet yang dihasilkan belum mendekati nilai komposisi desain. Hal ini dapat disebabkan penurunan dari kinerja ammonia converter yang dipengaruhi katalis.

**Pengaruh Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Ammonia Converter terhadap Komposisi Total NH<sub>3</sub> Outlet Bed 2 Berdasarkan Data Teoritis**

Akibat tidak diketahuinya pengaruh dari rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet ammonia converter terhadap nilai komposisi total NH<sub>3</sub> outlet bed 2 berdasarkan data aktual, diperlukan perhitungan menggunakan data teoritis agar mengetahui pengaruh dari rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet terhadap persentase mol komposisi NH<sub>3</sub> yang dihasilkan.



**Gambar 10.** Grafik Hubungan Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> Inlet Bed I terhadap Komposisi Total NH<sub>3</sub> Outlet Bed 2 Berdasarkan Data Teoritis

Akibat tidak diketahuinya pengaruh dari rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet ammonia converter terhadap nilai komposisi total NH<sub>3</sub> outlet bed 2 berdasarkan data aktual, diperlukan perhitungan menggunakan data teoritis agar mengetahui pengaruh dari rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> inlet terhadap persentase mol komposisi NH<sub>3</sub> yang dihasilkan. Berdasarkan data teoritis yang terdapat pada Gambar 10, peningkatan rasio reaktan dari 2,6-3,5 menyebabkan peningkatan NH<sub>3</sub> yang terbentuk sampai rasio bernilai 3 dan akan mengalami penurunan. Namun untuk dapat memaksimalkan proses rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> tetap dijaga sebesar 3. Hal ini disebabkan rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> yang masuk ammonia converter harus bernilai 3, agar sesuai stoikiometri reaksi pembentukan ammonia.

**4.KESIMPULAN**

1. Terjadi penurunan terhadap kinerja Ammonia Converter dari tahun 2010-2018. Hal ini dapat terlihat berdasarkan data konversi H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>, serta komposisi NH<sub>3</sub> aktual yang dihasilkan fluktuatif.
2. Peningkatan temperatur feed gas inlet Ammonia Converter akan menurunkan konversi H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>, serta komposisi NH<sub>3</sub> yang dihasilkan pada outlet bed 2.
3. Peningkatan tekanan feed gas inlet Ammonia Converter meningkatkan konversi H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>, serta komposisi NH<sub>3</sub> yang dihasilkan di outlet bed 2.
4. Rasio H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> feed gas inlet Ammonia Converter sebesar 3 adalah rasio optimal yang akan menghasilkan konversi H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>, serta komposisi NH<sub>3</sub> sesuai dengan data desain Ammonia Converter 105-D.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abraham, A., Nugraha, R. A., dan Chandra, D. 2015. *Deskripsi Proses Operasi Pusri-1B*. Palembang: Departemen Operasi 1B.  
 Felder, R. M. and Rosseau, R. W. 2005. *Elementary Principle of Chemical Process*. USA: Jhon Willey and Sons Inc.

- Perry, Robert H., and Don W. Green. 1975. *"Perry's Chemical Engineer's Handbook 5<sup>th</sup> Edition*. Tokyo: McGraw-Hill.
- Pupuk Sriwidjadja Palembang. 2019. Identitas Perusahaan PT Pupuk Sriwidjadja. (Online). [http://www.pusri.co.id/identitas\\_perusahaan-sekilas-identitas-perusahaan/](http://www.pusri.co.id/identitas_perusahaan-sekilas-identitas-perusahaan/). (Diakses pada 15 Februari 2019).
- Smith, J. M., H.C. Van Ness. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Tim Persiapan Operasi *Ammonia Plant* Pusri-IB. 1992. *Operating Instruction Manual*. Palembang: PT PUSRI Palembang.
- Treyball, R.E., 1980. *Mass Tranfer Operations*. New York: McGrawHill Book Company.