

Review Paper

## Simulasi Dan Optimalisasi *Ammonia Converter* Terhadap Peningkatan Persen Mol Amonia Produk Pada *Ammonia Plant*

### *Simulation and Optimization of Ammonia Converter On Increasing the Mole Percent of Ammonia Products in the Ammonia Plant*

Prahady Susmanto<sup>\*a</sup>, Mareta Dwi Saharany<sup>a</sup>, Riski Yona<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Ogan Ilir, 30862, Indonesia

Artikel Histori : Submitted 9 October 2023, Revised 19 October 2023, Accepted 28 November 2023, Online 30 November 2023

 <https://doi.org/10.33096/jcpe.v8i2.644>

**ABSTRAK:** *Ammonia converter* merupakan reaktor berkatalis yang berfungsi untuk mereaksikan gas nitrogen dan gas hidrogen menjadi amonia. Kinerja yang dihasilkan dari *ammonia converter* sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan efisiensi pabrik amonia. Hal tersebut dapat diketahui dari peningkatan produksi *ammonia* yang diperoleh dari *ammonia converter*. Untuk mendapatkan konversi amonia yang tinggi, maka perlu dilakukan proses optimalisasi *ammonia converter* dengan penambahan *cooler* dan *heat exchanger*. Simulasi dan optimalisasi dilakukan dengan menggunakan simulator Aspen HYSYS versi 10. Data yang digunakan untuk simulasi adalah data operasi *ammonia converter* berupa data desain dan data aktual. Hasil simulasi menunjukkan bahwa persen mol  $\text{NH}_3$  yang didapat sebelum optimalisasi dari data desain yaitu sebesar 17,02%, sedangkan persen mol  $\text{NH}_3$  rata-rata yang didapat pada data aktual yaitu 15,973%. Setelah optimalisasi, persen mol  $\text{NH}_3$  yang didapat dari data desain yaitu sebesar 19,02%, persen  $\text{NH}_3$  rata-rata yang didapat pada data aktual yaitu 17,738%. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan *cooler* pada *ammonia converter* yaitu meningkatkan persen *ammonia* outlet dengan menurunkan dan menjaga temperatur outlet bed *converter*. Pengaruh *heat exchanger* bertujuan menaikkan temperatur gas sebelum bereaksi di bed-2B dengan memanfaatkan panas gas outlet bed-2B. Akibatnya, temperatur gas outlet *ammonia converter* akan memiliki temperatur yang tidak terlalu tinggi menuju ke proses selanjutnya yaitu proses pendinginan.

**Kata Kunci:** Ammonia, Ammonia Converter, Cooler, Heat Exchanger

**ABSTRACT:** *Ammonia converter* is a catalyzed reactor that functions to react nitrogen gas and hydrogen gas into ammonia. The performance generated from the *ammonia converter* greatly affects the productivity and efficiency of the ammonia plant. This can be seen from the increase in ammonia production obtained from the *ammonia converter*. To obtain high ammonia conversion, it is necessary to optimize the *ammonia converter* with the addition of cooler and heat exchanger. Simulation and optimization are carried out using the Aspen HYSYS simulator version 10. The data used for simulation are ammonia converter operating data in the form of design data and actual data. The simulation results show that the  $\text{NH}_3$  mole percent obtained before optimization from the design data is 17.02%, while the average  $\text{NH}_3$  mole percent obtained in the actual data is 15.973%. After optimization, the  $\text{NH}_3$  mole percent obtained from the design data is 19.02%, the average  $\text{NH}_3$  percent obtained in the actual data is 17.738%. It can be concluded that the effect of adding a cooler to the ammonia converter is to increase the percent of ammonia outlet by reducing and maintaining the outlet temperature of the converter bed. The effect of the heat exchanger aims to increase the gas temperature before reacting in bed-2B by utilizing the heat of the bed-2B outlet gas. As a result, the ammonia converter outlet gas temperature will have a temperature that is not too high heading to the next process, namely the cooling process.

**Keywords:** Ammonia, Ammonia Converter, Cooler, Heat Exchanger

## 1. PENDAHULUAN

*Ammonia* merupakan senyawa kimia dengan rumus  $\text{NH}_3$  yang dapat berupa gas dengan bau tajam yang khas. Amonia menjadi salah satu material yang penting dan dikenal luas di bidang industri kimia terutama industri pupuk. Pada industri pupuk, Senyawa amonia nantinya akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk urea sebagai pupuk paling banyak di produksi di Indonesia sehingga produksi urea yang optimal sebagian besar tergantung pada cara yang efisien dari produksi pabrik amonia [1]. Proses sintesis amonia merupakan tahapan yang paling penting dan utama dalam pabrik amonia. Proses pembuatan amonia umumnya

Published by  
Department of Chemical Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

### Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI) Makassar- Sulawesi Selatan  
e-mail : [jcpe@umi.ac.id](mailto:jcpe@umi.ac.id)

Corresponding Author \*  
[prahady.susmanto@ft.unsri.ac.id](mailto:prahady.susmanto@ft.unsri.ac.id)



berlangsung melalui enam tahapan yaitu *feed treating*, *reforming*, purifikasi, sintesis, pemurnian, dan *recovery*. Sintesis amonia terjadi di dalam *ammonia converter* dengan mereaksikan gas sintesa ( $N_2$  dan  $H_2$ ) untuk memperoleh produk berupa amonia.

*Ammonia converter* merupakan suatu reaktor berkatalis yang berfungsi sebagai tempat untuk mereaksikan gas nitrogen ( $N_2$ ) dan gas hidrogen ( $H_2$ ) menjadi amonia ( $NH_3$ ) [2]. Reaksi pada *ammonia converter* merupakan reaksi kesetimbangan yang terjadi secara eksotermis dan berdasarkan proses Haber-Bosh yang berlangsung pada temperatur dan tekanan yang tinggi. Kedua gas nitrogen dan hidrogen direaksikan pada temperatur berkisar 350-500 °C dan tekanan berkisar 173-177 kg/cm<sup>2</sup>. Umpan gas yang masuk ke reaktor memiliki perbandingan  $H_2$  terhadap  $N_2$  sebesar 3:1 [3]. Namun, pada operasi aktualnya, perbandingan rasio  $H_2/N_2$  dapat dibah sedikit untuk mendapatkan perbandingan optimum  $H_2/N_2$  dalam campuran gas yang masuk ke *converter*. Perubahan rasio dari  $H_2/N_2$  tersebut akan berdampak pada konversi produk amonia yang didapat. Kadar amonia dalam gas outlet reaktor tercapai kira-kira 15-20% mol [4]. Gas yang tidak terkonversi akan dikembalikan ke reaktor untuk mendapatkan produksi yang maksimal.

Jenis *converter* yang digunakan pada proses ini merupakan *horizontal intercooled* dimana umpan gas sebelum memasuki reaktor akan melewati *interchanger* dimana temperaturnya meningkat [5]. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan produk dengan temperature *outlet* yang diharapkan dan menjaga temperatur antarbed agar konversi yang di dapat lebih optimal. *Ammonia converter* memiliki internal basket sebagai tempat katalis untuk mempercepat reaksi. Internal basket terdiri dari beberapa *catalyst bed* yang terpisah untuk mengkonversi  $N_2$  dan  $H_2$  menjadi  $NH_3$ . Pada proses ini, bed katalis terbagi menjadi tiga bed yaitu bed 1, bed 2A, dan bed 2B. Hal ini bertujuan untuk membatasi kenaikan temperatur akibat panas reaksi eksotermis sehingga temperatur *converter* dapat dijaga sesuai yang diinginkan. Reaksi eksotermis yang terjadi akan mengakibatkan kenaikan temperatur sehingga kesetimbangan reaksi bergeser ke kiri (reaktan), hal tersebut menyebabkan produk yang dihasilkan akan terurai kembali menjadi suatu reaktan.

Kinerja yang dihasilkan dari *ammonia converter* sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan efisiensi pabrik *ammonia* [2]. Hal tersebut dapat diketahui dari peningkatan produksi *ammonia* yang diperoleh dari hasil outlet *ammonia converter*. Kinerja *ammonia converter* juga mempengaruhi kapasitas produksi dari industri urea. Selain itu, reaksi pembentukan amonia merupakan reaksi eksotermis. Kenaikan temperatur akan mengakibatkan kesetimbangan reaksi bergeser ke kiri (reaktan), sehingga dapat menyebabkan produk amonia yang dihasilkan akan berkurang karena akan kembali terurai menjadi reaktan.

Optimalisasi *ammonia converter* dapat dilakukan dengan menentukan temperatur optimal dari setiap bed katalis [6]. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa temperatur inlet *converter* meningkatkan konversi fraksional sebesar 42,38% dan konsentrasi amonia sebesar 56,48%. Simulasi dan optimasi pada reaktor sintesis amonia juga dapat dilakukan berdasarkan korelasi inovatif untuk prediksi KP menggunakan aspen *hysys optimizer* [7]. Dapat dikatakan bahwa profil temperatur konverter optimal dapat meningkatkan produktivitas sekitar 8 ton amonia per hari dan disertai dengan peningkatan produksi uap sebesar 12 ton per hari.

sebelum bereaksi di dalam bed. Proses simulasi dan optimalisasi ini dibantu dengan menggunakan simulator aspen hysys.

Berdasarkan industri yang kami teliti, konversi amonia yang didapat dengan range 15,28-17,02 %. Oleh karena itu, untuk mendapatkan konversi amonia yang tinggi, maka perlu dilakukan proses simulasi dan optimalisasi ammonia converter pada unit sintesis amonia dengan adanya penambahan instrumen alat perpindahan panas sebelum bereaksi di dalam bed. Proses simulasi dan optimalisasi ini dibantu dengan menggunakan simulator aspen hysys.

## 2. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan untuk simulasi ini adalah data operasi *ammonia plant* berupa data desain dan data aktual dari *ammonia converter*. Data operasi yang dibutuhkan yaitu temperatur inlet, tekanan inlet, *flowrate* inlet, komposisi persen mol inlet, dan temperatur inlet bed-1.

Metodologi yang digunakan dalam penyelesaian ini meliputi studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data dengan simulator serta analisa hasil persen amonia yang didapatkan. Simulasi dan optimasi dilakukan dengan menggunakan simulator Aspen HYSYS versi 10. Langkah-langkah utama untuk simulasi proses amonia adalah pemilihan daftar komponen, pemilihan *fluid package*, mendefinisikan dan membentuk set reaksi, dan memasang aliran umpan dan menghubungkan alat proses. *Fluid Package* yang digunakan merupakan Peng-Robinson sebagai persamaan yang sering digunakan dalam simulasi dan optimalisasi proses kimia, khususnya yang melibatkan hidrokarbon. Peng-Robinson dapat digunakan pada sistem campuran non-polar ataupun semi-polar [8]. Selain itu, Peng-Robinson juga memiliki range pressure dan temperatur paling lebar.

Simulasi proses sintesis pada *ammonia converter* didasarkan pada asumsi-asumsi:

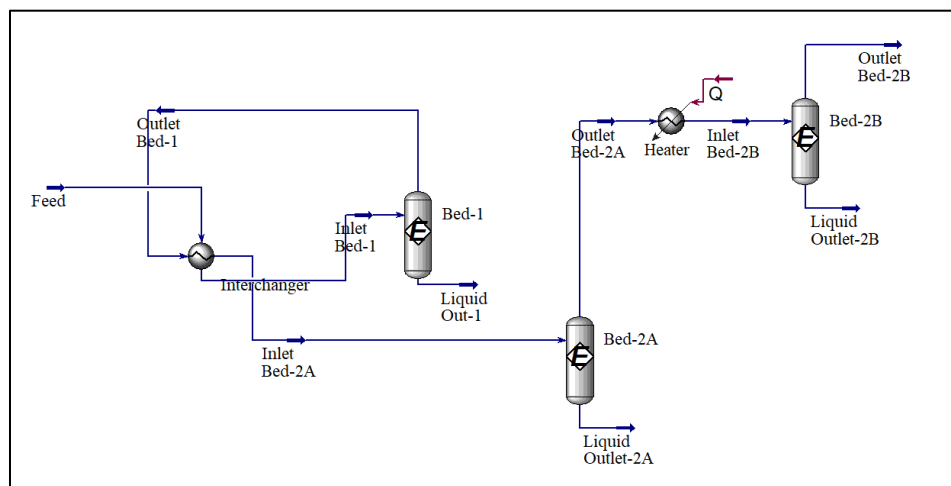
1. Masing-masing bed reaktor disimulasikan menggunakan jenis reaktor equilibrium
2. Konstanta kesetimbangan ditentukan dari komponen murni HYSYS default Gibbs Free Energy
3. Pressure drop baik pada ammonia converter dan alat penukar panas diabaikan.

**Tabel 1.** Data Desain dan Data Aktual *Ammonia Converter* pada Industri Pupuk Amonia

| Data          | Inlet Temp (°C) | Inlet Pressure (kg/cm <sup>2</sup> ) | H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> Ratio | Molar Flowrate Inlet (kmol/h) | Inlet NH <sub>3</sub> (%mol) |
|---------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| <b>Design</b> | <b>226,6</b>    | <b>172,10</b>                        | <b>3.01</b>                          | <b>24429,69</b>               | <b>1,70</b>                  |
| <b>Aktual</b> |                 |                                      |                                      |                               |                              |
| 1             | 246,0           | 158,29                               | 2.85                                 | 26537,43                      | 1,88                         |
| 2             | 253,0           | 150,91                               | 3.18                                 | 25804,41                      | 1,72                         |
| 3             | 245,5           | 156,97                               | 3                                    | 27446,69                      | 2,08                         |
| 4             | 254,4           | 168,61                               | 3.02                                 | 28068,62                      | 1,96                         |
| 5             | 248,0           | 150,10                               | 2.93                                 | 27095,12                      | 1,89                         |
| 6             | 248,0           | 151,00                               | 2.75                                 | 27195,50                      | 1,95                         |
| 7             | 252,8           | 159,63                               | 2.8                                  | 27726,87                      | 1,96                         |
| 8             | 256,9           | 164,29                               | 2.8                                  | 28055,68                      | 1,74                         |
| 9             | 259,1           | 163,92                               | 2.84                                 | 28000,36                      | 1,91                         |
| 10            | 260,7           | 165,00                               | 2.84                                 | 28114,13                      | 1,96                         |

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Simulasi Proses Ammonia Converter Sebelum Optimalisasi



Gambar 1. Skema Ammonia Converter dengan Simulasi Hysys

Proses pada *ammonia converter* diawali dengan umpan gas (*feed*) yang berisikan gas hidrogen, nitrogen, argon, metana serta amonia dialirkan menuju *interchanger*. *Ammonia converter feed exchanger (interchanger)* merupakan alat yang bertujuan untuk menaikkan temperatur gas umpan yang masuk ke *ammonia converter* dengan menggunakan panas dari gas outlet dari *ammonia converter* itu sendiri. *Interchanger* terletak di awal atau sebelum bed-1 dimana temperatur gas umpan sebelum masuk ke bed-1 akan dinaikkan terlebih dahulu melalui pertukaran panas dengan gas outlet bed-1. Akibatnya, temperatur gas *outlet* bed-1 akan mengalami penurunan sebelum masuk ke bed-2A sebagai *feed* dan bereaksi membentuk amonia. Selanjutnya, gas outlet bed-2A dialirkan menuju *heater* untuk dinaikkan temperaturnya guna memaksimalkan proses pembentukan *ammonia* di bed-2B.

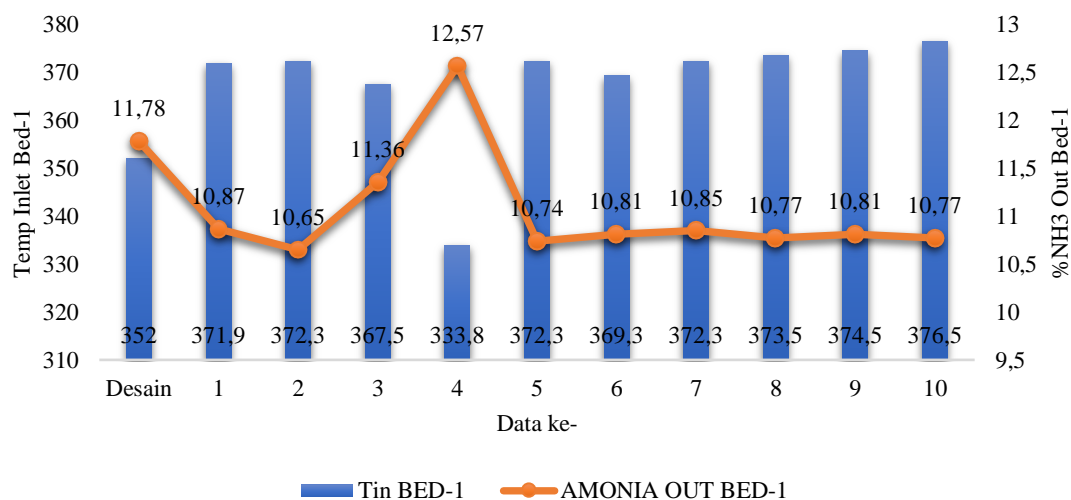
Tabel 2. Perbandingan Persen Mol  $\text{NH}_3$  pada Ammonia Converter tiap Bed

| Data             | Tin Bed-1 (°C) | $\text{NH}_3$ Out Bed-1 (%mol) | Tin Bed-2A (°C) | $\text{NH}_3$ Out Bed-2A (%mol) | Tin Bed-2B (°C) | $\text{NH}_3$ Out Bed-2B (%mol) |
|------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|
| <b>Desain</b>    | <b>352,0</b>   | <b>11,78</b>                   | <b>378,5</b>    | <b>17,35</b>                    | <b>460,0</b>    | <b>17,02</b>                    |
| <b>Aktual</b>    |                |                                |                 |                                 |                 |                                 |
| 1                | 371,9          | 10,87                          | 380,8           | 16,32                           | 462,7           | 15,90                           |
| 2                | 372,3          | 10,65                          | 388,0           | 15,74                           | 465,6           | 15,34                           |
| 3                | 367,5          | 11,36                          | 380,0           | 16,73                           | 465,4           | 16,07                           |
| 4                | 333,8          | 12,57                          | 408,0           | 16,12                           | 455,0           | 16,06                           |
| 5                | 372,3          | 10,74                          | 381,9           | 16,08                           | 451,0           | 16,26                           |
| 6                | 369,3          | 10,81                          | 380,7           | 16,05                           | 451,3           | 16,05                           |
| 7                | 372,3          | 10,85                          | 384,7           | 16,01                           | 448,2           | 16,26                           |
| 8                | 373,5          | 10,77                          | 391,0           | 15,77                           | 459,0           | 15,69                           |
| 9                | 374,5          | 10,81                          | 390,6           | 15,76                           | 434,7           | 16,82                           |
| 10               | 376,5          | 10,77                          | 391,5           | 15,73                           | 466,3           | 15,28                           |
| <b>Rata-Rata</b> |                |                                |                 |                                 |                 | <b>15,973</b>                   |

Berdasarkan tabel 2, persen mol  $\text{NH}_3$  yang didapat dari data desain yaitu sebesar 17,02%, sedangkan persen mol  $\text{NH}_3$  rata-rata yang didapat pada data aktual yaitu 15,973%. Persen mol  $\text{NH}_3$  data aktual yang paling tinggi selama periode pengamatan terjadi pada data ke-9 dimana hanya selisih 0,2 dari data desain (98,82% mendekati desain). Sedangkan persen mol *ammonia* paling rendah didapatkan pada data ke-10 yang memiliki selisih 1,74 dari data desain (89,77% mendekati desain). Persen *ammonia* yang didapat pada data aktual

bernilai lebih rendah dan tidak sesuai dengan data desain. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya temperatur inlet *converter* ataupun temperatur inlet tiap bed.

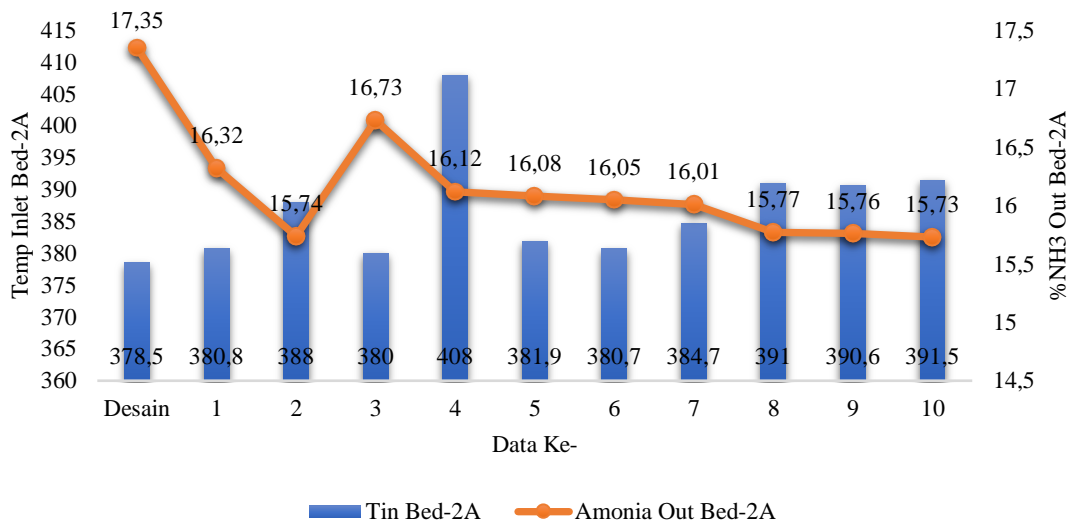
Persen  $\text{NH}_3$  tertinggi pada data ke-9 sebesar 16,82% mol memiliki nilai temperatur inlet  $259,1^\circ\text{C}$ . Besar persen  $\text{NH}_3$  pada data tersebut bernilai lebih rendah jika dibandingkan dengan data desain. Hal ini dapat dinyatakan bahwa nilai temperatur inlet akan mempengaruhi nilai persentase mol  $\text{NH}_3$  yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur inlet, maka semakin kecil nilai % mol  $\text{NH}_3$  yang didapat. Ketika temperatur sistem naik, maka kesetimbangan akan bergeser ke arah kiri (endotermis) [9]. Seperti halnya pada data ke-10 yang memiliki temperatur inlet tertinggi yaitu  $260,7^\circ\text{C}$ , namun menghasilkan persentase  $\text{NH}_3$  paling rendah sebesar 15,28 %.



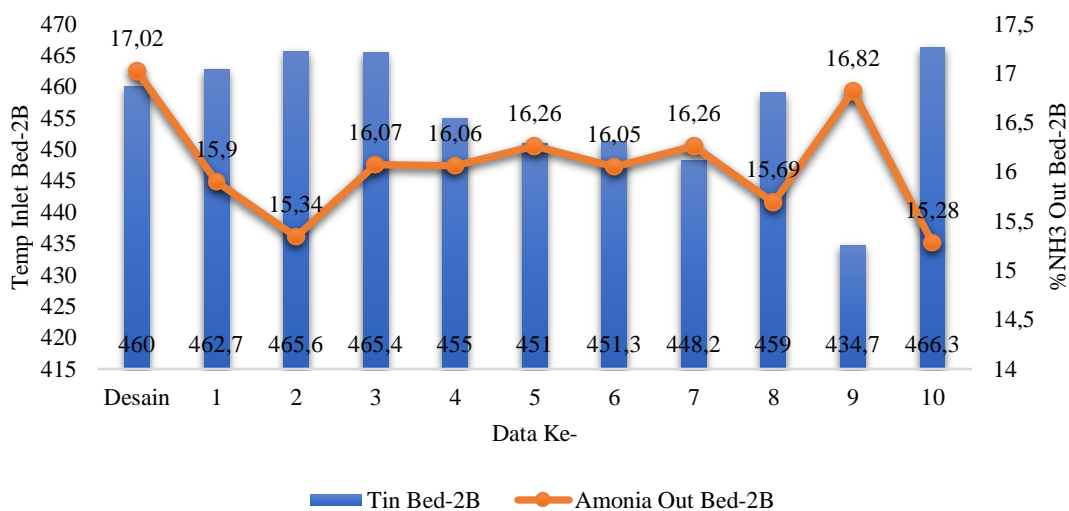
**Gambar 2.** Pengaruh Temperatur Terhadap Persen Mol Amonia Outlet pada Bed-1

Temperatur gas yang masuk ke bed-1 bergantung pada pertukaran panas dengan gas outlet bed-1 yang nantinya akan masuk ke bed-2A. Namun, gas outlet bed-2A dengan temperatur tinggi kemudian dialirkan ke *heater*. Hal ini tentunya akan menurunkan konversi amonia dikarenakan proses pembentukan yang bersifat eksotermis. Berdasarkan gambar 2, data aktual ke-4 menghasilkan persen amonia yang paling tinggi yang disebabkan rendahnya temperatur inlet data tersebut dibandingkan data aktual lainnya. Namun, berdasarkan gambar 3, data ke-4 pada bed-2A memperoleh persen mol amonia yang rendah dibandingkan data desain. Hal yang sama juga terjadi di gambar 4, data ke-4 pada bed-2B juga memperoleh persen mol amonia yang rendah dibandingkan data desain. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa temperatur inlet tiap bed juga akan mempengaruhi persen mol amonia outlet.

Hal tersebut sesuai dengan prinsip Le Chateliers yang menyatakan bahwa jika terhadap suatu sistem kesetimbangan dilakukan suatu aksi (tindakan) maka sistem kesetimbangan tersebut akan melakukan reaksi (pergeseran) untuk mengurangi pengaruh aksi tersebut juga [10]. Prinsip tersebut menyatakan bahwa suatu sistem setimbang, bila dipengaruhi secara eksternal, akan bergeser membentuk keseimbangan baru untuk meminimalkan pengaruh eksternal tersebut [11]. Dengan menaikkan temperatur akan menggeser kesetimbangan ke kiri dan menurunkan konsentrasi kesetimbangan amonia karena reaksi pembentukan *ammonia* adalah reaksi eksotermis. Pada saat inilah  $\text{NH}_3$  yang sudah terbentuk terurai kembali menjadi reaktan yaitu  $\text{H}_2$  dan  $\text{N}_2$ . Sedangkan penurunan temperatur menyebabkan posisi kesetimbangan bergerak ke kanan sehingga menghasilkan hasil amonia yang lebih tinggi [12]. Oleh karena itu, untuk mencapai tingkat konversi yang tinggi, reaktor ini memerlukan sistem pendingin.

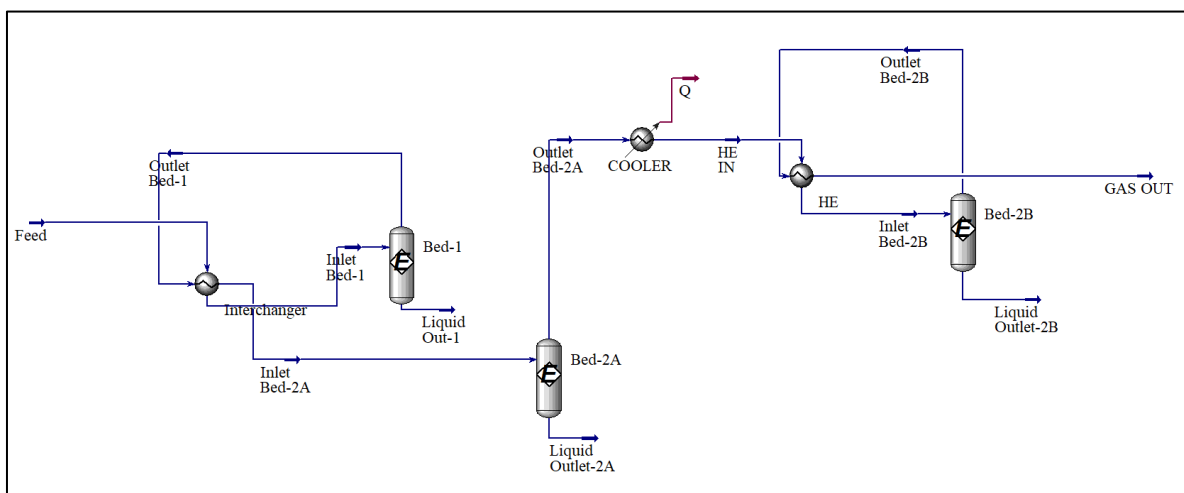


Gambar 3. Pengaruh Temperatur Terhadap Persen Mol Amonia Outlet pada Bed-2A



Gambar 4. Pengaruh Temperatur Terhadap Persen Mol Amonia Outlet Pada Bed-2B

3.2. Simulasi Aliran Proses Ammonia Converter Sesudah Optimalisasi



Gambar 5. Optimalisasi Skema Ammonia Converter dengan Simulasi Hysys



Proses optimalisasi *ammonia converter* pada gambar 5 terjadi tahapan yang sama dengan proses pada gambar 1 dimana umpan gas (*feed*) dialirkan menuju *interchanger* untuk dinaikkan temperaturnya kemudian bereaksi di bed-1. Gas outlet bed-1 akan mengalami penurunan sebelum masuk ke bed-2A sebagai *feed* dan bereaksi membentuk amonia. Namun, yang menjadi perbedaan yaitu adanya perubahan dan penambahan alat instrumen pertukaran panas berupa *cooler* dan *heat exchanger* diantara bed-2A dan bed-2B. *Cooler* terletak sesudah bed-2A sehingga temperatur gas outlet bed-2A menjadi turun kemudian gas dialirkan ke *heat exchanger* untuk proses pertukaran panas dengan outlet bed-2B. Hal ini bertujuan guna memaksimalkan proses pembentukan *ammonia* di bed-2B.

**Tabel 3.** Perbandingan Persen Mol NH<sub>3</sub> Hasil Optimalisasi pada *Ammonia Converter* tiap Bed

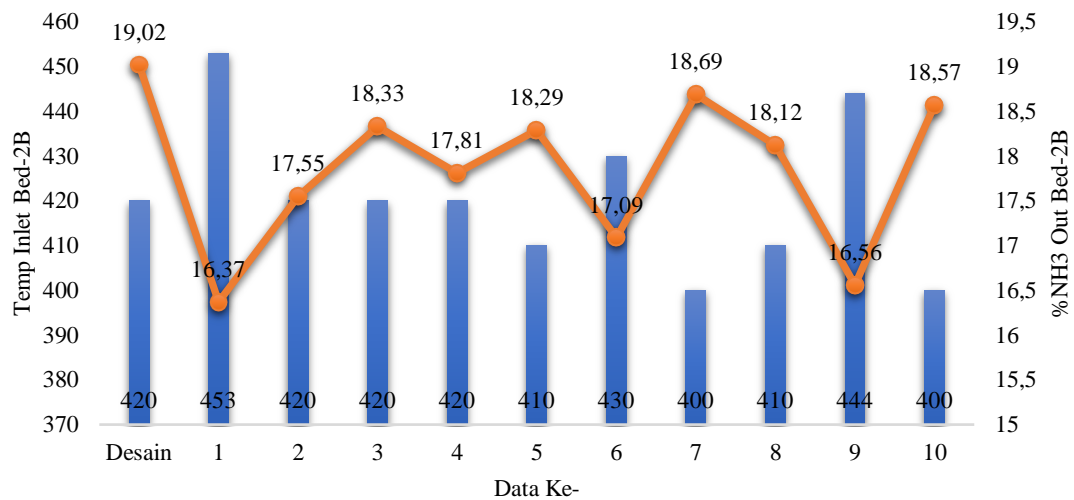
| Data          | Tin Bed-1<br>(°C) | NH <sub>3</sub> Out<br>Bed-1<br>(%mol) | Tin Bed-2A<br>(°C) | NH <sub>3</sub> Out<br>Bed-2A | Tin Bed-2B<br>(°C) | NH <sub>3</sub> Out<br>Bed-2B<br>(%mol) |
|---------------|-------------------|--|--------------------|-------------------------------|--------------------|---|
| <b>Desain</b> | <b>352,0</b>      | <b>11,78</b>                           | <b>378,5</b>       | <b>17,35</b>                  | <b>420,0</b>       | <b>19,02</b>                            |
| <b>Aktual</b> |                   |  |                    |                               |                    |   |
| 1             | 371,9             | 10,87                                  | 380,8              | 16,32                         | 453,0              | 16,37                                   |
| 2             | 372,3             | 10,65                                  | 388,0              | 15,74                         | 420,0              | 17,55                                   |
| 3             | 367,5             | 11,36                                  | 380,0              | 16,73                         | 420,0              | 18,33                                   |
| 4             | 333,8             | 12,57                                  | 408,0              | 16,12                         | 420,0              | 17,81                                   |
| 5             | 372,3             | 10,74                                  | 381,9              | 16,08                         | 410,0              | 18,29                                   |
| 6             | 369,3             | 10,81                                  | 380,7              | 16,05                         | 430,0              | 17,09                                   |
| 7             | 372,3             | 10,85                                  | 384,7              | 16,01                         | 400                | 18,69                                   |
| 8             | 373,5             | 10,77                                  | 391,0              | 15,77                         | 410,0              | 18,12                                   |
| 9             | 374,5             | 10,81                                  | 390,6              | 15,76                         | 444,0              | 16,56                                   |
| 10            | 376,5             | 10,77                                  | 391,5              | 15,73                         | 400,0              | 18,57                                   |
|               |                   |  | <b>Rata-Rata</b>   |                               |                    | 17,738                                  |

Berdasarkan tabel 3, persen mol NH<sub>3</sub> yang didapat dari data desain yaitu sebesar 19,02%, sedangkan persen NH<sub>3</sub> rata-rata yang didapat pada data aktual yaitu 17,738%. Hal ini dapat dikatakan bahwa persen mol amonia akhir baik data desain ataupun data aktual mengalami peningkatan yang disebabkan karena adanya penambahan *cooler* dan *heat exchanger* diantara bed-2A dan bed-2B. Persen NH<sub>3</sub> data aktual yang paling tinggi selama periode pengamatan terjadi pada data ke-7 dimana hanya selisih 0,33 dari data desain (98,265% mendekati desain). Sedangkan persen mol *ammonia* paling rendah didapatkan pada data ke-1 yang memiliki selisih 2,65 dari data desain (86,0673% mendekati desain).

Apabila ditinjau dari proses sebelum optimalisasi, data aktual ke-9 mengalami penurunan persen produk. Hal ini diakibatkan karena pengaruh temperatur. Temperatur yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi telah melewati batas optimum sehingga reaksi bergeser ke arah kiri yaitu arah reaktan. Konversi amonia meningkat seiring dengan kenaikan temperatur, namun pada temperatur tertentu pergeseran kesetimbangan kimia mulai mendominasi. Artinya terdapat titik optimum dimana diperoleh jumlah amonia maksimum [13]. Proses peningkatan temperatur inlet melebihi titik optimum akan menghasilkan penurunan konversi [6]. Hal ini menunjukkan bahwa pada reaksi ekotermis apabila temperatur melebihi ambang batas, produktivitas menurun, dan terjadi dekomposisi produk menjadi reaktan hingga mencapai keseimbangan [14].

Selain itu, temperatur pada proses pembentukan *ammonia* dapat mempengaruhi laju reaksi. Temperatur yang lebih tinggi menyebabkan pergerakan partikel lebih sering, sehingga meningkatkan frekuensi dan laju tumbukan [15]. Namun, apabila temperatur yang digunakan sangatlah rendah maka laju reaksinya akan berkurang. Laju pembentukan pada awalnya meningkat dengan meningkatnya temperatur tetapi kemudian

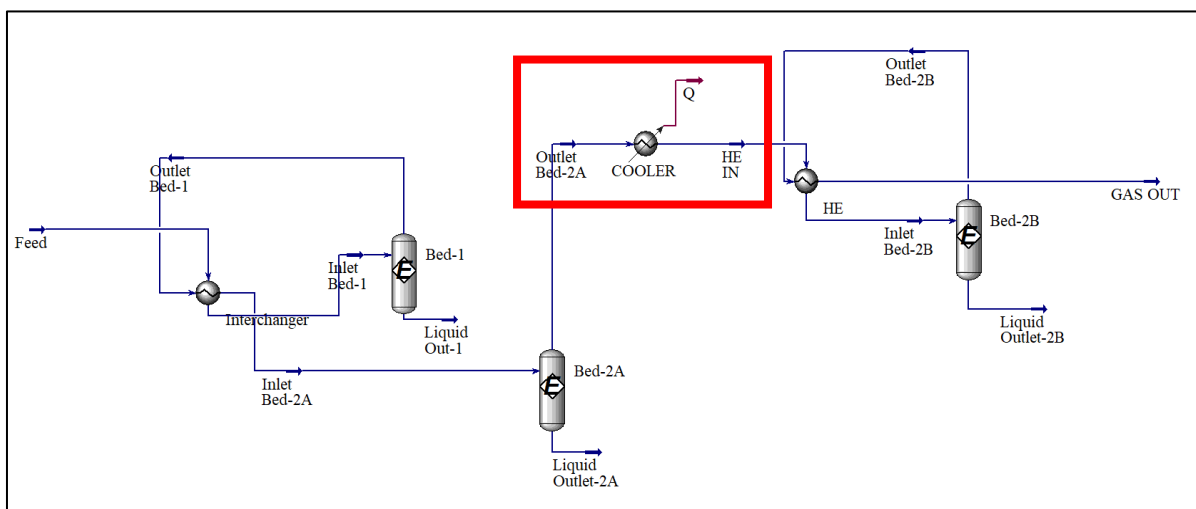
mengalami maksimum ketika sistem mendekati kesetimbangan termodinamika [16]. Oleh karena itu, temperatur harus dioptimalkan untuk mendapatkan laju reaksi yang lebih baik. Sedangkan, faktor lain seperti tekanan pada proses optimalisasi ini tidak berpengaruh karena tekanan yang dimiliki gas bersifat konstan.



**Gambar 6.** Pengaruh Temperatur Terhadap Persen mol Amonia Outlet Pada Bed-2B

Persen mol yang terbentuk pada bed-1 secara desain adalah 11,78%, sedangkan konversi mol amonia pada bed-2A didapatkan sebesar 17,35% (naik 5,57% dari bed-1). Besarnya konversi mol amonia pada bed-1 dibandingkan bed lainnya disebabkan karena rendahnya temperatur inlet bed-1 dan rendahnya konsentrasi amonia yang terkandung dalam gas umpan. Selain itu, konsentrasi mol H<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> sebagai reaktan pada gas umpan juga sangat tinggi sehingga laju reaksinya juga akan tinggi. Sedangkan pada outlet bed-1, konsentrasi hidrogen dan nitrogen akan menurun, dan konsentrasi amonia meningkat di sepanjang bed mendekati kesetimbangan karena reaksi eksotermis yang mengarah pada peningkatan temperatur dan mendekati kesetimbangan [12]. Begitupun juga bed-2B pada gambar 6, amonia yang diperoleh pada data desain sebesar 19,02% (naik 1,67% dari bed-2A). Hal yang sama juga terjadi pada data aktual yang mengalami peningkatan persen mol amonia outlet pada bed-2B dibandingkan sebelum optimalisasi.

### 3.3. Pengaruh Penambahan Cooler Pada Ammonia Converter



**Gambar 7.** Pengaruh Penambahan Cooler Pada Ammonia Converter



Pengaruh penambahan *cooler* pada *ammonia converter* yaitu dapat meningkatkan konversi *ammonia* dengan penambahan *cooler* dapat menurunkan temperatur reaksi, sehingga reaksi berlangsung lebih cepat dan efisien [17]. Hal ini menyebabkan peningkatan konversi *ammonia* dari gas nitrogen dan hidrogen menjadi *ammonia* [18]. Reaksi produksi *ammonia* merupakan reaksi eksotermik, yaitu reaksi yang melepaskan panas [19]. Temperatur reaksi yang tinggi dapat menyebabkan reaksi berlangsung lebih cepat, tetapi juga dapat menyebabkan reaksi tidak sempurna [20]. Hal ini karena pada temperatur tinggi, sebagian nitrogen dan hidrogen dapat bereaksi menjadi senyawa lain yang tidak diinginkan, seperti nitrogen oksida (NO) dan karbon monoksida (CO) [21].

Adapun penurunan temperatur outlet bed *converter* dengan penambahan *cooler* dapat menyerap panas reaksi, sehingga temperatur outlet bed *converter* menjadi lebih rendah. Hal ini dapat mengurangi risiko kerusakan peralatan *converter* akibat *overheating* [22]. *Overheating* terjadi karena pada temperatur tinggi, seperti logam-logam yang digunakan untuk membuat *converter* dapat memuai dan berubah bentuk.

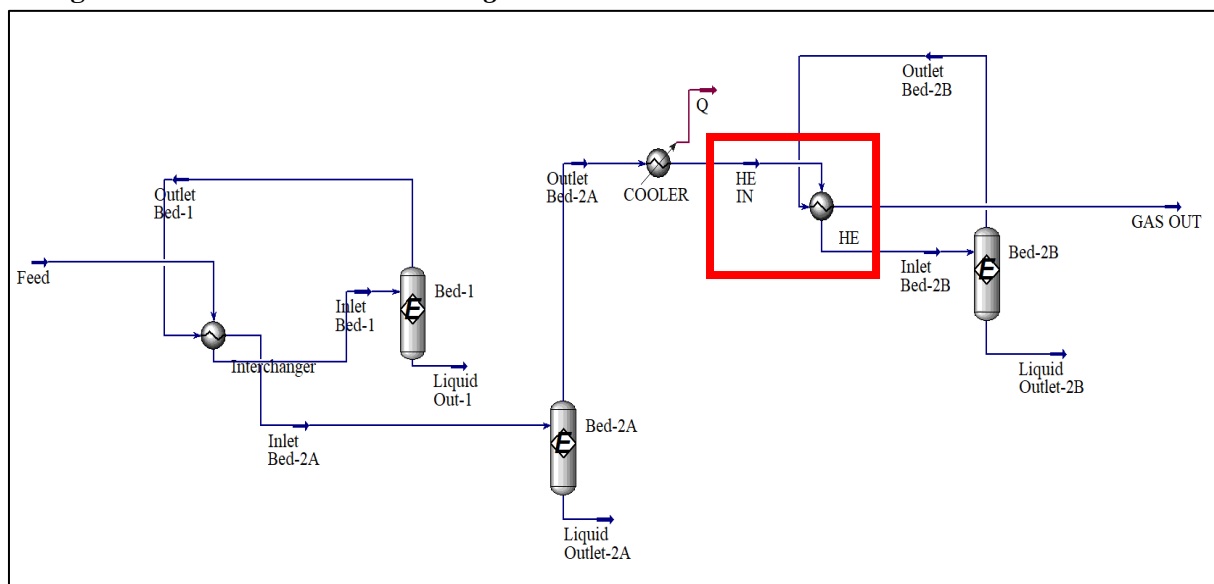
Adapun pengaruh peningkatan efisiensi energi dengan penambahan *cooler* dapat menghemat energi yang dibutuhkan untuk mendinginkan aliran gas [12]. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi energi proses produksi *ammonia*. Proses pendinginan aliran gas di *ammonia converter* membutuhkan energi yang cukup besar. Secara keseluruhan, penambahan *cooler* pada *ammonia converter* dapat meningkatkan konversi *ammonia*, menurunkan temperatur outlet bed *converter*, dan meningkatkan efisiensi energi.

**Tabel 4.** Data Temperatur dan Kalor pada *Cooler*

| Data   | Tin Cooler (°C) | Tout Cooler (°C) | Heat Flow (Kj/h)        |
|--------|-----------------|------------------|-------------------------|
| Desain | 453,2           | 400,0            | 4,031 x 10 <sup>7</sup> |
| Aktual |                 |                  |                         |
| 1      | 454,0           | 400,0            | 4,510 x 10 <sup>7</sup> |
| 2      | 457,2           | 400,0            | 4,606 x 10 <sup>7</sup> |
| 3      | 451,8           | 400,0            | 4,513 x 10 <sup>7</sup> |
| 4      | 453,8           | 400,0            | 4,907 x 10 <sup>7</sup> |
| 5      | 454,7           | 380,0            | 6,276 x 10 <sup>7</sup> |
| 6      | 451,2           | 420,0            | 2,681 x 10 <sup>7</sup> |
| 7      | 453,4           | 370,0            | 7,352 x 10 <sup>7</sup> |
| 8      | 457,4           | 380,0            | 6,929 x 10 <sup>7</sup> |
| 9      | 456,3           | 429,0            | 2,468 x 10 <sup>7</sup> |
| 10     | 456,9           | 380,0            | 6,929 x 10 <sup>7</sup> |

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa pada data ke-7 nilai kalor meningkat sekitar 7,352 x 10<sup>7</sup> kj/h daripada data desain sekitar 4,031 x 10<sup>7</sup> kj/h karena semakin banyak kalor yang diserap oleh *cooler*, maka semakin efisien pendinginan yang dilakukan. Hal ini disebabkan karena tingginya perbedaan temperatur inlet dan outlet *cooler* sehingga banyaknya kalor yang akan diserap dan dilepas oleh *cooler*. Sedangkan untuk data yang terkecil dapat dilihat pada data ke- 9 sekitar 2,468 x 10<sup>7</sup> kj/h karena semakin sedikit kalor yang diserap oleh *cooler* akibat kecilnya perbedaan temperatur inlet dan outlet pada *cooler*.

### 3.4. Pengaruh Penambahan *Heat Exchanger* Pada *Ammonia Converter*



**Gambar 8.** Pengaruh Penambahan *Heat Exchanger* Pada *Ammonia Converter*

Gas outlet bed-2A dari *cooler* akan dialirkan ke *heat exchanger* dan bertukar panas dengan gas outlet bed-2B. Penggunaan *heat exchanger* bertujuan untuk menaikkan temperatur gas sebelum bereaksi di bed-2B dengan memanfaatkan panas gas outlet bed-2B. Akibatnya, temperatur gas outlet ammonia converter akan memiliki temperatur yang tidak terlalu tinggi untuk menuju ke proses atau tahap selanjutnya yaitu proses pendinginan. Berdasarkan tabel 5, temperatur gas outlet ammonia converter setelah optimalisasi mengalami penurunan yang signifikan dibandingkan sebelum optimalisasi. Hal ini dapat dikatakan bahwa dengan adanya penggunaan *heat exchanger* dapat menurunkan temperatur gas outlet converter dan meningkatkan persen mol amonia yang dihasilkan [23]. Dengan adanya *heat exchanger*, Temperatur yang masuk bed dapat di jaga konstan [24].

Apabila temperatur dinaikkan, posisi kesetimbangan berpindah ke endotermik arah untuk menurunkan temperatur [25]. Semakin tinggi temperatur, posisi kesetimbangan bergeser ke kiri dan rendemen amonia menurun. Tampaknya masuk akal untuk menggunakan temperatur yang sangat rendah untuk memaksimalkan hasil amonia, tetapi temperatur yang lebih rendah akan mengurangi laju reaksi. Penggunaan *heat exchanger* dapat meningkatkan kinerja dari ammonia converter. *Heat exchanger* ini meningkatkan temperatur gas yang masuk ke bed-2B sehingga pada saat reaksi konversi ammonia di dalam bed reaktor, ammonia converter bekerja lebih ringan karena temperatur gas yang tinggi. Temperatur feed gas yang tinggi juga mempengaruhi laju reaksi di ammonia converter menjadi lebih cepat.

Jenis *heat exchanger* yang digunakan berbentuk *shell and tube*. Salah satu fluida mengalir di dalam tube, sedang fluida lainnya dialirkan melalui shell melintasi luar tabung. Pada proses optimalisasi ini, gas input HE dialirkan ke sisi *shell* sedangkan gas outlet bed-2B di sisi *tube*. Model *heat exchanger* yang digunakan pada simulasi merupakan *simple end point* dengan asumsi tidak adanya perubahan fase dan nilai koefisien perpindahan panas secara keseluruhan konstan. Panas yang hilang (*heat loss*) pada *heat exchanger* dianggap nol.

Tabel 5. Nilai Duty dan Temperatur Gas Amonia Outlet

| Data   | Temp. Gas Out (°C)   |                      | Duty (Kj/h)             |
|--------|----------------------|----------------------|-------------------------|
|        | Sebelum Optimalisasi | Sesudah Optimalisasi |                         |
| Desain | 455,7                | 421,3                | 1,509 x 10 <sup>7</sup> |
| Aktual |                      |                      |                         |
| 1      | 457,3                | 400,6                | 4,427 x 10 <sup>7</sup> |
| 2      | 460,4                | 423,5                | 1,603 x 10 <sup>7</sup> |
| 3      | 456,9                | 420,3                | 1,733 x 10 <sup>7</sup> |
| 4      | 454,3                | 421,0                | 1,814 x 10 <sup>7</sup> |
| 5      | 453,3                | 408,6                | 2,507 x 10 <sup>7</sup> |
| 6      | 451,2                | 433,3                | 8,570 x 10 <sup>6</sup> |
| 7      | 451,4                | 403,8                | 2,624 x 10 <sup>7</sup> |
| 8      | 458,0                | 409,7                | 2,668 x 10 <sup>7</sup> |
| 9      | 448,0                | 439,0                | 9,928 x 10 <sup>6</sup> |
| 10     | 460,6                | 415,8                | 1,786 x 10 <sup>7</sup> |

*Duty* didefinisikan sebagai jumlah panas yang dibutuhkan untuk berpindah dari fluida panas ke fluida dingin dalam satuan waktu. Dalam proses ini, panas yang ditransfer merupakan panas sensibel dimana fluida tidak mengalami perubahan fase. Berdasarkan tabel 5, semua data menghasilkan nilai *duty* yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh perbedaan temperatur masuk dan keluar pada *heat exchanger* serta laju alir amonia yang sesuai dengan rumus dimana  $Q$  berbanding lurus terhadap laju alir gas dan  $\Delta T$  sehingga apabila nilai laju alir gas dan  $\Delta T$  mengalami penurunan maka nilai  $Q$  juga akan mengalami penurunan [26].

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan persen mol amonia apabila dilakukan optimalisasi dengan adanya penambahan *cooler* dan *heat exchanger* pada *ammonia converter*. Hasil simulasi menunjukkan persen mol NH<sub>3</sub> yang didapat sebelum optimalisasi dari data desain yaitu sebesar 17,02%, sedangkan persen mol NH<sub>3</sub> rata-rata yang didapat pada data aktual yaitu 15,973%. Sedangkan setelah optimalisasi, persen mol NH<sub>3</sub> yang didapat dari data desain yaitu sebesar 19,02%, sedangkan persen NH<sub>3</sub> rata-rata yang didapat pada data aktual yaitu 17,738%. Pengaruh penambahan *cooler* pada *ammonia converter* yaitu meningkatkan persen *ammonia* outlet dengan menurunkan dan menjaga temperatur outlet bed *converter*. Pengaruh *heat exchanger* bertujuan menaikkan temperatur gas sebelum bereaksi di bed-2B dengan memanfaatkan panas gas outlet bed-2B. Akibatnya, temperatur gas outlet *ammonia converter* akan memiliki temperatur yang tidak terlalu tinggi menuju ke proses selanjutnya yaitu proses pendinginan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Burhan Kabir Suhan, M. Naimur Rahman Hemal, M. A. A. Shoukat Choudhury, dan M. Ali Akkas Mazumder, "Optimal design of ammonia synthesis reactor for a process industry," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 34, no. 1, hlm. 23–30, Jan 2022, doi: 10.1016/j.jksues.2020.08.004.
- [2] Nurafni Oktafia Siringo-ringo, Indah Sari, dan Selpiana, "Evaluasi kinerja ammonia converter pabrik urea ditinjau dari konversi N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> dengan menggunakan hysys," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, no. 3, hlm. 80–85, Nov 2019, doi: 10.36706/jtk.v25i3.133.

- [3] R. M. Yusuf Agustria, A. Azhar, dan R. Wulandari Putri, "Evaluasi efisiensi ammonia converter unit ammonia pada industri pupuk urea," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, no. 3, hlm. 70–74, 2019.
- [4] D. Bahrin, I. N. Sakinah, dan F. U. K. Putri, "Analisa Performance Ammonia Converter pabrik Pupuk Sebelum dan Sesudah Turn Around (TA)," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 25, hlm. 13–17, 2019.
- [5] M. J. Azarhoosh, F. Farivar, dan H. Ale Ebrahim, "Simulation and optimization of a horizontal ammonia synthesis reactor using genetic algorithm," *RSC Adv*, vol. 4, no. 26, hlm. 13419–13429, 2014, doi: 10.1039/c3ra45410j.
- [6] J. G. Akpa dan N. R. Raphael, "Optimization of an Ammonia Synthesis Converter," *World Journal of Engineering and Technology*, vol. 02, no. 04, hlm. 305–313, 2014, doi: 10.4236/wjet.2014.24032.
- [7] M. El-Gharbawy, W. Shehata, dan F. Gad, "Ammonia converter Simulation and Optimization Based on an Innovative Correlation for (KP) Prediction," *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, vol. 23, no. 12, hlm. 323–338, Des 2021, doi: 10.51201/JUSST/21/121034.
- [8] O. J. Paramitha, C. E. Lusiani, K. Sa'diyah, B. K. Novianto, E. Noersoesanto, dan P. I. Uzlak, "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, no. 4, hlm. 988–999, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <http://distilat.polinema.ac.id>
- [9] L. J. E. Dewi, "Pengembangan Media Pembelajaran Reaksi Kesetimbangan Kimia," *UNDIKSHA*, vol. 6, hlm. 71–80, 2009.
- [10] W. O. Rinanda, I. HS, dan Nirwana, "Pengaruh Komposisi Katalis H-Zeolit dan Kecepatan Pengadukan pada Sintesa Plastisizer Butil Oleat," *Jom FTEKNIK*, vol. 2, no. 2, hlm. 1–8, 2015.
- [11] M. J. Uline dan D. S. Corti, "The ammonia synthesis reaction: An exception to the Le Châtelier principle and effects of nonideality," *J Chem Educ*, vol. 83, no. 1, hlm. 138–144, 2006, doi: 10.1021/ed083p138.
- [12] A. Shamiri dan N. Aliabadi, "Modeling and performance improvement of an industrial ammonia synthesis reactor," *Chemical Engineering Journal Advances*, vol. 8, Nov 2021, doi: 10.1016/j.ceja.2021.100177.
- [13] R. M. B. Gullberg, *Controllability Analysis of Ammonia Synthesis Loops*. 2018.
- [14] C. D. Demirhan, W. W. Tso, J. B. Powell, dan E. N. Pistikopoulos, "Sustainable ammonia production through process synthesis and global optimization," *AIChE Journal*, vol. 65, no. 7, hlm. 2–23, Jul 2019, doi: 10.1002/aic.16498.
- [15] V. Badescu, "Optimal design and operation of ammonia decomposition reactors," *Int J Energy Res*, vol. 44, no. 7, hlm. 5360–5384, Jun 2020, doi: 10.1002/er.5286.
- [16] G. R. Maxwell, *Synthetic Nitrogen Products*. Memphis, Tennessee: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2004.
- [17] M. Aziz, A. TriWijayanta, dan A. B. D. Nandiyanto, "Ammonia as effective hydrogen storage: A review on production, storage and utilization," *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 12, hlm. 1–25, Jun 2020, doi: 10.3390/en13123062.
- [18] M. Hattori, S. Iijima, T. Nakao, H. Hosono, dan M. Hara, "Solid solution for catalytic ammonia synthesis from nitrogen and hydrogen gases at 50°C," *Nat Commun*, vol. 11, no. 1, hlm. 1–8, Des 2020, doi: 10.1038/s41467-020-15868-8.

- [19] F. O. Myranthika, *Pergeseran Kesetimbangan Kimia Kelas XI*. 2020.
- [20] A. M. Elbaz, S. Wang, T. F. Guiberti, dan W. L. Roberts, "Review on the recent advances on ammonia combustion from the fundamentals to the applications," *Fuel Communications*, vol. 10, hlm. 1–26, Mar 2022, doi: 10.1016/j.jfueco.2022.100053.
- [21] S. R. Kusumaningrum, N. A. Rosalin, A. Wiguno, dan G. Wibawa, "Pra-Desain Pabrik Amonia dari Gas Alam," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 12, no. 2, hlm. B103–B109, 2023.
- [22] F. M. Dewadi, Z. Lillahulhaq, Irwanto, T. B. Karyasa, dan D. K. Sari, *Teknik Pendingin Dan Tata Udara*. Sumatera Barat: PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI, 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/370631014>
- [23] A. Berlianto, D. Susanti, dan Nurdiansah Haniffudin, "Analisis Pengaruh Penambahan Activated Carbon (AC) terhadap Sifat Fotokatalis Material Komposit CuO/AC dalam Mereduksi CO<sub>2</sub> menjadi Metanol di Bawah Penyinaran Sinar Tampak," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 11, no. 1, hlm. B29–B34, 2022.
- [24] D. Rosarina, "Studi Pengaruh Proses Pengintegrasian Panas Terhadap Konversi Amonia pada Intercooler Reaktor Amoniak PUSRI II dengan Analisis Pinch," *Jurnal Redoks*, vol. 1, hlm. 26–34, 2016.
- [25] E. Ghanbari, S. J. Picken, dan J. H. van Esch, "Analysis of differential scanning calorimetry (DSC): determining the transition temperatures, and enthalpy and heat capacity changes in multicomponent systems by analytical model fitting," *J Therm Anal Calorim*, hlm. 12393–12409, Nov 2023, doi: 10.1007/s10973-023-12356-1.
- [26] S. N. Anjani, N. ZA, A. Azhari, S. Bahri, dan N. Sylvia, "Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Pembentukan *Fouling Factor* (Rd) Pada Kondensor 61-127-C Di Unit Ammonia Refrigerant PT. Pupuk Iskandar Muda," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 3, no. 3, hlm. 291, Okt 2023, doi: 10.29103/cejs.v3i3.8947.