

Analisa *performance ammonia converter* pabrik pupuk sebelum dan sesudah *turn around* (TA)

David Bahrin*, Indira Nur Sakinah, Farra Unzilah Kendari Putri

*Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Jln. Raya Palembang Prabumulih Km. 32
Inderalaya Ogan Ilir (OI) 30662
Email: davidbahrin@unsri.ac.id

Abstrak

Ammonia converter merupakan salah satu alat penting dalam produksi amoniak khususnya di Unit Amoniak Pabrik Pupuk. *Performance* reaktor *ammonia converter* mempengaruhi produktivitas dan efisiensi di pabrik amoniak dilihat dari peningkatan produksi NH_3 yang di dapat dari hasil keluaran *ammonia converter*. Analisa *performance* dilakukan menggunakan simulasi aspen *hysys* 3.2. dengan prinsip perhitungan secara kesetimbangan dan kinetika. Hasil analisa pun akan dibandingkan sebelum dan sesudah *Turn Around* (TA). Berdasarkan teknik proses pada pabrik pupuk, hasil konversi dihitung menggunakan Microsoft Excel karena tidak terdapat data aktual untuk *flowrate*. Didapatkan hasil konversi sebelum TA yaitu konversi N_2 sebesar 25,7088% dan konversi H_2 sebesar 25,8984%. Hasil konversi untuk data setelah *turn around* yaitu konversi N_2 sebesar 25,6191% dan konversi H_2 sebesar 26,0366%. Penggantian katalis dan pengecekan operasi alat pada saat TA yang membuat kondisi operasi *ammonia converter* lebih membaik dibandingkan sebelum TA. Beberapa faktor lainnya yang mempengaruhi yaitu temperatur inlet, tekanan inlet, dan rasio H_2/N_2 .

Kata Kunci: *ammonia converter, performance, analisa*

Abstract

Ammonia converter is one the essential properties in producing ammonia at ammonia unit. Performance of ammonia converter will affect the productivity and efficiency of ammonia plant, which can be analysed by the ammonia product. Performance analysed by simulation of aspen hysys 3.2. with the equilibrium and kinetic calculation. Results of the analysis will be compared between the result of calculation with before and after turn around data. Conversion calculation method used by process engineer is goal seek method using Microsoft Excel due to incomplete actual data (flowrate). Result of N_2 conversion after turn around is 25,6191% and 26,0366% for H_2 conversion. Result of N_2 conversion before turn around is 25.6191% and 25.8984% for H_2 conversion. Catalyst renewal and operating equipment adjustment during turn around improving the operating conditions of ammonia converter. Several factors which affect the improvement are inlet temperature, inlet pressure, and H_2/N_2 ratio.

Keyword: *ammonia converter, performance, analysis*

1. PENDAHULUAN

Ammonia Converter merupakan reaktor berkatalis yang berfungsi sebagai tempat reaksi pembentukan NH_3 (amoniak) dari hidrogen (H_2) dan nitrogen (N_2). Reaktor *ammonia converter* sangat berpengaruh terhadap produktivitas dan efisiensi di pabrik amoniak yang dapat dilihat dari peningkatan produksi NH_3 hasil keluaran *ammonia converter*. Kontrol dan evaluasi terhadap peralatan ini sangat diperlukan untuk mendapatkan proses yang lebih optimal. Unit Amoniak Pabrik Pupuk merupakan unit pabrik tua yang sudah beroperasi sejak tahun 1976 dimana telah mengalami *Ammonia Optimization Project* (AOP) untuk meningkatkan efisiensi pemakaian energi meningkat sebesar 10% dan

produksi meningkat sebesar 20% dari kapasitas terpasang. Namun pada waktu tertentu operasi yang terjadi pada Unit Amoniak Pabrik Pupuk sering mengalami kendala pada kinerja kompresor, demikian pula katalis yang berada pada *ammonia converter* telah berumur tua dan belum diganti dari batas umur pemakaiannya.

Hal tersebut yang menjadi latar belakang penelitian dalam membuat artikel ini. Parameter yang menjadi pertimbangan pada reaktor *ammonia converter*, antara lain temperatur, tekanan, *pressure drop* dan rasio H_2/N_2 , sehingga dapat mengetahui faktor pengendalian proses yang dilakukan untuk menjaga agar kapasitas produksi dapat dihasilkan sesuai dengan yang ditentukan. Sehingga, dilakukan perbandingan

kinerja *ammonia converter* sebelum dan sesudah *Turn Around (TA)*.

Proses sintesa amoniak terjadi pada *ammonia converter* unit, dimana gas sintesanya (N_2 dan H_2) dari unit pemurnian gas sintesa akan direaksikan menjadi produk amoniak. *Ammonia converter* berisikan 75 m^3 *promoted iron catalyst*. Katalis diletakkan di dalam *internal basket* yang terdiri dari beberapa *catalyst bed* yang terpisah di dalam reaktor. Volume *bed* semakin bawah akan semakin besar, hal ini dilakukan untuk membatasi panas reaksi yang eksotermis pada *bed* paling atas (dimana terjadi reaksi tercepat), sehingga *converter* dapat dijaga pada temperatur yang diinginkan. Penggunaan aliran gas *quench* yang masuk katalis *bed* bertujuan untuk mengontrol temperatur *converter* untuk memungkinkan terbentuknya nilai panas reaksi yang mantap. Reaksi yang terjadi di dalam *ammonia converter* adalah sebagai berikut:



Reaksi yang terjadi pada *ammonia converter* bersifat eksotermis, kenaikan temperatur mengakibatkan kesetimbangan reaksi bergeser ke kiri (reaktan), sehingga hal tersebut menyebabkan produk yang dihasilkan akan berkurang karena akan kembali terurai menjadi reaktan.

NH_3 yang dihasilkan pada *bed* pertama sangat tinggi dengan temperatur yang terus meningkat. Jika temperatur terus meningkat dan mencapai kesetimbangan, maka reaksi akan bergeser ke kiri yang menyebabkan NH_3 terurai kembali menjadi reaktan. Penyeimbangan kalor yang berkurang tersebut, dilakukan *quenching* sehingga temperatur sebelum masuk *bed* kedua turun. Reaksi di atas bergeser ke kanan, sehingga jumlah NH_3 akan bertambah meskipun hanya mengalami sedikit peningkatan dan seterusnya sampai *bed* terakhir, sehingga didapatkan produk dengan hasil yang diharapkan.

Salah satu peninjauan kinerja *ammonia converter* ialah perbandingan komposisi antara data desain dan data aktual untuk mengetahui optimal atau tidaknya performa dari *ammonia converter*. Konsentrasi tiap komposisi pada gas keluaran secara desain dapat diamati pada tabel, sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi Gas Keluar Reaktor NH_3 (Desain)

Komponen	% Vol
Ar	4,30
N_2	17,30
CH_4	8,85
H_2	52,35
NH_3	17,20

(Sumber: *Manual Operation Ammonia Plant, Pabrik Pupuk*)

Titik kesetimbangan reaksi sintesa amoniak tergantung pada kondisi operasi. Kadar amoniak dalam gas keluaran reaktor sekitar 15-20% mol. Gas yang tidak terkonversi dikembalikan ke reaktor untuk mendapatkan produksi yang maksimal.

Kenaikan temperatur menurunkan derajat kesetimbangan dari amoniak dan akan mempercepat reaksi karena reaksi yang terjadi bersifat eksotermis. Ketika temperatur meningkat, maka laju reaksi akan meningkat, namun konsentrasi kesetimbangan amoniak akan mengurangi konversi hidrogen dan nitrogen terhadap amoniak. Ketika temperatur operasi meningkat, maka konsentrasi kesetimbangan amoniak akan berkurang.

Temperatur yang rendah akan memaksimalkan umur katalis. Secara umum, kinerja katalis stabil pada temperatur $1050^\circ F$ ($566^\circ C$), namun katalis akan mengalami penurunan kestabilan apabila berada di atas temperatur tersebut. Kebanyakan *converter* didesain untuk memberikan konversi yang optimal dengan terlokasinya temperatur maksimum atau *hot spot* pada bagian *bed* atas dan mengalami penurunan menuju keluarannya.

Tekanan sangat mempengaruhi kesetimbangan dan laju reaksi. Peningkatan tekanan dapat meningkatkan konsentrasi kesetimbangan amoniak dan kecepatan laju reaksi. Hal ini akan mempengaruhi terhadap meningkatnya konversi pada tekanan tinggi. Tekanan desain pada *ammonia loop* berkisar 2000-3000 psig ($142\text{-}212\text{ kg/cm}^2$) dengan adanya kompresor sentrifugal.

Feed syn-gas yang menuju ke seksi sintesa idealnya mempunyai perbandingan H_2 terhadap N_2 berkisar 3:1. Perbandingan dalam *feed syn-gas* boleh diubah sedikit dari 3:1 untuk mendapatkan perbandingan optimum $H_2:N_2$ dalam campuran gas yang masuk *converter*. Berdasarkan desain pada pabrik, rasio H_2/N_2 yang baik berkisar diantara 2,8-3,2. Perubahan jumlah rasio H_2/N_2 akan berdampak pada kenaikan atau menurunnya konversi di dalam *ammonia converter*. Variabel operasi utama yang digunakan untuk mengontrol rasio hidrogen dan nitrogen adalah komposisi dari *make up* atau *fresh feed gas*.

Metana dan argon adalah komponen *inert* yang terdapat pada aliran *syn gas*. Komponen ini tidak berbahaya terhadap katalis sintesa dan tidak mengalami reaksi sintesa, namun dapat membawa dampak negatif terhadap laju reaksi dan kesetimbangan. Konsentrasi *inert* bervariasi pada setiap industri sekitar 1%-20%. Konsentrasi *inert* secara umum dapat diatur secara minimum dengan melakukan *purging syn gas* pada *loop*.

Pengeluaran gas-gas *inert* secara kontinu harus dijaga melalui pipa *header* yang masuk kompresor *recycle* dikirim ke sistem *purge gas*. Aliran *purge gas* diperlukan untuk mengontrol konsentrasi CH₄ dan gas-gas *inert* lainnya agar dapat dijaga serendah mungkin di daerah sintesa, karena akan mengakibatkan penurunan konversi, kenaikan tekanan dan mengurangi kapasitas produksi.

Katalis sintesa terbuat dari oksida besi yang mengandung potasium, kalsium, dan oksida aluminium sebagai *stabilizer* dan *motor*, dan diisikan ke dalam *ammonia converter* dalam keadaan teroksidasi. Katalis harus diaktifkan terlebih dahulu sebelum melakukan proses sintesa dengan cara reduksi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pendekatan analisis kinerja *ammonia converter* sebelum dan setelah *Turn Around* (TA) dilakukan pada pabrik proses pembentukan amoniak pabrik pupuk. Tahapan metodologi meliputi pengumpulan data, pengolahan data dan perhitungan, serta analisis data dan hasil perhitungan.

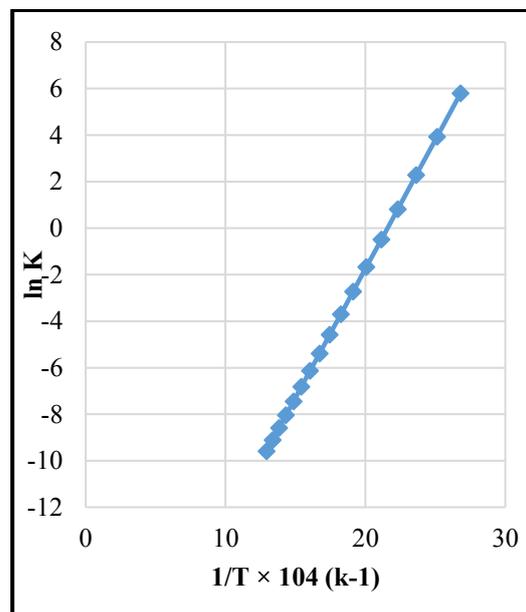
Metode yang digunakan untuk menganalisa *performance ammonia converter* (105-D) ialah simulasi Aspen *Hysys* 3.2 dengan prinsip menghitung konstanta kesetimbangan dan ordinat reaksi untuk mendapatkan komposisi outlet serta menggunakan prinsip kinetika reaksi. Perhitungan konversi data aktual dihitung menggunakan Microsoft Excel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data desain yang didapat dari bagian *process engineer* pabrik, data *ammonia converter* yang didapat yaitu temperatur, tekanan, % mol inlet, %mol outlet, dan *flowrate*. Data desain untuk konversi pada *ammonia converter* pabrik pupuk diasumsikan sebelum dan sesudah TA dianggap sama. Data aktual yang didapatkan dari bagian *process engineer* pabrik pupuk tidak terdapat kondisi operasi pada tiap *bed*, hanya terdapat temperatur inlet dan outlet. Data aktual secara keseluruhan reaktor pada saat sebelum dan sesudah TA yang didapatkan yaitu %mol, tekanan, *pressure drop*, dan temperatur inlet.

Terdapat hubungan antara kesetimbangan dan temperatur berdasarkan persamaan 13.11 pada buku Smith, (1984). Hubungan K_{eq} berbanding terbalik dengan temperatur, sehingga apabila temperatur semakin membesar maka nilai K akan semakin menurun. Nilai K yang semakin menurun membuat nilai konversi semakin menurun pula. Temperatur dari bed 1 sampai bed 4 semakin membesar sehingga nilai

K dan konversi pada tiap bed semakin menurun dari bed 1 sampai bed 4. Pengaruh temperatur terhadap nilai K ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 1. Grafik ln K terhadap 1/T × 10⁴

Persamaan laju reaksi didasarkan pada adsorpsi nitrogen pada permukaan katalis. Pada kesetimbangan, laju reaksi ke kanan sama dengan laju reaksi ke kiri. Persamaan laju reaksi sintesis amonia, atau konsumsi nitrogen, dinyatakan pada persamaan (1) dalam satuan (kmol N₂/kg cat h) berdasarkan buku Kinetics of the Synthesis of Ammonia on Promoted Iron Catalysts (Pyzhev dan Temkin, 1940).

Dengan nilai tetapan laju reaksi ke arah kanan dan kiri masing-masing seperti pada persamaan (2) dan (3).

$$k_1 = 1.79 \times 10^4 \exp\left(-\frac{87090}{RT}\right)$$

$$k_{-1} = 2.57 \times 10^{16} \exp\left(-\frac{198464}{RT}\right)$$

$$2r_{\text{NH}_3} = -r_{\text{N}_2} = \frac{1}{\rho_{\text{cat}}} \left(k_1 P_{\text{N}_2} \frac{P_{\text{H}_2}^{1.5}}{P_{\text{NH}_3}} - k_{-1} \frac{P_{\text{NH}_3}}{P_{\text{H}_2}^{1.5}} \right)$$

Keterangan:

r_{N_2} = laju konsumsi N₂

r_{NH_3} = laju konsumsi NH₃

ρ_{cat} = massa jenis katalis

k_1 = konstanta reaksi ke arah kanan

k_{-1} = konstanta reaksi ke arah kiri

R = tetapan gas ideal

T = temperatur reaksi
 P_{NH_3} = tekanan parsial NH_3
 P_{N_2} = tekanan parsial N_2
 P_{H_2} = tekanan parsial H_2

Berdasarkan hasil perhitungan laju reaksi data desain keseluruhan didapatkan sebesar 1866,0860 kmol N_2/hr dan konversi sebesar 33,4648%. Pada data performance test, konversi total yang didapatkan dari penjumlahan konversi tiap *bed* pada saat katalis berumur 2 tahun sebesar 36,2029% sedangkan konversi total yang didapatkan dari penjumlahan konversi tiap *bed* pada saat katalis berumur 10 tahun sebesar 29,0214%. Berdasarkan perhitungan tersebut, konversi yang dihasilkan pada saat umur katalis 2 tahun lebih baik dibandingkan dengan konversi pada saat umur katalis 10 tahun. Hal ini disebabkan karena adanya proses *turn around* dengan penggantian katalis dan pengecekan operasi alat sehingga konversi dan kondisi operasi menjadi lebih baik.

Perhitungan laju reaksi dan konversi data desain untuk tiap *bed* dari *bed* 1 sampai *bed* 4 cenderung menurun. Laju reaksi dan hasil konversi data desain pada saat setelah *turn around* didapatkan lebih besar dibandingkan dengan sebelum *turn around*. Kondisi operasi pada saat setelah *turn around* juga lebih rendah dibandingkan dengan sebelum *turn around* sehingga biaya operasi yang dibutuhkan lebih rendah pada saat setelah *turn around*.

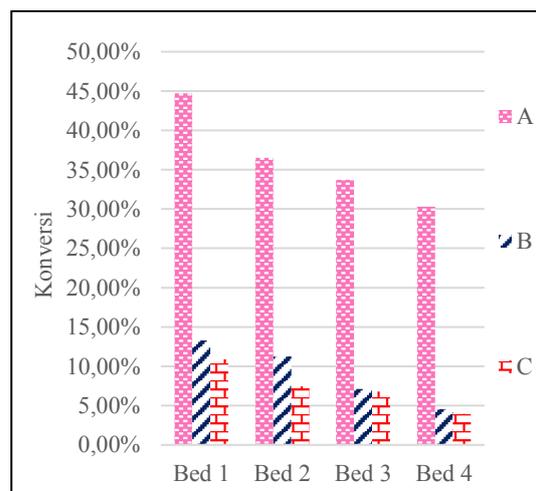
Perhitungan konversi data desain *ammonia converter* pada pabrik pupuk berdasarkan *flowrate*. Data desain tersebut menghasilkan konversi N_2 sebesar 26,33% dan konversi H_2 sebesar 26,33%. Hasil tersebut diasumsikan sama untuk hasil konversi sebelum dan sesudah *turn around*, hal tersebut dikarenakan tidak adanya data desain reaktor secara keseluruhan.

Perhitungan konversi data aktual *ammonia converter* pada pabrik pupuk berdasarkan %mol. Metode yang digunakan untuk perhitungan konversi ini berdasarkan dari *process engineer* pabrik pupuk, yang menggunakan Microsoft Excel yang akan menghasilkan konversi H_2 dan N_2 . Data aktual *flowrate* pada pabrik pupuk tidak dihitung pada inlet maupun outlet *ammonia converter*. Data yang terdapat hanya memberikan data *flowrate* keluaran kompresor dan aliran *recycle* keluaran *flash drum* amoniak. Sehingga digunakan perhitungan konversi pada Microsoft Excel karena tidak adanya data tersebut.

Hasil konversi yang didapatkan untuk data sebelum *turn around* (TA) yaitu konversi N_2 sebesar 25,7088% dan konversi H_2 sebesar 25,8984%. Hasil konversi untuk data setelah TA yaitu konversi N_2 sebesar 25,6191% dan konversi H_2 sebesar 26,0366%. Hasil konversi

setelah TA lebih besar dari hasil konversi sebelum TA walaupun tidak terlalu jauh berbeda. Pada saat TA, data konversi sebelum TA di analisa untuk melihat penurunan kinerja reaktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja tersebut ialah katalis dan kondisi operasi reaktor. Sehingga, pada saat TA dilakukan penggantian katalis dan perbaikan kondisi operasi alat. Penggantian katalis dan perbaikan kondisi operasi alat tersebut membuat konversi setelah TA lebih besar dibandingkan sebelum TA.

Hasil perhitungan konversi kesetimbangan dihitung berdasarkan prinsip termodinamika dan hasil tersebut merupakan konversi maksimum yang dapat dicapai pada proses pembentukan amoniak di *ammonia converter*. Konversi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan konversi kinetika karena pada perhitungan konversi kinetika dipengaruhi oleh faktor katalis yaitu berat dan densitas katalis. Katalis mempercepat laju reaksi pembentuk amoniak untuk mencapai kesetimbangan sehingga hasil perhitungan konversi lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan konversi kesetimbangan.



Gambar 2. Perbandingan Hasil Perhitungan Konversi Kesetimbangan dan Kinetika (Katalis Berumur 2 dan 10 Tahun) Tiap *Bed* Reaktor *Ammonia Converter*

Keterangan Grafik:

- A = Konversi Kesetimbangan
- B = Konversi Kinetika (Katalis 2 Tahun)
- C = Konversi Kinetika (Katalis 10 Tahun)

Faktor-faktor yang menyebabkan konversi kurang mencapai konversi maksimal adalah temperatur inlet, tekanan inlet, *pressure drop*, rasio H_2/N_2 , dan mekanisme reaksi kimia.

4. KESIMPULAN

- 1) Perhitungan kesetimbangan dengan prinsip termodinamika merupakan konversi maksimum yang dapat dicapai pada reaksi

- pembentukan amoniak yaitu 44,7% pada *bed 1*.
- 2) Hasil perhitungan konversi dengan prinsip kinetika lebih rendah dibandingkan dengan hasil perhitungan konversi kesetimbangan karena terdapat faktor katalis pada perhitungan laju reaksi yaitu densitas dan berat katalis.
 - 3) Semakin tinggi temperatur maka nilai K akan semakin rendah sehingga menurunkan nilai konversi pembentukan amoniak.
 - 4) Perhitungan konversi data aktual menggunakan metode goal seek pada Microsoft Excel yaitu sebesar 25,7088% pada sebelum *turn around* dan sebesar 25,6191% pada setelah *turn around*. Hasil konversi tidak berbeda secara signifikan, namun kondisi operasi pada saat setelah *turn around* lebih baik daripada sebelum *turn around*.
 - 5) Faktor-faktor yang mempengaruhi reaksi pembentukan amoniak yaitu temperatur inlet, tekanan inlet, pressure drop, rasio H_2/N_2 , dan mekanisme reaksi kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. A. 2010. Evaluasi Kinerja dan Prekdiksi Pergantian Katalis Ammonia Converter Pada Pabrik Ammonia. <http://ejournal.pnl.ac.id/index.php/JSTR/article/view/188/>(accessed 17.02.18)
- Anonim. PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (Pusri) Proses Produksi Amonia. (Online): www.pusri.co.id/ina/amonias-proses-produksi-amonias/(accessed 21.02.18)
- Felder, R. M. 1986. Elementary Principles of Chemical Processes 2th edition. New York: John Wiley & Sons.
- Levenspiel, O. 1962. Chemical Reaction Engineering 3th edition. New York: Mc.Graw Hill Book Company.
- Lide, D. R. 1913. CRC Handbook of Chemistry and Physics. New York: CRC Press LLC.
- Perry, R. H. 1996. Chemical Engineering Handbook 7th edition. New York: Mc.Graw Hill Book Company.
- Pyzhev, V., dan Temkin. 1940. Kinetics of the Synthesis of Ammonia on Promoted Iron Catalysts. USSR: Jour Phys Chem.
- Smith, J. M., et al. 2005. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 7th Edition. Singapore: Mc.Graw Hill Book Company.