

BAB IX TUGAS KHUSUS

IX.1 Uraian Tugas Khusus

Dalam Pelaksanaan Praktek Kerja Lapangan di PT. Petrokimia Gresik, penulis menargetkan untuk dapat mengevaluasi alat ammonia converter (105-D). Ammonia converter dicek konversinya terhadap hasil pembentukan N_2 dengan data aktual di lapangan dan data desain.

IX.2 Latar Belakang Tugas Khusus

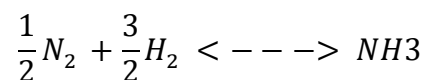
Pupuk merupakan bahan yang memiliki kandungan satu atau lebih unsur hara yang bisa meningkatkan produktivitas pertanian. Penggunaan pupuk sangat penting untuk menunjang produktivitas pertanian. Hal tersebut dikarenakan jumlah penduduk di dunia yang terus mengalami perubahan sangat signifikan. Pada tahun 1900, Penduduk di dunia mencapai 1.6 miliar jiwa dan pada akhir 1999 penduduk di dunia meningkat mencapai 6 miliar jiwa (Shacham & Brauner, 2015). Sehingga, penggunaan pupuk sangatlah penting dalam mencapai hasil tanam yang maksimal dan memenuhi kebutuhan pokok masyarakat di dunia.

Amonia adalah salah satu bahan baku dalam proses pembuatan pupuk. Amonia memiliki rumus kimia (NH_3). Proses produksi amonia umumnya menggunakan gas bumi dan udara. Proses sintesis ammonia adalah proses yang sangat penting pada abad ke dua puluh dan pada umumnya reaksi yang terjadi pada reaksi pembentukan ammonia adalah reaksi kesetimbangan yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya adalah tekanan, suhu, dan rasio H/N.

IX.3 Tinjauan Pustaka

IX. 2.1 Perhitungan Secara Kesetimbangan Termodinamika

Nitrogen Nitrogen dan hidrogen bereaksi dalam keadaan yang eksotermis, reaksi kesetimbangannya ammonia adalah sebagai berikut :



Reaksinya berjalan dalam fase gas dan menggunakan katalis padatan. Koefisien konstanta kesetimbangan dari reaksi dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$K_a = \frac{a_{NH_3}}{(a_{N_2}^2)(a_{H_2}^3)} = \frac{p_{NH_3}}{p_{N_2}^2 p_{H_2}^3} \frac{\phi_{NH_3}}{\phi_{N_2}^2 \phi_{H_2}^3}$$

Dimana a_i adalah koefisien aktivitas dari spesies i , p_i adalah tekanan parsial, $p = p_i/p_0$. P_0 adalah tekanan reference (keadaan standart) dan ϕ adalah koefisien fugacity spesies i dalam campuran. Asumsi ideal gas sehingga $\phi = 1$ dan persamaan akhirnya menjadi :

$$K_a = \frac{P_{NH_3}}{P_{N_2}^2 P_{H_2}^3}$$

Berdasarkan sifat termodinamika, konstanta kesetimbangan dan korelasi temperaturnya bisa dirumuskan sebagai fungsi gibbs energy reaksi $\Delta G_r(T)$.

$$\Delta G_r(T) = \Delta H_r(T) - T\Delta S(T)$$

Enthalpy reaksi adalah jumlah dari enthalpy pada keadaan standar pada spesies yang bervariasi pada keadaan standar ($T_0 = 298,15$ K, $P_0 = 1$ bar) dan jumlah panas yang dibutuhkan reaktan menjadi produk menuju temperatur yang diinginkan

$$\Delta H_r(T) = \sum v_i \Delta H^0 f_i + \sum v_i C_{p,i} dT$$

Dimana v_i adalah koefisien stoikiometri (positif untuk produk, negatif untuk reaktan), $\Delta H^0 f_i$ adalah panas pembentukan standar dan $C_{p,i}$ adalah kapasitas panas (pada tekanan konstan) untuk spesies i . entropy reaksinya diberikan sebagai berikut :

$$\Delta S_r(T) = \sum v_i \Delta S^0 f_i + \int_{T_0}^T \frac{v_i C_{p,i}}{T} dT$$

(Smith et al., n.d.1919).

IX.2.2 Prinsip Keraja Ammonia Converter

Ammonia converter merupakan salah satu unit penting dalam proses produksi amoniak khususnya di Unit Amoniak pada industri pupuk urea 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 produktifitas dan efisiensi di pabrik amoniak dilihat dari peningkatan produksi NH_3 yang di dapat dari hasil keluaran ammonia converter. Proses sintesa amonia terjadi pada unit ammonia converter Dalam unit ini, gas sintesa (N_2 dan H_2) dari unit pemurnian gas sintesa akan direaksikan menjadi produk ammonia. Ammonia converter berisikan 75m^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 (Agustria, 2019)

IX.2.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Reaksi di Ammonia Converter

Kinerja ammonia converter dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1. Temperatur

Temperatur mempengaruhi laju reaksi sintesa dan kesetimbangan amoniak. Karena reaksi sintesa eksotermis, kenaikan temperatur akan menurunkan derajat kesetimbangan dari amoniak dan pada waktu yang sama akan mempercepat reaksi dan meningkatkan konversi reaksi. Kebanyakan converter didesain untuk memberikan konversi yang optimal dengan terlokasinya temperatur maksimum atau hot spot pada bagian bed atas dan semakin mengalami penurunan menuju keluarannya

2. Tekanan

Tekanan 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.

3. Rasio H_2/N_2

Feed syn-gas (make up, tidak termasuk recycle) yang menuju ke seksi sintesa harus mempunyai perbandingan H_2 terhadap N_2 berkisar 3:1. Hal ini dikarenakan pembentukan amoniak berasal dari H_2 dan N_2 dengan perbandingan 3:1. Perbandingan dalam feed syngas 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 2,6–3. Perubahan jumlah rasio H_2/N_2 akan berdampak pada kenaikan atau menurunnya konversi di dalam Ammonia converter

4. Gas Inert

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. Gas inert ini dialirkan keluar dari recycle compressor secara terus menerus agar jumlahnya tidak naik, dimana akan berakibat pada menurunnya konversi dan kapasitas produksi. Aliran purge gas diperlukan untuk mengontrol konsentrasi CH_4 dan gas inert lainnya agar dapat dijaga serendah mungkin di daerah sintesa, karena akan mengakibatkan penurunan konversi, kenaikan tekanan dan mengurangi kapasitas produksi

5. Space Velocity

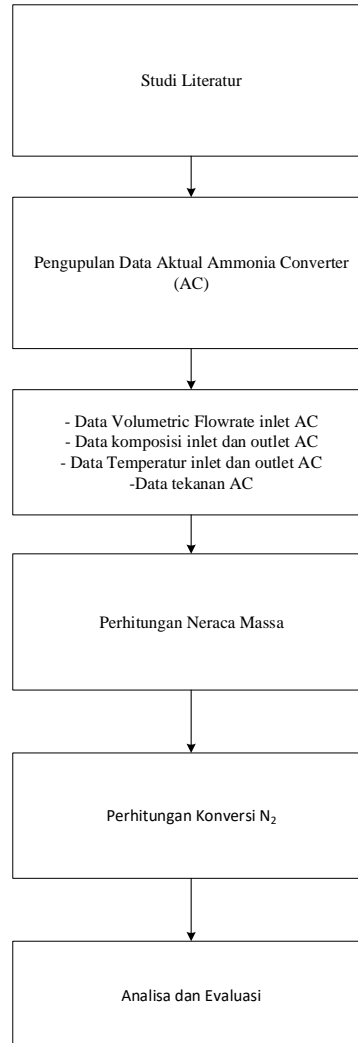
Perubahan total laju alir feed akan mempengaruhi waktu kontak dan konversi, dan sebagai hasilnya, akan berdampak pada produksi amoniak. Apabila space velocity meningkat, dengan adanya peningkatan laju alir recycle, produksi amoniak per unit waktu akan meningkat, walaupun konversi setiap pass menurun seiring dengan menurunnya waktu kontak

(Nurafni, 2019)

IX.3 Metodologi Pemecahan Masalah

Berikut ini merupakan metode dalam pengerjaan evaluasi efisiensi ammonia converter unit 105-D pada produksi amonia I B ditinjau dari konversi N_2 (Nurafni Oktafia Siringo-ringo et al., 2019a) dengan menggunakan simulasi hysys

IB Departemen Produksi IB PT Petrokimia Gresik yang meliputi beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut antara lain.



Gambar IX.1 Diagram Flow Analisa Data

IX. 4 Hasil dan Pembahasan

Adapun data aktual pabrik adalah sebagai berikut :

Tabel IX. 1 Data Komposisi Aktual Inlet Ammonia Converter 105-D

NO	Tanggal	Gas Composition INLET (%mol)				
		Ar	N ₂	CH ₄	H ₂	NH ₃
1.	9 Juli 2023	3.61	22,18	ND	72,61	1,60
2.	10 Juli 2023	3.54	21,93	ND	72,94	1,59
3.	11 Juli 2023	3,52	22,31	ND	72,53	1,64
4.	12 Juli 2023	3,49	21,92	ND	72,64	1,95

5.	13 Juli 2023	3,52	22,31	ND	72,54	1,63
6.	14 Juli 2023	3,49	22,83	ND	72,03	1,65
7.	15 Juli 2023	3,80	23,09	ND	71,43	1,68
8.	16 Juli 2023	3,62	22,59	ND	72,13	1,66
9.	17 Juli 2023	3,64	21,92	ND	72,83	1,60
10.	18 Juli 2023	3,32	22,73	ND	72,34	1,62
11.	19 Juli 2023	3,62	23,09	ND	71,68	1,61

Tabel IX. 2 Data Komposisi Aktual Outlet Ammonia Converter 105-D

NO	Tanggal	Gas Composition Outlet (%mol)				
		Ar	N ₂	CH ₄	H ₂	NH ₃
1.	9 Juli 2023	4,24	17,34	ND	58,84	19,58
2.	10 Juli 2023	4,18	16,95	ND	59,18	19,69
3.	11 Juli 2023	4,11	17,36	ND	58,64	19,89
4.	12 Juli 2023	4,31	17,20	ND	58,57	19,10
5.	13 Juli 2023	4,19	17,69	ND	58,79	19,33
6.	14 Juli 2023	4,19	18,17	ND	58,45	19,19
7.	15 Juli 2023	4,50	18,35	ND	58,17	18,98
8.	16 Juli 2023	4,25	17,62	ND	58,54	19,59
9.	17 Juli 2023	4,27	16,91	ND	59,37	19,45
10.	18 Juli 2023	3,80	17,29	ND	59,70	19,21
11.	19 Juli 2023	4,10	17,59	ND	59,35	18,96

Perhitungan manual menggunakan hukum kesetimbangan kimia :

Tabel IX. 3 Hasil Perhitungan Manual Menggunakan Hukum Kesetimbangan Kimia

Spesies (i)	mol mula-mula (ni)	koefisien stokiometri (vi)	ni,0 + viε
H ₂	1.5	-0.5	1.5 -0,5ε
N ₂	0.5	-1.5	0.5-1,5 ε
NH ₃	0	1	1ε
total	2	-1	2-ε



Sehingga mol fraksi setiap komponen dapat di tuliskan sebagai berikut :

$$y_{N_2} = \frac{0.5(1-\varepsilon)}{(2-\varepsilon)} \dots\dots\dots(1)$$

$$y_{H_2} = \frac{1.5(1-\varepsilon)}{(2-\varepsilon)} \dots\dots\dots(2)$$

$$y_{NH_3} = \frac{\varepsilon}{(2-\varepsilon)} \dots\dots\dots(3)$$

Dan akan diperoleh hubungan antara fraksi dengan fungsi tekanan adalah sebagai berikut :

$$\varepsilon = 1 - \left[1 + 1,299 Ka \left(\frac{p}{p_0} \right) \right]^{-1/2} \dots\dots\dots(4)$$

Selanjutnya, mencari koefisien A, B, C, D di buku smith vannes, dengan hasil sebagai berikut :

Constants in equation $C_p^{ig}/R = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$ for T (K) from 298 K to T_{max}

Chemical species		T_{max}	C_p^{ig}/R	A	$10^3 B$	$10^6 C$	$10^{-5} D$
Alkanes:							
Methane	CH ₄	1500	4.217	1.702	9.081	-2.164	.....
Ethane	C ₂ H ₆	1500	6.369	1.131	19.225	-5.561	.....
Propane	C ₃ H ₈	1500	9.011	1.213	28.785	-8.824	.....
<i>n</i> -Butane	C ₄ H ₁₀	1500	11.928	1.935	36.915	-11.402	.....
<i>iso</i> -Butane	C ₄ H ₁₀	1500	11.901	1.677	37.853	-11.945	.....
<i>n</i> -Pentane	C ₅ H ₁₂	1500	14.731	2.464	45.351	-14.111	.....
<i>n</i> -Hexane	C ₆ H ₁₄	1500	17.550	3.025	53.722	-16.791	.....
<i>n</i> -Heptane	C ₇ H ₁₆	1500	20.361	3.570	62.127	-19.486	.....
<i>n</i> -Octane	C ₈ H ₁₈	1500	23.174	4.108	70.567	-22.208	.....
1-Alkenes:							
Ethylene	C ₂ H ₄	1500	5.325	1.424	14.394	-4.392	.....
Propylene	C ₃ H ₆	1500	7.792	1.637	22.706	-6.915	.....
1-Butene	C ₄ H ₈	1500	10.520	1.967	31.630	-9.873	.....
1-Pentene	C ₅ H ₁₀	1500	13.437	2.691	39.753	-12.447	.....
1-Hexene	C ₆ H ₁₂	1500	16.240	3.220	48.189	-15.157	.....
1-Heptene	C ₇ H ₁₄	1500	19.053	3.768	56.588	-17.847	.....
1-Octene	C ₈ H ₁₆	1500	21.868	4.324	64.960	-20.521	.....
Miscellaneous organics:							
Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O	1000	6.506	1.693	17.978	-6.158	.....
Acetylene	C ₂ H ₂	1500	5.253	6.132	1.952	.....	-1.299
Benzene	C ₆ H ₆	1500	10.259	-0.206	39.064	-13.301	.....
1,3-Butadiene	C ₄ H ₆	1500	10.720	2.734	26.786	-8.882	.....
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	1500	13.121	-3.876	63.249	-20.928	.....
Ethanol	C ₂ H ₆ O	1500	8.948	3.518	20.001	-6.002	.....
Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	1500	15.993	1.124	55.380	-18.476	.....
Ethylene oxide	C ₂ H ₄ O	1000	5.784	-0.385	23.463	-9.296	.....
Formaldehyde	CH ₂ O	1500	4.191	2.264	7.022	-1.877	.....
Methanol	CH ₄ O	1500	5.547	2.211	12.216	-3.450	.....
Styrene	C ₈ H ₈	1500	15.534	2.050	50.192	-16.662	.....
Toluene	C ₇ H ₈	1500	12.922	0.290	47.052	-15.716	.....
Miscellaneous inorganics:							
Air		2000	3.509	3.355	0.575	.....	-0.016
Ammonia	NH ₃	1800	4.269	3.578	3.020	.....	-0.186
Bromine	Br ₂	3000	4.237	4.492	0.856	.....	0.154
Carbon monoxide	CO	2500	3.507	3.376	0.557	.....	-0.031
Carbon dioxide	CO ₂	2000	4.467	5.457	1.045	.....	-1.157
Carbon disulfide	CS ₂	1800	5.532	6.311	0.805	.....	-0.906
Chlorine	Cl ₂	3000	4.082	4.442	0.089	.....	-0.344
Hydrogen	H ₂	3000	3.468	3.249	0.422	.....	0.083
Hydrogen sulfide	H ₂ S	2500	4.114	3.951	1.490	.....	-0.232
Hydrogen chloride	HCl	2000	3.512	3.156	0.623	.....	0.151
Hydrogen cyanide	HCN	2000	4.236	4.736	1.369	.....	0.736
Nitrogen	N ₂	2000	3.902	3.280	0.593	.....	0.040
Nitrous oxide	N ₂ O	2000	4.646	5.328	1.214	.....	-0.928
Nitric oxide	NO	2000	3.590	3.387	0.629	.....	0.014
Nitrogen dioxide	NO ₂	2000	4.447	4.982	1.195	.....	-0.792
Dinitrogen tetroxide	N ₂ O ₄	2000	9.198	11.660	2.257	.....	-2.787
Oxygen	O ₂	2000	3.535	3.639	0.506	.....	-0.227
Sulfur dioxide	SO ₂	2000	4.796	5.699	0.801	.....	-1.015
Sulfur trioxide	SO ₃	2000	6.094	8.060	1.056	.....	-2.028
Water	H ₂ O	2000	4.038	3.470	1.450	.....	0.121

Gambar IX. 1 Data Cp/R Masing-masing Komponen

Setelah didapatkan nilai A, B, C, dan D masing-masing komponen, masing-masing komponen masing-masing nilai A, B, C, D pada setiap komponennya dilakukan proses pengurangan antara reaktan-produk, dan hasilnya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta A &= 3,573 - (3,249 + 3,250) \\ &= -2,951\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta B &= (3,020 - (0,422 + 0,593)) \times 10^{-3} \\ &= 0.002005\end{aligned}$$

$$\Delta C = 0.$$

$$\begin{aligned}\Delta D &= (-0,186 - (0,083 + 0,040)) \times 10^5 \\ &= 0,309 \times 10^5\end{aligned}$$

Selanjutnya dicari nilai K dari hukum kesetimbangan gibbs :

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

$$\frac{\Delta G^\circ}{RT} = \frac{\Delta G_0^\circ - \Delta H_0^\circ}{RT_0} + \frac{\Delta H_0^\circ}{RT} + \frac{1}{T} \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT - \int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T} \dots\dots\dots(5)$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} dT = \left[\Delta A + \frac{\Delta B}{2} (T + T_0) + \frac{\Delta C}{3} (T^2 + T_0^2 + TT_0) + \frac{D}{TT_0} \right] (T - T_0) \dots(6)$$

$$\int_{T_0}^T \frac{\Delta C_p^\circ}{R} \frac{dT}{T} = \Delta A \ln \frac{T}{T_0} + \left[\Delta B + \left(\Delta C + \frac{\Delta D}{T_0^2 T^2} \right) \frac{T+T_0}{2} \right] (T - T_0) \dots\dots\dots(7)$$

$$K = \text{Exp} (-\Delta G/RT) \dots\dots\dots(8)$$

Setelah nilai K didapatkan, nilai K dimasukkan ke dalam persamaan (4) dan diperoleh nilai ϵ adalah sebesar 0,347. Nilai ϵ tersebut dimasukkan ke dalam persamaan masing-masing fraksi komponen N₂, H₂, dan NH₃ agar mendapatkan fraksi keluaran ammonia converter.

Dalam studi kasus ini, fokus pengamatan pada parameter yang menyebabkan perubahan konversi pada converter ammonia. Dalam pengamatan, data konversi diperlukan untuk menggunakan perhitungan berbasis mol untuk menghitung persentase reaksi konversi di ammonia converter. Data ini diperoleh dari kondisi amonia operasi. Berdasarkan hasil perhitungan data, diperoleh perhitungan sebenarnya dari laju konversi reaksi pada tanggal 10 -18 Juli 2023.

Senyawa	Desain	Aktual									
		09-Jul	10-Jul	11-Jul	12-Jul	13-Jul	14-Jul	15-Jul	16-Jul	17-Jul	18-Jul
N ₂	34%	33,6 %	34,4 %	34,0 %	31,5 %	30,7 %	32,3 %	31,9 %	33,4 %	34,2 %	33,8 %

Dari perhitungan data menggunakan perbandingan data aktual dan data design yang beroperasi pada 145 atm dan suhu 440°C didapatkan hasil data design dan data aktual yang hampir sama. Hal tersebut menandakan bahwa alat ammonia converter 105-D masih sangat bagus untuk memproduksi ammonia. Tetapi pada tanggal 12- 15 juli terdapat penurunan performa. Hal tersebut dipengaruhi beberapa faktor faktor yang mempengaruhi konversi. Faktor- faktor tersebut adalah tekanan, suhu, dan rasio H₂ dan N₂ (Oktavia,2019).

Temperatur mempengaruhi laju reaksi sintesa dan kesetimbangan amoniak. Karena reaksi sintesis ammonia adalah eksotermis, kenaikan temperatur akan meningkatkan konversi reaksi. Selain itu, Tekanan akan mempengaruhi konversi ammonia, dimana tekanan tinggi kesetimbangan akan bergeser ke arah reaksi yang mempunyai koefisien yang lebih rendah. Serta faktor terakhir yang mempengaruhi konversi ammonia adalah perbandingan H₂ dan N₂, ketika konsentrasi reaktan tinggi maka kesetimbangan akan bergeser ke arah produk. Dan sebaliknya, bila konsentrasi reaktan rendah kesetimbangan akan bergeser ke arah reaktan(Nurafni Oktafia Siringo-ringo et al., 2019b).

Melalui perhitungan menggunakan persamaan hukum Gibss, didapatkan nilai konversi terhadap nilai N₂ design 34% pada tekanan 154 atm dan pada suhu 450°C. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Komponen	BM	Input			Output				
		Input %mol	kmol/jam	kg/jam	mol	Massa	Fraksi Massa	kg/jam	kmol/jam
Nitrogen (N ₂)	28	25	7940.798 273	22234 2.4	19.8795 283	5.5662 68	0.543529 876	14674 6.1	5240.9 31
Hidrogen (H ₂)	2	75	23822.39 482	47644. 79	59.6385 849	1.1927 72	0.116470 688	31445. 59	15722. 79
Metana (CH ₄)	16	0	0	0	0	0	0	0	0
Argon (Ar)	40	0	0	0	0	0	0	0	0

Ammonia (NH ₃)	17	0	0	0	20.4818 868	3.4819 21	0.339999 437	91795. 48	5399.7 34
Total		100	31763.19 309	26998 7.1	100	10.240 96	1	26998 7.1	26363. 46

Konversi N ₂			
%	=	kmol masuk - kmol keluar	
		Kmol Masuk	
	=	2699.867	
		7940.798	
	=	33.99994	%

Gambar IX. 2 Hasil Pehitungan Menggunakan Hukum Gibss

Adapun rekomendasi dari unisim adalah sebagai berikut :

Gambar IX. 3 Hasil Perhitungan Menggunakan Unisim

Hasil tersebut menunjukkan untuk mendapatkan konversi N₂ sampai 34% maka kondisi operasi pada ammonia converter 105-D harus pada kondisi suhu 450°C dan tekanan 155 atm.



BAB X

KESIMPULAN DAN SARAN

X.1 Kesimpulan

1. Ammonia Converter (105-D) di departemen produksi 1B fungsinya kurang bagus, karena terdapat beberapa sampel yang masih di bawah data design
2. Kerja dari Ammonia Converter di departemen produksi 1B mengikuti hukum kesetimbangan Gibbs, yang dimana kerjanya dipengaruhi oleh suhu, tekanan, dan konsentrasi.

X.2 Saran

1. Ammonia converter sebaiknya dicari konversi optimumnya dengan memerhatikan faktor-faktor suhu, tekanan, dan rasio H_2/N_2 .
2. Data ammonia converter 105-D pada rentang 10-18 juli 2023 didapatkan pada kondisi operasi tekanan 150 atm dan suhu $440^{\circ}C$. Untuk mendapatkan konversi N_2 sampai 34% dengan menggunakan unisim maka kondisi operasi pada ammonia converter 105-D harus pada kondisi suhu $450^{\circ}C$ dan tekanan 155 atm, Sedangkan untuk mendapatkan konversi N_2 sampai 34% dengan menggunakan hukum kesetimbangan gibbs maka kondisi operasi harus pada tekanan 154 atm dan pada suhu $450^{\circ}C$.
3. Untuk evaluasi lebih detail perlu dilakukan perhitungan konversi tiap bed dengan memasukkan faktor ΔT tiap bednya.