

Optimasi Kebutuhan Udara Proses Pada *Secondary Reformer* (103-D) Di Pabrik Amonia PT X

Restu Ramadhani Pratama Putra¹, Zami Furqon²
e-mail: resturamadhani2002@gmail.com, zamifurqon@gmail.com

^{1,2}Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, Indonesia, 58315

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 28 September 2023
Direvisi 23 Desember 2023
Diterbitkan 31 Mei 2024

Kata kunci:

Kebutuhan Udara Proses
Methane Leakage
Optimasi
Reforming
Secondary Reformer

Keywords:

Process Air Requirements
Methane Leakage
Optimization
Reforming
Secondary Reformer

ABSTRAK

PT X adalah produsen pupuk urea yang menghadapi masalah tingginya *methane leakage* dalam proses produksi amonia dari gas alam. Tingginya *methane leakage* dapat menyebabkan deposit *carbon* pada katalis dan mengganggu proses konversi N_2 dan H_2 menjadi amonia di *ammonia converter*. Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan optimasi dengan pendekatan regresi linear dan *trial & error* pada *secondary reformer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah optimasi, *methane leakage* berhasil dikurangi dari 0,52% menjadi 0,35%, dengan penurunan sebesar 0,17%. Kebutuhan udara proses yang optimal adalah 1683,9997 kmol/h, dan kondisi operasi *secondary reformer* mencakup temperatur outlet 929,9188°C, tekanan outlet 29,3818 kg/cm², temperatur *top bed* 867,4784°C, temperatur *mid bed* 842,5828°C, dan temperatur *bottom bed* 843,7816°C. Hasil perhitungan keekonomian menunjukkan bahwa kerugian akibat *methane leakage* sebelum optimasi adalah US\$ 2.120,4292 per hari, sementara setelah optimasi, kerugian tersebut berkurang menjadi US\$ 1.263,9847 per hari. Selisih antara kerugian sebelum dan sesudah optimasi mencerminkan keuntungan setelah optimasi, yang sebesar US\$ 856,444 per hari atau sekitar Rp 12.803.845,054 per hari.

ABSTRACT

PT X is a urea fertilizer producer that faces the problem of high methane leakage in the ammonia production process from natural gas. High methane leakage can cause carbon deposits on the catalyst and disrupt the conversion process of N_2 and H_2 into ammonia in the ammonia converter. To overcome this problem, optimization was carried out with a linear regression approach and trial & error on the secondary reformer. The results showed that after optimization, methane leakage was successfully reduced from 0,52% to 0,35%, with a decrease of 0,17%. The optimal process air requirement is 1683,9997 kmol/h, and the secondary reformer operating conditions include outlet temperature 929,9188°C, outlet pressure 29,3818 kg/cm², top bed temperature 867,4784°C, mid bed temperature 842,5828°C, and bottom bed temperature 843,7816°C. The economic calculation results show that the loss due to methane leakage before optimization was US\$ 2.120,4292 per day, while after optimization, the loss was reduced to US\$ 1.263,9847 per day. The difference between the loss before and after optimization reflects the profit after optimization, which amounted to US\$ 856,444 per day or around Rp 12.803.845,054 per day.



Penulis Korespondensi:

Restu Ramadhani Pratama Putra,
Teknik Pengolahan Minyak dan Gas,
Politeknik Energi dan Mineral Akamigas,
Jl. Gajah Mada No. 38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, Indonesia, 58315.
Email: resturamadhani2002@gmail.com
Nomor HP/WA aktif: +62 812-7804-9332

1. PENDAHULUAN

PT X merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi pupuk urea. Dalam memproduksi pupuk urea dibutuhkan bahan baku yang berupa amonia dan karbon dioksida. Di PT X, kedua bahan baku ini di dapatkan dari pabrik amonia. Amonia (NH_3) adalah gas alkali tak berwarna dengan aroma khas yang lebih ringan dari udara. Larutan amonia digunakan sebagai pembersih, pemutih, dan penghilang bau. Selain itu, amonia juga digunakan dalam produksi pupuk, abu soda, pencelup karet, asam nitrat, nilon, dan sebagai bahan peledak [1]. Proses pembuatan amonia terdiri dari *feed treating*, *reforming*, purifikasi dan sintesa amonia. Unit yang memiliki peran yang sangat penting dalam proses produksi amonia adalah *reforming*. Proses *reforming* pada pabrik amonia bertujuan untuk mereformasi *feed* gas menjadi syngas sebagai bahan baku sintesa amonia. Terdapat dua seksi proses di unit *reforming* yaitu *primary reforming* dan *secondary reforming*. Seksi *primary reforming* bertujuan untuk mereformasi *feed* gas menjadi syngas dengan bantuan *steam*. Sedangkan *secondary reforming* memiliki tujuan untuk mempertajam konversi *feed* gas menjadi syngas dan menyuplai nitrogen sebagai bahan baku sintesa amonia dengan tambahan udara proses.

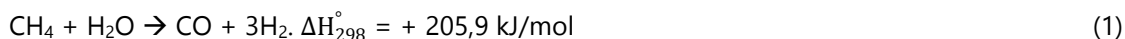
Permasalahan yang lazim dalam proses *reforming* adalah konversi *methane* menjadi syngas yang belum optimal sehingga *methane leakage* keluaran dari proses *reforming* masih cukup tinggi. Jika *methane leakage* yang keluar dari proses *reforming* masih tinggi, dapat berakibat pada terbentuknya *coke* pada katalis di proses berikutnya sehingga kinerja katalis menurun. Jika kinerja katalis pada proses setelah *reforming* turun maka dapat mempengaruhi proses konversi di reaktor-reaktor lainnya. Salah satu solusi untuk mengoptimalkan proses *reforming* gas alam menjadi syngas adalah dengan mengatur kebutuhan udara proses pada *secondary reformer*. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Setyanto et al, terdapat pengaruh antara pengaturan laju alir kebutuhan udara proses pada *secondary reformer* dengan *methane leakage*. Menurut Setyanto dkk (2022), penurunan laju alir udara akan meningkatkan jumlah *methane leakage* yang keluar dari *secondary reformer* [2].

Berdasarkan permasalahan diatas dapat dilihat bahwa proses *reforming* merupakan proses yang sangat penting dalam produksi amonia yang tentunya berpengaruh pada bahan baku pembuatan urea. Agar proses *reforming* gas alam tetap berjalan dengan baik maka diperlukan optimalisasi proses *reforming* yang dapat dilakukan dengan cara mengatur kebutuhan udara proses pada *secondary reformer*. Dengan melakukan pengaturan kebutuhan udara proses, diharapkan *methane leakage* dapat diminimasi sehingga *methane leakage* tersebut tidak mengganggu kinerja katalis pada reaktor-reaktor sesudah proses *reforming*.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa *secondary reformer*, menganalisis variabel-variabel yang dipengaruhi oleh pengaturan kebutuhan udara proses, mendapatkan kebutuhan udara proses dan kondisi operasi reaktor pada kondisi optimasi dan mengetahui keekonomisan pada *secondary reformer* pada kondisi optimasi. Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan menaikkan kebutuhan udara proses 8% hingga 9% dari kondisi aktual, *methane leakage* dapat diminimasi hingga 0,35% dan akan didapatkan kondisi operasi reaktor yang optimal.

Steam reforming natural gas adalah suatu proses yang mana *steam* direaksikan secara endotermis dan katalitik dengan hidrokarbon. *Reformer* merupakan tempat berlangsungnya *steam reforming*. *Steam reforming* berlangsung pada suhu 700-900°C. Produk yang dihasilkan dari *steam reforming natural gas* adalah campuran H_2 dan CO (syngas) [3].





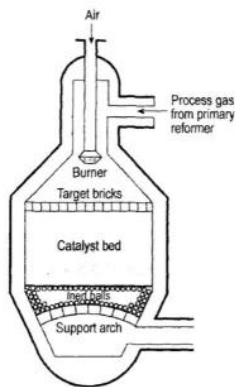
Konversi metana menjadi syngas melalui *steam reforming* melibatkan dua tahap utama, yaitu *pretreatment feed* dan *steam reforming* serta *heat exchange* untuk mencapai suhu konversi yang diinginkan. *Pretreatment* yang diperlukan hanya desulfurisasi gas alam untuk mengubah sulfur menjadi H₂S. Selanjutnya, gas alam dimasukkan ke dalam *reformer* untuk bereaksi dengan uap dan menghasilkan H₂ dan CO [3].

Reformer adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah gas alam menjadi syngas dengan bantuan katalis. Secara umum, *reformer* terdiri dari dua jenis, yaitu *primary reformer* dan *secondary reformer*. *Primary reformer* dan *secondary reformer* memiliki fungsi yang sama, yaitu mengubah *feed* gas menjadi syngas. Perbedaan antara *primary reformer* dan *secondary reformer* terletak pada fungsinya. *Secondary reformer* berperan dalam mengubah sisa-sisa CH₄ dari *primary reformer* menjadi syngas [4].



Gambar 1. *Primary Reformer* dan *Secondary Reformer*

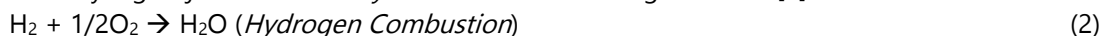
Pabrik amonia PT X menggunakan metode *reforming* dalam produksi gas sintesis. Proses *reforming* di pabrik amonia PT X dilakukan melalui *primary reformer* dengan penggunaan *steam (steam reforming)* dan *secondary reformer* dengan penggunaan udara. Tujuan dari *steam reforming* adalah untuk menghasilkan sebanyak mungkin H₂ dari campuran *steam* dan gas alam yang diumpankan. Di sisi lain, penambahan udara pada *secondary reformer* digunakan untuk memenuhi kebutuhan N₂ [5].



Gambar 2. Bagian Dalam *Secondary Reformer* [6]

Secondary reformer memiliki *adiabatic bed* yang berfungsi sebagai penyangga katalis Nikel Oksida untuk memungkinkan terjadinya reaksi pembentukan hidrogen dan karbon monoksida. Proses yang terjadi dalam alat ini bertujuan untuk mengolah sisa metana dan juga sebagai titik masuk udara. Jumlah udara yang masuk dikendalikan dengan rasio H/N sebesar 3:1, yang memiliki peran penting dalam reaksi pembentukan amonia di *ammonia converter* [6].

Reaksi yang terjadi di *secondary reformer* adalah sebagai berikut [2]:





Pengendalian variabel pada *secondary reformer* meliputi suhu, tekanan, dan laju aliran udara proses. Variabel tekanan dijaga konstan dan tidak melebihi batas desain yang ditetapkan. Penurunan tekanan dapat mempengaruhi pergeseran reaksi *reforming* menuju pembentukan gas H_2 . Sementara itu, variabel suhu menjadi fokus utama dalam *secondary reformer*. Suhu pada *secondary reformer* akan mempengaruhi sejauh mana metana akan terkonversi. Pengaturan suhu pada *secondary reformer* dilakukan melalui pengaturan laju aliran udara proses. Berikut ini adalah dampak dari peningkatan laju aliran udara proses pada *secondary reformer* [7]:

- a. Temperatur outlet naik.
- b. CH_4 outlet turun.
- c. Tekanan *steam drum* naik.
- d. *Inert* di *synthesis loop* turun.
- e. Produksi amonia akan naik.

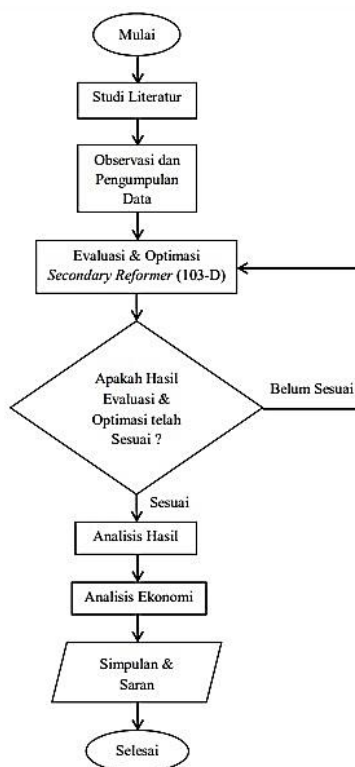
Namun, perlu diperhatikan bahwa peningkatan laju aliran udara ini dibatasi oleh rasio H_2 dan N_2 yang berada dalam rentang 2,8 hingga 3,1 pada reaktor amonia [7].

Optimasi adalah suatu metode yang spesifik untuk menemukan solusi yang paling efisien dan hemat biaya untuk suatu masalah atau desain dalam suatu proses. Metode ini merupakan salah satu alat kuantitatif utama dalam pengambilan keputusan di industri. Tujuan optimasi adalah mencari nilai-nilai variabel dalam suatu proses yang menghasilkan hasil terbaik berdasarkan kriteria kinerja. Dalam operasi pabrik, manfaat diperoleh dari peningkatan kinerja seperti hasil produk yang lebih baik, pengurangan konsumsi energi dan tingkat pemrosesan yang lebih tinggi. Optimisasi juga mengurangi biaya perawatan, keausan peralatan, dan meningkatkan efisiensi tenaga kerja. Tahapan yang dilakukan dalam optimasi adalah merumuskan masalah/menyusun persamaan matematis atau fungsi objektif, mencari keadaan yang optimum/menyelesaikan persamaan matematis dan menginterpretasikan hasil penyelesaian/menarik kesimpulan [8].

2. METODE PENELITIAN

Subjek penelitian ini adalah *secondary reformer* (103-D) yang berada di Unit *Reforming*, Pabrik Amonia IV PT. X. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah kebutuhan udara proses dan variabel terikatnya adalah temperatur dan tekanan outlet *secondary reformer* (103-D), temperatur *top bed*, *mid bed* dan *bottom bed*, komposisi keluaran *secondary reformer* (CH_4 , H_2 , N_2 , CO_2 , CO dan Ar), konversi CH_4 , efisiensi *thermal* dan *hydrogen to nitrogen ratio*. Metode kerja dalam penelitian ini dapat dilihat pada *flowchart* Gambar 3. Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, materi kuliah, internet, jurnal, dan pustaka lainnya. Diskusi juga dilakukan dengan pembimbing lapangan dan dosen pembimbing untuk menentukan judul penelitian. Setelah judul ditentukan, dilakukan pengambilan data yang diperlukan untuk mengoptimalkan *secondary reformer* (103-D). Data yang terkumpul kemudian diolah untuk evaluasi. Setelah evaluasi dilakukan dan ditemukan permasalahan pada *secondary reformer* (103-D), langkah selanjutnya adalah optimasi. Sebelum optimasi, dilakukan penentuan variabel bebas dan terikat serta fungsi objektif dan fungsi pembatas. Melalui metode *trial & error*, kebutuhan udara proses yang optimal dapat ditemukan. Selanjutnya, dilakukan analisis hasil perhitungan dan analisis keekonomisan *secondary reformer* (103-D). Setelah analisis selesai, simpulan dan saran diturunkan berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan.





Gambar 3. Flowchart Metode Kerja Optimasi *Secondary Reformer*

Metode analisis yang digunakan dalam optimasi kebutuhan udara proses pada *secondary reformer* (103-D) adalah optimasi dengan pendekatan regresi linear dan *trial & error*. Regresi linear merupakan salah satu metode statistik yang digunakan untuk memodelkan korelasi antar variabel. Model tersebut ditujukan untuk mengestimasi nilai variabel terikat berdasarkan nilai variabel bebas yang diberikan. Dalam keperluan optimasi, model regresi yang telah ditentukan akan difungsikan sebagai fungsi objektif yang nantinya akan digunakan untuk mengestimasi nilai variabel bebas dan terikat yang optimum. Untuk mendapatkan kondisi yang optimum maka diperlukan *trial & error* nilai variabel bebas ke model regresi dengan batasan-batasan tertentu. Apabila hasil *trial & error* tersebut memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan maka hasil tersebut dikatakan sebagai kondisi optimum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Desain

Data desain *secondary reformer* (103-D) terdiri dari data desain komposisi dan data desain kondisi operasi. Berikut ditampilkan data desain komposisi dan data desain kondisi operasi *secondary reformer* (103-D):

TABEL I : KOMPOSISI GAS INLET DAN OUTLET *SECONDARY REFORMER* (103-D)

Komposisi	% mol (<i>dry basis</i>)	
	Inlet	Outlet
CH ₄	11,59	0,35
CO ₂	10,60	7,77
CO	9,74	13,08
Ar	0,0047	0,28



N ₂	0,39	23,17
H ₂	67,66	55,35
Total	100,00	100,00

TABEL II : KONDISI OPERASI *SECONDARY REFORMER* (103-D)

Parameter Operasi	Kondisi Operasi	Satuan
Temperatur Inlet <i>Secondary Reformer</i>	815	°C
Temperatur Outlet <i>Secondary Reformer</i>	978,63	°C
Tekanan Inlet <i>Secondary Reformer</i>	33	kg/cm ²
Tekanan Outlet <i>Secondary Reformer</i>	32	kg/cm ²
<i>Molar Flow</i> Udara Proses	2169,02	kmol/h
Temperatur <i>Top Bed</i>	1200	°C
Temperatur <i>Mid Bed</i>	1100	°C
Parameter Operasi	Kondisi Operasi	Satuan
Temperatur <i>Bottom Bed</i>	999	°C
Temperatur Udara Inlet <i>Secondary Reformer</i>	459	°C
Tekanan Udara Inlet <i>Secondary Reformer</i>	36	kg/cm ²

Tabel I dan II digunakan sebagai acuan dalam optimasi kebutuhan udara proses pada *secondary reformer* (103-D). Data yang terdapat pada tabel I dan II akan didefinisikan sebagai fungsi pembatas. Fungsi pembatas diperlukan sebagai batasan-batasan dalam menentukan keadaan yang optimum dalam suatu penyelesaian fungsi objektif.

3.2 Data Aktual

Data aktual merupakan data yang akan diolah untuk dilakukan evaluasi dan optimasi. Dikarenakan pada inputan *secondary reformer* (103-D) tidak terdapat *flowmeter* maka diperlukan data aktual *primary reformer* (101-B). Berikut ditampilkan data aktual *primary reformer* (101-B):

TABEL III : KOMPOSISI GAS INLET DAN OUTLET *PRIMARY REFORMER* (101-B)

Komponen	% mol (<i>dry basis</i>)	
	Inlet	Outlet
CH ₄	87,29	10,81
C ₂ H ₆	6,35	-



C ₃ H ₈	0,43	-
C ₄ H ₁₀	0,13	-
C ₅ H ₁₂	0,04	-
C ₆₊	0,03	-
CO ₂	0,07	9,98
CO	0	7,43
Ar	0,09	0,04
N ₂	1,35	0,42
H ₂	4,22	71,32
Total	100,00	100,00

TABEL IV : KONDISI OPERASI *PRIMARY REFORMER* (101-B)

Parameter Operasi	Kondisi Operasi	Satuan
Temperatur Inlet <i>Primary Reformer</i>	442,2667	°C
Temperatur Outlet <i>Primary Reformer</i>	768,3167	°C
Tekanan Inlet <i>Primary Reformer</i>	29,3876	kg/cm ²
Tekanan Outlet <i>Primary Reformer</i>	27,9376	kg/cm ²
<i>Mass Flow Feed Gas</i>	13,1275	ton/h
<i>Mass Flow Steam</i>	43,8117	ton/h

Selain itu, ditampilkan pula data aktual *secondary reformer* (103-D):

TABEL V : KOMPOSISI GAS INLET DAN OUTLET *SECONDARY REFORMER* (103-D)

Komposisi	% mol (dry basis)	
	Inlet	Outlet
CH ₄	10,81	0,52
CO ₂	9,98	8,54
CO	7,43	10,51
Ar	0,04	0,24
N ₂	0,42	21,61



H ₂	71,32	58,58
Total	100,00	100,00

TABEL VI : KONDISI OPERASI *SECONDARY REFORMER* (103-D)

Parameter Operasi	Kondisi Operasi	Satuan
Temperatur Inlet <i>Secondary Reformer</i>	768,3167	°C
Temperatur Outlet <i>Secondary Reformer</i>	907,2500	°C
Tekanan Inlet <i>Secondary Reformer</i>	27,9376	kg/cm ²
Tekanan Outlet <i>Secondary Reformer</i>	27,7376	kg/cm ²
<i>Flow</i> Udara Proses	29728,9167	Nm ³ /h
<i>Flow Rate Steam to Air Coil</i>	5000,0000	Nm ³ /h
Temperatur <i>Top Bed</i>	837,1917	°C
Parameter Operasi	Kondisi Operasi	Satuan
Temperatur <i>Mid Bed</i>	803,4000	°C
Temperatur <i>Bottom Bed</i>	803,5917	°C
Temperatur Udara Inlet <i>Secondary Reformer</i>	466,6833	°C

Data tabel III, IV, V dan VI diolah untuk dilakukan perhitungan *mass balance* dan *energy balance*. Selanjutnya dilakukan pula perhitungan konversi CH₄, efisiensi *thermal* dan *hydrogen to nitrogen ratio*. Hasil perhitungan tersebut akan dilakukan analisis untuk menentukan performa dari *secondary reformer* (103-D).

3.3 Analisis Performa

Analisis performa *secondary reformer* (103-D) diawali dengan melakukan perhitungan *mass balance* dan *energy balance*. Kedua perhitungan ini mengacu pada buku *chemical engineering thermodynamics* [9] dan neraca massa serta energi [10]. Setelah itu, dilakukan perhitungan konversi CH₄ dan efisiensi *thermal*. Berikut ditampilkan perbandingan data desain dan data aktual *secondary reformer* (103-D):

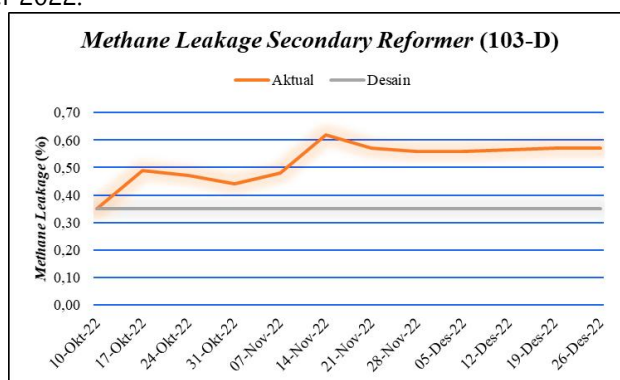
TABEL VII : PERBANDINGAN DATA DESAIN DAN DATA AKTUAL *SECONDARY REFORMER* (103-D)

Parameter	Desain	Aktual	Keterangan
Konversi CH ₄	Min. 95,4513 %	93,1120 %	Tidak Memenuhi
Komposisi Outlet <i>Secondary Reformer</i>	% <i>Methane Leakage</i>	Max. 0,35 % 0,52 %	Tidak memenuhi
	% H ₂	Min. 55,35 58,58 %	Memenuhi



% N ₂	Max. 23,17	21,61 %	Memenuhi
% CO ₂	Min. 7,77	8,54 %	Memenuhi
% CO	Max. 13,08	10,51 %	Memenuhi
% Ar	Max. 0,28	0,24 %	Memenuhi
Efisiensi <i>Thermal</i>	Min. 23,9579 %	36,4415 %	Memenuhi

Berdasarkan tabel VII, terdapat 2 parameter yang belum memenuhi desain yaitu konversi CH₄ dan % CH₄. Artinya, terdapat permasalahan pada *secondary reformer* (103-D) yang berupa konversi CH₄ belum maksimal sehingga *methane leakage* yang dihasilkan masih tinggi dan dapat dikatakan performa *secondary reformer* (103-D) dalam kondisi yang tidak baik. Berikut ditampilkan grafik *methane leakage secondary reformer* (103-D) periode Oktober 2022 hingga Desember 2022:



Gambar 4. *Methane Leakage* Keluaran *Secondary Reformer* (103-D)

Berdasarkan gambar 4, dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan *methane leakage* dari 10 Oktober 2022 hingga 26 Desember 2022. *Methane leakage* tertinggi tercatat pada tanggal 14 November 2022. Dari grafik tersebut, juga dapat diprediksi bahwa konversi CH₄ pada *secondary reformer* (103-D) mengalami penurunan. Dampak negatif dari tingginya *methane leakage* adalah memperbesar kecenderungan deposit *carbon* atau *coke* pada permukaan katalis dan mengganggu proses konversi N₂ dan H₂ menjadi amonia di *ammonia converter*. Oleh karena itu, *methane leakage* harus diminimalisir dengan cara mengoptimalkan kebutuhan udara proses pada *secondary reformer* (103-D).

3.4 Analisis Hasil Optimasi

Optimasi kebutuhan udara proses pada *secondary reformer* (103-D) dimulai dengan merumuskan fungsi objektif. Fungsi objektif dirumuskan dengan cara menentukan persamaan regresi linear berdasarkan data aktual yang ada. Persamaan regresi linear tersebut dapat dicari dengan menggunakan fitur *trendline data* pada *microsoft excel*. Dalam kasus ini, persamaan regresi yang digunakan berjumlah 11. Artinya, terdapat 11 fungsi objektif yang akan digunakan untuk menentukan kebutuhan udara proses yang optimum. Selanjutnya, akan dilakukan *trial & error* penentuan kebutuhan udara proses yang optimum dengan cara menginput nilai kebutuhan udara proses ke fungsi objektif. Penyelesaian dari fungsi objektif tersebut akan disesuaikan dengan fungsi pembatas. Apabila nilai yang ditemukan telah memenuhi syarat yang ditentukan oleh fungsi pembatas maka kebutuhan udara proses tersebut dapat dikatakan telah optimum. Berikut ditampilkan tabel hasil *trial & error* penentuan kebutuhan udara proses yang optimum:



TABEL VIII : HASIL TRIAL AND ERROR PENENTUAN KEBUTUHAN UDARA PROSES YANG OPTIMUM

Molar Rate Udara Proses + Steam (kmol/h)	Temperatur Outlet (°C)	Tekanan Outlet (kg/cm ²)	Temperatur Bed (°C)			Komposisi Syngas (dry basis)					
			Top	Mid	Bottom	% CH ₄	% H ₂	% N ₂	% CO ₂	% CO	% Ar
1603,9997	930,6628	28,7258	868,0704	834,4468	834,9896	0,43	57,71	21,35	8,87	11,26	0,20
1613,9997	930,5698	28,8078	867,9964	835,4638	836,0886	0,42	57,55	21,31	8,94	11,41	0,21
1623,9997	930,4768	28,8898	867,9224	836,4808	837,1876	0,41	57,38	21,26	9,01	11,55	0,22
1633,9997	930,3838	28,9718	867,8484	837,4978	838,2866	0,40	57,21	21,22	9,08	11,70	0,22
1643,9997	930,2908	29,0538	867,7744	838,5148	839,3856	0,39	57,04	21,17	9,15	11,84	0,23
1653,9997	930,1978	29,1358	867,7004	839,5318	840,4846	0,38	56,87	21,13	9,21	11,99	0,24
1663,9997	930,1048	29,2178	867,6264	840,5488	841,5836	0,37	56,71	21,09	9,28	12,14	0,25
1673,9997	930,0118	29,2998	867,5524	841,5658	842,6826	0,36	56,54	21,04	9,35	12,28	0,25
1683,9997	929,9188	29,3818	867,4784	842,5828	843,7816	0,35	56,37	21,00	9,42	12,43	0,26
1693,9997	929,8258	29,4638	867,4044	843,5998	844,8806	0,34	56,20	20,95	9,49	12,57	0,27

Molar Rate Udara Proses + Steam (kmol/h)	Temperatur Outlet (°C)	Tekanan Outlet (kg/cm ²)	Temperatur Bed (°C)			Komposisi Syngas (dry basis)					
			Top	Mid	Bottom	% CH ₄	% H ₂	% N ₂	% CO ₂	% CO	% Ar
1703,9997	929,7328	29,5458	867,3304	844,6168	845,9796	0,33	56,03	20,91	9,55	12,72	0,27

Berdasarkan tabel VIII, didapatkan kebutuhan udara proses yang optimum sebesar 1683,9997 kmol/h udara *mixed steam air coil* atau setara dengan 32743,0178 Nm³/h udara proses dan 5000 Nm³/h *steam air coil*. Selain itu, didapatkan pula kondisi operasi reaktor dan komposisi syngas keluaran *secondary reformer* (103-D) setelah optimasi yang telah memenuhi desain. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *mass balance*, *energy balance*, konversi CH₄, efisiensi *thermal* dan *hydrogen to nitrogen ratio* pada kondisi optimasi. Berikut ditampilkan perbandingan data desain, data aktual dan data optimasi *secondary reformer* (103-D):

TABEL IX : PERBANDINGAN DATA DESAIN, DATA AKTUAL DAN DATA OPTIMASI SECONDARY REFORMER (103-D)

Parameter	Desain	Aktual	Optimasi
Konversi CH ₄	Min. 95,4513 %	93,1120 %	95,8941 %
% Methane Leakage	Max. 0,35 %	0,52 %	0,35 %
Komposisi Outlet Secondary Reformer	% H ₂	Min. 55,35	58,58 %
	% N ₂	Max. 23,17	21,61 %
	% CO ₂	Min. 7,77	8,54 %



% CO	Max. 13,08	10,51 %	12,43 %
% Ar	Max. 0,28	0,24 %	0,26 %
Efisiensi <i>Thermal</i>	Min. 23,9579 %	36,4415 %	42,8704 %
Temperatur Outlet	Max. 978,63 °C	907,2500 °C	929,9188 °C
Tekanan Outlet	Max. 32 kg/cm ²	27,7376 kg/cm ²	29,3818 kg/cm ²
Temperatur <i>Top Bed</i>	Max. 1200 °C	837,1917 °C	867,4784 °C
Temperatur <i>Mid Bed</i>	Max. 1100 °C	803,4000 °C	842,5828 °C
Temperatur <i>Bottom Bed</i>	Max. 999 °C	803,5917 °C	843,7816 °C
<i>Molar Rate</i> Udara Proses + <i>Steam</i>	Max. 2169,02 kmol/h	1549,5180 kmol/h	1683,9997 kmol/h

Berdasarkan tabel IX, dapat dilihat bahwa setelah dilakukannya optimasi kebutuhan udara proses semua parameternya telah sesuai dengan desain *secondary reformer* (103-D). Artinya, optimasi kebutuhan udara proses berhasil dilakukan dengan pendekatan linear. Kondisi optimum *secondary reformer* (103-D) dapat dicapai apabila kebutuhan udara prosesnya dinaikkan menjadi 1683,9997 kmol/h udara *mixed steam air coil* atau 32743,0178 Nm³/h udara proses dengan *steam air coil* sebesar 5000 Nm³/h. Konversi CH₄ yang dapat dicapai ketika kondisi optimasi adalah 95,8941 % dan berhasil menekan *methane leakage* hingga 0,35 % atau terjadi penurunan sebesar 0,17 % dari kondisi aktual. Tentunya hal ini dapat mengurangi kecenderungan pembentukan *carbon* deposit pada permukaan katalis dan dapat memperkecil pengaruh inert gas CH₄ dalam proses konversi N₂ dan H₂ menjadi amonia di *ammonia converter* (105-D) sehingga produksi amonia dapat berjalan dengan baik. Kenaikan udara proses harus menyesuaikan *hydrogen to nitrogen ratio*. *Hydrogen to nitrogen ratio* setelah optimasi bernilai 1,4846 sedangkan *ratio* sebelum optimasi bernilai 2,0094. Artinya, suplai hidrogen dari *Purge Gas Recovery Unit* (PGRU) harus ditingkatkan agar *hydrogen to nitrogen ratio* berada pada *range* 2,8 -3,2. Hal ini dikarenakan apabila *hydrogen to nitrogen ratio* tidak pada *range* tersebut dapat mengganggu reaksi pembentukan amonia di *ammonia converter*. Dalam perhitungan optimasi ini, peneliti mengasumsikan suplai hidrogen dari PGRU dapat memenuhi syarat *hydrogen to nitrogen ratio*.

Keuntungan-keuntungan yang didapatkan apabila melakukan optimasi kebutuhan udara proses adalah mengurangi *methane leakage*, meningkatkan produksi amonia, meningkatkan CO₂ sebagai bahan baku pembuatan urea dan kalor aliran produk syngas dapat dimanfaatkan sebagai energi untuk memproduksi *steam* pada *waste heat boiler*. Jika ditinjau dari seberapa banyak *methane* yang tidak terkonversi menjadi syngas dan *methane* yang tidak terkonversi tersebut dihitung kerugiannya dengan mengasumsikan harga *methane leakage* sama dengan harga gas alam. Harga *methane leakage* bernilai US\$ 6 /MMBTU [11]. Maka, akan didapatkan kerugian *methane leakage* sebelum optimasi sebesar US\$ 2.120,4292 /day dan sesudah optimasi didapatkan sebesar US\$ 1263,9847 /day. Selisih antara kerugian sebelum dan sesudah optimasi dapat diterjemahkan sebagai keuntungan setelah optimasi. Artinya, perusahaan mendapatkan keuntungan yang didapatkan sebesar US\$ 856,444 /day atau Rp 12.803.845,054 /day.

4. KESIMPULAN

Optimasi kebutuhan udara proses *secondary reformer* (103-D) berhasil dilakukan dengan pendekatan regresi linear dan metode *trial & error*. Dalam kondisi aktual, performa *secondary reformer* (103-D) kurang baik dalam mengkonversikan CH₄, dikarenakan nilai konversi CH₄ didapatkan sebesar 93,1120 % dan % CH₄ outlet



sebesar 0,52 %. Sehingga diperlukan adanya optimasi kebutuhan udara proses untuk meminimasi *methane leakage*. Adapun variabel-variabel yang dipengaruhi oleh pengaturan udara proses adalah temperatur outlet, tekanan outlet, temperatur *top bed*, temperatur *mid bed*, temperatur *bottom bed* dan komposisi keluaran *secondary reformer* (CH₄, H₂, N₂, CO₂, CO dan Ar).

Berdasarkan hasil perhitungan optimasi kebutuhan udara proses pada *secondary reformer* (103-D) didapatkan kebutuhan udara proses yang optimum sebesar 1683,9997 kmol/h udara *mixed steam air coil* atau 32743,0178 Nm³/h udara proses dengan *steam air coil* sebesar 5000 Nm³/h. Temperatur outlet didapatkan sebesar 929,9188 °C, tekanan outlet sebesar 29,3818 kg/cm², temperatur *top bed* sebesar 867,4784 °C, temperatur *mid bed* 842,5828 °C dan temperatur *bottom bed* 843,7816 °C. Selain itu, hasil optimasi menunjukkan bahwa terdapat penurunan *methane leakage* sebesar 0,17 % dari kondisi aktual. *Methane leakage* setelah optimasi didapatkan sebesar 0,35 % dimana hasil tersebut telah memenuhi desain. Adapun keekonomisan pada *secondary reformer* pada kondisi optimasi ditinjau dari kerugian sisa *methane leakage*. Kerugian *methane leakage* sebelum optimasi didapatkan sebesar US\$ 2.120,4292 /day dan sesudah optimasi didapatkan sebesar US\$ 1263,9847 /day. Keuntungan yang didapatkan sebesar US\$ 856,444 /day atau Rp 12.803.845,054 /day. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah data yang akan diolah untuk optimasi dapat diambil sebanyak mungkin agar didapatkan hasil regresi yang lebih optimal dan dapat mencoba metode optimasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Mahfud and Z. Sabara, *Industri Kimia Indonesia*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish, 2018.
- [2] F. H. Setyanto, P. C. Manapa, and Widayat, "Pengaruh Pengurangan Laju Alir Udara Proses pada Unit Secondary Reformer (103-D) terhadap Konsumsi Energi Pada Pabrik Amoniak Pupuk Kaltim 5," *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, vol. 3, no. 2, pp. 154–172, 2022.
- [3] A. Arman, F., Y. Hagos, A., A. Abdullah, R. Mamat, A., R., A. Aziz, and C., K. Cheng, "Syngas Production through Steam and CO₂ Reforming of Methane Over Ni-Based Catalyst-A Review," *Energy Security and Chemical Engineering Congress*, 2020.
- [4] Novielly, "Studi Mekanisme Kerusakan Tube Reformer pada Industri Petrokimia," Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2016.
- [5] Marlina, "Penelitian Kajian Pengaruh Temperatur, Komposisi Inlet Feed dan Ratio Steam Carbon Terhadap Produksi Syngas Pada Secondary Reformer di Pabrik Amoniak PUSRI IB," *Jurnal Redoks*, vol. 1, no. 1, pp. 23–25, 2016.
- [6] Max. Appl, *Ammonia Principles and Industrial Practice*. Weinheim, Germany: WILEY-VCH, 1999.
- [7] Anonim, *POB AMM-III*. Palembang: PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang, 2007.
- [8] T., F. Edgar, D., M. Himmelblau, and L., S. Lasdon, *Optimization of Chemical Processes*, 2nd ed. New York, America: McGraw-Hill, 2001.
- [9] J., M. Smith and C., V. N. H., *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Seventh Edition*, 7th ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 2005.
- [10] S. Wuryanti, *Neraca Massa dan Energi*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung, 2016.
- [11] M., A. Wahyudi, "Optimasi Kebutuhan Steam pada Primary Reformer 101-B di Pabrik Amonia - Pusri IIB PT Pupuk Sriwidjaja Palembang," PEM Akamigas, Cepu, 2019.

