

Pengaruh Pengurangan Laju Alir Udara Proses pada Unit *Secondary Reformer* (103-D) terhadap Konsumsi Energi Pada Pabrik Amoniak Pupuk Kaltim 5

Fauzandy Husna Setyanto, Puja Chrisdianto Manapa, Widayat

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro;

Email : fauzandy123@gmail.com (F.H.S.), manapapuja2@gmail.com (P.C.M.),
widayat@lecturer.undip.ac.id (W);

Abstrak : *Secondary reformer* merupakan alat yang berfungsi untuk mengonversi dari metana (CH_4) menjadi *syn gas* (H_2). Gas metana akan bereaksi dengan oksigen (O_2) yang berasal dari udara atmosfer untuk membentuk H_2 yang nantinya akan disintesis menjadi amoniak pada unit ammonia converter. Sementara itu gas metana yang tersisa akan dimanfaatkan kembali sebagai *secondary fuel* pada *primary reformer*, energi yang dihasilkan dari reaksi pembentukan *syn gas* pada *secondary reformer* ini kemudian digunakan untuk membangkitkan *saturated steam* pada unit waste heat boiler. Studi kasus ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengurangan laju alir udara pada *secondary reformer* terhadap jumlah *methane leak*, energi, amoniak yang dihasilkan, dan optimasi proses suplai *secondary fuel* ke *primary reformer*. Penurunan laju alir pada *secondary reformer* (103-D) akan menyebabkan beberapa hal yaitu naiknya jumlah *methane leak* pada outlet *secondary reformer*, adanya peningkatan produk *secondary fuel methane*, adanya penurunan produk *saturated steam* pada waste heat boiler (101-C), penurunan pada produk amoniak yang dihasilkan pada ammonia converter (122-C2), dan konsumsi energi yang dibutuhkan per ton amoniak meningkat seiring dengan pengurangan laju alir udara dengan rata-rata peningkatan konsumsi energi sebesar 0,15 MMBTU/ton.

Kata Kunci : laju alir udara, *secondary reformer*, *methane leak*, & energi amoniak

Abstract : *Secondary reformer* is a tool that functions to convert methane (CH_4) into *syn gas* (H_2). Methane gas will react with oxygen (O_2) from atmospheric air to form H_2 which will be synthesized into ammonia in the ammonia converter unit. Meanwhile, the remaining methane gas will be reused as secondary fuel in the primary reformer, the energy generated from the *syn gas* formation reaction in the secondary reformer is then used to generate *saturated steam* in the waste heat boiler unit. This research was conducted to determine the effect of reducing the air flow rate on the Secondary reformer on the amount of methane leak, energy, ammonia produced, and optimization of the secondary fuel supply process to the primary reformer. The decrease in flow rate in the secondary reformer (103-D) will cause several things, namely an increase in the amount of methane leak at the secondary reformer outlet, an increase in secondary fuel methane product, a decrease in *saturated steam* product in the waste heat boiler (101-C), a decrease in product ammonia is produced in the ammonia converter (122-C2), and the energy consumption required per ton of ammonia increases

along with the reduction in air flow rate with an average increase in energy consumption of 0.15 MMBTU/ton.

Keywords : Air Flow Rate, Secondary reformer, Methane Leak, & Ammonia Energy

1. Pendahuluan

Sebagai negara agraris, hasil perkebunan merupakan salah satu komoditi yang sangat berperan dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia, baik sebagai komoditi ekspor penambah devisa ataupun pemenuhan kebutuhan dalam negeri. Untuk mendukung kegiatan pertanian, dibutuhkan zat penyubur tanaman yang dapat ditemukan dalam pupuk. Pupuk yang digunakan dapat berupa pupuk organik maupun anorganik (kimia). Pada tahun 2022, Indonesia memiliki kebutuhan pupuk bersubsidi hingga 25,18 juta ton, dimana pemerintah hanya dapat memenuhi sebanyak 9,5 juta ton (Rayful, 2022). Salah satu strategi Kementan dalam memenuhi kebutuhan pupuk tersebut dengan menetapkan alokasi pupuk urea sebesar 4.232.704 ton (Mudassir, 2022).

Salah satu produsen pupuk urea di Indonesia adalah PT Pupuk Kalimantan Timur. Berdasarkan Profil dan Riwayat Singkat Perusahaan diketahui bahwa Pupuk Kaltim menempati lahan seluas 443 hektar di Kota Bontang, Kalimantan Timur dengan fasilitas produksi yang terdiri dari 5 pabrik Amoniak, 5 pabrik Urea, 3 pabrik NPK Blending, 2 pabrik NPK Fusion, 1 pabrik Boiler Batu Bara, unit pengantongan, serta unit pergudangan dengan total kapasitas produksi pupuk urea sebesar 3,43 juta ton/tahun, Amoniak sebesar 2,74 juta ton/tahun, dan NPK sebesar 350 ribu ton/tahun.

Dengan umur pabrik yang sudah demikian lama, maka telah banyak bagian yang mengalami penurunan kinerja alat dalam sistem prosesnya. Salah satu indikator penurunan kinerja tersebut adalah semakin meningkatnya jumlah panas yang hilang dari sistem energi pabrik tersebut dan belum dimanfaatkan. Dengan semakin mahalnya harga penyediaan energi, maka adanya energi yang hilang menyebabkan pula naiknya biaya produksi, sehingga perlu dilakukan penghematan energi melalui perbaikan kinerja alat untuk mengurangi hilangnya energi atau perubahan rancangan sistem energi sehingga energi dapat dipergunakan secara optimal.

Pada Pabrik Amoniak Pupuk Kaltim 5, terdapat unit *secondary reformer* yang berfungsi untuk mengonversi metana (CH_4) menjadi *syn gas* (H_2). Gas metana akan bereaksi dengan oksigen (O_2) yang berasal dari udara atmosfer untuk membentuk H_2 yang nantinya akan disintesis menjadi amoniak pada unit *ammonia converter*. Adapun gas metana yang tersisa akan dimanfaatkan kembali sebagai *secondary fuel* pada *primary reformer*. Energi yang dihasilkan dari reaksi pembentukan *syn gas* pada *secondary reformer* digunakan untuk membangkitkan *saturated steam* pada unit *waste heat boiler* (Biro Pengembangan Sumber Daya Manusia, 2015; Team Start Up, 2015). Secara umum, studi kasus ini membahas pengaruh pengurangan laju alir udara pada unit *secondary reformer* (103-D) terhadap konsumsi energi pada pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 dengan melakukan simulasi proses menggunakan bantuan *software* Aspen Hysys versi 10. Karena pentingnya seksi *primary reformer* dan *secondary reformer* ini dalam berjalannya proses operasi pembuatan amoniak di Pabrik 5, perlu adanya studi kasus untuk melihat pengaruhnya terhadap parameter yang harus dijaga. Oleh karena itu pada studi kasus ini akan dilihat pengaruh pengurangan laju alir udara pada *secondary reformer* terhadap jumlah *methane leak*, jumlah *saturated steam* yang dihasilkan, jumlah amoniak yang dihasilkan, jumlah *secondary fuel*, dan konsumsi energi pada pabrik amoniak.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Termodinamika Pembentukan Amoniak

Tinjauan termodinamika digunakan untuk menentukan sifat reaksi pembentukan amoniak, pengaruh kondisi operasi, dan jumlah panas hasil reaksi.

2.1.1. Steam Reforming

Reaksi yang terjadi :



Diketahui panas pembentukan (Hf°_{298}) dan energi bebas Gibbs (Gf°) dari setiap senyawa diatas ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1.

Data Panas Pembentukan (Hf°_{298}) Senyawa pada Reaksi *Steam Reforming* (Smith et al., 2018)

Senyawa	Hf°_{298} (kkal)	Gf° (J/kmol)
CH_4	-17,89	$-50,84 \times 10^{-3}$
H_2O	-57,79	$-228,6 \times 10^{-3}$
CO	-26,42	$-137,2 \times 10^{-3}$
CO_2	-94,05	$-394,40 \times 10^{-3}$
H_2	0	0

Nilai ΔHf° dan ΔGf° reaksi 1 dan 2 dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\Delta\text{Hf} = \text{Hf produk} - \text{Hf Reaktan} \quad (3)$$

$$\Delta\text{Gf} = \text{Gf produk} - \text{Gf Reaktan} \quad (4)$$

Menggunakan persamaan 3 dan 4, didapatkan nilai ΔHf° dan ΔGf° reaksi 1 dan 2 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2.

Nilai Beda Entalpi Pembentukan dan Energi Bebas Gibbs dari Reaksi *Steam Reforming* (Smith et al., 2018)

Reaksi	ΔHf° (kkal)	ΔGf° (J/kmol)
1	-49,27	$142,24 \times 10^{-3}$
2	-9,84	$228,6 \times 10^{-3}$

2.1.2. Sintesis Amoniak

Reaksi yang terjadi :



Diketahui panas pembentukan (Hf°_{298}) dan energi bebas Gibbs (Gf°) dari setiap senyawa diatas ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3.

Data Panas Pembentukan (Hf°_{298}) Senyawa pada Reaksi Sintesis Amoniak (Smith et al., 2018)

Senyawa	Hf°_{298} (kkal)	Gf° (J/kmol)
N_2	0	0
H_2	0	0
NH_3	-45,9	$16,4 \times 10^{-3}$

Menggunakan persamaan 3 dan 4, didapatkan nilai ΔH_f° dan ΔG_f° reaksi 5 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4.

Nilai Beda Entalpi Pembentukan dan Energi Bebas Gibbs dari Reaksi Sintesis Amoniak
 (Smith et al., 2018)

Reaksi	ΔH_f° (kkal)	ΔG_f° (J/kmol)
5	-21,92	$-32,8 \times 10^{-3}$

Nilai energi bebas Gibbs (ΔG_f°) digunakan untuk mencari nilai K. Perhitungan nilai K ditunjukkan menggunakan cara sebagai berikut

$$\Delta G = -R \times T \times \ln(K) \quad (6)$$

$$\ln(K) = -\frac{\Delta G}{R \times T}$$

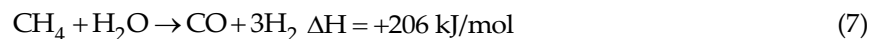
$$\ln(K) = -\frac{32,8 \times 10^{-3}}{8,314 \times 298}$$

$$K = 1$$

Dari perhitungan ΔH_f° diatas, dapat dilihat bahwa reaksi yang terjadi tergolong reaksi eksotermis. Sedangkan dari nilai perhitungan K, terlihat nilai K sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi sintesis amonia bersifat *reversible*.

2.2. Kinetika Pembentukan Amoniak

Tinjauan kinetika bertujuan memperkirakan kecepatan reaksi dan pengaruh kondisi operasi dan konsentrasi reaktan serta untuk pemilihan dan perancangan jenis reaktor yang digunakan. Reaksi pada *secondary reformer* (103-D) adalah *steam reforming*. Reaksi *steam reforming* adalah sebagai berikut:



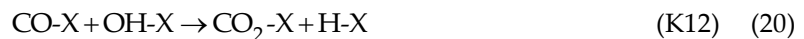
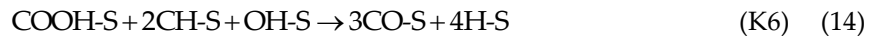
Berikut merupakan model Langmuir-Hinshelwood (LH) reaksi *steam reforming* dengan katalis nikel (selanjutnya dilambangkan dengan S pada sisi aktif primer dan X adalah sisi aktif sekunder) menurut Batebi et al. (2021).

2.2.1. Proses Adsorpsi



Mula-mula, sisi aktif dari katalis nikel (S) mengikat molekul metana dan air untuk melepaskan molekul OH dan CH yang nantinya digunakan untuk pada reaksi *water gas shift* pertama.

2.2.2. Proses Reaksi



Setelah melepas molekul OH dan CH, reaksi berlangsung dengan kontak pada sisi aktif primer dan sekunder katalis untuk menghasilkan molekul H dan CO₂.

2.2.3. Proses Desorpsi



Molekul H dan CO₂ yang masih menempel di sisi aktif sekunder katalis dilepaskan, sehingga menghasilkan produk H₂ dan CO₂.

Dimana RDS : *rate determining step*.

Berdasarkan proses tersebut, persamaan yang didapatkan untuk mencari laju reaksi adalah sebagai berikut:

$$R_{\text{CO}} = k_8 \left(K_1^2 K_2 K_3 K_4^2 K_4^2 K_5 K_6 K_7^5 \frac{P_{\text{CO}_2}^n P_{\text{H}_2\text{O}}^n P_{\text{CH}_4}^n}{P_{\text{H}_2}^n} \right)^{\frac{1}{3}} (1 - \Sigma \theta)^2 - k_{-8} P_{\text{CO}}^n (1 - \Sigma \theta)^2 \quad (23)$$

$$R_{\text{CO}_2} = k_{14} K_9 K_{10} K_{11} K_{12} K_{13} \frac{P_{\text{CO}}^n P_{\text{CO}_2}^n}{P_{\text{H}_2}^n} (1 - \Sigma \Psi) - k_{-14} P_{\text{CO}_2}^n (1 - \Sigma \Psi) \quad (24)$$

Dimana:

$$(1 - \Sigma \theta) = \frac{1}{1 + K_1 P_{\text{CH}_4}^n + K_2 P_{\text{H}_2\text{O}}^n + K_2 K_3 K_7^2 \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}^n}{P_{\text{H}_2}^{2n}} + \frac{K_5}{K_7^2} P_{\text{CO}_2}^n P_{\text{H}_2}^{2n} + K_1 K_4 K_7^2 \frac{P_{\text{CH}_4}^n}{P_{\text{H}_2}^{2n}} + \frac{P_{\text{H}_2}^{2n}}{K_7^{2n}} + \left(K_1^2 K_2 K_3 K_4^2 K_4^2 K_5 K_6 K_7^5 \frac{P_{\text{CO}_2}^n P_{\text{H}_2\text{O}}^n P_{\text{CH}_4}^n}{P_{\text{H}_2}^n} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (25)$$

$$(1 - \sum \psi) = \frac{1}{1 + K_9 P_{CO}^n + K_{10} P_{H_2O}^n + K_{10} K_{11} K_{13}^{\frac{1}{2}} \frac{P_{H_2O}^n}{P_{H_2}^n} + \frac{P_{H_2}^{2n}}{K_{13}^{2n}} + K_9 K_{10} K_{11} K_{12} K_{13} \frac{P_{CO}^n P_{CO_2}^n}{P_{H_2}^n}} \quad (26)$$

(Boudart, 1981)

2.3. Konsumsi Energi Pabrik Amoniak

Peninjauan konsumsi energi pada suatu pabrik dibutuhkan pengetahuan tentang komponen input dan output energinya. Pada pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5, input energi berupa gas proses, *fresh fuel*, dan listrik. Sedangkan outputnya berupa *steam* yang dihasilkan pada *waste heat boiler* (102-C). Selain komponen input dan output, produk amoniak yang dihasilkan merupakan salah satu variabel penting dalam peninjauan konsumsi energi (Bahadori, 2016).

Gas proses adalah *raw material* yang digunakan untuk membuat *syn gas* (H_2) yang berupa *natural gas*. Kebutuhan gas proses pada pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 adalah sebesar 68.873,01 MSCFD. Sedangkan *fresh fuel* berupa *natural gas* yang berfungsi untuk menyediakan energi pada reaksi endotermis di *primary reformer* (122-BCC) dan *flare system*. *Secondary fuel* berupa metana yang dihasilkan dari gas proses pada metanator digunakan sebagai tambahan *fuel* pada *primary reformer* (122-BCC). Kebutuhan *fresh fuel* pada pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 adalah sebesar 13.182,09 MSCFD. Input *fresh fuel* tersebut dapat dikurangi bila jumlah *secondary fuel* dapat diregenerasi dengan baik dari gas proses. Sehingga, kebutuhan *primary fuel* secara umum dapat dirumuskan pada persamaan 27.

$$\text{Kebutuhan fresh fuel} = (13.182,09 - \text{jumlah secondary fuel}) \text{ MSCFD} \quad (27)$$

Selain gas proses dan *primary fuel*, input energi dari pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 berupa listrik. Kebutuhan listrik adalah sebesar 58.500 kWh/hari dengan konsumsi listrik pada skala british thermal unit sebesar 695,46 MMBTU.

Output energi berupa ekspor *steam* pada unit *waste heat boiler* (102-C). Produksi *steam* pada unit tersebut dipengaruhi oleh energi yang dihasilkan pada keluaran *secondary reformer* (103-D). Secara umum, pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 menghasilkan ekspor *steam* sebanyak 795,12 ton/hari pada kondisi operasi normal, yaitu ketika laju alir udara proses pada *secondary reformer* (103-D) sebesar 175 ton/hari. Jumlah ekspor *steam* tersebut berkurang seiring dengan berkurangnya input udara proses.

Peninjauan kebutuhan energi, diperlukan konversi kebutuhan tiap komponen menjadi satuan energi (MMBTU). Pada gas proses dan *fresh fuel*, konversi satuan energi dilakukan dengan mengalikan kebutuhan per harinya (MSCFD) dengan nilai *gross heating value* (GHV). Nilai GHV *natural gas* pada pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 adalah sebesar 1,02 MBTU/scf. Maka, satuan energi dari kebutuhan gas proses dapat dihitung menggunakan persamaan 29.

$$\text{NG Total} = \text{NG Proses} + \text{NG Fuel} \quad (28)$$

Dimana:

$$\text{Nilai energi NG} = \text{Jumlah NG} \times \text{GHV} \quad (29)$$

Dengan menggunakan persamaan 29, nilai energi NG proses dapat dihitung.

$$\text{NG Proses} = 68.873,01 \text{ MSCFD} \times 1,02 \text{ MBTU/scf} \quad (30)$$

$$\text{NG Proses} = 70.627,75 \text{ MMBTU}$$

Dengan cara yang sama, kebutuhan energi dari *fresh fuel* dapat dihitung:

$$\begin{aligned} \text{NG Fuel} &= 13.182,09 \text{ MSCFD} \times 1,02 \text{ MBTU/scf} \\ \text{NG Fuel} &= 13.445,73 \text{ MMBTU} \end{aligned} \quad (31)$$

Selain natural gas, jumlah ekspor *steam* perlu dikonversi menjadi satuan energi MMBTU. Untuk mengonversi menjadi satuan energi, jumlah *steam* dikalikan dengan nilai massa entalpi *steam* pada tekanan 47,5 kgAbs dan suhu 385°C. Berdasarkan *steam table*, nilai massa entalpi *steam* pada pabrik amoniak Pupuk Kaltim 5 adalah sebesar 2,98 MMBTU/ton. Maka, nilai energi yang dihasilkan oleh *steam* dapat dihitung menggunakan persamaan 32.

$$\begin{aligned} S &= \text{Jumlah Ekspor Steam} \times H \text{ steam} \\ S &= (759,12 \text{ ton/hari} - \text{Pengurangan Jumlah Steam}) \times 2,98 \text{ MMBTU/ton} \\ S &= [(795,12 - \text{Pengurangan Jumlah Steam}) \times 2,98 \text{ MMBTU} \end{aligned} \quad (32)$$

Selain meninjau energi input dan output, produk amoniak yang dihasilkan adalah parameter penting yang digunakan untuk perhitungan konsumsi energi. Jumlah produk amoniak yang dihasilkan pada kondisi normal operasi adalah sebesar 2.586 ton/hari. Jumlah tersebut dapat berkurang seiring dengan pengurangan laju alir udara pada secondary reformer (103-D). Sehingga, perhitungan konsumsi energi per ton amoniak dapat dirumuskan pada persamaan 33.

$$\begin{aligned} \text{KE} &= \frac{(\text{Energi input} - \text{Energi output})}{P} \\ \text{KE} &= \frac{(\text{NG} + \text{E} - \text{S})}{P} \end{aligned} \quad (33)$$

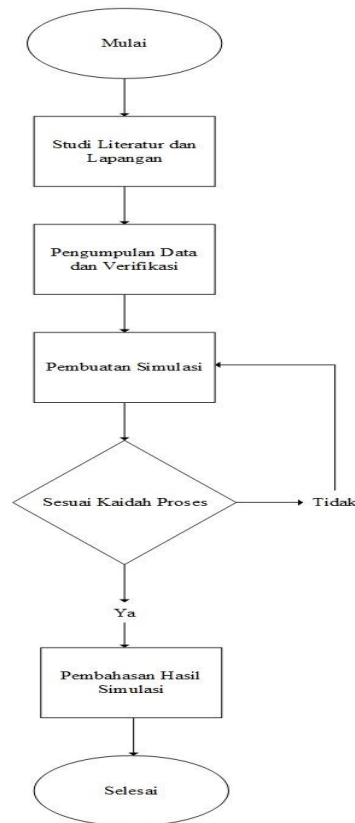
Dimana:

- KE = Konsumsi energi per ton amoniak (MMBTU/ton)
- NG = Jumlah energi yang dihasilkan dari natural gas (MMBTU)
- E = Konsumsi listrik yang dibutuhkan pada proses (MMBTU)
- S = Jumlah energi yang dihasilkan dari ekspor *steam* (MMBTU)
- P = Total produk amoniak yang dihasilkan (ton/hari)

3. Bahan dan Metode Studi Kasus

Dibutuhkan beberapa data untuk mengetahui pengaruh pengurangan jumlah *inlet* udara pada *secondary reformer* (103-D), data tersebut berasal dari dua sumber yakni dari hasil analisa laboratorium maupun *Distribution Control System* (DCS). Sementara itu beberapa data yang diambil dari hasil Studi kasus ini meliputi komposisi zat, kondisi operasi, dan *process flow diagram* pada setiap unit pabrik ammonia Pupuk Kaltim 5.

Studi kasus untuk mengetahui perbandingan *inlet* udara pada *secondary reformer* (103-D) pabrik 5 Pupuk Kaltim dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu mulai dari pengumpulan data, simulasi, hingga analisis hasil simulasi. Data yang digunakan merupakan data pada bulan Maret 2022, sedangkan simulasi pabrik ammonia menggunakan *software* Aspen Hysys versi 10. Adapun analisa hasil simulasi dilakukan dengan mengolah data mentah dan hasil simulasi menggunakan *software excel*. Alur pelaksanaan studi kasus ini digambarkan secara singkat dan sistematis dan dapat dilihat melalui Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Studi Kasus

Tabel 5.
 Komposisi Gas Alam

No	Komponen	Komposisi (mol%)
1.	CO ₂	0,697
2.	N ₂	0,055
3.	CH ₄	98,062
4.	C ₂ H ₆	0,575
5.	C ₃ H ₈	0,296
6.	i-C ₄ H ₁₀	0,064
7.	n-C ₄ H ₁₀	0,086
8.	i-C ₅ H ₁₂	0,036
9.	n-C ₅ H ₁₂	0,026
10.	C ₆ ⁺	0,103
Total		100,000

Reaktan pembentukan ammonia pada Pupuk Kaltim berupa gas alam yang disuplai dari PT Pertamina Gas Operation. Gas alam masuk ke unit *Primary reformer* (101-BCC) pada suhu 515°C tekanan 40 Kg/cm²G dengan *flowrate* 72.000 Nm³/jam. Tabel diatas merupakan komposisi gas alam hasil *sampling* yang diambil pada 11 Maret 2022. Selain data komposisi reaktan, didapatkan juga data komposisi tiap zat pada keluaran setiap unit di pabrik 5 Pupuk Kaltim. Komposisi zat tiap unit

dianalisa menggunakan metode *Gas Chromatography*. Data yang ditunjukkan merupakan hasil analisa pada tanggal 10 Maret 2022, berikut data yang didapatkan ditunjukkan Tabel 6, 7, dan 8.

Tabel 6.

Komposisi Zat pada Unit Sebelum <i>Ammonia Synthesis</i>							
No.	Komponen	<i>Primary reformer</i>	<i>Secondary reformer</i>	HTS	LTS	<i>Absorber</i>	<i>Methanator</i>
1.	CO ₂	11,32%	8,76%	14,66%	17,19%	0,01%	0,62 ppm
2.	CO	3,65%	10,18%	2,15%	0,19%	0,21%	0 ppm
3.	H ₂	54,69%	50,06%	54,81%	54,75%	66,26%	66,08%
4.	CH ₄	29,93%	2,23%	2,06%	2,1%	2,55%	2,77%
5.	N ₂	0,34%	28,42%	26%	25,46%	30,59%	30,77%
6.	Ar	0,07%	0,35%	0,32%	0,31%	0,38%	0,38%

Tabel 7.

Komposisi Zat pada Unit <i>Ammonia Synthesis</i>			
No	Komponen	<i>Converter Inlet</i>	<i>Converter Outlet</i>
1.	H ₂	70,77%	58,58%
2.	CH ₄	0%	0%
3.	N ₂	23,93%	20,09%
4.	Ar	4,15%	4,85%
5.	NH ₃	1,15%	16,48%

Unit *Waste Heat Boiler* (102-C) pada keluaran *Secondary reformer* (103-D) digunakan untuk membangkitkan *Saturated Steam* yang dialiri *Boiler Feed Water* (BFW) dengan laju alir 168 ton/jam. Terdapat pula udara untuk mengonversi metana (CH₄) menjadi gas proses yang direaksikan pada *Secondary reformer* (103-D) yang memiliki laju alir 175 ton/jam. *Inlet* udara pada *Secondary reformer* (103-D) tersebut yang akan dimanipulasi dengan pengurangan laju alir yang merupakan tujuan dari studi kasus ini. Selain beberapa data yang sudah dipaparkan diatas, terdapat pula data kondisi operasi pada setiap unit. Data ini diambil dari DCS pabrik ammonia Pupuk Kaltim 5. Tabel berikut menunjukkan data kondisi operasi unit yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi pada *software Aspen Hysys* versi 10 nantinya.

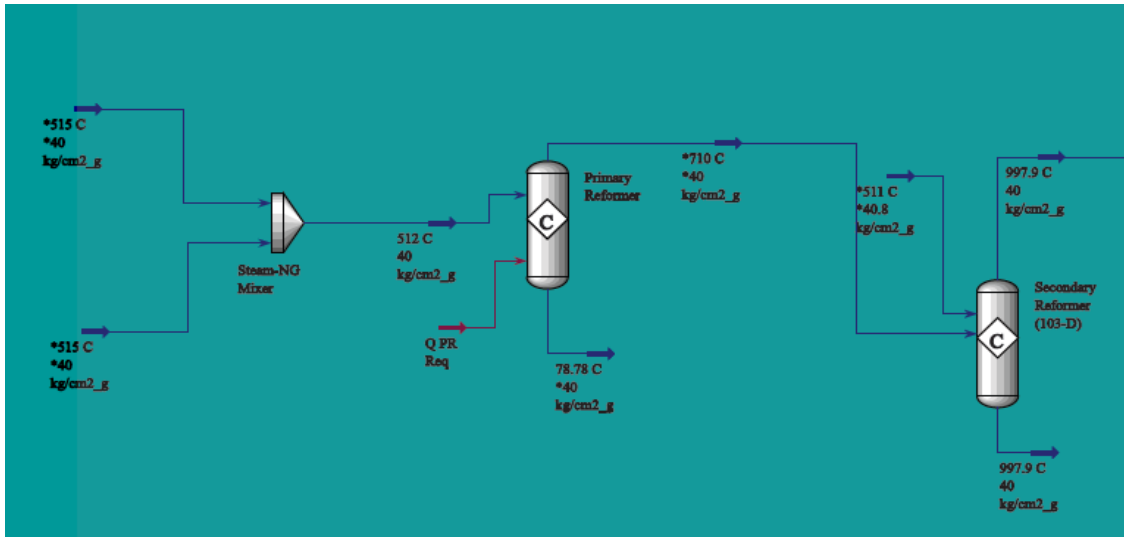
Tabel 8.

Kondisi Operasi Unit pada Aliran Gas Proses			
No.	Unit	Tekanan (Kg/cm ² G)	Suhu (°C)
1.	<i>Primary reformer</i> (101-BCC)	40	710
2.	<i>Secondary reformer</i> (103-D)	37,92	881
3.	<i>Waste Heat Boiler</i> (102-C)	37,81	365,2
4.	HTS (104-D1)	38	427,3
5.	LTS (104-D2B)	35,87	231,3
6.	<i>Absorber</i> (121-D)	35,70	48,5
7.	<i>Methanator</i> (106-D)	34,75	321
8.	<i>Methane Separator</i> (132-C)	32,19	-182
9.	<i>Ammonia Synthesis</i> (122-C2)	151,1	249,2

4. Hasil dan Pembahasan

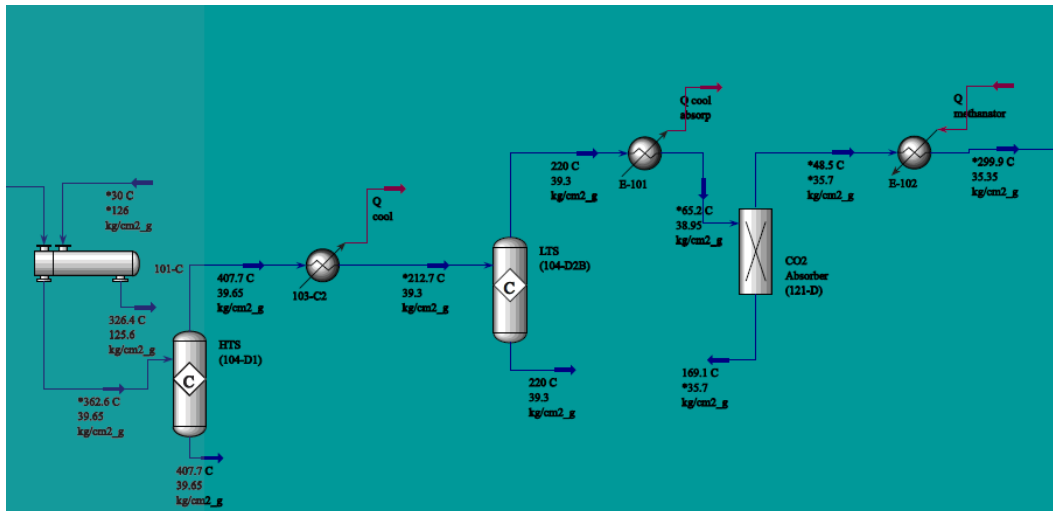
4.1. Pembuatan Simulasi Proses Pabrik Amonia

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Aspen Hysys versi 10 menggunakan *fluid package* basis Peng-Robinson dan reaksi pada reaktor berjenis conversion reaction, dan dilakukan dengan meniru proses inti yang ditunjukkan pada DCS pada Pabrik Amonia PKT 5. Pada simulasi ini data yang digunakan mengacu pada data *real time* yang diambil dari hasil analisa laboratorium dan sistem DCS.



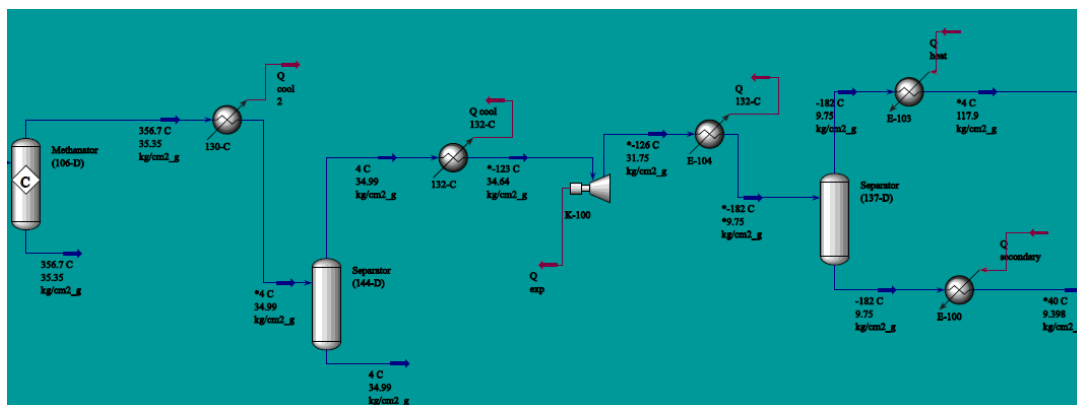
Gambar 2. Simulasi Bagian Pembentukan *Syn Gas*

Proses dimulai pada bagian *Primary reformer* (101-BCC), gas alam akan bereaksi dengan *Steam* (H₂O), selanjutnya diolah menjadi *Syn Gas* (H₂) (Bhaumik, 2002). Pengaturan kondisi operasi, laju alir, komposisi reaktan, dan jumlah produk yang keluar dari *Primary reformer* (101-BCC) mengacu pada data yang sudah ada. *Secondary reformer* (103-D), memiliki reaksi yang bersifat eksotermis dan digunakan sebagai variabel bebas pada studi kasus ini, sedangkan CH₄ leak dan suhu keluaran pada secondary reformer (103-D) digunakan sebagai variabel terikat yang merupakan hasil dari pengaturan laju alir udara sebelumnya (Yu, 2002).



Gambar 3. Simulasi Bagian Steam Generation dan Proses Purifikasi CO dan CO₂

Setelah pembentukan *Syn Gas*, energi dari produk keluaran *secondary reformer* (103-D) akan dimanfaatkan dalam pembuatan *saturated steam* pada *Waste Heat Boiler* (101-C). *Syn gas* dimasukkan kedalam HTS (104-D1) dan LTS (104-D2B) untuk mengonversi gas CO menjadi CO₂ agar nantinya dapat diabsorpsi. Pengaturan pada HTS dan LTS dilakukan pada konversi CO dimana pada HTS sebesar 75% dan LTS sebesar 90%. Selain pengaturan konversi, suhu gas juga diturunkan menggunakan *cooler* (103-C2) pada angka 212,7°C yang disesuaikan dengan kondisi aktual sebelum memasuki LTS (104-D2B). pada simulasi Aspen Hysys, hanya digunakan component splitter untuk menggambarkan adanya CO₂ absorber. Hal ini dilakukan untuk memberi kemudahan pada proses simulasi, dimana pengaturan hanya dilakukan pada komposisi CO₂ keluaran, yaitu sebesar 10 ppm.



Gambar 4. Simulasi Bagian Pembentukan & Pemisahan Gas Metana dari *Syn Gas* Sebagai *Secondary Fuel*

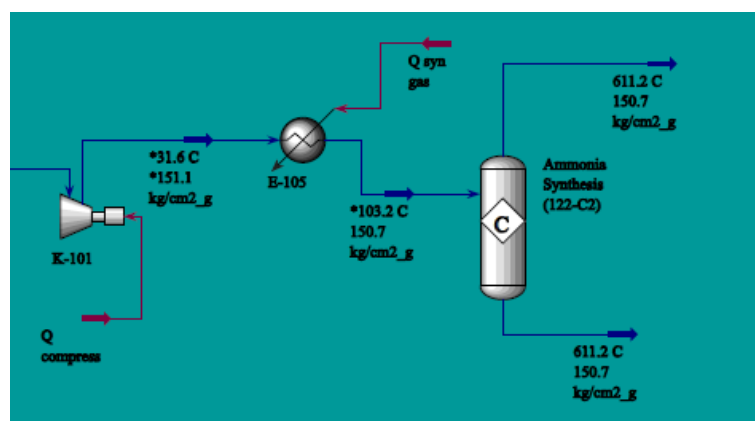
CO dan CO₂ hasil purifikasi yang belum bereaksi kemudian dikonversi menjadi metana melalui reaksi :



(Etthouney et al., 1995)

Dimana reaksi 1 dikonversi sebesar 100%, sedangkan reaksi 2 sebesar 80%. Setelah gas metana terbentuk, dilakukan proses pemisahan antara gas metana dengan *syn gas* dengan menurunkan suhunya hingga 4°C, kemudian komponen H₂O nya agar tidak ada pembekuan pada unit *refrigerant cooler* juga dipisahkan (Benjamin, 2019).

Cairan metana dipisahkan dari *syn gas* pada separator (137-D), kemudian dipanaskan hingga 40°C untuk selanjutnya digunakan sebagai *secondary fuel* pada *primary reformer* (101-BCC). Sedangkan, *syn gas* yang telah menjadi gas proses dipanaskan hingga 4°C untuk disintesis menjadi amonia pada unit *ammonia converter* (122-C2). Setelah gas proses memiliki perbandingan yang sesuai, kemudian dikompresi hingga tekanan 151,1 kg/cm²G dan dipanaskan kembali hingga mencapai suhu 103,2°C. selanjutnya gas proses dimasukan keunit *ammonia converter* (122-C2) yang disimulasikan menggunakan *conversion reactor* dengan pengaturan konversi H₂ sebesar 54,5% (Stoecker, 1998)



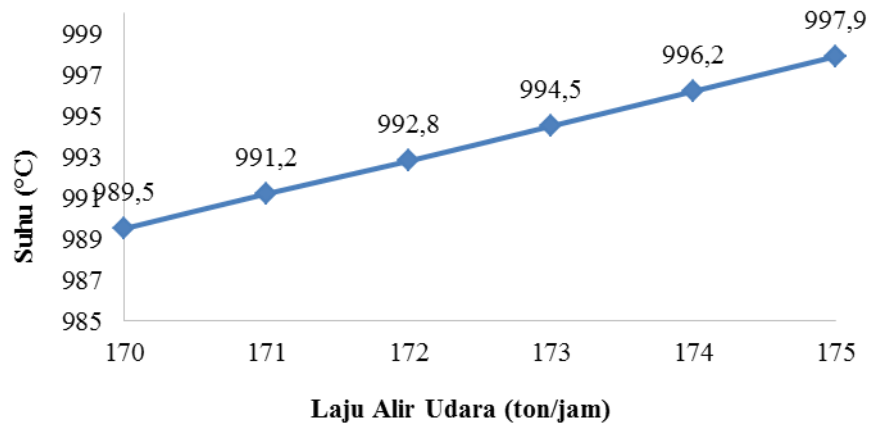
Gambar 5. Simulasi Bagian Ammonia Synthesis

State	Udara - Mass Flow [kg/h]	Secondary Fuel Methane - Master Comp Mass Flow (Methane) [tonne/d]	Ammonia - Phase Comp Mass Flow (Vapour Phase-Ammonia) [tonne/d]	Steam Sat - Phase - Mass Flow (Vapour Phase) [tonne/d]	Secondary Fuel - Heat Flow [MMBtu/hr]	Secondary Fuel Methane - Master Comp Volume Flow (Methane) [Mcuft/d]
Case 1	1.750e+005	1530.0362	3017.9171	1726	-280.5	180.4738
Case 2	1.740e+005	1533.9662	2999.7526	1670	-281.2	180.9373
Case 3	1.730e+005	1537.8965	2981.6016	1613	-281.9	181.4009
Case 4	1.720e+005	1541.8271	2963.4639	1557	-282.6	181.8645
Case 5	1.710e+005	1545.7581	2945.3398	1501	-283.4	182.3282
Case 6	1.700e+005	1549.6893	2927.2290	1444	-284.1	182.7919

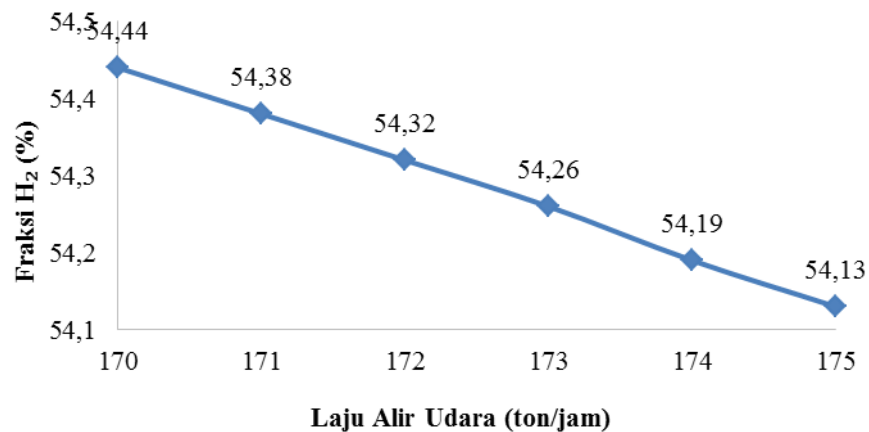
Gambar 6. Penggunaan Fitur Study Case pada Aspen Hysys Versi 10

Dalam simulasi ini fitur *case study* juga digunakan untuk menganalisa pengaruh dari pengurangan laju alir udara pada masukan secondary reformer terhadap jumlah *secondary fuel methane*, produk amonia, dan *steam* yang dihasilkan. Laju alir udara pada *secondary reformer* dikurangi dari kondisi normal sebesar 175 ton/jam hingga 170 ton/jam dengan selisih 1 ton/jam. Sehingga menghasilkan 6 data yang akan diolah dan dianalisa lebih lanjut nantinya

4.2. Profil Reaktor Secondary reformer (103-D)



Gambar 7. Profil Laju Alir Udara Proses vs Suhu Reaktor *Secondary reformer* (103-D)



Gambar 8. Profil Laju Alir Udara Proses vs Fraksi Gas H₂ Keluaran Reaktor *Secondary Reformer* (103-D)

Berdasarkan Gambar 7, terlihat adanya peningkatan suhu pada 103-D seiring dengan penambahan laju alir udara proses. Hal ini disebabkan karena reaksi *water gas shift* pada 103-D bersifat eksotermis (Vannier, 2011). Berikut merupakan reaksi pada 103-D.



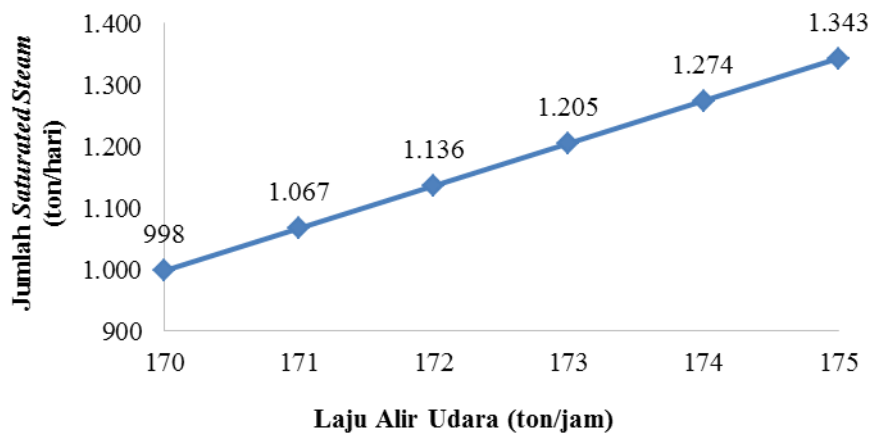
(Abbas et al., 2017)

Reaksi tersebut memiliki beda entalpi sebesar -41 kJ/mol yang menandakan reaksi yang terjadi melepaskan panas ke lingkungan. Sehingga semakin banyak udara proses (O₂) yang ditambahkan, maka semakin banyak H₂O yang terbentuk dan CO akan lebih banyak terkonversi menjadi CO₂ dan H₂. Hal tersebut yang menyebabkan suhu reaktor semakin tinggi seiring meningkatnya laju alir udara proses yang masuk ke unit 103-D, sedangkan dari Gambar 8, terlihat bahwa meningkatnya laju udara proses menyebabkan menurunnya *yield* H₂. Hal ini disebabkan karena udara proses memiliki oksigen yang menyebabkan H₂ bereaksi secara spontan menjadi H₂O. Hal ini dapat dilihat pada reaksi di unit 103-D yang ditunjukkan menurut Abbas (2017).

4.3. Pengaruh Pengurangan Laju Alir Udara pada *Secondary Reformer*

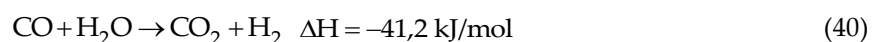
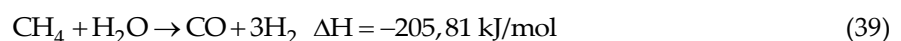
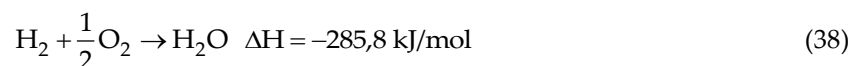
Setelah proses simulasi dilakukan, maka diperoleh pengaruh laju alir udara yang ada pada secondary reformer terhadap jumlah *saturated steam*, *secondary fuel methane*, dan produk amoniak yang dihasilkan.

4.3.1. Pengaruh terhadap Jumlah *Saturated Steam*



Gambar 9. Perbandingan Laju Alir Udara terhadap Jumlah *Saturated Steam* yang Dihasilkan

Dari Gambar 9, dapat dilihat bahwa pengurangan laju alir udara dapat menurunkan jumlah produksi *saturated steam* pada unit waste heat boiler (101-C). Jumlah *saturated steam* yang dihasilkan setiap 1 ton penurunan laju alir udara berturut-turut sebesar 1343,26; 1274,26; 1205,05; 1136,13; 1067,00; dan 998,01 ton/hari. Penyebabnya ialah karena penurunan laju alir udara yang masuk ke secondary reformer mengakibatkan reaksi pembentukan *syn gas* (H_2) tidak maksimal. Reaksi pembentukan *syn gas* adalah sebagai berikut:



(Smith et al., 2018)

Reaksi pembentukan *syn gas* oleh O_2 merupakan reaksi eksotermis yang menghasilkan energi pada aliran keluar secondary reformer nantinya. Sehingga, penurunan laju alir udara menyebabkan penurunan energi yang dihasilkan dari keluaran secondary reformer (103-D).

Tabel 9 menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh aliran keluaran secondary reformer (103-D) tidak sebesar kondisi normal, yaitu pada laju alir udara sebesar 175 ton/jam. Penurunan energi tersebut yang menyebabkan perpindahan panas pada boiler feed water di waste heat boiler (101-C) menjadi tidak semaksimal saat laju alir udara kondisi normal.

Tabel 9.
 Perbandingan Laju Alir Udara dengan Energi Keluaran *Secondary reformer*

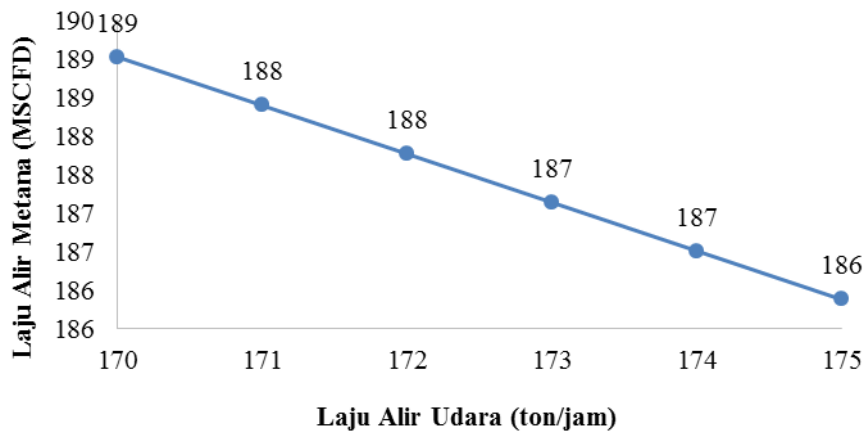
Laju alir udara (ton/jam)	Energi yang dihasilkan (MMBTU/jam)
175	-476,1
174	-476,6
173	-477,0
172	-477,5
171	-478,0
170	-478,5

4.3.2. Pengaruh terhadap Jumlah *Secondary Fuel* yang Dihasilkan

Semakin sedikit laju udara, maka metana yang dihasilkan semakin banyak. Hal ini disebabkan pengurangan laju alir udara mengakibatkan metana lebih sedikit yang terkonversi menjadi *syn gas* (H_2) pada *secondary reformer* (LeBlanc, 2016). Penurunan laju alir udara juga mengakibatkan jumlah oksigen menurun, sementara oksigen memiliki peran penting dalam reaksi pembentukan *syn gas* dan karbon monoksida (CO) pada *secondary reformer* (103-D). Reaksi pembentukan *syn gas* dan karbon monoksida adalah sebagai berikut:



Gambar 10 menunjukkan hasil perbandingan laju alir udara terhadap jumlah *secondary fuel* yang dihasilkan.



Gambar 10. Perbandingan Laju Alir Udara terhadap Jumlah *Secondary Fuel* yang Dihasilkan

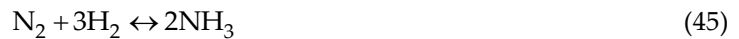
Gas karbon monoksida dan hidrogen akan membentuk metana pada unit metanator (106-D). Reaksi pembentukan metana pada metanator (106-D) adalah sebagai berikut:



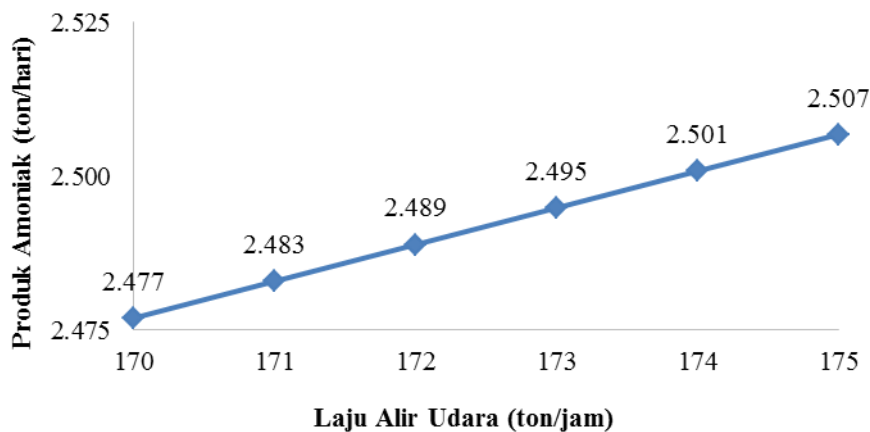
Pada reaksi tersebut menunjukkan jumlah karbon monoksida dan hidrogen sangat berpengaruh terhadap jumlah metana yang dihasilkan. Metana yang dihasilkan pada unit metanator (106-D) akan dipisahkan dan digunakan sebagai *secondary fuel* pada unit *primary reformer* (101-BCC). Sehingga, pengurangan laju alir udara akan mengurangi jumlah oksigen yang mengakibatkan kurangnya *syn gas* dan karbon monoksida untuk bereaksi pada unit metanator (106-D) dimana pada reaksi tersebut akan dihasilkan metana yang berfungsi sebagai *secondary fuel* pada *primary reformer* (101-BCC) (LeBlanc, 2016).

4.3.3. Pengaruh terhadap Produk Amoniak yang Dihasilkan

Penurunan pada laju alir udara, berdampak pada produksi amoniak yang semakin rendah pula. Pengurangan laju alir udara pada *secondary reformer* (103-D) menyebabkan jumlah *syn gas* (H_2) yang dihasilkan lebih sedikit. Selain itu, gas N_2 juga merupakan reaktan pada sintesis amonia pada unit *ammonia converter* (122-C2). Reaksi pembentukan amoniak adalah sebagai berikut:

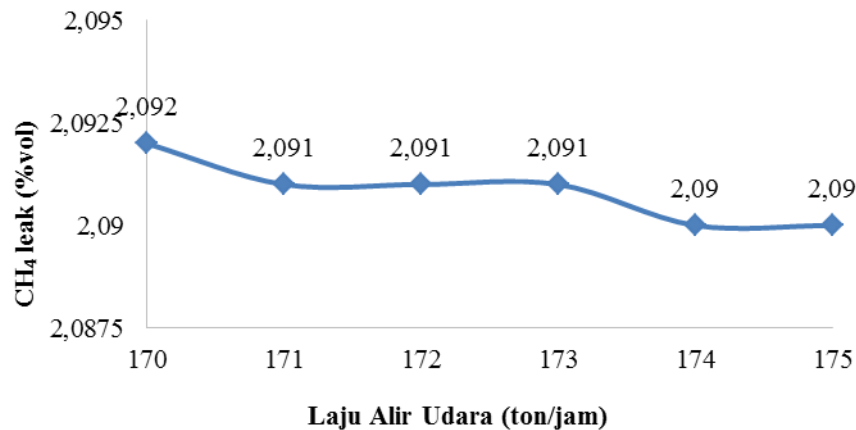


Udara terdiri dari 79% N_2 dan 21% O_2 , sehingga bila laju alir udara dikurangi, jumlah N_2 pada aliran menjadi lebih sedikit. Apabila laju alir udara berkurang, jumlah N_2 dan H_2 juga menjadi lebih sedikit, dan menyebabkan produk amoniak yang terbentuk berkurang dari pada ketika kondisi laju alir udara dalam kondisi normal (LeBlanc, 2016). Hal ini dapat dilihat melalui Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Perbandingan Laju Alir Udara terhadap Jumlah Amoniak yang Dihasilkan

4.3.4. Pengaruh terhadap CH₄ Leak pada Keluaran *Secondary Reformer*



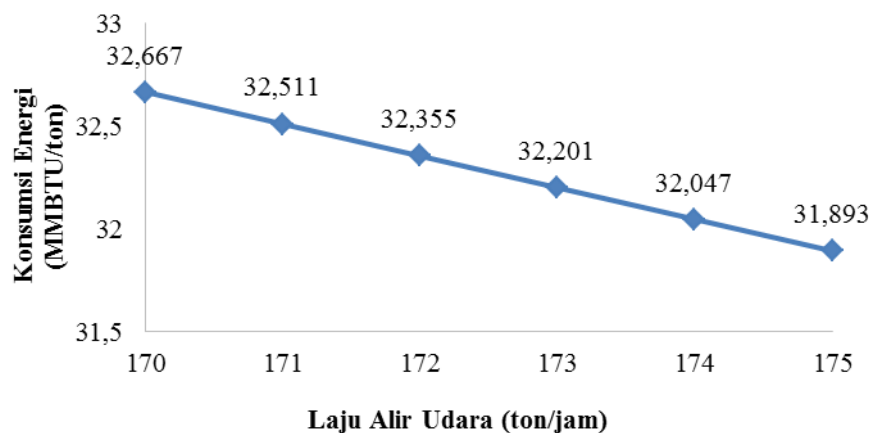
Gambar 12. Perbandingan Laju Alir Udara terhadap Jumlah *Methane Leak* yang Dihasilkan

Gambar 12 menunjukkan peningkatan jumlah CH₄ yang keluar dari *secondary reformer* (103-D) seiring dengan penurunan laju alir udara. Penyebabnya ialah adanya pengurangan laju alir udara mengakibatkan metana lebih sedikit yang terkonversi menjadi *syn gas* (H₂) (LeBlanc, 2016). Hal ini sesuai dengan reaksi yang berada pada *secondary reformer* (103-D), yaitu sebagai berikut:



Dari ketiga reaksi diatas, terlihat bahwa O₂ memegang peranan penting dalam reaksi konversi metana menjadi *syn gas*. O₂ harus dibuat *excess* agar semakin banyak hidrogen yang terkonversi menjadi air (H₂O). H₂O akan bereaksi dengan metana untuk menghasilkan *syn gas* (H₂) dan karbon monoksida. Sehingga, semakin banyak O₂, CH₄ leak pada *secondary reformer* (103-D) menjadi berkurang (LeBlanc, 2016). Namun, bila O₂ dibatasi dengan pengurangan laju alir udara, maka konversi CH₄ pada *secondary reformer* akan menjadi lebih sedikit daripada laju alir udara normal.

4.3.5. Konsumsi energi pada pabrik amoniak



Gambar 13. Hubungan Laju Alir Udara dengan Konsumsi Energi pada Pabrik Amoniak

Gambar 13 menunjukkan hasil bahwa terdapat peningkatan konsumsi energi yang dibutuhkan pada pabrik amoniak seiring dengan pengurangan laju alir udara pada *secondary reformer* (103-D). Secara umum, nilai konsumsi energi per ton amoniak pada pabrik amoniak dirumuskan menggunakan persamaan 30.

Dimana:

- KE = Konsumsi energi per ton amoniak (MMBTU/ton)
- NG = Jumlah energi yang dihasilkan dari natural gas (MMBTU)
- E = Konsumsi listrik yang dibutuhkan pada proses (MMBTU)
- S = Jumlah energi yang dihasilkan dari ekspor *steam* (MMBTU)
- P = Total produk amoniak yang dihasilkan (ton/hari)

Peningkatan kebutuhan energi ini disebabkan karena berkurangnya reaktan N_2 dan produk *syn gas* (H_2) yang dihasilkan seiring dengan pengurangan laju alir udara pada *secondary reformer* (103-D). Hal ini menyebabkan adanya pengurangan jumlah produk amoniak pada keluaran *ammonia converter* (122-C2). pengurangan laju alir udara menyebabkan jumlah energi yang dihasilkan dari natural gas meningkat karena metana yang tersisa semakin banyak untuk digunakan pada proses pembakaran pada *primary reformer* (101-BCC).

5. Kesimpulan

Studi kasus ini menunjukkan hasil bahwa penurunan laju alir udara pada *secondary reformer* (103-D) menyebabkan beberapa hal yakni naiknya jumlah *methane leak* pada *outlet secondary reformer*, meningkatkan produk *secondary fuel methane*, terjadi penurunan pada produk *saturated steam* pada *waste heat boiler*, penurunan pada produk amoniak yang dihasilkan pada *ammonia converter*, dan konsumsi pada energi yang dibutuhkan untuk per ton amoniak juga mengalami peningkatan seiring dengan pengurangan laju alir udara dengan rata-rata peningkatan konsumsi energi sebesar 0,15 MMBTU/ton.

Daftar Pustaka

- Abbas, S. Z., Dupont, V., & Mahmud, T. (2017). *Kinetics study and modelling of steam methane reforming process over a NiO/Al₂O₃ catalyst in an adiabatic packed bed reactor*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(5), 2889–2903. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.11.093>
- Bahadori, A. (2016). *Fuel systems, in: Essentials of Oil and Gas Utilities*. Elsevier, 1–14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803088-2.00001-8>
- Batebi, D., Abedini, R., & Mosayebi, A. (2021). *Kinetic Modeling of Combined Steam and CO Reforming of Methane over the Ni–Pd/Al₂O₃ Catalyst Using Langmuir–Hinshelwood and Langmuir–Freundlich Isotherms*. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(2), 851–863. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c04566>
- Bhaumik, S.K., Rangaraju, R., Parameswara, M.A., Bhaskaran, T.A., Venkataswamy, M.A., Raghuram, A.C., Krishnan, R.V. (2002). *Failure of reformer tube of an ammonia plant*. *Eng. Fail. Anal.* 9, 553–561. [https://doi.org/10.1016/S1350-6307\(01\)00039-5](https://doi.org/10.1016/S1350-6307(01)00039-5)
- Benjamin, W. (2019). Laporan Kerja Praktek Departemen Produksi IB Unit Amonia. PT Petrokimia Gresik, Jawa Timur.
- Biro Pengembangan Sumber Daya Manusia. (2015). Buku Panduan Kerja Praktek PT. Pupuk Kalimantan Timur. Bontang. Kalimantan Timur.

- Boudart, M. (1981). *Kinetics and Mechanism of Ammonia Synthesis*. Catalysis Reviews, 23(1–2), 1–15. <https://doi.org/10.1080/03602458108068066>
- Er-rbib, H., Bouallou, C. (2014). *Methanation Catalytic Reactor*. Comptes Rendus Chim. 17, 701–706. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2014.01.016>
- Ettouney, H.M., Shaban, H.I., Nayfeh, L.J. (1995). *Theoretical Analysis Of High and Low Temperature Shift Converters*. Chem. Eng. Commun. 134, 1–16. <https://doi.org/10.1080/00986449508936319>
- LeBlanc, J. R. (2016). *Ammonia Production with Enriched Air Reforming and Nitrogen Injection into the Synthesis Loop*. <https://patents.google.com/patent/EP0770578A3/no>
- Mudassir, R. (2022). Kebutuhan Pupuk Bersubsidi Capai 25,18 Juta Kementan Cuma Penuhi 9,5 Juta Ton. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20220129/12/1494793/kebutuhan-pupuk-bersubsidi-capai-2518-juta-ton-kementan-cuma-penuhi-95-juta-ton>
- Perry, R.H. and Green, D.W. (1999). *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 7th ed. Mc Graw-Hill, New York.
- Pupuk Kaltim. (2022). Profil dan Riwayat Singkat. [https://www.pupukkaltim.com/profile/profil-dan-riwayat Singkat/id#:~:text=PT%20Pupuk%20Kalimantan%20Timur%20\(PKT,Presiden%20No.%2039%20tahun%201976](https://www.pupukkaltim.com/profile/profil-dan-riwayat Singkat/id#:~:text=PT%20Pupuk%20Kalimantan%20Timur%20(PKT,Presiden%20No.%2039%20tahun%201976)
- Rayful, M., (2022). Kebutuhan Pupuk Bersubsidi Capai 25,18 Juta Ton, Kementan Cuma Penuhi 9,5 Juta Ton | Ekonomi - Bisnis.com. [online] Bisnis.com. Available at: <<https://ekonomi.bisnis.com/read/20220129/12/1494793/kebutuhan-pupuk-bersubsidi-capai-2518-juta-ton-kementan-cuma-penuhi-95-juta-ton>
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (2018). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics (Eighth edition)*. McGraw-Hill Education.
- Stoecker, W. (1998). *Industrial Refrigeration Handbook*. McGraw-Hill, New York.
- Team Start Up. (2015). *Petunjuk Manual Operasi Pabrik Urea Pabrik-5*. PT. Pupuk Kalimantan Timur. Bontang, Kalimantan Timur.
- Vannier, D. (2011). *Kinetic Study of High Temperature Water Gas Shift Reaction*. Norwegian Institute of Science and Technology.
- Yu, Y.-H. (2002). *Simulation of Secondary Reformer in Industrial Ammonia Plant*. Chem. Eng. Technol. 25, 307–314. [https://doi.org/10.1002/1521-4125\(200203\)](https://doi.org/10.1002/1521-4125(200203)).