

SIMULASI PENGARUH TEMPERATUR, KOMPOSISI *INLET FEED* DAN *RATIO STEAM/CARBON* TERHADAP PRODUKSI SYNGAS PADA *REACTOR REFORMER* PABRIK HIDROGEN DENGAN MENGGUNAKAN *ASPEN HYSYS V.10*

Nurillah Hendryati¹, Nasrul ZA², Novi Sylvia^{*3}, Zulnazri⁴, Yazid Bindar⁵

¹²³⁴Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

⁵Prodi Teknik Kimia dan Prodi Teknik Bioenergi dan Kemurgi

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

*E-mail: novi.sylvia@unimal.ac.id

Abstrak

Gas sintesis (*syngas*) yang terdiri dari campuran gas hidrogen, karbon dioksida dan karbon monoksida, merupakan senyawa antara yang penting diantaranya dalam proses produksi gas Hidrogen. Pembuatan *syngas* dilakukan dengan proses *steam reforming* menggunakan katalis nikel alumina untuk menghasilkan *syngas* yang merupakan gas hidrogen, karbon dioksida dan karbon monoksida. Operasi *steady state* dari reaktor reformer yang disimulasikan sebagai *plug flow reactor* dengan menggunakan *software Aspen Hysys V.10*. Pada penelitian ini telah dilakukan analisa pengaruh perubahan komposisi gas alam terutama kandungan *metane* dengan variasi 89 %mol, 90 %mol dan 93 %mol serta variasi temperatur 700 °C, 720 °C, 740 °C, 760 °C, 780 °C dan 800 °C terhadap produk *syngas* keluaran reaktor reformer dan *high temperature shift converter* menggunakan sistem operasional pabrik hidrogen dengan metodologi simulasi menggunakan *software Aspen HYSYS V.10*. Kegiatan utama pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan konsentrasi hidrogen yang optimum pada keluaran reaktor reformer dengan menggunakan *software Aspen Hysys V.10*. Input data yang digunakan pada program ini diperoleh dari data hasil analisa kinerja pabrik hidrogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada komposisi gas metana 89% didapat konsentrasi hidrogen paling tinggi yaitu sebanyak 64,76%, pada komposisi gas metana 91% didapat konsentrasi hidrogen paling tinggi yaitu sebanyak 65,72%, pada komposisi gas metana 93% didapat konsentrasi hidrogen paling tinggi yaitu sebanyak 66,53%. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi metana pada gas *inlet reformer* menyebabkan kenaikan konsentrasi hidrogen, karbon monoksida dan karbon dioksida di *outlet reformer*. Semakin besar laju alir *steam* maka *ratio steam/carbon* akan semakin besar pula. Laju alir *steam* yang paling tinggi yaitu 395,2447 Kmol/hr diperoleh *ratio steam/carbonnya* adalah 3,723.

Kata kunci: *Aspen Hysys, Steam Reforming, Syngas, Ratio Steam to Carbon*

Pendahuluan

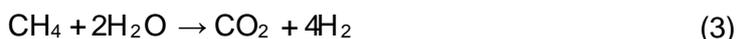
Gas alam mengandung banyak komponen yang berbeda dan bervariasi dari sumber ke sumber. Gas alam mengandung metana (khususnya 75%- 90% dari total) dan hidrokarbon yang lain, seperti etana, propana dan butana. Didalam adisi, gas mengandung beberapa pengotor yang tidak diinginkan seperti, air, nitrogen, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida [2][11][3].

Proses pembuatan gas hydrogen di pabrik hidrogen pada dasarnya terdiri dari proses pembuatan dan pemurnian gas sintesa (*syngas*) serta pembuatan dan pemurnian gas hydrogen. Setelah proses pemurnian bahan baku gas alam, dilakukan proses *reforming* gas alam sebagai bagian dari rangkaian proses pembuatan gas sintesa [5].

Proses *steam reforming* gas alam melibatkan 2 buah reaksi, yaitu reaksi *reforming* yang sangat endotermis (Persamaan 1) dan dan reaksi *water-gas shift* yang sedikit eksotermis (Persamaan 2),



Sedangkan total reaksi (1) dan reaksi (2) sering disebut sebagai reaksi *reforming-shift* dengan persamaan reaksi:



Proses *reforming* dilakukan pada unit *reformer* dengan penambahan *steam* (*steam reforming*) dan dengan penambahan udara. Tujuan *steam reforming* adalah untuk mendapatkan H_2 sebanyak-banyaknya dari air dan gas alam yang diumpankan [6][4].

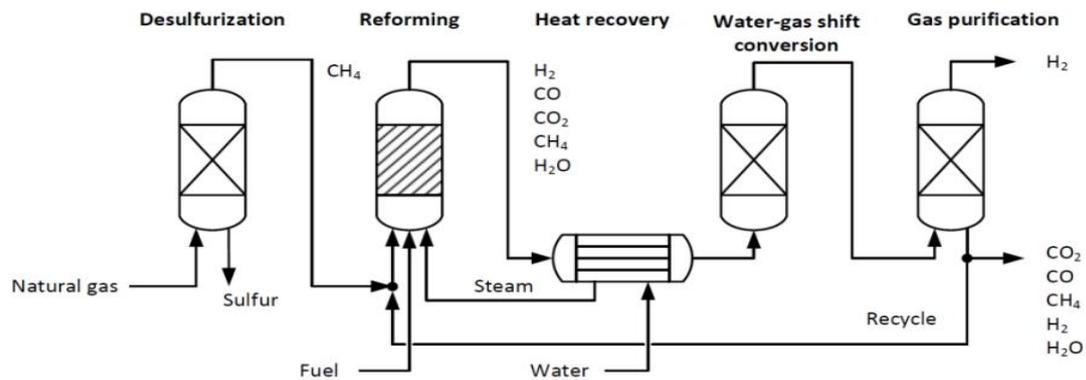
Spesifikasi gas alam yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi gas alam sebagai bahan baku

Komponen	Komposisi I	Komposisi II	Komposisi III
CH₄	89,7723	91,7782	93,0748
C₂H₆	3,7757	3,3785	3,0614
C₃H₈	1,0667	0,9051	0,7926
i-C₄H₁₀	0,3096	0,2503	0,2170
n-C₄H₁₀	0,3101	0,2560	0,2242
i-C₅H₁₂	0,1339	0,1047	0,0943
n-C₅H₁₂	0,0733	0,0547	0,0481
n-C₆H₁₄	0,0812	0,0607	0,0527
CO₂	4,2869	3,0542	2,2793
N₂	0,1904	0,1577	0,1556
H₂O	0,0000	0,0000	0,0000

Unit *Reformer* merupakan alat yang beroperasi pada temperatur tinggi (700-800°C) dan tekanan 35 kg/cm² sehingga rentan terhadap kerusakan jika terjadi kesalahan dalam pengoperasian [7]. Alat simulasi harus dapat mewakili proses yang terjadi di pabrik, khususnya *Reformer*, dengan tingkat keakuratan yang cukup tinggi dan respon yang cepat, sehingga dapat meningkatkan reliabilitas dan kehandalan operasional pabrik. Selain itu, alat simulasi harus dapat diaplikasikan untuk data yang biasa digunakan dan dapat diperoleh di pabrik seperti temperatur, tekanan, aliran dan komposisi [8].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh temperatur, *ratio steam carbon* dan komposisi *inlet feed* (terkhusus methana) dalam gas alam sebagai bahan baku produksi gas hidrogen terhadap produk *syngas outlet* pada *Reformer* pabrik hidrogen dengan metode simulasi menggunakan *Aspen HYSYS V10*. Diagram alir proses pabrik ini secara umum seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Flow Diagram Sederhana Proses Produksi Hidrogen

Bahan dan Metodologi

Prosedur Penelitian. Pada penelitian ini menggunakan *software hysys V.10* untuk proses *flowsheet* yang menyediakan data analisa. *Simulator hysys V.10* juga digunakan untuk mengontrol proses produksi syngas dari gas gas sebagai bahan bakunya. *Hysys* adalah produk dari AEA teknologi yang merupakan bagian dari AES (*Aspentech Engineering Suite*). *Hysys* dipilih sebagai proses simulator pada proses penelitian ini karena memiliki dua keuntungan utama dibandingkan dengan software lain yaitu sebagai berikut :

- a. Dapat secara interaktif mengartikan perintah yang dimasukkan pada saat itu juga (yang lainnya membutuhkan pengesahan setelah memasukkan data baru)
- b. *HYSYS* memiliki keistimewaan khusus yaitu menyediakan informasi searah dan dalam urutan kebalikan sehingga dapat menghasilkan perhitungan kebelakang dari yang tidak biasa secara dua arah (*bidirectionality*) membuat perhitungan iteratif tidak diperlukan dan penyelesaiannya lebih cepat.

Secara umum, proses simulasi mempunyai beberapa tahapan sebagai berikut :

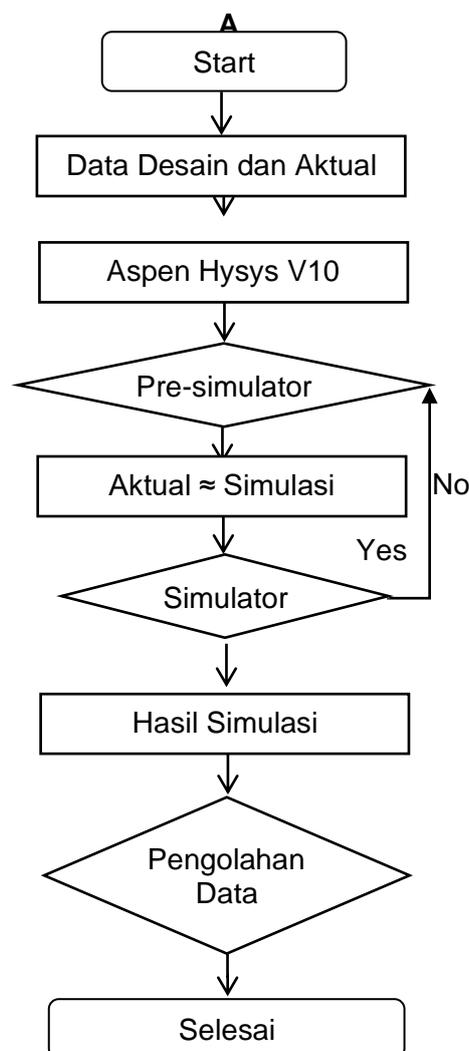
- 1) Tahap persiapan
 - a. Pemilihan model termodinamika
 - b. Menetapkan komponen kimia
- 2) Tahap pembuatan
 - a. Menambah dan menetapkan aliran
 - b. Menambah dan menetapkan unit operasi
- 3) Menghubungkan aliran ke unit operasi
 - a. Menerapkan alat kontrol
- 4) Pelaksanaan
 - a. Mulai integrasi

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data produksi syngas pada reaktor reformer yang diambil dari data pabrik hidrogen yaitu data Agustus–September 2021 yakni data analisa gas inlet pada *Reactor Reformer* meliputi komposisi gas beserta kondisi operasinya yang digunakan untuk data masukan ke program *HYSYS V.10*. Pre-simulator yang telah jadi diuji, dengan cara membandingkan kondisi proses aktual pabrik dengan hasil simulasi. Jika selisih keduanya sangat dekat maka proses validasi simulator telah selesai dan siap untuk digunakan untuk penelitian.

Variabel bebas dalam penelitian ini berupa komposisi gas umpan dengan variasi komponen seperti pada Tabel 1. Batasan S/C umumnya sebesar 3,20 sehingga dipilih kisaran S/C 2,7-3,4. Batasan T_{out} maksimum sebesar 800 °C sehingga dipilih kisaran T_{out} 700-800 °C. Nilai minimal T_{out} dibatasi karena reaksi bersifat

endothermic, sehingga nilai T_{out} yang terlalu rendah berakibat rendahnya jumlah produk H_2 . Nilai maksimal T_{out} dibatasi karena nilainya sebanding dengan nilai temperatur dinding tube (*tube wall temperature*). Kenaikan *tube wall temperature* sebesar 20 °C dapat menurunkan umur pemakaian tube (*tube lifetime*) hingga setengahnya [5].

Variabel terikat atau tetap merupakan nilai parameter kontrol aktual pabrik. variabel ini dijadikan sebagai input terhadap simulator, proses berjalan dan diperoleh hasil untuk setiap variabel bebas. Secara sederhana, prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



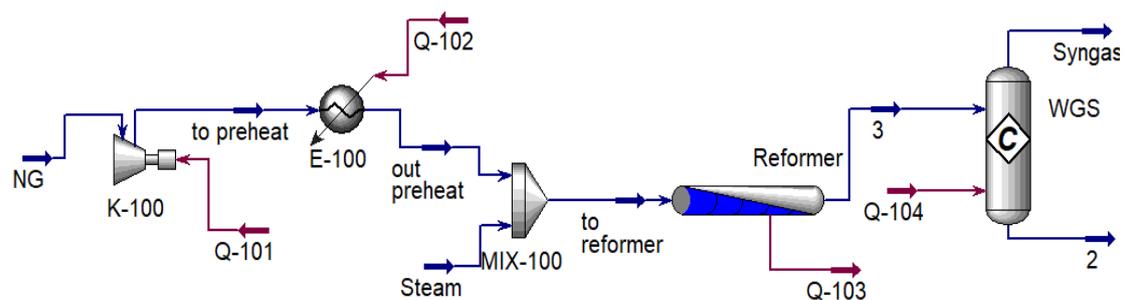
Gambar 2. Diagram Alur Prosedur Penelitian

Proses simulasi. Aspen HYSYS V10 telah digunakan untuk melakukan simulasi berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh [9]. Prosedur untuk pengembangan proses simulasi terdiri dari pemilihan komponen bahan kimia untuk proses dan juga model termodinamikanya. Selain itu unit operasi dan kondisi operasi, kapasitas pabrik dan input kondisi harus semuanya dipilih dan dispesifikasi.

Komponen bahan kimia. Aspen HYSYS V10 berisi informasi untuk komponen berikut yang digunakan pada simulasi: metana, etana, propana, n-butana, i-butana, n-pentana, i-pentana, n-hexana, hidrogen, karbon dioksida, carbon monoksida, nitrogen dan air.

Model termodinamika. Melihat komponen bahan kimia yang terlibat dalam simulasi ini terdiri dari hidrokarbon, Peng-Robinson termodinamika model dipilih untuk digunakan sebagai *property package* untuk kalkulasi. Persamaan keadaan Peng-Robinson sangat direkomendasikan untuk oil, gas, atau petrochemical aplikasi.

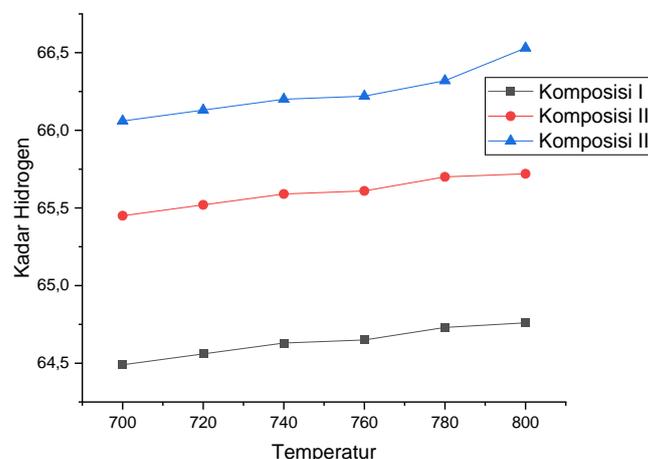
Model termodinamika. Melihat komponen bahan kimia yang terlibat dalam simulasi ini terdiri dari hidrokarbon, Peng-Robinson termodinamika model dipilih untuk digunakan sebagai *property package* untuk kalkulasi. Persamaan keadaan Peng-Robinson sangat direkomendasikan untuk oil, gas, atau petrochemical aplikasi.



Gambar 3. Process Flow Diagram Simulasi

Hasil dan Diskusi

Pengaruh Variasi Temperatur dan Laju Alir H₂O (Kmol/hr) Terhadap Kadar Hidrogen yang dihasilkan pada Gas Alam Komposisi I, II, dan III. Grafik hubungan kadar hidrogen yang dihasilkan terhadap berbagai temperatur inlet disajikan pada Gambar 4 berikut.



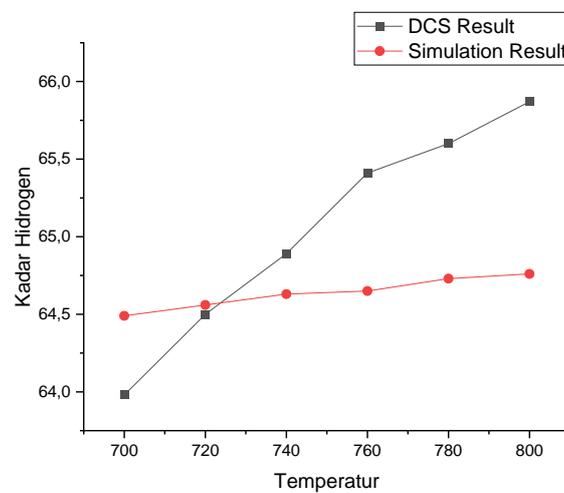
Gambar 4. Grafik variasi Temperatur (°C) terhadap perubahan kadar Hidrogen (H₂) yang dihasilkan pada Gas Alam Komposisi I, II dan III

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi variasi temperatur (°C) terhadap perubahan kadar Hidrogen (H₂) yang dihasilkan pada gas alam komposisi I, II dan III. Pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur *inlet Reformer* maka semakin tinggi pula kadar hidrogen *outlet Reformer*. Hal ini dikarenakan terjadinya reaksi yang mengakibatkan adanya tumbukan antar molekul yang kemudian bergabung membentuk senyawa baru. Temperatur yang semakin tinggi akan meningkatkan energi kinetik yang dimiliki oleh molekul-molekul sehingga semakin cepat molekul untuk bertumbukan yang berarti semakin cepat pula terjadinya reaksi. Dari Gambar 4 juga dapat dilihat bahwa %mol metana dari komposisi I dan II dengan kadar metane

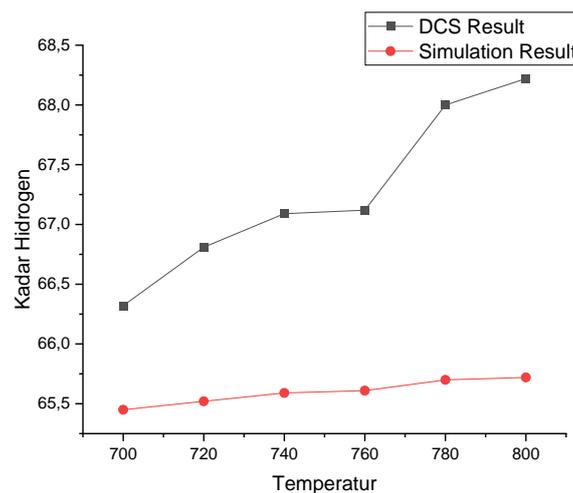
sebanyak 89% dan 90% menghasilkan kadar hidrogen yang lebih rendah dibandingkan dengan komposisi III dengan kadar metane sebanyak 93%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak metane yang bereaksi dan berubah menjadi hidrogen. Metane yang bereaksi membentuk hidrogen dipengaruhi oleh jumlah *steam inlet* dan gas *inlet Reactor Reformer* yang diatur sedemikian rupa agar didapatkan hasil yang optimal.

Penelitian ini memiliki kesamaan teori dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Rachman, 2018) dimana kenaikan temperatur reaksi mengakibatkan suplai energi untuk mengaktifkan reaktan dan tumbukan antar reaktan untuk menghasilkan reaksi juga bertambah sehingga produk yang dihasilkan akan lebih banyak.

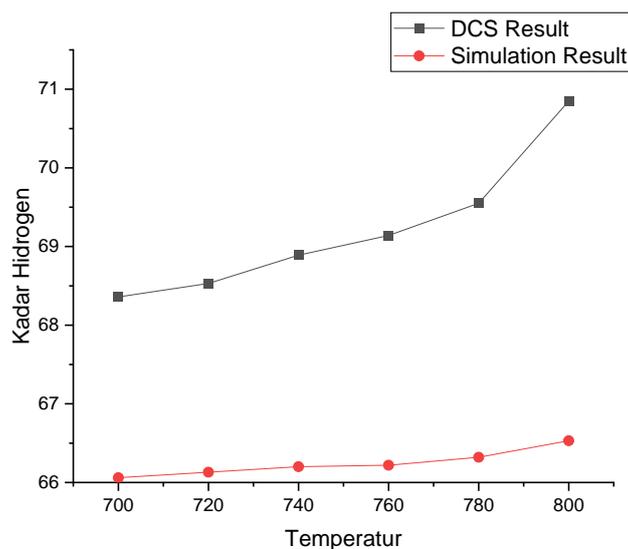
Analisa %Error Konsentrasi Hidrogen Data Aktual (*Distribution Control System Result*) dengan Hasil Simulasi (*Simulation Result*)



Gambar 5. Kadar Hidrogen *DCS Result VS Simulation Result* Komposisi I



Gambar 6. Kadar Hidrogen *DCS Result VS Simulation Result* Komposisi II



Gambar 7. Kadar Hidrogen DCS Result VS Simulation Result Komposisi III

Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan perbandingan %Error kemurnian hidrogen dari hasil simulasi dengan data pabrik komposisi I, II dan III. Hasil simulasi ini didapatkan kadar hidrogen lebih rendah dibandingkan dengan data dari DCS, hal ini dikarenakan jumlah produksi hidrogen dari pabrik yang berubah-ubah setiap waktunya dan data aktual yang digunakan didapatkan dari DCS pada satu waktu, sedangkan data simulasi menggunakan variasi komposisi yang diambil dari data tertinggi hingga terendah pada bulan Agustus-September 2021. Selain itu, adanya kemungkinan lebih banyak kandungan metana yang menyebabkan hidrogen pada pabrik lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi. Oleh karena itu, perlunya dilakukan analisa mencari nilai kesalahan untuk mengetahui akurasi dari data aktual pabrik dengan hasil simulasi. Dari perhitungan tersebut, adapun %error yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.

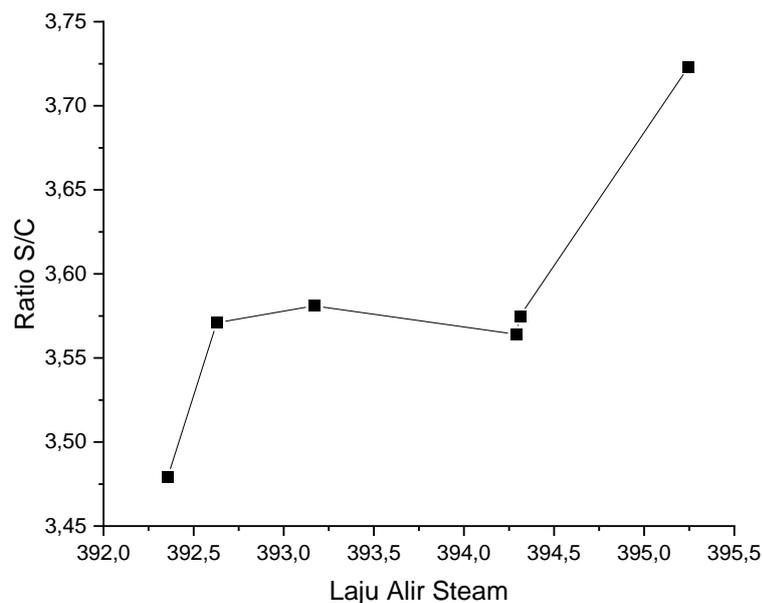
Tabel 2. Hasil Perhitungan %error Data Aktual Pabrik dengan Hasil Simulasi

Temperatur	%error		
	Komposisi I	Komposisi II	Komposisi III
700	0,79082	1,329259	3,481683
720	0,09294	1,968864	3,629215
740	0,40229	2,286934	4,063444
760	1,175561	2,301478	4,409544
780	1,344044	3,500761	4,870326
800	1,714021	3,804017	4,99023

Dari korelasi hubungan Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 dengan Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai kesalahan hidrogen yang dihasilkan tidak melebihi batas yang diizinkan yaitu tidak lebih dari 5%. Dimana menurut (Abdurrahman et al. 2012; Rachman, 2018) batas kesalahan yang diizinkan yaitu mulai $\pm 0,01\%$ sampai $\pm 5\%$.

Hasil yang diperoleh bahwa error kadar hidrogen yang didapatkan dari masing-masing komposisi pada simulasi tidak melampaui batas yang diizinkan yaitu lebih dari 5% dan kurang dari 0%. Hal ini membuktikan bahwa kadar hidrogen yang dihasilkan dari simulasi tidak memiliki selisih yang signifikan dengan data aktual pabrik, dengan demikian kadar hidrogen yang dihasilkan pada simulasi memiliki nilai yang baik dan data simulasi dapat digunakan.

Pengaruh Laju Alir Steam (Kmol/hr) Terhadap *Ratio Steam/Carbon* (mol/mol). Pertimbangan pokok menaikkan *steam to carbon ratio* adalah agar steam yang masuk ke reformer cukup banyak untuk mencegah terjadinya *coking* (pembentukan carbon). Laju alir steam berpengaruh terhadap ratio steam terhadap karbon (S/C ratio). Hal ini dapat dilihat dari Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Laju Alir Steam terhadap *Ratio Steam to Carbon*

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa laju alir steam masuk *reformer* mempengaruhi perbandingan steam terhadap karbon. Semakin besar laju alir steam maka *ratio steam/carbon* akan semakin besar. Laju alir steam yang paling tinggi yaitu 395,2447 Kmole/hr diperoleh ratio steam/karbonnya adalah 3,723.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa simulasi pada *Reactor Reformer* pabrik hidrogen menunjukkan memang benar adanya pengaruh temperatur, komposisi *inlet feed*, dan *ratio steam/carbon* terhadap produk *syngas outlet*. Untuk itu pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

Kenaikan temperatur gas *inlet reformer* menyebabkan penurunan konsentrasi metana di *outlet reformer*. Kenaikan konsentrasi metana pada gas *inlet reformer* menyebabkan kenaikan konsentrasi hidrogen, karbon monoksida dan karbon dioksida di *outlet reformer*. Laju alir *steam* masuk reformer mempengaruhi perbandingan steam terhadap carbon. Semakin besar laju alir steam maka *ratio steam/carbon* akan semakin besar. Laju alir steam yang paling tinggi yaitu 395,2447 Kmole/hr diperoleh ratio steam/karbonnya adalah 3,723.

Daftar Pustaka

- [1] Aspen Technology, "Hysys 200 4 .2 ©," *Oper. Guid.*, 2005.
- [2] B. Sun, C.Z., Wen, B.Y., Bai, *Application of nanoporous graphene membranes in natural gas processing: Molecular simulation of CH₄/CO₂, CH₄/H₂S and CH₄/N₂ separation*, *Chemical Engineering Science*, **138** (2015), 616 - 621.
- [3] J. Yusuf, H. Husin, and M. Marwan, *Simulasi Pengaruh Kandungan CO₂ dalam Gas Umpan terhadap Reforming dan Shift Converter Sistem Pabrik Amoniak*. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* Vol. 10, No. 4 (2015), Hlm. 178 – 187.
- [4] Liu B., Yu X., Shi W., Shen Y., Zhang D., Tang Z., *Two -Stage VSA/PSA for Capturing Carbon Dioxide (CO₂) and Producing Hydrogen (H₂) from Steam -Methane Reforming Gas*. *International Journal of Hydrogen Energy* (2020), 24870 -24882.
- [5] M.N. Hakiki., M. Hidayat., Sutijan, *Simulasi Pengaruh Steam-To-Carbon Ratio Dan Tube Outlet Temperature Terhadap Reaksi Steam Reforming Pada Primary Reformer Di Pabrik Amoniak*. *Jurnal Rotor*, Vol. 10, No. 2 (2017), 58-63.
- [6] M. R. Firmansyah., I. Silviyati, *Simulasi Produksi Gas Sintesa Melalui Proses Biogas Steam Reforming Dengan Katalis Ni/MgO-Al₂O₃ Dan Ni/La₂O₃- Al₂O₃*. *Jurnal Kinetika* Vol. 11, No. 02 (2020), 55-59.
- [7] S. I. Uskov, L. V. Enikeeva, D. I. Potemkin, *Kinetics of Low Temperature Steam Reforming of Propane in a Methane Excess on a Ni-Based Catalyst*. *Catalysis in Industry*, **2** (2017), 104-109.
- [8] S. Abdurrakhman., Sutijan., M. Hidayat, *Studi Simulasi pada Unit Reformer Primer di PT Pupuk Sriwidjaya Palembang*. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 6, No. 2 (2012), 30-36.
- [9] T. Rachman, *Penelitian Kajian Pengaruh Temperatur, Komposisi Inlet Feed Dan Ratio Steamcarbon Terhadap Produksi Syngas Pada Secondary Reformer Di Pabrik Amoniak Pusri Ib*, *J. Redoks Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1 (2018), pp. 10–27.
- [10] Team Operator API, "Operating Distribution Control System," 2021.
- [11] Xiong, X.O., Lin, W.S., Gu, A.Z, *Integration of CO₂ cryogenic removal with a natural gas pressurized liquefaction process using gas expansion refrigeration*, *Energy*, 35 (2015), 1–9.