

Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur *Water Gas Shift* Pada Proses *Steam Methane Reforming* Terhadap Laju Konversi Karbon Monoksida

Elly Sihaloho, Made Sucipta, Wayan Nata, dan Ketut Astawa
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Produksi hidrogen dengan steam methane reforming (SMR) yang terdiri dari reformer dan water gas shift (WGS) serta tahap pemurnian pressure swing adsorption (PSA) menjadi salah satu metode yang dapat digunakan. Salah satu parameter penting dalam reaksi WGS adalah temperatur. Penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh temperatur 380 °C pada reaktor WGS terhadap konversi CO yang dihasilkan pada outlet WGS. Eksperimen dilakukan dengan komposisi CH₄ sebanyak 80% dan CO₂ sebanyak 20% serta laju alir steam 0,15 L/menit. Pada WGS digunakan katalis Fe-Cr sebanyak 30 gr. Pada penelitian ini, dihasilkan kandungan H₂ dan CO₂ dari outlet reformer ke outlet WGS meningkat sementara kandungan CO menurun. Pada reformer kandungan CO sebesar 51,37% mengalami penurunan pada outlet WGS menjadi 35,68%, kandungan H₂ meningkat dari 44,90% menjadi 51,84% dan kandungan CO₂ meningkat dari 3,73% menjadi 12,49%. Penggunaan temperatur pada WGS dapat mempercepat laju reaksi konversi reaktan menjadi produk.

Kata kunci: Steam methane reforming, hidrogen, temperatur

Abstract

This study evaluates how operating temperature in the Water Gas Shift (WGS) reactor affects CO conversion efficiency during hydrogen production via Steam Methane Reforming (SMR). The process involves Reformers, WGS, and Pressure Swing Adsorption (PSA) for purification. At a WGS reactor temperature of 380°C, CO conversion at the outlet was examined using a gas mixture of 80% CH₄ and 20% CO₂, a steam flow rate of 0.15 L/min, and 30 g of Fe-Cr catalyst. Results showed H₂ and CO₂ increased while CO decreased from the reformer to the WGS outlet: CO dropped from 51.37% to 35.68%, H₂ rose from 44.90% to 51.84%, and CO₂ increased from 3.73% to 12.49%. Higher WGS temperatures accelerate reactant conversion.

Keywords: Steam methane reforming, hydrogen, temperature

1. Pendahuluan

Energi menjadi salah satu faktor penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan [1]. Sumber energi dapat dihasilkan dari berbagai alternatif, salah satunya energi fosil. Namun dengan berjalannya waktu, tidak bisa selalu bergantung pada energi fosil karena ketersediaannya diperkirakan akan menipis dalam waktu yang relatif singkat [2]. Sehingga diperlukan pengembangan dan pemanfaatan energi alternatif yang mampu menggantikan energi fosil [3].

Salah satu inovasi pengembangan yang telah dilakukan dalam transportasi adalah kendaraan listrik berbasis *fuel cell*. *Fuel cell* menghasilkan listrik dari proses elektrokimia dengan mereaksikan hidrogen dan oksigen [4]. Penggunaan hidrogen dapat menjadi alternatif energi pada kendaraan listrik *fuel cell electric vehicle* yang berpotensi menjadi solusi terhadap krisis energi dan permasalahan perubahan iklim karena sifatnya yang ramah lingkungan [5].

Steam methane reforming (SMR) yang terdiri dari *reformer* dan *water gas shift* (WGS) serta proses pemurnian lanjutan *pressure swing adsorption* (PSA) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam produksi hidrogen [6]. *Reformer* merupakan tahap awal produksi hidrogen (H₂) melalui reaksi endotermik pada rentang temperatur 500 – 900°C dimana metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂)

bereaksi dengan uap air (H₂O) menggunakan katalis MgNi sehingga membentuk produk karbon monoksida (CO) dan hidrogen (H₂) [7].

Tahapan selanjutnya, gas keluaran dari *reformer* berupa H₂, CO, CO₂ serta CH₄ direaksikan di WGS. WGS merupakan reaksi eksotermik dengan rentang high temperatur (HT) 320 – 450°C dan low temperatur 150 -250°C. Gas CO dan H₂O bereaksi dengan katalis FeCr untuk menghasilkan produk CO₂ dan H₂. HT pada WGS dapat meningkatkan laju reaksi untuk mendukung konversi reaktan menjadi produk karena mempunyai stabilitas kimia dan termal yang baik [8].

Penelitian ini telah dibahas oleh beberapa peneliti sebelumnya. Peneliti pertama memvariasikan temperatur dari 300 – 500°C dan menghasilkan temperatur terbaik pada 380°C. Peneliti selanjutnya mendapatkan temperatur terbaik pada 450°C dengan memvariasikan dari 300 – 650°C [9]. Dari beberapa penelitian yang ada dapat dilihat bahwa variasi temperatur mempunyai peran penting terhadap keluaran WGS yang didapatkan.

Pada penelitian ini, difokuskan pada penggunaan temperatur WGS terhadap laju konversi CO yang dihasilkan.

2. Dasar Teori

2.1. Produksi Hidrogen

Penelitian tentang produksi hidrogen menjadi sangat berkembang dengan semakin banyaknya penggunaan hidrogen sebagai alternatif energi yang ramah lingkungan. Secara industri, gas hidrogen (H_2) biasanya dihasilkan dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana melalui *steam methane reforming* [10].

2.2 Steam Methane Reforming (SMR)

SMR melibatkan dua reaksi yaitu, reaksi *reforming* yang sangat endotermis dan reaksi *water gas shift* yang sedikit endotermis [11]. *Reformer* menghasilkan produk CO , CO_2 , H_2 dan *steam* dimana CH_4 bereaksi dengan H_2O [12]. Pada *reformer* semakin tinggi temperatur *inlet reformer* maka kadar hidrogen *outlet reformer* semakin tinggi juga karena terjadinya reaksi yang membentuk senyawa baru [13].

Reaksi WGS berperan untuk mengubah CO dan *steam* menjadi CO_2 dan H_2 . WGS dapat dilakukan pada *high temperature* (HT) dan *low temperature* (LT). HT berkisar dari $320 - 450^\circ C$ dan LT berkisar $150 - 250^\circ C$. HT yang digunakan pada WGS meningkatkan laju reaksi untuk mendukung konsumsi CO [8].

Pada PSA, adsorpsi biasanya akan diisi oleh adsorben berupa *silica gel*, *zeolite* dan *activated carbon* [14]. PSA merupakan tahap pemurnian yang memiliki tingkat otomatisasi dan tidak tercampur pengotor atau senyawa lain agar menghasilkan gas hidrogen dengan kuantitas dan kualitas lebih tinggi [15].

2.3 Temperatur

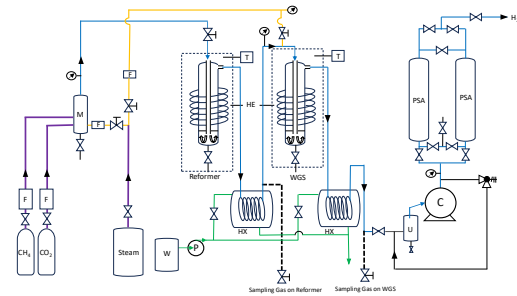
Temperatur menjadi salah satu parameter penting dalam reaksi WGS [16]. Selain mempengaruhi laju reaksi WGS, HT menjadi salah satu parameter yang menentukan keseimbangan [jurnal]. WGS dapat dilakukan pada *high temperature* (HT) dan *low temperature* (LT), yang dimana HT berkisar dari $320 - 450^\circ C$ [8].

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental dalam skala laboratorium sesuai dengan Gambar 1 (a) dan Gambar 1 (b) yang merupakan skematik penelitian dan *set up* eksperimen untuk menghasilkan hidrogen dari biogas melalui proses SMR yang terdiri dari tahapan *reformer* dan WGS serta proses pemurnian lanjutan berupa PSA. Gas CH_4 , CO_2 dan *steam* dicampur di *mixer*. Gas campuran CH_4 , CO_2 dan *steam* dari *mixer* masuk ketahap *reformer* untuk menghasilkan CO dan H_2 dengan bantuan katalis $MgNi$ yang dijaga pada temperatur $500^\circ C$. Gas keluaran *reformer* akan dialirkan ke reaktor WGS dengan temperatur pada $380^\circ C$ menggunakan katalis $Fe-Cr$ untuk mengubah CO dan *steam* menjadi CO_2 dan H_2 . Gas keluaran WGS akan menuju tahap pemurnian untuk memisahkan gas pengotor menggunakan adsorben

pada tabung reaktor PSA. Komponen yang digunakan pada penelitian ini sudah sesuai standar pabrikan.

Pada penelitian ini, akan diteliti pengaruh temperatur $380^\circ C$ di WGS terhadap laju konversi CO yang dihasilkan.



(a)

Keterangan:

— : Primary channel	— : Steam pipe
— : Water cooling channel	— : PSA pressure set path
— : Hose	
WGS : Water Gas Shifter	T : Thermocouple
PSA : Pressure Swing Adsorption	HX : Heat Exchanger
F : Flow Meter	HE : Heater
M : Mixer	U : Water trapper
C : Compressor	
W : Water	
P : Centrifugal Pump	



(b)

Gambar 1. (a) Skematik Penelitian Hidrogen, (b) Set Up Eksperimental Hidrogen

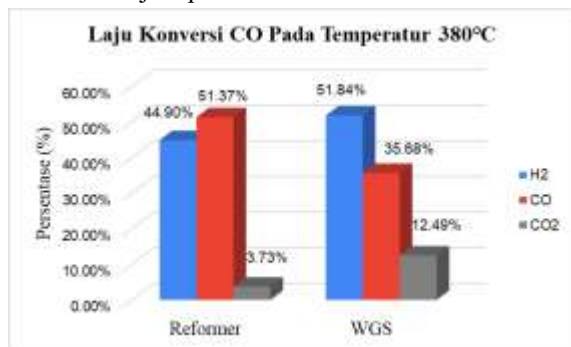
4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengaruh temperatur $380^\circ C$ terhadap laju konversi CO

Dari hasil pengujian maka didapatkan pengaruh temperatur $380^\circ C$ terhadap laju konversi CO pada *outlet* WGS yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada temperatur $380^\circ C$, kandungan H_2 dan CO_2 dari *outlet reformer* ke *outlet* WGS meningkat sementara kandungan CO menurun. Pada *reformer* kandungan CO sebesar $51,37\%$ mengalami penurunan pada *outlet* WGS menjadi $35,68\%$, kandungan H_2 meningkat dari $44,90\%$ menjadi $51,84\%$ dan kandungan CO_2 meningkat dari $3,73\%$ menjadi $12,49\%$. Hal ini sesuai dengan reaksi yang terjadi di

WGS yaitu untuk mengkonversi CO dan H₂O untuk menghasilkan H₂ dan CO₂. Penggunaan temperatur pada WGS dapat mempercepat laju reaksi konversi reaktan menjadi produk.



Gambar 2. Grafik hubungan temperatur 380°C terhadap laju konversi CO pada outlet WGS

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada eksperimen mengenai pengaruh temperatur 380°C pada WGS terhadap laju konversi CO dapat disimpulkan bahwa H₂ dan CO₂ pada sisi produk meningkat karena temperatur mempercepat laju konversi CO dengan H₂O pada sisi reaktan.

Daftar Pustaka

- [1] H. Khan, I. Khan, and T. T. Binh, "The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 859–867, 2020, doi: 10.1016/j.egyr.2020.04.002.
- [2] A. G. Olabi, T. Wilberforce, and M. A. Abdelkareem, "Fuel cell application in the automotive industry and future perspective," *Energy*, vol. 214, p. 118955, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.118955.
- [3] A. Setiawan, F. Hayat, Faisal, and T. B. Nur, "Combustion characteristics of densified bio-char produced from Gayo Arabica coffee-pulp: Effect of binder," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 364, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/364/1/012007.
- [4] E. Erwin, R. Fernanda, Pradipta. Malvin Dharma, N. F. Rasendria, and I. R. Khoirunabil, "Kajian penerapan sistem fuel cell sebagai sumber energi alternatif ramah Lingkungan pada kendaraan bermotor," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 2, pp. 104–116, 2022, [Online]. Available: <http://10.0.93.79/jptm.v10i2.45831>
- [5] M. Sucipta, I. M. P. A. Winata, P. E. Dewi, P. B. Sudarsana, and M. S. P. Larasati, "Development of respirator design for children using bamboo-based activated carbon filter and bipolar ionization," *Alexandria Eng. J.*, vol. 63, pp. 527–547, 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.08.014.
- [6] C. Song, Q. Liu, N. Ji, Y. Kansha, and A. Tsutsumi, "Optimization of steam methane reforming coupled with pressure swing adsorption hydrogen production process by heat integration," *Appl. Energy*, vol. 154, pp. 392–401, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.05.038.
- [7] D. P. Minh et al., *Hydrogen production from biogas reforming: An overview of steam reforming, dry reforming, dual reforming, and tri-reforming of methane*. Elsevier Ltd., 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-811197-0.00004-X.
- [8] E. Baraj, K. Ciahotný, and T. Hlinčík, "The water gas shift reaction: Catalysts and reaction mechanism," *Fuel*, vol. 288, no. November, 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119817.
- [9] H. Chu, Q. Li, A. Meng, and Y. Zhang, "Investigation of hydrogen production from model bio-syngas with high CO₂ content by water-gas shift reaction," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 11, pp. 4092–4100, 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.01.170.
- [10] P. Purnami, I. Wardana, and V. K., "Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 51–59, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.01.8.
- [11] M. De Falco, G. Iaquaniello, and L. Marrelli, "Reformer and membrane modules plant for natural gas conversion to hydrogen: Performance assessment," 2009. doi: 10.3303/CET0917235.
- [12] D.-H. Hwang, Y.-S. Choi, and T.-W. Lim, "Performance analysis in water-gas shift reactor for hydrogen yield improvement," *J. Adv. Mar. Eng. Technol.*, vol. 47, no. 4, pp. 168–174, 2023, doi: 10.5916/jamet.2023.47.4.168.
- [13] Nurillah Hendryati, Nasrul ZA, Novi Sylvia, Zulnazri, and Yazid Bindar, "Simulasi Pengaruh Temperatur, Komposisi Inlet Feed Dan Ratio Steam/Carbon Terhadap Produksi Syngas Pada Reactor Reformer Pabrik Hidrogen Dengan Menggunakan Aspen Hysys V.10," *4Jurusan Tek. Kim. Fak. Tek. Univ. Malikussaleh, Aceh, Indones.*, pp. 951–959, 2022.
- [14] V. D. Pratiwi and R. Handogo, "Simulation of Hydrogen Purification using Two Bed System Pressure Swing Adsorption," pp. 14–18, 2016.
- [15] Z. Du et al., "A review of hydrogen purification technologies for fuel cell vehicles," *Catalysts*, vol. 11, no. 3, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/catal11030393.
- [16] J. Shin, M. S. Kang, and J. Hwang, "Effects of bio-syngas CO₂ concentration on water-gas shift and side reactions with Fe-Cr based catalyst," *Int. J. Energy Res.*, vol. 45, no. 2, pp. 1857–1866, 2021, doi: 10.1002/er.5861.

	Elly Sihaloho menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, dari tahun 2021 hingga 2025, dengan fokus utama pada bidang konversi energi.
Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi.	