

# Analisis Kemurnian Hidrogen Pada Proses *Steam Methane Reforming* Menggunakan *Pressure Swing Adsorption* Dengan Tekanan Adsorpsi 80 Psi

Jessica Pangaribuan, Made Sucipta, Made Suarda

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

Salah satu alternatif energi bersih yang berpotensi untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah hidrogen. Proses produksi hidrogen yang paling umum digunakan adalah *steam methane reforming* (SMR), dimana terdiri dari proses *reforming* dan *water gas shift* (WGS). Proses *reforming* dimulai dengan pembentukan syngas, yaitu hidrogen dan karbon monoksida. Kemudian dilanjutkan dengan WGS, dimana karbon monoksida direaksikan dengan steam. Untuk mendapatkan kemurnian hidrogen yang lebih tinggi diperlukan proses pemurnian dengan *pressure swing adsorption* (PSA). Proses pemisahan gas pada PSA bergantung pada kemampuan ikat pada bahan adsorben atau katalis yang digunakan, tekanan kerja, dan waktu adsorpsi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tekanan adsorpsi terhadap kemurnian hidrogen yang dihasilkan pada keluaran PSA. Penelitian ini menggunakan adsorben silica gel dan activated alumina, serta tekanan adsorpsi sebesar 80 Psi dengan waktu adsorpsi 180 detik. Hasil menunjukkan proses PSA dengan tekanan 80 Psi meningkatkan kemurnian hidrogen dimana dari keluaran WGS 48,66% menjadi 62,43% pada keluaran PSA. Berdasarkan hasil, dapat disimpulkan bahwa tekanan tinggi dapat membantu adsorben untuk menangkap impurities lebih baik.

Kata kunci: Hidrogen, *Steam Methane Reforming*, *Pressure Swing Adsorption*, Tekanan Adsorpsi.

## Abstract

One of the most promising clean energy alternatives to replace fossil fuels is hydrogen. *Steam methane reforming* (SMR) is the most common method for hydrogen production, which consists of *reforming* and *water gas shift* (WGS) reaction. Through *reforming*, hydrocarbons are converted into syngas, a hydrogen and carbon monoxide. Then, through WGS, carbon monoxide reacted with steam to further enhance hydrogen yield. To obtain hydrogen of higher purity, a purification stage using *pressure swing adsorption* (PSA) is required. Gas separation in PSA depends on the adsorption capacity of the selected adsorbent material, the operating pressure, and the adsorption time. This study evaluates the effect of adsorption pressure on hydrogen purity at the PSA outlet. Silica gel and activated alumina were used as adsorbents, with an adsorption pressure of 80 psi and an adsorption duration of 180 seconds. The results demonstrate that PSA at 80 psi improved hydrogen purity significantly, increasing from 48.66% at the WGS outlet to 62.43% at the PSA outlet. According to the results, higher operating pressure enhances the ability of adsorbents to capture impurities more effectively, thereby improving the overall efficiency of hydrogen purification.

Keywords: Hydrogen, *Steam Methane Reforming*, *Pressure Swing Adsorption*, Pressure.

## 1. Pendahuluan

Saat ini dunia mulai mencari bahan bakar alternatif akibat dari dampak buruk bahan bakar fosil, salah satunya menyebabkan *greenhouse gas* (GHG) [1]. Dengan demikian, diperlukan sumber energi alternatif yang lebih ramah terhadap lingkungan. Hidrogen kini menjadi salah satu pilihan bahan bakar alternatif yang banyak dipertimbangkan, karena mampu menghasilkan energi yang efisien serta ramah lingkungan [2]. Penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar dapat diaplikasikan melalui kendaraan listrik [3]. Hidrogen banyak terdapat dalam berbagai senyawa kimia, tetapi keberadaannya sebagai gas murni di alam relatif jarang ditemukan [4]. Maka diperlukan proses pemisahan gas untuk mendapatkan hidrogen.

Proses produksi hidrogen dengan bahan baku senyawa hidrokarbon dimulai dengan pembentukan syngas, yaitu hidrogen dan karbon monoksida dari proses *steam methane reforming* (SMR) [5]. Untuk meningkatkan hasil hidrogen, karbon monoksida yang

diperoleh dari proses *reformer* dilanjutkan dengan direaksikan dengan steam melalui proses *water gas shift* (WGS). Pada proses WGS, hasil reaksi CO dan steam akan menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan hidrogen (H<sub>2</sub>) [6].

*Pressure swing adsorption* (PSA) merupakan metode yang efisien untuk melakukan pemisahan hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) hasil pemisahan akan dilakukan *carbon capture*. *Carbon capture* merupakan tahapan dimana karbon dioksida ditangkap dan disimpan, berguna untuk mengurangi polusi. Proses pemisahan gas pada PSA bergantung pada kemampuan ikat pada bahan adsorben atau katalis yang digunakan, tekanan kerja, dan waktu adsorpsi [7][8][9].

Bahan adsorben atau katalis yang digunakan pada PSA biasanya seperti *zeolite molecular sieves*, *activated carbon*, *activated alumina*, and *silica gel* [10]. Saat campuran gas yang mengandung hidrogen masuk melewati *adsorbent bed* pada tekanan yang tinggi, campuran gas akan bergerak disebabkan oleh

gaya adsorpsi dari permukaan adsorben dan terikat di adsorben [11]. Kemampuan adsorben untuk mengikat gas  $\text{CO}_2$  dipengaruhi oleh besar tekanan yang diberikan selama proses *adsorption*. Dimana dengan meningkatnya tekanan, semakin banyak juga gas yang dapat diikat oleh adsorben [5].

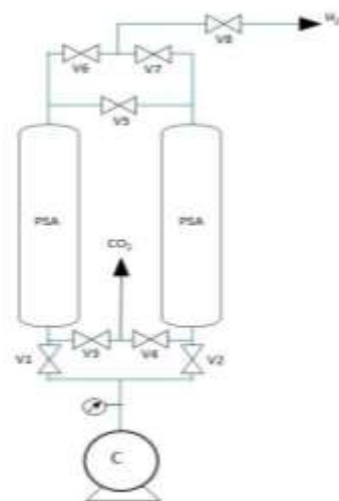
Pada penelitian ini, diteliti produksi hidrogen melalui SMR yang digabungkan dengan PSA. Dengan menggunakan *bed adsorbent* dan waktu adsorpsi tertentu, pengaruh tekanan adsorpsi pada PSA akan diteliti untuk melihat efektivitas unit PSA dalam menghasilkan tingkat kemurnian hidrogen yang tinggi.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Pressure Swing Adsorption

Adsorpsi merupakan sebutan dari fenomena gaya tarik menarik yang dialami molekul dari fasa fluida (gas) ketika berada dekat dengan permukaan benda padat, atau disebut adsorben [12]. *Pressure swing adsorption* merupakan teknologi yang efektif untuk pemisahan gas. PSA saat ini berhasil diaplikasikan pada berbagai proses seperti pengeringan gas, pemisahan udara, pemurnian hidrogen, dan *recovery* karbon dioksida [13].

Proses PSA dilakukan dengan mengatur buka tutup katup pada *double-bed system*. Langkah pengaturan katup dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema PSA dengan sistem katup

*Double-bed* pada sistem PSA adsorpsi dan desorpsi dilakukan secara bergantian pada masing-masing *bed*. Pemanfaatan *double-bed* dapat meningkatkan kemurnian produk dan meminimalisir gas yang terbuang. Berikut 6 langkah *feed pressurization* (FP), *adsorption* (AD), *depressurizing pressure equalization* (DPE), *blowdown* (BD), *purge* (PG), *pressurizing pressure equalization* (PPE) [14].

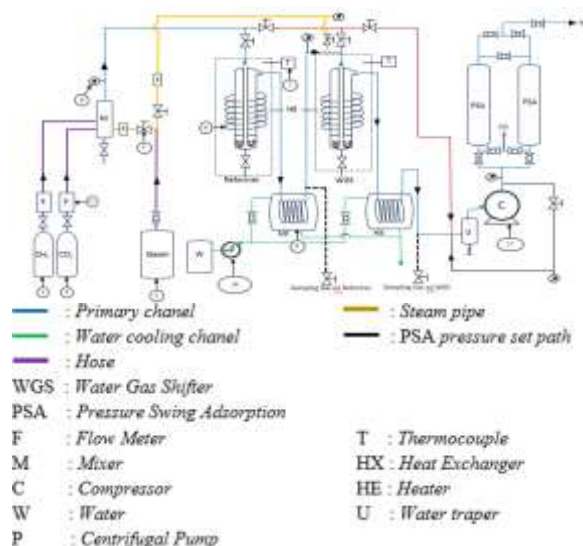
### 2.2 Tekanan

Tekanan atau *pressure* adalah salah satu parameter yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi. Peningkatan tekanan pada PSA, mempengaruhi

banyaknya gas yang dapat diadsorpsi. Tekanan adsorpsi PSA dilakukan antara 4-7 bar [7].

## 3. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan dengan eksperimental skala laboratorium. Proses produksi hidrogen ini menggabungkan proses SMR dengan pemurnian hidrogen PSA. Bahan baku gas yaitu  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  dan *steam* akan dicampur pada *mixer*. Selanjutnya gas campuran akan bereaksi pada tabung *reformer* pada suhu  $500^\circ\text{C}$  menggunakan katalis  $\text{MgNi}$ . Kemudian selanjutnya akan dialirkan ke reaktor WGS. Pada WGS akan digunakan katalis  $\text{Fe-Cr}$  dengan suhu yang di atur  $340^\circ\text{C}$ . Selanjutnya akan dilakukan proses pemurnian dengan PSA. Pada proses PSA waktu adsorpsi yang digunakan selama 180 detik dan menggunakan 2 adsorben yaitu *silica gel* pada *bed* 1 dan *activated alumina* pada *bed* 2. Menggunakan tekanan adsorpsi 80 Psi. Skema penelitian dapat dilihat dari Gambar 2 dan *set-up* alat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Skema Penelitian

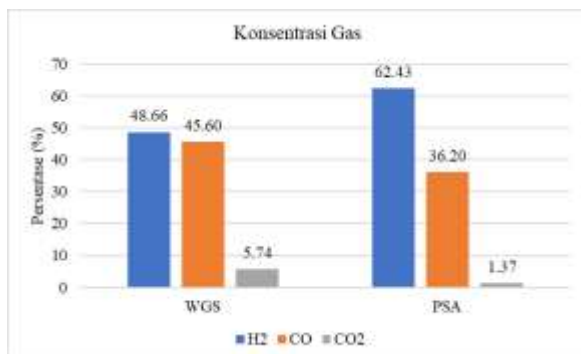


Gambar 3. Set Up eksperimental hidrogen

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Pengaruh tekanan adsorpsi 80 Psi terhadap kemurnian $\text{H}_2$ pada keluaran PSA

Dari hasil pengujian maka didapatkan pengaruh tekanan adsorpsi 80 Psi terhadap tingkat kemurnian hidrogen hasil keluaran PSA ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik konsentrasi gas pada keluaran WGS dan PSA dengan tekanan adsorpsi 80 Psi

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa pada keluaran konsentrasi gas yang di dapatkan setelah melalui proses pemurnian PSA mengalami perubahan. Dimana pada hasil keluaran PSA, H<sub>2</sub> meningkat serta CO dan CO<sub>2</sub> yang merupakan *impurities* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh pada tekanan yang tinggi, kemampuan adsorben untuk mengikat *impurities* semakin meningkat. Akibatnya CO dan CO<sub>2</sub> lebih mudah teradsorpsi pada permukaan adsorben, sehingga fraksi H<sub>2</sub> pada keluaran PSA akan lebih besar.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh tekanan 80 Psi terhadap hasil kemurnian H<sub>2</sub> pada keluaran PSA dapat disimpulkan bahwa tekanan adsorpsi sebesar 80 Psi dapat meningkatkan kemampuan adsorben untuk mengikat *impurities*, sehingga hasil kemurnian H<sub>2</sub> yang didapatkan semakin tinggi.

## Daftar Pustaka

- [1] M. Luberti and H. Ahn, "Review of Polybed pressure swing adsorption for hydrogen purification," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 20, pp. 10911–10933, 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.01.147.
- [2] W. H. Chen, W. H. Chen, R. Y. Chein, A. Tuan Hoang, K. Manatura, and S. Raza Naqvi, "Optimization of hydrogen purification via vacuum pressure swing adsorption," *Energy Convers. Manag.*, vol. 20, no. September, p. 100459, 2023, doi: 10.1016/j.ecmx.2023.100459.
- [3] M. K. Singla, P. Nijhawan, and A. S. Oberoi, "Hydrogen fuel and fuel cell technology for cleaner future: a review," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 28, no. 13, pp. 15607–15626, 2021, doi: 10.1007/s11356-020-12231-8.
- [4] P. M. Girsang, T. A. Siregar, F. D. Yosandri, A. Cahyati, U. N. Medan, and B. B. Alternatif, "Manfaat Gas Hidrogen Sebagai Bahan Bakar Alternatif," *J. Pendidik. Multidisipliner*, vol. 7, no. 5, pp. 156–160, 2024.
- [5] V. D. Pratiwi, "Pengaruh Tekanan Dan Adsorben Pada Sistem Pressure Swing Adsorption (Psa) Dalam Pemurnian Hidrogen," pp. 1–51, 2016.
- [6] 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.
- [7] R. Kadam and N. L. Panwar, "Recent advancement in biogas enrichment and its applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, no. January, pp. 892–903, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.167.
- [8] V. D. Pratiwi, J. Juwari, and R. Handogo, "Simulation of Hydrogen Purification using Two Bed System Pressure Swing Adsorption," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 0, no. 2, p. 14, 2017, doi: 10.12962/j23546026.y2017i2.2272.
- [9] L. Tong, P. Bénard, Y. Zong, R. Chahine, K. Liu, and J. Xiao, "Energy and AI Artificial neural network based optimization of a six-step two-bed pressure swing adsorption system for hydrogen purification," *Energy AI*, vol. 5, p. 100075, 2021, doi: 10.1016/j.egyai.2021.100075.
- [10] 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.
- [11] P. Biswas, S. Agrawal, and S. Sinha, "Modeling and simulation for pressure swing adsorption system for hydrogen purification," *Chem. Biochem. Eng. Q.*, vol. 24, no. 4, pp. 409–414, 2010.
- [12] C. A. Grande, "Advances in Pressure Swing Adsorption for Gas Separation," *ISRN Chem. Eng.*, vol. 2012, pp. 1–13, 2012, doi: 10.5402/2012/982934.
- [13] H. Li, Z. Liao, J. Sun, B. Jiang, J. Wang, and Y. Yang, "Modelling and simulation of two-bed PSA process for separating H<sub>2</sub> from methane steam reforming," *Chinese J. Chem. Eng.*, vol. 27, no. 8, pp. 1870–1878, 2019, doi: 10.1016/j.cjche.2018.11.022.
- [14] S. Ahn, Y. W. You, D. G. Lee, K. H. Kim, M. Oh, and C. H. Lee, "Layered two- and four-bed PSA processes for H<sub>2</sub> recovery from coal gas," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 68, no. 1, pp. 413–423, 2012, doi: 10.1016/j.ces.2011.09.053.

|                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                  | <p><b>Jessica P</b> menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana dari tahun 2021 hingga 2025, dengan fokus utama pada bidang konversi energi.</p> |
| <p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan <i>renewable energy</i>, khususnya produksi hidrogen yang kemudian ditekuni sebagai topik penelitian tugas akhir.</p> |                                                                                                                                                                                     |