

Pemurnian Hidrogen Pada Proses *Steam Methane Reforming* Menggunakan Metode *Pressure Swing Adsorption* Dengan Variasi Tekanan Adsorpsi 80 Psi

I Putu Detha Merta Udayana, Made Sucipta, dan Made Suarda
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membahas konsentrasi hidrogen melalui penerapan metode *Water Gas Shift* (WGS) dan *Pressure Swing Adsorption* (PSA) pada kondisi tekanan adsorpsi 80 psi. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa proses WGS menghasilkan komposisi gas dengan hidrogen dengan nilai sebesar 48,68%, karbon monoksida dengan nilainya sebesar 45,58%, serta karbon dioksida dengan nilai nya sebesar 5,74%. Setelah melalui proses PSA, konsentrasi hidrogennya meningkat menjadi 54,16%, sedangkan kandungan karbon monoksidanya pun menurun hingga 44,50% dan kandungan karbon dioksidanya juga berkurang menjadi 1,20%. Temuan ini mengindikasikan bahwa PSA lebih optimal dalam meningkatkan kadar hidrogen serta menurunkan jumlah gas pengotor, sehingga sangat berpotensi untuk diterapkan dalam pemurnian hidrogen pada skala industri.

Kata kunci: WGS, PSA, Hidrogen, Karbon Monoksida, Karbon Dioksida

Abstract

This research aims to examine hydrogen concentration through the application of the Water Gas Shift (WGS) and Pressure Swing Adsorption (PSA) methods at an adsorption pressure of 80 psi. The test results indicate that the WGS process produced a gas composition with hydrogen at 48.68%, carbon monoxide at 45.58%, and carbon dioxide at 5.74%. After undergoing the PSA process, the hydrogen concentration increased to 54.16%, while the carbon monoxide content decreased to 44.50%, and the carbon dioxide content also decreased to 1.20%. These findings indicate that PSA is more optimal in increasing hydrogen levels and reducing the amount of impurity gases, making it highly potential for application in hydrogen purification on an industrial scale.

Keywords: WGS, PSA, Hydrogen, Carbon Monoxide, Carbon Dioxide

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi global yang terus meningkat mendorong pencarian energi alternatif yang ramah lingkungan memiliki potensi besar karena sifatnya yang bersih, fleksibel, serta dapat diproduksi dari berbagai sumber energi [1]. Metode produksi hidrogen yang paling banyak digunakan adalah *steam methane reforming* (SMR), yang menyumbang lebih dari 90% produksi hidrogen global [2][3]. Namun, hasil SMR umumnya masih bercampur dengan CO, CO₂, dan CH₄ sehingga diperlukan proses pemurnian [4]. Salah satu metode yang paling efektif adalah *pressure swing adsorption* (PSA). Teknologi ini memanfaatkan adsorben berpori untuk memisahkan molekul berdasarkan ukuran dan sifat kimia [5][6][7]. Zeolit dan karbon aktif merupakan adsorben yang umum digunakan karena luas permukaannya yang tinggi dan sifat selektif terhadap gas pengotor [7][8][9]. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi tekanan adsorpsi (80 Psi) pada sistem PSA terhadap konsentrasi kemurnian hidrogen menggunakan kombinasi adsorben zeolit dan karbon aktif.

2. Dasar Teori

2.1 Hidrogen sebagai Sumber Energi Alternatif

Hidrogen merupakan unsur dengan nomor atom 1 yang paling melimpah di alam semesta [3][10]. Di bumi, unsur ini banyak dijumpai dalam bentuk senyawa seperti air (H₂O) dan hidrokarbon [11]. Hidrogen menjadi salah satu kandidat energi masa depan karena ramah lingkungan, di mana hasil pembakarannya hanya menghasilkan uap air [12]. Berdasarkan metode produksinya, hidrogen dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain *grey hydrogen* yang berasal dari bahan bakar fosil, *blue hydrogen* yang juga dari fosil namun dilengkapi teknologi penangkapan karbon, dan *green hydrogen* yang diperoleh dari energi terbarukan melalui proses elektrolisis [13].

2.2 Proses Produksi Hidrogen

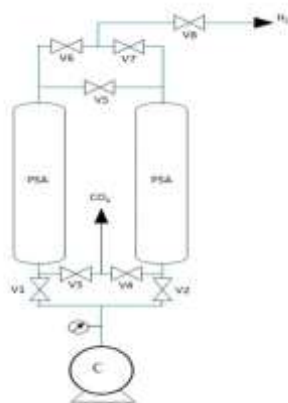
Beberapa metode digunakan untuk menghasilkan hidrogen, namun yang paling umum adalah:

- ***Steam Methane Reforming* (SMR):** Gas metana direaksikan dengan uap air pada suhu tinggi menggunakan katalis, menghasilkan campuran hidrogen dan karbon monoksida [7][14][15].
- ***Water Gas Shift* (WGS):** campuran gas dari SMR kemudian diproses kembali sehingga kandungan hidrogen meningkat dan karbon monoksida berkurang dengan bantuan katalis tertentu [16][16].

- **Pressure Swing Adsorption (PSA):** tahap akhir berupa pemurnian, yaitu memisahkan hidrogen dari gas pengotor (CO , CO_2 , N_2) menggunakan material adsorben berpori [17].

2.3 Pressure Swing Adsorption (PSA)

PSA merupakan teknologi pemisahan gas yang bekerja berdasarkan prinsip perbedaan sifat adsorpsi pada tekanan tertentu [6][18]. Gas pengotor umumnya lebih mudah terikat pada adsorben dibandingkan hidrogen [10]. Oleh karena itu, pada tekanan tinggi, sebagian besar CO , CO_2 , dan N_2 akan teradsorpsi, sedangkan hidrogen keluar dengan tingkat kemurnian lebih baik [6]. Efektivitas PSA juga dipengaruhi oleh variasi tekanan karena semakin tinggi tekanan maka semakin besar rapat molekul, sehingga kapasitas penyerapan meningkat. Untuk gambar proses *pressure swing adsorption* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Proses *Pressure Swing Adsorption* (PSA)

2.4 Adsorben

- **Zeolit:** mineral kristalin aluminosilikat dengan struktur pori tiga dimensi yang mampu menyaring molekul berdasarkan ukuran dan bentuk [7][19]. Zeolit sering dipakai dalam pemisahan gas karena kestabilan termal dan luas permukaannya tinggi [19].
- **Karbon Aktif:** material berkarbon dengan luas permukaan sangat besar dan porositas tinggi, sehingga efektif dalam proses adsorpsi baik secara fisik maupun kimia [20]. Karbon aktif banyak digunakan dalam pemurnian gas dan cairan karena daya serapnya yang tinggi [20].

2.5 Keterkaitan dengan Penelitian

Dalam penelitian ini, kombinasi zeolit dan karbon aktif dimanfaatkan sebagai media adsorben pada sistem PSA untuk meningkatkan kualitas hidrogen hasil proses SMR dan WGS. Variasi tekanan

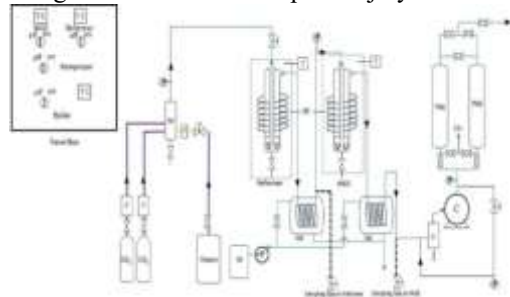
adsorpsi (80 Psi) diuji guna mengetahui pengaruhnya terhadap konsentrasi hidrogen yang diperoleh.

3. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan rangkaian proses sebagai berikut:

1. **Steam Methane Reforming (SMR):** Gas metana (CH_4) direaksikan dengan uap air pada suhu 500°C menggunakan katalis MgNi (30 g). Hasil utama berupa H_2 , CO , dan CO_2 .
2. **Water Gas Shift (WGS):** Gas keluaran SMR dialirkan ke reaktor WGS pada suhu 340°C menggunakan katalis Fe-Cr (30 g). Reaksi ini meningkatkan fraksi hidrogen melalui konversi $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$.
3. **Pressure Swing Adsorption (PSA):** Gas hasil WGS dimurnikan menggunakan dua adsorben: zeolit pada bed 1 dan karbon aktif pada bed 2. Variasi tekanan adsorpsi yang diuji adalah 80 Psi, dengan waktu adsorpsi 180 detik.

Alat ukur yang digunakan meliputi *portable gas detector* untuk mendeteksi kandungan kemurnian dari gas, flowmeter untuk volume, dan perhitungan massa berdasarkan hukum gas ideal. Untuk gambar skematik alat ujinya dapat dilihat pada gambar 2a dan gambar 2b untuk set up alat ujinya.



Gambar 2a. Skematik alat uji penelitian

Keterangan:

- : Primary chanel
- M : Mixer
- : Steam pipe
- C : Kompresor
- : Water cooling chanel
- T : Thermocouple
- : PSA pressure set path
- HX : Heat exchanger
- : Hose
- HE : Heater
- WGS : Water Gas Shifter
- W : Water
- PSA : Pressure Swing Adsorption
- P : Pump
- F : Flowmeter

U : Water traper

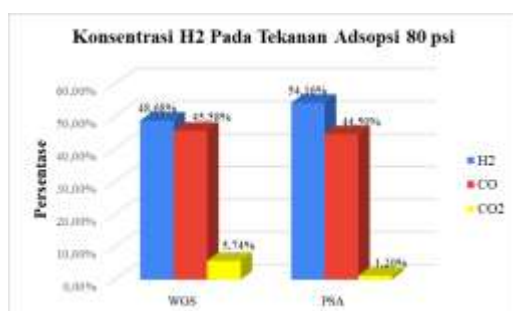


Gambar 2b. Set up alat untuk pelaksanaan penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengaruh Tekanan Adsorpsi 80 Psi terhadap Konsentrasi Hidrogen pada Outlet Keluaran WGS dan PSA

Berdasarkan gambar 3 di bawah, dapat dilihat bahwa pada tekanan adsorpsi 80 psi. Komposisi gas yang dihasilkan berbeda antara proses WGS dan PSA. Pada tahap WGS, H_2 berada pada nilai 48,68%, kandungan CO dengan nilai 45,58% serta CO_2 memiliki nilai sebesar 5,74%. Setelah dialirkan melalui PSA, hidrogen mengalami peningkatan hingga 54,16%, sementara konsentrasi CO berkurang menjadi 44,50% dan CO_2 menurun hingga 1,20%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa PSA memiliki kemampuan yang lebih baik dalam memurnikan hidrogen sekaligus menekan keberadaan gas pengotor, yaitu CO dan CO_2 .



Gambar 3. Grafik Konsentrasi Hidrogen pada Outlet keluaran WGS dan PSA (80 Psi)

5. Kesimpulan

Menurut hasil dari gambar 3 dapat memperlihatkan bahwa penerapan PSA lebih baik dibandingkan WGS dalam meningkatkan kandungan konsentrasi H_2 . Proses PSA berhasil menaikkan konsentrasi H_2 dari 48,68% menjadi 54,16%, sekaligus menekan kandungan CO dari 45,58% menjadi 44,50% serta menurunkan CO_2 dari

5,74% hingga 1,20%. Hal ini membuktikan bahwa PSA memiliki kemampuan yang lebih efektif dalam menghasilkan hidrogen dengan tingkat kemurnian lebih tinggi dan mengurangi kandungan gas pengotor.

Daftar Pustaka

- [1] R. J. Sianipar, R. R. Januar, and S. D. C. Silalahi, "Analisis Pemetaan Potensi dan Realisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan Pemodelan Determinan Konsumsi dan Metode Grouping Analysis EBT di Indonesia," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 30–49, Jul. 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.22970.
- [2] A. Syaqui, I. Ratna Kusumawardhany, and L. Urip Widodo, "Produksi Gas Hidrogen Dari Biomassa Dengan Proses Anaerob Hydrogen Gas Production From Biomass With Anaerob Process," 2018.
- [3] E. Sihombing, I. R. Siburian, N. M. Pangaribuan, and A. D. Fadhillah, "Manfaat Gas Hidrogen Dan Senyawanya," 2024.
- [4] A. Triantoro and A. Mustofa, "Pengaruh Agen Gasifikasi Batubara Terhadap Produk Gas Yang Dihasilkan Oleh Batubara Peringkat Rendah," 2013.
- [5] L. Trisnaliani and A. Harianto, "Produksi Gas Nitrogen Dengan Metode Pressure Swing Adsorption (Psa) Menggunakan Carbon Molecular Sieve (Cms) Sebagai Penyerap Oksigen Nitrogen Gas Production By Pressure Swing Adsorption (Psa) Method Using Carbon Molecular Sieve (Cms) As Oxygen Adsorption," *J. Kinet.*, vol. 9, no. 01, pp. 45–50, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>.
- [6] A. M. Hilda *et al.*, "Pemodelan dan Simulasi Proses Adsorpsi Gas Pengotor oleh Molecular Sieve pada Pendingin Rde dengan Software Chemcad," vol. 3, 2018.
- [7] R. Mufti Ali, T. Yuni Hendrawati, and N. Hidayati Fithriyah, "Pengaruh Jenis Adsorben Terhadap Efektifitas Penurunan Kadar Timbal Limbah Cair Recycle Aki Bekas," vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.24853/jurtek.12.1.87-92.
- [8] G. Hadisoebroto, L. Dewi, and H. N. Hanifah, "Efektivitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Nangka Sebagai Bioadsorben Logam Pb dari Limbah Industri Farmasi," 2023. [Online]. Available: <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jai2>.

- [9] A. Fitriansyah, H. Amir, and P. Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP, “Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif Dari Sabut Pinang (Areca Catechu) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigosol Blue 04-B,” *J. Pendidik. dan Ilmu Kim.*, vol. 5, no. 1, pp. 42–54, 2021.
- [10] M. S. Hasan and W. Widayat, “Produksi Hidrogen dengan Memanfaatkan Sumber Daya Energi Surya dan Angin di Indonesia,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, Mar. 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13374.
- [11] H. Susanto, W. Wijaya, and N. Widiasa, “heru susantoo CETAK,” vol. 34, no. 1, 2013.
- [12] A. H. Mor S, T. BSitorus, T. B. N, D. M. Nasution, and A. Husein Siregar, “Pengaruh Campuran Bahan Bakar Premium-Hidrogen-Etanol 99% Terhadap Performansi Mesin Genset Otto,” *Cetak J. Din.*, vol. 4, no. 2, 2016.
- [13] J. M. M. Arcos and D. M. F. Santos, “The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production,” *Gases*, vol. 3, no. 1, pp. 25–46, Feb. 2023, doi: 10.3390/gases3010002.
- [14] I. Nurlatifah and D. L. Arlianti, “Artikel Review: Produksi Gas Hidrogen dari Reaksi Elektrolisis Sebagai Bahan Bakar Non-Fosil,” 2021.
- [15] H. Husin and Y. Syamsuddin, “Pembuatan Katalis Cu/ZnO/Al₂O₃ untuk Proses Steam Reforming Metanol menjadi Hidrogen sebagai Bahan Bakar Alternatif,” *J. Rekayasa Kim. dan Lingkung.*, vol. 7, no. 3, pp. 98–104, 2010.
- [16] S. Alimah *et al.*, “Analisis Pasokan Panas Pada Produksi Hidrogen Proses Steam Reforming Konvensional Dan Nuklir,” 2015.
- [17] T. Yang *et al.*, “Hydrogen Purification Performance of Pressure Swing Adsorption in Coal-Derived Activated Carbon/Zeolite 13X Layered Bed,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 10, May 2025, doi: 10.3390/app15105505.
- [18] H. Berbasis Biogas *et al.*, “Penggunaan Double Tube Steam Methane Reforming dalam Pengembangan Produksi.”
- [19] P. Zeolit *et al.*, “The Development of Zeolite as Potential Natural Catalyst,” *J. Jejaring Mat. dan Sains*, vol. 3, no. 2, p. 28, 2021, doi: 10.36873/jjms.2021.v3.i2.604.
- [20] R. Alfi, F. Lubis, H. I. Nasution, and M. Zubir, “Production of Activated Carbon from Natural Sources for Water

Purification,” 2020.



I Putu Detha Merta Udayana menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana yakni pada tahun 2025 yang dimulai pada tahun 2020.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan konversi energi. Serta dijadikan topik tugas akhir dari penulis.