

Pemurnian Hidrogen Pada Proses *Steam Methane Reforming* Menggunakan Metode *Pressure Swing Adsorption* Pada Waktu Adsorpsi 120 Detik

Nila Nurisnaini, Made Sucipta, dan Made Suarda

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Hidrogen dimanfaatkan sebagai bahan bakar karena memiliki keunggulan dibandingkan bahan bakar konvensional lainnya, yakni menghasilkan energi tinggi tanpa menimbulkan polusi. Salah satu teknologi untuk menghasilkan hidrogen dapat melalui *steam methane reforming* (SMR) yaitu proses metana direaksikan dengan steam, biasanya menggunakan katalis untuk menghasilkan campuran karbon monoksida dan hidrogen. Produk dari proses SMR berupa syngas selanjutnya dialirkan ke reaktor *Water Gas Shift* (WGS), dimana kandungan syngas berupa karbon monoksida (CO) diubah menjadi karbon dioksida (CO₂) untuk menghasilkan hidrogen. Hasil dari komposisi WGS akan masuk ke tahap selanjutnya yaitu *pressure swing adsorption* (PSA). Proses ini untuk mendapatkan tingkat hidrogen yang lebih tinggi kemurniannya. PSA memiliki beberapa parameter diantaranya jumlah bed, tekanan operasi, jenis adsorben, dan waktu yang digunakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemurnian hidrogen dengan waktu adsorpsi pada PSA selama 120 detik menggunakan adsorben silika gel dan *activated alumina*. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kemurnian hidrogen dari WGS 49% menjadi 67% setelah dilakukan proses pemurnian dengan metode PSA.

Kata kunci: hidrogen, *steam methane reforming*, *water gas shift*, *pressure swing adsorption*

Abstract

Hydrogen is utilized as a fuel because it has advantages over conventional fuels, which producing high energy without causing pollution. One of the technologies used to produce hydrogen is *steam methane reforming* (SMR), in which methane is reacted with steam, typically using a catalyst, to make a mixture of carbon monoxide and hydrogen. The product of the SMR process is syngas, which is then fed into a *Water Gas Shift* (WGS) reactor, where the carbon monoxide (CO) content in the syngas is converted into carbon dioxide (CO₂) to produce hydrogen. The composition resulting from the WGS process then enters the next stage, which *pressure swing adsorption* (PSA). This process is carried out to obtain hydrogen with a higher level of purity. PSA has several parameters, including the number of beds, operating pressure, type of adsorbent, and the adsorption time used. This study was conducted to determine hydrogen purity with an adsorption time of 120 seconds in PSA using silica gel and *activated alumina* as adsorbents. The results showed an increase in hydrogen purity from 49% in the WGS stage to 67% after purification using the PSA method.

Keywords: hydrogen, *steam methane reforming*, *water gas shift*, *pressure swing adsorption*

1. Pendahuluan

Transisi energi dari bahan bakar fosil menuju energi terbarukan mendorong pengembangan hidrogen sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Hidrogen merupakan sumber energi alternatif yang sangat menjanjikan untuk masa depan karena sifatnya yang bersih, bebas emisi, dan dapat diproduksi dari sumber daya yang berlimpah [1][2][3][4]. Karena hidrogen memiliki keunggulan berupa densitas energi tinggi serta emisi yang rendah, sehingga berpotensi besar dalam mendukung kebutuhan energi masa depan [5][6].

Hidrogen dapat diproduksi melalui beberapa teknologi, salah satunya *steam methane reforming* (SMR) di mana metana direaksikan dengan steam menggunakan katalis sehingga terbentuk campuran hidrogen dan karbon monoksida [7]. Produk dari proses SMR berupa syngas kemudian dialirkan ke tahap lanjutan yaitu *water gas shift* (WGS). Pada tahap WGS ini, terjadi reaksi eksotermik antara karbon monoksida (CO) yang terkandung dalam syngas dengan steam untuk menghasilkan karbon dioksida

(CO₂) dan hidrogen (H₂) tambahan [8]. Hasil produk dari WGS yang masih mengandung impuritas perlu dimurnikan menggunakan *pressure swing adsorption* (PSA) [9].

PSA merupakan proses adsorpsi yang bisa digunakan untuk memisahkan hidrogen dari gas-gas sampingan sehingga dapat meningkatkan kemurnian hidrogen yang dihasilkan. PSA memiliki beberapa parameter diantaranya jumlah bed, tekanan operasi, jenis adsorben, dan waktu yang digunakan [10][11][12][13][14].

Penggunaan jumlah bed dalam proses PSA berpengaruh terhadap kemurnian dan kapasitas pemurnian hidrogen. Umumnya, 1–2 bed digunakan untuk skala kecil hingga menengah, sedangkan sistem 4 bed atau lebih diterapkan pada skala industri [10], [13]. Pemilihan adsorben berpengaruh pada efektivitas PSA, di mana material seperti *silica gel*, *activated carbon*, dan *activated alumina* umum digunakan karena kapasitas adsorpsi tinggi, selektivitas baik, serta stabil pada kondisi operasi ekstrem [12][14]. Tiap jenis adsorben memiliki

karakteristik yang berbeda-beda dalam melakukan adsorpsi gas, sehingga tekanan operasinya itu berbeda tergantung jenis adsorben dan komposisi gas umpan yang digunakan. Semakin tinggi tingkat kemurnian yang diinginkan maka memerlukan tekanan operasi yang tinggi [10]. Waktu adsorpsi yang optimal sangat penting untuk menyeimbangkan antara tingkat kemurnian hidrogen yang dihasilkan dan produktivitas sistem [11][13].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh waktu adsorpsi 120 detik pada proses PSA menggunakan adsorben *silica gel* dan *activated alumina* terhadap kemurnian hidrogen yang dihasilkan.

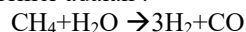
2. Dasar Teori

2.1 Steam Methane Reforming (SMR)

Sekitar 96% produksi hidrogen industri dilakukan dengan metode *steam reforming*, khususnya *steam methane reforming* (SMR) yang paling banyak digunakan [17]. Pada proses ini, metana dari gas alam direaksikan dengan uap sehingga menghasilkan hidrogen (H_2), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO_2) [18]. Proses SMR berlangsung dalam dua tahap utama, yaitu *reformer* dan *water gas shift reaction* [18].

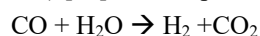
2.1.1 Reformer

Langkah pertama dari proses SMR adalah *reformer* dimana metana yang akan bereaksi dengan uap pada suhu $750^{\circ}C-1000^{\circ}C$ dan tekanan pada 3-25 bar dalam reaktor yang berisi katalis untuk menghasilkan *syngas* yang terdiri dari H_2 , CO dan beberapa CO_2 , reaksi pada reformer bersifat endotermik [17][19]. Reaksi pada reformer adalah :



2.1.2 Water Gas Shift (WGS)

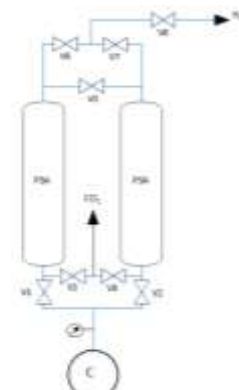
Tahap kedua dalam proses SMR adalah *water gas shift* (WGS), di mana karbon monoksida (CO) hasil reformer bereaksi dengan uap air menghasilkan hidrogen (H_2) tambahan dan karbon dioksida (CO_2) [17][20]. Reaksi ini bersifat eksotermik dan berlangsung dalam dua tahap, yaitu *high temperature shift* ($320-450^{\circ}C$) dan *low temperature shift* ($190-210^{\circ}C$) [18]. Reaksi pada WGS adalah :



2.2 Pressure Swing Adsorption (PSA)

Hidrogen yang dihasilkan dari proses SMR masih mengandung sedikit CO_2 maka diperlukan proses pemurnian lebih lanjut untuk menghilangkan kotoran tersebut agar mendapatkan tingkat kemurnian hidrogen yang tinggi. *Pressure Swing Adsorption* (PSA) merupakan metode pemurnian hidrogen yang paling umum digunakan karena mampu menghasilkan kemurnian di atas 99% dengan menggunakan adsorben [20][21]. Metode ini memanfaatkan fenomena adsorpsi, dimana molekul pengotor (impuritas) dalam campuran gas, seperti karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), metana

(CH_4), dan uap air (H_2O), terikat pada permukaan material adsorben padat yang sangat berpori pada tekanan tinggi. Karena hidrogen (H_2) memiliki afinitas yang sangat rendah terhadap adsorben tersebut, ia tidak terikat dan dapat dialirkan keluar sebagai produk murni [21]. Skema PSA dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Skema PSA

Tabel 1. Skema Katup PSA

Bed 1	FP	AD	DPE	BD	PG	PPE
	V1, V5	V1, V5, V6, V8	V5	V5, V3	V5, V3	V5
Bed 2	BD	PG	PPE	FP	AD	DPE
	V5, V4	V5, V4	V5	V2, V5	V2, V5, V7, V8	V5
Time (s)	30	180	40	30	180	40

Langkah dalam proses PSA terdiri dari *feed pressurization* (FP), *Adsorption* (AD), depressurizing pressure equalization (DPE), *blowdown* (BD), *purge* (PG), dan *pressurizing pressure equalization* (PPE). Dalam PSA memiliki beberapa parameter penting, berikut ini adalah beberapa parameter dari PSA jumlah bed, jenis adsorben, tekanan operasi, dan waktu.

2.2.1 Jumlah bed

Jumlah *bed* dalam PSA menentukan kompleksitas proses dan skala penggunaannya. Single-bed PSA biasanya dipakai untuk skala kecil, namun terbatas efisiensinya [13]. Two-bed PSA bekerja bergantian antara adsorpsi dan desorpsi, lebih stabil, serta efisien dalam pemurnian dibandingkan single-bed [13]. Sementara itu, four-bed atau multi-bed PSA umumnya digunakan pada skala besar karena memiliki lebih banyak tahapan siklus [10].

2.2.2 Jenis Adsorben

Adsorben berfungsi memisahkan pengotor dari hidrogen melalui mekanisme adsorpsi. Beberapa jenis adsorben yang umum digunakan antara lain: *activated alumina*, yang stabil pada suhu tinggi dan efektif menyerap H_2O serta CO_2 [14][21][22]; *activated carbon*, dengan luas permukaan besar untuk mengikat hidrokarbon dan gas organik [21][23][24]; *silica gel*, yang selektif terhadap molekul polar seperti H_2O dan CO_2 [25][26]; serta zeolit, mineral berpori sangat kecil yang mampu menyerap N_2 , CO, CO_2 , dan CH_4 [21][27][28].

2.2.3 Tekanan Operasi

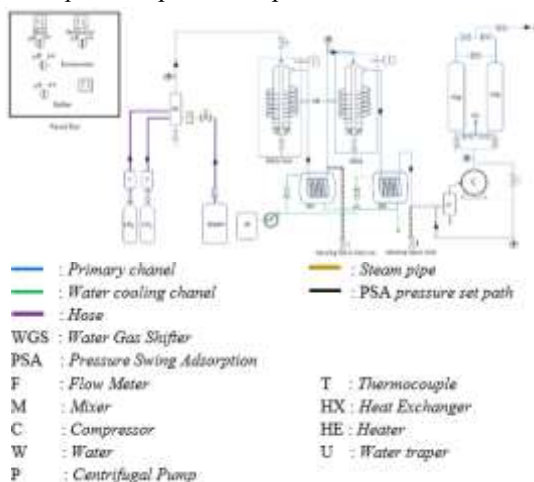
Tekanan operasi pada PSA dipengaruhi oleh komposisi gas umpan dan tingkat kemurnian hidrogen yang ditargetkan, semakin kompleks campuran gas dan semakin tinggi kemurnian yang diinginkan, maka dibutuhkan tekanan operasi yang lebih besar [10]. Setiap komponen gas memiliki karakteristik pemisahan berbeda terhadap adsorben, dan penelitian menunjukkan bahwa tekanan optimal untuk PSA umumnya berada pada rentang 2–10 bar [10][29].

2.2.4 Waktu

Waktu adsorpsi dalam PSA adalah durasi yang diperlukan untuk menghilangkan pengotor hingga mencapai kemurnian hidrogen tertentu. Umumnya berlangsung 2–5 menit, durasi ini perlu diatur agar seimbang antara kemurnian, *recovery*, dan produktivitas. Waktu adsorpsi yang lebih lama dapat meningkatkan volume dan *recovery*, namun justru menurunkan kemurnian karena adsorben cepat jenuh sehingga tidak lagi efektif menyerap pengotor [13] [30].

3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan produksi hidrogen dengan metode SMR yang terdiri dari dua tahap dengan menggunakan bahan baku 45 ml/menit CH_4 , 5 ml/menit CO_2 , dan steam 0,15 L/menit. Tahap pertama adalah *reforming*, pada tahap ini menggunakan katalis Mg-Ni dan temperatur suhu yang diatur 500°C. Tahap kedua adalah WGS, pada tahap ini menggunakan katalis Fe-Cr dan temperatur yang digunakan 340°C. Selanjutnya hasil dari metode SMR dilakukan proses pemurnian H_2 menggunakan metode PSA dengan sistem 2 bed. Pada bed 1 menggunakan adsorben *silica gel* dan bed 2 menggunakan adsorben *activated alumina*, tekanan yang digunakan 60 psi dengan variasi waktu adsorpsi 120 detik diuji untuk mengetahui pengaruh waktu adsorpsi terhadap tingkat kemurnian gas H_2 yang dihasilkan menggunakan alat *detector gas alarm*. Skema penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan *set up* alat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Skema Penelitian

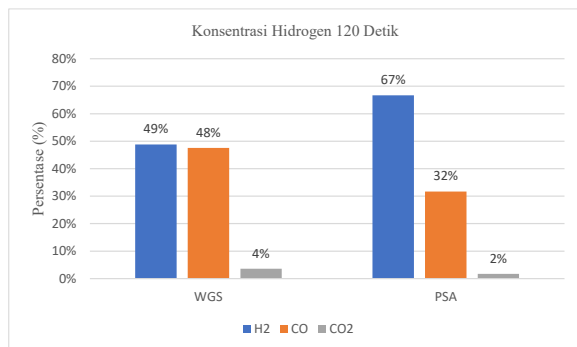


Gambar 3. Set Up Alat

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4. terjadi perubahan signifikan pada komposisi gas antara keluaran reaktor Water Gas Shift (WGS) dan keluaran Pressure Swing Adsorption (PSA) pada waktu adsorpsi 120 detik dengan tekanan operasi 60 psi dan adsorben yang digunakan adalah *silica gel* dan *activated alumina*. Produk gas dari proses WGS terdiri atas H_2 sebesar 49%, CO 48%, dan CO_2 4%. Karena hasil dari WGS masih mengandung impuritas berupa CO dan CO_2 maka dilakukan proses pemurnian dengan metode PSA. Hasil dari proses PSA komposisi gas berubah secara signifikan dengan peningkatan konsentrasi H_2 menjadi 67%, sementara CO menurun menjadi 32% dan CO_2 menjadi 2%. Peningkatan konsentrasi H_2 sebesar 18% dibandingkan kondisi awal menunjukkan bahwa proses PSA cukup efektif dalam mengurangi impuritas pada aliran produk.

Dikarenakan adsorben yang digunakan *activated alumina* dan *silica gel* dapat menyebabkan faktor kemurniannya tidak tinggi, hal ini karena *activated alumina* mengadsorpsi H_2O dan karbon dioksida CO_2 karena memiliki luas permukaannya yang sangat tinggi [21] dan *silica gel* memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang tinggi, sehingga *silica gel* efektif untuk mengikat H_2O dan CO_2 [26]. Sehingga adsorben *silica gel* dan *activated alumina* kurang selektif untuk CO menjadi faktor masih mengandung impuritas yang cukup banyak [31]. Jika waktu adsorpsi terlalu singkat, pemisahan mungkin kurang optimal. Tetapi waktu adsorpsi 120 detik memberikan durasi kontak yang cukup agar permukaan adsorben mengikat impuritas secara signifikan pada tekanan operasi 60 psi, sehingga pemurnian H_2 menjadi terlihat jelas.



Gambar 4. Grafik Kemurnian Hidrogen Waktu Adsorpsi 120 Detik

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, proses pemurnian hidrogen menggunakan metode Pressure Swing Adsorption (PSA) pada waktu adsorpsi 120 detik dengan tekanan 60 psi serta kombinasi adsorben silica gel pada bed pertama dan activated alumina pada bed kedua mampu meningkatkan kemurnian hidrogen dari 49% menjadi 67%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem PSA cukup efektif dalam mengurangi kandungan pengotor berupa CO dan CO₂, meskipun masih terdapat fraksi CO yang cukup tinggi pada aliran keluaran. Dengan demikian, metode PSA dapat dikatakan cukup berhasil meningkatkan kualitas hidrogen, namun diperlukan optimasi lebih lanjut, baik dari segi variasi waktu adsorpsi, maupun pemilihan jenis adsorben, untuk memperoleh hidrogen dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi sesuai kebutuhan aplikasi energi bersih.

Daftar Pustaka

- [1] A. F. Al-Basith, R. C. Devara, I. Hukum, F. Hukum, And U. Andalas, "Optimalisasi Pemanfaatan Green Hydrogen Dalam Menunjang Pengadaan Fuel Cell Electric Vehicle Melalui Pembaharuan Ruu Ebt," Vol. 5, Pp. 91–101, 2024.
- [2] N. Sinaga And E. Manullang, "Potential And Challenges Of Hydrogen Development As New Renewable Energy In Indonesia Potential And Challenges Of Hydrogen Development As New Renewable Energy In Indonesia," No. October, 2022, Doi: 10.21070/Rem.V7i2.1647.
- [3] A. W. Dewi, M. K. Adam, A. Y. U. Pipit, And L. Andjani, "Spatial Review For Sustainable Development Kajian Potensi Pengembangan Teknologi Hidrogen Sebagai Sumber Ebt Melalui Skema Cdm Dalam Mendukung Pencapaian Ndc Indonesia," Vol. 1, No. 2, 2024.
- [4] A. Ajanovic, M. Sayer, And R. Haas, "The Economics And The Environmental Benignity Of Different Colors Of Hydrogen," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 47, No. 57, Pp. 24136–24154, 2022, Doi: 10.1016/J.Ijhydene.2022.02.094.
- [5] G. Alfani, "Pengaruh Gas Hidrogen Dari Larutan Sodium Hidroksida Terhadap Emisi Buang Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor," *J. Simetrik*, Vol. 11, No. 1, Pp. 417–421, 2021, Doi: 10.31959/Js.V11i1.674.
- [6] P. Pemanfaatan, C. O. Dan, T. Sutardi, And H. Budiman, "Sebagai Bahan Bakar Alternatif," Pp. 31–38, 2020.
- [7] S. Sharma And S. K. Ghoshal, "Hydrogen The Future Transportation Fuel: From Production To Applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 43, Pp. 1151–1158, 2015, Doi: 10.1016/J.Rser.2014.11.093.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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 H₂ Recovery From Coal Gas," *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 68, No. 1, Pp. 413–423, 2012, Doi: 10.1016/J.Ces.2011.09.053.
- [11] L. Tong, P. Bénard, Y. Zong, R. Chahine, K. Liu, And J. Xiao, "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.
- [12] K. S. Knaebel, "Adsorbent Selection Dublin , Ohio 43016.," 2004.
- [13] N. Zhang, J. Xiao, P. Bénard, And R. Chahine, "Single- And Double-Bed Pressure Swing Adsorption Processes For H₂/Co Syngas Separation," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 44, No. 48, Pp. 26405–26418, 2019, Doi: 10.1016/J.Ijhydene.2019.08.095.
- [14] H. T. Oh, S. J. Lim, J. H. Kim, And C. H. Lee, "Adsorption Equilibria Of Water Vapor On An Alumina/Zeolite 13x Composite And Silica Gel," *J. Chem. Eng. Data*, Vol. 62, No. 2, Pp. 804–811, 2017, Doi: 10.1021/Acs.Jced.6b00850.
- [15] F. Dawood, M. Anda, And G. M. Shafiullah, "Hydrogen Production For Energy: An Overview," *Int. J. Hydrogen Energy*, Vol. 45, No. 7, Pp. 3847–3869, 2020, Doi: 10.1016/J.Ijhydene.2019.12.059.
- [16] M. A. Rosen And S. Koohi-Fayegh, "The Prospects For Hydrogen As An Energy

- Carrier: An Overview Of Hydrogen Energy And Hydrogen Energy Systems,” *Energy, Ecol. Environ.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 10–29, 2016, Doi: 10.1007/S40974-016-0005-Z.
- [17] A. Pareek, R. Dom, J. Gupta, J. Chandran, V. Adepu, And P. H. Borse, “Insights Into Renewable Hydrogen Energy: Recent Advances And Prospects,” *Mater. Sci. Energy Technol.*, Vol. 3, Pp. 319–327, 2020, Doi: 10.1016/J.Mset.2019.12.002.
- [18] New York State Energy Research And Development Authority, “Hydrogen Fact Sheet Hydrogen Production – Steam Methane Reforming (Smr),” P. 4, 2004, [Online]. Available: [Www.Nyserda.Org](http://www.nyserda.org)
- [19] A. Bahadori And T. Kashiwao, “Modeling And Analysis Of Hydrogen Production In Steam Methane Reforming (Smr) Process,” *Pet. Sci. Technol.*, Vol. 37, No. 12, Pp. 1425–1435, 2019, Doi: 10.1080/10916466.2019.1587466.
- [20] R. Elshout, “Hydrogen Production By Steam Reforming,” *Chem. Eng.*, Vol. 117, No. 5, Pp. 34–38, 2010.
- [21] T. I. Asmadi, Aswandi., S.P. Abrina Anggraini, “Pra Rancang Bangun Gas Hidrogen Menggunakan Sistem Psa Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Kapasitas 596 Ton/Tahun Menggunakan Alat Utama Reaktor,” *Eureka J. Penelit. Mhs. Tek. Sipil Dan Tek. Kim.*, Vol. 2, No. 2, Pp. 252–258, 2018, [Online]. Available: [Https://Publikasi.Unitri.Ac.Id/Index.Php/Teknik/Article/View/1153](https://Publikasi.Unitri.Ac.Id/Index.Php/Teknik/Article/View/1153)
- [22] Bonardo S., H. Ambarita, T. B. Sitorus, D. M. Nasution, And S. Gultom, “Pengujian Kemampuan Adsorpsi Dari Adsorben Karbon Aktif Untuk Mesin Pendingin Tenaga Surya,” *Dinamis*, Vol. 6, No. 1, P. 15, 2018, Doi: 10.32734/Dinamis.V6i1.7097.
- [23] D. N. K. P. Negara, T. G. T. Nindhia, I. W. Surata, And M. Sucipta, “Potensi Bambu Swat (*Gigantochloa Verticillata*) Sebagai Material Karbon Aktif Untuk Adsorbed Natural Gas,” *J. Energi Dan Manufaktur*, Vol. 9, No. 2, Pp. 174–179, 2016, [Online]. Available: [Http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jem](http://Ojs.Unud.Ac.Id/Index.Php/Jem)
- [24] D. N. K. P. Negara, T. G. T. Nindhia, I. W. Surata, F. Hidajat, And M. Sucipta, “Nanopore Structures, Surface Morphology, And Adsorption Capacity Of Tabah Bamboo-Activated Carbons,” *Surfaces And Interfaces*, Vol. 16, No. February, Pp. 22–28, 2019, Doi: 10.1016/J.Surfin.2019.04.002.
- [25] W. A. Prasajo And S. Muljani, “Kajian Adsorpsi Logam Cu Dengan Adsorben Silika Gel,” *Mat. Ilmu Pengetah. Alam, Kebumian Dan Angkasa*, Vol. 2, No. 5, Pp. 115–125, 2024, [Online]. Available: [Https://Doi.Org/10.62383/Algoritma.V2i5.163](https://doi.org/10.62383/Algoritma.V2i5.163)
- [26] A. B. Azilah, A. Filzah, D. Liana, N. E. Salam, And M. A. N. K. Makassar, “Uji Efektivitas Silika Gel Dari Sekam Padi Dan Ampas Kopi Sebagai Adsorben,” No. September, Pp. 748–755, 2024.
- [27] D. Novitasari *Et Al.*, “1189-2359-1-Sm,” Vol. 1, No. 1, Pp. 534–539, 2012.
- [28] M. Safaat *Et Al.*, “Analisis Kemurnian Oksigen Pada Sistem Pressure Swing Adsorption (Psa) Dengan Penambahan Massa Material Adsorbent Zeolit 13x (600 , 700 Dan Issn 2549-2888 Jurnal Teknik Mesin : Vol . 12 , No . 3 , Oktober 2023 Issn 2549-2888,” Vol. 12, No. 3, 2023.
- [29] V. D. Pratiwi And R. Handogo, “Simulation Of Hydrogen Purification Using Two Bed System Pressure Swing Adsorption,” Pp. 14–18, 2016.
- [30] H. Li, Z. Liao, J. Sun, B. Jiang, J. Wang, And Y. Yang, “Modelling And Simulation Of Two-Bed Psa Process For Separating H2 From Methane Steam Reforming,” *Chinese J. Chem. Eng.*, Vol. 27, No. 8, Pp. 1870–1878, 2019, Doi: 10.1016/J.Cjche.2018.11.022.
- [31] J. C. M. Pires, F. G. Martins, M. C. M. Alvim-Ferraz, And M. Simões, “Recent Developments On Carbon Capture And Storage: An Overview,” *Chem. Eng. Res. Des.*, Vol. 89, No. 9, Pp. 1446–1460, 2011, Doi: 10.1016/J.Cherd.2011.01.028.

	Nila Nurisnaini menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana, dari tahun 2021 hingga 2025, dengan fokus utama pada bidang konversi energi.
--	--