



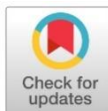
**PEMBUATAN NANOSILIKON DARI HASIL EKSTRAKSI SILIKA
SEKAM PADI DAN PEMANFAATAN ALUMINIUM DARI LIMBAH
KALENG MINUMAN UNTUK SINTESIS GAS HIDROGEN**

Dea Amelia Putri, Robert Junaidi*, Cindi Ramayanti

Jurusan Teknik Kimia, Program Studi D4 Teknologi Kimia Industri, Politeknik
Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Kec. Ilir Bar. I, Kota
Palembang, Sumatera Selatan – 30139

Korespondensi : e-mail: Robert.junaidi@polsri.ac.id

*Received: 08th Oktober 2025; Revised: 31th Oktober 2025; Accepted: 08th November 2025;
vailable online: November 2022; Published regularly: November 2025*



Abstrak

Krisis energi global serta meningkatnya jumlah limbah pertanian seperti sekam padi mendorong pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan silika dari sekam padi sebagai bahan baku pembuatan nanosilikon yang kemudian digunakan dalam sintesis gas hidrogen. Ekstraksi silika dilakukan dengan larutan NaOH 1 M dan diendapkan menggunakan HCl, kemudian direduksi secara aluminotermal menggunakan serbuk aluminium dari limbah kaleng minuman. Proses reduksi dilakukan dengan rasio Al:SiO₂ sebesar 1:1, 1,5:1, dan 2:1 pada suhu 650°C selama 3 jam. Hasil silikon dimurnikan menggunakan larutan HCl 2 M dan dikarakterisasi menggunakan XRF dan FTIR. Komposisi silikon tertinggi tercatat sebesar 53,70 ppm pada rasio 1,5:1, dengan gugus fungsi utama Si-Si (500–520 cm⁻¹), Al-O-Si (600–700 cm⁻¹), dan Si-O-Si (1300–1050 cm⁻¹). Silikon hasil reduksi digunakan dalam proses sintesis gas hidrogen menggunakan reaktor semi-batch pada suhu 90°C selama 20 menit dengan variasi konsentrasi NaOH 3–4,5 M. Volume gas hidrogen tertinggi sebesar 79,40% diperoleh pada rasio Al:SiO₂ 2:1 dan konsentrasi NaOH 4,5 M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rasio reduktor dan konsentrasi basa meningkatkan efisiensi produksi gas hidrogen. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah pertanian dan aluminium dapat menjadi solusi potensial dalam pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Kata Kunci: *Silika, Sekam padi, Aluminium, Nanosilikon, Gas hidrogen, Reduksi aluminotermal, Energi terbarukan.*

<https://doi.org/10.29103/jtku.v14i2.25317>



1. Pendahuluan

Indonesia menghadapi krisis energi akibat pertumbuhan penduduk yang terus meningkat, sehingga berdampak langsung pada konsumsi bahan bakar. Energi fosil yang selama ini menjadi sumber utama bersifat tidak terbarukan, menyebabkan cadangannya semakin menipis. Sementara itu, tuntutan terhadap kualitas lingkungan yang lebih baik mendorong para ahli energi untuk mencari sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Hidrogen berpotensi menjadi alternatif bahan bakar di masa depan. Produksi hidrogen dapat dilakukan melalui proses biologi maupun kimia. Secara biologis, teknik bioteknologi memanfaatkan organisme hidup untuk menghasilkan atau memodifikasi suatu produk serta meningkatkan karakteristiknya agar lebih sesuai untuk berbagai keperluan, seperti pangan, farmasi, dan energi (Safitry & Widodo, 2024). Pemanfaatan limbah pertanian, khususnya sekam padi, sebagai sumber energi alternatif telah menjadi fokus penelitian di Indonesia. Sekam padi, yang merupakan limbah penggilingan padi, mengandung silika (SiO_2) dalam jumlah signifikan, mencapai 77,044% (Candra dkk., 2023). Sekam padi mengandung silika (SiO_2) dalam jumlah signifikan, mencapai 86,90-97,30% setelah pembakaran (Trivana dkk., 2015). Ekstraksi silika dari abu sekam padi umumnya dilakukan melalui proses ekstraksi padat-cair menggunakan larutan alkali seperti KOH atau NaOH, diikuti dengan pengendapan menggunakan asam untuk memperoleh silika murni (Agung dkk., 2013).

Pada penelitian ini menggunakan variasi silika dan aluminium dengan berat 2 gr – 6 gr dengan perbandingan 1:1 lalu dimasukkan ke dalam reaktor bersama dengan aquadest untuk di reaksikan bersama larutan natrium hidroksida (NaOH) sebanyak 5 mL selama 30 menit dan mendapatkan hasil terbaik pada variasi berat silika dan aluminium 6 gram yang dengan memperoleh gas hidrogen tertinggi yaitu sebesar 38% dan 41% (Setiawan dkk., 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio 1:1 antara silika dan aluminium merupakan kondisi yang paling efektif untuk membentuk nanosilikon, yang dapat meningkatkan produksi gas hidrogen secara optimal. Selain itu, konsentrasi NaOH sebesar 3,5 M – 4 M diketahui mampu meningkatkan efisiensi reaksi ini. Oleh karena itu, penulis ingin

melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan metode ekstraksi silika yang lebih efisien, menganalisis kinerja berbagai jenis logam pereduksi, serta menentukan parameter terbaik agar proses produksi hidrogen ini lebih optimal dan berkelanjutan.

2. Bahan dan Metode

Proses penelitian diawali dengan preparasi sekam padi, yaitu memanaskan 800 g sekam padi dalam air mendidih bersuhu 100°C selama 3 jam untuk menghilangkan kandungan organik yang larut, kemudian disaring, dikeringkan, dan dipanaskan dalam furnace pada suhu 900°C selama 3 jam. Preparasi sampel aluminium dari limbah kaleng minuman dilakukan dengan memotong bagian atas dan bawah kaleng yang tidak dilapisi cat, kemudian dihaluskan menggunakan pengikir besi hingga menjadi serbuk, diayak dengan ukuran 80 mesh, dan ditimbang hasilnya. Pembuatan larutan dilakukan dengan melarutkan 39,99 g NaOH untuk menghasilkan NaOH 1 M dalam labu ukur 1000 mL, serta mengencerkan 16,58 mL HCl 37% untuk menghasilkan HCl 2 M dalam labu ukur 100 mL; selain itu dibuat larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 3 M, 3,5 M, 4 M, dan 4,5 M masing-masing dengan melarutkan 12,00 g; 14,00 g; 16,00 g; dan 18,00 g dalam labu ukur 100 mL. Ekstraksi silika dilakukan dengan merendam 70 g abu sekam padi dalam 120 mL larutan NaOH 1 M pada suhu 80°C dengan pengadukan 150 rpm selama 2 jam, kemudian filtrat yang diperoleh ditambahkan HCl 1 M hingga pH mencapai 7 untuk menghasilkan endapan silika yang kemudian disaring, dicuci dengan aquadest panas, dan dikeringkan pada suhu 110°C selama 2 jam. Isolasi silikon dengan metode metalotermal sederhana dilakukan dengan mencampurkan silika murni dengan bubuk aluminium masing-masing 20, 30, dan 40 g, dengan perbandingan Al:silika 1:1, 1,5:1, dan 2:1, lalu difurnace pada suhu 650°C selama 3 jam. Pemurnian silikon dilakukan dengan mereaksikan hasil isolasi dengan 100 mL larutan HCl 2 M pada suhu 80°C sambil diaduk selama 3 jam, kemudian disaring, dicuci dengan aquadest hingga pH netral, dikeringkan pada suhu 100°C, dan dianalisis menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) serta Fourier Transform Infrared (FTIR). Selanjutnya, aplikasi silikon untuk pembuatan hidrogen

dilakukan dengan mereaksikan silikon dalam Catalytic Loop Semi-Batch Circulation Reactor menggunakan 50 mL NaOH 1 M pada suhu 90°C selama 20 menit, di mana gas hidrogen yang dihasilkan ditampung dalam urine bag dan dianalisis menggunakan Multigas Detector Analyzer.

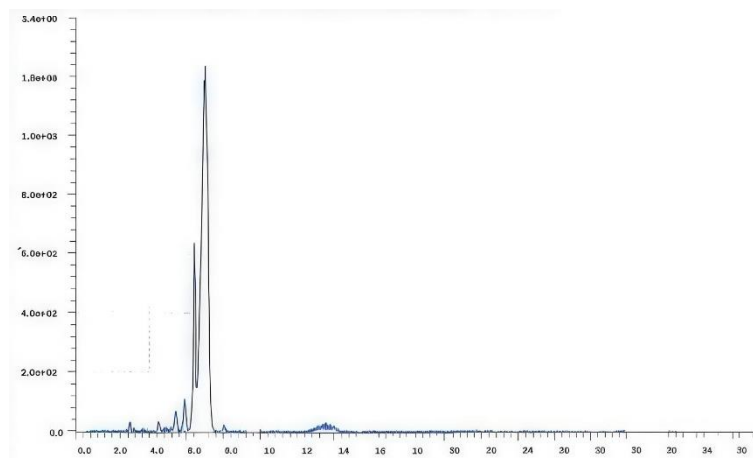
3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Analisa Silikon Berdasarkan XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Analisis XRF merupakan karakterisasi unsur yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur kandungan unsur kimia dalam sampel. Dalam penelitian ini, XRF digunakan untuk mengetahui kadar unsur silikon (Si) hasil dari proses reduksi silika (SiO_2) dengan aluminium (Al). Selain itu, XRF juga digunakan untuk mendeteksi keberadaan sisa aluminium maupun unsur pengotor lainnya seperti besi (Fe), kalsium (Ca), dan kalium (K), yang dapat memengaruhi kemurnian silikon.

Hasil analisis XRF terhadap sampel perbandingan 1,5 : 1 menunjukkan bahwa kandungan silikon terdeteksi dalam jumlah yang cukup tinggi, dengan konsentrasi tertinggi mencapai 53.7086 ppm. Analisa ini mengindikasikan bahwa proses reduksi silika telah berhasil mengkonversi sebagian besar senyawa SiO_2 menjadi silikon murni. Kandungan silikon yang tinggi tersebut mendukung potensi nanosilikon sebagai material aktif dalam reaksi katalitik untuk produksi gas hidrogen (H_2).

Unsur aluminium masih terdeteksi dalam jumlah yang cukup signifikan pada sampel perbandingan 1,5:1, yaitu sebesar 1.2457 ppm. Keberadaan aluminium dalam jumlah tersebut mengindikasikan bahwa proses pemurnian yang dilakukan setelah tahap reduksi belum sepenuhnya efektif dalam menghilangkan residu aluminium dari produk akhir. Aluminium yang terdeteksi ini dapat disebabkan oleh keberadaan residu bahan baku, seperti aluminium atau silika, yang tidak seluruhnya terlibat dalam reaksi reduksi di mana serbuk aluminium ditambahkan sebagai agen pereduksi untuk mengubah silika (SiO_2) menjadi silikon (Si). Dapat diamati pada gambar 3.1 Grafik hasil Analisa XRF.



Gambar 3.1. Grafik Hasil Analisa XRF

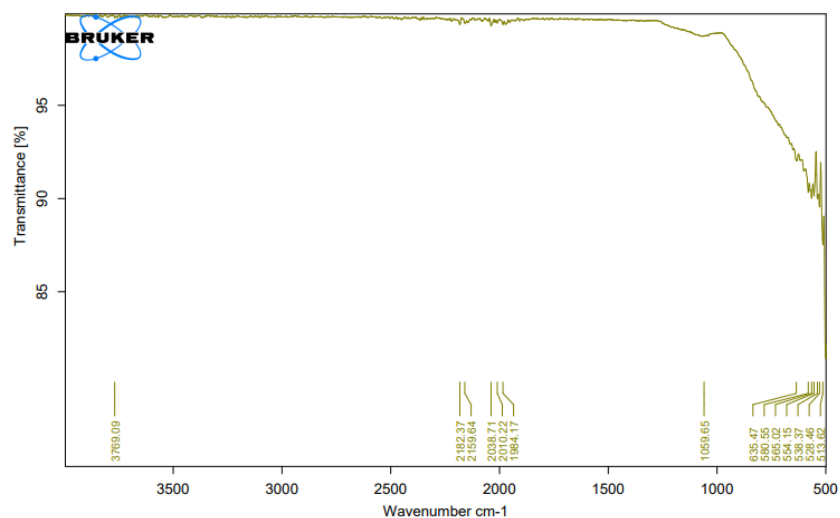
3.2 Hasil Analisa Silikon Berdasarkan FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) digunakan dalam penelitian ini untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang masih terdapat pada sampel setelah proses reduksi. FTIR merupakan teknik analisis yang sensitif terhadap getaran molekul dan dapat memberikan informasi mengenai ikatan kimia spesifik yang terdapat dalam suatu senyawa, khususnya dalam senyawa anorganik seperti silika (SiO_2) dan hasil turunannya. Berdasarkan hasil spektrum FTIR yang diperoleh dan ditampilkan pada Gambar 4.2, dapat diamati hasil grafik FTIR pada sampel silikon yang berasal dari campuran aluminium dan silika menunjukkan pola spektrum yang baik dan representatif. Puncak serapan yang jelas pada bilangan gelombang sekitar $1059,65 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya gugus Si–O–Si, yang merupakan ciri khas dari struktur silika. Selain itu, keberadaan puncak pada kisaran $513,62 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terbentuknya ikatan Si–Si, yang menandakan keberhasilan reduksi silika menjadi silikon elemental. Kemunculan puncak tambahan pada daerah $638,46 \text{ cm}^{-1}$ juga mendukung terbentuknya ikatan Al–O–Si, sebagai hasil interaksi antara aluminium dengan silika, membentuk struktur aluminosilikat.

Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa pada silika hasil reduksi dengan aluminium, intensitas puncak Si–O–Si akan menurun dan puncak-puncak baru yang berkaitan dengan Si–Si akan mulai muncul pada rentang $500\text{--}520 \text{ cm}^{-1}$. Reduksi silika dari sekam padi dengan aluminium

dapat menghasilkan silikon elemental dengan kemurnian tinggi, dan ditandai dengan hilangnya sebagian besar pita Si–O–Si serta munculnya karakteristik pita Si–Si dalam spektrum FTIR. Dengan demikian, spektrum FTIR yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat baik dan konsisten dengan literatur, memperkuat bahwa proses sintesis dan reduksi telah berlangsung efektif dalam menghasilkan silikon dari bahan baku silika dan aluminium (Dewi dkk., 2020).

Proses aluminotermal menghasilkan silikon dengan spektrum FTIR yang relatif datar, yang menandakan hilangnya gugus siloksan akibat reduksi. Dengan demikian, analisis FTIR ini memberikan indikasi bahwa reaksi aluminotermal yang dilakukan dalam penelitian ini berhasil mengubah sebagian besar silika menjadi silikon, meskipun belum mencapai kemurnian penuh. Dapat dilihat pada gambar 3.2 grafik analisa FTIR.

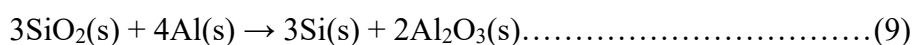


Gambar 3.2 Grafik Analisa FTIR

3.3 Pengaruh Penambahan Rasio Aluminium terhadap Persen Volume (% vol) Gas Hidrogen

Berdasarkan hasil percobaan yang telah dilakukan, diketahui bahwa peningkatan rasio massa aluminium terhadap silika (Al/SiO_2) memberikan kontribusi signifikan jumlah gas hidrogen yang terbentuk. Reaksi antara aluminium dan silika merupakan reaksi reduksi aluminotermik, di mana aluminium bertindak

sebagai reduktan kuat yang mampu mereduksi silika (SiO_2) menjadi silikon (Si). Reaksi ini berlangsung pada suhu tinggi, umumnya di atas 600°C - 800°C , dan menghasilkan silikon elemental serta aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai produk samping. Dalam reaksi ini, aluminium menarik oksigen dari silika, sehingga ikatan Si–O terpecah dan terbentuklah silikon bebas. Reaksi ini bersifat eksotermis dan dapat berlangsung tanpa tambahan bahan bakar apabila proporsinya tepat. Secara kimia, reaksi ini dituliskan sebagai berikut:



Pada rasio 1:1, volume gas hidrogen yang dihasilkan berkisar antara 59,40% hingga 64,80%. Ketika rasio ditingkatkan menjadi 1,5:1, terjadi peningkatan volume gas yang cukup tajam, dengan nilai tertinggi mencapai 77,00%. Tren kenaikan serupa juga terlihat pada rasio 2:1, di mana volume gas hidrogen maksimum tercatat sebesar 79,40%. Data ini divisualisasikan dalam Gambar 3.3.

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat adanya hubungan linier antara peningkatan rasio aluminium terhadap silika dengan jumlah gas hidrogen yang dihasilkan. Semakin tinggi rasio perbandingan aluminium dalam campuran, semakin besar pula persentase hidrogen yang terbentuk. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya jumlah reaktan aktif (Al dan SiO_2) yang tersedia untuk bereaksi. Ketika jumlah reaktan bertambah, maka jumlah mol aluminium yang dapat bereaksi dengan larutan basa juga meningkat, sehingga mendorong pelepasan gas hidrogen yang lebih besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Wahyuni dkk. (2017) menunjukkan bahwa limbah kaleng aluminium dapat dimanfaatkan sebagai sumber logam reaktif, yang kemudian direaksikan dengan larutan NaOH pada konsentrasi berbeda (2N–6N). Hasilnya, volume gas hidrogen tertinggi tercatat ketika 2 gram aluminium digunakan bersama larutan NaOH 6N, yaitu sebesar 1,0818 liter dalam waktu 43 menit (Setiawan dkk., n.d.).

Dalam reaksi tersebut, penambahan jumlah aluminium secara langsung meningkatkan laju reaksi dan volume gas hidrogen yang dihasilkan. Sementara itu,

silika (SiO_2) berperan sebagai media pendukung yang tidak ikut bereaksi membentuk hidrogen, tetapi tetap memiliki fungsi penting, seperti menyebarkan panas reaksi, membantu distribusi partikel aluminium, dan menjaga agar permukaan aluminium tetap terbuka dan aktif di dalam larutan. Oleh karena itu, penggunaan aluminium dalam jumlah lebih banyak yang dipadukan dengan silika sebagai pendukung dapat meningkatkan efisiensi produksi gas hidrogen.

3.4 Pengaruh Konsentrasi Larutan NaOH terhadap Persen Volume (% vol) Gas Hidrogen

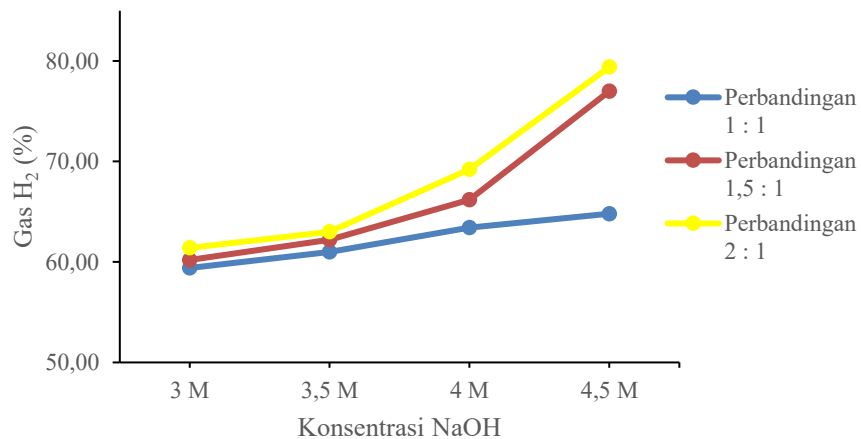
Penggunaan NaOH berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, diketahui bahwa variasi konsentrasi larutan NaOH memberikan dampak nyata terhadap jumlah gas hidrogen yang terbentuk selama proses reaksi berlangsung. Seluruh percobaan dilakukan pada suhu tetap 90°C selama 20 menit, dengan rentang konsentrasi larutan NaOH mulai dari 3 M hingga 4,5 M. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi basa berkorelasi positif terhadap peningkatan volume gas hidrogen yang dihasilkan. Pada konsentrasi terendah yaitu 3 M, volume gas hidrogen yang dihasilkan berada pada kisaran 59,40% hingga 61,40%. Ketika konsentrasi ditingkatkan menjadi 3,5 M, volume gas hidrogen mengalami sedikit peningkatan menjadi antara 61,00% hingga 63,00%. Kenaikan yang lebih signifikan tercatat saat digunakan larutan NaOH 4 M, di mana volume gas hidrogen yang terbentuk berkisar antara 63,40% hingga 69,20%. Adapun hasil paling optimal tercapai pada konsentrasi 4,5 M, di mana volume hidrogen yang dihasilkan mencapai nilai tertinggi sebesar 79,40%.

Fenomena gas hidrogen pada reaksi antara aluminium dan air dalam media basa dapat dijelaskan melalui mekanisme reaksi redoks. Dalam sistem ini, aluminium bertindak sebagai agen pereduksi yang mengalami oksidasi menjadi ion Al^{3+} , sementara air mengalami reduksi menghasilkan gas hidrogen (H_2). Ion hidroksida (OH^-) dari larutan NaOH berperan penting dalam melarutkan lapisan pasif aluminium oksida (Al_2O_3) yang terbentuk di permukaan logam, sehingga membuka permukaan aktif aluminium dan mempercepat laju reaksi. Secara keseluruhan, reaksi ini menunjukkan bahwa aluminium memiliki potensi tinggi sebagai bahan

reaktan untuk menghasilkan gas hidrogen melalui reaksi redoks dalam kondisi basa (Fogler, 2016). Reaksi kimia yang terjadi dapat digambarkan sebagai berikut:



Peningkatan konsentrasi NaOH menghasilkan lebih banyak ion OH⁻ dalam sistem reaksi, yang secara langsung meningkatkan laju reaksi dan volume gas H₂ yang dihasilkan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa konsentrasi basa memiliki peran krusial sebagai pengendali utama efisiensi produksi gas hidrogen. Selain mempercepat reaksi, larutan NaOH juga bertindak sebagai media penghantar dan penstabil lingkungan reaksi agar tetap berada dalam kondisi optimal. Hasil penelitian ini sejalan dengan (Zhang dkk.,2021), yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan alkali mampu mempercepat laju reaksi aluminium-air secara signifikan, menghasilkan gas hidrogen dalam jumlah lebih besar. Dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh Rasio Alumunium dan Pengaruh Konsentrasi Larutan NaOH terhadap Persen Volume (% vol) Gas Hidrogen.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dalam sistem reaksi berperan penting dalam memaksimalkan produksi gas hidrogen. Konsentrasi sebesar 4,5 M terbukti menjadi titik optimum dalam

percobaan ini, dengan efisiensi tertinggi yang ditunjukkan oleh volume gas H₂ yang hampir menyentuh angka 80.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa kandungan silikon tertinggi dalam produk akhir mencapai 53,70 ppm dengan residu aluminium sebesar 1,24 ppm, yang menunjukkan bahwa proses reduksi telah berlangsung cukup baik meskipun masih diperlukan tahap pemurnian lanjutan untuk meningkatkan kemurnian silikon. Analisis FTIR juga mengonfirmasi adanya puncak serapan khas dari struktur silikon dan aluminosilikat, yaitu gugus Si–O–Si, Al–O–Si, dan Si–Si. Selain itu, peningkatan rasio Al : SiO₂ terbukti berpengaruh signifikan terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan, dengan produksi tertinggi sebesar 79,40% pada rasio 2:1, sedangkan konsentrasi NaOH 4,5 M memberikan hasil serupa dengan persentase volume gas H₂ tertinggi mencapai 79,40%. Temuan ini menunjukkan bahwa optimasi kondisi reaksi, baik rasio pereaksi maupun konsentrasi basa, sangat menentukan efisiensi pembentukan hidrogen. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pemurnian silikon lebih lanjut melalui metode seperti acid leaching atau elektrokimia, variasi suhu dan waktu reaksi yang lebih luas, serta pengembangan reaktor kontinyu untuk skala industri. Selain itu, analisis kelayakan ekonomi dan dampak lingkungan juga perlu dilakukan guna mendukung keberlanjutan proses produksi hidrogen berbasis silikon.

5. Daftar Pustaka

- Agung, G. F., Hanafie, M. R., & Mardina, P. (2013). Ekstraksi Silika Abu Sekam Padi Dengan Pelarut KOH. *Konversi*, 2(1), 28–31.
- Candra, Puspita, S., Tresnandika, R., Wulandari, & Andre, V. (2023). Ekstraksi dan Karakterisasi Silika dari Sekam Padi Asal Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Terapan*, 1(November), 78–81.
- Dewi, R., Agusnar, H., Alfian, Z., & Tamrin. (2018). Characterization of technical kaolin using XRF, SEM, XRD, FTIR and its potentials as industrial raw

- materials. Journal of Physics: Conference Series, 1116(4).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1116/4/042010>
- Fogler, H. S. (2016). Elements of Chemical Reaction Engineering, Printice- Hall International Editions. In Chemical Engineering Science.
- Safitry, D. E. K. A., & Widodo, H. (2024). *Pembentukan hidrogen dari koh menggunakan katalis aluminium foil dari limbah bungkus rokok. 1(2)*.
- Setiawan, F. K., Junaidi, R., & Ekawati, L. 2024. (n.d.). Pembuatan Gas Hidrogen Dari Silika Hasil Ekstraksi Bottom Ash Batubara Dan Serbuk Alumunium Limbah Kaleng Minuman. September 2024.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2024.24342>
- Trivana, L., Sugiarti, S., & Rohaeti, E. (2015). Sintesis Dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) Dari Sekam Padi. Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan, 7(2), 66–75. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol7.iss2.art1>
- Wahyuni, S., Hakim, L., & Hasfita, F. (2018). Pemanfaatan Limbah Kaleng Minuman Aluminium sebagai Penghasil Gas Hidrogen menggunakan Katalis Natrium Hidroksida (NaOH). Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 6(2), 31. <https://doi.org/10.29103/jtku.v6i2.473>
- Zhang, Y., Tao, Y., Huang, J., & Williams, P. (2017). Influence of silica–alumina support ratio on H_2 production and catalyst carbon deposition from the Ni-catalytic pyrolysis/reforming of waste tyres. Waste Management and Research, 35(10), 1045–1054. <https://doi.org/10.1177/0734242X17722207>