

PEMANFAATAN LIMBAH TATAL ALUMINIUM DALAM PRODUKSI GAS HIDROGEN DENGAN KATALIS NaOH

Nadya Sisil Oktaviani*, Aurel Shalom Harinca,

Robert Junaidi, Cindi Ramayanti

Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknologi Kimia Industri Politeknik Negeri

Siwijaya Bukit Besar Palembang

*E-mail: nadya.oktvn0942@gmail.com

Abstract

The global energy crisis and rising greenhouse gas emissions are driving the search for clean and sustainable alternative energy sources. However, conventional hydrogen production still relies on fossil fuels, so more efficient and environmentally friendly methods are needed. Hydrogen as a clean energy source has the potential to reduce carbon emissions and support the net zero emission (NZE) target, in line with the National Energy Policy which targets 23% of the energy mix from renewable sources by 2025. One promising approach is the utilization of aluminum scroll waste as a source of hydrogen. This waste is largely generated from the manufacturing industry, especially from the casting, cutting, and turning processes of aluminum. By utilizing aluminum scroll waste for hydrogen production, it not only provides an alternative energy source, but also helps to reduce the volume of solid waste that pollutes the environment. The reaction between aluminum and water can produce hydrogen gas, but this reaction is hampered by the presence of a protective oxide layer on the surface of the aluminum. To overcome this obstacle it is necessary to use a catalyst to accelerate the reaction by dissolving the oxide layer and increasing the rate of hydrogen release. This study examined the production of hydrogen gas through the reaction of waste aluminum with NaOH, with variations in temperature and mass of aluminum. The results show that the reaction temperature has a significant effect on the rate and volume of hydrogen produced. The highest yield of 5.96% was achieved at 90°C and 20 grams of aluminum. The reaction is more efficient at high temperatures, but the increase in the mass of aluminum does not necessarily increase the yield due to the limitation of NaOH and the formation of a passive layer. The utilization of aluminum waste is proving promising as an alternative energy solution and solid waste reduction.

Keywords: Hydrogen; Aluminum; NaOH; Hydrogen Gas

Abstrak

Krisis energi global dan peningkatan emisi gas rumah kaca mendorong pencarian sumber energi alternatif yang bersih dan berkelanjutan. Namun, produksi hidrogen yang konvensional masih bergantung pada bahan bakar fosil, sehingga diperlukan metode yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Hidrogen sebagai sumber energi bersih berpotensi mengurangi emisi karbon dan mendukung target net zero emission (NZE), sejalan dengan Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan 23% bauran energi dari sumber terbarukan pada 2025. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan limbah tatal aluminium sebagai sumber hidrogen. Limbah ini

banyak dihasilkan dari industri manufaktur, terutama dari proses pengecoran, pemotongan, dan pembubutan aluminium. Pemanfaatan limbah tatal aluminium untuk produksi hidrogen, tidak hanya menyediakan sumber energi alternatif, tetapi juga membantu mengurangi volume limbah padat yang mencemari lingkungan. Reaksi antara aluminium dan air dapat menghasilkan gas hidrogen, namun reaksi ini terhambat oleh adanya lapisan oksida pelindung pada permukaan aluminium. Untuk mengatasi hambatan ini perlu menggunakan katalis agar dapat mempercepat reaksi dengan melarutkan lapisan oksida tersebut dan meningkatkan laju pelepasan hidrogen. Penelitian ini mengkaji produksi gas hidrogen melalui reaksi limbah aluminium dengan NaOH, dengan variasi suhu dan massa aluminium. Hasil menunjukkan bahwa suhu reaksi berpengaruh signifikan terhadap laju dan volume hidrogen yang dihasilkan. Yield tertinggi sebesar 5,96% dicapai pada suhu 90°C dan 20 gram aluminium. Reaksi lebih efisien pada suhu tinggi, namun peningkatan massa aluminium tidak selalu meningkatkan yield karena keterbatasan NaOH dan terbentuknya lapisan pasif. Pemanfaatan limbah aluminium terbukti menjanjikan sebagai solusi energi alternatif dan pengurangan limbah padat.

Kata Kunci : Hidrogen; Aluminium; NaOH; Gas Hidrogen

1. Pendahuluan

Krisis energi global dan peningkatan emisi gas rumah kaca mendorong pencarian sumber energi alternatif yang bersih dan berkelanjutan. Hidrogen menjadi salah satu kandidat utama sebagai bahan bakar ramah lingkungan karena hanya menghasilkan air sebagai produk samping pembakarannya [1]. Namun, produksi hidrogen yang konvensional masih bergantung pada bahan bakar fosil, sehingga diperlukan metode yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Hidrogen sebagai sumber energi bersih berpotensi mengurangi emisi karbon dan mendukung target *net zero emission* (NZE), sejalan dengan Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan 23% bauran energi dari sumber terbarukan pada 2025 serta berkontribusi pada penurunan emisi sebesar 29% pada 2030 [2].

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan limbah tatal aluminium sebagai sumber hidrogen. Limbah ini banyak dihasilkan dari industri manufaktur, terutama dari proses pengecoran, pemotongan, dan pembubutan aluminium. Jika tidak dikelola dengan baik, limbah tatal aluminium dapat mencemari lingkungan dan berpotensi menyebabkan masalah kesehatan akibat partikel logam yang tersebar di udara dan air [3]. Pemanfaatan limbah tatal aluminium untuk produksi hidrogen, tidak hanya menyediakan sumber energi alternatif, tetapi juga membantu mengurangi volume limbah padat yang mencemari lingkungan.

Aluminium memiliki potensi untuk daur ulang dan ekstraksi dari produk limbah [4], namun produksi gas hidrogen dari limbah tatal aluminium tidak bisa bereaksi dengan air secara langsung karena adanya lapisan oksida yang menghalangi interaksi antara aluminium dengan air [5]. Adapun cara untuk menghilangkan atau menghentikan lapisan oksida dengan penambahan promotor berupa katalis NaOH, KOH, NaCl, KCl, dan lainnya [4]. Reaksi antara aluminium dan air dapat menghasilkan gas hidrogen, namun reaksi ini terhambat oleh adanya lapisan oksida pelindung pada permukaan aluminium. Untuk mengatasi hambatan ini, pada penelitian sebelumnya menggunakan katalis seperti natrium hidroksida (NaOH) dapat mempercepat reaksi dengan melarutkan lapisan oksida tersebut dan meningkatkan laju pelepasan hidrogen [3].

Penelitian mengenai produksi hidrogen telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu melakukan penelitian mencari katalis H_2SO_4 , NaOH , KOH , dan NaCl yang optimal untuk produksi gas hidrogen dari aluminium foil, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan katalis dalam suasana asam (H_2SO_4 dan HCl) dan katalis dalam suasana netral (NaCl) tidak bereaksi. Katalis asam dan netral tidak dapat memproduksi gas hidrogen, sebaliknya dengan menggunakan katalis basa, baik itu NaOH dan KOH memberikan tekanan akhir yang cukup tinggi, yaitu untuk 25 mL NaOH 3 M sebesar 1169 *hPa* dengan waktu 259 detik. Pada 25 mL KOH 3 M menghasilkan tekanan yang hampir sama dengan NaOH yaitu sebesar 1101 *hPa*, tetapi waktunya selama 525 detik (2 kali lebih lama dari NaOH), sehingga NaOH dipilih sebagai katalis yang lebih baik [3].

Pada penelitian Ramayanti, dengan bahan baku aluminium dari limbah kaleng minuman menggunakan alat *fixed bed reactor* dengan variasi serbuk logam 4-7 gr dan suhu 40-60°C dengan konsentrasi NaOH 4M, menunjukkan bahwa 7 gr serbuk Aluminium limbah kaleng pada suhu 60°C menghasilkan gas hidrogen terbanyak sebesar 57% dengan waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi 2 liter gas hidrogen hanya 6 menit dan konversi Aluminium 10,725% [6]. Mereaksikan aluminium, air, dan NaOH menggunakan aluminium foil 1 gr, konsentrasi NaOH 2-6 N, waktu reaksi 2-5 menit dan suhu reaksi 35°C menunjukkan bahwa hasil tertinggi volume hidrogen yang terbesar didapat pada konsentrasi NaOH 6N dan waktu reaksi 5 menit yaitu sebesar 1,983 liter, konversi aluminium tertinggi 51,346%, dan *yield* hidrogen 6,229% [1].

Menurut Testa, Peningkatan konsentrasi NaOH mempercepat reaksi, sementara suhu lebih tinggi menurunkan energi aktivasi dan meningkatkan kecepatan reaksi [6]. Variasi konsentrasi NaOH berpengaruh signifikan terhadap efisiensi produksi hidrogen, peningkatan konsentrasi basa dapat mempercepat reaksi hingga mencapai kondisi optimal [1]. Ramayanti menyimpulkan bahwa semakin banyak serbuk Aluminium yang digunakan dan semakin tinggi suhu akan menghasilkan lebih banyak gas hidrogen dalam waktu yang lebih singkat [7].

Dari beberapa penelitian tersebut didapatkan produksi hidrogen masih belum optimal, dimana persentase hasil (%*yield*) yang didapat masih rendah dan belum menunjukkan hasil yang signifikan. Oleh karena itu, penulis mengambil penelitian logam aluminium dari limbah total aluminium yang berfokus pada penggunaan massa logam aluminium dan katalis basa NaOH , meningkatkan dengan memperhatikan variasi suhu reaksinya.

2. Metode Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni sampai dengan Juli 2025 di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya. Kajian literatur diperoleh melalui pencarian informasi di internet serta referensi dari jurnal ilmiah.

2.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah *beaker glass*, *erlenmeyer*, labu ukur, neraca analitik, kaca arloji, *catalytic loop batch circulation reactor*, *gas analyzer*, total aluminium, *aquadest* dan Natrium Hidroksida (NaOH).

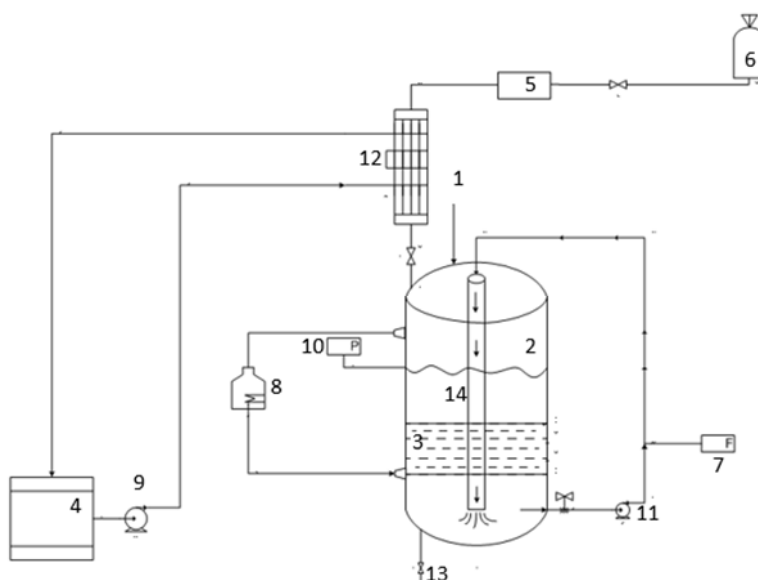
2.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan variabel tetap yaitu konsentrasi katalis NaOH 4,5 M.

Variabel bebas penelitian ini adalah suhu (70;80;90)°C dan massa total aluminium (20;25;30;35) gram.

2.4 Prosedur Kerja

Limbah tatal aluminium dibersihkan dari kotoran sebelum digunakan. Larutan NaOH 4,5 M disiapkan dengan menimbang 9 g NaOH, kemudian melarutkannya dalam 50 mL akuades hingga homogen. Proses pembuatan larutan diulang sesuai kebutuhan. Proses produksi gas hidrogen diawali dengan penyiapan bahan dan peralatan, kemudian reaktor dihidupkan dengan memastikan seluruh *valve* tertutup. Tatal aluminium sebanyak (20;25;30;35) gram dimasukkan ke dalam reaktor dan ditutup rapat. Suhu reaksi diatur pada suhu (70;80;90)°C dan pompa pendingin diaktifkan. Larutan NaOH 4,5 M sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam reaktor menggunakan pompa umpan sehingga terjadi reaksi antara aluminium dan NaOH yang menghasilkan gas hidrogen. Gas yang dihasilkan dialirkan melalui *cooler* dan silika gel, kemudian ditampung pada *gas sampling bag*. Analisis kandungan gas hidrogen dilakukan menggunakan *gas analyzer*.



Gambar 2.1. *Catalytic Loop Batch Circulation Reactor*

Keterangan Gambar 2.1 :

- | | |
|--|------------------------|
| 1. Umpan masuk | 8. Heater |
| 2. Reaktor | 9. Pompa Cooler |
| 3. Pelat Filter | 10. Pressure Gauge |
| 4. Cooler | 11. Pompa Sirkulasi |
| 5. Silika Gel | 12. Kondensor |
| 6. Penampung Produk (<i>Air Bag</i>) | 13. Drain (Pembuangan) |
| 7. Flow Meter | 14. Pipa Sirkulasi |

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisa Gas yang diperoleh

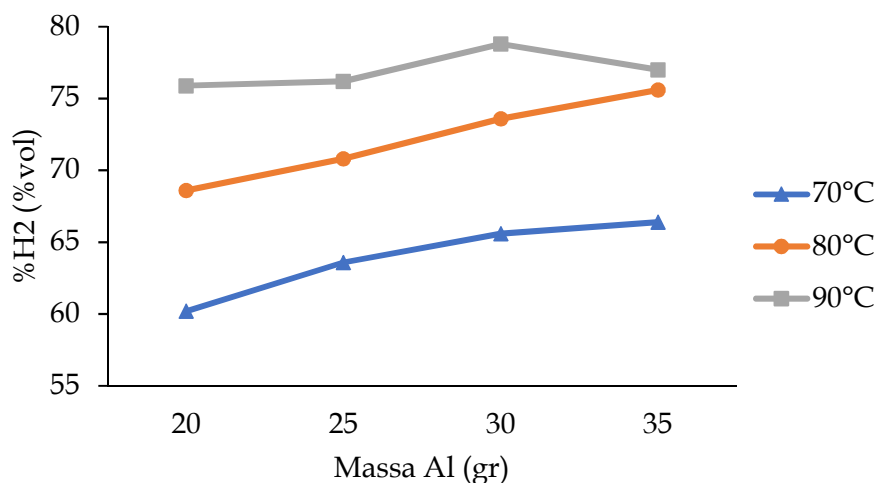
Penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya menghasilkan data dan analisis gas hidrogen pada variasi temperatur serta massa aluminium, yang diukur menggunakan alat *Gas Analyzer*, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data Hasil Analisa Gas yang diperoleh

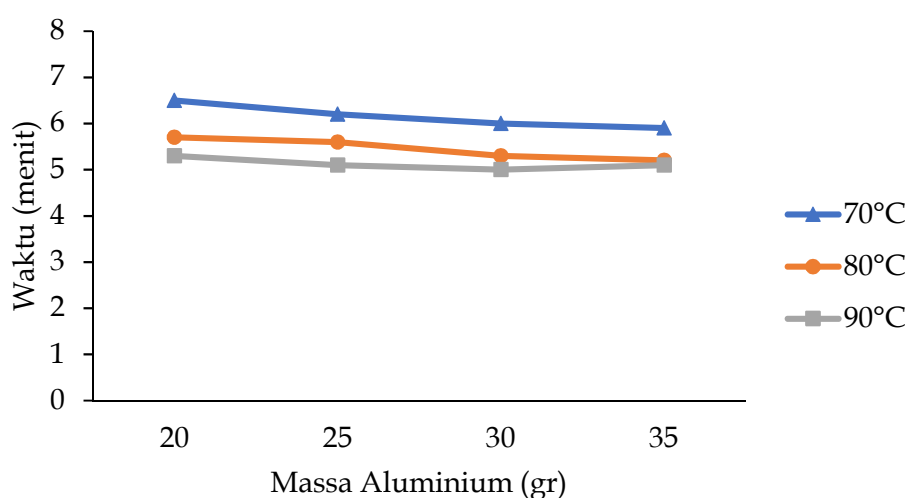
No.	Temperatur (°C)	Rasio gr Al : gr larutan NaOH	Waktu/2L H ₂ (menit)	Hasil Pemeriksaan (% Vol)
1.	70	20 : 50	6,5	60,2
2.		25 : 50	6,2	63,6
3.		30 : 50	6	65,6
4.		35 : 50	5,9	66,4
5.	80	20 : 50	5,7	68,6
6.		25 : 50	5,6	70,8
7.		30 : 50	5,3	73,6
8.		35 : 50	5,2	75,6
9.	90	20 : 50	5,3	74,2
10.		25 : 50	5,1	76,2
11.		30 : 50	5	78,8
12.		35 : 50	5,1	77,0

3.2 Pengaruh Massa Aluminium Terhadap Suhu Produksi Gas Hidrogen

Berdasarkan Gambar 3.1, peningkatan massa aluminium dari 20 g hingga 35 g secara umum diikuti oleh kenaikan persentase volume gas hidrogen (%H₂) pada suhu 70°C, 80°C, dan 90°C, dengan nilai tertinggi secara konsisten dicapai pada suhu 90°C. Kenaikan massa aluminium memberikan luas permukaan reaksi yang lebih besar, sedangkan peningkatan suhu mempercepat laju reaksi melalui peningkatan frekuensi tumbukan efektif dan percepatan pelarutan lapisan oksida pasif. Meskipun demikian, pada massa 35 g, khususnya pada suhu 90°C, laju kenaikan %H₂ mulai melambat yang diduga disebabkan oleh keterbatasan reaktan atau hambatan difusi ion dalam larutan, sehingga sistem mendekati kondisi optimum. Fenomena ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan massa dan suhu hanya efektif hingga batas tertentu. Pada penelitian ini, produksi gas hidrogen tertinggi diperoleh sebesar 78% pada suhu 90°C dengan massa aluminium 30 g, lebih tinggi dibandingkan 57% yang dilaporkan oleh Ramayanti, sehingga menunjukkan adanya optimasi variabel reaksi yang lebih efektif pada sistem aluminium-NaOH-air [6].

**Gambar 3.1** Grafik hubungan antara massa Al dan kadar gas hidrogen

Berdasarkan Gambar 3.2, peningkatan massa aluminium dari 20 g hingga 35 g secara umum mempercepat pembentukan gas hidrogen pada suhu 70°C, 80°C, dan 90°C, dengan waktu reaksi tercepat diperoleh pada suhu 90°C. Peningkatan massa aluminium memperluas permukaan kontak dengan larutan NaOH, sehingga laju reaksi meningkat. Peningkatan massa aluminium berbanding lurus dengan percepatan waktu reaksi [7]. Namun, pada massa 35 g, khususnya pada suhu 90°C, waktu reaksi tercatat sedikit lebih lama dibandingkan pada massa 30 g, yang mengindikasikan bahwa sistem telah mencapai batas optimum. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh saturasi larutan, penumpukan total aluminium, atau pembentukan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang menutupi permukaan logam aktif. Fenomena ini sejalan pada kondisi massa atau suhu tertentu, efisiensi reaksi cenderung stagnan atau menurun akibat pembentukan lapisan oksida pasif dan keterbatasan reaktan dalam sistem [8].



Gambar 3.2 Pengaruh Massa Aluminium Terhadap Waktu Produksi Gas Hidrogen

3.3 Pengaruh Suhu terhadap %Yield untuk Setiap Massa Aluminium

Perhitungan konversi dapat dilakukan dengan rumus di bawah ini:

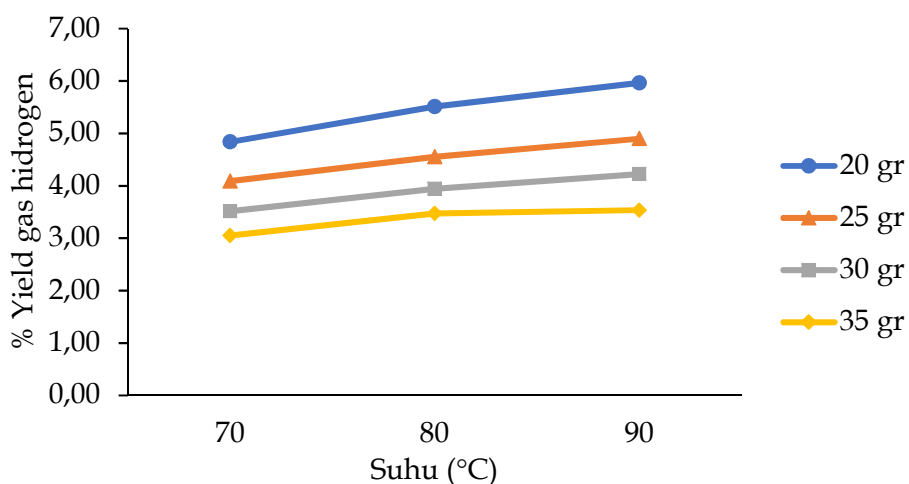
$$\% \text{Yield} = \frac{\text{aktual}}{\text{teoritis}} \times 100\% \quad (1)$$

%Yield Gas Hidrogen yang diperoleh berdasarkan perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 4.2. %Yield Gas Hidrogen

Massa Aluminium (gr)	%Yield Gas Hidrogen		
	Suhu 70°C	Suhu 80°C	Suhu 90°C
20	4,84	5,51	5,96
25	4,09	4,55	4,90
30	3,51	3,94	4,22
35	3,05	3,47	3,54

Berdasarkan data yang diperoleh, pengaruh suhu terhadap persentase hasil (%yield) pada setiap variasi massa aluminium ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Grafik Pengaruh Suhu terhadap %Yield untuk Setiap Massa Aluminium

Gambar 3.3 memperlihatkan bahwa kenaikan suhu dari 70°C hingga 90°C secara konsisten meningkatkan %yield gas hidrogen pada seluruh variasi massa aluminium. Peningkatan ini sejalan dengan prinsip kinetika reaksi, di mana suhu tinggi mempercepat pelarutan lapisan pasif Al_2O_3 oleh NaOH, memperbesar peluang tumbukan efektif, dan mempercepat pembentukan hidrogen [9]. Namun, meskipun tren umum menunjukkan suhu dan massa yang lebih tinggi dapat meningkatkan hasil, data menunjukkan bahwa massa 20 g justru menghasilkan %yield tertinggi, terutama pada suhu tinggi. Sebaliknya, pada massa 35 g, kenaikan %yield mulai melambat akibat keterbatasan NaOH dan kejenuhan sistem, sehingga tidak semua aluminium bereaksi optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa kelebihan logam tanpa penyesuaian jumlah basa tidak selalu meningkatkan hasil [7],[10]. Oleh karena itu, keseimbangan rasio stoikiometri antara aluminium dan NaOH, serta pengaturan suhu, menjadi faktor kunci dalam mencapai efisiensi produksi hidrogen.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian pemanfaatan limbah aluminium bengkel teknik mesin untuk produksi gas hidrogen dengan katalis natrium hidroksida (NaOH), diperoleh bahwa suhu reaksi berpengaruh signifikan terhadap laju dan volume gas yang dihasilkan, suhu yang lebih tinggi mempercepat reaksi dan meningkatkan volume hidrogen. Berat aluminium mempengaruhi hasil, namun efektivitasnya menurun pada jumlah tertentu akibat keterbatasan NaOH dan pembentukan lapisan pasif. Yield tertinggi sebesar 5,96% dicapai pada suhu 90 °C dengan 20 gram aluminium, sedangkan penambahan massa aluminium secara berlebihan tidak selalu meningkatkan yield karena reaksi tidak berlangsung sempurna.

Referensi

- [1] Hakim, L., & Marsalin, I. (2017). "Pemanfaatan Limbah Aluminium Foil Untuk Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Katalis Natrium Hidroksida (NaOH)". *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 6(1), 68–73. <https://doi.org/10.29103/jtku.v6i1.470>.
- [2] Dewi, E. L., Aziz, M., Devianto, H., Darmawan, A., Arjasa, O. P., Primeia, S., Kurniawan, S., & Rahayu, S. (2023). *Indonesia Hydrogen Roadmap*. IFHE Press. ISBN 978-623-09-4851-0.

- [3] Siregar, Y. D. I. (2010). "Produksi Gas Hidrogen Dari Limbah Alumunium". Jurnal Kimia Valensi, 2(1). <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i1.236>.
- [4] Bolt, A., Dincer, I., & Agelin Chaab, M. (2020). "Experimental study of hydrogen production process with aluminum and water". International Journal of Hydrogen Energy, 45(28), 14232–14244. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.160>.
- [5] Azzahra, D., Junaidi, R., & HC, F. (2022). "Produksi Gas Hidrogen dari Serbuk Aluminium Limbah Kaleng Minuman Menggunakan Katalis KOH". Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia, 2(8), 355-361. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.200>.
- [6] Testa V, Zannini M.G.D., Marcello Romagnoli, Santangelo P.E. (2024). "Hydrogen production from aluminum reaction with NaOH/H₂O solution: Experiments and insight into reaction kinetics". International Journal of Hydrogen Energy, Volume 83, Pages 589-603, ISSN 0360-3199. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.152>.
- [7] Ramayanti, F., Junaidi, R., & Purnamasari, I. (2024). Produksi Gas Hidrogen Menggunakan Aluminium Dari Limbah Kaleng Minuman Dengan Katalis Natrium Hidroksida (NaOH). CHEMTAG Journal of Chemical Engineering vol, 5 No.2 , 54-62.
- [8] Fadhillah, N., Muharja, M., Risanti, D. D., Wahyuono, R. A., Satrio, D., Khamil, A. I., & Fadilah, S. N. (2023). "Kinetic Study of the Aluminum–Water Reaction Using NaOH/NaAlO₂ Catalyst for Hydrogen Production from Aluminum Cans Waste". Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis, 18(4), 615-626. <https://doi.org/10.9767/bcrec.20041>.
- [9] Wang, W., & Leung, D. Y. C. (2009). "A review on hydrogen production using aluminum and aluminum alloys". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(4), 845–853. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.02.009>.
- [10] Porciúncula, C., Marcilio, N., Tessaro, I., & Gerchmann, M. (2012). "Production of hydrogen in the reaction between aluminum and water in the presence of NaOH and KOH". Brazilian Journal of Chemical Engineering, 29(2), 337–348. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000200014>.