

Pembuatan Gas Hidrogen Dari Silika Hasil Ekstraksi Bottom Ash Batubara Dan Serbuk Alumunium Limbah Kaleng Minuman

Farah Kania Setiawan¹, Robert Junaidi^{1,2}, Linda Ekawati^{1,3}

¹Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia;

Email : farahkania1102@gmail.com (F.K.S), robert.junaidi@polsri.ac.id (R.J), linda.ekawati@polsri.ac.id (L.E);

Abstrak : Alternatif bioenergi yang dapat digunakan salah satunya hidrogen. Hidrogen memiliki tingkat energi H₂ 286 kJ/mol merupakan sumber bahan baku yang melimpah dan juga bermanfaat bagi lingkungan. Hidrogen bisa dibuat menggunakan teknik menjadi biomassa, air, dan bahan bakar fosil. Dalam pembuatan hidrogen diperlukan silika, *Bottom Ash* mengandung senyawa *silicate glass* yang mengandung silika (34,29%). Tujuan dari penelitian ini menentukan morfologi silika yang terbentuk dari hasil ekstraksi, menganalisa pengaruh variasi massa silika dan alumunium dalam pembuatan hidrogen, menentukan konsentrasi optimum NaOH sebagai katalis untuk mengkonversi hidrogen, dan meningkatkan % Yield gas hidrogen dengan cara menaikkan variasi berat silika dan alumunium dan konsentrasi katalis NaOH. Pada penelitian ini juga ditambahkan alumunium dari limbah kaleng minuman dengan perbandingan silika dan alumunium 1:1, produksi gas hidrogen dilakukan dengan memvariasikan berat total dari alumunium dan silika sebesar 2,3,4,5 dan 6 gram, kemudian divariasikan konsentrasi NaOH 3,5 M dan 4 M. Pembuatan silika dilakukan dengan mengekstraksi *Bottom Ash* menggunakan NaOH dan dinetralkan menggunakan HCl. Jenis silika yang terbentuk dari hasil ekstraksi adalah jenis silika amorf. Kemudian silika dan alumunium ditambahkan ke dalam *fix bed reactor*. Hasil terbaik pada pembuatan hidrogen dengan silika dan alumunium ini berada pada berat sampel 6 gram dan konsenentrasi NaOH 4 M sebesar 41% dengan yield 10,06%.

Kata Kunci : Alumunium, Bottom Ash, Hidrogen, Silika

Abstract : One alternative bioenergy that can be used is hydrogen. Hydrogen has an H₂ energy level of 286 kJ/mol is an abundant source of raw materials and is also beneficial to the environment. Hydrogen can be made using techniques into biomass, water, and fossil fuels. In making hydrogen, silica is needed, Bottom Ash contains silicate glass compounds containing silica (34.29%). The purpose of this

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2024, Vol. 5, No. 3, pp 39 – 46

Received : 3 September 2024

Accepted : 16 Oktober 2024

Published : 30 Oktober 2024



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

study is to determine the morphology of silica formed from the extraction results, analyze the effect of mass variations of silica and aluminum in the manufacture of hydrogen, determine the optimum concentration of NaOH as a catalyst to convert hydrogen, and increase the % yield of hydrogen gas by increasing the weight variation of silica and aluminum and the concentration of NaOH catalyst. In this study also added aluminum from beverage can waste with a ratio of silica and aluminum 1: 1, hydrogen gas production was carried out by varying the total weight of aluminum and silica by 2, 3, 4, 5 and 6 grams, then varied the concentration of NaOH 3.5 M and 4 M. Preparation of silica is done by extracting Bottom Ash using NaOH and neutralized using HCl. The type of silica formed from the extraction results is amorphous silica. Then silica and aluminum are added to the fix bed reactor. The best results in the production of hydrogen with silica and aluminum are at a sample weight of 6 grams and 4 M NaOH concentration of 41% with a yield of 10.06%.

Keywords : Aluminum, Bottom Ash, Hydrogen, Silica

1. Pendahuluan

Semakin meningkatnya emisi gas karbon dari setiap negara yang mengandalkan bahan bakar fosil sehingga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti polusi udara, efek rumah kaca, *global warming*, dan sebagainya. Alternatif bioenergi yang dapat digunakan salah satunya hidrogen. Hidrogen memiliki tingkat energi H_2 286 kJ/mol (Shwetharani dkk, 2019) merupakan sumber bahan baku yang melimpah dan juga bermanfaat bagi lingkungan. Hidrogen bisa dibuat menggunakan teknik menjadi biomassa, air, dan bahan bakar fosil. Konsumsi hidrogen di Indonesia saat ini sekitar 1,75 juta ton per tahun, didominasi pemanfaatan untuk urea (88 %), amonia (4%), dan kilang minyak (2%). Produksi hidrogen yang dilakukan oleh PT PLN sebesar 128 ton per tahun yang dapat menyediakan energi untuk 438 mobil per tahun. Potensi pengurangan konsumsi BBM -nya ialah 1,59 juta liter per tahun.

Proses produksi hidrogen terbagi menjadi dua metode, yakni metode elektrolisis dan metode non-elektrolisis. Metode elektrolisis air melibatkan penggunaan arus listrik melalui air untuk memecah senyawa air (H_2O) menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Proses elektrolisis dalam penguraian senyawa air berlangsung lambat sehingga dibutuhkan katalis untuk mempercepat reaksi dan dapat menambah jumlah gas hidrogen yang diproduksi (Wahyono dkk, 2017). Selain itu kekurangan metode ini besarnya *cost* produksi yang disebabkan oleh biaya listrik. Sedangkan metode non-elektrolisis merupakan metode yang tidak menggunakan listrik melainkan menggunakan katalis dalam reaksi pembuatan hidrogen. Salah satu contoh metode non-elektrolisis yaitu metode metalotermal atau yang biasa disebut metalotermik (Nazilah dkk, 2015).

Beberapa penelitian yang sudah dilakukan dalam pembuatan hidrogen menggunakan metode non-elektrolisis, seperti penelitian Wahyuni dkk, 2017 yang memanfaatkan limbah kaleng minuman aluminium untuk penghasil gas hidrogen menggunakan katalis NaOH, penelitian ini memakai variasi berat aluminium 0,5; 1 ; 1,5 dan 2 gr dengan konsentrasi katalis NaOH 2; 3; 4; 5 dan 6 N dengan hasil volume hidrogen tertinggi pada berat aluminium 2 gram dengan konsentrasi NaOH 6 N selama 43 menit sebesar 1,0818 liter dengan yield hidrogennya yaitu 3,539 %. Penelitian lain dilakukan oleh Wahyudi dkk (2023), dalam pembuatan nanosilikon dari abu cangkang kelapa sawit sebagai katalis.

Penelitian ini membuat silikon dari perbandingan antara silika dengan aluminium yang divariasi 1:0,25; 1:0,5; 1:0,8 dan 1:1 dengan hasil terbaik pada rasio 1:1 aluminium terhadap silika dan konsentrasi NaOH yang ideal untuk memproduksi gas hidrogen adalah 3,5 M menghasilkan konsentrasi gas hidrogen 421 ppm. Penelitian menggunakan silika untuk pembuatan hidrogen juga dilakukan oleh Nurmahdani dkk (2022) yang menggunakan fly ash batubara untuk memperoleh silikonnya. Nurmahdani, dkk membuat silikon dari perbandingan antara silika dengan magnesium yang divariasi 1:0,5; 1:0,8 dan 1:1 serta variasi konsentrasi NaOH 2; 2,5; dan 3 M dengan hasil terbaik pada rasio 1:1 magnesium terhadap silika dan konsentrasi NaOH yang ideal 3 M dengan gas hidrogen yang diperoleh sebesar 2,647 ppm. Penelitian yang menggunakan perbandingan silika dengan logam dibedakan pada suhu dalam isolasi silikon, Wahyudi dkk menggunakan suhu 850°C sedangkan Nurmahdani dkk menggunakan suhu 650°C. Metode metalotermal sederhana membutuhkan temperatur 650°C untuk mereduksi silika (Nazilah dkk, 2015).

Dalam pembuatan hidrogen diperlukan silika, beberapa sumber silika yang dapat digunakan yaitu fly ash batubara (Nurmahdani dkk, 2022), bottom ash batubara (Rahman A, 2020), sekam padi (Handayani dkk, 2015), cangkang kelapa sawit (Wahyudi dkk, 2023). Sekitar 5 persen polutan padat terdiri dari abu (fly ash dan bottom ash). Sekitar 10–20 persen dari abu dasar dan 80–90 persen dari abu terbang berasal dari industri dan PLTU yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Bottom Ash terutama terdiri atas senyawa silicate glass yang mengandung silika (34,29%), alumina (10,02%), ferrum (18,41%), dan kalsium (0,65%) dan kandungan lainnya (12,51%).

Mengekstraksi Bottom Ash dengan NaOH dan kemudian dinetralkan dengan HCl adalah langkah pertama dalam pembuatan silika (Nurmahdani dkk, 2022). Sementara Retnosari (2013) menggunakan NaOH 3 M, sedangkan menurut Fatony (2016), asam yang paling efektif digunakan untuk leaching dalam ekstraksi silika adalah HCl daripada H₂SO₄.

Dari penelitian-penelitian di atas, dalam pembuatan hidrogen dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rasio perbandingan logam (aluminium atau magnesium) terhadap silika yang mendapatkan hasil terbaik pada rasio 1:1 dan konsentrasi katalis yang tinggi untuk memperoleh gas hidrogen sedangkan kendala yang ada adalah waktu reaksi yang kurang serta variasi dari konsentrasi katalis untuk mendapatkan yield yang lebih tinggi. Selain itu, penelitian di atas belum melakukan optimasi pada massa silikon dalam proses pembuatan hidrogen. Oleh karena itu, penulis ingin melakukan penelitian untuk mengatasi masalah tersebut untuk meningkatkan hasil gas hidrogen yang baik.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat

Waktu penelitian diperkirakan berlangsung selama 1 bulan yaitu bulan Mei – Juni. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan oven, cawan porselen, hot plate, magnetic stirrer, neraca analitik, gelas kimia, Erlenmeyer, labu ukur, kertas saring whatman no. 41, stopwatch, spatula, kaca arloji, pengaduk kaca, bola karet, dan mortar. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu bottom ash batubara, limbah kaleng aluminium, NaOH, HCl, dan aquadest.

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Preparasi Sampel (*Bottom Ash*) Batubara

Pada penelitian ini, sebanyak 250 gram bottom ash PT Semen Baturaja diambil dan direndam dalam air panas selama dua jam. Ini dilakukan untuk mengekstrak bahan organik yang larut dalam air dan menghindari pengotor selama proses ekstraksi silika. Setelah itu, bottom ash di saring, dikeringkan, dan dioven dengan suhu 120°C selama 6 jam.

2.3.2. Preparasi Sampel (Alumunium) dari Limbah Minuman Kaleng

Bagian bawah dan penutup kaleng minuman yang tidak dilapisi cat dihaluskan dengan pengikir besi. Setelah kaleng bekas menjadi serbuk, digunakan pengayakan untuk menghasilkan serbuk alumunium dengan ukuran 80 mesh yang sama dan ditimbang dengan variasi berat seperti 2; 3; 4; 5 dan 6 gram.

2.3.3. Ekstraksi Silika

Sampel bottom ash sebanyak 30 gram direndam dalam 150 mL NaOH dengan konsentrasi 3 M. Sampel dilakukan pemanasan selama ± 3 jam dengan kecepatan pengadukan 150 rpm menggunakan magnetic stirer pada suhu 65-70°C. Sampel kemudian disaring menggunakan kertas whatman no. 41 dan menghasilkan filtrat. Filtrat yang diperoleh itu ditampung dan ditambahkan HCl 1 M sampai pH 7. Kemudian hasil yang diperoleh didiamkan selama 18 jam untuk endapan yang didapatkan dipisahkan dan dicuci dengan aquadest panas. Menghilangkan kelembaban pada endapan atau silika ini dengan cara dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100°C dengan waktu 4 jam.

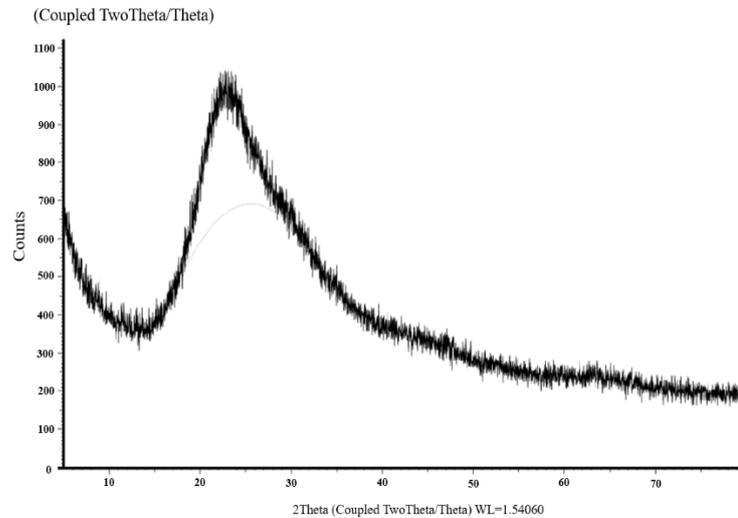
2.3.4. Pengaplikasian Silika dan Alumunium dalam Pembuatan Hidrogen

Sampel silika dan alumunium ditimbang dengan berat 2 gr; 3 gr; 4 gr; 5 gr dan 6 gr dengan perbandingan 1:1 lalu dimasukkan ke dalam reaktor bersama dengan aquadest untuk di reaksi bersama larutan natrium hidroksida (NaOH) sebanyak 5 mL selama 30 menit. Untuk menangkap hasil gas hidrogen, pada reaktor dipasangkan kateter dengan volume 2 liter dan gas hidrogen akan terperangkap di kantung kateter tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Analisa XRD

X-ray diffraction (XRD) adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk mengidentifikasi mengidentifikasi fasa kristalin dalam material karakterisasi material yang sering digunakan, dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Pola difraksi dapat diketahui dari MSNP dilihat berdasarkan terbentuknya peak pada sudut 2θ (Theta) antara 5° sampai 80°.



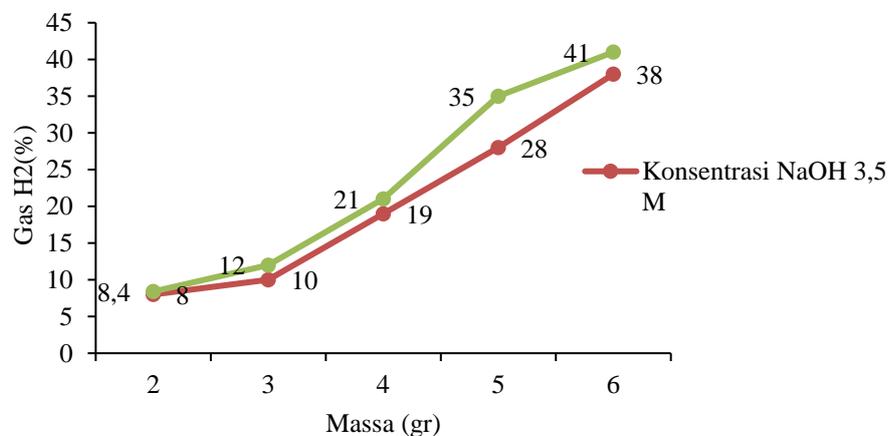
Gambar 1. Grafik XRD Silika

Gambar 1 menunjukkan pola difraksi silika menunjukkan puncak lebar dengan pusat puncak $2\theta = 23,44$. Bentuk puncak yang lebar dengan silika amorf ditunjukkan oleh pusat puncak sekitar $2\theta = 22$, menurut Kalaphaty dkk. (2000). Susunan atom pada silika amorf terjadi secara acak atau dengan tingkat keteraturan yang rendah.

Puncak tajam pada difraktogram serbuk silika pada $2\theta = 22,20$, $2\theta = 22,67$, dan $2\theta = 22,71$ muncul. Puncak tajam pada $2\theta = 22,75$ menunjukkan bahwa serbuk silika mengandung senyawa SiO_2 , karena pembentukan puncak yang tidak terlalu tajam dengan intensitas yang relatif rendah. Puncak tajam serbuk silika $2\theta = 22,52$ dibandingkan dengan data JCPDS nomor 39-1425 ternyata hampir sama. Puncak tajam $2\theta = 22,003$ ditemukan dalam data JCPDS. Data pencocokan menunjukkan bahwa silika yang disintesis adalah fase amorf.

3.2. Pengaruh Massa Sampel terhadap H_2 yang Dihasilkan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pengaruh berat sampel terhadap gas hidrogen yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Hubungan Massa Sampel terhadap H_2 yang dihasilkan

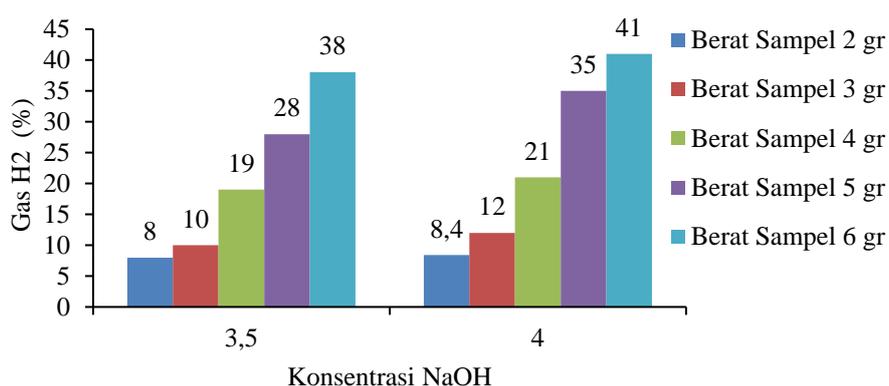
Dari Gambar 2 terlihat bahwa variasi berat sampel silika dan alumunium yang digunakan nilai terendah berada pada berat sampel 2 gram dan konsentrasi 3,5 M sebesar 8% dan nilai tertinggi berada pada berat sampel 6 gram dengan konsentrasi 4 M sebesar 41%. Grafik di atas menunjukkan bahwa hasil berkorelasi dengan kandungan gas hidrogen. Semakin berat sampel yang digunakan, semakin banyak gas hidrogen yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan jumlah hidrogen yang dihasilkan sebanding dengan jumlah reaktan (SiO_2 dan Al) yang bereaksi. Semakin banyak reaktan yang bereaksi atau dengan berat yang besar, maka semakin banyak pula hidrogen yang dihasilkan atau jumlah mol reaktan yang tersedia juga semakin besar. Dengan demikian, reaksi akan menghasilkan lebih banyak hidrogen. Sama halnya dengan penelitian Wahyuni dkk, 2017 yang memanfaatkan limbah kaleng minuman alumunium untuk penghasil gas hidrogen menggunakan katalis NaOH, penelitian ini memakai variasi berat alumunium 0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, dan 2 gr dengan konsentrasi katalis NaOH 2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N dengan hasil volume hidrogen tertinggi pada berat aluminium 2 gram dengan konsentrasi NaOH 6 N selama 43 menit sebesar 1,0818 liter dengan yield hidrogennya yaitu 3,539 %.

3.3. Pengaruh Konsentrasi NaOH terhadap H_2 yang Dihasilkan

NaOH (Natrium Hidroksida) dapat digunakan sebagai katalis dalam pembuatan gas hidrogen melalui beberapa reaksi, seperti:



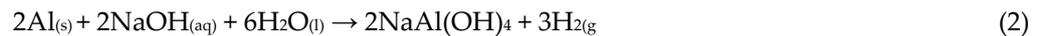
Penambahan NaOH sebagai katalis pada reaksi ini dapat mempercepat laju reaksi dan meningkatkan produksi gas hidrogen dengan menurunkan energi aktivasi reaksi. Selain itu, NaOH juga memiliki peran menjaga pH larutan pada rentang yang optimal untuk reaksi, menghilangkan produk samping (seperti garam) yang dapat menghambat reaksi. Konsentrasi NaOH yang digunakan, suhu, dan waktu reaksi juga akan mempengaruhi efisiensi produksi gas hidrogen. Optimasi parameter-parameter ini diperlukan untuk memaksimalkan hasil pembuatan gas hidrogen. Pada penelitian ini digunakan NaOH sebagai katalis sehingga dihasilkan data grafik seperti di bawah ini.



Gambar 3. Hubungan Konsentrasi NaOH dengan H_2 yang dihasilkan

Dari gambar 3 terlihat bahwa variasi konsentrasi NaOH yang digunakan nilai terendah berada pada konsentrasi 3,5 M sebesar 8% sedangkan nilai tertinggi berada pada konsentrasi 4 M sebesar 41%. Akiyama dkk. (2009) membuktikan hal ini dengan menggunakan konsentrasi NaOH dengan variasi 1 mol/L dan 5 mol/L, dan mereka menemukan gas hidrogen terbaik pada variasi konsentrasi

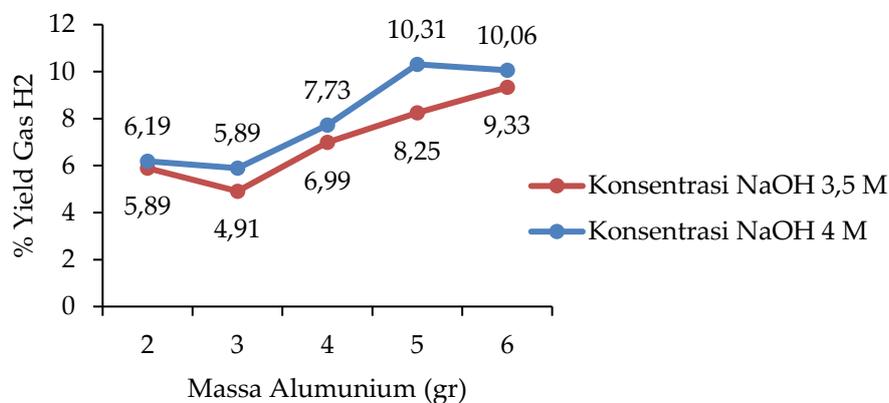
NaOH 5 mol/l sebesar 10,2 MPa. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, semakin banyak gas hidrogen yang dihasilkan. Percobaan yang cukup serupa dilakukan oleh Gauhar dkk (2020) dengan mengubah konsentrasi NaOH menjadi 0,15 M, 0,25 M, 0,51 M, dan 1,02 M. Dari penelitian ini didapatkan massa H₂ tertinggi berada pada NaOH 1,02 M sebesar 6,2%. Hal ini juga memperkuat pernyataan sebelumnya. Hal ini dikarenakan antara logam (seperti aluminium) dan larutan NaOH dapat menghasilkan gas hidrogen (H₂) sebagai produk samping. Semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin banyak gugus hidroksida (OH⁻) yang tersedia untuk bereaksi dengan logam. Reaksi umum yang terjadi:



Dikarenakan, semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin besar frekuensi tumbukan antara logam dan ion hidroksida. Hal ini meningkatkan laju reaksi, sehingga lebih banyak gas hidrogen yang dihasilkan dalam waktu yang sama. Dan sesuai dengan Prinsip Le Chatelier, peningkatan konsentrasi reaktan (NaOH) akan mendorong sistem ke arah pembentukan produk (H₂) untuk mencapai kesetimbangan baru. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi NaOH, semakin besar jumlah gas hidrogen yang terbentuk. Jadi, secara garis besar, semakin tinggi konsentrasi NaOH, maka semakin besar jumlah gas hidrogen yang dihasilkan dalam reaksi antara logam dan larutan NaOH.

3.4. Pengaruh Berat Sampel Aluminium terhadap Persen Yield yang Diperoleh

Pada data hasil analisa gas hidrogen menggunakan gas analyzer detector diperoleh hasil persen H₂, kemudian data tersebut diolah sehingga menghasilkan %Yield seperti Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Hubungan Massa Aluminium dengan %Yield Gas H₂

Pengaruh peningkatan massa aluminium terhadap persen yield gas hidrogen adalah semakin besar massa aluminium, maka semakin banyak aluminium yang tersedia untuk bereaksi dengan air, sehingga jumlah gas hidrogen yang dihasilkan akan semakin besar. Dengan jumlah gas hidrogen yang semakin besar, maka persen yield gas hidrogen juga akan meningkat. Persentase yield menunjukkan perbandingan antara jumlah gas hidrogen yang dihasilkan dan jumlah gas hidrogen maksimum yang secara teoritis dapat dihasilkan. Namun, peningkatan massa aluminium tidak akan meningkatkan persen (%) yield secara linier. Hal ini karena faktor-faktor lain seperti luas permukaan kontak antara aluminium dan air, suhu reaksi, serta efisiensi proses dapat mempengaruhi persen (%) yield gas hidrogen.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Silika yang terbentuk dari hasil ekstraksi bottom ash batubara adalah silika jenis amorf.
2. Semakin berat sampel silika dan alumunium yang digunakan maka semakin banyak produksi gas hidrogen yang dihasilkan, variasi berat silika dan alumunium terbaik berada pada berat 6 gram yang diperoleh gas hidrogen tertinggi yaitu sebesar 38% dan 41%.
3. Konsentrasi NaOH yang menghasilkan gas hidrogen tertinggi pada konsentrasi NaOH 4 M dengan persen gas hidrogen 41%.
4. Persen yield gas hidrogen yang tertinggi berada pada berat silika dan alumunium 6 gram sebesar 10,31%.

Daftar Pustaka

- Akiyama Tomohiro, Hayasaka Masaki, Uesugi Hiroshi. Hydrogen Production Method and Apparatus and Engine Employing Hydrogen Production Apparatus. United States Patent No: US 7,493,765 B2.
- Fatony, M.H.A. 2015. Ekstraksi Silika dari Fly Ash Batubara (Studi Pengaruh Variasi Waktu, Ekstraksi, Jenis Asam dan pH). Skripsi. Kimia FMIPA UNEJ. Jember.
- Handayani, P.A., Eko Nurjanah, Wara Dyah Pita Rengga. 2015. Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel. Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Nazilah Ainun, Novita Andarini, dan Tanti Haryati. Isolasi Silikon (Si) Dari Abu Terbang (FlyAsh) Batu Bara Dengan Metode Metalotermal, n.d., 3.
- Nurmahdani Eti, Robert Junaidi, Indah Purnamasari.2022. Silikon Hasil Reduksi Silika dari Fly Ash Batubara untuk Pembuatan Hirdrogen. Jurusan Teknik Kimia. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Retnosari, Agustin. 2013. Ekstraksi dan Penentuan Kadar Silika Hasil Ektraksi dari Abu Terbang Batubara. Jurnal Sainstek Vol 6 No. 1:72. Universitas Jember.
- Shwetharani, R., Nagaraju, D.H., Geetha Balakrihna, R., Suvina, V., 2019. Hydrogenase Enzyme like Nanocatalysts FeS₂ and FeSe₂ for Molecular Hyrogen Evolution Reaction. Mater. Lett. 248, 3942.
- Wahyono Yoyon, Heri Sutanto, Eko Hidayanto. 2017. Produksi gas hydrogen menggunakan metode elektrolisis dari elektrolit air dan air laut dengan penambahan katalis NaOH. Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro.
- Wahyudi Riki, Robert Junaidi, Erwana Dewi. 2023. Pembuatan Nanosilikon dari Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Katalis untuk Proses Hidrogenasi Air. Jurusan Teknik Kimia. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wahyuni, Sri. Lukman Hakim, Fikris Hasfita. 2016. Pemanfaatan Limbah Kaleng Minuman Aluminium Sebagai Penghasil Gas Hidrogen Menggunakan Katalis NaOH. Jurnal Teknologi Kimia Vol. 6 No. 1.