



PEMANFAATAN LIMBAH KALENG MINUMAN ALUMINIUM SEBAGAI PENGHASIL GAS HIDROGEN MENGUNAKAN KATALIS NATRIUM HIDROKSIDA (NaOH)

Sri Wahyuni, Lukman Hakim, Fikri Hasfita

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Jl. Batam No. 1 Bukit Indah, Lhokseumawe 24353

Korespondensi: HP: 082360997815, e-mail: Sriwahyuni1572@yahoo.com

Abstrak

Gas hidrogen tidak dapat ditambang melainkan diproduksi, salah satunya produksi hidrogen dari limbah kaleng minuman aluminium direaksikan dengan air dan penambahan natrium hidroksida (NaOH) sebagai katalis. Reaksi tersebut menghasilkan gas hidrogen dan NaAl(OH)_4 . Dalam konteks ini, hidrogen dapat dikonversikan menjadi energi terbarukan, dimana energi tersebut ramah lingkungan dan emisi yang dihasilkan berupa uap air. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan teknik daur ulang limbah kaleng minuman aluminium seperti Pocari Sweat untuk menghasilkan gas hidrogen sebagai energi yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Penelitian ini dilakukan dengan mereaksikan aluminium dan air dengan katalis NaOH selama 43 menit pada suhu 30°C . Dimana berat aluminium divariasikan (0.5 gr, 1 gr, 1.5 gr dan 2 gr), serta konsentrasi NaOH yang divariasikan (2N, 3N, 4N, 5N dan 6N). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa volume hidrogen terbesar pada berat aluminium 2 gram dengan konsentrasi NaOH 6N yaitu 1,081 liter. Untuk konversi aluminium tertinggi pada berat aluminium 0,5 gram dengan konsentrasi NaOH 6N yaitu 68,950 %, sedangkan yield hidrogen tertinggi pada berat aluminium yaitu 2 gram dengan konsentrasi NaOH 6N yaitu 3,539 %.

Kata Kunci: Aluminium, Air, Energi Terbarukan, Hidrogen, Katalis, Limbah Kaleng, Natrium Hidroksida (NaOH)

1. Pendahuluan

Dalam konteks ini, isu utama yang paling menonjol adalah konversi energi dari sebelumnya energi berbasis bahan bakar fosil kini beralih ke energi yang dapat diperbaharui. Di sisi lain, isu lingkungan global yang menuntut tingkat

kualitas lingkungan yang lebih baik, mendorong berbagai pakar energi untuk mengembangkan energi yang lebih ramah lingkungan dan mendukung jaminan pasokan berkesinambungan. Hasil penelitian diharapkan mampu mengatasi beberapa permasalahan yang berkaitan dengan penggunaan minyak bumi. Salah satu bentuk energi terbarukan yang dewasa ini menjadi perhatian besar pada banyak negara, terutama di negara maju adalah hidrogen. Hidrogen diproyeksikan oleh banyak negara akan menjadi bahan bakar masa depan yang lebih ramah lingkungan dan lebih efisien. Dimana suplai energi yang dihasilkan sangat bersih karena hanya menghasilkan uap air sebagai emisi selama berlangsungnya proses.

Gas hidrogen tidak dapat ditambang melainkan harus diproduksi. Alternatif tersebut dapat dilakukan dengan melakukan proses elektrolisis menggunakan air dengan reaksi foto katalisis oksinitrida (Domendan Maeda, 2006) atau proses elektrolisis dengan menggunakan katalis oksida padat (Zangdkk, 2010). Metode produksi hidrogen dari biomasa meliputi metode biologi (Claassendkk, 2010) dan secara kimia (Kırtay, 2011). Produksi hidrogen juga dapat dilakukan dengan steam reforming dari hidrokarbon (Pencovadkk, 2011). Selain itu, hidrogen dapat dihasilkan dari reaksi logam dan air dengan bantuan katalis. Salah satunya yaitu hidrogen yang dihasilkan dari logam aluminium yang direaksikan dengan air menggunakan katalis NaOH (Kumar dan Surendra, 2013).

Saat ini, penggunaan aluminium semakin meningkat. Salah satu penggunaan aluminium pada industri minuman ringan (*soft drink*) dimana aluminium tersebut digunakan sebagai kemasan dari minuman ringan (*soft drink*). Aluminium biasa dicampur untuk menambah sifat mekanis dan kekuatan, seperti aluminium foil dan kaleng minuman mengandung sekitar 92-99% aluminium selebihnya yaitu tembaga, seng, magnesium, mangan, silika, dan logam lainnya dengan tingkat persen yang sedikit (Zamani, 2014). Berikut ini kandungan aluminium dari kaleng minuman yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemanfaatan limbah kaleng minuman untuk bahan menghasilkan suatu energi belum banyak dilakukan. Padahal limbah kaleng minuman aluminium yang

cukup banyak bisa diproses menjadi gas hidrogen. Dalam penelitian ini, penulis mengambil penelitian limbah kaleng minuman yang banyak ditemui serta memiliki kandungan aluminium yang banyak terdapat pada kaleng *pocari sweat*. Menurut penelitian Siregar (2010), bahwa baik katalis asam maupun katalis netral tidak dapat memproduksi gas hidrogen. Sebaliknya dengan menggunakan katalis basa kuat, baik itu NaOH dan KOH memberikan hasil hidrogen yang lebih tinggi, tetapi pada penggunaan katalis NaOH waktu reaksi antara aluminium dan air lebih cepat dari pada katalis KOH.

Tabel1.Kandungan Aluminium dari Kaleng Minuman

Parameter	Satuan	JenisKaleng			
		Pocari Sweat	Cap Kaki Tiga	Greensands	Coca-Cola
Aluminium	%	96,38	89,74	90,87	93,28
Magnesium	%	1,14	3,28	2,25	1,17
Mangan	%	0,75	1,93	1,21	1,04
Besi	%	0,51	1,79	1,52	1,72
Silikon	%	0,19	0,88	1,33	0,68
tembaga	%	0,19	2,36	1,92	1,26

Sumber: (Saputra, 2012)

2. Bahan dan Metode

2.1 Alat dan bahan yang digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, tutup sumbat erlenmeyer, balon, *magnetic stirred*, *hotplate stirred*, gunting, timbangan analitik, termometer, labu ukur, benang, spatula, kaca arloji.

Bahan yang digunakan dalam penelitian in adalah limbah kaleng minuman *Pocari Sweat*, NaOH, dan *aquadest*.

2.2 Prosedur Kerja

Proses Pembuatan Gas Hidrogen

Limbah kaleng minuman dengan merek *Pocari Sweat* yang dibersihkan catnya dengan menggunakan amplas. Setelah penghilangan cat, kaleng minuman tersebut dipotong dengan ukuran 0,1 x 0,1 cm dan ditimbang dengan berat sampel

0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr dan 2 gr. Kemudian larutan NaOH dibuat dengan konsentrasi masing-masing 2N, 3N, 4N, 5N, 6N. Tahap ini masing- masing potongan kaleng tersebut dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan NaOH dengan konsentrasi masing-masing 2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N. Kemudian ditutup mulut erlenmeyer dengan menggunakan penutup karet. Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termometer. Suhu dijaga pada suhu 30 °C. Untuk menjaga suhu reaksi digunakan *water bath* sebagai media pendingin. Waktu reaksi dijaga selama 43 menit dengan pengadukkan 100 rpm. Pengumpulan gas hidrogen digunakan balon yang diletakkan pada permukaan erlenmeyer. Sebelum volume gas hidrogen dapat dihitung, terlebih dahulu keliling balon diukur. Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut:

$$K = \pi \cdot d$$

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$$

Penentuan Konversi, Yield dan Pengujian Gas Hidrogen Dengan Cara Pembakaran

Konversi dan yield ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Dave dan Pant, 2010):

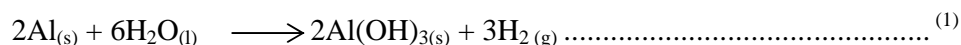
$$\% \text{ Konversi Aluminium} = \frac{\text{Mol Aluminium Awal} - \text{Mol Aluminium Sisa}}{\text{Mol Aluminium Awal}} \times 100$$

$$\% \text{ Yield H}_2 = \frac{\text{Mol H}_2 \text{ Produk}}{\text{Mol H}_2 \text{ Mulus}} \times 100$$

Untuk mengidentifikasi dan memastikan telah dihasilkan hidrogen dalam reaksi yaitu dengan melakukan pengujian pembakaran gas hidrogen dengan menggunakan botol dan balon. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% di udara bebas. Karakteristik lainnya dari api hidrogen adalah nyala api cenderung menghilang dengan cepat di udara, sehingga kerusakan akibat ledakan hidrogen lebih ringan dari ledakan hidrokarbon (College Of Desert, 2001).

3. Hasil dan Diskusi

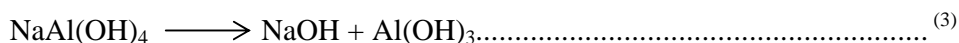
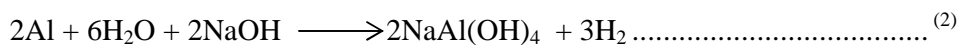
Dalam suhu kamar, reaksi aluminium dengan air untuk membentuk aluminium hidroksida dan hidrogen adalah sebagai berikut:



Reaksi ini secara termodinamika terjadi dari suhu kamar yang bersifat eksoterm. Reaksi ini juga harus terjadi spontan. Namun, dalam prakteknya sepotong aluminium jatuh ke air tidak akan bereaksi dalam kondisi suhu kamar, atau bahkan dengan air mendidih. Hal ini karena aluminium bereaksi lambat dengan air karena mudah bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida (Al_2O_3) di permukaan dan lapisan alumina ini mencegah reaksi (Departement Of Energy, 2008). Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil yang optimal aluminium harus diampelas dulu sebelum direaksikan untuk menghilangkan lapisan oksida yang menutupi permukaan aluminium. Karena kecenderungannya yang kuat dioksidasi menjadi Al^{3+} , diharapkan $\text{Al}_{(s)}$ dapat menggantikan $\text{H}_{2(g)}$ dari air (Petrucci, 1993).

Dalam penelitian ini, pembuatan gas hidrogen dari limbah kaleng minuman aluminium menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH) yang bertindak sebagai katalis dalam reaksi untuk mempercepat reaksi. Natrium hidroksida (NaOH) adalah bahan kimia berbentuk kristal putih padat yang apabila memasuki lingkungan akan mudah bereaksi memecah dengan bahan kimia lain. Seperti halnya natrium hidroksida dimasukkan dalam air akan memisahkan kation natrium (*sodium* atom bermuatan positif) dan anion hidroksida (oksigen dan hidrogen atom bermuatan negatif). Natrium hidroksida mudah larut dalam air dan akan menghasilkan panas (eksoterm). Ion OH^- pada larutan alkali tersebut akan menjadi promotor pada reaksi aluminium dengan air. Ketikareaksiantara Al dan air dibantu oleh alkali, ion OH^- dapat merusak lapisan oksida pelindung pada permukaan aluminium (Kumar dan Surendra, 2013).

Reaksi antara aluminium dan air dengan Natrium Hidroksida (NaOH) untuk produksi hidrogen dapat ditunjukkan pada reaksi dibawah ini:



Natrium hidroksida (NaOH) dikonsumsi untuk produksi hidrogen dengan reaksi eksoterm (3) dan akan diproduksi ulang melalui reaksi dekomposisi $\text{NaAl}(\text{OH})_4$. Reaksi (4.4) akan menghasilkan endapan kristal aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Kombinasi dari dua reaksi diatas menunjukkan bahwa hanya air yang dikonsumsi untuk produksi hidrogen jika dilihat dari reaksi tersebut (Kumar dan Surendra, 2013).

Pada saat potongan kaleng aluminium dimasukan ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan natrium hidroksida terjadi gelembung-gelembung pada potongan kaleng tersebut, selanjutnya gas yang dihasilkan ditampung menggunakan dengan balon yang dapat di lihat pada Gambar (a). Untuk mengidentifikasi dan memastikan telah dihasilkan hidrogen dalam reaksi yaitu dengan melakukan pengujian pembakaran gas hidrogen seperti terlihat pada Gambar 1 (b) dan (c).



(a)



(b)

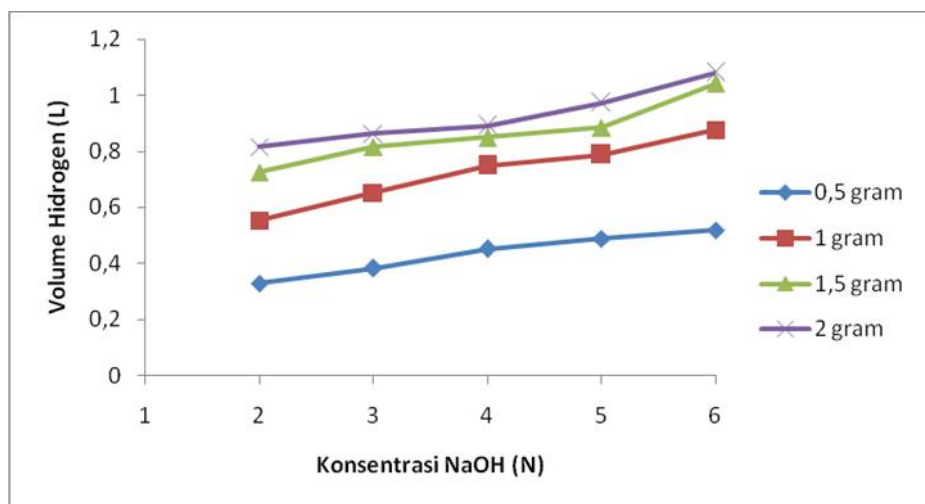


(c)

Gambar 1. Pembuatan dan Pengujian Gas hidrogen. (a) Penampungan gas hidrogen dengan balon. (b) Pengujian gas hidrogen dengan botol. (c) Pengujian gas hidrogen dengan menggunakan balon.

3.1 Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida (NaOH) dan Jumlah Aluminium terhadap Volume Gas Hidrogen

Analisa kimia kuantitatif digunakan untuk mendapatkan data mengenai produksi gas hidrogen yang dihasilkan dari reaksi antara limbah kaleng minuman aluminium dengan larutan natrium hidroksida (NaOH) dari konsentrasi (2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N) dengan jumlah aluminium (0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr dan 2 gr). Pengukuran dilakukan untuk mengetahui pengaruh berat kaleng minuman aluminium terhadap volume gas hidrogen yang dihasilkan. Berikut ini pengaruh berat aluminium terhadap volume gas hidrogen dengan variasi konsentrasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan pengaruh konsentrasi NaOH dan jumlah aluminium terhadap volume gas hidrogen

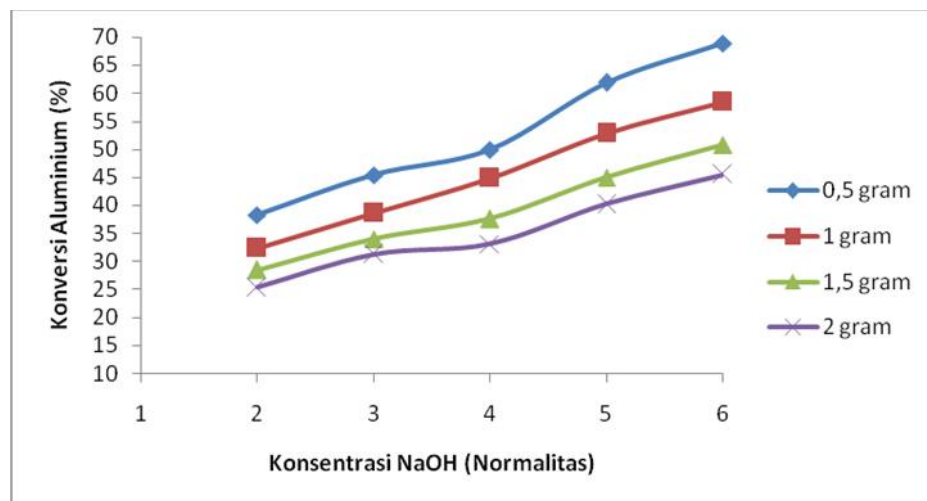
Dalam penelitian ini waktu reaksi ditetapkan pada 43 menit, mengikuti penelitian yang dilakukan Siregar (2012) pada jumlah aluminium 0,1 gr dengan konsentrasi NaOH tertinggi yaitu 15% waktu reaksi aluminium dan air dengan natrium hidroksida (NaOH) dibutuhkan sekitar 1826,7 detik atau 30 menit 26 detik telah menghasilkan hidrogen. Pada Gambar 2 menunjukkan volume hidrogen bertambah dengan kenaikan konsentrasi (2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N). Pada konsentrasi tertinggi yaitu 6N volume hidrogen yang dihasilkan lebih besar dibandingkan konsentrasi 5N, 4N, 3N, dan 2N. Hal ini dapat disimpulkan bahwa

dalam penelitian ini semakin tinggi konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) volume hidrogen makin bertambah. Ini dikarenakan larutan NaOH berfungsi membantu aluminium mengikat OH^- dari air membentuk NaAl(OH)_4 , sehingga melepaskan hidrogen, seperti yang ditunjukkan pada reaksi (2) dan (3) (Kumar dan Surenda, 2013).

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat jumlah aluminium terhadap volume gas hidrogen adalah semakin besar jumlah limbah aluminium yang diberikan semakin besar pula volume hidrogen yang dihasilkan. Terlihat bahwa semakin tinggi jumlah aluminium (0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, dan 2 gr) volume hidrogen yang dihasilkan semakin bertambah. Dalam penelitian ini volume hidrogen terbesar pada berat aluminium 2 gr dengan konsentrasi 6N yaitu 1,081 liter. Berdasarkan penelitian Porciuncula dkk (2012) mengatakan produksi hidrogen dipengaruhi oleh suhu, konsentrasi alkali, dan bentuk logam. Siregar (2012) mengatakan bahwa semakin tinggi jumlah aluminium, maka gas hidrogen yang dihasilkan semakin besar, sedangkan laju reaksi tertinggi pada konsentrasi NaOH tertinggi.

3.2 Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida (NaOH) dan Jumlah Aluminium Terhadap Konversi aluminium

Reaksi aluminium dan air dengan natrium hidroksida (NaOH) membentuk NaAl(OH)_4 dan hidrogen. Dalam reaksi tersebut aluminium akan mengalami oksidasi sehingga menghasilkan Al^{3+} , sedangkan H^+ dari air akan mengalami reduksi menjadi H_2 . Seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi (2) dan (3) pada dasarnya, hanya air yang dihabiskan selama seluruh proses untuk menghasilkan hidrogen. Dalam reaksi tersebut aluminium mengikat OH^- dari senyawa air membentuk NaAl(OH)_4 sehingga melepaskan hidrogen. Pengaruh konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) dan jumlah aluminium terhadap konversi aluminium dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) dan jumlah aluminium terhadap konversi aluminium

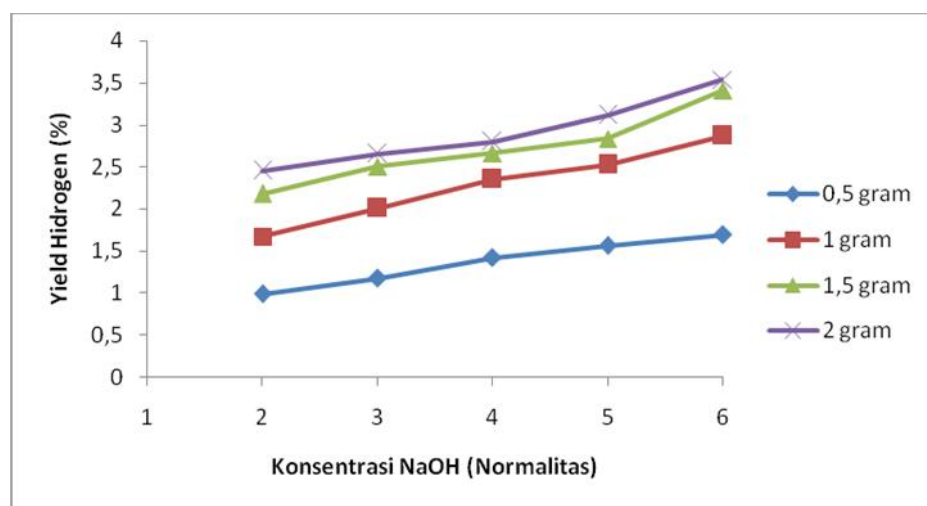
Berdasarkan waktu reaksi selama 43 menit dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa pengaruh konsentrasi NaOH terhadap konversi aluminium, semakin tinggi konsentrasi NaOH (2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N) maka konversi aluminium semakin tinggi. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi NaOH yang lebih tinggi menunjukkan jumlah NaOH lebih banyak. NaOH adalah sebagai katalis reaktif yang dapat merusak lapisan oksida (Al_2O_3) pelindung pada permukaan aluminium serta membantu aluminium mengikat OH^- dari air membentuk $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ sehingga melepaskan hidrogen.

Jumlah aluminium berdasarkan Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah aluminium (0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, dan 2 gr) maka konversi aluminium terhadap produk hidrogen semakin rendah. Dari Gambar 3 konversi aluminium tertinggi pada berat aluminium 0,5 gr konsentrasi 6N sekitar 68,950%. Konversi aluminium sangat berpengaruh terhadap jumlah aluminium dan konsentrasi NaOH. Hal ini disebabkan karena natrium hidroksida (NaOH) bertindak sebagai katalis yang dapat menurunkan energi aktivasi sehingga mampu meningkatkan laju reaksi agar reaksi dapat mencapai kesetimbangan, tanpa terlibat didalam reaksi secara permanen. Energi aktivasi adalah energi minimum yang dibutuhkan sehingga partikel dapat bertumbukan dan menghasilkan reaksi.

Dalam penggunaan katalis tersebut, energi aktivasi harus cukup agar reaksi tersebut mencapai kesetimbangan. Apabila energi aktivasi dalam reaksi tersebut tinggi maka reaksi tersebut akan berjalan lambat (Widhyahrini, 2013).

3.3 Pengaruh Konsentrasi Natrium Hidroksida (NaOH) dan Jumlah Aluminium Terhadap *Yield* Hidrogen

Berdasarkan dari reaksi (2) dan (3) menunjukkan bahwa hidrogen yang dihasilkan berasal dari senyawa air. Sedangkan konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) yang bertindak sebagai katalis akan mempengaruhi laju reaksi dan membantu aluminium mengikat OH^- dari air membentuk $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ dan hidrogen. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pengaruh konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) dan jumlah aluminium terhadap *yield* hidrogen dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) dan jumlah aluminium terhadap *yield* hidrogen

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan waktu reaksi selama 43 menit, dapat dilihat pada Gambar 4 bahwa semakin tinggi konsentrasi NaOH (2N, 3N, 4N, 5N, dan 6N) maka *yield* hidrogen yang dihasilkan semakin tinggi, dan sebaliknya semakin rendah konsentrasi NaOH maka *yield* hidrogen yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini dikarenakan NaOH adalah sebagai katalis reaktif yang dapat merusak lapisan oksida (Al_2O_3) pelindung pada permukaan

aluminium (Departement of Energy, 2008) serta membantu aluminium mengikat OH^- dari air membentuk NaAl(OH)_4 sehingga melepaskan hidrogen, seperti yang ditunjukkan pada reaksi (2) dan (3) (Kumar dan Surenda, 2013).

Jumlah aluminium berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat pada berat aluminium (0,5 gr, 1 gr, 1,5 gr, dan 2 gr), semakin tinggi jumlah aluminium maka gas hidrogen yang dihasilkan semakin besar. Dalam penelitian Siregar (2012) menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah aluminium hidrogen yang dihasilkan semakin besar. Dari Gambar 4 terlihat bahwa *yield* hidrogen tertinggi pada berat aluminium 2 gr dengan konsentrasi 6N sekitar 3,539 %. Berdasarkan reaksi (2) dan (3) sama-sama menghasilkan reaksi (1) bahwa hanya air yang dikonsumsi untuk menghasilkan hidrogen. Dari reaksi (1) aluminium mengikat OH^- dari senyawa air membentuk Al(OH)_3 sehingga melepaskan hidrogen. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah aluminium maka hidrogen yang dihasilkan semakin besar, sebab banyak aluminium mengikat OH^- dari air mengakibatkan hidrogen lepas dari senyawa air tersebut.

4. Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan bahwa volume perolehan hidrogen tertinggi pada berat aluminium 2 gr dengan konsentrasi NaOH 6 N yaitu 1,0818 liter. Konversi aluminium produk hidrogen yang tertinggi terdapat pada berat aluminium 0,5 gr dengan konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) 6 N yaitu 68,950 %, sedangkan *yield* hidrogen yang tertinggi terdapat pada berat aluminium 2 gr dengan konsentrasi natrium hidroksida (NaOH) 6 N yaitu 3,539 %. Natrium hidroksida (NaOH) berfungsi sebagai katalis dalam reaksi aluminium dan air, serta membantu aluminium mengikat OH^- dari senyawa air membentuk NaAl(OH)_4 sehingga melepaskan hidrogen.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah waktu reaksi untuk menghasilkan hidrogen dari reaksi aluminium dan air dengan katalis NaOH divariasikan lebih lama dari 43 menit untuk mengkonversikan reaktan lebih tinggi dan pemanfaatan limbah aluminium perludi lakukan terutama yang banyak mengandung aluminium sebagai sumber penghasil hidrogen.

5. Daftar Pustaka

1. Claassen, P.A.M., Truus de, V., Emmanuel, K., Ed van, N., Inci, E., Michael, M., Anton, F., Walter, W., Werner, A (2010), "Non-thermal production of pure hydrogen from biomass: HYVOLUTION", *Journal of Cleaner Production*, 18, 54-58.
2. College Of The Desert (2001), "Modul 1 Hydrogen Properties", *Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies*, http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/cm01r0.pdf diakses pada 7 Desember 2015
3. Domen, K., dan Maeda K., (2006), "Hydrogen Production from Water on Oxinitride Photocatalysts", *The International Society for Optical Engineering*, 1-3
4. Dave, C. D., dan Pant, K. K., (2011), "Renewable Hydrogen Generation by Steam Reforming of Glycerol Over Zirconia Promoted Ceria Support Catalyst", *Renewable Energy An International Journal*, 1-8.
5. Departement Of Energy, (2008), "Reaction Of Aluminium with Water to Produce Hydrogen", *United States Of America*, https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/aluminium_water_hydrogen.pdf diakses pada 5 Februari 2016
6. Kirtay, E., (2011), "Recent advances in production of hydrogen from biomass", *Journal of Energi Conversion and Management*, 52, 1778–1789.
7. Kumar, S. dan Surendra K. S., (2013), "Role Of Sodium Hydroxide For Hydrogen Gas Production And Storage", *College of Engineering and Computing, Florida International University, Miami, Florida 33199, USA*
8. Penkova A., Bobadilla, L., Ivanova, S., Dominguez, M.I., Romero-Sarria, F., Roger, A.C., Centeno, M.A., Odriozola, J.A., (2011), "Hydrogen production by methanol steam reforming on NiSn/MgO–Al₂O₃ catalysts: The role of MgO addition", *Journal of*

Applied Catalysis A, General 392, 184–191.

9. Petrucci, R. H., (1996), *Kimia Dasar*. Jakarta: Erlangga
10. Porciuncula, C.B., Marcillo, N. R., Tessaro, I. C., Gerchmann, M.,(2010), “ Production of Hydrogen in the Reaction Between Aluminum and Water in the Presence of NaOH and KOH”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 29 No. 2, ISSN 0104-6632
11. Saputra, A. D.,(2012)., *Sintesis Tawas Kalium Aluminium Sulfat (Kal(SO₄)₂.12H₂O) Dari Kaleng Bekas Minuman Sebagai Zat Penjernih Air*. Skripsi. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan. Universitas Pakuan Bogor
12. Siregar, Y. D. I.,(2010), “Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium”. *Jurnal Valensi*, Volume 2, No. 1: 362-36
13. Siregar, Y. D. I.,(2012), “Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium dan Uji Daya Listrik dengan Fuel Cell”, *Portal Garuda*, Volume 2, No.5: 573-580
14. Widhyahrini, K., (2013), “Katalis”. <http://duniakimianana.wordpress.com/2013.04/21/katalis/> diakses pada 11 November 2015
15. Zamani, H. A., Mina, R., Mohammad, R. A., Soraia, M.,(2014), “Al³⁺- Selective PVC Membrane Sensor Based on Newly Synthesized 1,4-bis[o-(pyridine-2-carboxamidophenyl)]-1,4-dithiobutane as Neutral Carrier”, *International Journal Of Electrochemical Science*, 9, 6495 - 6504
16. Zhang, H., Guoxing, L., Jincan, C.,(2010), “Evaluation and calculation on the efficiency of a water electrolysis system for hydrogen production”, *International Journal of Hydrogen Energi*, 35, 10851-10858