

**PRODUKSI HIDROGEN DARI LIMBAH KALENG MINUMAN
BERBASIS REAKSI ALUMINIUM DAN AIR
DENGAN BANTUAN KATALIS NaOH**

¹Denawati Junia, ²Sunaryo, ³Deni S. Khaerudini

¹Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta

²Kelompok Peneliti Fuel Cell, Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan
Indonesia

Email: denawati.junia@gmail.com

ABSTRAK

Krisis energi merupakan salah satu permasalahan yang tengah dihadapi oleh masyarakat global. Kebutuhan energi primer dunia diperkirakan akan meningkat cukup tinggi seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi. Solusi yang banyak ditawarkan atas permasalahan tersebut adalah beralihnya ke penggunaan energi alternatif. Namun, energi alternatif yang digunakan saat ini masih terfokus pada batu bara yang memiliki dampak negatif bagi lingkungan. Fuel Cell merupakan kandidat energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan. Bahan bakar fuel cell merupakan hidrogen dan oksigen yang diproses secara elektrokimia menghasilkan energi listrik dan air. Namun, hidrogen tidak dapat langsung diperoleh, hidrogen ada di alam dalam keadaan berikatan dengan air maupun hidrokarbon. Dalam proses pemisahannya, para peneliti telah menemukan cara yang lebih bersih, yaitu dengan mereaksikan aluminium dan air dengan bantuan katalis. Pada penelitian ini, dilakukan proses produksi hidrogen dengan memanfaatkan limbah kaleng minuman di Laboratorium Fuel Cell Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, meliputi perakitan reaktor, pengukuran laju produksi dengan variasi dimensi luas permukaan kaleng 5,33 mm, 3,10, <20 mesh, dan karakterisasi by-product Al(OH)₃. Hasil penelitian menunjukkan batas kemampuan reaktor yaitu pada 1,7 M NaOH, 2 gram Al, dan 250 gram aquades, pengukuran flowrate tertinggi diperoleh pada dimensi <20 mesh sebesar 115 ml/min/gr Al, by-product Al(OH)₃ telah dikonfirmasi berdasarkan uji XRD, FE-SEM dan EDS.

Kata Kunci: Aluminium, Energi terbarukan, *Fuel Cell*, Hidrogen

ABSTRACT

Energy crisis is one of the central problems faced by the global community. World primary energy demand is expected to rise high enough along with population growth and technological development. The many solutions offered up these problems are beralihnya to the use of alternative energy. However, alternative energy use today still focused on coal that has negative effects for the environment. Fuel Cell is a candidate for a clean alternative energy and eco-friendly. Fuel cell fuel is hydrogen and oxygen are processed in electrochemical generating electrical energy and water. However, hydrogen can not be directly retrieved, hydrogen exists in nature in a State bound to water or hydrocarbons. In the process of its secession, researchers have found a way that is more clean, i.e. by reacting aluminium and water with the help of a catalyst. In this research, carried out the hydrogen production process by making use of the waste cans in the laboratory of Fuel cells Institute of Sciences, Indonesia covering the reactor

Assembly, measurement of the rate of production with variations in the dimensions of the surface area 5.33 mm cans, 3.10, < 20 mesh, and characterization of by-product of Al (OH) 3. The results showed the limits of the ability of the reactor at 1.7 M NaOH, 2 g of Al, and 250 grams of aquades, the highest flowrate measurement obtained at dimensions of mesh 20 < 115 ml/min/gr Al, by-product of Al (OH) 3 has been dikonfirmasi based on XRD test, FE-SEM and EDS.

Keywords: Aluminum, renewable energy, Fuel Cell, Hydrogen

PENDAHULUAN

Krisis energi merupakan salah satu permasalahan yang tengah dihadapi oleh masyarakat global. Kebutuhan energi primer dunia diperkirakan akan meningkat cukup tinggi seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi dunia. Pada tahun 2015, populasi penduduk didunia telah mencapai 7,2 milyar. Organisasi Pangan dan Pertanian PBB (2017) memprediksi bahwa pertumbuhan akan berlanjut dan bahwa pada tahun 2050 penduduk akan mencapai 9 miliar. Menurut perkiraan Badan Energi Internasional, cadangan minyak dunia akan turun 40% - 60% dalam dua puluh tahun ke depan.

Solusi yang banyak ditawarkan atas permasalahan tersebut adalah beralihnya ke penggunaan energi alternatif. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menargetkan pada tahun 2020 mendatang penggunaan energi alternatif sudah mencapai lima persen. Kebijakan ihwal energi alternatif sudah cukup banyak. Dari segi teknologi dan ketersediaan bahan baku juga sudah tak diragukan lagi.

Salah satu teknologi penghasil energi alternatif dan ramah lingkungan yang saat ini sedang dikembangkan adalah Fuel cell. Fuel cell merupakan teknologi energi ramah lingkungan yang menggunakan prinsip konversi energi elektrokimia yaitu mengubah hidrogen dan oksigen menjadi air dan secara bersamaan menghasilkan listrik

dan panas dalam prosesnya. Seperti baterai, fuel cell dapat diisi dengan bahan bakar untuk mendapatkan energinya kembali, bahan bakar tersebut adalah oksigen dan hidrogen.

Dalam perkembangannya, meskipun hidrogen merupakan sumber energi yang menjanjikan untuk pengaplikasian fuel cell, tidak semua cara untuk memperolehnya bersifat ramah lingkungan dan efisien, diantaranya yaitu dengan cara steam reforming, gasifikasi biomassa atau batubara, elektrolisis, dan lain-lain. Steam reforming dan gasifikasi menghasilkan produk CO₂ (Karbon dioksida) yang mencemari lingkungan, sedangkan elektrolisis kurang efisien karena masih mengonsumsi energi listrik yang cukup besar dan diperoleh dari pembangkit listrik yang pada proses pembuatannya masih bersumber dari fosil.

Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan teknologi baru yang benar-benar menghasilkan energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan tanpa menyebabkan polusi dari segi produk, proses, maupun sumber energinya.

Para peneliti telah melaporkan bahwa hidrogen dapat dihasilkan juga dari reaksi alumunium dengan air. Soler (2007) telah melakukan riset produksi hidrogen dari alumunium dan campuran alumunium. Hasil yang didapatkan menyatakan bahwa produksi hidrogen didasari oleh proses korosi alumunium yang hanya

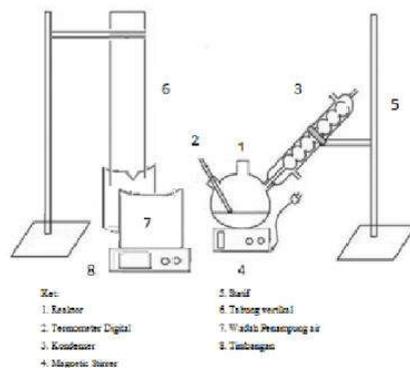
mengonsumsi air, sedangkan tidak mengonsumsi alkali (katalis), dan menghasilkan alumina melalui reaksi dekomposisi yang kembali membentuk alkali. Pada eksperimen pendahuluan, didapatkan bahwa dengan konsentrasi dan temperatur kerja yang tinggi dapat meningkatkan laju produksi hidrogen dari alumunium murni. Sedangkan, Elitzur (2014) melaporkan bahwa terjadi pengaruh dari beberapa parameter seperti rasio alumunium dengan air, suhu awal air, ukuran dan bentuk partikelnya. Laju produksi hidrogen yang dihasilkan adalah 200-600 ml/min/g Al, dengan hasil 90%, tergantung dari parameter yang dibuat.

Pada penelitian ini telah dilakukan penghitungan laju produksi gas hidrogen yang dihasilkan menggunakan reaktor hasil perancangan bersama tim dan pengujian pengaruh parameter luas permukaan plat alumunium dari limbah kaleng minuman Green Sands (Kadar Al 15, 80%), serta karakterisasi *by-product* yang dihasilkan dari reaksi produksi hidrogen.

METODE PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

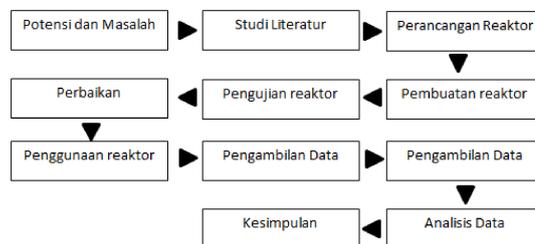
Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Timbangan Digital Precision Instrument, Pemanas dan Pengaduk Magnetik IKA® C-MAG HS 7, Termometer Digital, Pyrex® Kondensor “allihn” WITH glass water connector, IWAKI Glass Ware Boiling Flask Round Bottom 3 Neck, Hirschmann Duran Measuring Cylinder 2000 ml, gunting, pembolong kertas diameter 5,33 mm, pembolong kertas diameter 3,10 mm, bola jar, dan saringan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu NaOH Teknis, Aquades, dan kaleng minuman Green Sands bekas. Adapun skema penelitiannya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Skema rancangan alat eksperimen. (1) Reaktor, (2) Termometer Digital, (3) Kondensur, (4) Magnetik stirrer, (5) Statif dan klem, (6) Tabung vertikal, (7) Wadah penampung air, (8) Timbangan digital

2. Teknik Pengumpulan Data

Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah volume gas hidrogen yang dihasilkan, waktu reaksi, dan suhu reaksi. Data volume diukur dengan menggunakan timbangan kasar, waktu reaksi diukur dengan stopwatch, dan suhu dengan termometer digital.



Gambar 2. Diagram alir metode Penelitian dan Pengembangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbandingan Dimensi, Volume, Suhu, dan Laju

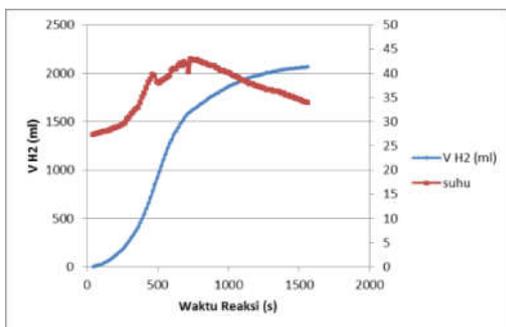
Tabel 1. Perbandingan Dimensi, Volume, Suhu, dan Laju Maksimum Produksi Gas Hidrogen Al Greensands

Dimensi	Vol. akhir (ml)	Suhu (°C)	Laju Maks. (ml/min/gr Al)
Serbuk (<20 mesh)	2202	50,8	115,94
Sedang (Diameter= 3,10 mm)	1410	44,1	93,86
Besar (Diameter= 5,33 mm)	2066	42,1	67,27

2. Grafik Hasil Pengujian

a) Grafik volume gas hidrogen yang dihasilkan

Berdasarkan data eksperimen yang telah diperoleh, hasilnya telah disimulasikan melalui grafik berikut. Berikut adalah grafik hubungan antara volume hidrogen yang dihasilkan selama waktu terukur hingga reaksi berhenti.

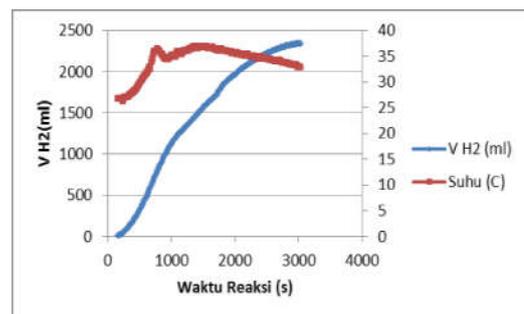


Gambar 3. Grafik Volume Gas Hidrogen yang diperoleh dari Limbah Al Greensands dimensi besar

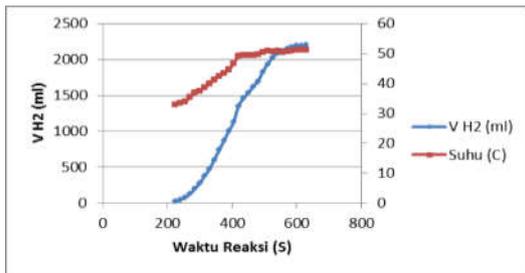
Grafik di atas menunjukkan hubungan volume produksi hidrogen dengan suhu reaksi pada limbah Al Greensands dimensi besar. Terlihat bahwa reaksi baru dimulai pada suhu dengan rentang antara 25-30 oC. Waktu dimulai reaksi pertama kali disebut dengan *induction time*. Dimana hal tersebut disebabkan oleh proses korosi

aluminium yang membutuhkan waktu dan suhu tertentu agar lapisan oksida yang menyelimuti aluminium dapat terkupas seluruhnya sehingga air dapat mengkorosi aluminium dan menghasilkan gas hidrogen dengan meninggalkan lapisan oksida yang terendap dibawah reaktor.

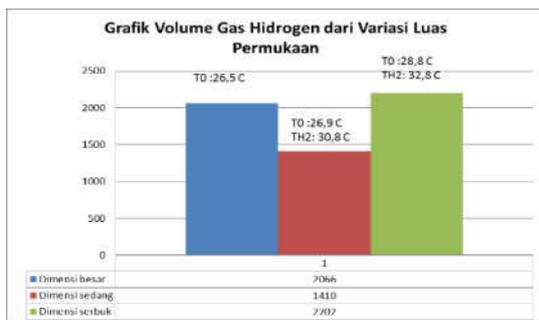
Terjadi penurunan suhu reaksi ketika sudah mencapai antara 40-45oC. Ketika suhu reaksi turun, produksi hidrogen menuju ke arah stabil terlihat dari saturasi pada grafik di sekitar waktu reaksi 750 sekon. Hal tersebut disebabkan karena seluruh lapisan oksida yang sudah semua terlepas dan aluminium sudah habis terkorosi sehingga air didalam reaktor berubah menjadi hitam.



Gambar 4. Grafik Volume Gas Hidrogen yang diperoleh dari Limbah Al Greensands dimensi sedang
Grafik di atas menunjukkan hubungan volume produksi hidrogen dengan suhu reaksi pada limbah Al Greensands dimensi sedang. Terlihat bahwa reaksi baru dimulai pada suhu lebih rendah daripada dimensi besar tetapi masih dengan rentang antara 25-30 C. Selain itu penurunan reaksi juga terjadi ketika sudah mencapai antara suhu 40-45oC.



Gambar 6. Grafik Volume Gas Hidrogen yang diperoleh dari Limbah Al Greensands dimensi serbuk
 Grafik di atas menunjukkan hubungan volume produksi hidrogen dengan suhu reaksi pada limbah Al Greensands dimensi serbuk. Terlihat bahwa reaksi baru dimulai pada suhu diatas 30 oC. Penurunan reaksi juga terjadi ketika mencapai antara suhu diatas 50oC. Selain itu, pada dimensi serbuk ini, waktu reaksi menjadi lebih panjang daripada dimensi sedang maupun dimensi besar. Luas permukaan akan mempengaruhi seberapa cepat air dapat mengkorosi alumunium. Pada dimensi ini permukaan yang mengalami reaksi lebih luas daripada dimensi yang lainnya sehingga waktu reaksi menjadi lebih lama.



Ket :

T0 : Suhu awal

TH2 : Suhu produksi H2

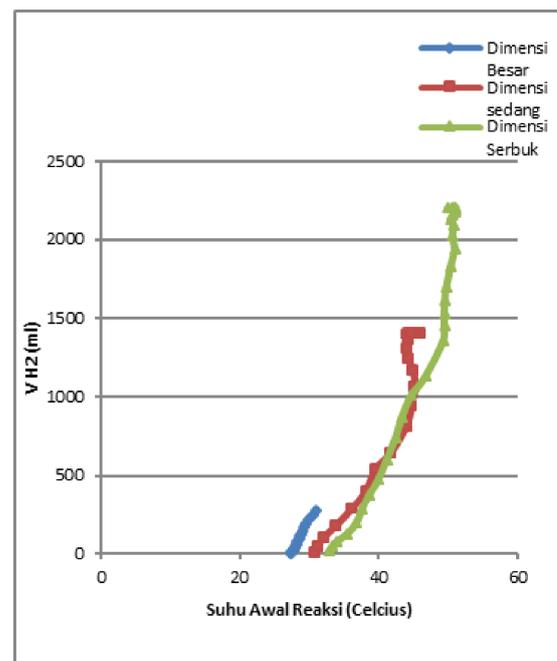
Gambar 7. Perbandingan Volume Gas Hidrogen yang diperoleh dari Limbah Al Greensands dimensi serbuk

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa limbah plat alumunium dengan dimensi sedang lebih rendah hasil produksinya daripada dimensi lainnya. Berdasarkan

teori dan penelitian sebelumnya, jumlah akhir dari proses reaksi ini seharusnya hampir sama, selama ada pada volume air yang sama, karena hanya air yang dikonsumsi saat terjadi reaksi. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh karena larutan tersebut sudah menguap lebih awal. Perlu diselidiki lebih lanjut terkait hal-hal yang dapat mempengaruhi volume akhir produksi.

3. Grafik hubungan suhu awal dengan laju produksi gas hidrogen

Berdasarkan data pengamatan hasil perekaman suhu awal reaksi hidrogen terproduksi dengan perhitungan laju produksi hidrogen, maka diperoleh seperti pada grafik berikut.



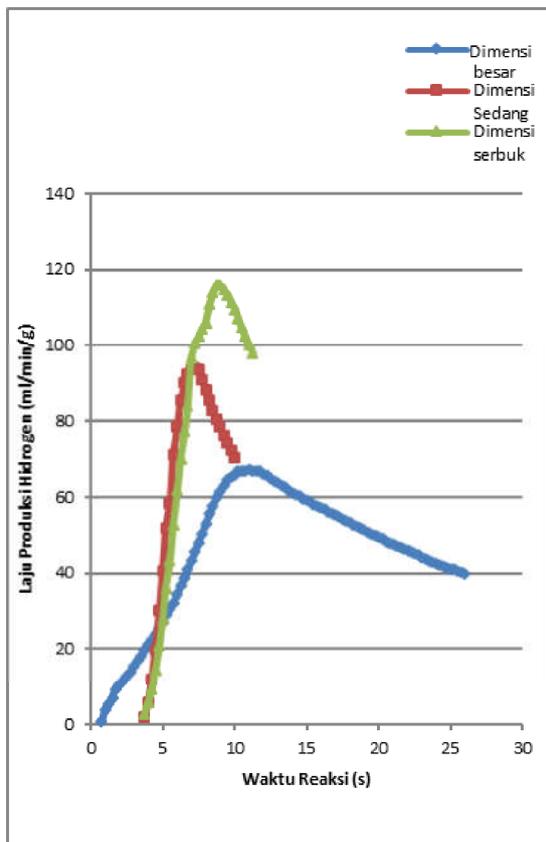
Gambar 8. Grafik hubungan antara suhu awal produksi hidrogen dengan laju produksi hidrogen

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa luas permukaan plat limbah alumunium mempengaruhi suhu awal reaksi saat hidrogen dihasilkan, selain itu juga mempengaruhi laju produksi hidrogen secara signifikan. Dimensi serbuk yang luas permukaannya lebih besar, laju produksinya lebih tinggi.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar luas permukaan, maka akan semakin besar laju reaksi akan tetapi delay time lebih panjang karena membutuhkan suhu yang lebih tinggi.

4. Grafik Laju Produksi Gas Hidrogen

Berdasarkan data pengamatan hasil perekaman suhu awal reaksi hidrogen terproduksi dengan perhitungan laju produksi hidrogen, maka diperoleh seperti pada grafik berikut.



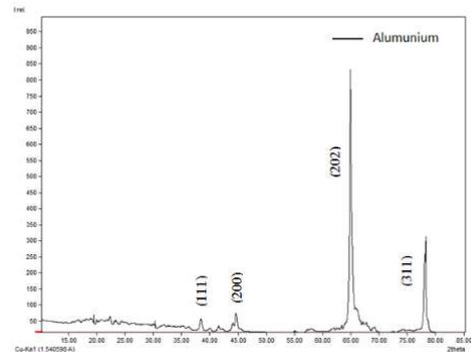
Gambar 9. Laju Produksi Hidrogen Al Green Sands

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa luas permukaan plat limbah aluminium mempengaruhi laju produksi hidrogen secara signifikan. Dimensi serbuk yang luas permukaannya lebih besar, laju produksinya lebih tinggi. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar luas permukaan, maka akan semakin besar laju reaksi akan tetapi tidak tetap, karena laju produksi

bergantung pada suhu. Jika suhu turun, maka laju produksi akan turun.

5. Proses Karakterisasi Sampel

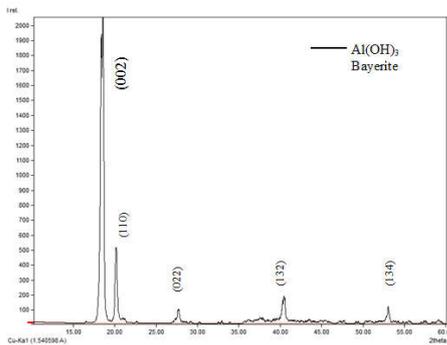
a. Analisa XRD sampel aluminium kaleng minuman Green Sands



Gambar 10 Hasil pencocokan pola difraksi hasil XRD limbah fresh aluminium dari kaleng minuman dengan aplikasi Match 2!

Gambar diatas merupakan hasil dari pengujian dengan menggunakan alat XRD (X-Ray Diffraction) yang berfungsi untuk menentukan sistem kristal sehingga setelah diolah akan memberikan informasi tentang senyawa atau unsur yang terdeteksi pada sampel limbah fresh aluminium. Data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian XRD kemudian di olah menggunakan aplikasi match 2!, setelah dicocokkan dengan database yang ada dan disesuaikan dengan teori yaitu kandungan unsur aluminium. Dapat dilihat dari gambar di atas bahwa adanya kecocokan antara pola difraksi limbah aluminium kaleng minuman dengan pola difraksi aluminium murni berdasarkan pencocokan menggunakan aplikasi match 2!. Selain berada pada posisi 2θ yang sama, intensitasnya pun hampir mirip, akan tetapi ada satu puncak intensitas yang terlihat dominan pada pola difraksi limbah kaleng minuman, hal tersebut menginformasikan bahwa kandungan unsur Aluminium yang lebih banyak terdapat disana.

b. Analisa XRD by-product



Gambar 11. Hasil pencocokan pola XRD $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan menggunakan aplikasi Match 2!

Gambar diatas merupakan hasil dari pengujian dengan menggunakan alat XRD (X-Ray Diffraction) yang berfungsi untuk menentukan sistem kristal sehingga setelah diolah akan memberikan informasi tentang senyawa yang terdeteksi pada sampel by-product. Data mentah yang diperoleh dari hasil pengujian XRD kemudian di olah menggunakan aplikasi match 2!, setelah dicocokkan dengan basis data yang ada dan disesuaikan dengan teori yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$, ternyata memperlihatkan spektrum yang sangat mirip dengan spektrum bayerite ($\text{Al}(\text{OH})_3$) setelah dicocokkan dengan menggunakan aplikasi match 2!. Kecocokan tersebut dilihat dari posisi 2-theta dan indeks miller yang dimiliki oleh senyawa bayerite yaitu pada indeks miller (002), (110), (022), (132), dan (134).

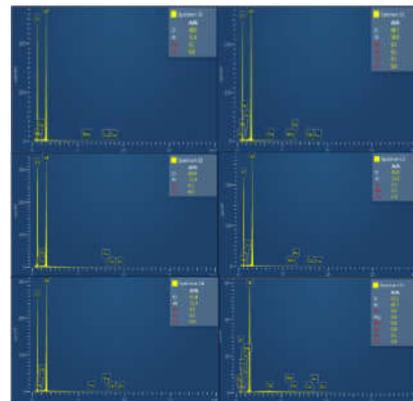
c. Analisa FE-SEM by-product



Gambar 12. Struktur morfologi hasil by-product produksi hidrogen perbesaran 10.000 kali

Gambar di atas merupakan struktur morfologi permukaan by-product hasil

proses produksi hidrogen dengan perbesaran 10.000 kali yang diperlihatkan oleh alat uji FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) point, terlihat berbentuk serpihan-serpihan putih. Serpihan tersebut adalah lapisan $\text{Al}(\text{OH})_3$ hasil perusakan lapisan oksida aluminium oleh larutan NaOH sebagai larutan alkali yang memiliki kemampuan untuk merusak lapisan hingga korosi aluminium dapat terjadi. Serpihan tersebut telah di klarifikasi merupakan lapisan $\text{Al}(\text{OH})_3$ berdasarkan hasil uji EDS Spot. EDS (Energy Dispersion X-Ray Spectroscopy) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengetahui unsur yang terkandung dalam sampel. Berikut ini adalah hasil EDS Spot dengan mengambil 6 titik spektrum.

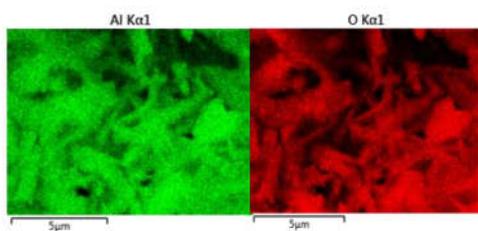


Gambar 13. Hasil deteksi sebaran unsur menggunakan EDS by-product hasil produksi hidrogen limbah kaleng Green Sands

Hasil EDS tersebut melaporkan kandungan unsur yang tersebar disetiap titik yang diwakili oleh titik spektrum 10 Sampai dengan 15. Dapat dilihat bahwa di semua titik, unsur yang terdeteksi kuat yaitu unsur Aluminium (Al) dan Oksigen (O) sesuai dengan teori, yaitu by-product reaksi akan menghasilkan Hidrogen dan $\text{Al}(\text{OH})_3$ ataupun Al_2O_3 tergantung kondisi dan stoikiometri reaksi. Hasil ini juga telah dikonfirmasi oleh hasil pengujian

dengan alat uji difraksi sinar-X pada gambar 3.21.

Pada titik di spektrum 12 lebih memperlihatkan kandungan Al dan O yang lebih tinggi daripada spektrum lainnya. Sedangkan atom lain yang berwarna merah diabaikan karena kecocokannya sangat kecil. Dari hasil yang diperlihatkan oleh semua spektrum tersebut, semakin memperkuat bahwa by-product tersebut memang benar $\text{Al}(\text{OH})_3$ atau bayerite. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya unsur Al dan O disemua titik. Pada pengujian ini unsur H tidak dapat dideteksi karena H merupakan fasa gas sedangkan pengujian ini hanya dapat mendeteksi fasa solid.



Gambar 14. Visualisasi spektrum Alumunium dan Oksigen oleh EDS

Gambar di atas merupakan hasil visualisasi EDS pada panjang gelombang warna unsur yang dicari, yaitu Alumunium dan Oksigen. Berikut ini adalah tabel hasil deteksi unsur berdasarkan konsentrasi dan rasio massa.

Tabel 3.3 Hasil deteksi unsur Al dan O dengan FE-SEM

Unsur	Konsentrasi	k Ratio	Wt%
O	152.49	0.51315	52.13
Al	93.15	0.66906	47.08

Pada tabel di atas terlihat bahwa unsur oksigen lebih dominan daripada unsur alumunium dilihat dari

konsentrasi dan fraksi massa masing-masing unsur. Sesuai dengan stoikiometri reaksi, yaitu Al_2O_3 ataupun $\text{Al}(\text{OH})_3$ maka kandungan unsur oksigen akan lebih banyak daripada alumunium.

KESIMPULAN

Gas hidrogen dapat dihasilkan dari plat alumunium dari limbah kaleng minuman Green Sands. Gas hidrogen dapat dihasilkan secara cepat dari reaksi plat alumunium dari limbah kaleng dan air dengan bantuan katalis NaOH . Semakin besar luas permukaan plat limbah alumunium, maka akan semakin besar laju produksi gas hidrogennya. Laju produksi hidrogen terbesar yang diperoleh yaitu sebesar 115 ml/min/gr Al,

DAFTAR PUSTAKA

- Aleksandrov, Y.A. Tsyganova El, Pisarev
Al. 2003. *Reaction of Alumunium with dilute aqueous NaOH solutions*. Russ J Gen Chem 2003; 73 (5):689-94.
- Dimitrios, Panias, Krestou Athina. 2005. *Alumina hydrate precipitate in the system $\text{NaAl}(\text{OH})_2$ (supersaturated)/ HNO_3* . Proceedings of EMC 2005. School of Mining and Metallurgical Engineering. National Technical University of Athens.
- Dudoladov, A.O., et, al. 2015. *Generation of hydrogen by aluminium oxidation in aqueous solutions at low temperatures*. Int. Journal of Hydrogen Energy 2015;1-8.
- Elitzur, Shani, Valery Rosenband, Alon Gany. 2014. *Study of hydrogen production and storage based*

- on aluminum-water reaction.*
Int. Journal of Hydrogen
Energy 2014 (39:6328-6334).
- Keputusan Menteri Energi Dan Sumber
Daya Mineral Nomor : 2682
K/21/Mem/2008 tentang
Rencana Umum
Ketenagalistrikan Nasional
2008 S.D. 2027
- Manurung, Manuntun, Irma Fitria
Ayuningtyas. 2010.
*Kandungan Alumunium dalam
Kaleng Bekas dan
Pemanfaatannya dalam
Pebuatan Tawas.* Jurusan
Kimia FMIPA Universitas
Udayana. Jurnal Kimia 2010;4
(2):180-
186.
- Petrovic, John, George Thomas. 2008.
*Reaction of Aluminum with
Water To Produce Hydrogen.*
U.S. Department of Energy
2008.
- Simorangkir, Eduardo. 2017. *RI Bidik
18.053 MW listrik dari Energi
Terbarukan, Realisasinya?*. <http://finance.detik.com/energi/3642939/ri-bidik-18053-mw-listrik-dari-energi-terbarukan-realisasinya> Di akses pada 2
November 2017.
- Siregar, Yusraini Dian Inayati. 2010.
*Produksi Gas Hidrogen dari
Limbah Alumunium.* Program
Studi Kimia UIN Syarif
Hidayatullah Jakarta. Jurnal
Kimia Valensi: Jurnal
Penelitian dan Pengembangan
Ilmu Kimia 2010; 1 (2): 362-
367..
- Soler, Lluís., et, al. 2007.
*Aluminum and aluminum
alloys as sources of hydrogen
for fuel cell application.*
Journal of Power Sources
2007;169:144-149.
- Yang, Weijuan, et, al. 2015.
*Experimental
study on the effect of low
melting point metal additives
on hydrogen production in the
aluminium-water reaction.* Int.
Journal of Energy 2015; 88:
537-543.
- Wang, Hong Wen, Ming-Ssu Chin.
2015.
*Rapid Hydrogen Generation
from
Aluminum-Water System Using
Synthesized Aluminum
Hydroxide
Catalyst.* Int. Journal of
Chemical Engineering and
Application 2015 Vol.
6 No.3.
- Wang, Hongqi, et, al. 2017. *Facile
Hydrogen Production from Al-
Water Reaction Promoted By
Chlorine Hydroxide.* Journal of
Energy 2017;131:98-105.
- Wang, H.Z., et, al. 2009. *A Review on
hydrogen production using
aluminum and aluminum alloys.*
Renewable and Sustainable
Energy reviews 2009;13:845-
853.