

## Produksi Hidrogen Melalui Reaksi Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hasil Canai Dingin dengan Larutan NaOH

Ali Alhamidi<sup>a,\*</sup>, Zilla Mala Arti<sup>b</sup>, Dhimas Satria<sup>c</sup>

<sup>a,b</sup>Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

<sup>c</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jendral Sudirman km.03 Cilegon, Banten, 42435

\*E-mail: alhamidi@untirta.ac.id

### Abstract

*Production of hydrogen through reaction of cold-rolled Metal Matrix Composites (MMCs) with NaOH or water was investigated. As well known that aluminium (Al) with water is a generally problem due to the presence of the oxide layer on the surface so that it is eliminated for improving the hydrolysis reactivity of aluminium to generate of hydrogen. It is found that the reaction directly occurred between Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and NaOH. The highest of hydrogen production per unit volume of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is 0.660 mL/min. It is indicated that the presence of the thin of ocide layer as passive layer is reduce. In the present study, the Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was cold rolled in several percent reductions of i.e. 40%, 50% and 60%. The SEM-EDAX analysis showed that the compound of AlMgSi, Oxygen, AlSi and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is appeared. The XRD peak analysis resulted in that dislocation density increased with the increasing of percent reduction. The measurement of hydrogen capacity indicated that presence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and the increase of dislocation density for sample after rolled prosess is fasilitated to production of hydrogen through react immediately with NaOH. It was concluded that the cold rolling and the presence of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are the predominant factor in determining the hydrolysis reactivity of the Al particles.*

**Kata kunci:** Hydrogen, Metal matrix Composites (MMCs), SEM-EDAX, XRD, NaOH.

### Abstrak

Produksi hidrogen melalui reaksi *Metal Matrix Composites* (MMCs) hasil canai dingin dengan NaOH atau air telah diteliti. Seperti diketahui bahwa aluminium (Al) dengan air pada umumnya memiliki masalah karena hadirnya lapisan oksida pada permukaanya sehingga perlu dihilangkan untuk meningkatkan reaksi hidrolisis aluminium untuk menghasilkan hidrogen. Hasil didapatkan bahwa reaksi langsung terjadi antara Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan NaOH. Hasil tertinggi perolehan hidrogen per satuan volume dari Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah 0,660 mL/min. Ini menunjukkan bahwa keberadaan lapisan oksida tipis sebagai lapisan pasif dapat dikurangi. Dalam penelitian ini Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dipelajari setelah canai dingin dengan reduksi 40%, 50% dan 60%. Analisis SEM-EDAX menunjukkan bahwa senyawa AlMgSi, Oxygen, AlSi dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> napak hadir. Analisis peak XRD menghasilkan bahwa kerapatan dislokasi meningkat dengan meningkatnya persen reduksi. Pengukuran kapasitas hidrogen menunjukkan bahwa keberadaan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan peningkatan kerapatan dislokasi untuk sampel setelah canai dingin memfasilitasi untuk produksi hidrogen melalui reaksi dengan NaOH. Hasil dapat disimpulkan bahwa canai dingin dan hadirnya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah faktor utama dalam menentukan reaktivitas reaksi hidrolisis partikel Al.

**Kata kunci:** Hidrogen, Metal matrix Composites (MMCs), SEM-EDAX, XRD, NaOH

### 1. Pendahuluan

Energi mempunyai peranan yang sangat penting bagi kehidupan manusia. Manusia tidak dapat lepas dari penggunaan energi dalam kehidupan sehari-hari. mulai dari peralatan rumah tangga, alat transportasi hingga peralatan pabrik membutuhkan energi sebagai media penggerak. Selama bertahun-tahun, bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas bumi dan batu bara menjadi sumber energi utama didunia. Berdasarkan data Ditjen MIGAS, Indonesia memiliki cadangan minyak bumi sebesar 4,04 milyar barel pada tahun 2011 dan pada tahun 2012 sebesar 3,74 milyar barel. Data tersebut menunjukkan adanya penurunan jumlah cadangan minyak yang terjadi setiap tahunnya. Sedangkan rata – rata konsumsi minyak bumi pertahun sebesar 385,239 ribu setara barel minyak [1]. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, pada tahun 2011 jumlah alat transportasi mobil di Indonesia mencapai 9.548.866 unit dan mengalami peningkatan pada tahun 2013 menjadi 11.484.514 unit [2]. Data tersebut menunjukkan bahwa pengurangan jumlah cadangan minyak yang terjadi tidak sejalan dengan jumlah konsumsi energi yang tidak mengalami penurunan terutama dalam bidang transportasi yang menggunakan minyak bumi sebagai energi penggeraknya selain itu penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar memberi dampak terhadap peningkatan polusi udara. Hidrogen adalah unsur yang melimpah, pembuatan hidrogen dengan pemisahan air menggunakan reaksi hidrolisis aluminium atau paduan aluminium telah menarik banyak

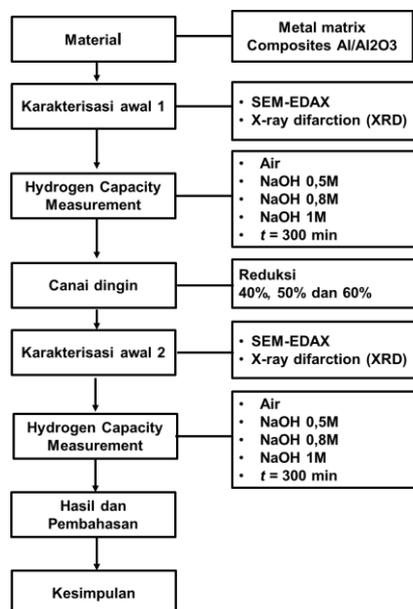
perhatian karena kesederhanaan sistem reaksi dan bahan dengan biaya yang rendah. Menurut reaksi, konsumsi 1g Al dengan air bisa menghasilkan 1360 cm<sup>3</sup> hidrogen pada temperatur 25°C dan tekanan 1 atm. Seluruh proses produksi hidrogen tidak menghasilkan emisi karbon [3-4]. Hidrogen sebagai energi terbarukan dapat digunakan pada teknologi *fuel cell* yang memiliki sistem kerja seperti aki. Hidrogen pada *fuel cell* ini dapat diaplikasikan pada alat transportasi seperti mobil [5]. Limbah dari proses pada *fuel cell* ini hanyalah air murni sehingga aman untuk dibuang dan tidak menyebabkan polusi. Dalam kondisi normal aluminium sulit untuk dapat bereaksi dengan air untuk menghasilkan hidrogen karena aluminium akan membentuk lapisan oksida pasif yang menutupi permukaan logam. Lapisan oksida pasif dapat dihilangkan dengan menggunakan larutan asam maupun basa. Tetapi, penggunaan larutan asam ataupun basa yang terlalu pekat dapat menyebabkan terjadinya korosi yang terlalu cepat dan membuat kontrol reaksi menjadi sulit. Penghilangan lapisan oksida pasif dapat dilakukan dengan penambahan unsur paduan seperti Gallium (Ga), Indium (In), Zinc (Zn) dan Alumina (Al). Selain dengan penambahan unsur paduan, penghilangan lapisan oksida pasif juga dapat dilakukan dengan pemberian perlakuan khusus terhadap logam seperti pencanaian. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang ditambahkan pada penelitian ini berfungsi untuk memodifikasi permukaan material aluminium. Modifikasi dilakukan agar material aluminium dapat bereaksi dengan air untuk dapat menghasilkan hidrogen. Partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berada pada permukaan aluminium membantu transportasi ion karena struktur yang cacat pada lapisan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sehingga ion Al<sup>3+</sup> bermigrasi dari permukaan logam aluminium melalui Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan bereaksi dengan air untuk membentuk boehmite dan pada saat yang sama ion H<sup>+</sup> mendapatkan elektron yang hilang dari atom aluminium untuk menghasilkan hidrogen [6]. Hidrogen yang dihasilkan kemudian akan digunakan sebagai energi yang ramah lingkungan. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai fasa penguat pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> banyak di aplikasikan pada tabung televisi atau pemancar satelit, baju anti peluru, pengganti sendi buatan, implant gigi dan media grinding [7]. Dislokasi pada logam menyebabkan energi dalam batas butir lebih tinggi dibandingkan didalam struktur kristal yang tidak stabil. Oleh karena itu, reaksi hidrolisis pada antar muka lebih mudah terjadi. Peningkatan kerapatan dislokasi atau energi regangan memegang peran kunci dalam meningkatkan kereaktivitasan paduan Al terhadap air [8]. Densitas dislokasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1.1) sebagai berikut [9].

$$2\rho = 3\eta/(D) \dots\dots\dots(1.)$$

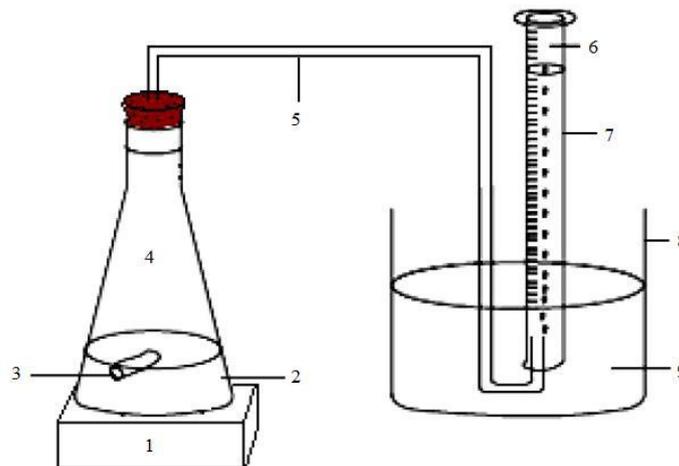
Dengan  $\rho$  adalah densitas dislokasi (m/m<sup>3</sup>),  $\eta$  suatu konstanta yang harganya mendekati ~1 dan  $D$  adalah ukuran kristalin. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh persen reduksi proses canai dingin terhadap produksi hidrogen pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan pengaruh konsentrasi NaOH terhadap produksi hidrogen dari komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil proses canai dingin.

**2. Material dan metode penelitian**

Gambar 2, menunjukan diagram alir penelitian. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan ukuran 40 x 15 x 15 mm hasil proses *stir casting* dari sumber X. Sampel yang telah dipreparasi kemudian dilakukan proses canai dingin (*cold rolling*) dengan reduksi sebesar 40%, 50% dan 60%. Setelah itu dilakukan uji hidrogen pada sampel hasil proses canai dingin selama 300 menit dengan menggunakan katalis NaOH 0,5M; 0,8M dan 1M sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3. Untuk mengetahui pengaruh proses canai dingin terhadap ukuran butir dan produksi hidrogen dilakukan pengamatan SEM-EDAX dan analisa XRD.



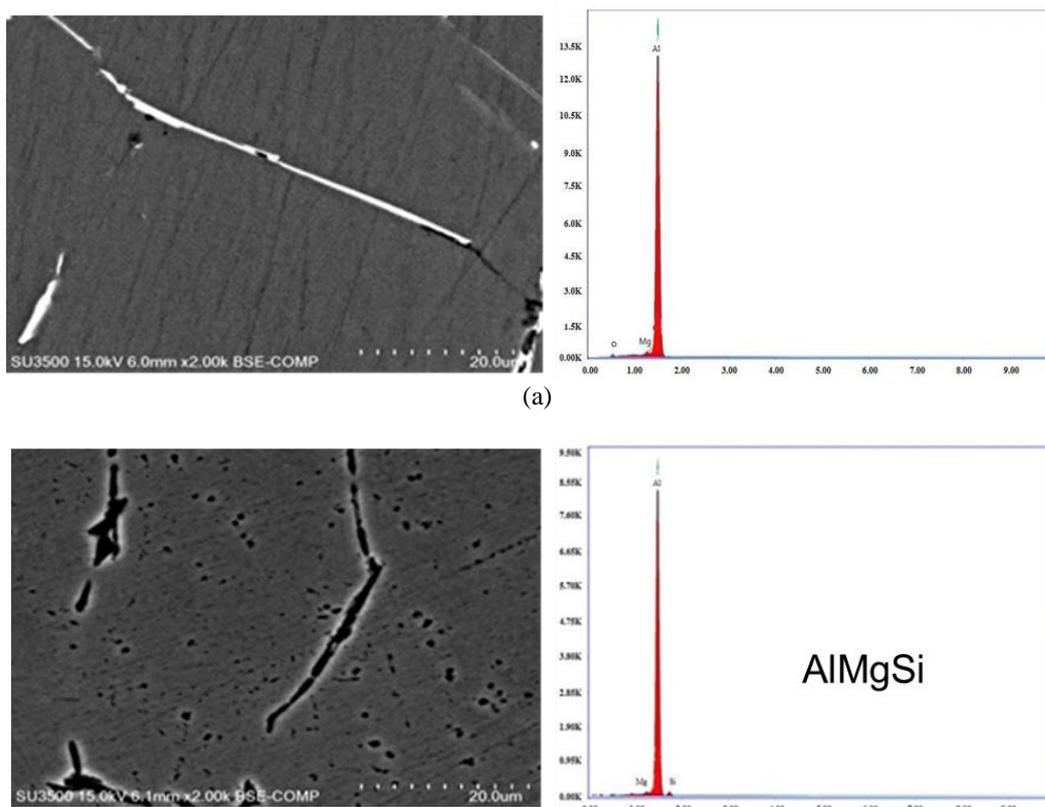
**Gambar 2.** Diagram alir penelian

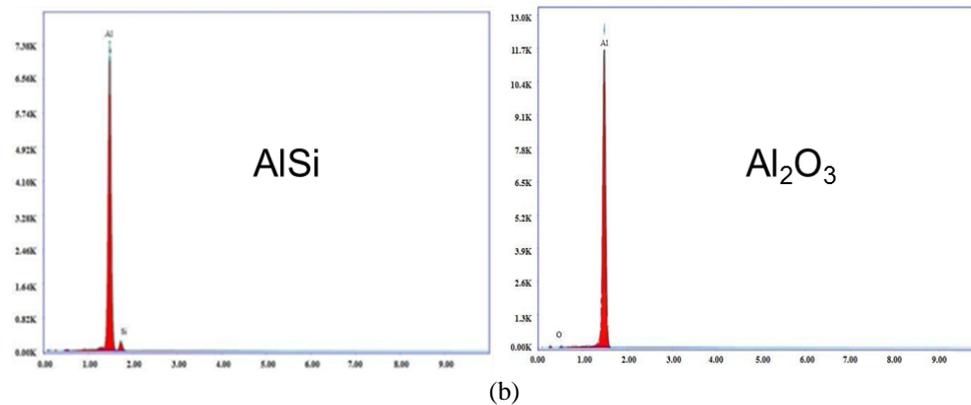


**Gambar 3.** Pengukuran Gas Hidrogen (1) Kompur (2) Larutan NaOH(3) Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4) Erlenmeyer (5) Selang (6) Gas Hidrogen (7) Gelas Ukur (8) Gelas Beker (9) Air [6].

### 3. Hasil Dan Pembahasan

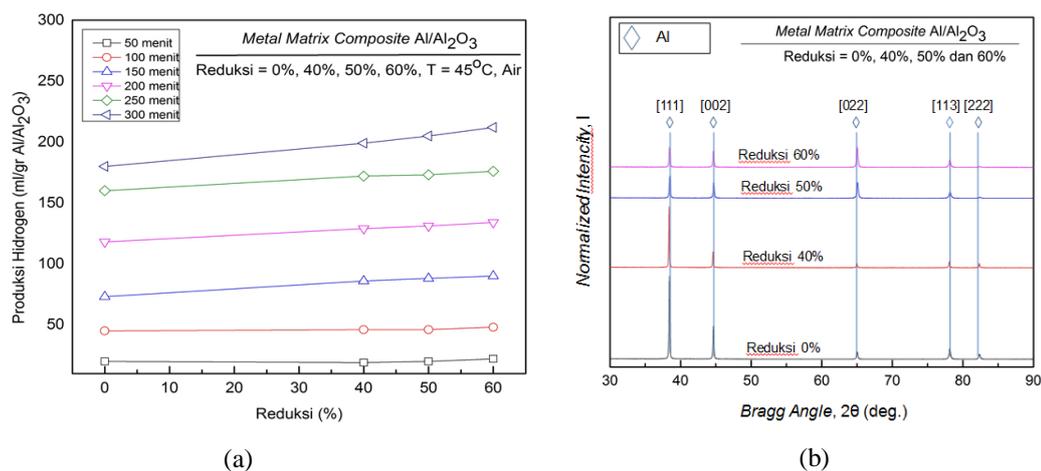
Gambar 4, menunjukkan hasil foto *Scanning Electron Microscopes* (SEM) dan *Energy Disperse X-Ray* (EDAX) pada sampel dengan (a) *as-received* dan (b) setelah proses canai dengan reduksi sebesar 60%. Pada analisa EDAX Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sampel awal terlihat hadirnya unsur Oksigen (O<sub>2</sub>), Magnesium (Mg), Silika (Si) dan Aluminium (Al) seperti terlihat pada Gambar 4(b). Hasil pengujian SEM-EDAX diketahui bahwa daerah yang berwarna putih pada foto mikro tersebut merupakan partikel AlSi sedangkan daerah yang berwarna hitam berukuran kecil adalah partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan penguat dan perantara pada reaksi hidrolisis yang tertanam didalam matriks aluminium. Reaksi aluminium dengan air murni dalam sistem Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah hasil dari korosi piting karena longgarnya lapisan permukaan yang disebabkan oleh adanya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada permukaan aluminium. Partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang berada pada permukaan aluminium membantu transportasi ion karena struktur yang cacat pada lapisan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sehingga ion Al<sup>3+</sup> bermigrasi dari permukaan logam aluminium melalui Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan bereaksi dengan air untuk membentuk boehmite dan pada saat yang sama ion H<sup>+</sup> mendapatkan elektron yang hilang dari atom aluminium untuk menghasilkan hidrogen [6].





**Gambar 4.** Scanning Electron Microscope - Energy Disperse X-Ray (SEM-EDAX) komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan (a) sampel *as-received* dan (b) sampel setelah canai dengan reduksi 60%.

Proses deformasi dilakukan dengan menggunakan metode canai dingin pada komposit Al/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Deformasi yang diberikan berfungsi untuk merusak lapisan pasif pada permukaan sampel. Kecacatan yang terjadi pada lapisan pasif, akan mempermudah terjadinya reaksi antara air dan sampel Al/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [10].

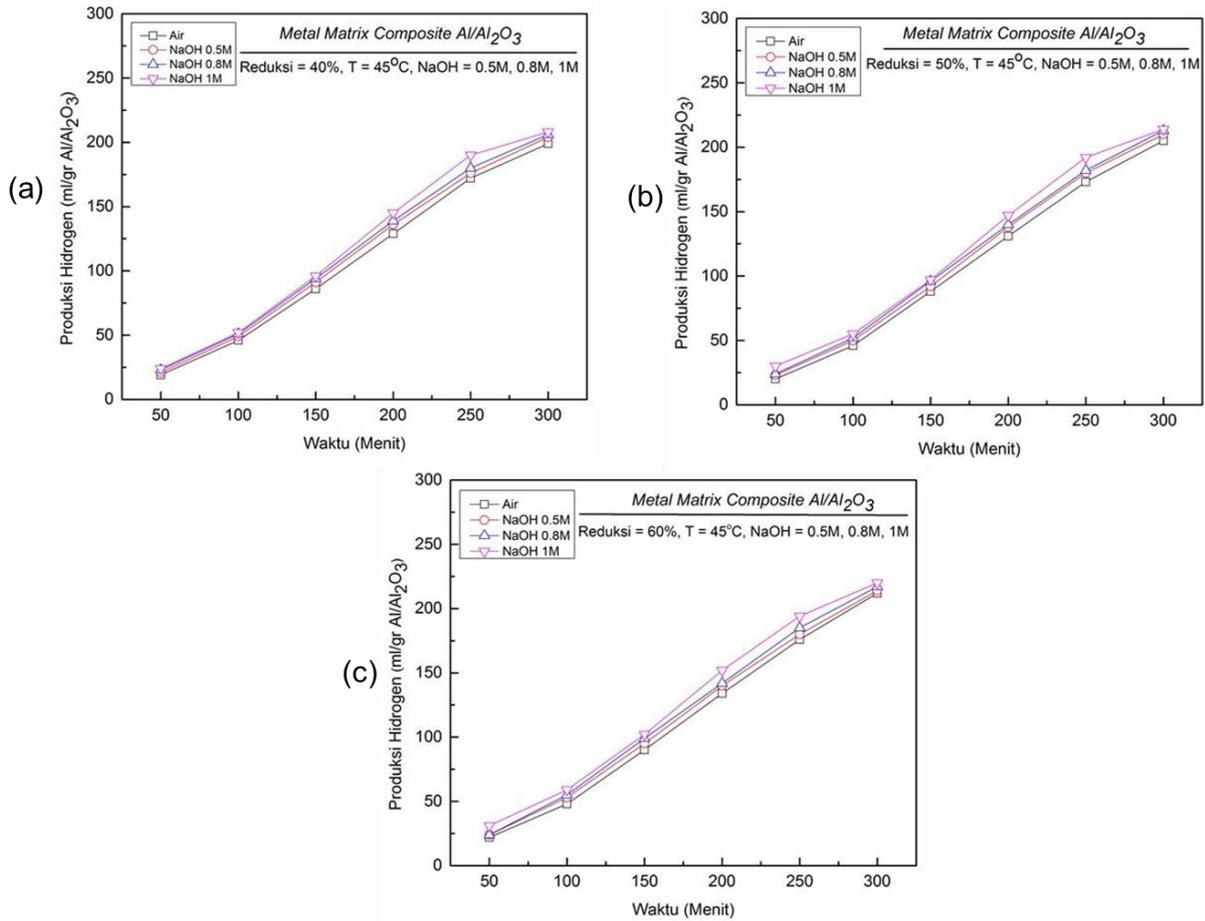


**Gambar 5.** (a) Pengaruh persen reduksi terhadap produksi gas hidrogen dan (b) Hasil analisa XRD pada komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reduksi 0%, 40% 50% dan 60%.

Gambar 5(a) terlihat bahwa hasil produksi gas hidrogen yang diukur selama 300 menit pada sampel *as-received* adalah sebesar 180 mL/g Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pada sampel dengan reduksi 40% sebesar 199 mL/g Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pada sampel dengan reduksi 50% sebesar 205 mL/g Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan pada sampel dengan reduksi 60% adalah sebesar 212 mL/g Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kenaikan produksi hidrogen dipengaruhi oleh dislokasi yang dihasilkan pada proses canai dingin. Semakin besar reduksi yang diberikan pada sampel, akan semakin banyak pula dislokasi yang menumpuk pada permukaan sampel. Dislokasi yang menumpuk menyebabkan ketidakstabilan pada lapisan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terbentuk, sehingga memungkinkan air untuk dapat melakukan kontak dengan aluminium. Dislokasi sendiri merupakan suatu pergeseran atau pergerakan atom-atom didalam sistem kristal logam yang diakibatkan oleh tegangan mekanik yang dapat menciptakan deformasi plastis (perubahan dimensi secara permanen). Energi dalam batas butir ini lebih tinggi dibandingkan didalam struktur kristal yang tidak stabil. Oleh karena itu, reaksi hidrolisis pada antarmuka lebih mudah terjadi. Energi yang dihasilkan dari perlakuan mekanik yang disimpan pada batas butir dapat lebih meningkatkan aktivitas dan ketidakstabilan pada paduan. Xiaoyang Hu [8] mengungkapkan bahwa proses canai meningkatkan energi regangan (kerapatan dislokasi) dan meningkatkan produksi hidrogen. Peningkatan kerapatan dislokasi atau energi regangan memegang peran kunci dalam meningkatkan kereaktivitasan paduan Al dan meningkatkan laju reaksi antara paduan Al dan air untuk melepaskan gas hidrogen.

Hasil analisa XRD dari sampel sebelum dan setelah proses canai dingin ditunjukkan pada Gambar 5(b), Berdasarkan hasil XRD yang diperoleh, dapat dihitung densitas dislokasi yang terdapat pada sampel sebelum dan setelah proses canai dingin dengan menggunakan persamaan (1.1). Berdasarkan hasil analisa XRD yang dilakukan diperoleh nilai densitas dislokasi dari setiap sampel, pada sampel dengan reduksi 0% (*as-received*) diperoleh densitas dislokasi sebesar 1,1160 m/m<sup>3</sup>, pada sampel dengan reduksi 40% diperoleh densitas dislokasi sebesar 1.1193 m/m<sup>3</sup>, pada sampel dengan reduksi 50% sebesar 1,1199 m/m<sup>3</sup> dan pada sampel dengan reduksi 60% sebesar 31,124 m/m<sup>3</sup>. Berdasarkan data

tersebut terlihat bahwa dengan semakin besarnya deformasi yang diberikan maka semakin besar pula densitas dislokasi yang terdapat pada sampel tersebut. Data ini sesuai dengan pernyataan Xiaoyang Hu [8] bahwa proses canai meningkatkan energi regangan (kerapatan dislokasi) dan meningkatkan produksi hidrogen.



Gambar 6. Pengaruh Penambahan NaOH Pada Sampel Hasil Canai Dingin Reduksi (a) 40%, (b) 50% dan (c) 60%.

Tabel 1. Produksi gas hidrogen rata-rata

Reduksi (%)	Media Reaksi	Volume Actual (mL) pada menit ke-						Produksi gas H <sub>2</sub> rata-rata (mL/min)
		50	100	150	200	250	300	
As-Received	Air	20	45	73	118	160	180	0,528
	NaOH 0,5M	21	47	77	120	163	185	0,545
	NaOH 0,8M	22	50	82	128	168	187	0,570
	NaOH 1M	22	51	84	132	177	189	0,585
Reduksi 40%	Air	19	40	86	129	172	199	0,568
	NaOH 0,5M	21	49	91	136	176	204	0,597
	NaOH 0,8M	23	51	94	139	180	206	0,616
	NaOH 1M	24	52	96	145	190	208	0,636
Reduksi 50%	Air	20	46	88	131	173	205	0,580
	NaOH 0,5M	23	50	92	138	180	210	0,614
	NaOH 0,8M	24	52	96	140	182	213	0,630
	NaOH 1M	30	55	97	147	192	214	0,669
Reduksi 60%	Air	22	48	90	134	176	213	0,600
	NaOH 0,5M	24	53	95	140	180	214	0,629
	NaOH 0,8M	24	55	99	142	185	217	0,644
	NaOH 1M	31	59	102	152	194	220	0,693

Berdasarkan Gambar 6 dengan semakin meningkatnya konsentrasi NaOH yang digunakan, tidak secara signifikan meningkatkan volume gas hidrogen yang diperoleh. Hal ini disebabkan karena pada proses produksi hidrogen, NaOH yang digunakan hanya berperan sebagai katalis yang membantu mempercepat reaksi produksi hidrogen. Hal ini sesuai

dengan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Yusraini [11] yang mengatakan bahwa semakin besar konsentrasi yang dipakai maka semakin cepat waktu yang diperlukan untuk produksi gas hidrogen. Data produksi gas hidrogen rata-rata dari setiap sampel disajikan pada Tabel 1. Produksi gas hidrogen rata-rata dari setiap sampel dengan perlakuan yang berbeda mengalami peningkatan. Pada sampel dengan persen reduksi tertinggi yaitu 60%, produksi gas hidrogen rata-rata yang diperoleh pada media reaksi berupa air murni adalah sebesar 0,600 mL/menit. Namun dengan penggunaan NaOH 0,5M produksi gas hidrogen meningkat menjadi 0,629 mL/menit dan semakin banyak seiring dengan semakin meningkatnya pula konsentrasi NaOH yang digunakan. Pada penggunaan NaOH 0,8M produksi gas hidrogen sebesar 0,644 mL/menit dan pada NaOH 1M produksi gas hidrogen menjadi 0,693 mL/menit. Penambahan volume yang terjadi dapat disebabkan oleh semakin cepat habisnya komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang direaksikan dalam NaOH.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan semakin tinggi reduksi yang diberikan maka semakin besar kerapatan dislokasi yang dihasilkan dan memfasilitasi terhadap produksi gas hidrogen. Produksi gas hidrogen tertinggi diperoleh pada sampel hasil proses canai dingin dengan reduksi 60% yaitu sebesar 209 mL/g Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selain itu semakin tinggi konsentrasi NaOH, maka semakin cepat laju reaksi. Laju reaksi terbesar diperoleh pada sampel hasil proses canai dingin dengan reduksi 60% dan konsentrasi NaOH 1 M yaitu sebesar 0,693 mL/menit yang diakibatkan hadirnya alumina yang menghambat terbentuknya lapisan pasif dipermukaan Al.

#### Daftar Pustaka

- [1] Ditjen Migas, "Statistik Cadangan Minyak Bumi dan Gas," [www.migas.esdm.go.id](http://www.migas.esdm.go.id), diakses: 14 Mei 2016.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Jumlah Kendaraan di Indonesia," [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id), diakses: 30 Juli 2016.
- [3] Huang, X., Chen, Z., Gao, T., Huang, Q., Niu, F., Qin, L., dan Huang, Y., 2013, "Hydrogen Generation by Hydrolysis of an Al/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite Power After Heat Treatment," *Energy Technol*, 1, 751-756
- [4] Dincer, I., Acar, C., 2016, "Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability", *Internasional Science Journal for Alternative Energy and Ecology*, 2000-2016.
- [5] Jauhari, A., 2012, "Pengembangan Adsorbent Hydrogen Storage untuk Aplikasi Fuel Cell dalam Bentuk Padatan Partikel Nano Karbon Aktif dengan Bahan Pengikat Likuida Lignoselulosa," Indonesia University.
- [6] Deng, Z.Y., Sakka, Y., 2005, "Modification of Al Particle Surfaces by  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Its Effect on The Corrosion Behavior of Al," *Journal of American. Ceramics Society*, 88 [4]: 977-979.
- [7] Karen, D., 2010, "Material Review: Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)," School of Doctoral Studies.
- [8] Hu, X., Zhu, G., Zhang, Y., Wang, Y., Gu, M., Yang, S., Pingxin Song., Li X.J., Fang, H., Jiang, G., Wang, Z., 2012, "Hydrogen Generation Through Rolling Using Al-Sn Alloy," *International Journal of Hydrogen Energy* 37:11012-11020.
- [9] Sugondo, Futichah, 2007, "Pengaruh Deformasi Pada Karakteristik Kristalit dan Kekuatan Luluh Zircaloy-4," *Journal Teknologi Bahan Nuklir Vol. 3 No. 1: 1-48*.
- [10] Namahoot, J., 2004, "Effect of Deformation on Corrosion of Al-Mn Alloys," the University of Birmingham.
- [11] Yusraini, D.I.S., 2010, "Produksi Gas Hidrogen dari Limbah Aluminium," *Valensi vol.2 No.1: 362-367*