Pengaruh Katalis Fe_2O_3 Pada Tabung Penyimpanan Hidrogen Berbasis MgH_2 Melalui Teknik *Mechanical Alloying*

Andia Fatmaliana^{1*}, Maulinda², Nirmala Sari³

¹Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Serambi Mekkah Kota Banda Aceh

³Program Studi Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Samudra Kota Langsa

*Koresponden email: andia.fatmaliana@serambimekkah.ac.id

Diterima: 14 Januari 2020

Disetujui: 27 Februari 2020

Abstract

Hydrogen is an alternative energy that has a very abundant amount in nature, three-fourths of all elements in nature are hydrogen. Abundance can be developed because it can be converted into electrical energy and is expected to be able to replace fossil materials that are increasingly depleting in the future. For the management of hydrogen, a very safe storage is needed. One of the efforts by inserting hydrogen in certain metals. Magnesium is one material that is able to absorb hydrogen. But it has a disadvantage, namely the absorption and release time is very slow, this is due to the strong bond between hydrogen and magnesium. Several attempts have been intensively studied to improve the properties of Magnesium including the use of materials in the form of nanocrystals with Mechanical alloying techniques and efforts to add certain catalysts are now being actively studied. Research on the addition of Hematite (Fe_2O_3) catalysts to hydrogen storage materials has been carried out through Mechanical alloying techniques based on MgH_2 - Fe_2O_3 . Hematite purely derived from nature has been successfully extracted chemically (precipitation method). The milled MgH_2 - Fe_2O_3 alloy samples were then analyzed by XRD and showed that the MgH_2 - Fe_2O_3 material was successfully reduced to the nanocrystal scale. The addition of catalysts and extended milling time also showed a decrease in desorption temperature.

Keywords : *hydrogen, magnesium, mechanical alloying, Fe_2O_3 , nanocrystal*

Abstrak

Hidrogen merupakan energi alternatif yang memiliki jumlah yang sangat melimpah di alam, tiga per empat dari seluruh unsur yang ada di alam ini adalah hidrogen. Kelimpahan tersebut dapat dikembangkan karena dapat dikonversikan menjadi energi listrik dan diharapkan di masa depan mampu menggantikan bahan fosil yang semakin hari semakin menipis. Untuk pengelolaan hidrogen diperlukan tempat penyimpanan yang sangat aman. Salah satu upayanya dengan menyisipkan hidrogen dalam logam tertentu. Magnesium (Mg) merupakan salah satu material yang mampu menyerap hidrogen. Tetapi memiliki kelemahan, yaitu waktu terjadinya penyerapan dan pelepasannya sangat lambat, hal ini dikarenakan kuatnya ikatan antara hidrogen dengan magnesium. Oleh karena itu upaya untuk memperbaiki sifat-sifat Magnesium tersebut diantaranya penggunaan material dalam bentuk nanokristal dengan teknik Mechanical alloying serta upaya menambahkan katalis tertentu kini sedang aktif diteliti. Telah dilakukan penelitian tentang penambahan katalis Hematit (Fe_2O_3) pada tabung penyimpanan hidrogen melalui metode milling yang berbasis MgH_2 - Fe_2O_3 . Hematit (Fe_2O_3) murni berasal dari alam telah berhasil diekstraksi dengan secara kimia (metode presipitasi). Sampel paduan MgH_2 - Fe_2O_3 yang dimilling tersebut kemudian dianalisis dengan pengujian X-Ray, hasil pengujian menunjukkan ukuran butir sampel MgH_2 - Fe_2O_3 mengalami perubahan ukuran hingga skala nanokristal. Penambahan katalis serta memperpanjang waktu milling juga memperlihatkan penurunan temperatur desorpsi

Kata Kunci: *Bijih Besi, MgH_2 , teknik mechanical alloying, katalis Fe_2O_3 , nanokristal*

1. Pendahuluan

Dewasa ini teknologi dalam berbagai bidang sangat cepat berkembang, baik itu teknologi alat komunikasi, transportasi dan industri. Teknologi tersebut membutuhkan energi, tanpa adanya energi semua jenis teknologi tersebut tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Energi fosil merupakan salah satu energi utama dalam memenuhi kebutuhan masyarakat [1]. Terjadinya pengurangan cadangan Bahan Bakar Minyak (BBM) dari waktu ke waktu dimana kebutuhan untuk energi semakin hari semakin tinggi dengan adanya pertambahan penduduk. Akibatnya harga bahan bakar semakin melambung tinggi,

sehingga perlu adanya penelitian tentang pencarian BBM alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil yang sangat ini digunakan. Salah satu energi alternatif yang memiliki prospek menjanjikan untuk dikembangkan dimasa yang akan datang adalah bahan bakar dengan menggunakan hidrogen karena hidrogen dapat diubah menjadi energi listrik dengan bantuan sel bahan bakar atau dikenal dengan *fuel cell* [2].

Prinsip kerja bahan bakar alternatif hidrogen sama halnya dengan akumulator, yang membedakan tenaga listrik dari reaksi kimia memakai oksigen dan hidrogen yang mengalir dan bereaksi seperti proses aliran bahan bakar melalui motor pembakaran, akan tetapi pada proses pembangkit listrik tidak terjadi pembakaran sehingga pembuangan dari prosesnya berupa uap air yang tidak mencemari lingkungan [3]. Hidrogen (H) merupakan unsur alam yang massa atom 1 dan memiliki 2 isotop, gas hidrogen adalah senyawa yang tidak berbau dan tidak memiliki warna dengan titik lebur dengan titik lebur $-259,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, titik didih $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sifat hidrogen mudah meledak, terbakar dan menguap. Massa jenis hidrogen cair $0,0708\text{ g/cm}^3$ ($-253\text{ }^{\circ}\text{C}$). Dalam bentuk padat gas hidrogen membentuk struktur *hexagonal closet packing*. Hidrogen juga memiliki sifat ambivalen terhadap unsur yang lain, yaitu dapat menjadi kation (H^+) atau anion (H^-) dalam senyawa ionic [4].

Di saat berinteraksi dengan kandungan logam-logam, H_2 tidak terbentuk molekul melainkan dalam bentuk atom. Letak H_2 juga berada pada kisi utama sehingga H_2 merupakan atom interstisi. **Gambar 1** menginformasikan hubungan antara kandungan logam dari suatu logam dengan atom atom H. Logam tersebut di istilahkan "*metal hydride*" [5].

Gambar 1. Hubungan atom-atom pada logam dengan atom-atom hidrogen

Penggunaan hidrogen memiliki beberapa keuntungan, seperti menghasilkan pembakaran panas tinggi, serta ramah lingkungan selama pembakaran [6]. Sistem konvensional juga bisa merubah hidrogen menjadi energi listrik yang dikenal dengan istilah Teknologi Cell Bahan Bakar [1]. Hidrogen dapat berubah bentuk menjadi hibrida logam pada penambahan paduan logam atau logam-logam yang mengakibatkan terbentuknya tabung penyimpanan padat. Penyimpanan ini dikenal dengan istilah *solid state*. Penyimpanan dalam bentuk padat diyakini lebih aman dan lebih baik dibandingkan dengan penyimpanan cair ataupun gas. Sistem dalam tabung penyimpanan padat tersebut memiliki prinsip kerja yang mana tersimpan dalam kisi material utama adalah atom-atom H, dengan kata lain H_2 disisipkan pada material yang lain [2].

Beberapa jenis material logam mempunyai kelebihan untuk mengabsorpsi H_2 dalam volume yang besar, salah satu material yang sangat berpotensi sebagai logam tabung penyimpan hidrogen adalah Magnesium (Mg). Magnesium dapat melakukan penyerapan gas hidrogen cukup besar 7,6 wt%. Namun Magnesium juga memiliki beberapa kelemahan yaitu lambatnya proses penyerapan dan pelepasan hidrogen serta waktu pelepasannya memerlukan temperatur yang sangat tinggi ($300\text{ }^{\circ}\text{C}$) [7].

Dari penelitian-penelitian sebelumnya berbagai upaya sudah dianalisis, baik secara teoritis maupun eksperimental untuk menyempurnakan material Magnesium tersebut. Seperti cara kerja pembentukan material sampai ukuran kecil, dengan menggunakan teknik pemilingan dan memperlebar morfologi permukaan sampel, penggunaan teknik preparasi seperti *melt spinning*, *vapour deposition* [8]. Penggunaan bahan alam sebagai katalis tertentu seperti material oksida ke dalam senyawa MgH_2 dalam skala nanokristal [9].

Penelitian tentang penambahan katalis pada Magnesium pernah dilakukan beberapa peneliti sebelumnya dengan berbagai unsur serta berbagai metode pembuatan. Penggunaan katalis Fe_2O_3 dan SiC

dalam jumlah kecil (5wt%) juga sangat efektif untuk memperbaiki karakteristik MgH_2 yang dibuat dengan metode *reactive ball milling*. Hasil menunjukkan juga bahwa proses pelepasan H_2 terjadi pada temperatur 354 °C [10]. Dari hasil uraian permasalahan di atas, maka perlu dipelajari dan dikaji lebih lanjut tentang paduan MgH_2 dengan material nanokristal Fe_2O_3 dengan menggunakan teknik *mechanical alloying* yang diharapkan mampu memperbaiki sifat-sifat absorpsi serta desorpsi temperatur material penyimpan hidrogen berbasis $\text{MgH}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

2. Metode Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 23 Oktober 2018 sampai tanggal 1 Januari 2019.

Prosedur Penelitian

Oksida logam Fe_2O_3 hasil ekstraksi material lokal yang berasal dari dari Desa Jantang Kecamatan Lhoong, Aceh Besar, Banda Aceh. Sampel tersebut dibersihkan kemudian dihancurkan dan disaring dengan menggunakan saringan ukuran 80 mesh untuk didapatkan ukuran yang sama. Sampel bijih besi dilakukan proses separasi manual dengan magnet. Serbuk sampel yang sudah dilakukan proses pemisahan tersebut ditimbang sebanyak 50 gram selanjutnya ditambahkan HCl sebanyak 190 ml sambil diaduk hingga rata. Kemudian sampel diletakkan di atas *hot plate magnetite stirrer* untuk dilakukan pemanasan pada suhu 145 °C dengan kecepatan 350 rotasi/per menit. Ekstraksi secara kimia dengan *precipitation method* menggunakan senyawa (NH_4OH) sebanyak 25% dengan cara diteteskan ke dalam sampel larutan sampai pH 6 serta terdapat endapan di dasar wadah.

Endapan yang terbentuk dibersihkan dengan cara dicuci berulang kali menggunakan aquades, kemudian dikeringkan memakai pemanas pada suhu 150 °C dengan waktu penahanan 19 jam. Hal ini dilakukan agar kandungan air hilang dalam endapan tersebut. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu 500 °C dalam tungku pembakaran dengan waktu penahanan 2 jam. Proses selanjutnya dilakukan reduksi ukuran butir dengan menggunakan mesin *ballmilling*, bahan utama yang digunakan berupa serbuk MgH_2 dan katalis Fe_2O_3 yang telah diekstraksi secara kimia.

Variabel

Adapun perbandingan bola dengan sampel adalah 10:1 dimana total berat sampel adalah 1 gram dan 10wt% dari Fe_2O_3 , kemudian dimiling dengan variasi waktu milling yang berlangsung selama 2 jam, 6 jam dan 10 jam dengan kecepatan milling 250 rpm.

Analisis Data

Proses persiapan sampel dan proses milling serta identifikasi fasa dengan menggunakan XRD. Proses identifikasi kandungan mineral dalam bijih besi menggunakan XRF. Analisa termal bahan dilakukan dengan menggunakan DSC.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis dengan X-Ray Fluorescence (XRF)

Identifikasi sampel menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan agar diketahui persentase senyawa dan unsur pengotor yang terdapat pada sampel bijih besi yang diambil di wilayah Desa Jantang Kecamatan Lhoong, Aceh Besar. Ref [10] menjelaskan bahwa bongkahan bijih besi yang berasal dari Kecamatan Lhoong mempunyai kadar Fe_2O_3 yang tinggi dan bisa diaplikasikan sebagai katalis serta lainnya. Dijelaskan juga bijih besi yang diambil langsung dari Kecamatan Lhoong terlebih dahulu harus dibersihkan kemudian dihancurkan sampai halus, selanjutnya dilakukan proses karakterisasi dengan XRF. Bijih besi tersebut tidak melalui proses ekstraksi apapun.

Proses ekstraksi merupakan salah satu proses pemisahan kandungan senyawa dalam suatu pelarut. Ekstraksi logam ini biasanya dilakukan dengan beberapa teknik yaitu hidrometalurgi, pirometalurgi serta presipitasi [11]. Metode presipitasi adalah metode pencampuran larutan asam dan larutan penetral yang menghasilkan padatan kristalin serta air [12]. Adanya pencampuran larutan asam dan basa tersebut dapat mengakibatkan larutan menjadi jenuh dan menghasilkan endapan serbuk besi yang halus dan berukuran nanopartikel [13].

Ref [14] menjelaskan bahwa proses perlakuan kimia dengan menggunakan metode pengendapan dapat mempengaruhi beberapa sifat dari material oksida logam seperti impuritas, aglomerasi dan fase yang terbentuk, karena itu pengkajian lebih dalam tentang proses sintesis pada sampel oksida logam banyak dilakukan. Teknik presipitasi menjadi pilihan para peneliti sebab memiliki banyak kelebihan diantaranya proses perlakuan yang simpel serta harga yang terjangkau.

Tabel 1.Hasil identifikasi XRF sampel bijih besi proses secara fisis dan secara kimia

Nama Senyawa	(Secara fisis)	(Secara kimia)
	Magnetic separation Persentase (%)	Metode presipitasi Persentase (%)
Fe_2O_3	95.99	96.58
SiO_2	2.10	2.10

Dari **Tabel 1** dapat diketahui hasil analisis kuantitatif dalam sampel bahan alam Fe_2O_3 . Proses secara fisis menunjukkan persentase komposisi senyawa Fe_2O_3 (95,99 %). Kemudian senyawa SiO_2 dengan memiliki persentase komposisi 2.10%. Adapun hasil analisis dengan menggunakan metode *precipitation* menunjukkan peningkatan persentase tingkat pengurangan unsur kotor dalam sampel yaitu sekitar 96,58 %, sedangkan senyawa SiO_2 masih memiliki persentase komposisi yang sama dengan sebelumnya. SiO_2 akan hilang apabila diberikan zat penambah seperti CaCO_3 . Kemudian ekstraksi dilakukan proses *blast furnace*, (proses reduksi bijih pada suhu tinggi). Untuk menghilangkan senyawa impuritas lainnya perlu dilakukan ekstraksi yang berulang-ulang supaya hasil ekstraksi sampelnya menjadi lebih sempurna.

Analisis dengan X-Ray Diffractometer (XRD)

Analisis terhadap sampel bijih besi dengan menggunakan alat *X-ray Diffractometer* (Shimadzu D6000) dilakukan untuk didapatkan informasi mengenai komposisi fasa mineral apa saja yang terkandung di dalam sampel Fe_2O_3 . Perlakuan manual yang sudah dilakukan pada sampel secara fisis (*magnetic separation*) dan sampel bijih besi yang diekstraksi dengan menggunakan metode *precipitation* serta sampel yang telah dilakukan proses pencampuran dengan MgH_2 dengan variasi persentase berat dan milling juga diidentifikasi secara bergantian, radiasi yang diberikan dengan nilai Panjang gelombang, $\lambda = 1,54060 \text{ \AA}$. Nilai voltage yang digunakan adalah 40 kV dengan aliran arus 30 mA.

Analisis material bijih besi

Hasil analisis struktur dengan XRD untuk sampel bahan alam Fe_2O_3 secara fisis (*Magnetic separation*) dan proses pemisahan secara kimia (metode presipitasi) ditunjukkan pada **Gambar 2**.

Gambar 2. Profil XRD sampel bijih besi secara fisis (*magnetic separation*) dan secara kimia (metode presipitasi)

Pola difraksi pada **Gambar 2** terlihat bahwa grafik yang terdiri dari puncak-puncak difraksi pada sampel yang mendapat perlakuan secara fisis masih sangat tajam. Sedangkan puncak (*peak*) difraksi tersebut mulai melebar/mengecil setelah sampel mendapat perlakuan kimia dengan menggunakan *method precipitation*. Ini mengidentifikasikan bahwa telah terjadinya perubahan ukuran butir sampel tersebut.

Identifikasi Material $\text{MgH}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada variasi waktu milling

Hasil analisis struktur dengan XRD untuk material $\text{MgH}_2 + 10\text{wt\% Fe}_2\text{O}_3$ pada variasi waktu *milling* (2 jam, 6 jam dan 10 jam) seperti ditampilkan pada **Gambar 3**.

Gambar 3. Profil XRD sampel $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada variasi waktu *milling*

Hasil uji XRD menunjukkan terdapat fasa MgH_2 , Fe_2O_3 dan SiO_2 setelah proses *mechanical alloying* untuk $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$. Munculnya fasa SiO_2 dikarenakan pada saat separasi sampel bijih besi secara fisis tercampur dengan pengotor walaupun telah dilakukan separasi berulang kali, namun fasa SiO_2 yang terdeteksi memiliki intensitas yang rendah.

Tabel 2. Hasil Ukuran butir $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada variasi waktu *milling*

$\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$	Parameter Pengukuran Bidang Kristal MgH_2			Parameter Pengukuran Bidang Kristal Fe_2O_3		
	FWHM($^\circ$)	θ ($^\circ$)	Ukuran Kristal (nm)	FWHM($^\circ$)	θ ($^\circ$)	Ukuran Kristal (nm)
2 jam	0.16850	13.9364	51.28	0.18810	27.2868	50.16
6 jam	0.19840	13.9321	43.55	0.22300	27.2816	42.32
10 jam	0.27880	13.9478	30.99	0.34760	27.2907	27.18

Hasil XRD terlihat pada **Gambar 2**, menunjukkan profil puncak difraksi hasil XRD pada variasi waktu *milling* terlihat mengalami perubahan. Hal ini dapat dilihat dari nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*) pada tiap sampel ditampilkan pada (**Tabel 2**). Nilai FWHM menunjukkan lebar puncak dari pola difraksi. Semakin besar nilai FWHM yang didapatkan dengan meningkatnya waktu *milling* maka akan adanya perubahan ukuran dari sampel. Sehingga hal tersebut dapat berpengaruh pada perubahan luas morfologi bagian atas material terhadap perbandingan skala ukuran butir sampel. Hasil analisis ini sangat berguna pada aplikasi tabung hidrogen karena dengan berkurangnya ukuran sampel maka hidrogen akan mudah berinteraksi dan berabsorpsi di dalam material MgH_2 [2].

Analisis Termal dengan DSC

Analisis pengujian termal diferensial merupakan salah satu teknik untuk mengetahui sifat termal suatu sampel dalam hal ini pengujian temperatur akan dilakukan perbandingan dengan material pembanding. Jumlah sampel serbuk sebanyak 5 - 10 mg ditempatkan dalam wadah (*crucibel*) lalu di tutup dengan rapat, dan dipastikan tidak ada udara yang masuk kedalam wadah. Selanjutnya pengaturan suhu dilakukan secara terprogram dan dilakukan pengujian sampel.

Pengujian termal dengan alat uji DSC untuk sampel MgH_2 dilakukan terlebih dahulu tanpa proses pemilingan dan dengan proses pemilingan. $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ dengan proses *milling* selama 2 jam, 6 jam dan 10 jam.

Gambar 4. Grafik termal DSC $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ pada waktu milling yang berbeda

Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah H_2 yang teradsorpsi untuk material $\text{Mg} + \text{H}_2$ murni terletak pada temperatur 409 °C. Hasil yang didapatkan menunjukkan nilai temperatur yang sama dengan penelitian sebelumnya [15] yang menjelaskan bahwa hasil temperatur operasi $\text{Mg} + \text{H}_2$ tanpa proses pemilinan masih tinggi dengan suhu 415 °C. Selanjutnya usahayang dilakukan untuk memperbaiki /menurunkan suhu dengan cara menambahkan jumlah volumekatalis 10wt% Fe_2O_3 dengan proses pemilinan selama 2 jam, 6 jam dan 10 jam. Jumlah temperatur pelepasan $\text{Mg} + \text{H}_2$ yang didapat menunjukkan terjadinya perubahan penurunan suhu dibandingkan dengan sampel MgH_2 *aldrich*.

Berdasarkan **Gambar 4** terlihat bahwa dengan penambahan katalis 10wt% Fe_2O_3 ke dalam MgH_2 kemudian dilakukan proses milling selama 2 jam maka didapat temperatur desorpsi dengan temperatur berkisar 370 °C. Pada pengujian untuk sampel $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang dimilling selama 6 jam maka didapat temperatur desorpsi adalah 363 °C begitu juga untuk sampel $\text{MgH}_2 + 10\text{wt}\% \text{Fe}_2\text{O}_3$ yang di *milling* selama 10 jam, temperatur desorpsi adalah 354 °C. Hal ini diyakini dengan penambahan waktu *milling* sangat mempengaruhi kinerja material berbasis $\text{MgH}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$.

4. Kesimpulan

Proses pemekatan bijih besi telah berhasil dilakukan dengan proses secara fisis (pemisahan magnetik) dan secara kimia (metode presipitasi). Hasil pengamatan XRD menunjukkan bahwa dengan metode presipitasi mampu mereduksi ukuran butir sampel. Hasil pola XRD terlihat bahwa material MgH_2 dengan penambahan katalis Fe_2O_3 yang dihaluskan dengan proses pemilinan membentuk puncak dengan unsur utama MgH_2 , sedangkan fasa minor Fe_2O_3 . Pada saat penambahan katalis serta pemanjangan waktu *milling* terjadi perluasan puncak pola difraksi. Hal ini menunjukkan bahwa sampel telah mengalami perubahan (reduksi) ukuran butir. Penambahan katalis dan perpanjangan waktu *milling* memperlihatkan perubahan pelepasan temperatur, dimana hasil pelepasan suhu tertinggi dapat diperkecil hingga berkisar antara 40-50 °C. Penurunan temperatur ini tergolong rendah karena pada penambahan katalis Fe_2O_3 di dalamnya banyak mengandung unsur pengotor yang dapat mempengaruhi desorpsi dari hidrogen. Tetapi, Hasil ini dapat menurunkan suhu sampel MgH_2 murni yang temperatur awalnya adalah 409 °C.

5. Referensi

- [1] Ali. Jauhari, "Pengembangan adsorben hydrogen storage untuk aplikasi fuel cell dalam bentuk padatan partikel nano karbon aktif dengan bahan pengikat likuida lignoselulosa," *Tesis*, Universitas Indonesia. Jakarta, 2012.
- [2] Jalil. Zulkarnain, "Material penyimpan hidrogen sistem $\text{MgH}_2 - \text{SiC}$ yang dipreparasi melalui rute reactive mechanical alloying," *Disertasi*. Universitas Indonesia Jakarta, 2011.
- [3] Muliawati. Neni, "Hidrogen sebagai sel bahan bakar : sumber energi masa depan," *Makalah energi terbarukan*. Fakultas Teknik Lampung, 2008.
- [4] Insani. Andon, "Paduan Mg_3CoNi_2 sebagai penyerap hidrogen," *Disertasi*. Universitas Indonesia Jakarta, 2009.
- [5] Schlappbach and Zuettel, "Hydrogen storage materials for mobile applications," *Nature*, Vol 414, 15 November, 2001.
- [6] Ogden. Joan M, "Developing an infrastructure for hydrogen vehicles: a southern california case study," *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 24, pp. 709-730, 1999.
- [7] Züttel, "Materials for hydrogen storage," *Materials* pp. 24-33, 2003.

- [8] C. M. Graca Araujo, "Hydrogen storage materials", *Catalysis*, 2008.
- [9] Zaluska, A, Zaluski, L, and Stroem-Olsen, "Nanocrystalline magnesium for hydrogen storage," *J. Alloys. Compd*, vol. 288, pp. 217-225, 2008.
- [10] Rahwanto, "Adisi Fe_2O_3 dan SiC pada MgH_2 untuk aplikasi penyimpanan hidrogen kendaraan fuel cell," *Indonesia Journal of Applied Physisc*. ISSN: 2085-0133, 2012.
- [11] Cristian, "Modern Analytical Chemistry", Newyork, McGrawhill Com, 2012.
- [12] Purwasasmita BS and Gultom RS, "Sintesis dan karakterisasi serbuk hidroksiapatit skala sub- mikron menggunakan metode presipitasi," *Journal of Life and Physical Sciences.*, vol 10, pp. 155-167, 2008.
- [13] Nisa. K, "Isolasi dan karakterisasi nano kalsium dari cangkang kijing lokal (*Pilsbryoconcha Exilis*) dengan metode presipitasi," *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor, 2011.
- [14] Shen, L., Qiao, Y., Guo, Y., and Tan, J., "Preparation and formation mechanism of nano-iron oxide black pigment from blast furnace flue dust, school of chemistry and chemical," Tianjin University, vol. 39, pp. 737 – 747, 2011.
- [15] Suryanarayana. C, "Mechanical alloying and milling," *Progress in materials science* vol. 46 pp. 1-184, 2001.