

Pengaruh Waktu Milling Terhadap Karakteristik MgH_2 Katalis SiO_2 dari Abu Sekam Padi dan Ni

The Influence of Milling Time on Characteristics of MgH_2 Catalyst of SiO_2 of Ash Husk Rice and Ni

Marlinda^{1,2}, Zulkarnain¹ dan Mursal¹

¹Magister Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unsyiah

²SMKN 3 Jln. Sultan Malikul Saleh Lhoong Raya, Banda Aceh Indonesia

Received March, 2018, Accepted May, 2018

Salah satu material yang dapat menyimpan hidrogen dalam jumlah besar adalah Magnesium (Mg). Selain memiliki kemampuan menyerap hydrogen juga mudah diperoleh dan ekonomis. Salah satu kekurangan Mg yakni reaksi kinetiknya sangat lambat serta temperatur desorpsi yang sangat tinggi. Dalam penelitian ini digunakan material penyimpan hidrogen berbasis $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ berasal dari abu sekam padi, dimilling dengan variasi waktu 2, 5, 7 dan 10 jam. menggunakan metode Mechanical Alloying, rasio bola dengan serbuk 10:1 dan kecepatan 250 rpm. Hasil pengukuran dengan X-Ray Diffractometer (XRD) menunjukkan material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ berhasil direduksi hingga skala nanokristal. Fasa yang muncul dari hasil observasi XRD adalah fasa MgH_2 sebagai fasa utama, fasa SiO_2 dan Ni sebagai fasa minor. Berdasarkan hasil Analisa data XRD, ukuran butir terkecil pada waktu milling 5 jam yaitu 10,791 nm. Hasil pengujian Differential Scanning Calorimeter (DSC) menunjukkan bahwa temperatur desorpsi pada sampel yang dimilling 5 jam yakni 364°C . Berdasarkan pengujian Thermogravimetric Analysis (TGA) didapatkan Weight loss sebesar 14,7 wt% dalam waktu 3,51 menit. Sehingga dapat dinyatakan bahwa waktu milling dapat menurunkan temperatur desorpsi campuran.

Materials that can store hydrogen in large quantities are Magnesium (Mg). Besides having the ability to absorb magnesium, it also easily available and economic, but it has several weaknesses, which are very slow kinetic reaction, for absorbing hydrogen and high temperature. In this research will be used hydrogen storage material based on $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ from ash husk rice, that was milled by the variation of time 2, 5, 7, and 10 h using Mechanical Alloying, with the ratio of ball to powder is 10:1 with a speed of 250 rpm. The measurement results using X-Ray Diffractometer (XRD) show that material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ has been reduced to nano-crystal scale. Phase arising from the result of XRD observation are MgH_2 as the main phase, SiO_2 and Ni as minor ones. Based on the result of XRD data analysis gives the lowest grain size is 10.7911 nm with milling 5 h. The result of Differential Scanning Calorimeter (DSC) shows that the lowest desorption temperature obtained on the milled sample for 5 h is 364°C . In the other hand, based on Thermo Gravimetric Analysis (TGA) testing results have Weight loss of 14.7 wt% in 3,51 min. Therefore, it can be said that the milling time can decrease the desorption temperature

Keywords : Storage hydrogen, Mechanical Alloying, catalyst , milling, XRD - DSC- TGA

Pendahuluan

Besarnya konsumsi bahan bakar fosil dalam seabad terakhir, membuat fakta menipisnya cadangan bahan bakar tidak dapat dihindari (Ali, 2012). Menipisnya cadangan bahan bakar menyebabkan harga bahan bakar menjadi mahal. Untuk itu perlu dikembangkan berbagai sumber energi alternatif yang

terbarukan dan bebas polusi. Sumber tenaga terbarukan tersebut seperti solar, hidrogen, biomassa, dan geothermal. Hidrogen merupakan salah satu energi alternatif yang memiliki prospek menjanjikan untuk dikembangkan karena dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan sel bahan bakar atau dikenal dengan *fuel cell* (Jalil, 2011). Fuel Cell adalah

salah satu sistem elektrokimia yang mengubah energi kimia dari hidrogen dan oksigen langsung menjadi energi listrik (Hasan, 2007). Penggunaan hidrogen sebagai energi alternatif untuk transportasi memiliki beberapa keuntungan, seperti menghasilkan pembakaran panas tinggi, dan ramah lingkungan selama pembakaran (Ogden, 1999).

Penyimpanan hidrogen untuk kendaraan berbahan bakar *fuel cell* terdapat tiga metode yaitu dalam bentuk gas, cair dan padat. Penyimpanan gas hidrogen dalam bentuk gas harus dalam tabung dengan tekanan tinggi sebesar 700 bar yang secara keamanan tidak efisien. Jika disimpan dalam bentuk cair, temperaturnya harus stabil pada -253°C . Kedua teknik ini belum memadai dari sisi keamanannya. Hidrogen membentuk hidrida logam dengan beberapa logam atau paduan yang menyebabkan terbentuknya penyimpanan *solid-state* yang memberikan keamanan lebih baik dari penyimpanan dalam bentuk gas maupun cair. Salah satu material yang dapat digunakan untuk menyimpan hidrogen dalam jumlah besar adalah Magnesium (Mg).

Magnesium memiliki kemampuan menyerap hidrogen sebesar 7,6 wt% dan biaya rendah (\$3,5/kg Mg). Namun Mg juga memiliki kelemahan, yaitu kinetika reaksinya sangat lambat serta temperatur operasi yang sangat tinggi yaitu sekitar $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ (Zuttel, 2003). Batas yang ditetapkan oleh Badan Energi Dunia (IEA) adalah dapat menyerap sebesar 5 wt% hidrogen pada temperatur $<100^{\circ}\text{C}$ dengan waktu sesingkat mungkin (Jalil, 2011). Banyak upaya ilmiah mengkaji secara teoritis dan eksperimental untuk memperbaiki sifat-sifat Mg dan menurunkan temperatur desorpsi, misalnya dengan proses pembentukan material hingga berskala nanokristal dengan teknik *Mechanical Alloying*, membentuk material komposit (Graca, 2008), upaya menambahkan katalis tertentu, seperti logam (Ni, Mn, Fe, Cu) ataupun logam oksida ke dalam MgH_2 (Zuttel, 2008).

Dengan penambahan katalis oksida atau logam dapat memperbaiki karakteristik dari Mg. Zaluska, *et al.*, (1999) menjelaskan penambahan logam pada MgH_2 mempengaruhi permukaan dan susunan komposit magnesium serta dapat meningkatkan kinetika desorpsi gas hidrogen pada suhu rendah. Secara khusus, penambahan logam transisi dapat melemahkan ikatan Mg-H. Zat aditif ini membantu mengubah sifat permukaan, struktur mikro dan ukuran butir dengan cara *Mechanical*

Alloying. Dengan kata lain logam ini bertindak sebagai gerbang untuk hidrogen pada permukaan hidrida (Tsuda, 2002).

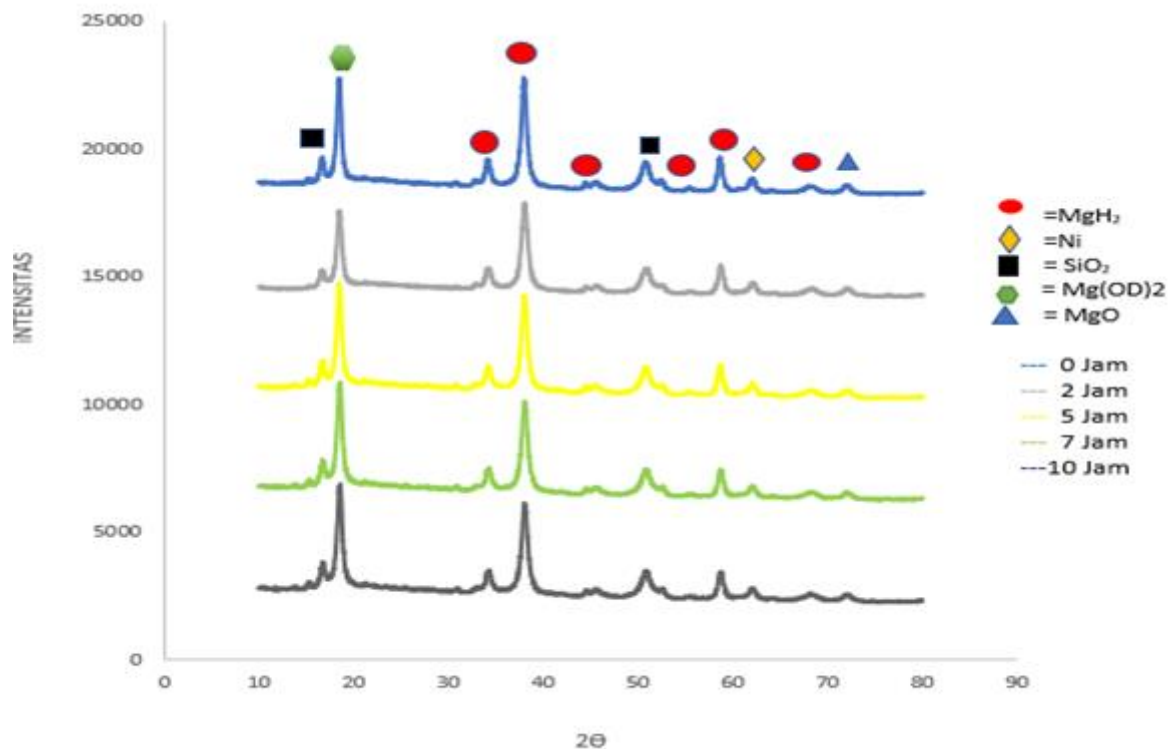
Pada penelitian ini akan digunakan katalis Ni dan SiO_2 pada material MgH_2 dengan variasi waktu milling. Sebagai katalis heterogen Ni bertindak sebagai situs aktif (dopan) yang membutuhkan penyangga katalis sebagai wadah untuk distribusi gugus aktif katalis. Salah satu material yang umum digunakan sebagai penyangga katalis heterogen adalah silika. Penyangga silika memiliki luas permukaan yang besar sehingga menyebabkan komponen aktif katalis terdispersi secara merata, meningkatkan luas reaktannya, meningkatkan kekuatan mekanik, meratakan panas reaksi serta mampu meningkatkan stabilitas panas (Lubis, 2009). Terkait kendala akan bahan baku silika yang harganya mahal maka digunakan silika organik yang berasal dari abu sekam padi.

Metodologi

Silika dari abu sekam padi 15 wt% dicampur dengan $\text{MgH}_2 + 5\text{ wt\% Ni}$. Selanjutnya dilakukan milling dengan variasi waktu 2, 5, 7 dan 10 jam. Total berat setiap sampel adalah 1 g, rasio bola dan material yang digunakan adalah 10:1, kecepatan putaran 250 rpm. Setelah sampel dimilling, setiap sampel dilakukan karakterisasi, yakni analisa dengan XRD (Shimadzu D6000), DSC dan TGA.

Hasil Penelitian

Identifikasi fasa terhadap $\text{MgH}_2 + 5\text{ wt\% Ni} + 15\text{ wt\% SiO}_2$ dengan menggunakan alat XRD dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi terkait komposisi fasa mineral yang terkandung di dalam campuran tersebut. Hasil indentifikasi fasa dengan waktu *milling* 0, 2, 5, 7 dan 10 jam, ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan pola difraksi pada gambar didapat informasi munculnya fasa mayor dan fasa minor. Fasa hidrida MgH_2 terdapat pada sudut-sudut difraksi (2θ) yaitu $37,9226^{\circ}$, $58,5738^{\circ}$, $34,1209^{\circ}$, $52,4000^{\circ}$, $45,5000^{\circ}$, $32,8812^{\circ}$ dan $49,7600^{\circ}$ sebagai fasa mayor. Untuk fasa SiO_2 sebagai fasa minor terdapat pada sudut 2θ yaitu $50,7431^{\circ}$, $16,6263^{\circ}$, $68,1740^{\circ}$, $20,000^{\circ}$ dan $21,1400^{\circ}$. Fasa Ni terdapat pada sudut 2θ yaitu $71,9540^{\circ}$ dan $44,4800^{\circ}$. Pada pola puncak difraksi hasil pengujian XRD pada variasi waktu *milling* terlihat mengalami perubahan yang signifikan pada waktu *milling* 5 jam, artinya selisih nilai *FWHM* (*Full Width at Half Maximum*) terlihat jelas.

Gambar 1 Pola Difraksi Material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\%Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ Pasca *Milling*

Pada material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ yang dimilling 0, 2, 5, 7 dan 10 jam di ketahui nilai FWHM sebesar 0,70790, 0,71070, 0,82190, 0,76320 dan 0,77680. Nilai FWHM ini menunjukkan lebar puncak dari pola difraksi. Pelebaran puncak tersebut menunjukkan telah terjadi proses reduksi ukuran kristal fasa MgH_2 . Dengan adanya reduksi ukuran kristal diyakini akan terjadi peningkatan permukaan material terhadap rasio volume kristal. Dengan demikian hidrogen akan mudah berinteraksi dan berabsorpsi di dalam material MgH_2 (Jalil, 2012). Munculnya fasa Mg(OD)_2 dan MgO sebagai impuritas dapat mempengaruhi temperatur desorpsi hidrogen (Jalil, 2011). Hal ini disebabkan pada saat penimbangan, penyimpanan dan pemindahan sampel dari suatu wadah ke wadah lain, terjadi kontaminasi dengan udara sehingga menyebabkan munculnya fasa Mg(OD)_2 dan MgO . Fasa Mg(OD)_2 tersebut muncul pada sudut difraksi (2θ) $18,4135^\circ$ dan Fasa MgO muncul pada sudut difraksi $61,9588^\circ$ dan $36,4400^\circ$. Ukuran kristal pada masing-masing material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ dapat diketahui untuk setiap variasi waktu *milling* dengan menggunakan persamaan Scherrer seperti pada Pers. (1) dimana D adalah ukuran kristal (nm), k adalah konstanta (0,95), λ adalah panjang gelombang XRD CuK sebesar $1,5406 \text{ \AA}$, β adalah pelebaran kurva

puncak difraksi yaitu FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dan θ adalah sudut dari puncak tertinggi.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Hasil perhitungan ukuran butir pada masing-masing material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$ dapat dilihat pada Tabel 1 dan didapatkan bahwa ukuran butir semakin kecil dari waktu *milling* 2 sampai 5 jam. Namun pada *milling* 7 dan 10 jam ukuran butir menjadi lebih besar.

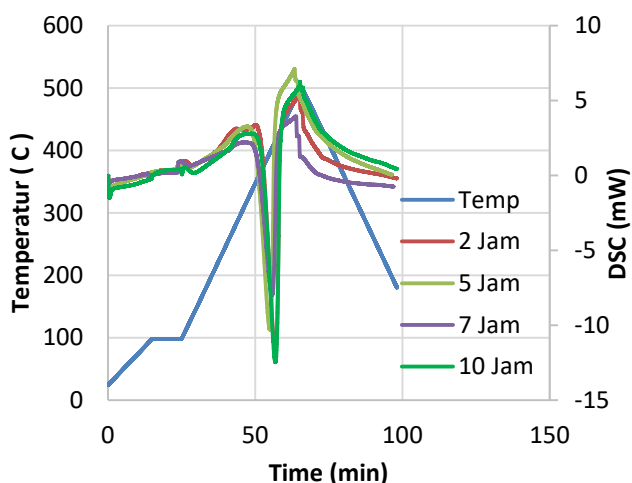
Tabel 1 Hasil Kalkulasi Ukuran kristal pada Material $\text{MgH}_2+\text{Ni}+\text{SiO}_2$ dengan Variasi *Milling*

Variasi waktu <i>Milling</i> (jam)	FWHM ($^\circ$)	θ ($^\circ$)	Ukuran Kristal (nm)
0	0.70790	18,96130	12.5264
2	0.71070	18,96155	12.4770
5	0.82190	18,99500	10.7911
7	0,76320	18.97840	11,6199

Dari hasil analisa ukuran butir terlihat bahwa penambahan waktu *milling* membuat ukuran butir dari material campuran semakin kecil. Ini menunjukkan proses *Mechanical Alloying* efektif untuk mereduksi ukuran kristal pada material $\text{MgH}_2+5 \text{ wt\% Ni}+15 \text{ wt\% SiO}_2$. Hal tersebut sesuai

dengan pernyataan Mustanir, *et.al* (2011) bahwa teknik *Mechanical Alloying* sangat efektif dan menjanjikan dalam preparasi material berskala nanokristalin. Penurunan ukuran kristal secara drastis pada waktu *milling* 5 jam dengan ukuran kristal yang lebih kecil akan membentuk *surface area* yang lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran kristal yang lebih besar dan mengakibatkan hidrogen akan lebih mudah melakukan rekombinasi (Sari dkk, (2015)). Selain itu penurunan ukuran kristal dapat menurunkan temperatur onset dan temperatur endset.

Pada waktu *milling* 7 dan 10 jam ukuran butirnya lebih besar. Hal ini disebabkan terjadinya penggumpalan (aglomerasi) saat *milling*. Aglomerasi ini terjadi akibat tumbukan dan tekanan yang diberikan bola-bola terhadap serbuk yang membuat partikel bergabung satu sama lainnya. Aglomerasi yang berlebihan ini dapat menurunkan sifat adsorpsi dan desorpsi karena menurunkan luas permukaan kontak magnesium dengan hidrogen. Pengujian termal dengan menggunakan DSC telah dilakukan pada material $\text{MgH}_2 + 5 \text{ wt\% Ni} + 15 \text{ wt\% SiO}_2$ yang dimilling selama 2, 5, 7 dan 10 jam. Hasil uji termal dengan menggunakan DSC dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva Gabungan Pengujian DSC Material $\text{MgH}_2 + 5 \text{ wt\% Ni} + 15 \text{ Wt \% SiO}_2$ dengan Variasi Milling

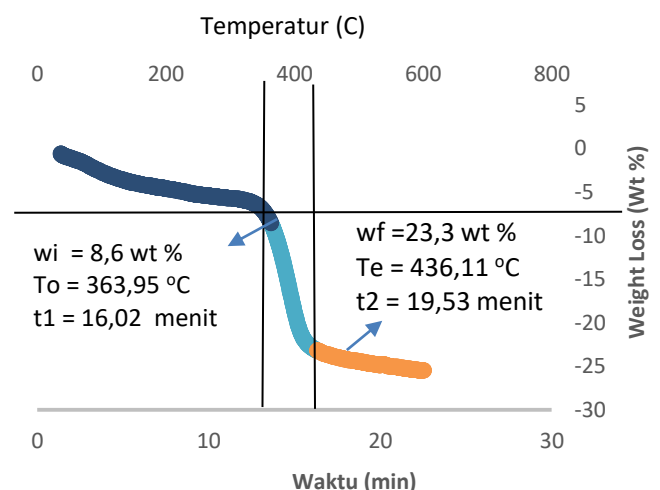
Berdasarkan kurva Uji termal yang dihasilkan dapat dirangkum temperatur desorpsi dengan variasi waktu *milling* seperti terlihat pada Tabel 2. Dari hasil uji termal menggunakan DSC pada material $\text{MgH}_2 + 5 \text{ wt\% Ni} + 15 \text{ wt\% SiO}_2$ dapat diketahui bahwa penambahan waktu *milling* dapat menurunkan temperature desorpsi hingga 364°C

pada waktu *milling* 5 jam. Dengan penambahan waktu *milling* akan memperkecil ukuran kristal sehingga menurunkan temperatur desorpsinya. Varin, *et.al.*, (2009) menyatakan bahwa partikel yang kecil akan membentuk *surface area* yang besar sehingga H akan mudah melakukan rekombinasi. Hal ini akan memberi pengaruh kuat pada penurunan temperatur desorpsinya. Pada waktu *milling* 7 jam diperoleh temperatur desorpsi 370°C dan pada waktu *milling* 10 jam diperoleh temperatur desorpsi 369°C . Terjadi kenaikan temperatur desorpsi ini disebabkan adanya aglomerasi (penggumpalan) yang mengakibatkan ukuran kristal menjadi lebih besar. Ukuran kristal yang besar membuat *surface area* menjadi kecil, Hidrogen akan sulit untuk rekombinasi sehingga temperatur desorpsinya meningkat.

Tabel 2 Hasil Pengujian DSC terhadap Waktu Milling

Variasi Waktu Milling (jam)	$T_{\text{Onset}} (^\circ\text{C})$	$T_{\text{Endset}} (^\circ\text{C})$
2	374,41	437,16
5	363,95	437,16
7	370,14	439,15
10	369,14	438,16

Pengujian Gravimetrik diperlukan untuk melihat proses serapan material dengan kapasitas serap hidrogen. Pada Gambar 3 memperlihatkan perilaku desorpsi material $\text{MgH}_2 + 5 \text{ wt\% Ni} + 15 \text{ wt\% SiO}_2$ pada proses *milling* 5 jam.



Gambar 3 Kurva Desorpsi Material $\text{MgH}_2 + 5 \text{ wt\% Ni} + 15 \text{ wt\% SiO}_2$ dengan Proses Milling 5 jam

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada material $\text{MgH}_2 + 5 \text{ wt\% Ni} + 15 \text{ wt\% SiO}_2$ dengan proses milling 5 jam mengalami desorpsi $14,7 \text{ wt\%}$ pada temperatur

364°C selama 3,51 menit. Hal ini disebabkan akibat *milling* yang membuat ukuran kristal menjadi lebih kecil sehingga mampu mendesorpsi hidrogen lebih banyak. Insani (2009) menjelaskan karena ukuran kristal yang lebih kecil akan menghasilkan luas permukaan kontak yang besar antara material dengan hidrogen, sehingga kesempatan hidrogen masuk ke dalam partikel material semakin besar dan akibatnya laju absorpsi hidrogen meningkat. Nilai temperatur dari hasil uji termal menggunakan DSC dan TGA tersebut masih tergolong tinggi untuk aplikasi pada dunia industri otomotif. Berdasarkan data *International Energy Agency* (IEA) didapat target untuk sebuah sistem penyimpanan hidrogen yaitu mampu menyimpan minimal 5 wt% pada temperatur operasional dibawah 100°C dengan waktu melakukan adsorpsi/desorpsi dibawah 1 jam (Jalil, 2012).

Kesimpulan

Variasi waktu *milling* yang diberikan dapat mempengaruhi ukuran butir pada MgH₂+5 wt% Ni+15% SiO₂. Dimana ukuran kristal terkecil terdapat pada waktu *milling* 5 jam yang memiliki nilai 10,791 nm. Fasa yang muncul dari hasil observasi XRD adalah fasa MgH₂ sebagai fasa utama diikuti fasa SiO₂ dan Ni sebagai fasa minor. Hasil pengujian *Differential Scanning Calorimetric* (DSC) menunjukkan bahwa temperatur desorpsi pada sampel yang dimilling 5 jam yakni 364°C. Berdasarkan pengujian *Thermogravimetric Analysis* (TGA) mempunyai *Weight loss* 14,7 wt % dalam waktu 3,51 menit, sehingga dapat dinyatakan bahwa waktu *milling* dapat menurunkan temperatur desorpsi.

Referensi

- Alfatah, Gilang A., dan widyastuti. 2012. Pengaruh Variasi Penambahan Ni pada Mg dan Variasi Kecepatan Milling dengan Metode Mechanical Alloying terhadap Sifat Absorpsi dan Desorpsi Mg sebagai Material Penyimpan Hidrogen. *Jurnal Teknik Material dan Metalurgi Pomits*. 1(1):1-4
- Ali, J. 2012. Pengembangan Adsorben Hydrogen Storage untuk Aplikasi Fuel Cell dalam Bentuk Padatan Partikel Nano Karbon Aktif dengan Baha Pengikat Likuida Lignoselulosa. *Tesis*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Barkhordarian, Gagik T. K, and Ruediger .B. 2006. Catalytic Mechanism of Transition-Metal Compounds on Mg Hydrogen Sorption Reaction, *Journal of Physisc. Chem. B*, 110 (22), 11020-11024.
- Borgschulte, A. Zuttel, A. Schlapbach, L. 2008. Hydrogen a Future Energy Carrier, Wiley VCH Verlag, Weinheim.
- Bojar, Z. Przetzkiewicz, W. 2003. Nanocrystalline hydrogen absorbing Mg-Ni alloy processed by mechanical (ball) milling, *Rev. Adv. Mater. Sci*. 5, p. 450-454.
- Cakrawijaya, A.D. 2014, Pemodelan Pengaruh Penambahan Katalis Logam Transisi Cr, Nb dan Mg²⁺ Terhadap Asosiasi Mg-H pada Pembentukan Sistem MgH₂. *Skripsi*. Institut Teknologi Bandung.
- Chang, R. 2010. *Chemistry*, Tenth Edition, Published by Mc Graw-Hill, Pp 594-599.
- Fatmaliana, A.2015. Study Pengaruh Fe₂O₃ untuk Katalis Material Penyimpanan Hidrogen Berbasis MgH₂. *Tesis Universitas Syiah Kuala*, Banda Aceh.
- Liang, G. J. Huot, S. Boily, A. Van Neste, and Schulz. R. 1997. Mechanical Alloying and hydrogen absorption properties of the Mg-Ni System. *Journal of Alloys and Compounds* 267(1998) 302-306.
- Lubis,S.(2009). Preparasi Katalis Cu/Silika Gel dari Krisbalit Alam Sabang serta Uji Aktivitas pada Reaksi Dehidrogenasi Etanol, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 7(1) : 29-35.
- Hasan, A. 2007. Aplikasi Sistem Fuel Cell sebagai Energi Ramah Lingkungan di Sektor Transportasi dan Pembangkit. *Jurnal Teknik Lingkungan* (8) (3)(1441-318X):277-286.
- Harsono, H. 2002. Pembuatan Silika Amorf dari Limbah Sekam Padi, *Jurnal Ilmu Dasar*. 3 (2): 98-103.
- Insani, A. 2009. Paduan Mg₃CoNi₂ sebagai Penyerap Hidrogen. *Disertasi*. Universitas Indonesia Jakarta.
- Jalil, Z. 2011. Material Penyimpan Hidrogen Sistem MgH₂-SiC Yang Dipreparasi Melalui Rute Reactive Mechanical Alloying. *Disertasi*. Universitas Indonesia Jakarta.
- Lei ,X. Yang ,L. Zhang,X. Qu. J, Wang,Y. Xingguo, L. 2009. Catalytic effect of Ni nanoparticles on the desorption kinetics of MgH₂ nanoparticles. *Journal of Alloys and*

- Compounds 482 388–392.
- Masel, R.I. 2001. Chemical Kinetics and Catalysis. Jhon Wiley and Sons, Kanada
- Mustanir, Jalil, Z. 2009. Hydrogen Sorption Behavior of the MgH_2 -Ni Prepared by Reactive Mechanical Alloying. *Journal for Technology and Science*, Vol. 20, No. 4, November 2009.
- Mustanir, Nur, S. Jalil, Z. dan Fauzi .2011. Pengaruh Sisipan Katalis SiO_2 dalam MgH_2 yang Disintesis melalui Rute Mechanical Alloying, *Jurnal Sains MIPA*. 17.43-47:1978-1973
- Niemann, M. U.2008. Nanomaterial for Hydrogen Storage Applications: A review, *Journal of Nanomaterial*
- Ogden, J. M.1999. Developing an Infrastructure for Hydrogen Vehicles:a Southern California Case Study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 24(1999):709-703
- Pahlepi, R. Sembiring, S. Pandiangan ,K. D. 2013. Pengaruh Penambahan MgO pada SiO_2 Berbasis Silika Sekam Padi terhadap Karakteristik Komposit MgO - SiO_2 dan kesesuaiannya sebagai Bahan Pendukung Katalis. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 001(02)
- Pajriana, E. 2015. Pengaruh Sisipan Katalis SiO_2 dalam MgH_2 terhadap Temperatur Desorpsi untuk Aplikasi Material Penyimpan Hidrogen' *Skripsi*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Permata, R. 2007. Pembuatan Paduan Mg_2Ni dan $MgNi_2$ dengan Metode Mechanical Alloying dan Karakterisasinya, *Skripsi*. Institut pertanian Bogor.
- Ranjbar,Z.P. Yu, D. Wexler,A. Calka, C.J. Kim, H.K. Liu, *Hydrogen Storage Properties of MgH_2 - SiC Composites*,Material Chemistry and Physics (2008) in press.
- Rahwanto, A. Mustanir, Fauzi, dan Jalil, Z. 2009. Fabrikasi Material Nanokristal SiC sebagai Katalis pada Material Penyimpan Hidrogen. *Jurnal Sains MIPA*. 15(2). 71-74:1978-187.
- Sakintuna, B. 2007. Effect Metal Hidride Materials for Solid Hydrogen Storage: A riview. *International Journal of Hidrogen Energy*. 32:1121-1140
- Sari, N. 2015. Studi Pengaruh Sisipan Katalis Nanopartikel Ni pada Material Penyimpanan Hidrogen Berbasis MgH_2 melalui Teknik Mechanical Alloying. *Tesis*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Schlapbach, L. and Züttel, A. 2001, Hydrogen Storage Materials for Mobile Applications. *Nature*, Vol 414, 15 November.
- Selvam, P. Viswanathan,B. Swamy, C.S and Srinivasan, V. 1986. Magnesium and Magnesium Aloys Hidrides, *International Journal of Hydrogen Energy*.11(3):169-19
- Septiyan,T. 2010. Pengaruh Milling terhadap Peningkatan Kualitas Pasir Besi sebagai Bahan Baku Industri Logam. *Skripsi*. UIN Syarif Hidayyatullah, Jakarta
- Suryanarayana. C. 2001. Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science* 46 1-184.
- Taufik. 2016. Studi Penggunaan SiO_2 dari Abu Sekam Padi dan Ni pada Material Penyimpanan Hidrogen Padat Berbasis MgH_2 . *Tesis*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Tsuda, M. 2009. Hydrogen Storage Properties of the Mechanically Milled MgH_2 Nanocomposite, *Journal of Alloys and compound*. 291 (1999) 295.
- Utami, A. D. 2015. Pengaruh Milling terhadap Temperatur Desorpsi Material Penyimpanan Hidrogen Berbasis MgH_2SiO_2 . *Skripsi*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Varin. R.A, Czujko. T, and Wronski. Z. S. 2009. Nanomaterials for Solid State Hydrogen Storage, ISBN 978-0-387-77711-5. *Springer*.
- Wang. L, Wang. Y, Yuan. H, Development of Mg-based Hydrogen Storage Alloy. 2001. *Journal of Material Science and Technology*, Vol. 17 No. 6
- Yuan, Y. An, G. Xu, C. Chen. 2004. Hydriding Behavior of Magnesium-Based Hydrogen Storage Alloy Modified by Mechanical Ball-Milling, *Mater. Chem. Phys.*, 83 340.
- Züttel. A. 2003. Materials for hydrogen storage. *Materials Today* pp.24-33.