

Pengaruh Temperatur Aniling Material MgAlTi Terhadap Media Penyimpanan Hidrogen

Sabtun Ismi Khasanah^{1)*}, Nandha Riveri Sesunan²⁾

^{1,2)} Program Studi Teknologi Pengecoran Logam, Politeknik Manufaktur Ceper

Naskah diterima 05 Agustus 2019; direvisi 22 September 2019; disetujui 28 Oktober 2019

doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2019.v12.i02.p07>

Abstrak

Hidrogen merupakan salah satu sumber energi alternatif di masa depan. Penyimpanan Hidrogen dalam bentuk *solid state* memiliki keunggulan daripada penyimpanan dalam bentuk gas dan cair. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh material MgAlTi dan temperatur aniling material (MgAlTi) hasil preparasi *reactive mechanical alloying* (RMA) terhadap sifat media penyimpan hidrogen. Penambahan paduan logam Al dan Ti pada paduan logam Mg dilakukan untuk memperbaiki sifat serapan Mg. Penelitian dilakukan dengan memadukan material Mg, Al dan Ti dengan komposisi berat berturut-turut 85, 15 dan 5 %. Ketiga logam dipadukan dengan teknik RMA. Persiapan pemaduan dilakukan dalam *glove box* yang dialiri gas argon untuk memastikan pengerjaan teknik RMA dalam keadaan *inert*. Pemaduan teknik RMA dilakukan selama 10 jam dengan dialiri gas Hidrogen. Selanjutnya, paduan Mg₈₅Al₁₅+Ti₅ di anil dengan variasi temperatur pemanasan 300; 340; dan 380 °C. Karakterisasi struktur kristal, mikro dan termal uji diobservasi dengan menggunakan X-Ray *Diffraction*, SEM-EDX dan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Hasil analisis struktur kristal dan mikro sesudah di aniling menjadi homogen dan hasil ini menunjukkan bahwa temperatur optimum material penyimpan hidrogen terjadi pada temperatur 300 °C. Aktifitas katalis terhadap disosiasi ikatan Mg-H₂ dapat menentukan penurunan temperatur desorpsi dibandingkan pengaruh temperatur aniling. Pemaduan teknik RMA pada paduan logam MgAlTi dapat meningkatkan sifat-sifat penyimpanan hidrogen.

Kata kunci: Media penyimpan hidrogen, *reactive mechanical alloying* (RMA), aniling

Abstract

Hydrogen is an alternative energy source and it has advantages to storage the element in form of solid state compare gas and liquid. The study was conducted to analyse the effect of MgAlTi in aniling temperature used reactive mechanical alloying (RMA) for hydrogen storage. The experimental was carried out to improve the absorption Mg by combination of Mg, Al and Ti materials with 85, 15 and 5% weight composition. The preparation is carried out in the glove box which is flowed with argon gas to ensure the work of the RMA technique in an inert state. The RMA techniques is carried out for 10 hours with Hydrogen gas flowing. Thus, the Mg₈₅Al₁₅ + Ti₅ alloy is annealed with a heating temperature variation of 300; 340; and 380 °C. Characterization of crystal structure, micro and thermal tests were observed using X-Ray Diffraction, SEM-EDX and Differential Scanning Calorimetry (DSC). The results of analysis of the crystal and micro structures after aniling become homogeneous and this shows that the optimum temperature of the hydrogen storage material occurs at a temperature of 300 °C. Moreover, the catalyst activity against dissociation of Mg-H₂ bonds can determine the decrease in desorption temperature compared to the effect of aniling temperature. The integration of RMA techniques in MgAlTi metal alloys can improve hydrogen storage.

Keywords: Hydrogen storage, solid state, reactive mechanical alloying (RMA), aniling

1. Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar fosil melepaskan gas efek rumah kaca yang menyebabkan peningkatan pemanasan global. Sumber energi terbarukan yang bersifat ramah lingkungan perlu dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Hidrogen memiliki potensial besar sebagai energi alternatif karena kelimpahannya tinggi, ringan, menghasilkan pembakaran panas tinggi, reproduibel, dan emisi non polutan atau ramah lingkungan selama pembakaran. Hidrogen dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan bantuan sistem sel bahan bakar atau dikenal dengan *fuel cell*. Hidrogen bereaksi dengan oksigen di dalam *fuel cell* menghasilkan listrik. Hasil samping reaksi tersebut hanya berupa uap air sehingga dapat dikatakan hidrogen sangat ramah lingkungan [1].

Hidrogen dapat disimpan dalam bentuk gas, cair maupun padat. Berbagai teknologi penyimpanan gas hidrogen telah dikembangkan dengan mempertimbangkan biaya, berat dan volume, efisiensi, keawetan, waktu pengisian dan pengosongan, temperatur kerja serta efisiensinya [1][2]. Media penyimpanan hidrogen berbentuk padatan memiliki kelebihan dibandingkan media

penyimpanan berbentuk gas maupun cair. Hidrogen dalam bentuk gas harus disimpan dalam tangki bertekanan tinggi antara 200-700 bar, sedangkan hidrogen dalam bentuk cair harus dijaga agar tetap dalam keadaan cair pada temperature (-253 °C). Kedua metode ini belum menjanjikan dalam sisi keamanan [3]. Hidrida logam memiliki tingkat kepadatan penyimpanan hidrogen yang tinggi (6,5 atom/cm³ untuk MgH₂) daripada dalam bentuk gas hidrogen (0,99 atom/cm³) atau hidrogen cair (4,2 atom/cm³). Penyimpanan hidrogen dalam bentuk hidrida logam yaitu atom-atom hidrogen disimpan di dalam kisi material utamanya dan akan dilepas dengan adanya stimulasi panas atau dengan teknik yang lain [4].

Magnesium mampu menampung hidrogen sebesar 7,6% berat logam, artinya apabila magnesium digunakan sebagai media simpan hidrogen, maka diperlukan magnesium seberat 39,5 kg dengan volume sebesar 22,7 liter. Kemampuan magnesium dalam menyimpan hidrogen 7,6% berat logam menjadi salah satu kandidat potensial sebagai material penyerap hidrogen. Jumlah ini melebihi batas maksimum yang ditargetkan Badan Energi Dunia sebesar 5% [5]. Hasil penelitian menyatakan bahwa

*Korespondensi:

E-mail: sabtunismikhasanah@gmail.com

kapasitas penyerapan hidrogen untuk material MgH_2-TiH_2 dan MgH_2-SiC sebesar 6%, dan 6,3% [6]. Magnesium sebagai logam penyimpan hidrogen memiliki beberapa kekurangan yaitu stabilitas termodinamika tinggi. Stabilitas termodinamika yang tinggi menghasilkan entalpi desorpsi yang tinggi (-74 KJ/mol H_2) sehingga proses hidrogenasi/dehidrogenasi membutuhkan temperatur yang tinggi (> 300 °C pada 1 bar). Dari segi kinetika, proses perubahan magnesium menjadi magnesium hidrida secara keseluruhan membutuhkan waktu yang lama (secara umum 50 jam) [7]. Upaya untuk memperbaiki sifat-sifat Mg tersebut telah dilakukan diantaranya: memodifikasi sifat termodinamika menggunakan paduan berbasis Mg, penambahan katalis seperti Fe, Ni, Cu, Al, atau logam oksida. Zat aditif/katalis tersebut mengubah sifat permukaan, struktur mikro dan ukuran butir. Pemaduan logam berbasis Mg dilakukan dengan teknik *mechanical alloying*. Keuntungan dari penggunaan teknik *mechanical alloying* yaitu untuk mempermudah pembentukan beberapa paduan dan hidrida. Hasil pemaduan *mechanical alloying* berupa Mg berbasis mikro bahkan nanokristalin dengan dislokasi dan special defects dengan energi yang tinggi untuk mengikat hidrogen [8].

Ball milling merupakan salah satu metode *mechanical alloying* untuk memperbaiki kinerja serapan magnesium hidrida. Terdapat korelasi antara *ball milling* dengan sifat-sifat serapan material penyimpan hidrogen. Kapasitas penyerapan hidrogen dan laju kinetik meningkat seiring dengan meningkatnya waktu *milling*. Kapasitas serapan hidrogen meningkat hingga 20% dengan proses *milling* selama 20 jam. Akan tetapi setelah mencapai batas maksimum, kapasitas penyerapan dan laju kinetiknya justru menurun. Hal ini dikarenakan adanya unsur pengotor yang menyatu dengan material akibat efek gesekan. Semakin lama waktu *ball milling*, maka semakin banyak pula gesekan yang terjadi [9]. Upaya untuk menurunkan waktu *ball milling* dilakukan Zulkarnain [10] yaitu dengan teknik *reactive mechanical alloying* (RMA). Teknik RMA ini memungkinkan proses penghalusan material dalam periode *milling* yang singkat dengan bantuan gas hidrogen selama proses berlangsung.

Perubahan fasa selama *mechanical alloying* dapat mempengaruhi kapasitas penyimpanan hidrogen. Perlakuan panas aniling telah dilakukan untuk menghilangkan tegangan mekanik yang disebabkan *milling* dan untuk mengganti fasa amorf [11]. Perlakuan panas aniling meningkatkan kapasitas sekitar 2 kali lebih besar dibandingkan pemaduan *mechanical alloying* tanpa aniling.

Penelitian ini dilakukan untuk memperbaiki sifat Mg sebagai Penambahan paduan logam Al dan Ti pada paduan logam Mg diharapkan dapat memperbaiki sifat serapan Mg. Pemaduan material dilakukan dengan teknik RMA. Perubahan fasa amorf selama proses RMA menyebabkan adanya tegangan mekanik dan perlakuan panas aniling dilakukan untuk menghilangkan tegangan mekanik tersebut. Temperatur optimum pemanasan aniling diharapkan dapat meningkatkan kapasitas dan efektifitas sifat-sifat penyimpanan hidrogen.

2. Metode Penelitian

2.1 Reactive Mechanical Alloying (RMA)

Pemaduan logam MgAlTi dengan teknik RMA dikerjakan menggunakan mesin *ball milling*. Serbuk logam MgAlTi dipadukan dengan komposisi berat Mg, Al dan Ti yaitu 85, 15 dan 5%. Rasio berat bola *ball milling*: serbuk pengerjaan teknik RMA adalah 10:1. Paduan $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ dilakukan dalam *glove box* yang dialiri gas argon (Ar, high purity) untuk memastikan pengerjaan teknik RMA dalam keadaan *inert*. Pemaduan teknik RMA dilakukan selama 10 jam dengan kecepatan 900 rpm dan selama proses ke dalam reaksi dialiri gas Hidrogen. Pemaduan dengan teknik RMA

dianalisis ukurannya dengan menggunakan alat PSA (*Particle Size Analyzer*).

2.2 Perlakuan panas

Perlakuan panas aniling dimulai dengan memanaskan sampel uji ke dalam tungku pemanas dengan atmosfer argon, variasi temperatur pemanasan yakni 300; 340; dan 380 °C. Sampel ditahan di dalam tungku pemanas selama 2 jam kemudian dibiarkan dalam tungku hingga temperatur kamar.

2.3 Karakterisasi

Karakterisasi menyangkut struktur (meliputi komposisi fasa, *crystallitesize/peak broadening, microstrain, residual stress*) diobservasi dengan menggunakan XRD (Philips PW3710 *Diffractionmeter*, radiasi Co-K α). Kondisi pengukuran: *Scantime* (33.20), *Number of steps* (4000), *Time per step*(0.5) dan *Scan speed* (0.04). Analisa struktur mikro material dipelajari dengan menggunakan perangkat mikroskop elektron (JEOL JSM-5310LV). Sampel (serbuk) yang akan diobservasi terlebih dahulu dilakukan proses homogenisasi dengan menggunakan gelombang ultrasonik. Masing-masing sampel dilakukan pengamatan morfologi permukaan. Pengujian termal dipelajari dengan perangkat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) untuk analisis eksoterm dan endoterm. Pengujian DSC dilakukan dalam suasana nitrogen (UHP 99,999%) dengan *flow rate* 20 ml/min dan *heating rate* dari 20 °C hingga 450 °C.

3. Hasil dan Pembahasan

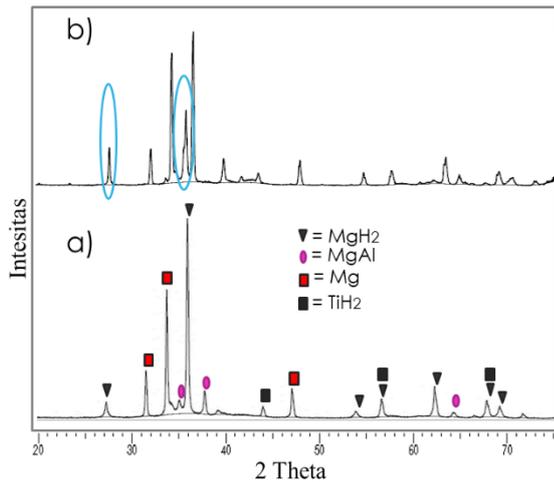
3.1 Ukuran partikel

Ukuran partikel suatu material sebagai media penyimpan hidrogen akan berpengaruh terhadap penyerapan hidrogen yang terjadi. Hasil pengujian *particle size analysis* (PSA) sampel $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ yang telah dilakukan *reactive mechanical alloying* (RMA) selama 10 jam menunjukkan ukuran rata-rata partikel sampel $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ sebesar 13,59 μm . Perlakuan *reactive mechanical alloying* telah mereduksi ukuran partikel material hingga 15 kali lebih halus. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar luas permukaan sampel. Luas permukaan sampel yang semakin besar dapat meningkatkan jumlah partikel yang terserap. Luas permukaan yang tinggi meningkatkan penyerapan hidrogen, baik secara fisika (penyerapan pada permukaan) maupun penyerapan kimia (penyerapan hingga ke dalam porositas materi) [12].

3.2 Struktur kristal

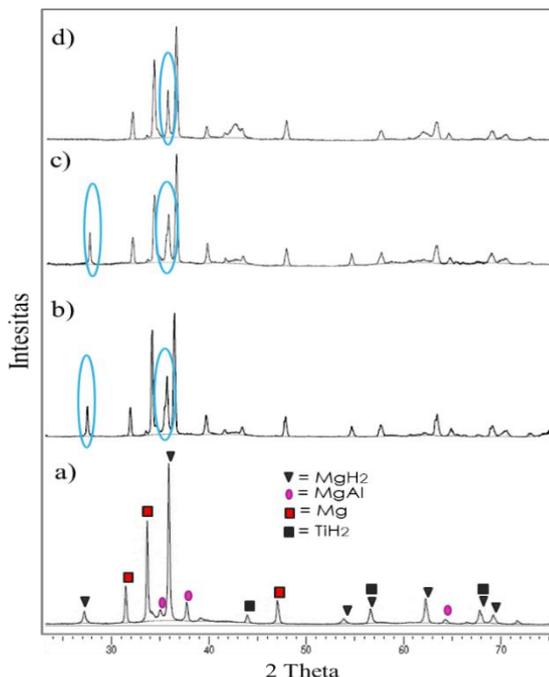
Perlakuan panas (aniling) setelah proses *mechanical alloying* selama 60 jam dapat merubah fasa amorf material $Mg_{76}Ti_{12}Fe_4Ni_8$ menjadi fasa kristal [9]. Proses *milling* selama 60 jam meningkatkan derajat amorfisasi material yang ditunjukkan dengan melebarnya puncak difraksi pola XRD pada penelitian tersebut. Semakin lama waktu *milling* maka reduksi materi semakin besar. Reduksi ukuran material akan meningkatkan luas permukaan material terhadap rasio volume butir. Luas permukaan yang besar ini diharapkan akan mempermudah interaksi dan absorpsi hidrogen ke dalam material Mg sehingga kondisi ini sangat diharapkan pada material penyimpan hidrogen. Lucaci menjelaskan bahwa semakin lama waktu *milling* kemungkinan timbulnya pengotor juga semakin besar dan semakin lama waktu *milling* juga menyebabkan peningkatan derajat amorfisasi.

Teknik RMA telah menjadi salah satu prosedur preparasi sampel material penyimpan hidrogen. Teknik ini mengalirkan gas hidrogen dengan tekanan tertentu ke dalam material $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$. Kehadiran gas hidrogen ke dalam reaksi akan mempercepat terjadinya penghalusan material sehingga waktu yang diperlukan untuk *milling* lebih cepat. Dalam penelitian ini, preparasi sampel teknik RMA dilakukan selama 10 jam. Preparasi teknik RMA material MgH_2-SiC selama 10 jam dilakukan oleh Zulkarnain [10]. Zulkarnain menyatakan bahwa waktu *milling* selama 10 jam merupakan waktu yang optimal dalam mereduksi ukuran butir material.



Gambar 1. a) Pola XRD $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ tanpa perlakuan aniling, b) Pola XRD $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ perlakuan aniling temperatur 300 °C

Gambar 1.a) menunjukkan pola difraksi X-ray $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ yang telah dipreparasi dengan teknik *reactive mechanical alloying* selama 10 jam dan Gambar 1.b) menunjukkan pola difraksi X-ray $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ yang telah dipreparasi dengan teknik *reactive mechanical alloying* selama 10 jam dan dilanjutkan perlakuan panas aniling temperatur 300 °C. Merujuk literatur pola difraksi X-ray [13], hasil pengamatan pola difraksi X-ray teknik RMA ini menunjukkan kehadiran fasa hidrida MgH_2 sebagai fasa utama. Setelah perlakuan panas terjadi perubahan pola difraksi. Perubahan pola paling terlihat pada sudut 2θ 35,34 yaitu puncak $MgAl$. Perubahan pola difraksi ini diindikasikan akibat perubahan fasa amorf material menjadi fasa kristal. Perlakuan panas aniling memperbaiki sifat-sifat fisik material yang berubah selama proses *reactive mechanical alloying* sehingga didapatkan struktur kristal yang tersusun rapi. Tahapan ini juga sering disebut rekristalisasi (pengkristalan kembali).

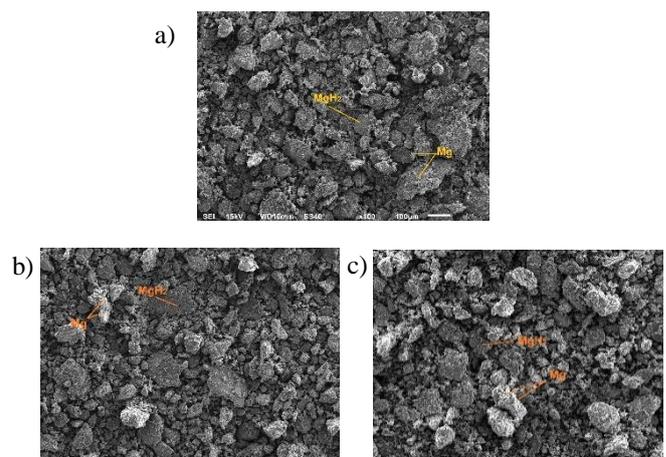


Gambar 2 a) tanpa perlakuan aniling, b) Aniling temperatur 300 °C, c) Aniling temperatur 340 °C dan d) Aniling temperatur 380 °C

Pengaruh temperatur aniling terhadap media penyimpan hidrogen juga dianalisa berdasarkan pola XRD yang ditunjukkan pada gambar 2. Secara berturut-turut gambar 2 a-d menunjukkan pola difraksi material tanpa perlakuan aniling, aniling dengan pemanasan 300, 340 dan 380 °C. Perbedaan pola difraksi paling tampak terlihat pada sudut 2θ 27,47° dan 35,34°. Intensitas puncak difraksi MgH_2 sudut 2θ 27,47° mengalami peningkatan ketika material di aniling pada temperatur 300 dan 340 °C. Pemanasan temperatur aniling hingga 380 °C justru menghilangkan puncak difraksi MgH_2 . Berdasarkan pola difraksi tersebut, kesimpulan pertama bahwa temperatur optimal perlakuan panas material penyimpan hidrogen yaitu pada temperatur pemanasan aniling 300 dan 340 °C. Semakin tinggi temperatur pemanasan aniling justru dapat merusak material MgH_2 yang akan digunakan. Puncak difraksi sudut 2θ 35,34° menunjukkan senyawa $MgAl$. Intensitas pada puncak ini cukup tinggi dikarenakan perlakuan panas aniling dapat merekristalisasi senyawa $MgAl$, terjadi perubahan sampel dari fasa amorf menjadi fasa kristal. Tidak seperti senyawa MgH_2 yang ditunjukkan pada pola difraksi sudut 2θ 27,47°, pemanasan aniling hingga temperatur 380 °C tidak merusak senyawa $MgAl$. Sifat fisik dari masing-masing senyawa baik MgH_2 maupun $MgAl$ yang menyebabkan perbedaan ini. Merujuk referensi data msds senyawa MgH_2 , titik leleh senyawa MgH_2 berada pada kisaran temperatur 300 °C, sedangkan senyawa $MgAl$ berada pada kisaran 600 °C. Pemanasan di atas temperatur 300 °C bukan lagi rekristalisasi senyawa MgH_2 , melainkan pelelehan senyawa tersebut.

3.3 Struktur Morfologi

Gambar 3 menunjukkan hasil uji analisis SEM-EDX perbesaran 100 kali material $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ hasil perlakuan RMA dilanjutkan perlakuan panas dengan variasi temperatur. Tingkat homogenitas material dengan perlakuan panas aniling temperatur 300 °C lebih besar dibandingkan dengan material dengan perlakuan panas pada temperatur 340 °C dan 380 °C. Pemanasan material hingga temperatur 300 °C kemudian dilanjutkan holding selama 2 jam telah mampu mengembalikan struktur kristal material. Proses perlakuan panas aniling bertujuan untuk memperbaiki struktur mikro dari material, dalam kasus ini diharapkan terjadinya homogenitas mikrostruktur sehingga mengubah fasa amorf material menjadi fasa kristal.



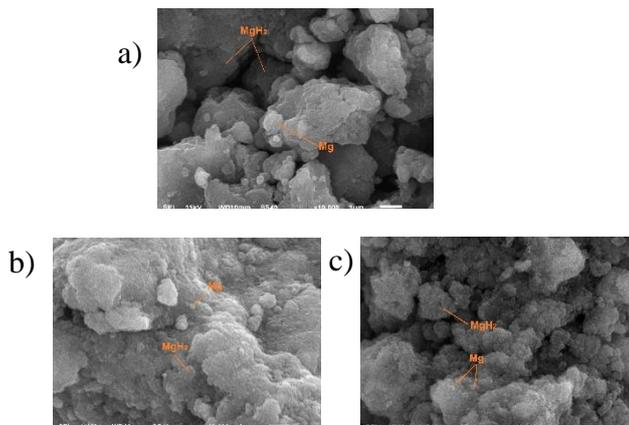
Gambar 3. Hasil uji morfologi material menggunakan SEM-EDX perbesaran 100 kali, a) Aniling temperatur 300 °C, b) Aniling temperatur 340 °C dan c) Aniling temperatur 380 °C

Buku ASM Handbook (1991) menuliskan bahwa perlakuan panas aniling material $MgAl$ dilakukan pada temperatur 345 °C [14]. Pemanasan pada temperatur 345 °C tersebut dilakukan untuk material berupa lempengan, sedangkan material yang digunakan pada penelitian ini berupa serbuk berukuran mikro. Material berupa serbuk memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan material dalam

bentuk lempengan sehingga pengaruh luas permukaan material dimungkinkan menurunkan temperatur austenit dalam diagram fasa MgAl. Semakin besar luas permukaan suatu material maka pergerakan struktur mikro akibat pemanasan akan semakin cepat. Tumbukan yang terjadi semakin cepat dan penataan ulang struktur mikro terjadi di bawah temperatur referensi.

Kenaikan temperatur pemanasan meningkatkan warna terang pada struktur mikro material dalam hal ini adalah semakin meningkatnya jumlah butiran Mg. Pada temperatur 300 °C, hampir seluruh material yang terlihat dari analisis SEM-EDX menunjukkan warna hitam. Pemanasan material hingga temperatur 340 °C mulai memunculkan warna putih pada permukaan material dan warna putih semakin banyak ketika pemanasan dilakukan pada temperatur 380 °C. Berdasarkan hasil uji XRD, senyawa terbanyak dalam material adalah MgH₂. Peningkatan temperatur pemanasan menjadikan senyawa MgH₂ melewati garis batas titik leleh senyawa sehingga senyawa akan meleleh dan struktur mikro permukaan material menjadi tidak lagi homogen. Pernyataan ini diperkuat pada temperatur 380 °C, senyawa MgH₂ pada sudut 2θ 27,47 menghilang diakibatkan terjadinya pelelehan senyawa MgH₂. Hasil analisis XRD dan SEM-EDX menyatakan bahwa temperatur optimal material Mg₈₅Al₁₅+Ti₅ sebagai media penyimpan hidrogen terjadi pada temperatur pemanasan aniling 300 °C.

Gambar 4 menunjukkan hasil uji analisis SEM-EDX material Mg₈₅Al₁₅+Ti₅ perbesaran 10.000 kali. Pada pemanasan temperatur aniling 300 °C, tampak kehadiran senyawa MgH₂ hasil perlakuan RMA dan beberapa butiran Mg yang bewarna terang.



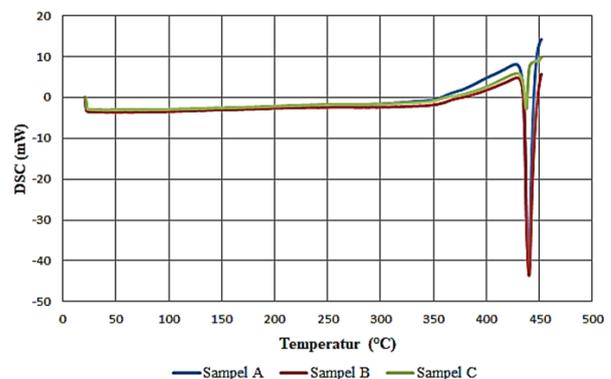
Gambar 3. Hasil uji morfologi material menggunakan SEM-EDX perbesaran 1000X, a) Aniling temperatur 300 °C, b) Aniling temperatur 340 °C dan c) Aniling temperatur 380 °C

Butiran Mg menempel pada senyawa MgH₂. Kenaikan temperatur aniling meningkatkan jumlah butiran Mg dan butiran ini semakin menutupi senyawa MgH₂. Kenaikan butiran Mg akan berpengaruh terhadap difusi H₂ dalam senyawa MgH₂. Difusi atom H₂ dapat terjadi ketika energi barrier telah terlampaui. Kenaikan butiran Mg mengakibatkan hidrogenasi dan dehidrogenasi membutuhkan energi yang semakin besar karena energi barrier yang dibutuhkan atom untuk melewati butiran Mg ini semakin besar. Pengaruh butiran Mg terhadap dehidrogenasi telah dilaporkan oleh Tanniru et al. berdasarkan hasil penelitian yang dianalisis menggunakan SEM [15]. Mereka menyimpulkan bahwa butiran Mg berperan dalam pelepasan temperatur hidrogen. Ketika permukaan MgH₂ tertutupi oleh butiran Mg, temperatur desorpsinya tinggi. Energi yang diperlukan untuk melewati butiran Mg tinggi. Antasari et al. Juga telah menyampaikan kesulitan pelepasan hidrogen akibat tertutupinya senyawa MgH₂ oleh butiran Mg [16].

3.4 Uji Termal Material

Gambar 4 Hasil Uji Termal DSC Sampel, a) Aniling temperatur 300 °C, b) Aniling temperatur 340 °C dan c) Aniling temperatur 380 °C. Uji termal menggunakan alat DSC dilakukan pada ketiga sampel dengan variasi temperatur aniling. Temperatur desorpsi (T onset) pada ketiga sampel dapat dilihat dalam gambar 4. Terlihat bahwa temperatur desorpsi ketiga sampel masih cukup tinggi, yaitu sekitar 430 °C. Penelitian yang dilakukan oleh Zuettel juga menunjukkan temperatur operasi MgH₂ masih tinggi [17]. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya menurunkan temperatur operasi MgH₂ dengan menambahkan katalis Al dan Ti.

Reduksi kristal hingga skala mikro bahkan skala nano akan membentuk luas permukaan yang besar, H akan lebih mudah berdifusi sehingga mengalami penurunan temperatur desorpsi [18] Namun, seperti yang terlihat pada gambar 4.5 temperatur operasi MgH₂ masih cukup tinggi, katalis Al dan Ti tidak memiliki pengaruh yang kuat terhadap penurunan temperatur desorpsinya. Penjelasan pengaruh logam terhadap ikatan MgH₂ menggunakan kalkulasi *Density Functional Theory* (DFT) dilaporkan oleh [8].



Gambar 4 Hasil Uji Termal DSC Sampel, a) Aniling temperatur 300 °C, b) Aniling temperatur 340 °C dan c) Aniling temperatur 380 °C

Berdasarkan hasil pemodelan dapat dievaluasi pengaruh logam pada ikatan MgH₂. Logam katalis Sc dan Ni menunjukkan aktivitas yang lebih tinggi. Logam Sc berkontribusi besar terhadap donasi elektron elektron dari orbital-orbital ikatan MgH₂, yang mengakibatkan donasi Mg-H₂ menjadi lebih mudah. Sebaliknya logam Ni yang kedudukannya lebih tinggi berkontribusi besar kepada *back donation* elektron-elektron antibonding MgH₂ sehingga disosiasi MgH₂ lebih mudah. Penelitian ini menggunakan katalis Al dan Ti dimana sifat dari kedua atom tersebut sebagai donatur elektron. Katalis Al dan Ti berkontribusi terhadap donasi elektron dari orbital-orbital ikatan MgH₂. Sedangkan pada sisi sebaliknya tidak ada pengembalian donasi eletron oleh suatu unsur ke dalam orbital MgH₂ mengakibatkan disosiasi MgH₂ tidak mudah. Gambar 4 juga menunjukkan bahwa variasi temperatur aniling tidak berpengaruh secara signifikan terhadap temperatur desorpsi. Aktifitas katalis terhadap disosiasi ikatan Mg-H₂ lebih menentukan penurunan temperatur desorpsi dibandingkan pengaruh temperatur aniling.

4. Simpulan

Sifat serapan Mg sebagai material penyimpan hydrogen dengan penambahan katalis Al dan Ti dilakukan menggunakan teknik *reactive mechanical alloying* (RMA) dapat memperbaiki material penyimpan hydrogen. Perlakuan RMA dengan variasi temperatur aniling pada 300, 340 dan 380 °C menunjukkan kehadiran fasa hidrida MgH₂ sebagai fasa utama dan mendapatkan temperatur aniling optimal

material $Mg_{85}Al_{15}+Ti_5$ yaitu 300 °C. Adapun kajian aktivitas katalis sebagai *donatur* dan *acceptor* elektron dapat dijadikan bahan material penyimpan hidrogen yang optimal untuk menentukan disosiasi ikatan $Mg-H_2$.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak atas terselesaikannya penelitian dan artikel ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ristekdikti selaku penyedia dana, Politeknik Manufaktur Ceper dan Universitas Indonesia yang telah memfasilitasi sarana dan prasarana selama penelitian ini berlangsung. Penulis juga mengucapkan terima kasih pada Dr. Arridina Susan Silitonga, S.T., M.Eng atas bantuan pelatihan penulisan karya ilmiah nasional.

Daftar Pustaka

- [1] R. P. O. Hayre, S.-W. Cha, W. G. Colella, and F. B. Prinz, *Fuel Cell Fundamentals*. John Wiley & Sons. Inc, 2019.
- [2] J. Suls, "The Mechanics of Metal Hydride Hydrogen Storage Systems for Portable Applications," in *Proceeding of Fuel Cells Final Project*, 2014.
- [3] A. R. V. Babu, N. Devunuri, D. R. Manisha, Y. Prashanthi, R. Merugu, and A. J. R. R. Teja, "Magnesium Hydrides for Hydrogen Storage: A Mini Review," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 6, no. 7, pp. 3451–3455, 2014.
- [4] P. Prachi's, W. Mahesh, and G. Aneesh, "A Review on Solid State Hydrogen Storage Material," *Adv. Energy Power*, vol. 4, no. 2, pp. 11–22, 2016.
- [5] M. Lotosky *et al.*, "An outstanding effect of graphite in nano- MgH_2-TiH_2 on hydrogen storage performance," *J. Mater. Chem. A View*, no. 16, pp. 1–16, 2018.
- [6] A. Ranjbar *et al.*, "Hydrogen storage properties of $MgH_2 - SiC$ composites," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 114, pp. 168–172, 2009.
- [7] B. Sakintuna, F. Lamari-darkrim, and M. Hirscher, "Metal hydride materials for solid hydrogen storage: A review," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 32, pp. 1121–1140, 2007.
- [8] J. Crivello, T. Nobuki, and T. Kuji, "Improvement of Mg–Al alloys for hydrogen storage applications Improvement of Mg–Al alloys for hydrogen storage applications," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, pp. 1937–1943, 2014.
- [9] H. Yuan, Y. An, G. Xu, and C. Chen, "Hydriding behavior of magnesium-based hydrogen storage alloy modified by mechanical ball-milling," *Mater. Chem. Phys.* 83, vol. 83, pp. 340–344, 2004.
- [10] Zulkarnain, "Material Penyimpan Hidrogen Sistem MgH_2-SiC yang dipreparasi melalui rute Reactive Mechanical Alloying," Universitas Indonesia, 2011.
- [11] M. Lucaci, A. R. Biris, R. L. Orban, G. B. Sbarcea, and V. Tsakiris, "Effects of mechanical alloying on the hydrogen storage properties of the $Mg_{76}Ti_{12}Fe_{12-x}Ni_x$ ($x = 4, 8$) materials," *J. Alloys Compd.*, vol. 488, pp. 163–168, 2009.
- [12] X. Yu, Z. Tang, D. Sun, L. Ouyang, and M. Zhu, "Progress in Materials Science Recent advances and remaining challenges of nanostructured materials for hydrogen storage applications," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 88, pp. 1–48, 2017.
- [13] Y. Wang, S. Lu, Z. Zhou, W. Zhou, J. Guo, and Z. Lan, "Effect of transition metal on the hydrogen storage properties of Mg–Al alloy," *J. Mater. Sci.*, vol. 52, pp. 2392–2399, 2017.
- [14] Stevenson, "Heat Treating of Magnesium Alloys (on ASM Handbook Volume 4 Heat Treating)," ASM Handbook Committee, 1991.
- [15] M. Tanniru, H. Tien, and F. Ebrahimi, "Study of the dehydrogenation behavior of magnesium hydride," *Scr. Mater.*, vol. 63, pp. 58–60, 2010.
- [16] M. V. Antisari, A. Montone, A. Aurora, M. R. Mancini, D. M. Gattia, and L. Pilloni, "Intermetallics Scanning electron microscopy of partially de-hydrogenated MgH_2 powders," *Intermetallics*, vol. 17, no. 8, pp. 596–602, 2009.
- [17] Z. Yanghuan, Z. Tingting, Y. Tai, and Y. Zeming, "Improved Hydrogen Storage Kinetics of Nanocrystalline and Amorphous Mg-Nd-Ni-Cu- based Mg_2Ni -type Alloys by Adding Nd," *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed.*, vol. 30, no. 6, pp. 1115–1124, 2015.
- [18] R. A. Varin and L. Zbroniec, "The effects of ball milling and nanometric nickel additive on the hydrogen desorption from lithium borohydride and manganese chloride ($3LiBH_4 + MnCl_2$) mixture," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 35, no. 8, pp. 3588–3597, 2010.