

PENGARUH PENAMBAHAN 14-16 wt.% NI PADA KOMPOSIT MG-NI HASIL PROSES BALL MILLING TERHADAP KARAKTERISTIK PENYERAPAN HIDROGEN

Dwi Rahmalina^{1,*}, Reza A. Rahman¹, Agri Suwandi², Gallang Hananto², Dwi A. Rillianto²

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640

²Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12640

*Email: drahmalina@univpancasila.ac.id

Diterima: 7 Desember 2019

Direvisi: 20 Februari 2020

Disetujui: 4 Maret 2020

ABSTRAK

Pengembangan Thermal Energy Storage (TES) sebagai teknologi menyimpan energi panas untuk penghematan sumber daya listrik dapat ditingkatkan melalui optimasi komposisi material penyimpanan panas. Logam magnesium merupakan material yang menjanjikan untuk digunakan sebagai media penyimpanan hidrogen dengan kapasitas tinggi dan biaya operasional yang efektif. Penelitian ini mengembangkan komposit Mg-Ni dengan variasi Ni untuk meningkatkan kemampuan penyerapan hidrogen. Serbuk Magnesium dengan ukuran 63 mikron diberikan penambahan Nikel dengan variasi 14, 15 dan 16 wt.% menggunakan proses ball milling dengan kecepatan 1000 rpm selama 3 dan 5 jam. Komposit Mg-Ni selanjutnya dilakukan pengukuran ukuran butir dan pengujian volumetrik dengan metode gravimetrik untuk mengetahui kemampuan penyerapan hidrogen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Nikel sejumlah 16 wt.% di dalam logam magnesium mampu menaikkan temperature dari magnesium hydride. Serbuk komposit hasil proses memiliki hidrogenasi unggul dan waktu penyerapan hidrogen relatif singkat dengan waktu ball-milling selama 5 jam.

Kata kunci: Hydrogen storage, Magnesium Hydride, Komposit Magnesium Nikel, Ball Milling, Hydrogenasi

ABSTRACT

Development of Thermal Energy Storage (TES) as a technology for storing thermal energy can be achieved by optimizing the composition of heat storage materials. Magnesium metal is a promising material as a hydrogen storage with high capacity and cost effective operations. This research develops Mg-Ni composites with variations of Ni to increase the ability of hydrogen absorption. Magnesium powder with a size of 63 microns was reinforced by Nickel with variations of 14, 15 and 16 wt.% using a ball milling process with a speed of 1000 rpm for 3 and 5 hours. Then the Mg-Ni composites is characterized by grain size measuring and volumetric testing with gravimetric methods to determine the ability of hydrogen absorption. The results showed that the addition of Nickel in the amount of 16 wt.% in magnesium based composite could increase the temperature of magnesium hydride. Processed composite powder has superior hydrogenation and hydrogen absorption time which is relatively short with a ball-milling time of 5 hours.

Keywords: Hydrogen storage, Magnesium Hydride, Magnesium Nickel Composite, Ball Milling, Hydrogenation

PENDAHULUAN

Pengembangan *thermal energy storage* (*thermal battery*) merupakan suatu langkah pemanfaatan energi panas yang terbuang, antara lain energi matahari serta limbah panas industri. Energi panas yang disimpan bisa digunakan kembali untuk keperluan lain seperti pada mesin kalor untuk memperoleh energi gerak maupun listrik. Penyimpanan panas dalam *thermal battery* dapat dilakukan dengan memanfaatkan perubahan energi di dalam material thermal battery melalui proses fisika dan kimia. Proses tersebut umumnya memanfaatkan sifat *sensible heat*, *latent-heat* dan atau reaksi termokimia dari material yang digunakan. Secara umum, reaksi termokimia memiliki kemampuan yang lebih baik dengan besarnya kerapatan energi (~500 kWh/m³, 0,5–1 kWh/kg), dibandingkan dengan panas jenis (~100 kWh/m³, 0,05–0,1 kWh/kg) dan *sensible heat* (~50 kWh/m³, 0,02–0,03 kWh/kg) (Narayanan, 2015). Dengan tingginya kerapatan energi pada sistem berbasis reaksi thermochemical, dapat dikatakan penerapan reaksi thermochemical sebagai media penyimpanan panas pada thermal battery merupakan opsi terbaik (Nyamsi, 2018).

Salah satu material yang paling sering digunakan untuk media penyimpanan panas dengan memanfaatkan reaksi termokimia adalah material berbasis metal hydride. Penggunaan metal hydride pada thermal battery cukup direkomendasikan sebab banyak logam dan paduan logam yang dapat menyatu dengan hidrogen untuk menghasilkan metal hydride pada suhu dan tekanan hidrogen yang relatif kecil (Gambini, 2017). Fang et al., merekomendasikan penggunaan metal hydride berbasis magnesium (Mg) atau magnesium hydride (MgH₂). Rekomendasi tersebut didasarkan pada karakteristik cakupan suhu magnesium pada sistem berkisar antara 220°C–550°C serta tingkat kerapatan energi yang tinggi yang dapat mencapai 2.257 kJ/kg (Fang, 2015) Di sisi lain, pengembangan berbasis bahan magnesium cukup cocok dilakukan di Indonesia mengingat cadangan magnesium yang dimiliki cukup melimpah. Pengembangan dari sistem ini nantinya dapat menjadi peluang baru sebagai wujud dari pengembangan industri hilir (Zhang, 2018). Magnesium merupakan kandidat untuk media *on-board*

storage hidrogen dalam bentuk padat, karena material ini mampu menampung hidrogen sebesar 7,6% berat logam. Namun, proses hidrogenasi dan dehidrogenasi dari magnesium (Mg) murni masih perlu ditingkatkan serta membutuhkan temperature yang tinggi (350 – 400 °C) pada tekanan lebih dari 3 MPa. Banyak usaha telah dilakukan untuk mengimprovisasi sifat MgH₂ dengan memadukan magnesium (Mg) dengan unsur logam lain. Dalam penelitian Lian G, Mg₂Ni menjadi hal yang menarik untuk dikembangkan sebagai material *hydrogen storage* yang menjanjikan karena mampu membentuk hidrida MgH₂Ni dengan kapasitas penyerapan hidrogen (H₂) mencapai 3,6% massanya dan dapat menyerap dan melepas hidrogen pada temperature dan tekanan yang tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan material lain (Li, 2019 dan Crivello, 2016).

Meskipun magnesium hydride memiliki potensial yang tinggi sebagai thermal battery, sistem ini memiliki kelemahan yakni sifat termodinamis sistem yang kurang ideal dan proses penyerapan atau pelepasan hidrogen yang berlangsung dengan lamban (Li, 2019 dan Crivello, 2016a). Hal tersebut menjadi tantangan tersendiri agar sistem ini dapat diterapkan pada skala luas. Berbagai upaya dilakukan untuk memperbaiki kekurangan magnesium hydride seperti perbaikan ukuran mikrostruktur magnesium, penambahan unsur lain dan MgH₂ berbasis komposit. Perbaikan mikrostruktur atau ukuran butir magnesium dapat dilakukan dengan proses ball milling. Kombinasi antara nikel (Ni) dan magnesium melalui metode ball milling serta penambahan sedikit karbon (C) dapat meningkatkan kemampuan kinetis hidrogen, stabilitas siklus kerja sistem juga konduktivitas termal sistem (Crivello, 2016b)

Penambahan katalis nikel pada sistem memiliki risiko terhadap pengurangan kapasitas penyimpanan hidrogen dimana Mg₂NiH₄ hanya mampu menyimpan 3,6 % berat hidrogen. Di sisi lain, sifat termodinamik yang ditujukan oleh Mg₂NiH₄ lebih baik dibandingkan dengan MgH₂ murni karena mampu menurunkan suhu penyerapan dalam kondisi setimbang hidrogen pada tekanan 1 bar dari 300 °C menjadi 250 °C (Andreasen, 2004). Penambahan 15% berat bubuk nikel (dengan

ukuran 45–150 μm) pada magnesium dapat meningkatkan kemampuan balik penyimpanan hidrogen sampai 6%. Dengan demikian, penambahan nikel pada sistem mempengaruhi performa thermal battery dimana ada performa yang meningkat dan di sisi lain ada performa yang menurun (Crivello, 2016b). Aspek penting lain yang perlu diperhatikan adalah pemrosesan material magnesium, karena nikel dapat memberikan pengaruh pada sifat struktur material yang dihasilkan (Andreasen, 2004)

Proses pencampuran material penambah dengan matriks komposit magnesium harus efektif untuk mendapatkan ukuran dan bentuk tertentu dari partikel serta meningkatkan luas area permukaan partikel solid yang sangat berperan penting dalam reaktivitas proses reaksi kimia, penyerapan ataupun membentuk ikatan secara mekanik. Pentingnya proses pencampuran, bukan hanya homogenisasi dari material dasar tapi juga dimungkinkan sejumlah aditif yang ditambahkan yang dapat menentukan sifat dari produk akhir (Andreasen, 2004). *Ball-milling* merupakan salah satu instrumen/alat yang dapat digunakan untuk memproduksi material serbuk (Rocher, 2012). Material yang terperangkap antara bola penghancur dan dinding *vial* akan saling bertumbukkan menghasilkan deformasi pada material tersebut. Deformasi material tersebut menyebabkan fragmentasi struktur material sehingga terpecah menjadi partikel yang lebih kecil.

Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu dilakukan penelitian magnesium hydride melalui penambahan nikel dengan proses *ball milling* untuk pengembangan teknologi thermal storage. Penelitian ini difokuskan pada efek penambahan nikel 14, 15 dan 16 wt.% pada komposit magnesium yang digunakan sebagai media penyimpanan hidrogen untuk *thermal battery* dengan metode *mechanical ball milling* selama 3 dan 5 jam dengan *ball to powder ratio* 2:1 (Lototsky, 2019)

METODE PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk magnesium dengan ukuran 74 μm yang dilakukan penambahan serbuk nikel berukuran 63 μm dengan variasi komposisi Ni sebanyak 14, 15 dan 16wt.%. Pencampuran komposit Mg-Ni dilakukan dengan proses *ball milling* selama 3 dan 5 jam, dengan kecepatan proses 1000 rpm dan *ball to powder ratio* (BPR) 2:1 yang artinya 200 gram berat bola dan 100 gram berat MgNi.

Material hasil proses *ball milling* selanjutnya diuji untuk mengetahui kemampuan material tersebut dalam menyerap (hidrogenasi) hidrogen. Model pengujian yang digunakan adalah uji volumetrik dengan pertimbangan yakni hasil pengujian lebih akurat dan mudah dilakukan dibandingkan dengan pengujian menggunakan metode gravimetrik. Proses ini dilakukan selama 2 jam dengan target suhu pengujian ialah sampai 400°C (673,15 K) dan tekanan yang digunakan sebesar 5,006 MPa sesuai dengan grafik karakteristik dari MgH₂ (Gambini, 2017). Setelah sampai pada target tekanan, komposit dipanaskan dengan laju pemanasan sebesar 5K/min. Data perubahan tekanan dan suhu dari sample dan reservoir dimasukkan ke dalam perhitungan sehingga besarnya hidrogen yang diserap material dapat diketahui seperti berikut (Carrillo-Bucio, 2018).

$$\text{wt\% (H}_2\text{)} = 100 \times \frac{M_{\text{H}_2} \times \Delta p \times V_{\text{sample}}}{m \times R \times T_{\text{sample}} \times Z_{\text{fact}}} + 100 \times \frac{M_{\text{H}_2} \times \Delta p \times V_{\text{reservoir}}}{m \times R \times T_{\text{reservoir}} \times Z_{\text{fact}}}$$

dimana:

M_{H₂} : massa molar H₂ (g/mol)

V_{sample} : volume sample (cm³)

V_{reservoir} : volume reservoir (cm³)

R : konstanta gas ideal (mol.K)

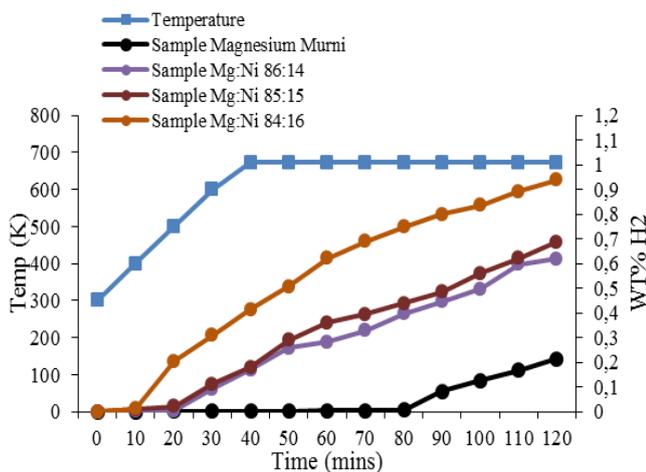
T : suhu (K)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas pengaruh komposisi penambahan Nikel pada Magnesium serta pengaruh waktu *ball-milling* terhadap kemampuan penyerapan hydrogen. Pengujian dilakukan selama 120 menit, dengan laju pemanasan sebesar 5K/min. Data utama (temperature dan tekanan) direkam setiap 10

menit untuk mengetahui nilai faktor kompresibilitas (Z) dari hidrogen dan besarnya penyerapan hidrogen (wt%_{total}) pada satuan waktu tersebut. Data pengujian hidrogenasi dibuat ke dalam grafik hubungan antara waktu, temperatur dan besarnya penyerapan hidrogen.

Gambar 1 menunjukkan grafik ke-empat material yang sudah diuji. Pada gambar terlihat bahwa Magnesium murni mulai menyerap hidrogen secara efektif pada menit ke-80. Besarnya penyerapan hidrogen di magnesium murni sangat rendah, dalam waktu 2 jam hanya mampu menyerap sebesar 0,214 %. Komposit yang merupakan paduan antara magnesium dan nikel mulai bereaksi jauh lebih cepat dibandingkan dengan magnesium murni. Waktu tercepat untuk mulai bereaksi dicapai oleh *sample* dengan komposisi 84 wt.% Mg dan 16 wt.% Ni pada menit ke-10 sudah menyerap hidrogen.

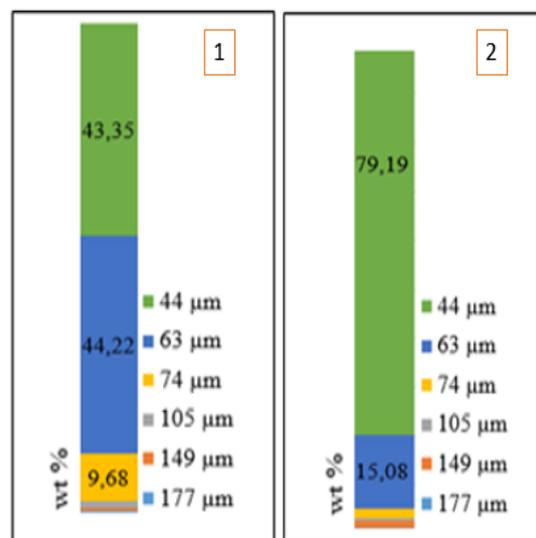


Gambar 1. Grafik Hasil Proses Hidrogenasi

Besarnya penyerapan hidrogen maksimal juga diperoleh oleh *sample* dengan komposisi 84 wt.% Mg dan 16 wt.% Ni dengan total penyerapan dalam waktu 2 jam sebesar 0,901%. Berdasarkan data-data tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan nikel di dalam magnesium berpengaruh terhadap percepatan reaksi *magnesium hydride*. Hal ini sesuai dengan teori yang dijabarkan dalam penelitian Lian G bahwa nikel berperan aktif sebagai katalisator reaksi magnesium dengan hidrogen. Penambahan nikel di dalam magnesium mampu menurunkan temperature

adsorpsi dari *magnesium hydride* sesuai dengan penelitian V.A Yartys. Sehingga dapat dikatakan bahwa proporsi terbaik untuk *thermal battery* dengan material utama magnesium adalah paduan antara magnesium dengan nikel dengan proporsi Mg:Ni 84:16%.

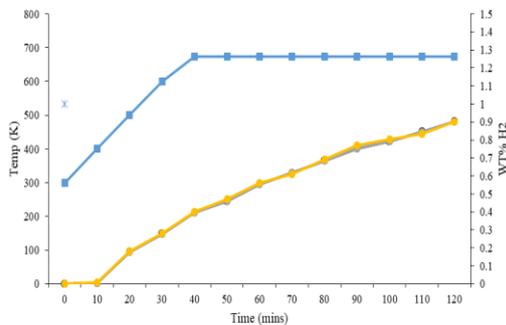
Terdapat dua parameter penggilingan material pada alat *ball milling* yaitu paduan logam Magnesium dengan penambahan katalis Nikel yang komposisinya yaitu 86 wt.% Mg dan 14 wt.% yang di proses 3 jam dan di proses 5 jam menggunakan kecepatan putar alat *ball-milling* 1000 rpm. Pada *komposit* dengan komposisi 86 wt.% Mg dan 14 wt.% dengan parameter waktu penggilingan 3 jam, ukuran target 44 µm diperoleh sebanyak 43,35%. Pada komposit dengan komposisi 84 wt.% Mg dan 16 wt.% dengan parameter waktu penggilingan 5 jam, ukuran target 44 µm diperoleh sebanyak 79,19%. Gambar 2 membuktikan bahwa lama waktu penggilingan sangat berpengaruh terhadap penurunan ukuran partikel material. Hal ini bertujuan semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar pula kemampuan material menyerap Hidrogen.



Gambar 2. Perbandingan Hasil Milling dengan waktu 3 dan 5 jam

Maka dapat disimpulkan bahwa komposit dengan komposisi 84 wt.% Mg dan 16 wt.% Ni merupakan hasil yang terbaik secara khusus dibandingkan dengan *sample* 1 dengan proporsi campuran yang sama namun

kemampuan material menyerap hidrogen sebesar 0,9012 WT% H_2 yang bereaksi pada suhu 700K dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil penyerapan Hidrogen material yang di proses 5 jam

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa komposisi 84 wt.% Mg dan 16 wt.% Ni yang dilakukan proses penggilingan dengan waktu 5 jam, didapatkan penurunan ukuran partikel target 44 μm terbaik, yaitu memperoleh sebanyak 79,19 %. Penyerapan hidrogen pada komposit dengan komposisi 84 wt.% Mg dan 16 wt.% Ni yang diproses penggilingan 5 jam mampu menyerap 0.938 WT% H_2 dan bereaksi pada menit ke-20.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas Hibah Penelitian Tesis Magister Tahun Anggaran 2019 yang mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aceh, D. *et al.*, *Statistik Perdagangan Luar Negeri*, 2013.

Andreasen, A. 2004. *Predicting formation enthalpies of metal hydrides*, Denmark: Riso National Library, ISBN 87-550-3382-2

Carrillo-Bucio, J.L., Tena-Garcia, J.R., Armenta-Garcia, E.P., Hernandez-Silva, O., Cabañas-Moreno, J.G., Suárez-Alcántara, K. 2018. *Low-cost Sieverts-type apparatus for the study of hydriding/dehydriding reactions*, *HardwareX*: 4 (00036): 1-14

Crivello, J.C., Dam, B., Denys, R.V., Domheim M., Grant, D.M., Hoot, J., Jensen, T.T., de Jongh, P., Latroche, M., Milanes, C., Milicius, D., Walker, G.S., Webb, J., Zlotes, C., Yartys, V.A. 2016a. *Review of magnesium hydride-based materials: development and optimisation*, *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process*: 122 (2): 1–20

Crivello, J.C., Denys, R.V., Duraheim, M., Felderhoff, M., Grant, D.M. Hoot, J., Jensen, T.R., de Jongh, P., Latroche, M., Walker, G.S., Webb, C.J., Yartys, V.A. 2016b. *Mg-based compounds for hydrogen and energy storage*, *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process*: 122 (2): 1–17

Fang, Z.Z., Zhou, C., Fan P., Udell, K.S., Bowman, R.C., Vajo, J.J., Purewal, J.J., Kekelia, B. 2015. *Metal hydrides based high energy density thermal battery*, *J. Alloys Compounds*: 645 (S1): S184–S189

Gambini, M., Stilo, T., Vellini M., & Montanari R. 2017. *High temperature metal hydrides for energy systems Part A: Numerical model validation and calibration*, *Int. J. Hydrogen Energy*: 42 (25): 16195–16202

Li, J., Zhou, C., Fang, Z.Z., Bowman, R.C., Lu, J. & Ren C. 2019. *Isothermal hydrogenation kinetics of ball-milled nano-catalyzed magnesium hydride*, *Materialia*: 5: 100227.

Lototskyy, M. Goh, J., Davids, M.W., Linkov, V., KHotseng, L., Ntsendwana, B., Denys, R., Yartys, V.A. 2019. *Nanostructured hydrogen storage materials prepared by high-energy reactive ball milling of magnesium and ferrovandium*, *Int. J. Hydrogen Energy*: 44 (13): 6687–6701

Narayanan, S., *et al.* 2015. *Thermal battery for portable climate control*, *Appl. Energy*, 149 : 104–116

Nyamsi, S.N., Lototskyy M., & Tolj I. 2018. *Selection of metal hydrides-based thermal energy storage: Energy storage efficiency and density targets*, *Int. J. Hydrogen Energy*: 43 (50) : 22568–2258.

Rocher, G. J. 2012. *Hydrogen Storage Properties of Mg-Ni-H through Pressure Composition Isotherms Combined with*

Thermodynamic Calculations, Tesis,
Canada: Concordia University
Zhang J., Yan, S. & Qu H. 2018. *Recent
progress in magnesium hydride modified
through catalysis and nanoconfinement*,
Int. J. Hydrogen Energy: 43 (3): 1545–
1565