

Pengaruh Variasi Waktu Milling terhadap Temperatur Nanokomposit Fe_3O_4 - MgH_2 sebagai bahan baku katalis pada Tabung *Hydrogen Storage*

Maulinda^{1*}, TM Zulfikar², Zulkarnain Jalil³, Adi Rahwanto⁴, Ismet⁵

^{1,5}Program Studi Teknik Industri, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

²Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

^{3,4}Program Studi Fisika, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Koresponden email: maulinda@serambimekkah.ac.id

Diterima: 29 November 2023

Disetujui: 15 Oktober 2023

Abstract

Metal materials can be used in renewable energy with future technologies for safe hydrogen storage media. Metal hydrides are a safe and effective way to store hydrogen for vehicle applications. Due to its high capacity in mass and volume for hydrogen storage, metal hydrides are currently the subject of intense research. However, the thermodynamic properties of magnesium hydride (MgH_2) produce moderate temperatures, during the hydrogen desorption reaction reaching about 300°C to 415°C at 1 bar. The thermodynamic properties of high MgH_2 cause the desorption temperature to also increase. The enthalpy produces high desorption (about 74 KJ/mol H_2). In addition, the process of transforming magnesium into magnesium hydride takes a long time, (for 60 hours). From the results of the study, iron sand, a material from nature, which has been extracted into Fe_3O_4 powder, is used as a catalyst. This is done to improve the absorption properties and reaction kinetics of hydrogen storage materials based on MgH_2 , namely magnetite Fe_3O_4 . The yield of Magnetite Extraction (Fe_3O_4) from iron sand is 85% purity, compared to the purity of Iron sand before extraction, which is 81%. Mechanical *alloying* methods are used to process MgH_2 - Fe_3O_4 samples, with different milling times and different catalysts.

Keywords: *nanocomposites, magnetite materials, alloying, DSC, hydrogen storage tubes*

Abstrak

Material logam dapat digunakan dalam energi terbarukan dengan teknologi masa depan untuk media penyimpanan hidrogen yang aman. Metal hidrida adalah cara yang aman dan efektif untuk menyimpan hidrogen untuk aplikasi kendaraan. Karena kapasitas tingginya dalam massa dan volume untuk penyimpanan hidrogen, hidrida logam saat ini menjadi subjek penelitian yang intens. Namun sifat termodinamika magnesium hidrida (MgH_2) menghasilkan temperatur yang sedang, selama reaksi desorpsi hidrogen mencapai sekitar 300°C hingga 415°C pada 1 bar. Sifat termodinamika MgH_2 tinggi menyebabkan temperatur desorpsi juga akan meningkat. Entalpi menghasilkan desorpsi tinggi (sekitar 74 KJ/mol H_2). Selain itu, proses transformasi magnesium menjadi magnesium hidrida membutuhkan waktu yang lama, (selama 60 jam). Dari hasil penelitian, pasir besi, bahan dari alam, yang telah diekstrak menjadi serbuk Fe_3O_4 , digunakan sebagai katalis. Hal ini dilakukan untuk memperbaiki sifat-sifat serapan dan kinetika reaksi material penyimpan hidrogen yang berbasis MgH_2 , yaitu magnetit Fe_3O_4 . Hasil Ekstraksi Magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi yaitu dengan kemurnian 85%, dibandingkan dengan kemurnian pasir besi sebelum ekstraksi, yaitu 81%. Metode *alloying* mekanis digunakan untuk memproses sampel MgH_2 - Fe_3O_4 , dengan waktu milling yang berbeda dan katalis yang berbeda.

Kata kunci : *nanokomposit, material magnetite, alloying, DSC, tabung penyimpanan hidrogen*

1. Pendahuluan

Media penyimpanan seperti gas, cairan dan padatan digunakan untuk menyimpan hidrogen yang digunakan untuk bahan kimia atau dalam campuran fisik dengan memanfaatkan bahan seperti hidrida logam atau hidrida kompleks. Setiap varian memiliki sifat menarik untuk penyimpanan hidrogen. Penyimpanan hidrogen dengan mengubah bentuk fisiknya menjadi gas cair dalam tangki yang bertekanan atau tangki *cyrogenik*. Proses penyimpanan Hidrogen seperti itu sulit dilakukan karena titik didihnya yang rendah (-252.870°C) dan kepadatannya yang rendah dalam bentuk gas ($0,08988\text{g/L}$) pada 1atm [1]. Penyimpanan gas hidrogen bertekanan tinggi akan dibatasi oleh berat tabung

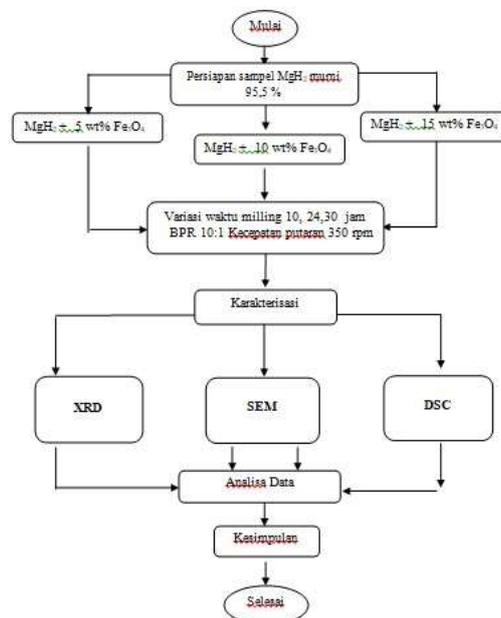
penyimpanan dan kemungkinan adanya kebocoran. Oleh karena itu, penyimpanan hidrogen dalam bentuk cair atau gas dapat menyebabkan masalah keselamatan dalam transportasi kendaraan.[2]

Magnesium (Mg) serta beberapa paduan disebut juga salah satu aspiran potensial sebagai bahan penyerap hidrogen untuk aplikasi sel bahan bakar karena secara teori mempunyai kemampuan menyerap hidrogen dalam jumlah besar (7,6 wt%). Jumlah tersebut akan melebihi batas maksimum yang sudah ditargetkan oleh Badan Energi Dunia, yaitu (5 wt%), dan suhu penyerapan/desorpsi $\leq 100^{\circ}\text{C}$ [3]. Selain itu, harga Mg yang mudah didapat serta ringan, juga biayanya sangat terjangkau, oleh karena itu dijadikan pertimbangan para peneliti di seluruh dunia saat ini. Akan tetapi Mg memiliki kelemahan, yaitu adanya keterlambatan dalam reaksi kinetiknya. Proses penyerapan hidrogen membutuhkan waktu minimal 60 menit (1 jam) dan temperatur operasinya yang sangat tinggi, mencapai 300°C . Namun, IEA telah menetapkan batasan agar penyerapan hidrogen dapat dilakukan pada temperatur di bawah 100°C dalam waktu yang singkat [4].

Sejumlah usaha telah dilakukan, baik secara teoritis maupun eksperimental, dengan tekun untuk meningkatkan karakteristik Mg. Salah satu pendekatan adalah melalui penerapan teknik preparasi terkini seperti deposisi uap, melt spinning, dan mechanical alloying untuk membentuk material komposit. Upaya juga dilakukan dengan menambahkan katalis khusus, seperti logam dan oksida logam ke dalam MgH_2 [5].

Salah satu langkah yang akan diambil dalam penelitian ini adalah dengan mengintegrasikan katalis berbasis material magnetite Fe_3O_4 yang diperoleh dari sumber alam, yaitu pasir besi di wilayah pesisir Aceh Besar, khususnya di daerah Lampanah. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa pasir besi ini kaya akan kandungan magnetit dan hematit. Penelitian sebelumnya telah dilakukan pada sampel pasir besi yang dikumpulkan dari pesisir pantai Syiah Kuala, di mana di dalam pasir besi tersebut mengandung beberapa senyawa dan yang paling dominan disebut Fe_3O_4 yaitu 86 % [6]

Penelitian material MgH_2 yang dikatalisasi ganda pada 5wt% Fe_3O_2 dan 5%wt SiC dengan menggunakan teknik *reactive ball milling* pada analisis termal menggunakan DTA menunjukkan bahwa proses pelepasan H_2 terjadi pada suhu 354°C [7]. Nilai temperatur ini terlalu tinggi jika diaplikasikan pada industri otomotif.. Song, dkk, (2006) memperlihatkan material komposit Mg-10 wt% Fe_2O_3 -5wt% Ni yang di milling selama 2 jam mampu men-desorpsi hidrogen 3,83 wt% pada temperatur 320°C .



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2. Metode Penelitian

Persiapan bahan

Material dalam penelitian ini adalah MgH_2 (Sigma Aldrich, Jerman, 95,5 %), dan oksida logam Fe_3O_4 . hasil ekstraksi dari pasir besi pesisir pantai. Perlakuan sintesis pada masing-masing bahan yaitu pada $(\text{MgH}_2)_{100-x}\text{M}_x$, dengan M adalah elemen adisi (Fe_3O_4) dan X komposisi dalam persen berat (5 wt%, 10 wt%, 15 w%). Dengan waktu milling yang berbeda yaitu pada 10, 24 dan 30 Jam dengan BPR 10:1 kecepatan putaran 350 rpm.

Preparasi milling

Sebelum melibatkan mesin ball milling dalam proses reduksi butiran, wadah milling dipersiapkan dengan membersihkannya menggunakan abu sekam padi. Abu sekam padi dimasukkan ke dalam wadah milling dan kemudian di-mill hingga wadah tersebut mencapai tingkat kebersihan yang diinginkan. Setelah semua komponen siap, proses reduksi butiran dilakukan menggunakan mesin ball mill. (tipe planetary Fritsch, P6 Kawasaki, Jepang) berkecepatan 350 rpm. Adapun rasio bola dan material adalah 10:1 dengan variasi berat sampel 5 wt%, 10 wt%, 15 wt%. Proses penyiapan sampel dilakukan dalam suasana nitrogen untuk menghindari paparan udara bebas yang bisa menyebabkan sampel terkontaminasi. Sampel-sampel itu lalu dikarakterisasi lebih lanjut dengan XRD, SEM dan XRF

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa data X-Ray Fluorescence (XRF) sampel Fe_3O_4 sebelum milling

Identifikasi dengan menggunakan XRF ini perlu dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur apa saja yang terkandung di dalam serbuk magnetit Fe_3O_4 . Untuk mengetahui tingkat kemurnian dari serbuk Fe_3O_4 . Hal ini sangat penting dilakukan karena bahan yang digunakan adalah bahan alam yang sudah dipisahkan dan telah di ekstrak sebelumnya. Hasil yang diperoleh dapat dilihat dari uji XRF ini ditunjukkan pada **Tabel 1** dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian XRF

No.	Nama Senyawa	Persentase
1.	Fe_3O_4	87,10 %
2.	TiO_2	6,56 %
3.	Al_2O_3	2,01 %
4.	SiO_2	1,15 %
5.	MgO	1,17 %
6.	CaO	0,30 %
7.	Cr_2O_3	0,52 %

Sumber: Pengolahan Data XRF 2021

Dari **Tabel 1** dapat dilihat Fasa Fe_3O_4 memiliki tingkat kemurnian tertinggi dengan persentase komposisi 81,42 %. Selanjutnya senyawa TiO_2 yang memiliki persentase komposisi sebesar 7,61 %. Sedangkan senyawa yang memiliki konsentrasi yang paling rendah adalah ZnO sebesar 0,06 %. Kemudian hasil X-Ray Fluorescence setelah diekstraksi menggunakan metode kopresipitasi fasa Fe_3O_4 menunjukkan peningkatan dimana kandungan unsur yang paling dominan dibandingkan dengan unsur yang lainnya adalah Fe_3O_4 dengan persentase $86,73 \pm 0,35$ %. Persentase Fe_3O_4 yang muncul adalah hampir sebesar 90%, hal tersebut menunjukkan bahwa bahan alam dari pasir besi yang digunakan memiliki sifat *Magnetite* yang lebih dominan dari senyawa lain.

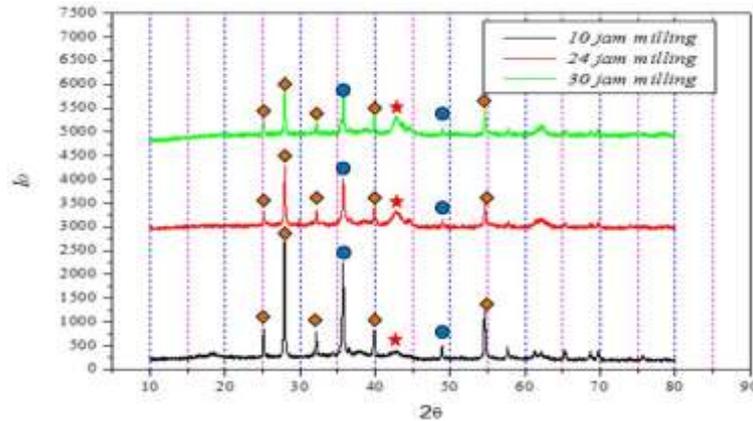
Berdasarkan presentasi persentase kandungan senyawa Fe_3O_4 dalam tabel, terdapat nilai error atau koreksi pada hasil uji dengan menggunakan alat uji XRF. Hal ini terindikasi dengan adanya tanda (\pm) yang menunjukkan nilai error untuk setiap senyawa yang terdeteksi. Secara umum, nilai error yang tercatat sangat kecil, tidak melebihi angka 1. Error maksimum yang tercatat adalah 0.35, menandakan bahwa pengujian menggunakan alat XRF memberikan hasil yang valid.

Analisa XRD terhadap variasi waktu milling

Hasil analisis struktur menggunakan XRD untuk material MgH_2 -10wt% Fe_3O_4 (nanopartikel) pada berbagai waktu milling (10 jam, 24 jam, dan 30 jam) menunjukkan bahwa paduan antara MgH_2 dan Fe_3O_4 telah terbentuk sejak waktu milling mencapai 24 jam. Temuan ini mengindikasikan bahwa dalam proses mechanical alloying, terjadi difusi atom unsur katalis ke dalam partikel MgH_2 . Selain itu, peningkatan waktu milling dapat memperkuat difusi atom unsur katalis, yang mengakibatkan penurunan intensitas puncak MgH_2 [9].

Pada variasi waktu milling yaitu 10 jam, 24 jam, dan 30 jam, Puncak dominan fasa utama MgH_2 muncul pada sudut $27,9095^\circ$, $35,7222^\circ$, $54,6127^\circ$. Puncak difraksi pada perlakuan milling selama 10 jam masih terlihat sangat tajam. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi material masih berada dalam skala mikropartikel. Lebar atau ukuran puncak difraksi mulai mengalami perubahan setelah proses milling mencapai 24 jam dan 30 jam. Adanya intensitas puncak yang melebar dan mengecil pada hasil XRD menunjukkan bahwa selama proses milling terjadi deformasi secara mekanis oleh energi tumbukan bola-bola dan dinding ball mill secara terus menerus sehingga mengakibatkan pengecilan ukuran partikel.

Pengecilan ukuran ini terjadi akibat adanya gerakan pematahan (*fracture*) dan pemecahan fragmen (*fragmentation*) yang terjadi selama proses *milling* berlangsung [10].



Gambar 2. Difraksi sinar X untuk variasi waktu *milling* (10, 24, 30 jam)

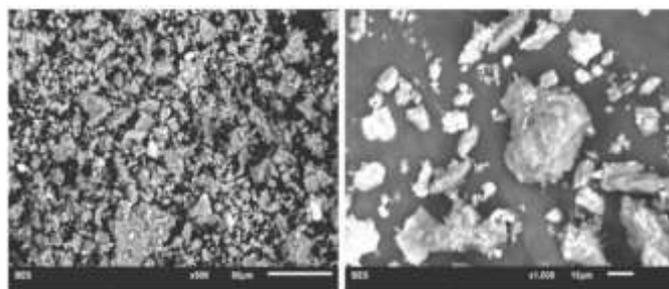
Berdasarkan variasi waktu *milling* material $MgH_2-Fe_3O_4$ maka hasil kalkulasi ukuran kristal dapat ditunjukkan dalam bentuk **Tabel 2** seperti berikut :

Tabel 2. Hasil kalkulasi ukuran kristal pada fasa $MgH_2-Fe_3O_4$ pada variasi

MgH ₂ - 10 wt% Fe ₃ O ₄	Parameter Pengukuran Bidang Kristal MgH ₂			Parameter Pengukuran Bidang Kristal Fe ₃ O ₄		
	FWHM θ (^o C)	θ (^o C)	Ukuran Kristal (nm)	FWHMθ (^o C)	θ (^o C)	Ukuran Kristal (nm)
10 Jam	0.18480	17.8411	47.68	0.15600	17.69	56.50
24 Jam	0.18670	17.8635	47.19	0.18840	17.72	46.80
30 Jam	0.18900	17.8611	46.62	0.2000	21.56	45.10

Hasil Analisa dengan SEM

Struktur morfologi permukaan $MgH_2-10wt\%Fe_3O_4$ didapatkan dengan pengujian menggunakan SEM. **Gambar 3** merupakan hasil struktur morfologi permukaan material $MgH_2-10\%wtFe_3O_4$ dengan waktu *milling* 24 jam. Terlihat bahwa Permukaan morfologi material $MgH_2-10\%wtFe_3O_4$ memperlihatkan ukuran dan Morfologi material menunjukkan karakter irreguler, yang terbentuk akibat proses pengulangan selama proses *milling* berlangsung. Selama proses *milling*, partikel-logam secara berkala terperangkap di antara bola-bola yang bertumbukan, mengalami deformasi plastis. Tumbukan bola-bola tersebut dapat menyebabkan retakan, diikuti oleh fenomena penyatuan dingin (*cold welding*) partikel-partikel serbuk secara elemen [12].

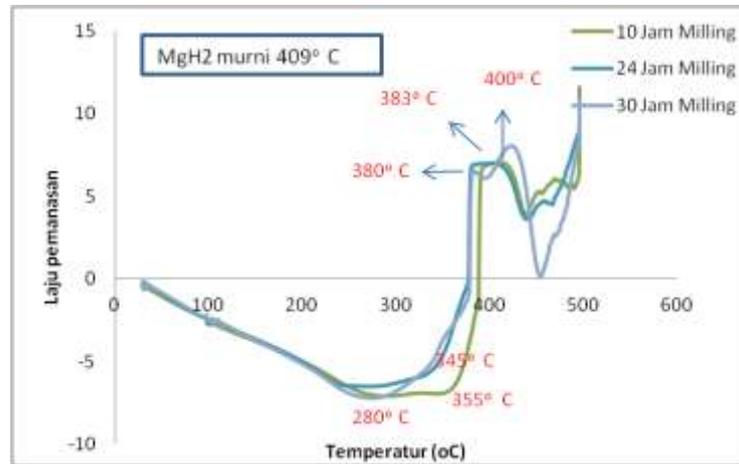


Gambar 3. Struktur morfologi permukaan $MgH_2-Fe_3O_4$

Terlihat pada **Gambar 3** struktur morfologi $MgH_2-10\ wt\% Fe_3O_4$ ukurannya tidak seragam. Ketika proses *milling* berlangsung, terjadi efek aglomerasi dan *cold welding* yang mengakibatkan peningkatan ukuran partikel. Dijelaskan pula bahwa aglomerasi dan *cold welding* yang berlebihan dapat mengurangi sifat absorpsi dan desorpsi, karena menyebabkan penurunan luas permukaan kontak antara magnesium dan hidrogen.

Kurva Uji Termal dengan DSC pada variasi waktu milling

Untuk memahami karakteristik termal sampel yang sedang dianalisis, dilakukan penggunaan alat *Differential Scanning Calorimetry* (DSC). Sejumlah 5-10 mg sampel serbuk ditempatkan dalam crucible alumina dan kemudian ditutup rapat. Analisis dilakukan pada rentang suhu 200°C hingga 500°C dengan laju pemanasan sebesar 100°C per menit. Uji termal menggunakan DSC, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4**, dilakukan untuk sampel MgH₂ murni tanpa proses milling, serta MgH₂ dengan penambahan 10 wt% dan dilakukan proses milling selama 10 jam, 24 jam, dan 30 jam.



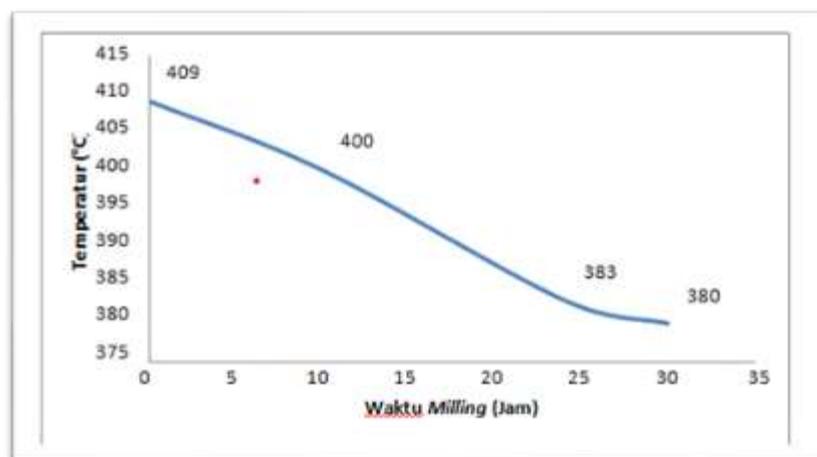
Gambar 4. MgH₂ – Fe₃O₄ pada variasi waktu milling

Kurva DSC untuk MgH₂ murni ditunjukkan pada (**Gambar 4**). Temperatur desorpsi (T_{onset}) material MgH₂ murni berada pada kisaran temperatur 409 °C. Hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Lei Xie, 2009) menunjukkan bahwa temperatur operasi MgH₂ yang masih tinggi pada kisaran temperatur 409 °C. Pada penelitian ini upaya yang dilakukan untuk menurunkan temperatur yaitu dengan menambahkan katalis 10 wt% Fe₃O₄ yang berbasis bahan alam yang telah mengalami proses ekstraksi dengan menggunakan metode Kopersipitasi pada variasi waktu milling selama 10 jam, 24 jam dan 30 jam.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Uji DSC pada variasi waktu milling

No.	Nama Sampel	Waktu milling	T onset (°C)
1.	MgH ₂ murni	-	409
2.	MgH ₂ -10wt%Fe ₃ O ₄	10 jam	400
3.	MgH ₂ -10wt%Fe ₃ O ₄	24 jam	383
4.	MgH ₂ -10wt%Fe ₃ O ₄	30 jam	380

Sumber: Pengolahan Data DSC 2022



Gambar 5. Grafik hubungan antara temperatur (°C) terhadap variasi waktu milling

Pada proses milling 10 jam, **Gambar 6**. T_{Onset} menunjukkan penurunan yang tidak begitu besar dibandingkan dengan temperatur MgH_2 murni, yaitu pada kisaran 400°C , dan pada proses milling 24 jam, gambar T_{Onset} mengalami penurunan yaitu pada kisaran 383°C . Fluktuasi pada temperatur onset dan temperatur puncak pada uji DSC mencerminkan variasi dalam laju dan energi aktivasi desorpsi. Ketika temperatur onset dan puncak menurun, energi aktivasi juga cenderung menurun, dan temperatur yang diperlukan untuk mencapai laju desorpsi optimal juga menjadi lebih rendah.

5. Kesimpulan

Proses ekstraksi pasir besi telah berhasil dilakukan dengan proses *magnetic separation* dan metode kopresipitasi. Hasil uji XRF menunjukkan bahwa proses ekstraksi secara perlakuan kimia dengan menggunakan metode kopresipitasi mengalami peningkatan kemurnian yaitu 86%, dibandingkan dengan kemurnian awal yaitu 81%.

Hasil pengamatan pada pengujian X-Ray menunjukkan bahwa material MgH_2 yang disisipkan dengan katalis Fe_3O_4 yang di *milling* dengan menggunakan teknik *mechanical alloying* membentuk fasa utama MgH_2 dan Fe_3O_4 sebagai fasa minor. Penambahan material Fe_3O_4 sebagai katalis serta waktu *milling* yang lebih lama dapat menunjukkan terjadinya pelebaran puncak difraksi. Hal ini mengindikasikan mulai terjadi reduksi ukuran butir.

Hasil termal pada penambahan katalis dan penambahan waktu milling memperlihatkan penurunan temperatur desorpsi H_2 , dimana temperatur puncak dapat direduksi hingga berkisar antara $10\text{-}30^\circ\text{C}$. Hasil ini berhasil memperbaiki temperatur MgH_2 murni yang mencapai 409°C .

5. Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan peneliti dari Universitas Syiah Kuala dan Universitas Serambi Mekkah Indonesia yang telah memberikan wawasan dan keahlian yang sangat membantu penelitian ini, meskipun mereka mungkin tidak setuju dengan semua interpretasi/kesimpulan makalah ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Jalil Z, Rahwanto A, Sofyan H, Usman M, Handoko E. *The use of Silica from beach sand as catalyst in Magnesium based hydrides for Hydrogen storage materials*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2018 (Vol. 105, No. 1, p. 012093). IOP Publishing.
- [2] Wulandari IO, Mardila VT, Santjojo DD, Sabarudin A. *Preparation and characterization of chitosan-coated Fe_3O_4 nanoparticles using ex-situ co-precipitation method and tripolyphosphate/sulphate as dual crosslinkers*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2018 Jan 1 (Vol. 299, p. 012064). IOP Publishing.
- [3] Arianti, Myrna. 2011. Slide Thermal Analysis, *Karakterisasi Material 2*. Departemen Metalurgi UI.
- [4] Ali, Jauhari. 2012. *Pengembangan Adsorben Hydrogen Storage untuk Aplikasi Fuel Cell dalam Bentuk Padatan Partikel Nano Karbon Aktif dengan Bahan Pengikat Likuida Lignoselulosa*. Tesis. Magister Depok Jakarta.
- [5] Rahwanto A, Jalil Z, Handoko E. *Desorption properties of mechanically milled MgH_2 with double catalysts Ni and SiC*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020 Sep 1 (Vol. 931, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.
- [6] Pratama FB, Widyastuti W. *Pengaruh Penambahan Ni, Cu, dan Al dan Waktu Milling pada Mechanical Alloying Terhadap Sifat Absorpsi dan Desorpsi Mg sebagai Material Penyimpan Hidrogen*. Jurnal Teknik ITS. 2012 Sep 11;1(1): F97-101.
- [7] Budi, Febrian Pratama dan Widyastuti. 2012. *Pengaruh Penambahan Ni, Cu dan Al dan Waktu Milling pada Mechanical Alloying Terhadap Sifat Absorpsi dan Desorpsi Mg sebagai Material Penyimpan Hidrogen*. Jurnal Teknik ITS Vol. 1, (Sept, 2012) ISSN: 2301-9271
- [8] Monshi A, Foroughi MR, Monshi MR. *Modified Scherrer equation to estimate more accurately nanocrystallite size using XRD*. World journal of nano science and engineering. 2012 Sep 28;2(3):154-60.
- [9] Sari N, Fadlly TA, Maulinda M. *Pengaruh Waktu Milling Terhadap Sifat Desorpsi Material Penyimpan Hidrogen $\text{MgH}_2\text{-Ni}$ Melalui Teknik Mechanical Alloying*. Jurnal Serambi Engineering. 2021 Jun 26;6(3).
- [10] Istadi. 2011. *Teknologi Katalis untuk Konversi Energi*. Graha Ilmu, Yogyakarta
- [11] Sunaryono, Taufiq A, Mashuri M, Pratapa S, Zainuri M, Triwikantoro T, Darminto D. *Various magnetic properties of magnetite nanoparticles synthesized from iron-sands by coprecipitation*

- method at room temperature. In Materials Science Forum* 2015 Sep 12 (Vol. 827, pp. 229-234). Trans Tech Publications Ltd.
- [12] Mahdavi M, Ahmad MB, Haron MJ, Namvar F, Nadi B, Rahman MZ, Amin J. *Synthesis, surface modification and characterisation of biocompatible magnetic iron oxide nanoparticles for biomedical applications*. *Molecules*. 2013 Jun 27;18(7):7533-48.
- [13] Jalil Z. *Material Penyimpan Hidrogen Sistem MgH₂-SiC Yang Dipreparasi Melalui Rute Reactive Mechanical Alloying*. Disertasi. Universitas Indonesia Jakarta. 2011.
- [14] Maulinda M, Zein I, Jalil Z. *Characteristics of Natural Magnetite (Fe₃O₄) from Beach Sand as Catalyst Application in Materials Industry*. *Jurnal Natural*. 2019 Mar 14;19(1):1-5.
- [15] Fatmaliana A, Maulinda M, Sari N. *Synthesis and characterization of hematite (Fe₂O₃) of iron ore and magnetite (Fe₃O₄) from iron sand through precipitation method for industrial raw materials*. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 2020 Jun 30;12(2):37-42.