

ANALISIS STRUKTUR KRISTAL PADUAN Mg_2Ni HASIL MECHANICAL ALLOYING

Wisnu Ari Adi¹, Andon Insani¹ dan Hadi Suwarno²

¹Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang

²Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong-Tangerang

ABSTRAK

ANALISIS STRUKTUR KRISTAL Mg_2Ni HASIL MECHANICAL ALLOYING. Telah dilakukan analisis struktur kristal pada paduan Mg_2Ni hasil sintesis dengan menggunakan *mechanical alloying*. Bahan ini dimilling dengan variasi waktu *milling* selama 20 jam, 25 jam, 30 jam, dan 35 jam. Hasil pengukuran dengan difraksi sinar-X (XRD) menunjukkan bahwa hasil *refinement* dari pola difraksi sinar-X sangat baik dan profil terdiri dari 3 fasa yaitu : Mg_2Ni , MgO dan $MgNi_2$. Kerapatan atom yang paling rendah dan *volume* unit sel yang paling tinggi diperoleh setelah *milling* selama 25 jam. Jarak antar atom baik Mg(1)-Mg(1), Mg(2)-Mg(2), Ni(1)-Ni(1) dan Mg(1)-Ni(2) yang paling panjang didapatkan setelah *milling* 25 jam. Ukuran diameter *grain*/kristalit pada fasa Mg_2Ni hampir tidak berubah dengan semakin bertambahnya waktu *milling* sekitar 20 nm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa setelah *milling* 25 jam diperoleh hasil yang paling optimum pada penelitian ini dimana fasa Mg_2Ni memiliki ruang yang paling besar sehingga diharapkan dapat memudahkan atom-atom hidrogen masuk dalam jumlah yang banyak untuk berikatan membentuk paduan hidridanya.

Kata kunci : Hidrida logam, Mg_2Ni , Struktur kristal

ABSTRACT

THE CRYSTAL STRUCTURE ANALYSIS OF Mg_2Ni ALLOY SYNTHESIZED BY MECHANICAL ALLOYING METHOD. The crystal structure analysis of Mg_2Ni alloy by using mechanical alloying technique have been performed. This material is milled with the variation of milling time for 20 hours, 25 hours, 30 hours and 35 hours. The refinement result of X-ray diffraction pattern shows a very good fitting between the calculation and observation data. The profiles consist of three phases, namely: Mg_2Ni , MgO and $MgNi_2$ phases. Lowest atomic density and highest volume unit cell was obtained after milling time of 25 hours. Longest bond length between Mg(1)-Mg(1), Mg(2)-Mg(2), Ni(1)-Ni(1) and Mg(1)-Ni(2) were also obtained after 25 hours milling. Grain sizes appear to be constant with increasing of milling time. It is conclude that optimum result was obtained after milling time of 25 hours in which the Mg_2Ni phase have biggest space for hydrogen atoms to be insert and form it's hydride compound.

Key words : Metal hydride, Mg_2Ni , Crystal structure

PENDAHULUAN

Salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti sumber energi fosil adalah hidrogen [1]. Hidrogen disamping melimpah di alam, ringan, ramah lingkungan juga mudah diperbaharui. Namun hidrogen ini memiliki beberapa kelemahan yaitu sangat reaktif, mudah terbakar dan meledak. Untuk itu diperlukan cara untuk dapat menyimpan hidrogen ini dengan aman.

Teknologi baru yang sedang dikembangkan untuk penyimpanan hidrogen dengan dimasukkan ke dalam pengungkung (tangki) hidrida logam (*metal*

hydride)[2]. Teknik *metal hydride* ini disamping lebih menguntungkan dibandingkan dengan penyimpanan dalam bentuk lain, juga murah, ringkas karena cukup padat, mudah dipindahkan dan memiliki kemurnian cukup tinggi dibandingkan dengan penyimpanan dalam bentuk lain. Namun masalah utama yang dihadapi, apabila hidrogen ini disimpan dalam bentuk hidrida logam tetapi faktor kapasitas penyimpanan sangat rendah.

Dewasa ini banyak bahan-bahan lain yang ditemukan dan tergolong hidrida logam terutama pada bahan yang berbasis Mg dan memiliki komposisi A_2B

seperti Mg_2Ni dan Ti_2Ni , komposisi AB seperti TiFe dan ZrNi, komposisi AB_2 seperti ZrV_2 , $ZrMn_2$ dan $TiMn_2$, komposisi AB_3 seperti $CeNi_3$ dan YFe_3 , komposisi AB_5 seperti $LaNi_5$, komposisi A_2B_7 seperti Y_2Ni_7 dan Th_2Fe_7 , dan komposisi A_6B_{23} seperti Y_6Fe_{23} [3].

Magnesium adalah bahan yang atraktif sebagai penyimpan hidrogen. Magnesium dapat membentuk hidrida yang mengandung 7,6 wt% [4,5]. Namun magnesium sebenarnya tidak praktis apabila digunakan untuk menyimpan hidrogen. Hal ini disebabkan dehidrogenisasinya sangat lambat. Oleh sebab itu salah satu cara untuk meningkatkan baik kecepatan maupun kapasitas penyerapan hidrogen adalah menambahkan unsur atau senyawa sebagai katalisator, salah satunya adalah nikel. Paduan yang banyak dikembangkan pada saat ini adalah paduan Mg_2Ni . Paduan ini merupakan salah satu pengembangan dari Mg sebagai solusi untuk memperbaiki kelemahan yang dimiliki oleh Mg.

Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan paduan Mg_2Ni dengan menggunakan metode *Mechanical Alloying (MA)* [6-8]. Metode *MA* ini merupakan metode yang paling sederhana untuk membuat paduan ini, yaitu memanfaatkan proses deformasi untuk membentuk paduan. Hanya saja, tidak sepenuhnya bereaksi sempurna membentuk satu fasa paduan. Menurut hasil yang diperoleh dari penelitian sebelumnya bahwa jumlah fraksi massa dari fasa Mg_2Ni meningkat setelah *dimilling* selama 25 jam dari 42,19% menjadi 51,03%, kemudian mengalami penurunan sampai 11,86% akibat adanya oksigen yang masuk dilingkungan *sample* sehingga sebagian besar Mg yang berasal dari fasa Mg_2Ni diduga terlepas dan berikatan dengan oksigen membentuk MgO, sedangkan Ni yang tertinggal berikatan membentuk fasa $MgNi_2$ [9]. Hasil sintesis paduan Mg_2Ni yang telah dilakukan ini kemudian dipilih yang terbaik dan selanjutnya akan *dihydriding* untuk membentuk paduan Mg_2NiH_4 .

Faktor utama yang menjadi kriteria terbaik pada proses *hydriding* ini adalah bahwa paduan tersebut memiliki ukuran *grain* yang kecil dan pada paduan tersebut memiliki karakteristik mikroskopik, yaitu kerapatan atomik rendah dengan *volume* unit sel yang besar sehingga memudahkan masuknya atom-atom hidrogen tersebut ke dalam paduan [10,11]. Dengan demikian tujuan utama pada penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik mikroskopik paduan Mg_2Ni dari hasil yang telah diperoleh peneliti sebelumnya dengan menganalisis struktur kristalnya sehingga dapat ditentukan hasil paduan Mg_2Ni yang paling baik untuk dilakukan proses *hydriding*.

METODE PERCOBAAN

Paduan Mg_2Ni dibuat melalui reaksi padatan dari pencampuran logam-logam penyusun, yaitu : Magnesium, Mg (produk *Merck* dengan tingkat kemurnian lebih dari 99,8%) dan Nickel Ni (produk *Merck*

dengan tingkat kemurnian lebih dari 99,0 %), dengan perbandingan stokiometri unsur Mg : Ni = 2 : 1, seperti yang ditunjukkan pada persamaan reaksi di bawah ini :



Metode pencampuran bahan ini dengan menggunakan teknik *mechanical alloying*. Peralatan yang digunakan adalah *High Energy Milling (HEM)* Spex 8000 yang terdapat di laboratorium Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN dengan spesifikasi normal *speed* = 4500 rpm, *run time* = 90 menit, *of time* = 30 menit dan *on off cycle* = 1 kali, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. High Energy Milling (HEM).

HEM ini terdiri dari sebuah wadah (*vial*) yang di dalamnya terdapat bola-bola (*ball mill*) yang bergerak secara *spin* dan berfungsi untuk menghancurkan bahan tersebut. *Vial* ini terbuat dari bahan *Stainless Steel (SS)* dengan bentuk seperti tabung dengan panjang 7,6 cm dan diameter 5,1 cm. Sedangkan *ball mill* juga terbuat dari bahan *Stainless Steel (SS)* dengan diameter bola sebesar 12 mm. Sampel dibuat sebanyak 15 gram yang terdiri dari campuran antara Mg dan Ni. Berdasarkan teorema *mesh* rasio = 8, untuk massa sampel sebanyak 15 gram diperlukan massa bola-bola sejumlah 120 gram. Proses ini banyak digunakan untuk menghasilkan berbagai macam bahan nanostruktur. Selain untuk menghasilkan butiran yang relatif kecil, *HEM* ini juga menyebabkan terbentuknya struktur yang metastabil. Pada penelitian ini sampel Mg_2Ni *dimilling* dengan variasi waktu *milling* selama 20 jam, 25 jam, 30 jam dan 35 jam di suhu ruang.

Pengamatan kualitas dan kuantitas fasa-fasa yang ada di dalam sampel menggunakan peralatan *X - ray Diffractometer (XRD)* merek *Philip*, type PW1710. Pengukuran pola difraksi sampel dilakukan dengan berkas sinar-X dari *tube anode* Cu dengan panjang gelombang, $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$, *mode* = *continuous-scan*, *step size* = $0,02^\circ$ dan *time per step* = 0,5 detik. Karakterisasi *XRD* ini dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN.

Analisis profil difraktometer sinar-X yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program RIETAN (*Rietveld Analysis*). Program RIETAN ini dibuat oleh Fuji Izumi pada tahun 1994 [12]. Langkah untuk menganalisis dengan menggunakan metode *rietveld* ini, yaitu dengan memasukkan dua jenis data.

Data pertama adalah parameter *least square* yang berisikan parameter struktur kristal dan data kedua adalah data intensitas. Parameter struktur kristal adalah data masukan dari suatu model perhitungan yang diajukan sebagai standar acuan. Sedangkan data intensitas adalah data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan XRD. Hasil pengolahan dari program ini memberikan beberapa informasi, diantaranya adalah data parameter struktur kristal dalam satu sel satuan, data intensitas hasil perhitungan (*calculation*) dan pengamatan (*observation*), data jumlah fraksi massa yang diperoleh apabila lebih dari satu fasa dan data refleksi *Bragg* yang muncul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur kristal Mg₂Ni memiliki grup ruang (*space group*) : P 6₂ 2 2 (VOL. I, 180), sistem kristal heksagonal, parameter kisi a = 5,20462 Å, b = 5,20462 Å, dan c = 13,01930 Å, dengan α = β = 90°, dan γ = 120°. Sedangkan posisi *Wyckoff* atau jumlah titik *equivalen* per unit sel berdasarkan hasil yang dilakukan oleh Hirata [13] seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 .

Tabel 1. Posisi atom pada posisi *Wyckoff* fasa Mg₂Ni

Atom	Faktor Hunian	x	y	z
Mg(1)	1,0	0,5000	0,0000	0,1103
Mg(2)	1,0	0,2864	0,3035	0,0000
Ni(1)	1,0	0,0000	0,0000	0,5000
Ni(2)	1,0	0,5000	0,0000	0,5000

Hasil *refinement* dengan menggunakan program RIETAN dari pola difraksi sinar-X pada paduan Mg₂Ni yang telah *dimilling* selama 20 jam , 25 jam , 30 jam, dan 35 jam ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2 terdiri dari kurva profil difraksi sinar-X hasil observasi yang ditunjukkan dengan simbol plus (+), profil difraksi sinar-X hasil kalkulasi ditunjukkan dengan simbol *line* (-), titik-titik puncak fasa atau indeks *Miller* ditunjukkan dengan simbol bar (|), dan kurva selisih antara hasil observasi dengan kalkulasi ditunjukkan dengan simbol *line* (-). Kurva selisih ini yang kemudian digunakan untuk menunjukkan kualitas hasil *fitting* dari profil difraksi sinar-X hasil observasi dan kalkulasi. Semakin datar atau semakin lurus kurva selisih ini, maka kualitas *fitting* semakin baik.

Pada Gambar 2, tampak bahwa sesuai dengan identifikasi menurut analisis *Rietveld* menunjukkan hasil yang diperoleh terdiri dari tiga fasa, yaitu fasa Mg₂Ni, MgO, dan MgNi₂. Sedangkan data parameter struktur

kristal, faktor R (*criteria of fit*) dan S (*goodness of fit*) ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Data parameter kisi untuk fasa Mg₂Ni, MgNi₂ dan MgO setelah *dimilling* selama 20 jam, 25 jam, 30 jam, dan 35 jam.

Parameter kisi (Å)		Lama <i>milling</i>				Ref.
		20 jam	25 jam	30 jam	35 jam	
Mg ₂ Ni	a	5,320(8)	5,299(1)	5,311(8)	5,373(9)	5,20462
	b	5,320(8)	5,299(1)	5,311(8)	5,373(9)	5,20462
	c	12,323(3)	12,425(1)	12,096(3)	11,551(3)	13,01930
MgNi ₂	a	4,963(7)	4,919(1)	4,937(5)	4,952(4)	4,80400
	b	4,963(7)	4,919(1)	4,937(5)	4,952(4)	4,80400
	c	16,045(3)	15,912(2)	15,903(2)	16,033(2)	15,76600
MgO	a	4,246(3)	4,237(1)	4,252(3)	4,253(2)	4,23818
	b	4,246(3)	4,237(1)	4,252(3)	4,253(2)	4,23818
	c	4,246(3)	4,237(1)	4,252(3)	4,253(2)	4,23818

Tabel 3. Data *criteria of fit* dan *goodness of fit* untuk fasa Mg₂Ni, MgO dan MgNi₂ setelah *dimilling* selama 20 jam, 25 jam, 30 jam, dan 35 jam.

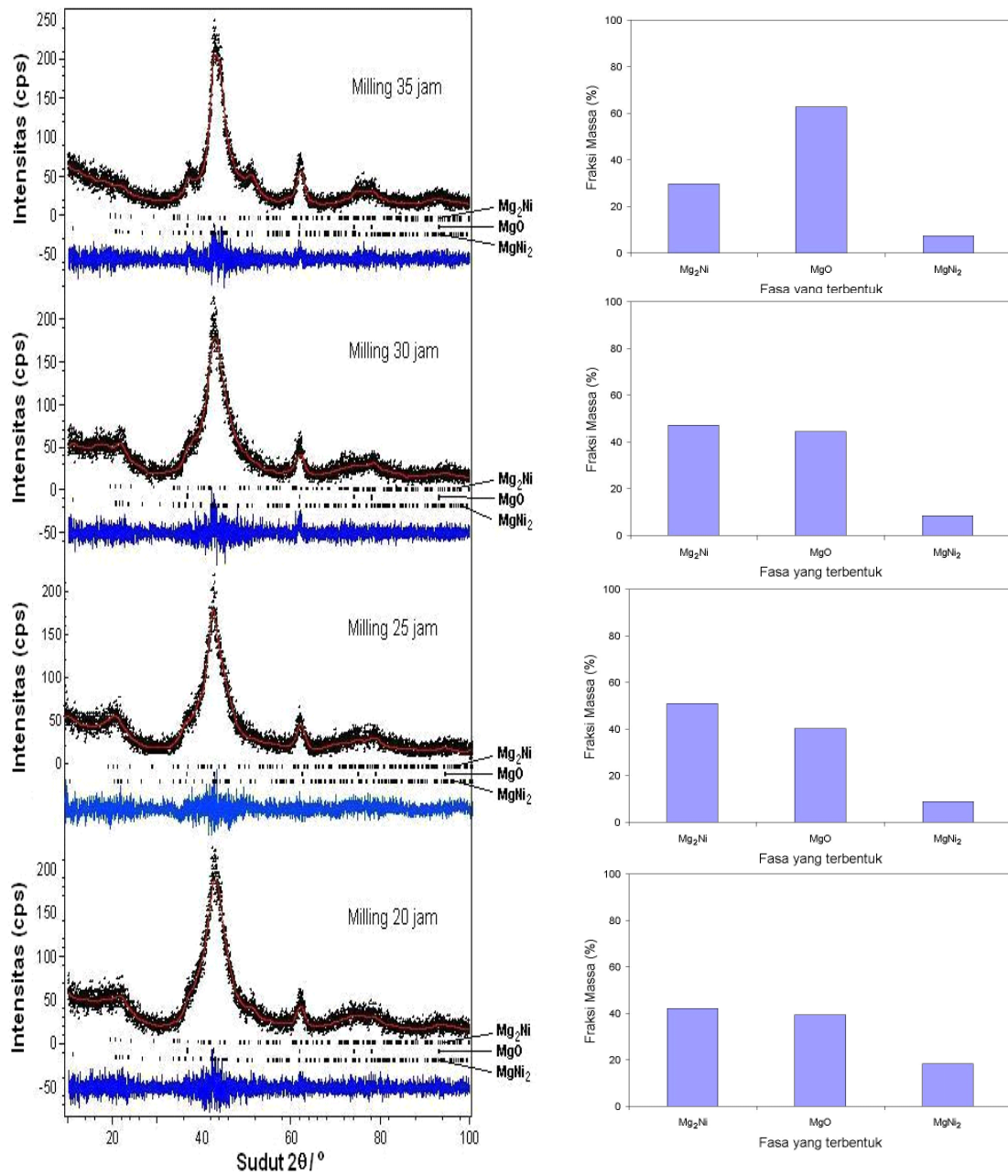
Lama <i>milling</i>	<i>Criteria and goodness of fit</i>							S
	R _{wp}	Mg ₂ Ni		MgO		MgNi ₂		
		R _i	R _F	R _i	R _F	R _i	R _F	
20 jam	20,07	7,46	4,14	7,88	4,15	7,15	4,01	1,29
25 jam	17,34	5,08	3,34	4,61	2,99	8,26	3,18	1,06
30 jam	20,69	8,65	4,78	9,44	4,90	8,26	4,59	1,29
35 jam	23,79	10,50	5,78	14,14	6,80	11,17	5,82	1,26

Pada Gambar 2 menunjukkan bentuk profil yang menggambarkan kecocokan (*fitting*) antara profil hasil observasi dan profil hasil kalkulasi. Hal ini ditandai dengan hasil dari faktor R (*criteria of fit*) dan S (*goodness of fit*) yang kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil *refinement* dari keseluruhan sample Mg₂Ni yang telah *dimilling* selama 20 jam , 25 jam , 30 jam, dan 35 jam ini diperoleh kualitas *fitting* yang sangat baik.

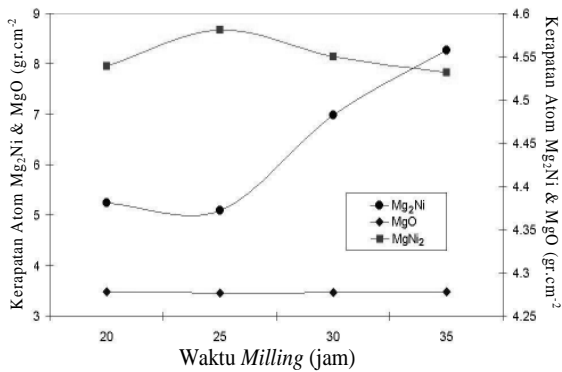
Berdasarkan hasil analisis *Rietveld* ini diperoleh juga hubungan antara kerapatan atom dari fasa Mg₂Ni terhadap variasi waktu *milling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan hubungan antara *volume* unit sel dari fasa Mg₂Ni terhadap variasi waktu *milling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 3 dan Gambar 4, tampak bahwa dengan bertambahnya waktu *milling* kerapatan atom semakin menurun sedangkan *volume* unit sel fasa Mg₂Ni semakin bertambah sampai pada batas setelah *milling* 25 jam dan kemudian setelah *milling* ditingkatkan, kerapatan atomnya bertambah sedangkan *volume* unit selnya berkurang. Meningkatnya *volume* unit sel fasa Mg₂Ni setelah *milling* 25 jam ini berasal dari semakin panjangnya parameter kisi pada sumbu *c* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.

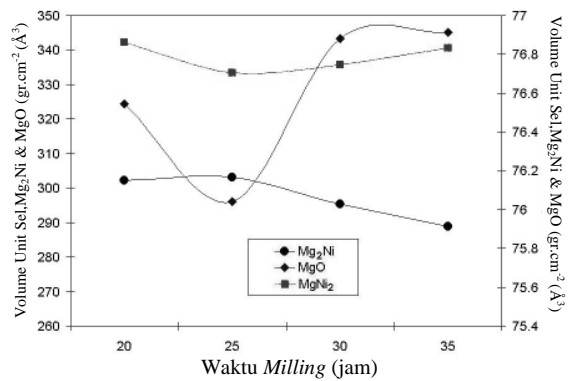
Hasil ini sangat bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh sebelumnya [13]. Dimana diperoleh paduan Mg₂Ni dengan parameter kisi *a* dan *b* cukup pendek sekitar 5,20462 Å dan parameter kisi *c* sangat panjang, yaitu sekitar 13,01930 Å. Sedangkan menurunnya *volume* unit sel fasa Mg₂Ni ini disebabkan karena bertambahnya jumlah fraksi massa fasa MgO setelah *milling* 30 jam dan



Gambar 2. Hasil refinement dari pola difraksi sinar-X pada paduan Mg₂Ni yang telah dimilling selama 20 jam, 25 jam, 30 jam dan 35 jam.

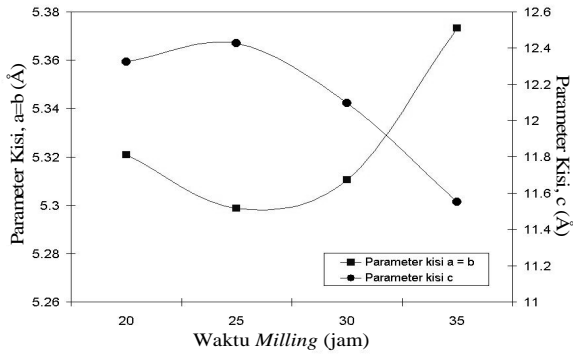


Gambar 3. Kerapatan atom pada fasa Mg₂Ni, MgO dan MgNi₂



Gambar 4. Volume unit sel pada fasa Mg₂Ni, MgO dan MgNi₂

35 jam sehingga berakibat semakin meningkatnya volume unit sel fasa MgO tersebut.

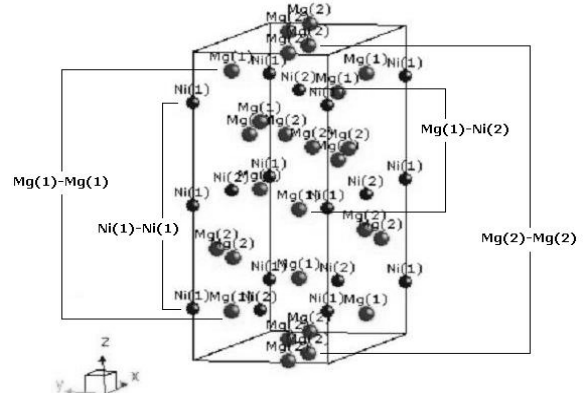


Gambar 5. Parameter kisi pada fasa Mg_2Ni

Kerapatan atom yang paling rendah dan volume unit sel yang paling tinggi pada fasa Mg_2Ni diperoleh setelah *milling* selama 25 jam. Menurut penelitian sebelumnya bahwa konsentrasi dari difusi hidrogen C_0 sangat bergantung dari besarnya rapat massa dan volume dari molekul tersebut [10]. Hal ini menunjukkan bahwa setelah *milling* 25 jam fasa Mg_2Ni memiliki ruang yang paling besar sehingga dengan begitu diharapkan dapat memudahkan atom-atom hidrogen untuk masuk dalam jumlah yang banyak untuk berikatan membentuk paduan Mg_2NiH_4 .

Sedangkan model sistem kristal dari ketiga fasa tersebut setelah *milling* selama 20 jam, 25 jam, 30 jam dan 35 jam ini diperlihatkan seperti pada Gambar 6. Berdasarkan hasil analisis parameter kisi yang tampak pada Gambar 5 yang menyebutkan bahwa

meningkatnya volume unit sel fasa Mg_2Ni setelah *milling* 25 jam ini berasal dari semakin panjangnya parameter kisi pada sumbu c . Sehingga pada studi *system* kristal ini akan diukur jarak antar atom-atom yang posisinya terletak sejajar dengan sumbu c seperti terlihat pada Gambar 7. Jarak antar atom yang sejajar dengan sumbu c untuk fasa Mg_2Ni ditunjukkan pada Tabel 4.



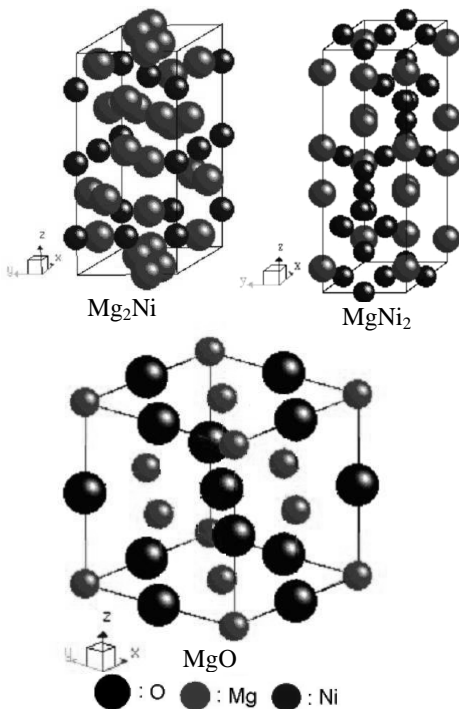
Gambar 7. Posisi jarak antar atom yang sejajar dengan sumbu c pada fasa Mg_2Ni

Tabel 4. Jarak antar atom fasa Mg_2Ni .

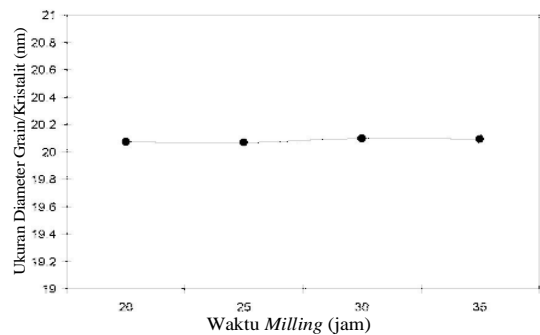
Ikatan atom	Jarak ikatan (Å)			
	Milling 20 jam	Milling 25 jam	Milling 30 jam	Milling 35 jam
Mg(1) – Mg(2)	2,7268	2,7454	2,7537	2,7462
Mg(1) – Ni(1)	2,7471	2,7363	2,7391	2,7545
Mg(1) – Ni(2)	2,7471	2,7363	2,7391	2,7545
Mg(2) – Ni(1)	2,5776	2,4828	2,5487	2,5792
Mg(2) – Ni(2)	2,3319	2,2288	2,2967	2,3283
Ni(1) – Ni(2)	2,6604	2,6540	2,6552	2,6867

Pada Tabel 4, tampak bahwa jarak antar atom baik Mg(1)-Mg(1), Mg(2)-Mg(2), Ni(1)-Ni(1), dan Mg(1)-Ni(2) yang paling panjang didapatkan setelah *milling* 25 jam. Sehingga hasil ini sangat bersesuaian dengan hasil analisis kerapatan atom, volume unit sel, dan parameter kisi.

Kemudian berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan formula *Scherer* diperoleh ukuran diameter *grain*/kristalit dari setiap waktu *milling* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 6. Model sistem kristal Mg_2Ni , MgO , dan $MgNi_2$



Gambar 8. Ukuran diameter *grain*/kristalit pada fasa Mg_2Ni

Pada Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya waktu *milling*, ukuran diameter *grain*/kristalit pada fasa Mg_2Ni hampir tidak berubah. Hal ini berarti bahwa waktu *milling* 20 jam merupakan titik jenuh pada proses pengecilan butiran. Jadi energi *impact* dari bola-bola dengan *mesh* rasio ini sudah tidak cukup lagi untuk menghancurkan paduan ini menjadi butiran yang lebih kecil.

Menurut penelitian sebelumnya bahwa ukuran *grain*/kristalit yang sangat kecil ini juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan konsentrasi difusi hidrogen pada paduan ini [11]. Semakin kecil ukuran *grain*/kristalitnya maka semakin besar luas permukaan partikel tersebut untuk dapat mengabsorpsi atom-atom hidrogen yang berarti bahwa kandungan hidrogen yang terserap ke dalam paduan tersebut akan semakin banyak.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa waktu *milling* selama 25 jam merupakan waktu yang paling baik/optimum pada hasil penelitian ini dan memenuhi kriteria untuk proses *hydriding*. Dengan kata lain bahwa paduan tersebut dapat menyerap hidrogen dalam jumlah yang banyak setelah *dimilling* selama 25 jam.

KESIMPULAN

Telah dilakukan analisis struktur kristal pada paduan Mg_2Ni hasil sintesis dengan menggunakan teknik *mechanical alloying*. Hasil *refinement* dari pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa sampel terdiri dari 3 fasa, yaitu : fasa Mg_2Ni , MgO , dan fasa $MgNi_2$. Kerapatan atom yang paling rendah dan volume unit sel yang paling tinggi pada fasa Mg_2Ni diperoleh setelah *milling* selama 25 jam. Sedangkan jarak antar atom baik $Mg(1)-Mg(1)$, $Mg(2)-Mg(2)$, $Ni(1)-Ni(1)$, dan $Mg(1)-Ni(2)$ yang paling panjang didapatkan setelah *milling* 25 jam. Dan dengan semakin bertambahnya waktu *milling*, ukuran diameter *grain*/kristalit pada fasa Mg_2Ni hampir tidak berubah, yaitu sekitar 20 nm.

Hal ini menunjukkan bahwa setelah *milling* 25 jam, fasa Mg_2Ni memiliki ruang yang paling besar sehingga dengan begitu diharapkan dapat memudahkan atom-atom hidrogen untuk masuk dalam jumlah yang banyak untuk berikatan membentuk paduan hidridanya. Dengan demikian waktu *milling* selama 25 jam merupakan waktu yang paling optimum pada hasil penelitian ini dan memenuhi kriteria untuk proses *hydriding*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Setyo Purwanto, M.Eng, selaku Kepala Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir, PTBIN – BATAN atas segala dukungannya dan kepada Dra. Mujamilah, M.Sc. yang telah membimbing dalam penulisan makalah ini. Penelitian ini didanai oleh program Insentif Ristek.

DAFTARACUAN

- [1]. B. ARNASON, T.I. SIGFUSSON, *Int. J. Hydrogen Energy*, **25** (2000) 389
- [2]. H. BUCHENER, R. POVEL, *Int. J. Hydrogen Energy*, **7** (1982) 259
- [3]. J.J. REILLY, R.H. WISWALL, *Inorg. Chem.*, **6** (1967) 2220
- [4]. M. DORNHEIM, T. KLASSEN, R. BORMANN, *Hydrogen Storage Materials*, Institute for Materials Research, GKSS Research Center, Geesthacht, Germany, Browsing from internet
- [5]. Y. FUKAI, *The Metal-Hydrogen System – Basic Bulk Properties*, Verlag, Berlin, 1993
- [6]. HUANG, K. YVON, P. FISHER, *J. Alloys Comp.*, **227** (1995) 121
- [7]. ZALUSKA, L. ZALUSKI, J.O. STROM-OLSEN, *J. Alloys Comp.*, **228**(1999)217
- [8]. G. LIANG, J. HUOT, S. BOILY, A.V. NESTE, R. SCHULTZ, *J. Alloys Comp.*, **348** (2003)319
- [9]. HADI SUWARNO, WISNU A. A., ANDON I., *International Conference Solid State Ionic Proceeding*, PTBIN, Serpong, 2007
- [10]. BEN MOUSA, M., ABDELLAOUI, M., MATHLOUTHI, H., LAMLOUMI, J., PERCHERON GUEGAN, A., *Journal of Alloys and Compounds*, **407** (2006) 256-262
- [11]. BOGDANOVIC, B., BOHMHAMMEL, K., CHRIST, B., REISER, A., SCHLECHTE, K., VEHLER, R., WOLF, U., *Journal of Alloys and Compounds*, **282** (1999) 84-92
- [12]. IZUMI, F., *Rietan Manual*, (1994) (private communication).
- [13]. T. HIRATA, et al., *J. Phys. F.*, **11**(1981)521