



PENGARUH WAKTU *MILLING* TERHADAP MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MAGNETIK KOMPOSIT $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$

Ade Mulyawan^{*}, Yunasfi, Wisnu Ari Adi

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) – BATAN
Gedung 40 Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia 15310

*E-mail: ademulyawan@batan.go.id

Masuk Tanggal : 15-01-2017, revisi tanggal : 08-11-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 08-01-2018

Intisari

Pengembangan bahan penyerap gelombang elektromagnetik dan gelombang mikro sangat penting dilakukan untuk mengatasi masalah interferensi gelombang elektromagnetik pada teknologi komunikasi dan juga dalam pengembangan bahan radar untuk kepentingan militer. Pada penelitian ini berhasil dilakukan pembuatan material penyerap gelombang elektromagnetik komposit fasa $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ dengan menggunakan Fe_2O_3 , NiO , dan Nd_2O_3 melalui reaksi padatan. Material komposit dilakukan *milling* dengan variasi waktu 10, 15, 20, dan 25 jam dan selanjutnya disinter pada suhu 1200 °C selama 3 jam. Identifikasi fasa dilakukan dengan XRD (*x-ray diffractometer*) menunjukkan bahwa komposit hanya terdiri dari fasa NiFe_2O_4 dan NdFeO_3 . Ukuran kristalit fasa NiFe_2O_4 berada pada kisaran 59-68 nm, sedangkan fasa NdFeO_3 pada kisaran 62-65 nm. Pengamatan morfologi permukaan dilakukan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*). Berdasarkan hasil karakterisasi sifat magnetik menggunakan VSM (*vibrating sample magnetometer*), diketahui bahwa parameter sifat magnetik seperti magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r), dan koersivitas (H_c) sangat bergantung pada fraksi massa, ukuran kristalit, dan homogenitas fasa yang terbentuk.

Kata Kunci: Penyerap gelombang elektromagnetik, komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$, waktu *milling*, sifat magnet

Abstract

The development of electromagnetic wave and microwave absorbing materials was important to overcome the electromagnetic wave interference in communication technology and in the development of radar materials for military purposes. In this study the composite which contained two different phases of $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ has successfully synthesized using Fe_2O_3 , NiO , and Nd_2O_3 as starting materials through solid state reaction method. The composites were made by varying milling times from 10, 15, 20, and 25 hours then followed by sintering process at 1200 °C for 3 hours. Phase identification was performed using XRD (*x-ray diffractometer*) which revealed only NiFe_2O_4 and NdFeO_3 phases. The crystallite size of the NiFe_2O_4 phase is in the range of 59-68 nm, and NdFeO_3 in the range of 62-65 nm. The agglomeration of particles was observed by using SEM (*scanning electron microscope*). Referring to the characterization result of the magnetic properties by using VSM (*vibrating sample magnetometer*), it is known that the parameters of the magnetic properties such as magnetization saturation (M_s), magnetization remanence (M_r), and coercivity (H_c) are highly dependent on the mass fraction, crystallite size, and the homogeneity of the phase composition.

Keywords: Electromagnetic wave absorbing, $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ composite, milling time, magnetic properties

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan gelombang elektro-magnetik pada rentang frekuensi berorde gigahertz (GHz) saat ini sudah umum digunakan seiring dengan pengembangan sistem radar dan teknologi telekomunikasi dan informasi yang tengah berkembang pesat. Namun masalah seperti

interferensi gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan beberapa kerusakan yang berujung pada kegagalan sistem dan kerusakan teknologi tersebut [1]. Hal ini menjadikan penelitian dan pengembangan bahan penyerap gelombang elektromagnetik yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan untuk menurunkan tingkat

interferensi gelombang elektromagnetik menjadi sangat penting dan menarik untuk dilakukan.

Material magnetik ferit berstruktur kristal kubik dengan formula umum MFe_2O_4 ($M = Ni, Co, Mn, Zn, Mg, Fe, dsb$) merupakan kandidat bahan magnetik yang tepat untuk pemanfaatan bahan absorber dikarenakan fleksibilitas pemanfaatan dan performa elektromagnetik yang tinggi pada rentang frekuensi yang luas [2]. Di antara grup ferit berstruktur kristal AFe_2O_4 ini, Nikel ferit ($NiFe_2O_4$) merupakan salah satu yang sangat menarik untuk dikembangkan dikarenakan memiliki struktur magnetik yang unik, kestabilan fasa yang baik, dan nilai magnetisasi saturasi yang tinggi [3]. Untuk meningkatkan karakteristik bahan penyerap gelombang elektromagnetik, pada penelitian ini dilakukan proses sintesa bahan komposit dengan dua fasa penyusun yang berbeda yakni $NiFe_2O_4$ dan logam tanah jarang berbasis *perovskite* $NdFeO_3$. $NdFeO_3$ diketahui mempunyai karakteristik *spin* yang terorientasi bergantung terhadap suhu yang menjadikan material ini memiliki sifat yang unik seperti nilai permitivitas dan koefisien dielektrik yang tinggi bahkan pada beberapa penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan mengungkapkan bahwa $NdFeO_3$ memiliki sifat fero elektrik pada suhu ruang [4]-[6].

Sintesa komposit dengan material penyusun $NiFe_2O_4$ - $NdFeO_3$ diharapkan akan terbentuk komposit yang memiliki sifat berbeda dibandingkan ketika material penyusun tersebut berdiri sendiri. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Gaikwad, dkk. [7] menjelaskan bahwa komposit bahan magnetik kubik ferit ketika dikompositkan dengan logam tanah jarang akan sangat menjanjikan untuk dimanfaatkan sebagai bahan *multiferroic*, yakni material yang memiliki sifat magnetik dan dielektrik yang dapat berpasangan dengan kuat. Sehingga material yang dibuat selain bermanfaat sebagai bahan penyerap gelombang elektromagnetik juga dapat dimanfaatkan sebagai material *multiferroic*. Kombinasi bahan magnetik ferit kubik dengan tipe *perovskite* seperti $BiFeO_3$, $BaTiO_3$, dan $LaFeO_3$ sudah lebih dahulu dikembangkan namun untuk tipe $NdFeO_3$ sejauh penelusuran yang dilakukan oleh penulis, masih belum dilakukan [8].

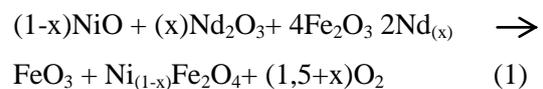
Sintesis bahan magnetik berbasis $NiFe_2O_4$ telah banyak dilakukan dengan berbagai metode baik secara fisika maupun secara kimia [9]. Pada penelitian sebelumnya, Yunasfi, dkk. [10] telah berhasil mensintesis $NiFe_2O_4$ fasa tunggal dengan teknik *milling* selama 10 jam dan

Mashadi, dkk. [11] juga telah berhasil mensintesis $NiFe_2O_4$ fasa tunggal dengan metode sol-gel. Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit $NiFe_2O_4$ - $NdFeO_3$ menggunakan teknik *milling* dengan variasi waktu 10, 15, 20, dan 25 jam yang diharapkan dapat menghasilkan komposit $NiFe_2O_4$ - $NdFeO_3$ yang bersifat sebagai bahan absorber gelombang elektromagnetik. Adapun penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh waktu *milling* terhadap sifat magnetik komposit tersebut.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan magnetik nikel ferit disubstitusi neodimium dilakukan dengan metode reaksi padatan. Bahan oksida logam yang digunakan sebagai penyusun utama sampel komposit ($NiFe_2O_4$ - $NdFeO_3$) dalam penelitian ini adalah oksida besi (Fe_2O_3), oksida nikel (NiO), dan oksida neodimium (Nd_2O_3) masing-masing dalam bentuk serbuk dengan kemurnian $\geq 99,9\%$ dan ukuran serbuk $< 10 \mu m$ produksi Sigma Aldrich.

Serbuk Fe_2O_3 , NiO , dan Nd_2O_3 masing-masing ditimbang sesuai stoikiometri yang telah dibuat dengan total massa 10 gram (lihat persamaan 1).



Masing-masing komposisi kemudian dimasukkan ke dalam vial baja tahan karat dan ditambahkan bola baja dengan perbandingan massa sampel terhadap massa bola baja sebesar 1:5. Perbandingan ini digunakan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Yunasfi dkk. [10] dimana dapat menghasilkan paduan yang homogen. Selanjutnya, dilakukan proses *milling* dengan variasi waktu 10, 15, 20, dan 25 jam. Setelah proses *milling*, masing-masing komposisi dipanaskan pada suhu $1200^\circ C$ selama 3 jam untuk kemudian digerus hingga halus.

Proses identifikasi fasa tiap komposisi dilakukan menggunakan XRD (*x-ray diffractometer*) tipe Panalytical Phillips dengan rentang sudut 10° hingga 80° . Sedangkan untuk mengetahui ukuran kristalit dilakukan menggunakan persamaan Debye-Scherrer [12]

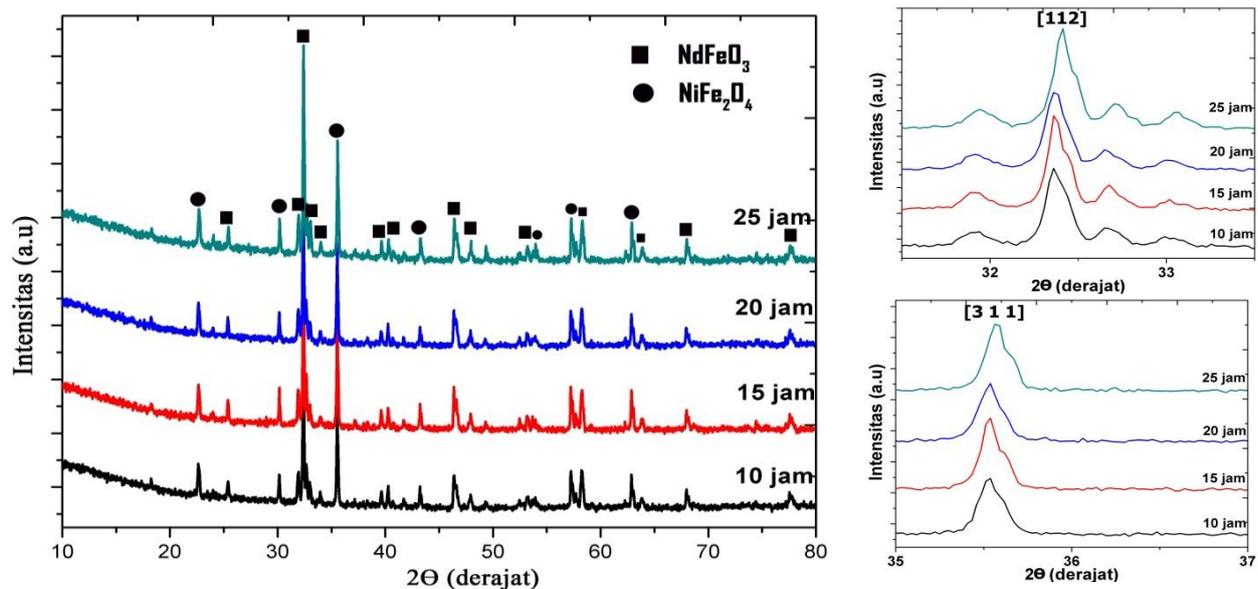
$$d = \frac{B\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (2)$$

dimana d merupakan nilai ukuran kristalit dari fasa yang diamati, B merupakan konstanta Scherrer sebesar 0,94; λ merupakan panjang gelombang dari sinar-x yang digunakan, dan β

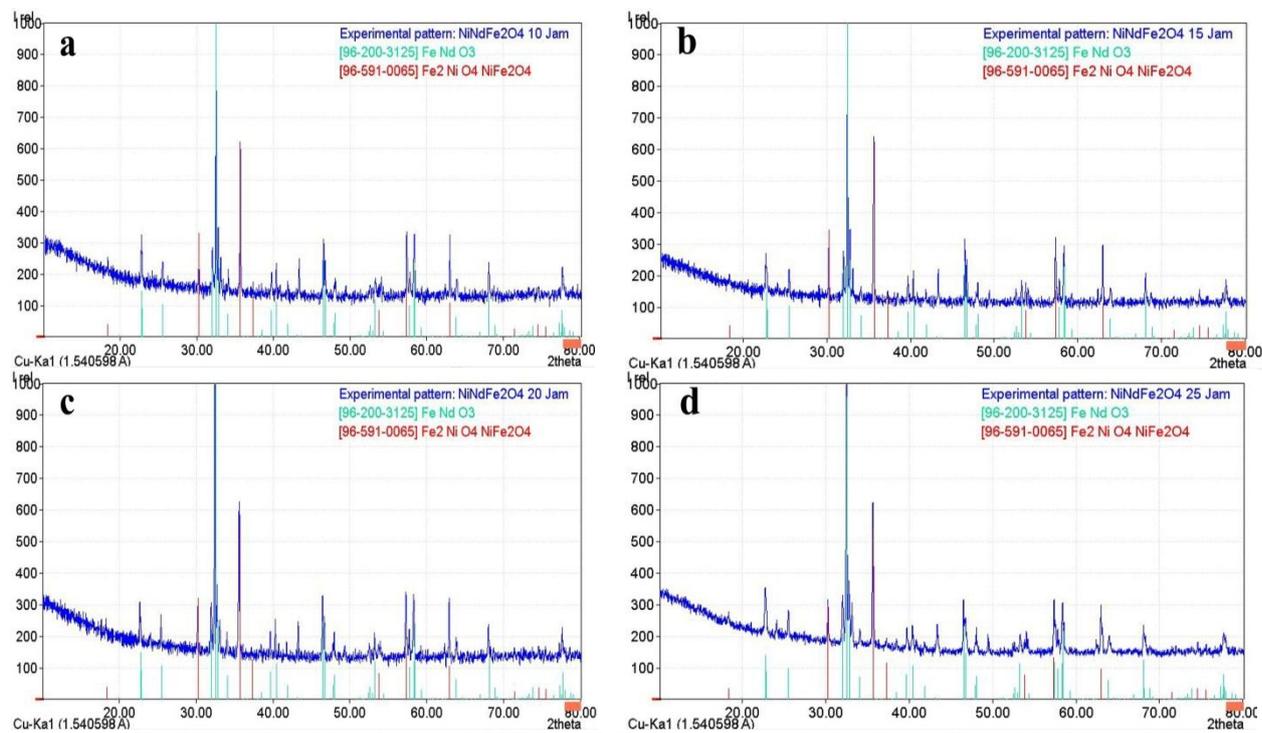
merupakan nilai FWHM (*full width at half maximum*) yang didapatkan menggunakan perangkat lunak Origin Pro 8 dengan fitur *Gaussian fitting analysis*, sedangkan θ merupakan sudut difraksi Bragg. Pengamatan morfologi permukaan dilakukan dengan SEM (*scanning electron microscopy*) merk JEOL JSM-6510 LA, dan pengukuran sifat magnetic dilakukan dengan VSM (*vibrating sample magnetometer*) merk Oxford dengan magnetisasi 1 Tesla.

3. HASIL DAN DISKUSI

Pada Gambar 1 ditampilkan hasil pola difraksi dari komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ dengan variasi proses *milling* masing-masing mulai dari 10, 15, 20 dan 25 jam. Pola difraksi yang dihasilkan beserta data intensitas relatifnya disesuaikan dengan pola difraksi material tertentu dengan posisi puncak dan intensitas yang paling sesuai menggunakan perangkat lunak Match edisi ke-3.



Gambar 1. Pola difraksi sinar-x untuk komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ dengan variasi waktu *milling* 10, 15, 20, dan 25 jam (●: fasa NiFe_2O_4 ; ■: fasa NdFeO_3)



Gambar 2. Hasil identifikasi fasa komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ dengan variasi waktu *milling*: (a) 10 jam, (b) 15 jam, (c) 20 jam, dan (d) 25 jam

Tabel 1. Parameter ukuran kristalit fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃ pada komposit dengan variasi waktu *milling*: (a) 10 jam, (b) 15 jam, (c) 20 jam, dan (d) 25 jam

Waktu <i>milling</i>	Fasa	2θ (°)	θ (°)	cos θ (rad)	β (*10 ⁻² rad)	Ukuran kristalit (nm)
10 jam	NiFe ₂ O ₄	35,539	17,769	0,952	0,244	59,580
	NdFeO ₃	32,380	16,190	0,960	0,229	62,830
15 jam	NiFe ₂ O ₄	35,542	17,771	0,952	0,211	68,990
	NdFeO ₃	32,383	16,191	0,960	0,210	68,650
20 jam	NiFe ₂ O ₄	35,535	17,768	0,952	0,235	61,840
	NdFeO ₃	32,375	16,187	0,960	0,221	65,490
25 jam	NiFe ₂ O ₄	35,577	17,789	0,952	0,233	62,520
	NdFeO ₃	32,418	16,209	0,960	0,219	65,810

Berdasarkan identifikasi fasa yang telah dilakukan (lihat Gambar 2), diketahui bahwa seluruh puncak utama yang terbentuk memiliki posisi sudut difraksi dan intensitas yang sesuai dengan fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃. Merujuk pada pola difraksi yang terbentuk diketahui bahwa, seiring dengan penambahan waktu *milling* tidak terbentuk fasa lain selain fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃. Kondisi ini yang diharapkan karena masing-masing fasa berhasil terbentuk secara terpisah sebagai komposit sesuai dengan stoikiometri yang terdapat pada persamaan 1. Berdasarkan hasil ini diketahui bahwa pada waktu *milling* 10 jam sudah terbentuk komposit fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃. Fasa NiFe₂O₄ dibandingkan dengan data referensi dari COD (*crystallography open database*) dengan nomor 96-591-0065 sedangkan fasa NdFeO₃ dibandingkan dengan data referensi nomor 96-200-3125.

Berdasarkan analisa fasa yang terbentuk pada seluruh komposit diketahui bahwa fasa NdFeO₃ memiliki intensitas relatif tertinggi pada posisi sudut $2\theta = 32,38 \pm 0,01^\circ$ dengan bidang kristalografi [112] sedangkan untuk fasa NiFe₂O₄ memiliki intensitas relatif tertinggi pada posisi $2\theta = 35,60 \pm 0,01^\circ$ yang bersesuaian dengan bidang kristalografi [311]. Karakteristik khusus yang dimiliki oleh material ferit dengan sistem kristal kubik dengan grup ruang Fd3m (227) [13]. Kedua puncak utama untuk fasa NdFeO₃ dan NiFe₂O₄ akan digunakan untuk menentukan ukuran kristalit masing-masing komposit dengan berbagai variasi waktu *milling* menggunakan persamaan 1.

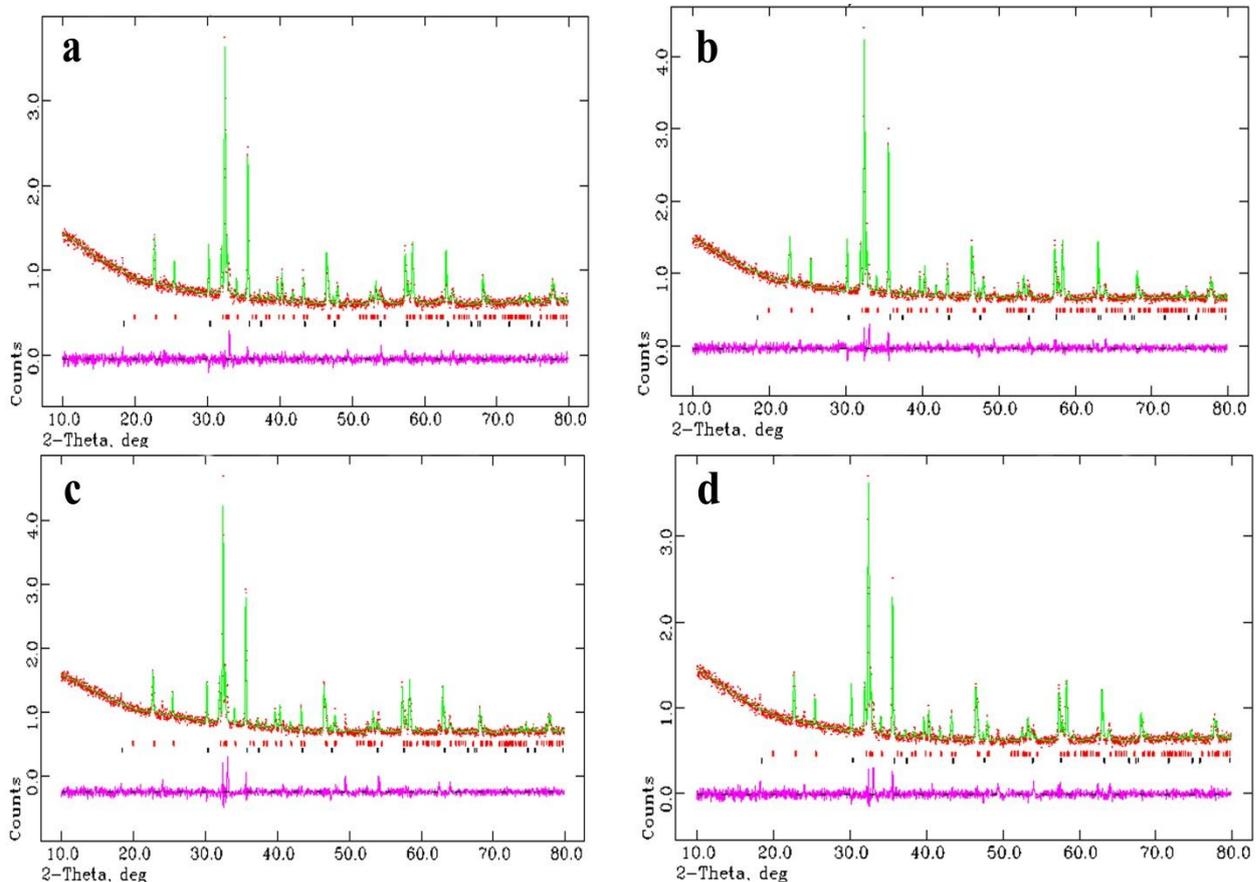
Pada Tabel 1 ditampilkan hasil ukuran kristalit dari fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃ yang terbentuk. Berdasarkan hasil ini dapat diketahui bahwa komposit dengan waktu *milling* 15 jam memiliki ukuran kristalit lebih besar untuk fasa NiFe₂O₄ maupun fasa NdFeO₃ jika dibandingkan dengan variasi waktu *milling*

lainnya, hal ini menandakan bahwa pembentukan fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃ lebih baik dibandingkan material komposit lainnya. Ukuran kristalit pada kedua fasa pada variasi waktu *milling* 15 jam juga memiliki ukuran kristalit yang seragam yakni berada pada rentang 68-69 nm. Hazra, dkk. [1] menuturkan bahwa hal tersebut dapat terjadi dikarenakan homogenitas pada material komposit dengan waktu *milling* 15 jam telah tercapai dengan baik. Nilai ukuran kristalit komposisi selain 15 jam mempunyai ukuran yang lebih kecil, menurut penelitian yang dilakukan oleh Nabiyouni, dkk. [14]. Hal ini disebabkan oleh tingkat homogenitas fasa penyusun yang lebih rendah dan dapat pula disebabkan oleh tidak meratanya sebaran distribusi kation pada saat pembentukan fasa. Bagaimanapun, nilai kristalit komposit yang dihasilkan pada seluruh material komposit jika dibandingkan dengan ukuran kristalit fasa NiFe₂O₄ dan NdFeO₃ yang dibuat secara terpisah memiliki nilai yang lebih besar, yakni sekitar 31 nm untuk fasa NiFe₂O₄ [15] dan 36,5 nm untuk fasa NdFeO₃ [16]. Ini dikarenakan difusi antar butir pada masing-masing fasa saat proses *milling* sehingga menyebabkan batas butir mengembang dan membuat nilai kristalit menjadi lebih besar dibandingkan fasa utama yang dibuat secara mandiri [17].

Pada Tabel 2 dan Gambar 3 ditampilkan hasil proses *refinement* untuk seluruh komposit NiFe₂O₄-NdFeO₃ menggunakan GSAS (*general structure analysis system*). Berdasarkan proses *refinement* ini diperoleh nilai *criteria of fit* (faktor R) dan *goodness of fit* (faktor χ^2) pada rentang kurang dari 2 dengan selisih faktor R (ωR_p dan R_p) kurang dari 2%. Ini mengindikasikan bahwa kualitas *fitting* yang baik dan sesuai dengan dugaan fasa yang terbentuk. Berdasarkan hasil ini diketahui bahwa parameter kisi fasa NiFe₂O₄ hasil sintesa

memiliki nilai yang sama dengan rujukan COD yakni $a = b = c = 8,34 \pm 0,1$ Å. Nilai ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh Kavas [9] yang menghasilkan parameter kisi $a = b = c = 8,34 \pm 0,02$ Å. Pada fasa NdFeO_3 diperoleh parameter kisi sesuai rujukan COD yakni $a = 5,57 \pm 0,01$ Å; $b = 7,76 \pm 0,01$ Å; dan $c = 5,45 \pm 0,01$ Å. Berdasarkan hasil *refinement* ini ternyata diperoleh kesesuaian antara perbandingan fraksi massa (Tabel 2) dengan keseragaman ukuran kristalit dari fasa NiFe_2O_4 dan NdFeO_3 yang terbentuk (Tabel 1), dimana pada material komposit dengan waktu *milling* 15 jam dengan ukuran kristalit yang seragam ternyata memiliki perbandingan fraksi massa fasa penyusun hampir sama besar yakni 48,30% untuk fasa NiFe_2O_4 dan 51,70% untuk fasa NdFeO_3 . Hasil ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh

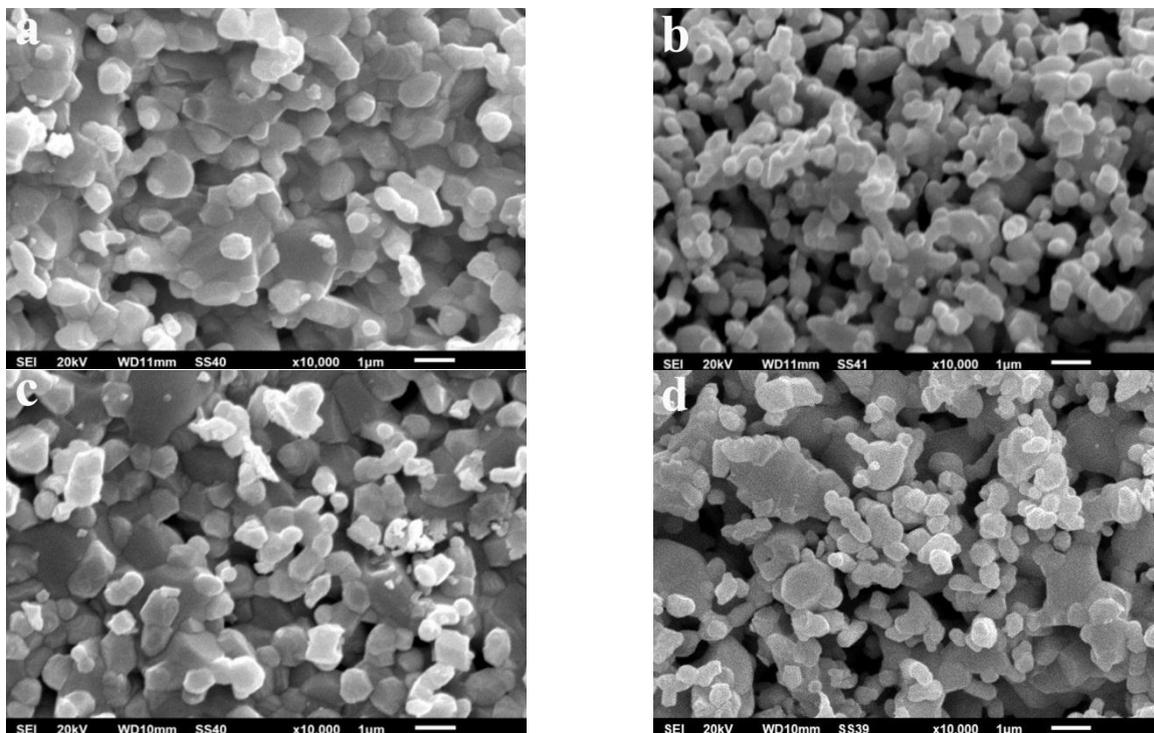
Hazra dan Wisnu Ari Adi [1,18]. Berdasarkan gambar mikrostruktur permukaan komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ (Gambar 3), terdapat kesesuaian antara hasil mikrostruktur permukaan dengan hasil fraksi massa dan ukuran kristalit dari masing masing fasa penyusun (Tabel 1 dan 2). Pada Gambar 4 diketahui bahwa komposit dengan variasi waktu *milling* 15 jam memiliki ukuran butiran yang seragam dengan tingkat keterbentukan aglomerasi yang jauh lebih rendah dibandingkan seluruh komposit yang lain, sedangkan untuk material komposit dengan variasi waktu 10, 20, dan 25 jam diketahui bahwa seiring dengan semakin besar nilai perbedaan fraksi massa dan ukuran kristalit dari masing-masing fasa penyusun menyebabkan terbentuknya aglomerasi pada permukaan komposit.



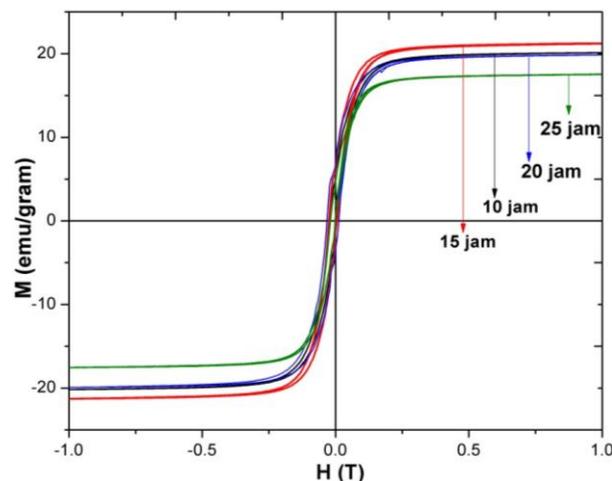
Gambar 3. Hasil proses *refinement* untuk material komposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4\text{-NdFeO}_3$ dengan variasi waktu *milling*: (a) 10 jam, (b) 15 jam, (c) 20 jam, dan (d) 25 jam

Tabel 2. Parameter kisi dari masing-masing komposit untuk variasi waktu *milling*, faktor R dan chi-kuadrat sebagai penentu kualitas *fitting* hasil pola difraksi sinar-x

Variasi Waktu <i>Milling</i>	Parameter kisi					Fraksi massa (%)	Faktor R		χ^2 (chi-kuadrat)
	Fasa	a(Å)	b(Å)	c(Å)	$\alpha=\beta=\gamma$		ω Rp(%)	Rp(%)	
10 jam	NiFe ₂ O ₄	8,326	8,326	8,326	90	46,90	4,37	3,30	1,520
	NdFeO ₃	5,572	7,753	5,446	90	53,10			
15 jam	NiFe ₂ O ₄	8,327	8,327	8,327	90	48,30	4,25	3,29	1,525
	NdFeO ₃	5,573	7,753	5,446	90	51,70			
20 jam	NiFe ₂ O ₄	8,326	8,326	8,326	90	46,20	4,42	3,28	1,557
	NdFeO ₃	5,573	7,754	5,447	90	53,80			
25 jam	NiFe ₂ O ₄	8,325	8,325	8,325	90	46,00	4,67	3,29	1,991
	NdFeO ₃	5,574	7,752	5,445	90	54,00			



Gambar 4. Mikrostruktur permukaan hasil SEM dari material komposit NiFe₂O₄-NdFeO₃ dengan variasi *milling*: (a) 10 jam, (b) 15 jam, (c) 20 jam, dan (d) 25 jam



Gambar 5. Kurva magnetisasi untuk komposit NiFe₂O₄-NdFeO₃ dengan variasi waktu *milling* 10, 15, 20, dan 25 jam

Tabel 3. Ukuran kristalit, fraksi massa, magnetisasi saturasi (Ms), magnetisasi remanensi (Mr), dan koersivitas (Hc)

Komposit dengan variasi waktu <i>milling</i>	Ms (emu/gram)	Mr (emu/gram)	Hc (Oe)
10 jam	20,10	5,25	148,50
15 jam	21,20	5,70	164,00
20 jam	19,90	5,05	148,00
25 jam	17,50	4,76	150,50

Pada Gambar 5 ditunjukkan kurva magnetisasi M-H yang menunjukkan sifat magnetik lunak (*soft magnetic*) dari seluruh komposisi yang dibuat, yang ditandai dengan nilai koersivitas (Hc) kurang dari 200 Oe, sedangkan untuk bahan dengan sifat magnetik keras (*hard magnetic*) mempunyai nilai koersivitas lebih besar dari 100 Oe [18]. Pada penelitian ini diketahui bahwa besarnya pembentukan aglomerasi serta lama waktu *milling* dapat mempengaruhi sifat magnetik komposit tersebut. Pada material komposit dengan waktu *milling* 15 jam yang memiliki sebaran ukuran fasa NiFe_2O_4 - NdFeO_3 seragam dengan tingkat aglomerasi rendah dan koersivitas paling tinggi juga disebabkan oleh ukuran kristalit yang besar. Jika dibandingkan dengan material komposit yang lain, hasil ini juga sesuai dengan apa yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Chen dan Nejadi [11] yang menyatakan bahwa meningkatnya ukuran kristalit dapat meningkatkan tingkat saturasi magnetisasi dan remanensi yang tinggi pada fasa NiFe_2O_4 sehingga dapat saling berinteraksi menimbulkan efek *spin canting* dan meningkatkan interaksi pertukaran antara ion Ni^{2+} dan Fe^{3+} yang terdapat pada bagian tetrahedral dan oktahedral fasa tersebut. Hal ini menyebabkan nilai saturasi magnetisasi tertinggi terdapat pada material dengan waktu *milling* 15 jam sebesar 21,20 emu/gram (Tabel 3). Hal serupa juga terjadi terhadap nilai koersivitas material komposit, namun pada penelitian kali ini diketahui bahwa NdFeO_3 memiliki peranan utama dalam menentukan besarnya nilai koersivitas masing-masing material komposit. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Thankachan [19] mengungkapkan bahwa fasa logam tanah jarang dapat meningkatkan nilai koersivitas. Walaupun fraksi massa NdFeO_3 pada material komposit dengan variasi waktu *milling* 15 jam lebih kecil dibandingkan material komposit yang lain, dikarenakan ukuran butiran yang seragam mengakibatkan

interaksi magnetik antara komponen penyusun seperti Nd-Nd, Nd-Fe, Fe-Fe and Fe-O-Fe dapat terjalin [19]. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Issa [20] yang mengungkapkan bahwa terbentuknya aglomerasi partikel memiliki dampak langsung terhadap momen magnetik komposit yang terbentuk. Faktor penting lain yang menyebabkan material komposit dengan variasi waktu *milling* 15 jam memiliki nilai saturasi magnetisasi, remanensi, dan magnetisasi saturasi dan remanensinya [3],[9]. Hasil pengamatan dan karakterisasi terhadap seluruh material komposit dengan variasi waktu *milling* antara 10, 15, 20, 25 jam pada material komposit NiFe_2O_4 - NdFeO_3 sebagai kandidat bahan penyerap gelombang elektromagnetik dan gelombang mikro menunjukkan bahwa waktu terbaik untuk proses *milling* adalah selama 15 jam.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa sintesa komposit dengan masing-masing fasa NiFe_2O_4 dan NdFeO_3 terpisah dan membentuk suatu komposit telah berhasil dilakukan. Seiring dengan penambahan waktu *milling* tidak terjadi penambahan fasa selain fasa komposit yang ingin dibentuk dengan merujuk pada data COD dan proses *refinement*. Terdapat hubungan yang berkesinambungan antara fraksi masa, ukuran kristalit, dan faktor terbentuknya aglomerasi dari fasa NiFe_2O_4 dan NdFeO_3 terhadap sifat magnetik material komposit. Pada penelitian ini dihasilkan waktu terbaik proses *milling* selama 15 jam merujuk pada parameter sifat magnetik dan analisa struktur kristal, sehingga dapat dijadikan kandidat yang tepat untuk dikembangkan sebagai bahan RAM (*radar absorber materials*).

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Drs.Gunawan, M.Sc selaku Kepala Pusat Sains dan Teknologi

Bahan Maju (PSTBM)-BATAN dan kepada Dr. Abu Khalid Rivai selaku Kepala BSBM yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan kegiatan penelitian ini yang didanai dari DIPA PSTBM kegiatan litbang smart magnetik tahun 2015-2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hazra, M. K. Fatra, dan B. K. Ghosh, "A novel 'one-pot' synthetic method for preparation of $(\text{Ni}_{0.65}\text{Zn}_{0.35}\text{Fe}_2\text{O}_4)_x(\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19})_1$ nanocomposites and study of their microwave absorption and magnetic properties," *Powder Technology*, vol. 279, pp.1017, 2015.
- [2] W. Zhu, L. Wang, R. Zhao, J. Ren, G. Lu, dan Y. Wang, "Electromagnetic and microwave-absorbing properties of magnetic nickel ferrite nanocrystals," *Nanoscale*, vol. 3, pp. 2862-64, 2011.
- [3] Nejati, Kamellia, dan R. Zabihi, "Preparation and magnetic properties of nano size nickel ferrite particles using hydrothermal method," *Chemistry Central Journal*, vol. 6, pp. 1-6, 2012.
- [4] G. Song, B. Kang, J. Jiang, dan S. Cao, "Spin reorientation transition process in single crystal NdFeO_3 ," *Solid State Communications*, vol. 211, pp. 47-51, 2016.
- [5] S. J. Yuan, W. Ren, F. Hong, Y. B. Wang, J. C. Zhang, L. Bellaiche, S. X. Cao, dan G. Cao, "Spin switching and magnetization reversal in single-crystal NdFeO_3 ," *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics*, vol. 87, pp.1-6, 2013.
- [6] A. Manaf, dan W. A. Adi, "Analisis struktur single phase sistem $\text{Ba}_{1-x}\text{LaxMnO}_3$ ($0 < X < 0,3$)," *Indonesian Journal of Material Science*, vol. 14, pp. 136-41, 2013.
- [7] R. Mukherjee, G. Lawes, dan B. Nadgorny, "Enhancement of dielectric constant in $\text{LaFeO}_3\text{-NiFe}_2\text{O}_4$ composites," *Proceedings of the 14th Asian Conference on Solid State Ionics*, 2014, pp.187-196.
- [8] B. Bajac, J. Vukmirović, I. Tokić, S. Ognjanović, dan V. V. Srdić, "Synthesis and characterization of multilayered $\text{BaTiO}_3/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ thin films," *Processing and Application of Ceramics*, vol. 7, pp. 15–20, 2013.
- [9] H. Kavas, N. Kasapoğlu, A. Baykal, dan Y. Köseoğlu, "Characterization of NiFe_2O_4 nanoparticles synthesized by various methods," *Chemical Papers*, vol. 63, pp. 450-55, 2009.
- [10] Yunasfi, W. A. Adi, Mashadi, dan P. A. Rahmy, "Magnetic and microwave absorption properties of nickel ferrite ($\text{Ni}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$) by HEM technique," *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 13, no. 3, pp. 203-206, 2017.
- [11] Mashadi, Yunasfi, dan W. A. Adi, "Analisis struktur kristal dan gugus fungsi NiFe_2O_4 hasil sintesis dengan metoda sol gel," *Indonesian Journal of Material Science*, vol. 17, no. 3, pp.131-135, 2016.
- [12] N. Chen dan M. Gu, "Microstructure and microwave absorption properties of Y-substituted Ni-Zn Ferrite," *Open Journal of Metal*, vol. 2, pp. 37-41, 2012.
- [13] M. Kurian, S. Thankachan, D. S. Nair, E. K. Aswathy, A. Babu, A. Thomas, dan K. T. B. Krishna, "Structural, magnetic, and acidic properties of cobalt ferrite nanoparticles synthesised by wet chemical methods," *Journal of Advanced Ceramics*, vol. 4, pp.199-205, 2015.
- [14] G. Nabiyouni, M. J. Fesharaki, M. Mozafari dan J. Amighian, "Characterization and magnetic properties of nickel ferrite nanoparticles prepared by ball milling technique," *Chin. Phys. Lett.*, vol. 27, no. 12, pp. 126401(1-4), 2010.
- [15] P. V. Serna, C. G. Campos, F. S. De Jesús, A. M. B. Miró, J. A. J. Lorán, dan J. Longwell, "Mechanosynthesis, crystal structure and magnetic characterization of neodymium orthoferrite," *Materials Research*, vol. 19, pp. 389-393, 2016.
- [16] M. G. Naseri, E. B. Saion, dan A. H. Shaari, "Role of PVP on the phase composition and morphology of manganese ferrite nanoparticles prepared by thermal treatment method," *International Nano Letters*, vol. 48, pp. 169-73, 2012.
- [17] W. A. Adi, "Mekanisme pembentukan fasa Mg_2Ni dengan metode mechanical alloying," *Indonesian Journal of Material Science*, vol. 1, pp. 60-65, 2008.
- [18] S. Thankachan, M. Kurian, D. S. Nair, S. Xavier, dan E. M. Mohammed, "Effect of rare earth doping on structural, magnetic, electrical properties of magnesium ferrite and its catalytic activity," *International*

- Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, vol. 3, no. 4, pp. 529-537, 2014.
- [19] P. R. Babu dan R. Babu, "Starch assisted sol gel syntheses and characterization of NdFeO₃." *International Journal of ChemTech Research*, vol. 9, no. 4, pp. 364-373, 2016.
- [20] B. Issa, I. M. Obaidat, B. A. Albiss, dan Y. Haik, "Magnetic nanoparticles: Surface effects and properties related to biomedicine applications," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 14, no. 11, pp. 21266–305, 2013.