

Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe₂O₄) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya

Mufflihatun¹, Siti Shofiah¹ dan Edi Suharyadi^{1*}

¹Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi (Fismatel), Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*corresponding author: esuharyadi@ugm.ac.id

Abstrak – Nanopartikel Nikel Ferit (NiFe₂O₄) telah disintesis dengan metode kopresipitasi dengan memvariasi konsentrasi NaOH dan suhu sintesis. Struktur kristal, ukuran partikel, dan morfologi dari sampel dianalisa menggunakan X-ray diffraction (XRD) dan transmission electron microscopy (TEM). Ukuran butir pada konsentrasi NaOH 3, 5, dan 10 M masing-masing adalah 5,7; 4,3; dan 4,2 nm, sedangkan pada suhu 60, 80, dan 150°C berturut-turut adalah 4,2; 4,9; dan 5,5 nm. Analisa fourier transform infrared (FTIR) menunjukkan dua puncak serapan pada rentang ~400-600 cm⁻¹ yang terkait dengan site oktahedral dan tetrahedral pada struktur NiFe₂O₄. Sifat magnetik NiFe₂O₄ hasil analisa vibrating sample magnetometer (VSM) menunjukkan bahwa sampel berperilaku ferromagnetik dengan nilai koersivitasnya pada rentang 42-47 Oe. Sampel dengan variasi konsentrasi NaOH, koersivitasnya cenderung menurun dengan menurunnya ukuran partikel. Sementara sampel dengan variasi suhu, semakin kecil ukuran partikel, koersivitasnya cenderung meningkat. Pada 15 kOe, nilai magnetisasi terbesar (6,17 emu/g) diperoleh pada sampel dengan rasio fasa α -Fe₂O₃ paling rendah.

Kata kunci: nanopartikel, Nikel Ferit (NiFe₂O₄), kopresipitasi

Abstract – Nickel ferrite (NiFe₂O₄) nanoparticles have been synthesized by co-precipitation method by varying concentration of NaOH and temperature of the synthesis. Crystal structure, grain size, and morphology of NiFe₂O₄ nanoparticles were determined by X-ray diffraction (XRD) and transmission electron microscopy (TEM). The grain sizes with concentration of NaOH 3, 5, and 10 M are 5.7; 4.3; and 4.2 nm, respectively, meanwhile for the temperature variations 60, 80, and 150 °C are 4.2; 4.9; and 5.5 nm, respectively. Fourier transform infrared (FTIR) analysis showed two absorption bands in the range of ~400-600 cm⁻¹ related to octahedral and tetrahedral sites. The magnetic measurement using vibrating sample magnetometer (VSM) showed that the sample exhibited a ferromagnetic behavior with its coercivity in the range of 42-47 Oe. Samples with various concentration of NaOH showed that coercivity was decrease with the decrease of grain size. On the other hand, samples with various synthesis temperatures showed that coercivity was increase with the decrease of grain size. At 15 kOe, sample with the lowest phase ratio of α -Fe₂O₃ has the highest magnetization (6.17 emu/g).

Key words: nanoparticle, Nickel ferrite (NiFe₂O₄), co-precipitation

I. PENDAHULUAN

Sintesis dan karakterisasi nanomaterial dalam beberapa tahun terakhir merupakan salah satu objek penelitian yang sangat menarik dan telah banyak menjadi fokus penelitian baik untuk kepentingan ilmiah maupun teknologi, salah satunya adalah nanopartikel spinel ferit. Nanopartikel spinel ferit memiliki rumus struktur MFe₂O₄ (M adalah ion logam divalen, seperti Ni, Co, Cu, Mn, Mg, Zn, Fe) dengan struktur kristal kubik spinel [1]. Nanopartikel spinel ferit memiliki sifat-sifat unggul seperti resistivitas listrik yang tinggi, permeabilitas yang tinggi dan rugi-rugi eddy current yang dapat diabaikan dengan adanya perambatan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi membuat material ini sangat potensial untuk diaplikasikan dalam teknologi penyimpanan data, peralatan gelombang mikro, alat-alat telekomunikasi, sistem penghantaran obat (*drug delivery system*), teknologi ferrofluid dan sensor gas [2].

Salah satu nanopartikel magnetik spinel ferit yang banyak dikembangkan saat ini adalah nanopartikel *nickel ferrite* (NiFe₂O₄). Nanopartikel ini memiliki struktur *spinel inverse*, yaitu semua ion Ni²⁺ berada di *site* oktahedral dan ion Fe³⁺ terdistribusi merata di *site*

tetrahedral dan oktahedral. Nanopartikel NiFe₂O₄ menunjukkan sifat ferrimagnetik yang berasal dari pasangan momen magnet *anti-paralel* antara momen magnet ion Fe³⁺ pada *site* tetrahedral dengan momen magnet ion Ni²⁺ dan ion Fe³⁺ pada *site* oktahedral [3]. Nanopartikel NiFe₂O₄ menunjukkan perilaku superparamagnetik pada suhu kamar, yang mana sifat ini sangat penting untuk aplikasi terutama dalam bidang medis [4]. Nanopartikel NiFe₂O₄ merupakan material *soft* magnetik dengan koersivitas dan magnetisasi saturasi yang rendah tetapi memiliki resistivitas listrik yang tinggi sehingga membuat material ini sangat cocok untuk aplikasi bidang magnetik dan magneto-optik. Nanopartikel NiFe₂O₄ menampilkan kurva histeresis yang sempit dan karenanya, material ini dapat dianggap sebagai bahan inti yang baik untuk transformator daya dan aplikasi pada bidang telekomunikasi. Selain itu, material ini juga dapat digunakan pada teknologi sensor gas dan kelembaban, serta sebagai bahan katalis [2].

Sifat-sifat unik yang dimiliki oleh nanopartikel magnetik bergantung pada komposisi kimia serta karakteristik mikrostrukturnya, dimana karakteristik mikrostruktur seperti bentuk maupun ukuran partikel

dapat dikontrol melalui proses fabrikasi yang digunakan [5]. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk mensintesis nanopartikel NiFe₂O₄ seperti *combustion method* [1], metode kopresipitasi [6], *sol-gel auto-combustion method* dan metode hidrotermal [7]. Diantara metode-metode tersebut, metode kopresipitasi merupakan metode yang menjanjikan karena prosedurnya yang relatif sederhana dan menghasilkan distribusi ukuran butir yang relatif sempit. Selain itu, metode ini juga dapat dilakukan pada kondisi lingkungan normal [8]. Dengan menggunakan metode ini, struktur kristal dan sifat magnetik dari sampel yang disintesis dapat dioptimalkan dengan mengontrol parameter-parameter sintesis seperti suhu, bahan pelarut, pH larutan, kecepatan pengadukan, lama pengadukan, konsentrasi garam logam, konsentrasi kopresipitan dan konsentrasi surfaktan [9,10].

Dalam penelitian ini, nanopartikel magnetik *nickel ferrite* (NiFe₂O₄) akan disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan melakukan kajian yang lebih rinci mengenai pengaruh perubahan parameter sintesis (suhu sintesis dan konsentrasi kopresipitan) terhadap struktur kristal dan sifat kemagnetannya. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi mengenai upaya pengontrolan ukuran, bentuk, kemurnian, maupun stabilitas magnetiknya untuk mendapatkan sifat nanopartikel NiFe₂O₄ yang efektif untuk kepentingan pengaplikasiannya.

II. METODE PENELITIAN

Nanopartikel NiFe₂O₄ disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan mencampurkan NiCl₂·6H₂O dan FeCl₃·6H₂O sebagai penyedia ion Ni²⁺ dan Fe³⁺ dengan perbandingan fraksi mol 1:2. Proses sintesis dilakukan dengan melarutkan 1,188 gram NiCl₂·6H₂O dan 2,701 gram FeCl₃·6H₂O masing-masing ke dalam 20 mL aquades. Kedua larutan dicampurkan hingga larutan menjadi homogen. Selanjutnya, campuran larutan tersebut dimasukkan ke dalam 50 mL larutan NaOH

(sebagai agen presipitasi) tetes demi tetes secara perlahan sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1000 rpm selama 60 menit. Lengkapnya parameter-parameter sintesis yang digunakan serta variasi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Larutan yang terbentuk kemudian diletakan di atas magnet permanen untuk mempercepat pengendapan. Endapan selanjutnya dicuci dengan aquades kurang lebih 7x pengulangan agar garam-garam hasil reaksi lainnya yang ikut terlarut semakin terminimalisir jumlahnya di dalam sampel sehingga diperoleh sampel NiFe₂O₄ yang lebih murni. Setelah proses pencucian selesai, endapan kemudian dikeringkan dalam *furnace* hingga kering dengan suhu kontrol sekitar 90°C. Proses ini akan berhasil bila diperoleh serbuk berwarna coklat.

Sampel NiFe₂O₄ dari berbagai variasi suhu dan konsentrasi NaOH yang telah terbentuk kemudian dikarakterisasi dengan *X-ray Diffraction* (Shimadzu model XD-3H) dengan tabung CuK α (panjang gelombang 1,5406 Å) untuk mengetahui fasa yang terkandung di dalam sampel. Perhitungan distribusi ukuran butir sampel dilakukan dengan menggunakan persamaan Scherrer, yang dituliskan sebagai :

$$t = \frac{k\lambda}{L \cos \theta} \quad (1)$$

dengan t adalah ukuran butir kristal, k adalah konstanta Scherrer (0,89), λ adalah panjang gelombang sinar-X dan L adalah lebar setengah puncak (*full width at half maximum = fwhm*) dari puncak utama. Morfologi partikel akan diinvestigasi menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (Jeol JEM 1400), karakterisasi sifat kemagnetan dengan *Vibrating Sample Magnetometer* (Riken Denshi Co. Ltd) dan identifikasi gugus ikatan dengan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (Shimadzu Prestige-21).

Tabel 1. Parameter sintesis Nanopartikel NiFe₂O₄ variasi konsentrasi NaOH

No	Nama sampel	Massa NiCl ₂ ·6H ₂ O (g)	Massa FeCl ₃ ·6H ₂ O (g)	Durasi Pengadukan (menit)	Suhu Sintesis (°C)	Konsentrasi NaOH (M)
1	K3	1,188	2,701	60	60	3
2	K5	1,188	2,701	60	60	5
3	K10	1,188	2,701	60	60	10

Tabel 2. Parameter sintesis Nanopartikel NiFe₂O₄ variasi suhu sintesis

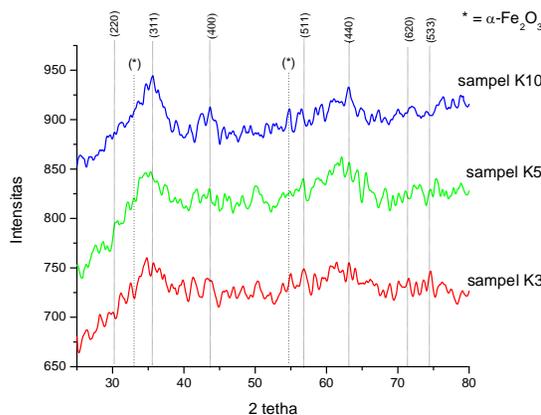
No	Nama sampel	Massa NiCl ₂ ·6H ₂ O (g)	Massa FeCl ₃ ·6H ₂ O (g)	Durasi Pengadukan (menit)	Konsentrasi NaOH (M)	Suhu Sintesis (°C)
1	S60	1,188	2,701	60	10	60
2	S80	1,188	2,701	60	10	80
3	S150	1,188	2,701	60	10	150

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

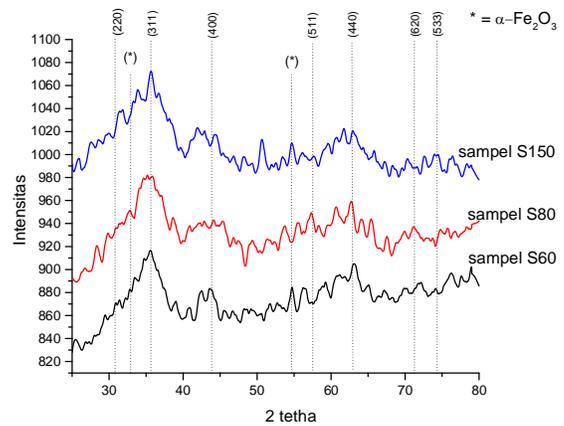
Pola difraksi sinar-X dari sampel NiFe₂O₄ yang disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi konsentrasi NaOH dan variasi suhu sintesis ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pola difraksi yang terbentuk menunjukkan indikasi terbentuknya fasa NiFe₂O₄ dengan puncak utamanya muncul pada sudut 2θ di sekitar sudut 35°C yang merupakan puncak bidang (311) dari NiFe₂O₄ yang berbentuk kubik spinel. Analisa ini diperkuat dengan kemunculan puncak-puncak lain yang juga merupakan karakteristik dari NiFe₂O₄ yaitu puncak bidang (220), (400), (511), (440), (620) dan (533), yang mana sesuai dengan data pada literature (JCPDS card no. 10-0325). Ukuran partikel dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer. Nilai parameter kisi (a) dan ukuran partikel (t) disajikan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Pada analisa XRD ketiga sampel yang disintesis dengan memvariasikan konsentrasi NaOH (Gambar 1), diperoleh nilai parameter kisi 8,312; 8,398 dan 8,357 Å masing-masing untuk sampel yang disintesis dengan konsentrasi NaOH 3 M, 5 M dan 10 M (lihat Tabel 3). Nilai parameter kisi ini mendekati nilai parameter kisi pada NiFe₂O₄ ukuran bulk yaitu 8,339 Å. Dilihat dari ketinggian puncak utama, sampel K10 memiliki intensitas paling tinggi dan paling tajam dibanding sampel K3 dan K5. Hal ini menunjukkan bahwa sampel K10 memiliki derajat kristalinitas yang paling tinggi dari ketiga sampel.

Berdasarkan persamaan Scherrer diperoleh nilai ukuran butir kristalit yaitu 5,7; 4,3 dan 4,2 nm masing-masing untuk sampel K3, K5 dan K10 (disajikan pada Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir nanopartikel NiFe₂O₄ hasil sintesis menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH. Hal ini diprediksi terjadi karena NaOH merupakan zat pemecah (pengurai) yang baik. Semakin besar konsentrasi NaOH yang terlibat dalam proses sintesis maka menyebabkan ukuran butir nanopartikel NiFe₂O₄ yang dihasilkan akan semakin kecil.



Gambar 1. Pola hasil pengujian XRD sampel dengan variasi konsentrasi



Gambar 2. Pola hasil pengujian XRD sampel dengan variasi suhu sintesis

Tabel 3. Parameter kisi (a) dan ukuran butir (t) pada sampel yang disintesis dengan variasi konsentrasi NaOH

No	Nama sampel	Konsentrasi NaOH (M)	a (Å)	t (nm)
1	K3	3	8,312	5,7
2	K5	5	8,398	4,3
3	K10	10	8,357	4,2

Tabel 4. Parameter kisi (a) dan ukuran butir (t) pada sampel yang disintesis dengan variasi suhu sintesis

No	Nama sampel	Suhu Sintesis (°C)	a (Å)	t (nm)
1	S60	60	8,357	4,2
2	S80	80	8,505	4,9
3	S150	150	8,339	5,5

Selanjutnya, dari analisa XRD pada sampel yang disintesis dengan memvariasikan suhu sintesis (Gambar 3), diperoleh nilai parameter kisi sampel dengan suhu sintesis 60°C, 80°C dan 150°C masing-masing adalah 8,357; 8,505 dan 8,339 Å (disajikan pada Tabel 4). Nilai parameter kisi ini mendekati dengan nilai parameter kisi pada NiFe₂O₄ ukuran bulk yaitu 8,339 Å.

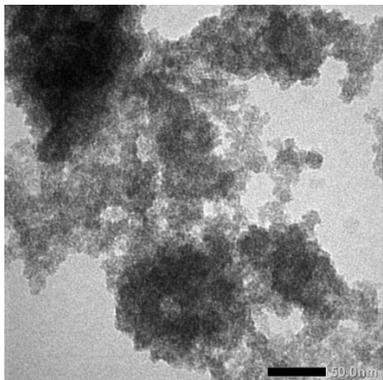
Berdasarkan persamaan Scherrer diperoleh nilai ukuran butir kristalit untuk sampel S60, S80 dan S150 masing-masing adalah 4,2; 4,9 dan 5,5 nm (disajikan pada Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir nanopartikel NiFe₂O₄ hasil sintesis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu sintesis. Hal ini diprediksi terjadi karena meningkatnya suhu sintesis menyebabkan meningkatnya aktivitas penumbuhan butir nanopartikel akibat pengaruh termal selama proses sintesis berlangsung. Hal ini menyebabkan semakin tinggi suhu sintesis maka ukuran butir nanopartikel yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Selain adanya puncak-puncak yang merupakan puncak karakteristik NiFe₂O₄, ada pula puncak lain yang muncul

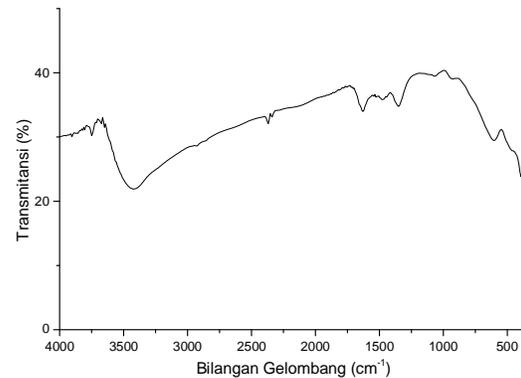
pada hasil analisa XRD. Puncak ini merupakan puncak karakter dari fasa lain yaitu fasa α -Fe₂O₃ (*hematite*) yang bersifat antiferomagnetik. Karena sifat yang dimiliki material ini berbeda dengan sifat dari NiFe₂O₄ yaitu ferrimagnetik, oleh karena itu keberadaan hematit di dalam sampel NiFe₂O₄ akan memberikan kontribusi terhadap sifat magnetik dari sampel NiFe₂O₄ yang disintesis.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengamatan TEM yang menyajikan morfologi nanopartikel NiFe₂O₄ sampel K10 dengan ukuran diameter rata-rata 4,0 nm dengan distribusi ukuran partikel di bawah 6 nm. Hasil ini cukup konsisten dengan hasil perhitungan menggunakan persamaan Scherrer untuk analisa XRD yaitu 4,2 nm. Dari hasil pengamatan TEM dapat diamati bahwa sampel K10 ini terdapat kecenderungan beraglomerasi.

Identifikasi gugus fungsional dari sampel NiFe₂O₄ yang disintesis dengan metode koprinsipitasi dianalisa dengan menggunakan spektroskopi FTIR. Gambar 4 menunjukkan spektrum serapan FTIR sampel K10 pada rentang 340 – 4000 cm⁻¹. Dari hasil pengujian tersebut, terlihat puncak-puncak serapan muncul pada bilangan gelombang 3425,58; 1627,92; 601,79 dan 347,19 cm⁻¹. Pada bilangan gelombang 3425,58 cm⁻¹, puncak serapan yang muncul merupakan karakter dari gugus serapan O-H (hidroksida) yang dihasilkan dari vibrasi stretching antara atom O dengan atom H. Sementara puncak serapan yang muncul pada bilangan gelombang 1627,92 cm⁻¹ merupakan gugus serapan O-H bending. Dua puncak utama dari gugus serapan ion logam dan oksigen yang terkait dengan struktur spinel ferit, teramati pada bilangan gelombang \approx 400 cm⁻¹ dan \approx 600 cm⁻¹, yang masing-masing berhubungan dengan *site* oktahedral dan tetrahedral dari posisi ion-ion logam pada spinel ferit. Pada NiFe₂O₄, semua ion Ni²⁺ berada di bagian oktahedral sedangkan ion Fe³⁺ terdistribusi merata di *site* tetrahedral dan oktahedral. Dengan demikian, puncak serapan yang muncul pada bilangan gelombang 347,19 cm⁻¹ dimiliki oleh sub-keksi dari *site* oktahedral (vibrasi antara atom-atom Ni, Fe dan oksigen), sedangkan puncak serapan yang teramati pada bilangan gelombang 601,79 cm⁻¹ merupakan karakter dari gugus serapan atom-atom yang berada pada *site* tetrahedral (vibrasi antara Fe dan oksigen) [3].



Gambar 3. Hasil pencitraan TEM nanopartikel NiFe₂O₄ sampel K10

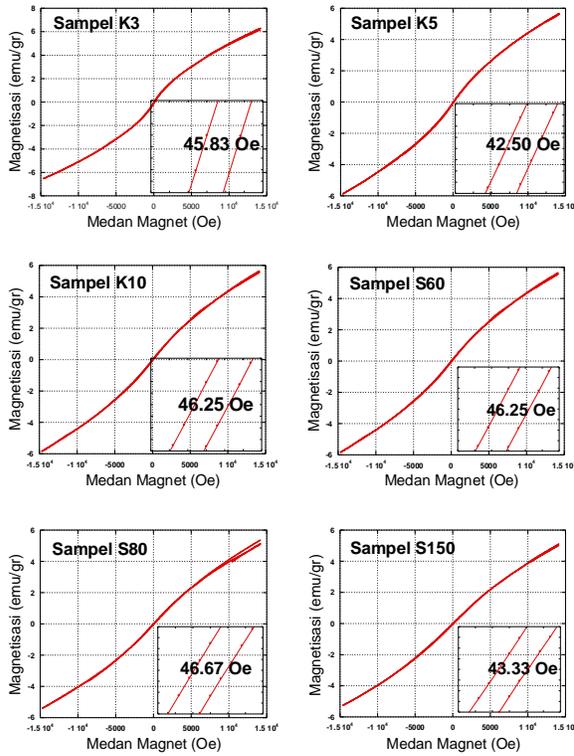


Gambar 4. Spektrum FTIR nanopartikel NiFe₂O₄ sampel K10

Sifat magnetik nanopartikel NiFe₂O₄ hasil sintesis digambarkan dengan kurva histeresis berdasarkan hasil pengamatan VSM yang disajikan pada Gambar 5. Hasil pengamatan VSM menunjukkan bahwa semua sampel menunjukkan perilaku sifat ferromagnetik dengan nilai koersivitas nanopartikel hasil sintesis memiliki nilai yang relatif kecil. Untuk lebih jelasnya, kurva histeresis diperbesar (pada inset) dan diperoleh nilai koersivitas sampel dengan nilai yang beragam (Tabel 5 dan 6).

Berdasarkan data pada Tabel 5, dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran butir nanopartikel nilai koersivitas juga cenderung semakin kecil. Hal ini diprediksi karena semakin kecil ukuran butir maka terjadi penurunan energi *barrier* (energi anisotropi) pada partikel tersebut. Dalam keadaan demikian momen magnet pada nanopartikel NiFe₂O₄ akan mudah termagnetisasi oleh medan magnet eksternal dan ketika didemagnetisasi maka koersivitasnya akan cenderung lebih kecil dibanding pada partikel dengan ukuran lebih besar. Namun terjadi penyimpangan pada sampel K10, dimana nilai koersivitasnya kemudian meningkat, hal ini diprediksi terjadi karena pengaruh adanya aglomerasi (penggumpalan) pada sampel (lihat Gambar 3) sehingga adanya kecenderungan butir-butir sampel yang menggumpal dan mengelompok yang akan berpengaruh terhadap arah momen magnet yang tidak bebas berfluktuasi. Dengan demikian dibutuhkan medan magnet luar yang lebih besar untuk membuat *net* magnetisasi menjadi nol. Sementara pada Tabel 6, semakin kecil ukuran butir nanopartikel, nilai koersivitasnya cenderung meningkat. Hal ini diprediksi terjadi karena terjadi aglomerasi pada sampel.

Dari analisa data VSM juga diperoleh informasi bahwa pada medan 15 kOe, nanopartikel yang dihasilkan dari proses sintesis ini memiliki nilai magnetisasi yang bervariasi. Nilai magnetisasi nanopartikel NiFe₂O₄ yang disintesis dengan variasi konsentrasi NaOH yaitu untuk sampel K3, K5 dan K10 masing-masing adalah 6,17; 5,67 dan 5,66 emu/g. Sedangkan untuk sampel dengan variasi suhu sintesis nilai magnetisasinya 5,66; 5,36 dan 5,10 emu/g masing-masing untuk sampel S60, S80 dan S150. Namun, secara umum semua sampel yang diuji sifat kemagnetannya memiliki nilai magnetisasi yang lebih



Gambar 5. Kurva histeresis pengamatan VSM untuk sampel K3 ; K5 ; K10 ; S60 ; S80 dan (f) S150

kecil dibandingkan dengan magnetisasi saturasi pada material *bulk* NiFe₂O₄ yaitu sebesar 55 emu/g [3]. Bervariasinya nilai magnetisasi pada sampel yang diuji sifat kemagnetannya ini diprediksi dapat disebabkan oleh kemunculan fasa α -Fe₂O₃ di dalam sampel yang memiliki perbedaan sifat magnetik dengan NiFe₂O₄. Kemunculan fasa α -Fe₂O₃ pada sampel NiFe₂O₄ dengan sifat anti-ferromagnetik tentu akan memperkecil nilai magnetisasi pada sampel. Dari Tabel 5 dan Tabel 6 tampak terdapat korelasi antara rasio intensitas α -Fe₂O₃ yang menggambarkan keadaan kualitatif mengenai jumlah α -Fe₂O₃ di dalam sampel NiFe₂O₄ dengan nilai magnetisasi sampel. Berdasarkan data pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan bahwa semakin besar rasio intensitas fasa α -Fe₂O₃ maka semakin kecil nilai magnetisasi pada sampel. Fakta ini memperkuat dugaan bahwa adanya fasa α -Fe₂O₃ yang memiliki sifat anti-ferromagnetik dapat memperkecil nilai magnetisasi.

Tabel 5. Ukuran partikel (*t*), koersivitas (*Hc*) dan magnetisasi (pada 15 kOe) pada sampel yang disintesis dengan variasi konsentrasi NaOH

No	Nama sampel	<i>t</i> (nm)	Rasio α -Fe ₂ O ₃ /NiFe ₂ O ₄ (%)	<i>Hc</i> (Oe)	<i>M</i> (emu/g)
1	K3	5,7	6,194	45,83	6,17
2	K5	4,3	9,217	42,50	5,67
3	K10	4,2	9,435	46,25	5,66

Tabel 6. Ukuran partikel (*t*), koersivitas (*Hc*) dan magnetisasi (pada 15 kOe) pada sampel yang disintesis dengan variasi suhu sintesis

No	Nama sampel	<i>t</i> (nm)	Rasio α -Fe ₂ O ₃ /NiFe ₂ O ₄ (%)	<i>Hc</i> (Oe)	<i>M</i> (emu/g)
1	S60	4,2	9,435	46,25	5,66
2	S80	4,9	11,849	46,67	5,36
3	S150	5,5	15,276	43,33	5,10

IV. KESIMPULAN

Nanopartikel NiFe₂O₄ telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Sintesis dilakukan dengan memvariasikan parameter sintesis yaitu konsentrasi kopresipitan (NaOH) dan suhu sintesis. Hasilnya menunjukkan bahwa ukuran butir menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi NaOH dan meningkat seiring dengan kenaikan suhu sintesis. Analisa sifat kemagnetan menunjukkan bahwa semua sampel menunjukkan perilaku sifat ferromagnetik. Pada sampel dengan variasi konsentrasi NaOH, ketika ukuran butir semakin kecil maka nilai koersivitasnya juga cenderung semakin kecil. Sedangkan untuk sampel dengan variasi suhu, semakin kecil ukuran butir maka koersivitasnya cenderung meningkat, yang diprediksi terjadi karena adanya aglomerasi pada sampel. Pada pengamatan magnetisasi menunjukkan bahwa nilai magnetisasi semakin tinggi dengan semakin kecilnya rasio fasa α -Fe₂O₃ yang terkandung di dalam sampel. Analisa dengan FTIR mengkonfirmasi adanya dua puncak utama dari gugus serapan ion logam dan oksigen yang terkait dengan struktur spinel ferit, teramati pada bilangan gelombang \sim 400 cm⁻¹ dan \sim 600 cm⁻¹, yang masing-masing berhubungan dengan *site* oktahedral dan tetrahedral dari posisi ion-ion logam pada *nickel ferrite*.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Nano-Fabrication Consortium of Nagoya University, Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) Nano-Project Platform, Japan, 2012 – 2017.
2. Hibah Penelitian Kompetensi (Hikom) Dikti, Kementerian Pendidikan Nasional, 2015 – 2016.

PUSTAKA

- [1] M. Kooti and A.N. Sedeh, Synthesis and characterization of NiFe₂O₄ magnetic nanoparticles by combustion method, *Journal of Materials Science and Technology*, vol. 29, 2013, pp. 34-38.
- [2] S. Joshi, M. Kumar, S. Chhoker, G. Srivastava, M. Jewariya and V.N. Singh, V.N., 2014, Structural, magnetic, dielectric and optical properties of nickel ferrite nanoparticles synthesized by co-precipitation method, *Journal of Molecular Structure*, vol. 1076, 2014, pp. 55-62.
- [3] A. Hajalilou, M. Hashim, R. Ebrahimi-Kahrizsangi, H.M. Kamari and N. Sarami, Synthesis and structural characterization of nano-sized nickel ferrite obtained by mechanochemical process, *Ceramics International*, vol. 40, 2014, pp. 5881-5887.

- [4] O.V. Yelenich, S.O. Solopan, T.V. Kolodiazhnyi, V.V. Dzyublyuk, A.I. Tovstolytkin and A.G. Belous, Superparamagnetic behavior and AC-losses in NiFe_2O_4 nanoparticles, *Solid State Sciences*, vol 20, 2013, pp. 115-119.
- [5] M.G. Naseri, E.B. Saion, H.A. Ahangar, M. Hashim and A.H. Shaari, Simple preparation and characterization of nickel ferrite nanocrystals by a thermal treatment method, *Powder Technology*, vol. 212, 2011, pp. 80-88.
- [6] K. Maaz, S. Karim, A. Mumtaz, S.K. Hasanain, J. Liu and J.L. Duan, Synthesis and magnetic characterization of nickel ferrite nanoparticles prepared by co-precipitation route, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 321, 2009, pp. 1838-1842.
- [7] M. Srivastava, S. Chaubey and A.K. Ojha, Investigation on size dependent structural and magnetic behavior of nickel ferrite nanoparticles prepared by sol-gel and hydrothermal methods, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 118, 2009, pp. 174-180.
- [8] A.H. Lu, E.L. Salabas and F. Schüth, Magnetic nanoparticles; synthesis, protection, functionalization and application, *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 46, 2007, pp. 1222-1244.
- [9] M. Salavati-Niasari, F. Davar and T. Mahmoudi, A Simple route to synthesize nanocrystalline nickel ferrite (NiFe_2O_4) in the presence of octanoic acid as a surfactant, *Polyhedron*, vol. 28, 2009, pp. 1455-1458.
- [10] M.W. Kadi and R.M. Mohamed, Synthesis and optimization of cubic NiFe_2O_4 nanoparticles with enhanced saturation magnetization, *Ceramics International*, vol. 40, 2014, pp. 227-232.