

Sintesis Nanopartikel Nickel Ferrite (NiFe_2O_4) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya

Muflihatun¹, 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 (NiFe_2O_4) 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 $\sim 400\text{-}600 \text{ cm}^{-1}$ yang terkait dengan site oktaedral dan tetrahedral pada struktur NiFe_2O_4 . Sifat magnetik NiFe_2O_4 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 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ paling rendah.*

Kata kunci: nanopartikel, Nikel Ferit (NiFe_2O_4), kopresipitasi

Abstract – *Nickel ferrite (NiFe_2O_4) 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 NiFe_2O_4 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 $\sim 400\text{-}600 \text{ cm}^{-1}$ 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 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ has the highest magnetization (6.17 emu/g).*

Key words: nanoparticle, Nickel ferrite (NiFe_2O_4), 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 MFe_2O_4 (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* (NiFe_2O_4). Nanopartikel ini memiliki struktur *spinel inverse*, yaitu semua ion Ni^{2+} berada di site oktaedral dan ion Fe^{3+} terdistribusi merata di site

tetrahedral dan oktaedral. Nanopartikel NiFe_2O_4 menunjukkan sifat ferrimagnetik yang berasal dari pasangan momen magnet *anti-paralel* antara momen magnet ion Fe^{3+} pada site tetrahedral dengan momen magnet ion Ni^{2+} dan ion Fe^{3+} pada site octahedral [3]. Nanopartikel NiFe_2O_4 menunjukkan perilaku superparamagnetik pada suhu kamar, yang mana sifat ini sangat penting untuk aplikasi terutama dalam bidang medis [4]. Nanopartikel NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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* (NiFe_2O_4) 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 NiFe_2O_4 yang efektif untuk kepentingan pengaplikasiannya.

II. METODE PENELITIAN

Nanopartikel NiFe_2O_4 disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan mencampurkan $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai penyedia ion Ni^{2+} dan Fe^{3+} dengan perbandingan fraksi mol 1:2. Proses sintesis dilakukan dengan melarutkan 1,188 gram $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 2,701 gram $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 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

Tabel 1. Parameter sintesis Nanopartikel NiFe_2O_4 variasi konsentrasi NaOH

| No | Nama sampel | Massa $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g) | Massa $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (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 NiFe_2O_4 variasi suhu sintesis

| No | Nama sampel | Massa $\text{NiCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (g) | Massa $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (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 |

(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 NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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 :

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

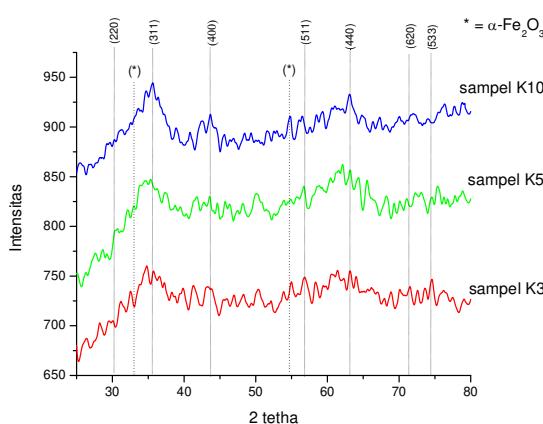
dengan t adalah ukuran butir kristal, k adalah konstanta Scherrer (0,89), λ adalah panjang gelombang sinar-X dan L adalah lebar setengah puncak (*full width at half maximum = fwhm*) dari puncak utama. Morfologi partikel akan diinvestigasi menggunakan *Transmission Electron Microscopy* (Jeol JEM 1400),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

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

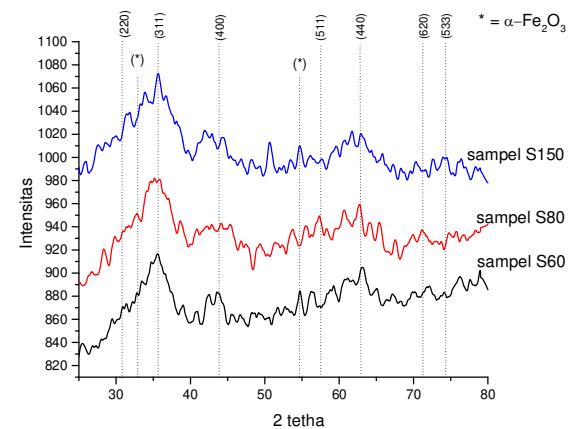
Pola difraksi sinar- X dari sampel NiFe_2O_4 yang disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi konsentrasi NaOH dan variasi suhu sintesis ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2. Pola difraksi yang terbentuk menunjukkan indikasi terbentuknya fasa NiFe_2O_4 dengan puncak utamanya muncul pada sudut 2θ di sekitar sudut 35°C yang merupakan puncak bidang (311) dari NiFe_2O_4 yang berbentuk kubik spinel. Analisa ini diperkuat dengan kemunculan puncak-puncak lain yang juga merupakan karakteristik dari NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 ukuran bulk yaitu 8,339 Å.

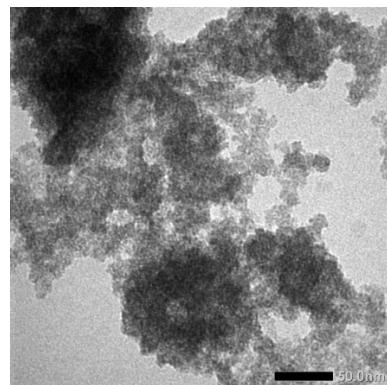
Berdasarkan persamaan Scherrer diperoleh nilai ukuran butir kristalit untuk sampel S60, S80 dan S150 masing-masing adalah 4,2; 4,9 dan 5,5 nm (disajikan pada Tabel 4). Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir nanopartikel NiFe_2O_4 hasil sintesis meningkat seiring dengan meningkatnya suhu sintesis. Hal 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 NiFe_2O_4 , ada pula puncak lain yang muncul

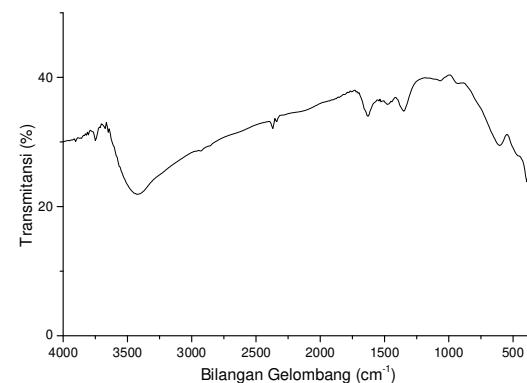
pada hasil analisa XRD. Puncak ini merupakan puncak karakter dari fasa lain yaitu fasa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*hematite*) yang bersifat antiferomagnetik. Karena sifat yang dimiliki material ini berbeda dengan sifat dari NiFe_2O_4 yaitu ferrimagnetik, oleh karena itu keberadaan hematit di dalam sampel NiFe_2O_4 akan memberikan kontribusi terhadap sifat magnetik dari sampel NiFe_2O_4 yang disintesis.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengamatan TEM yang menyajikan morfologi nanopartikel NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 yang disintesis dengan metode kopresipitasi dianalisa dengan menggunakan spektroskopi FTIR. Gambar 4 menunjukkan spektrum serapan FTIR sampel K10 pada rentang $340 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Dari hasil pengujian tersebut, terlihat puncak-puncak serapan muncul pada bilangan gelombang $3425,58$; $1627,92$; $601,79$ dan $347,19 \text{ cm}^{-1}$. Pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$, 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 $1627,92 \text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus serapan O-H bending. Dua puncak utama dari gugus serapan ion logam dan oksigen yang terkait dengan struktur spinel ferit, teramat pada bilangan gelombang $\sim 400 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 600 \text{ cm}^{-1}$, yang masing-masing berhubungan dengan *site* oktaedral dan tetrahedral dari posisi ion-ion logam pada spinel ferit. Pada NiFe_2O_4 , semua ion Ni^{2+} berada di bagian oktaedral sedangkan ion Fe^{3+} terdistribusi merata di *site* tetrahedral dan oktaedral. Dengan demikian, puncak serapan yang muncul pada bilangan gelombang $347,19 \text{ cm}^{-1}$ dimiliki oleh sub-kekisi dari *site* oktaedral (vibrasi antara atom-atom Ni, Fe dan oksigen), sedangkan puncak serapan yang teramat pada bilangan gelombang $601,79 \text{ cm}^{-1}$ merupakan karakter dari gugus serapan atom-atom yang berada pada *site* tetrahedral (vibrasi antara Fe dan oksigen) [3].



Gambar 3. Hasil pencitraan TEM nanopartikel NiFe_2O_4 sampel K10

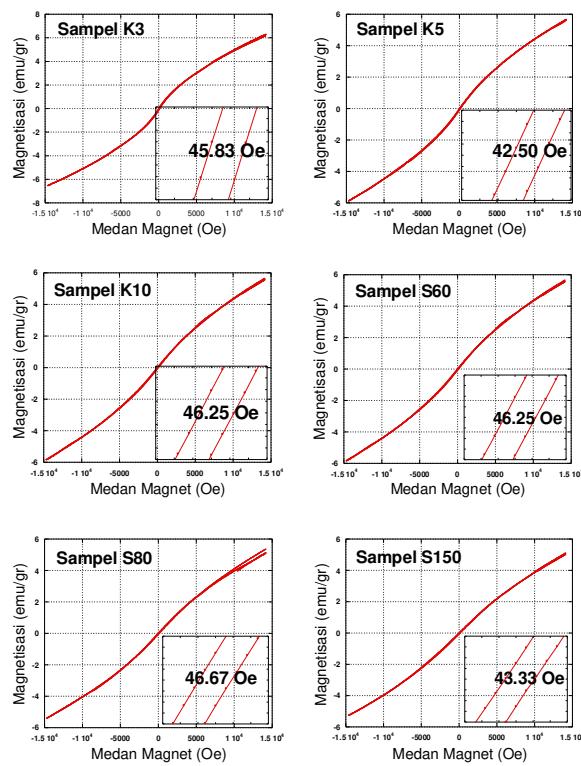


Gambar 4. Spektrum FTIR nanopartikel NiFe_2O_4 sampel K10

Sifat magnetik nanopartikel NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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 NiFe_2O_4 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* NiFe_2O_4 yaitu sebesar 55 emu/g [3]. Ber variasinya nilai magnetisasi pada sampel yang diuji sifat kemagnetannya ini diprediksi dapat disebabkan oleh kemunculan fasa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ di dalam sampel yang memiliki perbedaan sifat magnetik dengan NiFe_2O_4 . Kemunculan fasa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ pada sampel NiFe_2O_4 dengan sifat anti-ferromagnetik tentu akan memperkecil nilai magnetisasi pada sampel. Dari Tabel 5 dan Tabel 6 tampak terdapat korelasi antara rasio intensitas $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ yang menggambarkan keadaaan kualitatif mengenai jumlah $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ di dalam sampel NiFe_2O_4 dengan nilai magnetisasi sampel. Berdasarkan data pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan bahwa semakin besar rasio intensitas fasa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ maka semakin kecil nilai magnetisasi pada sampel. Fakta ini memperkuat dugaan bahwa adanya fasa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ yang memiliki sifat anti-ferromagnetik dapat memperkecil nilai magnetisasi.

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

| No | Nama sampel | t (nm) | Rasio $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ (%) | H_c (Oe) | M (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 (H_c) dan magnetisasi (pada 15 kOe) pada sampel yang disintesis dengan variasi suhu sintesis

| No | Nama sampel | t (nm) | Rasio $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{NiFe}_2\text{O}_4$ (%) | H_c (Oe) | M (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 NiFe_2O_4 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 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 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, teramat pada bilangan gelombang $\sim 400 \text{ cm}^{-1}$ dan $\sim 600 \text{ cm}^{-1}$, yang masing-masing berhubungan dengan *site* oktaedral 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 Kompotensi (Hikom) Dikti, Kementrian Pendidikan Nasional, 2015 – 2016.

PUSTAKA

- [1] M. Kooti and A.N. Sedeh, Synthesis and characterization of NiFe_2O_4 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. Mahmudi, 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.