

Sintesis Nanopartikel *Manganese Ferrite* ($MnFe_2O_4$) dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya

Rosita Dewi Tawainella¹, Yuni Riana¹, Rusliana Fatayati¹, Amelliya¹, Takeshi Kato², Satoshi Iwata² dan Edi Suharyadi^{1*}

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

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

²Departement of Quantum Engineering, Nagoya University, Furo-cho chikusa-ku, Nagoya, Japan

*corresponding author: esuharyadi@ugm.ac.id

Abstrak – Telah disintesis nanopartikel magnetit dengan berbagai ukuran butir yang berbeda yang berasal dari bahan $MnSO_4 \cdot H_2O$ dan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dengan metode kopresipitasi dengan memvariasi parameter suhu dan konsentrasi $NaOH$. Struktur dan ukuran partikel hasil analisa X-Ray Diffraction (XRD) dan Transmission Electron Microscopy (TEM) menunjukkan bahwa nanopartikel mengkristal dengan baik dan ada ketergantungan ukuran butir nanopartikel terhadap dua variasi parameter sintesis tersebut. Ukuran butir yang dihitung menggunakan persamaan Scherrer menunjukkan bahwa ukuran butir meningkat seiring peninggkatan suhu dan berkurangnya konsentrasi $NaOH$. Sifat kemagnetan $MnFe_2O_4$ hasil analisa Vibrating Sample Magnetometer (VSM). Sampel dengan variasi konsentrasi $NaOH$, semakin kecil ukuran butir nanopartikel, medan koersivitasnya semakin rendah. Sementara untuk sampel dengan variasi suhu, semakin kecil ukuran butir, medan koersivitasnya semakin tinggi. Hasil VSM juga menunjukkan bahwa semakin tinggi kristalinitas sampel, nilai magnetisasi saturasinya semakin tinggi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ukuran butir dan kehadiran fasa pengotor hematit ($\alpha-Fe_2O_3$) mempengaruhi sifat kemagnetan nanopartikel $MnFe_2O_4$.

Kata kunci: nanopartikel, $MnFe_2O_4$, kopresipitasi

Abstract – Magnetite nanoparticles have been synthesized by a variety of different grain sizes derived from $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ and $MnSO_4 \cdot H_2O$ materials by co-precipitation method with various synthesis temperature and concentration of $NaOH$. The structural characteristics and particle size of $MnFe_2O_4$ were determined by X-ray diffraction (XRD) and Transmission Electron Microscopy (TEM), its showed that nanoparticles well crystallized with various grain size which depend on synthesis parameters. The grain sizes estimated using the Scherrer formula were found that the grain size increased with increasing temperature synthesis and decreasing concentration of $NaOH$. Magnetic characterization of $MnFe_2O_4$ nanoparticles was investigated by using a Vibrating Sample Magnetometer (VSM). Sample with various concentration of $NaOH$ showed that coercivity was decrease with the decrease of particle size. In other hand, samples with various synthesis temperature found that sample with smallest grain size have high coersivity. The saturation magnetization increase when crystallinity increase. Based on the results, it can be concluded that magnetic characterization of $MnFe_2O_4$ was influenced by grain size and presence of an impurity phase hematite ($\alpha-Fe_2O_3$)

Key words: nanoparticles, $MnFe_2O_4$, co-precipitation

I. PENDAHULUAN

Pesatnya pengembangan *magnetic nanoparticles* (MNPs) sebagai alat atau *device* dalam perangkat elektronika, biomedis, industri telekomunikasi dan rekayasa elektronik lainnya saat ini dikarenakan multifungsinya sifat kemagnetan yang dimilikinya. Aplikasinya yang secara beragam dalam berbagai perangkat tersebut, ketika ukuran partikelnya lebih kecil dibandingkan dengan material *bulknya* yakni dalam skala nanometer. Sebagian besar *device* yang ada menggunakan nanopartikel berbahan ferrit lunak, salah satunya adalah *manganese ferrit* ($MnFe_2O_4$). $MnFe_2O_4$ secara spesifik diaplikasikan dalam perangkat elektronik seperti *microwave devices*, chip memori komputer, *radio frequency coil fabrication*, *drug delivery media* penyimpanan data, dan *transformer cores* [1].

Penggunaannya dalam perangkat elektronik disebabkan oleh permeabilitas kemagnetannya yang tinggi [2], resistivitasnya yang jauh lebih rendah daripada $CoFe_2O_4$ dan $NiFe_2O_4$ [3], biokompabilitasnya yang tinggi [4],

dibandingkan dengan Fe_3O_4 , $\gamma-Fe_2O_3$, $CoFe_2O_4$, dan $NiFe_2O_4$ jika diaplikasikan untuk *magnetic resonance imaging* (MRI). Selain itu $MnFe_2O_4$ pada suhu ruang ($20^\circ C$) memiliki energi anisotropi yang rendah [5], kondisi ini akan menyebabkan energi termal pada suhu ruang akan menghalangi energi anisotropi untuk kembali berada pada statenya yang terendah. Fenomena ini kemudian memunculkan sifat Superparamagnetik pada nanopartikel tunggal, salah satu fungsinya ketika digunakan untuk mengobati *hyperthermia cancer* dengan pemberian medan eksternal pada frekuensi yang sangat tinggi pada sel-sel kanker yang sebelumnya telah terlokalisasi [6-7].

Lee dkk [8] melaporkan dalam penelitian mereka bahwa susepsibilitas magnet dari $MnFe_2O_4$ lebih tinggi dari ferrit lainnya seperti Fe_3O_4 , $CoFe_2O_4$ dan $NiFe_2O_4$ dengan spin magnetik sebesar $5 \mu_B$. Hal ini dikarenakan Momen magnetik Mn ferrit ($MnFe_2O_4$) sesuai dengan skema kopling N'eel [9]. Fakta baru terus bermunculan atas kajian terhadap *manganese ferrite* dengan menggunakan beragam

metode, hasilnya diperoleh variasi ukuran butir dari yang terkecil (4 nm) pada suhu 320°C [10], sampai yang terbesar (154,1 nm) pada suhu 420°C [11]. Namun, dari semua kajian tentang MnFe₂O₄ oleh para peneliti sebelumnya tak ditemukan informasi tentang pengaruh variasi suhu (<100°C), durasi pengadukan maupun konsentrasi kopresipitan secara simultan terhadap ukuran butir, struktur kristal dan sifat kemagnetan yang dihasilkan dalam proses sintesis yang dilakukan dengan metode kopresipitasi maupun metode lainnya seperti: metode *sol-gel*, *flash combustion*, keramik, sitrat dll.

Oleh karena itu, dengan mengacu dari para peneliti seperti disebutkan di atas dan Setiadi dkk [12], yang berhasil mensintesis nanopartikel CoFe₂O₄ menggunakan metode kopresipitasi dengan melakukan variasi (suhu dan konsentrasi kopresipitan), maka penelitian ini dilakukan. Tujuan akhirnya adalah untuk melihat ketergantungan sifat kemagnetan terhadap ukuran partikel, kehadiran fasa pengotor *hematite* (α -Fe₂O₃), derajat kristalinitas, dan struktur kristal dari MnFe₂O₄ sehingga dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi penelitian selanjutnya.

II. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Nanopartikel MnFe₂O₄ dibuat menggunakan metode kopresipitasi dengan mencampurkan MnSO₄·H₂O dan FeCl₃·6H₂O sebagai penyedia ion Mn²⁺ dan Fe³⁺ dengan perbandingan koefisien reaksi 1:2. 0,84 gram MnSO₄·H₂O; 2,703 gram FeCl₃·6H₂O dilarutkan masing-masing dalam 10 ml aquades sampai homogen, setelahnya dicampur jadi satu sambil menambahkan 3,37 mL HCl (37%) yang diaduk kembali hingga homogen. Kemudian masukkan campuran larutan tersebut ke dalam larutan NaOH yang telah terhomogenkan dalam 100 mL aquades tetes demi tetes secara perlahan sambil diaduk menggunakan

magnetic stirrer dengan kecepatan sentrifugasi 550 rpm selama 120 menit. Lengkapnya variasi suhu dan konsentrasi NaOH dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Larutan yang terbentuk kemudian diletakan di atas magnet permanen untuk mempercepat pengendapan. Untuk meminimalisir garam yang terlarut dalam larutan MnFe₂O₄, maka dilakukan pencucian kurang lebih 7 kali pengulangan. Setelah proses pencucian selesai, endapan kemudian dipanaskan dalam *furnace* sampai kering dengan suhu kontrol sekitar 80°C. Setelahnya akan diperoleh bubuk berwarna hitam.

Sampel MnFe₂O₄ 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 fase yang terkandung dalam sampel. Perhitungan distribusi ukuran sampel dilakukan dengan menggunakan persamaan Scherrer, seperti tercantum di bawah ini :

$$t = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

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

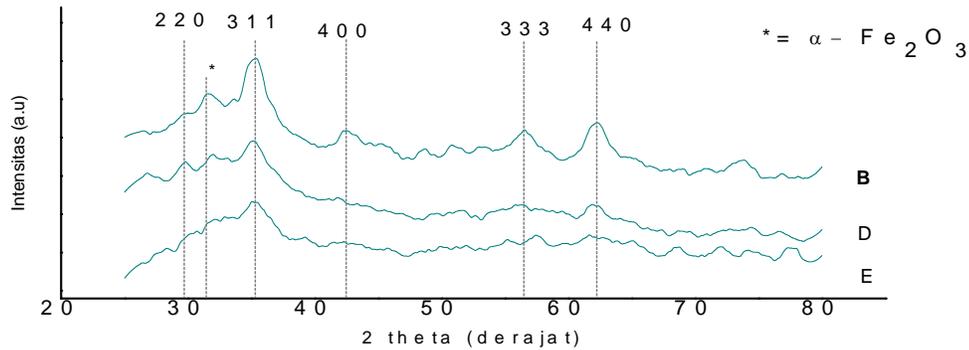
Tabel 1. Parameter sintesis Nanopartikel MnFe₂O₄ variasi suhu sintesis

No	Nama Sampel	Massa MnSO ₄ ·H ₂ O (g)	Massa FeCl ₃ ·6H ₂ O (g)	Volume HCL (ml)	Konsentrasi NaOH (M)	Durasi Pengadukan (menit)	Suhu Sintesis (°C)
1	E	0,84	2,703	3,37	5	120	RT
2	D	0,84	2,703	3,37	5	120	50
3	B	0,84	2,703	3,37	5	120	80

Tabel 2. Parameter sintesis Nanopartikel MnFe₂O₄ variasi konsentrasi NaOH

No	Nama Sampel	Massa MnSO ₄ ·H ₂ O (g)	Massa FeCl ₃ ·6H ₂ O (g)	Volume HCL (ml)	Konsentrasi NaOH (M)	Durasi Pengadukan (menit)	Suhu Sintesis (°C)
1	C	0,84	2,703	3,37	1,5	120	80
2	B	0,84	2,703	3,37	5	120	80
3	A	0,84	2,703	3,37	10	120	80

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

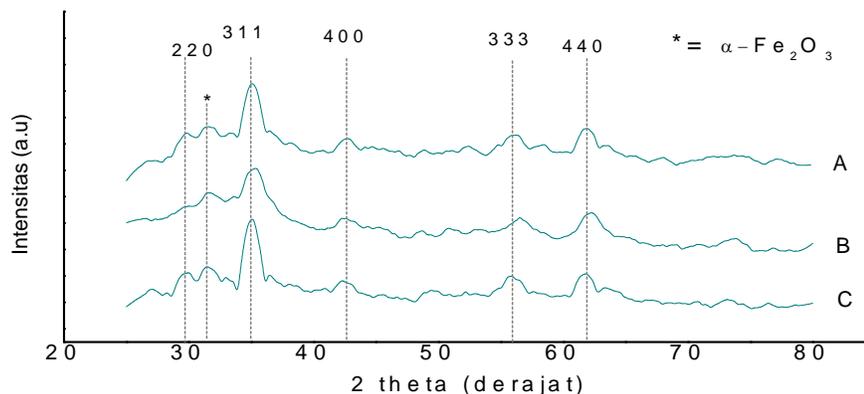


Gambar 1. Hasil pengujian XRD sampel dengan variasi suhu sintesis

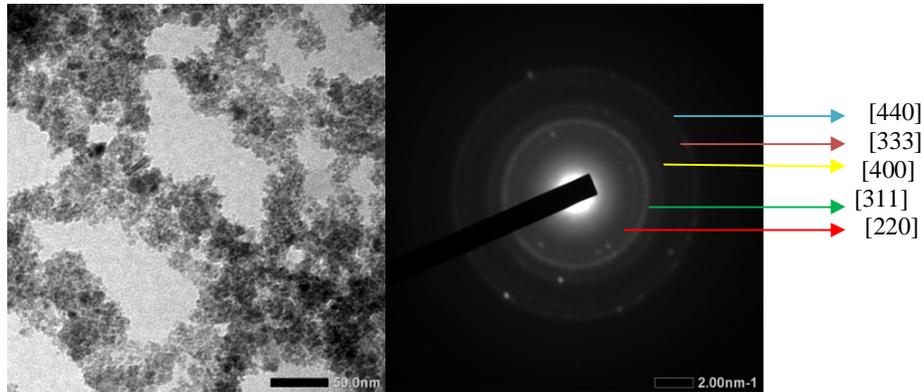
Gambar 1 menunjukkan pola XRD dari sampel MnFe_2O_4 dengan variasi Suhu. Notasi E untuk suhu kamar, B untuk suhu 80°C dan D untuk suhu 50°C . Analisa kualitatif dengan menggunakan *software origin* akhirnya puncak utama ditemukan berada pada daerah 2θ sekitar 35°C yang merupakan puncak bidang (311) dari MnFe_2O_4 yang berbentuk kubik spinel. Dilihat dari ketinggian puncak utama, sampel B memiliki intensitas paling tinggi dan paling tajam dibanding sampel E dan D. Hal ini menunjukkan bahwa sampel B memiliki derajat kristalinitas yang paling tinggi dari kedua sampel yang ada. Dimana tingginya derajat kristalinitas ini dipengaruhi oleh adanya proses nukleasi dan *crystal growth* yang berlangsung secara cepat dan simultan sebagai akibat tingginya derajat lewat jenuh larutan ketika suhu dalam proses sintesis dinaikan.

Selanjutnya, Gambar 2 merupakan pola XRD Dari hasil Variasi konsentrasi NaOH (1,5 M dinotasikan dengan C, 5 M dinotasikan dengan B dan 10 M dinotasikan dengan A). Berdasarkan Tabel 4, diperlihatkan nilai parameter kisinya

mengalami kenaikan secara signifikan dengan penambahan Konsentrasi NaOH. Berdasarkan Nilai-nilai parameter kisi yang ada, disimpulkan bahwa ketiga sampel mampu mengkristal dengan baik. Dengan nilai kristalinitas tertinggi pada sampel C dengan konsentrasi NaOH 1,5 M. Hal ini diprediksi sebagai akibat dari adanya absorpsi endapan hidroksida terhadap kation-kation Na selama berlangsungnya proses sintesis dan sukarnya memisahkan pengotor dan endapan murni yang diinginkan dalam proses pencucian. Selain puncak-puncak yang merupakan karakteristik MnFe_2O_4 , muncul pula puncak lain, yaitu puncak $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*hematite*) yang bersifat antiferomagnetik pada suhu ($< 950\text{ K}$) [13], dan berlaku sebagai pengotor. Kehadiran $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*hematite*) secara visual ditandai dengan warna sampel yang agak kekeklatan [14], sebagai akibat dari adanya reaksi oksidasi antara ion-ion sampel dengan ion-ion oksigen.



Gambar 2. Hasil pengujian XRD sampel dengan variasi konsentrasi NaOH

Gambar 3. Hasil pencitraan TEM nanopartikel $MnFe_2O_4$ **Tabel 3.** Hasil pengamatan VSM pada sampel dengan variasi suhu

No	Nama Sampel	Parameter Kisi (\AA)	Ukuran Butir (nm)	Koersivitas (Oe)	Magnetisasi Saturasi (emu/g)	Ketinggian Intensitas puncak (311) (a.u)
1	E	8,451	9,362	78	3,65	34,2
2	D	8,465	14,879	209	8,74	42,34
3	B	8,478	18,611	97	14,53	104,58

Tabel 4. Hasil pengamatan VSM pada sampel dengan variasi konsentrasi NaOH

No	Nama Sampel	Parameter Kisi (\AA)	Ukuran Butir (nm)	Koersivitas (Oe)	Magnetisasi Saturasi (emu/g)	Ketinggian Intensitas puncak (311) (a.u)
1	C	8,492	25,362	107	6,41	138,55
2	B	8,478	18,611	97	14,53	104,58
3	A	8,456	14,760	67	18,95	71,58

Photografi TEM menggunakan sampel A (ditunjukkan pada Gambar 3), hasil dari gambar memperlihatkan fase kubik spinel. Pada gambar sebelah kiri sebagai hasil analisa kualitatif dengan menggunakan *software ImageJ* diperlihatkan adanya aglomerasi yang menyebabkan rendahnya dispersibilitas nanopartikel yang diperoleh. Area difraksi elektron diperlihatkan hampir sama untuk semua sampel. Dari gambar sebelah kanan, ditunjukkan adanya puncak-puncak yang merupakan indikator dari sebuah nanopartikel *manganese ferrite*. Pola cincin yang ditandai dengan garis putus-putus mengindikasikan kristalinitas yang tinggi dari material nanopartikel magnetik ini. Difraksi yang dihasilkan sekaligus mengidentifikasi indeks millernya, secara berurutan dari yang paling dalam sampai terluar yaitu: (220), (311), (400), (333), (440). Hasil TEM ini sejalan dengan hasil analisa dari XRD.

Sifat magnetik nanopartikel $MnFe_2O_4$ dapat diketahui berdasarkan hasil VSM. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya karakter yang berbeda-beda disesuaikan dengan perlakuan selama berlangsungnya proses sentrifugasi. Dari pengamatan VSM diperlihatkan nilai koersivitas yang membesar seiring dengan kenaikan suhu dan mengecil dengan perubahan konsentrasi kopresipitan (ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4), hal ini diperjelas pada tampilan inset. Pada sampel dengan variasi suhu diperoleh nilai koersivitas sebesar 78; 209; dan 97 Oe masing-masing untuk sampel E, D dan B. Berdasarkan nilai koersivitas sampel E, disimpulkan bahwa hasil ini menunjukkan tidak adanya signifikansi antara medan eksternal yang diberikan dan efek magnetisasi nanopartikel agar kembali ke posisi nol dengan ukuran butir yang dihasilkan. Dugaan awal bahwa hal ini dipengaruhi oleh adanya penggumpalan (*aglomerasi*) yang disebabkan terjadinya pergeseran domain, dari *single*

domain ke multidomain. Jelasnya ditampakan pada kurva histeresis, (ditunjukkan pada Gambar 7).

Nilai koersivitas sampel dengan variasi konsentrasi NaOH masing-masing untuk sampel C, B dan A adalah 107; 97; 67 Oe. Hasil ini menunjukkan bahwa besarnya medan eksternal yang dibutuhkan oleh nanopartikel yang termagnetisasi untuk kembali ke posisi nol berbanding lurus dengan ukuran butir yang dihasilkan (ditunjukkan pada Tabel 4).

Ukuran partikel yang dihasilkan beberapa puluh nanometer dapat dianggap sebagai domain tunggal dan karenanya, menampilkan sifat berbeda dari *bulknya*. Hal ini memberi gambaran adanya kecenderungan sampel untuk berperilaku sebagai material superparamagnetik. Walau belum ada kepastian terhadap analisa ini, dikarenakan nilai koersivitasnya yang tidak nol.

Berdasarkan Tabel 3 dengan variasi suhu, ditunjukkan beragamnya nilai magnetisasi saturasi (M_s), dengan nilai terbesar dimiliki oleh sampel B. Hal serupa juga terjadi pada sampel dengan variasi konsentrasi NaOH, dimana nilai magnetisasi terbesar didapatkan oleh sampel A. Beragamnya nilai magnetisasi saturasi ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu ukuran butir partikel, derajat kristalinitas serta kehadiran fasa pengotor $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (*hematite*).

Dari gambar teridentifikasi bahwa nanopartikel dengan ukuran butir paling kecil (sampel E), memiliki kurva magnetisasi berbentuk huruf S landai (9,362 nm) dengan nilai magnetik saturasi (M_s) 3,65 emu/g yang membentuk *loop* histeresis, sementara itu sampel A dengan ukuran butir (14,760 nm) yang lebih besar memiliki kurva magnetisasi berbentuk S agak tegak dan memiliki nilai magnetisasi saturasi 18,95 emu/g. Informasi visual ini memberikan makna bahwa pada sampel E telah terjadi penggumpalan (*aglomerasi*). Berdasarkan studi literatur diterangkan bahwa pada suhu kamar (20°) nanopartikel $MnFe_2O_4$ memiliki energi anisotropi yang rendah dengan nilai magnetisasi saturasi yang sangat besar yakni; 175 Oe [1]. Hal ini sangat jauh berbeda dengan hasil yang diperoleh pada sintesis ini seperti ditunjukkan pada Tabel 4. Secara detil dijelaskan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka momen magnetik pada nanopartikel cenderung lebih tidak stabil. Ketidakstabilan momen magnetik pada partikel dengan ukuran butir yang lebih kecil disebabkan oleh energi anisotropi yang dimiliki oleh partikel tersebut jauh lebih kecil dibandingkan dengan nanopartikel berukuran besar, akibatnya bila diberikan medan magnet eksternal maka momen magnetik dengan ukuran butir yang lebih kecil akan lebih reaktif dalam merespon medan eksternal yang diberikan.

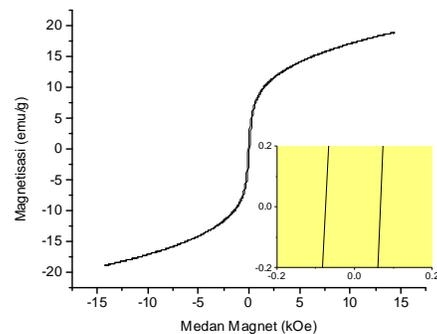
Dalam kajian tentang derajat kristalinitas, disimpulkan bahwa pada variasi suhu kristalinitas meningkat seiring dengan adanya peningkatan ukuran butir partikel dan magnetisasi saturasi. Hasil ini agak tidak rasional, karena semakin kecil ukuran butir, maka suatu partikel akan mudah termagnetisasi, hasilnya dengan diperolehnya nilai M_s yang lebih besar dengan bentuk grafik yang kristalin dan tidak amorfus [12]. Berbeda dengan hasil pada variasi konsentrasi, dimana berdasarkan Tabel 4, diperlihatkan adanya kesesuaian antara kenaikan

derajat kristalinitas terhadap ukuran butir dan magnetisasi saturasinya. Nilai yang ada didukung dengan sinkronnya nilai parameter kisi dan koersivitas (jelasnya ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4).

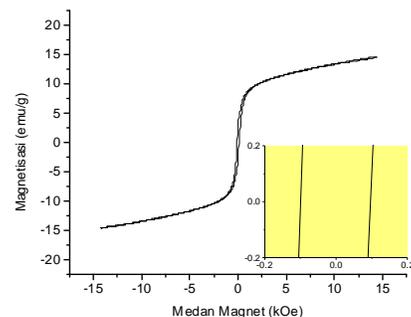
Tabel 5. Rasio $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ di dalam sampel $MnFe_2O_4$

Sampel	Parameter Kisi (Å)	Magnetisasi Saturasi (emu/g)	Rasio Luasan ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{MnFe}_2\text{O}_4$)
A	8,456	18,95	0,61
B	8,478	14,53	0,63
C	8,492	6,41	0,62
D	8,465	8,74	0,62
E	8,451	3,65	0,59

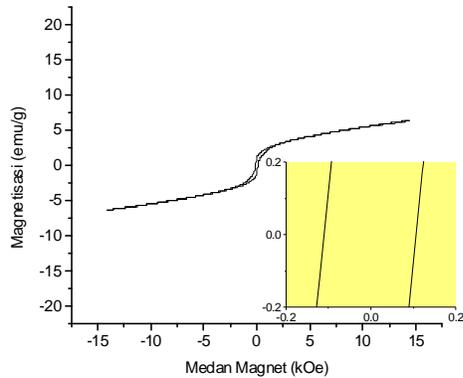
Untuk melihat pengaruh fasa pengotor hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), terhadap sifat kemagnetan $MnFe_2O_4$, maka berdasarkan Tabel 5, diperlihatkan bahwa pada sampel dengan suhu kamar (dinotasikan dengan E), nilai magnetisasi saturasinya sangatlah kecil, berbanding lurus dengan nilai rasio luasan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{MnFe}_2\text{O}_4$ yakni 3,65 emu/g dan 0,59. Makna fisiknya hal ini dikarenakan kehadiran fasa pengotor *hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang bersifat paramagnetik pada suhu kamar. Faktanya bahwa nilai magnetisasi saturasi yang ada meningkat seiring dengan besarnya rasio luasan ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{MnFe}_2\text{O}_4$), namun agak menyimpang dari nilai parameter kisinya disebabkan adanya *aglomerasi*. Tingginya derajat kristalinitas dan dekatnya parameter kisi dengan material *bulknya* yakni 8,5 (Å), mengindikasikan nilai magnetisasi akan semakin mendekati material *bulknya*.



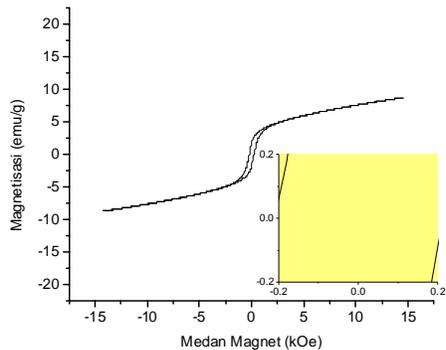
Gambar 4. Kurva *loop* histeresis sampel A



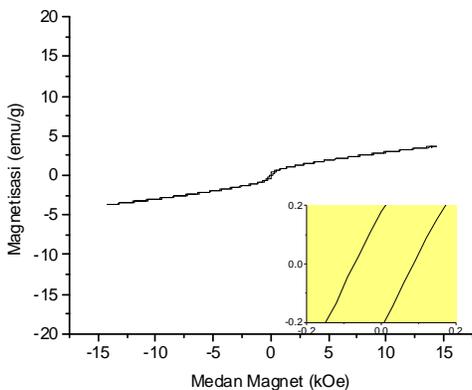
Gambar 5. Kurva *loop* histeresis sampel B



Gambar 6. Kurva loop histeresis sampel C



Gambar 7. Kurva loop histeresis sampel D



Gambar 7. Kurva loop histeresis sampel E

IV. KESIMPULAN

Sintesisasi dengan metode kopersipitasi telah mampu menghasilkan Nanopartikel $MnFe_2O_4$. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa ukuran butir meningkat seiring dengan kenaikan suhu sintesis dan akan menurun seiring dengan kenaikan konsentrasi

durasi pengadukan yang diberikan dalam sintesis. Sedangkan sifat kemagnetan, untuk sampel dengan variasi konsentrasi NaOH menunjukkan bahwa ketika ukuran butir semakin kecil maka nilai koersivitasnya juga semakin kecil yang menunjukkan sifat nanopartikel yang mulai bertransformasi dari ferromagnetik ke sifat superparamagnetik. Sedangkan untuk sampel dengan variasi suhu menunjukkan semakin kecil ukuran butir maka koersivitasnya ternyata semakin besar, yang disebabkan oleh pergeseran domain partikel dari single domain ke multidomain. Selain itu kehadiran fasa pengotor menyebabkan penurunan sifat kemagnetan nanopartikel $MnFe_2O_4$.

PUSTAKA

- [1] Sam, S., Nesaraj, S. A., 2011. Preparation of $MnFe_2O_4$ nanoceramic Particles by Soft Chemical Routes, *International Journal of Applied Science and Engineering*, Karunya university, India.
- [2] Ahmed, M.A., Okasha, N., El-Dek, S.I., 2008. Preparation and Characterization of nanometric mn ferrite via Different Methode, *Nanotechnology*, Cairo university, Egypt.
- [3] Lotger F K 1964 *J. Phys. Chem. Solids* 25 345.
- [4] Tomsdorf, U.I., Bigall, N.C., Kaul, M.G., Bruns, O.T., Nikolic, M.S., Mollwitz, B., Sperling, R.A., Reimer, R., Hohenberg, H., Parak, W.J., Förster, S., Beisiegel, U., Adam, G., Weller, H., 2007. Size and surface effects on the MRI relaxivity of manganese ferrite nanoparticle contrast agents. *Nano Lett*, 7, 2422-2427.
- [5] Zuo, X., Yang, A., Yoon, S., Christodoulides, J., Harris, V. G., and Vittoria, C. 2005. Large induced magnetic anisotropy in manganese spinel ferrite films. *Applied Physics Letters*, 87, 15: 2505-2507.
- [6] Ritter, J.A.; Ebner, A.D.; Daniel, K.D.; Stewart, K.L. Application of high gradient magnetic separation principles to magnetic drug targeting. *J. Magn. Magn. Mater.* 2004, 280, 184-201.
- [7] Zheng, W.; Gao, F.; Gu, H. Magnetic polymer nanospheres with high and uniform magnetite
- [8] Lee, J.H., Huh, Y.M., Jun, Y.-W.; Seo, J.-W., Jang, J.-T., Song, H.-T., Kim, S.J., Cho, E.-J., Yoon, H.-G., Suh, J.-S., Cheon, J., 2006. Artificially engineered magnetic nanoparticles for ultrasensitive molecular imaging. *Nature Me*, 13, 95-99.
- [9] Takadate, K., Yamamoto, Y., Makino, A., Yamaguchi, T and Sasada, I., 1998. *J. Appl. Phys.* 83 6854.
- [10] Nikumbh A K, Nagawade A V, Tadke V B and Bakare P P 2001 *J. Mater. Sci.* 36 653.
- [11] Ahmed, M.A., Okasha, N., El-Dek, S.I., 2008. Preparation and Characterization of nanometric mn ferrite via Different Methode, *Nanotechnology*, Cairo university, Egypt.
- [12] Setiadi, E. A., Shabrina N., Utami HRB., Fahmi Nur, F., Kato, T., Iwata Sathosi, dan Suharyadi, E., 2013. Sintesis Nanopartikel Cobalt Ferrite ($CoFe_2O_4$) dengan Metode Kopersipitasi dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya, *Indonesian Journal of Applied Physics*, Yogyakarta, Indonesia.

- [13] Gubin, S.P., Koksharov, Y.A., Khomutov, G.B. dan Yurkov, G.Y., 2005. Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties, *Russian Chemical Reviews*, 6,489-520.
- [14] Tartaj, P., Morales, M.d.P., Verdager, S.V., Carreno, T.G. dan Serna, C.J., 2003. The preparation of magnetic nanoparticles for applications in biomedicine, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 36, R182-R197