

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SIFAT MAGNETIK NANOKOMPOSIT Fe_3O_4 – MONTMORILONIT BERDASARKAN VARIASI SUHU

Pintor Simamora^{1*)}, Krisna²

¹Jurusan Fisika, Universitas Negeri Medan, Medan

²Jurusan Fisika, Universitas Negeri Medan, Medan

^{*)}Email : pintor_fisika@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat magnetik nanokomposit Fe_3O_4 – Montmorilonit serta mengetahui pengaruh suhu terhadap karakteristik Nanokomposit Fe_3O_4 – Montmorilonit tersebut. Nanokomposit Fe_3O_4 - Montmorilonit disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Sintesis dilakukan dengan mencampurkan pasir besi dengan HCl sebagai pelarut dan NH_4OH sebagai pengendap. Hasil endapan yang terbentuk kemudian dicuci berulang-ulang dengan aquades dan dikeringkan dalam oven. Selanjutnya, serbuk nanopartikel Fe_3O_4 tersebut dicampurkan kedalam montmorilonit yang telah dilarutkan dengan air kemudian diaduk dengan magnetik stirrer dan dipanaskan pada variasi suhu 40°C , 70°C , dan 100°C , selanjutnya ditambahkan setetes demi setetes NaOH sampai 100 ml kemudian dicuci dengan air bersih dan dikeringkan dalam oven. Nanokomposit yang dihasilkan dikarakterisasi dengan menggunakan alat *X-Ray Diffractometer* (XRD) untuk mengetahui ukuran kristal dan kandungan fasa yang terbentuk dan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) untuk mengetahui sifat magnetik bahan. Dari hasil pengujian *X-Ray Diffractometer* (XRD) terhadap Nanopartikel Fe_3O_4 menunjukkan ukuran kristal 34,8691 nm. Dan hasil pengujian *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) diperoleh nilai magnetik saturasi (M_s) untuk sampel nanopartikel Fe_3O_4 sebesar 52,15 emu/gr dan untuk sampel nanokomposit pada suhu 40°C , 70°C dan 100°C diperoleh nilai Magnetik saturasi (M_s) yaitu 3,365 emu/gr, 4,635 emu/gr, dan 4,75 emu/gr. Sedangkan medan koersivitas (H_c) masing-masing sampel sebesar 0,0102 T, 0,0112 T, dan 0,0136 T. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu nanokomposit yang divariasikan maka semakin tinggi juga nilai magnetik saturasi dan medan koersivitasnya sehingga sifat magnetik bahan tersebut akan semakin besar.

Abstract

This study aims to investigate the characteristics of the magnetic properties of Fe_3O_4 – Montmorillonite nanocomposite and determine the effect of temperature on the characteristics of Fe_3O_4 – Montmorillonite nanocomposite. Fe_3O_4 - Montmorillonite nanocomposite were synthesized using coprecipitation method. Synthesis is done by mixing iron sand with HCl as solvent and NH_4OH as a precipitant. The results of the precipitate is then washed repeatedly with distilled water and dried in an oven. Furthermore, the Fe_3O_4 nanoparticles powder mixed into the montmorillonite which has been diluted with water and then stirred with a magnetic stirrer and heated at temperature variation 40°C , 70°C , and 100°C , then NaOH was added dropwise to 100 ml of water and then washed with aquades and dried in an oven. The resulting nanocomposite characterized by using *X-Ray Diffractometer* (XRD) to determine the size and content of the crystal phase and *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) formed to determine magnetic properties of materials. From the test results of *X-Ray Diffractometer* (XRD) to indicate the size of the crystal Fe_3O_4 Nanoparticles 34.8691 nm. And *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) test results values obtained magnetic saturation (M_s) for Fe_3O_4 nanoparticle samples of 52.15 emu/gr and for the nanocomposite sample at 40°C , 70°C and 100°C values obtained Magnetic saturation (M_s) is 3.365 emu/gr, 4.635 emu/g, and 4.75 emu/g. While the coercivity field (H_c) of each sample is 0.0102 T, 0.0112 T, and 0.0136 T. From these results it can be concluded that the higher the temperature of the nanocomposite which varied the higher the value of magnetic saturation and field koersivitasnya so the magnetic properties of these materials will be even greater.

Keywords: nanocomposite, Fe_3O_4 , montmorillonite, coprecipitation.

1. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan oleh logam berat menjadi masalah yang cukup serius seiring dengan penggunaan logam berat dalam bidang industri yang semakin meningkat. Logam berat banyak digunakan karena sifatnya yang dapat menghantarkan listrik dan panas serta dapat membentuk logam paduan dengan logam lain (Raya, 1998). Keberadaan logam berat

dilingkungan seperti tembaga, kadmium, dan timbal merupakan masalah lingkungan yang perlu mendapat perhatian serius, mengingat dalam konsentrasi tertentu dapat memberikan efek toksik yang berbahaya bagi kehidupan manusia dan lingkungannya.

Metode adsorpsi merupakan salah satu metoda yang sangat efisien untuk menurunkan kandungan-kandungan logam berat. Proses adsorpsi

diharapkan dapat mengambil ion-ion logam berat dari perairan. Logam berat dengan konsentrasi tertentu dalam perairan dapat menjadi sumber racun bagi kehidupan perairan. Berbagai usaha untuk mengurangi kadar logam berat di perairan telah banyak dilakukan. Metode yang paling sering digunakan adalah adsorpsi. Teknik ini lebih menguntungkan daripada teknik yang lain dilihat dari segi biaya yang tidak begitu besar serta tidak adanya efek samping zat beracun.

Saat ini telah banyak ditemukan bahan baru yang mempunyai kegunaan sebagai adsorben, di samping untuk berbagai keperluan lain. Untuk bahan jenis anorganik, misalnya telah banyak disintesis senyawa oksidasi logam dengan karakteristik tertentu seperti zeolit mesopori, silika gel dan magnetit dan lain-lain yang dapat digunakan selain adsorben juga untuk katalis, penukar ion, dan lain-lain. Penggunaan bahan-bahan anorganik seperti diatas relatif lebih menguntungkan dibanding bahan organik karena kestabilan yang tinggi terhadap mekanik, temperatur dan pada berbagai kondisi keasaman.

Oksidasi besi merupakan suatu material yang sangat menarik untuk dipelajari diantara oksidasi-oksidasi logam transisi lainnya. Bahan-bahan tersebut ditemukan secara ilmiah dalam bentuk mineral oksida besi berupa magnetit (Fe_3O_4), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Jenis oksidasi yang bersifat magnet adalah magnetit (Fe_3O_4) dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Sintesis magnetit dan maghemit dalam skala nanometer telah banyak dilakukan dengan berbagai metode, antara lain metode reaksi sol-gel, larutan kimia, *sonochemical*, dan kopresipitasi. Nanopartikel magnetit merupakan suatu material yang memiliki berbagai keunggulan, antara lain : bersifat superparamagnetik, kejenuhan magnet yang tinggi. Fenomena ini terus meningkat seiring pengaruh ukuran dan permukaan yang didominasi oleh sifat magnetik dari masing-masing nanopartikel.

Berbagai penelitian telah melaporkan bahwa nanopartikel magnetit tanpa modifikasi memiliki kestabilan termal yang rendah, memiliki kelarutan dalam air yang rendah dan dapat mengalami reaksi balik membentuk fasa intermediet FeOOH . Menyiasati hal tersebut, maka dilakukan pelapisan (*encapsulation*) pada berbagai material pendukung, seperti bentonit, silika, dan kitosan.

Menurut Riyanto (1994) dalam jurnal (Serly, 2009), Tanah bentonit mengandung kurang lebih 85% montmorilonit, dengan ciri-ciri antara lain : jika diraba licin, lunak, memiliki kilap lilin, berwarna pucat dengan penampakan putih, hijau muda, kelabu atau merah muda dalam keadaan segar dan jika telah lapuk berwarna merah kehitaman. Menurut Ogawa (1992), Kelompok montmorilonit paling banyak menarik perhatian karena montmorilonit memiliki kemampuan untuk mengembang (*swelling*) bila berada dalam air atau larutan organik serta memiliki kapasitas penukar ion yang tinggi sehingga mampu mengakomodasikan kation dalam antar lapisannya

dalam jumlah besar. Dengan memanfaatkan sifat khas dari montmorilonit tersebut, maka antar lapis silikat lempung montmorilonit dapat disisipi (diinterkalasi) dengan suatu bahan yang lain.

Dalam penelitian pembuatan Fe_3O_4 ini metode yang akan digunakan adalah metode kopresipitasi. Metode ini dinilai lebih cocok karena lebih mudah untuk dilakukan, bahan-bahan dan cara kerja yang digunakan juga lebih sederhana. Kelebihan dari metode ini adalah prosesnya menggunakan suhu rendah dan mudah untuk mengontrol ukuran partikel sehingga waktu yang dibutuhkan relatif singkat.

Pada penelitian ini akan disintesis suatu nanokomposit Fe_3O_4 -montmorilonit yang digunakan untuk mengadsorpsi logam berat. Pembuatan nanokomposit ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas adsorben sehingga dapat menyederhanakan proses pemisahan dan pemisahan dapat lebih baik dari material semula yang belum digunakan. Pasir besi yang digunakan dalam pembuatan nanokomposit ini berasal dari Sungai Simaritop yang berada di daerah Porsea, Sumatera Utara.

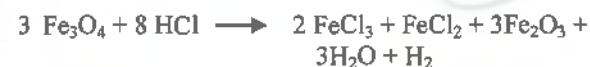
2. Metode Penelitian

2.1 Persiapan Bahan Dasar

Pasir hasil tambangan diayak dengan menggunakan saringan plastik untuk memisahkan antara pasir dan kerikil. Hasil dari pasir yang telah didapat dari proses pengayakan yaitu berupa pasir halus, kemudian pisahkan antara pasir biasa dengan pasir besi dengan menggunakan magnet permanen. Hasil pemisahan pasir besi dengan pasir biasa menggunakan magnet permanen adalah bahan dasar dari Fe_3O_4 . Setelah pasir besi dipisahkan dengan pasir biasa kemudian diballmill (digerus) dengan tujuan untuk menghaluskan pasir besi. Setelah itu pasir besi tersebut kemudian diayak dengan menggunakan ayakan 200 mesh. Pasir besi yang sudah diayak, dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dengan tujuan mengetahui kandungan Pasir besi tersebut.

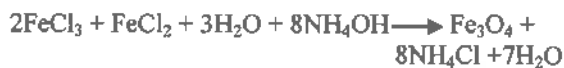
2.2 Sintesis Fe_3O_4 dengan menggunakan Metode Kopresipitasi

Pasir besi yang telah diekstrak dilarutkan dalam HCl (Molaritas = 12 M) dengan perbandingan 3:8, kemudian diaduk dan dipanaskan dalam magnetic stirrer pada suhu 70-90°C selama 20 menit dengan persamaan reaksi;



Setelah proses pengadukan selesai, maka hasil pengadukan yang berupa larutan dipisahkan dengan pengotornya dengan menggunakan kertas saring kemudian diambil larutannya. Cairan hasil saringan dilarutkan dalam NH_4OH (Molaritas = 6,5) dengan perbandingan 1 : 5 kemudian diaduk dan

dipanaskan dalam magnetic stirrer pada suhu 70-90 °C selama 20 menit dengan persamaan reaksi;



Hasil endapan Fe_3O_4 yang terbentuk (berwarna hitam pekat) dipisahkan dari larutannya yang kemudian dicuci berulang dengan menggunakan aquades sampai bersih dari pengotornya kemudian di saring. Cara pencuciannya adalah menempatkan hasil reaksi pada gelas ukuran besar, kemudian diberi aquades sebanyak yang bisa ditampung gelas itu, setelah itu magnet permanen ditempatkan dibawah gelas dengan tujuan bisa menarik Fe_3O_4 supaya mengendap lebih cepat. Apabila sudah terjadi endapan di dasar gelas air di dalam gelas di buang dengan penuangan yang hati-hati agar endapan kental berwarna hitam (Fe_3O_4) tidak ikut terbuang. Untuk mendapatkan serbuk partikel nano Fe_3O_4 , endapan dikeringkan dalam oven pada suhu sekitar 100°C selama 1 jam. Kemudian di karakterisasi dengan X-Ray Diffractometer (XRD) dan Vibrating Sample Magnetometer (VSM).

2.3 Sintesis Nanokomposit Fe_3O_4 dengan Montmorilonit

Sebanyak 13 gram Montmorilonit dilarutkan ke dalam air 200 ml dan diaduk dengan menggunakan magnetik stirrer. Kemudian dicampurkan 2,3 gram serbuk nanopartikel Fe_3O_4 , dengan perbandingan mol montmorilonit : nanopartikel Fe_3O_4 sebesar 1 : 1. Dipanaskan pada variasi suhu 40°C, 70°C, dan 100°C. Kemudian ditambahkan tetes demi tetes Larutan NaOH 5 M sampai 100 ml. Setelah itu nanokomposit dicuci dengan air bersih dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 100°C sehingga akan diperoleh nanokomposit yang memiliki sifat magnetik. Kemudian nanokomposit yang dihasilkan dikarakterisasi dengan Vibrating Sample Magnetometer (VSM) untuk mengetahui sifat kemagnetan nanokomposit tersebut.

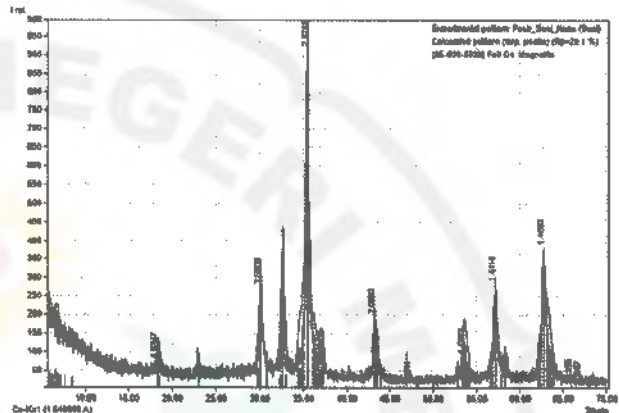
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis XRD (X-Ray Diffractometer)

Hasil Analisis Pola XRD (X-Ray Diffractometer) pasir besi dari sungai Simaritop, Kabupaten Porsea memiliki kandungan Fe_3O_4 yang cukup tinggi. Berdasarkan acuan refinement dapat diketahui bahwa pasir besi mengandung hampir 82,2% Fe_3O_4 dengan impuritasnya Fe_2O_3 sehingga pasir besi dari sungai Simaritop, dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan nanopartikel Fe_3O_4 dan juga dapat dilihat struktur Kristal Fe_3O_4 yaitu cubic dengan $a = b = c = 8.4045 \text{ \AA}$, sedangkan struktur Kristal untuk impuritasnya Fe_2O_3 yaitu cubic dengan $a = b = c = 8.3603 \text{ \AA}$. Dari Gambar 1 dapat dilihat adanya puncak-puncak tertinggi yaitu pada $2\theta : 35,4648^\circ; 32,6935^\circ; 62,6691^\circ$. Puncak maksimum

terdapat pada sudut $2\theta = 35,4648^\circ$ dengan jarak spasi 2,52913 Å.

Penentuan fase yang terbentuk pada Nanopartikel Fe_3O_4 menggunakan perangkat lunak Match berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil XRD, diperoleh gambar sebagai berikut :



Gambar 1. Pencocokan Fase Nanopartikel Fe_3O_4 dengan Magnetit

Berdasarkan gambar diatas, Nanopartikel Fe_3O_4 yang telah disintesis memiliki fase dominan Fe_3O_4 (Magnetit), dapat dilihat pola nanopartikel yang dikarakterisasi (warna biru) cocok dengan pola standar untuk fase Fe_3O_4 Magnetit (warnah merah) berdasarkan database pola XRD dengan nomor acuan 96-900-5840. Terdapat puncak-puncak khas yang merupakan puncak dari Nanopartikel Fe_3O_4 yang dirakterisasi pada $2\theta : 35,4648^\circ; 32,6935^\circ; 62,6691^\circ$ dengan intensitas 100; 38; 37, sedangkan intensitas untuk Fe_3O_4 Magnetit standar pada database yaitu 1000; 400,37 ; 337,36.

Nanopartikel dengan fase Fe_3O_4 Magnetit ini memiliki sistem kristal cubic dengan nilai $a = b = c = 8,3740 \text{ \AA}$, dengan memiliki massa jenis $5,23800 \text{ gr/cm}^3$. Dalam menentukan ukuran kristal masing-masing sampel dapat ditentukan, salah satunya menggunakan persamaan scherrer. Adapun persamaan scherrer adalah sebagai berikut :

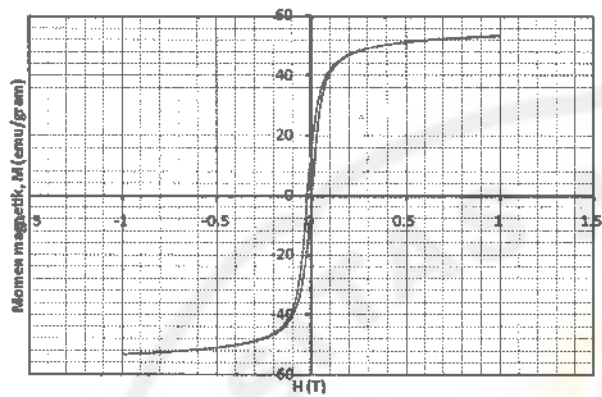
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Dari persamaan (1) tersebut, diperoleh ukuran kristal dari sampel nanopartikel Fe_3O_4 yaitu sebesar 34,8691 nm. Hasil ini sangat jauh berbeda jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yaitu sekitar 82,42 nm.

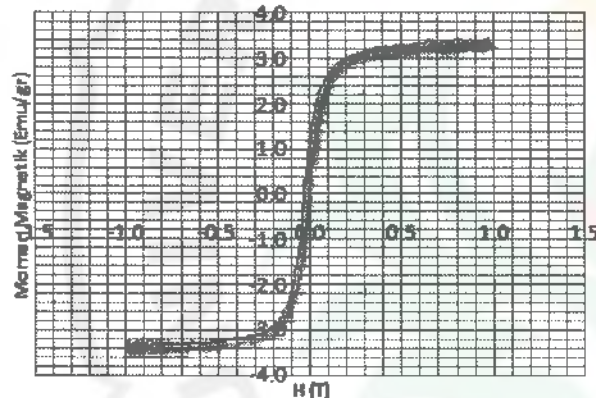
3.2 Analisis VSM (Vibrating Sample Magnetometer)

Analisis sifat magnet dilakukan menggunakan alat VSM (Vibrating Sample Magnetometer) di lahoratorium Magnetik-Bidang Zat Mampat-PTBIN-BATAN. Tipe VSM yang digunakan adalah VSM tipe Oxford VSM1.2H. Informasi yang didapatkan berupa besaran-besaran sifat megnatik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dengan kurva histeresis. Kurva

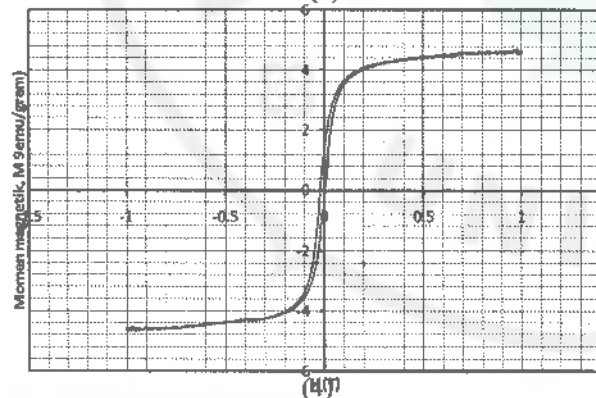
histeresis dapat menunjukkan hubungan antara magnetisasi (M) dengan medan magnet luar (H).



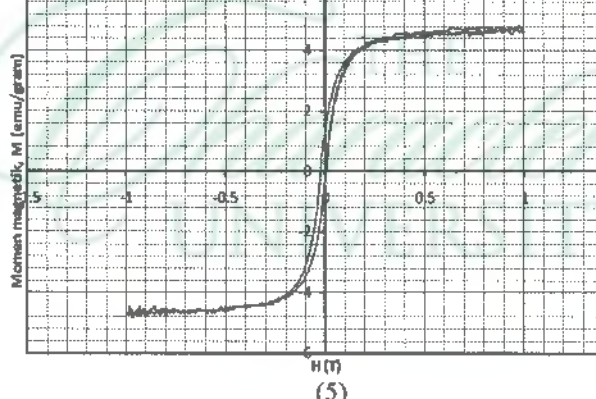
(2)



(3)



(4)



(5)

Gambar 2. Kurva Histeresis Nanopartikel Fe_3O_4 (2), nanokomposit Fe_3O_4 -Montmorilonit pada suhu $40^\circ C$ (3), $70^\circ C$ (4), $100^\circ C$ (5)

Berdasarkan Gambar 2 (2) menunjukkan bahwa nanopartikel Fe_3O_4 tergolong magnet lunak, karena dari kurva histeresis mempunyai urut balik yang hampir simetris ketika dikenai medan magnet maupun ketika medan magnet diiadakan. Atau dapat dilihat dari luasan kurva histeresis yang sempit. Luasan kurva histeresis menunjukkan energi diperlukan untuk magnetisasi. Pada magnet lunak, untuk magnetisasi memerlukan energi yang sangat kecil. Dari gambar 2 (2) dapat dilihat juga bahwa sifat dari nanopartikel Fe_3O_4 sendiri tetap bersifat ferrimagnetik.

Nilai magnetisasi saturasi (M_s) untuk serbuk Nanopartikel Fe_3O_4 adalah sebesar 52,15 emu/gr. Hal ini dapat disebabkan karena semakin kecil ukuran kristalnya jumlah domain magnetik dan batas domain magnetiknya juga semakin sedikit, sehingga nilai magnetisasi saturasinya (M_s) mengecil. Sedangkan nilai medan koersivitasnya yaitu sebesar 0,0121 Tesla, ini menunjukkan bahwa nanopartikel ini tergolong magnet lemah. Dan nilai magnetisasi remanen nanopartikel tersebut yaitu sebesar 8,565 emu/gram. Untuk lebih jelasnya nilai magnetisasi saturasi, medan koersivitas dan magnetisasi remanen dari masing-masing sampel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai magnetisasi saturasi (M_s), medan koersivitas (H_c) dan magnetisasi remanen (M_r) untuk masing-masing sampel

Sampel	M_s (emu/gr)	H_c (Tesla)	M_r (emu/gr)
Sampel A ($40^\circ C$)	3,365	0,0102	0,6135
Sampel B ($70^\circ C$)	4,635	0,0112	0,698
Sampel C ($100^\circ C$)	4,750	0,0136	0,8565

Dari Tabel 1 dapat dilihat juga bahwa nilai H_c (medan koersivitas) yang diperoleh dari sampel A, B, dan C berturut-turut adalah sekitar 0,0102 Tesla, 0,0112 Tesla, dan 0,0136 Tesla. Hasil ini memperlihatkan bahwa nilai H_c (medan koersivitas) semakin besar seiring dengan semakin bertambahnya suhu. Semakin besar H_c maka sifat kemagnetannya akan semakin kuat. Selain itu, nilai magnetisasi remanen yang dihasilkan dari sampel A, B, dan C berturut-turut yaitu 0,6135 emu/gr, 0,698 emu/gr, dan 0,8586 emu/gr. Hasil ini juga memperlihatkan bahwa semakin besar variasi suhu pembuatan nanokomposit tersebut maka akan semakin besar nilai (M_r) magnetisasi remanennya. Semakin besar nilai M_r maka akan semakin besar juga sifat kemagnetannya.

VSM menunjukkan bahwa nanokomposit Fe_3O_4 - Montmorilonit yang disintesis pada suhu $100^\circ C$ (sampel C) memiliki sifat kemagnetan yang lebih besar dibandingkan dengan nanokomposit Fe_3O_4 -Montmorilonit yang disintesis pada suhu $40^\circ C$ (sampel A), dan suhu $70^\circ C$ (sampel B). Hal ini membuktikan bahwa temperatur mempengaruhi reaksi pembentukan nanokomposit Fe_3O_4 -

Montmorilonit, karena dengan menaikkan suhu, energi gerak molekul bertambah dan tumbukan lebih sering terjadi sehingga reaksi dapat berlangsung lebih sempurna. Selain itu, sifat ketebalan lapisan baur atau jarak antar lembar montmorilonit yang bergantung terhadap suhu larutan. Semakin tinggi suhu larutan, semakin tebal lapisan baur montmorilonit. Ketika lapisan baur membesar, besi oksida nanopartikel akan lebih mudah masuk ke dalam ruang antar lembar montmorilonit sehingga menghasilkan nanokomposit yang memiliki sifat kemagnetan yang besar.

Pengaruh suhu pembuatan terhadap sifat kemagnetan nanokomposit ditunjukkan pada Tabel 1. Sifat kemagnetan nanokomposit yang disintesis pada suhu 100°C (sampel C) lebih besar dibandingkan dengan komposit yang disintesis pada suhu 40°C dan 70°C (sampel A dan B). Hal ini disebabkan oleh sifat kemagnetan besi oksida nanopartikel yang terbentuk di dalam nanokomposit yang dipengaruhi oleh suhu.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, Karakter nanokomposit Fe₃O₄-Montmorilonit yang diperoleh berwarna coklat kehitaman dan memiliki sifat magnet yang kuat. Karakter terbaik nanokomposit diperoleh pada perbandingan mol montmorilonit : nanopartikel Fe₃O₄ sebesar 1:1 dengan berat montmorilonit sebanyak 13 gram dan nanopartikel Fe₃O₄ sebanyak 2,3 gram yang disintesis pada suhu 100°C memiliki sifat kemagnetan lebih besar dibandingkan dengan sampel yang disintesis pada suhu 40°C dan 70°C. Semakin besar variasi suhu pembuatan nanokomposit Fe₃O₄ -Montmorilonit maka akan semakin besar juga nilai medan koersivitas (H_c) yang dihasilkan, sehingga sifat kemagnetannya juga akan semakin besar.

Untuk melengkapi hasil penelitian ini perlu dilakukan karakterisasi menggunakan x-ray fluorescence (XRF) terhadap nanokomposit untuk mengetahui komposisi unsurnya. Sampel juga sebaiknya dicirikan menggunakan SEM agar dapat ditentukan ukuran partikelnya. Dan perlu dilakukan uji aplikasi penyerapannya.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada sahabat, teman-teman serta bapak/ibu dosen fisika Unimed yang telah membantu dalam penelitian ini dan terimakasih atas kritik dan sarannya.

Daftar Acuan

- [1] Abdullah, M., Yudistira, V., Nirmin dan Khairurrijal, (2008), *Sintesis Nanomateria*, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1 : 33-57.
- [2] Agustiningrum, S., (2014), *Sintesis dan Karakterisasi Komposit Fe₃O₄-*

Montmorilonit yang didapatkan dari Lempung Alam, Skripsi, Yogyakarta: UIN Sunan Kalijaga

- [3] Cullity, (1972) dikutip dari penelitian Nugroho, Bayu., S.A, (2010), *Fabrikasi ferrogel dan karakterisasi magneto-elastisitasnya berbasis pasir besi Kediri*, Malang : Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- [4] Fisli, A. dan Yusuf, S., (2010), *Sintesis Nanokomposit Magnetik Berbasis Bahan Alam untuk Adsorben Thorium*, *Jurnal Sains Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN* Tangerang, Vol 11. No 2: 1-6
- [5] Hamzah, D., (2007), *Pembuatan, Pencirian dan Uji Aplikasi Nanokomposit Berbasis Montmorilonit dan Oksida Besi*, Laporan Tugas Akhir Jurusan Kimia, Institut Pertanian, Bogor.
- [6] Hosokawa, M, Kiyoshi, N., Makio ,N., dan Toyokazu, Y., (2007), *Nanoparticle Technology Handbook*, Elsevier B., All right reserved.
- [7] Hotmaria, D., (2014), *Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄ dengan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi*, Skripsi, Medan : FMIPA UNIMED
- [8] Ogawa, M., (1992), *Preparation of Clay-Organic Intercalation Compounds by Solid Reaction and Their Application to Photo-Functional Material*, Dissertation, Waseda University, Tokyo
- [9] Perdana, F.A., Malik., A.B., Mashuri., Triwikantoro, dan Darminto, (2013), *Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄ dengan Template PEG-1000 dan Karakterisasi Sifat Magnetiknya*, *Jurnal Material dan Energi Indonesia* Vol.1, No.01
- [10] Raya, I., (1998), *Studi kinetika Adsorpsi Ion Logam Al(III) dan Cr(III) pada adsorben chaetoceros calcitrans yang Terimobilisasi pada Silika Gel*, Thesis, FMIPA UGM, Yogyakarta
- [11] Riyanto, A., (1994), *Bahan Galian Industri Bentonit*, Bandung: Direktorat Jendral Pertambangan Umum, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral.
- [12] Smallman, R., (2000), *Metallurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material (Edisi keenam ed.)*, (S. Djaprie, Penerj.) Erlangga, Jakarta.
- [13] Sholihah, L.K., (2010), *Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe₃O₄ yang Berasal Dari Pasir Besi dan Fe₃O₄ Bahan Komersial (Aldrich)*, Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [14] Trisa, S.P., (2011), *Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Ukuran Nanopartikel fe₃O₄ menggunakan template peg-4000*, Skripsi, FMIPA, Universitas Andalas.