

Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis *Magnetite* Menggunakan Arus *continue Direct Current*

Sylvina Tebriani

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, FMIPA UNAND

Email: tebrianisylvina@gmail.com

Abstrack- A magnetite (Fe_3O_4) thin film was grown on the Indium Thin Oxide (ITO) substrate by the Electrodeposition (ED) method, using the Continue Direct Current (CDC). Characterization with VSM is done to obtain information about the magnitudes of magnetic properties as a result of changes in the external magnetic field depicted in the hysteresis curve. VSM characterization results showed that the electrodeposited magnetite thin films were paramagnetic, both for electrolyte solutions without ethylene glycol and electrolyte solutions that were dropped by ethylene glycol. Based on the comparison of the hysteresis pattern between samples that were characterized without surfactants, or those added with 10% surfactant to their solvents, it was said that the addition of ethylene glycol to base solution, affected the response of the material to the given external magnetic field. Samples with surfactants 10% have a greater slope than samples without surfactants, in other words samples without surfactants (by heating) are faster magnetized compared to the addition of surfactants.

Abstrak - Telah dilakukan penumbuhan lapisan tipis magnetite (Fe_3O_4) di atas substrat *Indium Thin Oxide (ITO)* dengan metode *Elektrodeposisi (ED)*, menggunakan arus *Continue Direct Current (CDC)*. Karakterisasi dengan VSM dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva *histerisis*. Hasil karakterisasi VSM menunjukkan bahwa lapisan tipis *magnetite* hasil elektrodeposisi bersifat paramagnetik, baik untuk larutan elektrolit tanpa *ethylene glycol* maupun larutan elektrolit yang ditetesi *ethylene glycol*. Berdasarkan perbandingan pola hysteresis antara sampel yang dikarakterisasi tanpa surfaktan, maupun yang ditambahkan surfaktan 10% terhadap elarutnya, dikatakan bahwa penambahan *ethyleneglycol* pada larutan induk, mempengaruhi respon bahan terhadap medan magnet eksternal yang diberikan. Sampel dengan surfaktan 10% mempunyai kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa surfaktan, dengan kata lain sampel tanpa surfaktan (dengan pemanasan) lebih cepat termagnetisasi dibandingkan dengan penambahan surfaktan.

Kata Kunci : *Magnetite, Elektrodeposisi, Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*

PENDAHULUAN

Lapisan tipis merupakan bahan tipis dalam jangkauan beberapa nanometer atau nanolayer yang dibentuk oleh susunan dan penggabungan sifat-sifat atom. Lapisan tipis dibuat dengan teknik penumbuhan atom atau

partikel pada permukaan substrat dengan ketebalan sampai orde mikrometer. Sifat umum lapisan tipis dari suatu bahan berbeda dengan bahan padatan, hal ini disebabkan oleh perbedaan proses preparasinya, komposisi, morfologi dan strukturnya. Berbagai bahan yang memiliki

potensi sebagai semikonduktor telah banyak diteliti, mulai dari bahan yang memiliki sifat fotokatalis, *magnetic storage* dan dielektrik. Lapisan tipis ferromagnetik oksida dapat digunakan sebagai bahan memori penyimpanan data yang terdiri atas bagian multilayer magnetik untuk menyimpan informasi [12].

Sifat-sifat lapisan tipis yang ditumbuhkan dapat dimodifikasi sesuai dengan tujuan penerapannya. Kemampuan suatu bahan untuk diaplikasikan tidak terlepas dari inovasi terhadap unsur penyusun utama lapisan tipis, salah satu contohnya adalah mineral magnetik. Istilah mineral magnetik biasanya digunakan untuk mineral-mineral yang tergolong ferromagnetik. Mineral magnetik biasanya berasal dari keluarga besi titanium oksida, sulfida besi dan hidroksi besi. Secara umum mineral magnetik dapat dikelompokkan menjadi *magnetite* (Fe_3O_4), *hematite* (α Fe_2O_3), dan *maghemite* (γ Fe_2O_3). Ketiga bentuk oksida besi ini sangat berguna dalam teknologi.

Magnetite merupakan mineral magnetik yang terkuat dengan komposisi kimia Fe_3O_4 , dan magnetisasi $90 \text{ Am}^2/\text{kg}$ sampai dengan $93 \text{ Am}^2/\text{kg}$ [4]. *Magnetite* dapat dimanfaatkan dalam berbagai aspek seperti perekat tinta magnetik, media perekam magnetik dan katalis. Pemanfaatan *magnetite* semakin meluas dengan dikembangkannya *magnetite* dalam dimensi nanometer [chuming] [ghaire] [Liu]. Daya tarik material *magnetite* terletak pada sifat-sifat uniknya yaitu sifat kemagnetannya yang berbeda dengan material ukuran *bulk*, serta luas reaktivitas permukaannya yang besar. *Magnetite* dalam dimensi nano bersifat superparamagnetik dan dapat dimanipulasi oleh suatu medan eksternal tertentu [9]. Respon yang kuat terhadap medan magnet luar menjadikan *magnetite* sangat berguna untuk kepentingan riset dan dalam dunia industri yang berbasis kemagnetan, misalnya

dalam hal rekayasa elektronika, pembuatan magnet permanen, industri baja, sampai untuk pembuatan *thin film* [14]. *Magnetite* sebagai bahan ferromagnetik oksida dapat digunakan sebagai bahan memori penyimpanan data sebagai bagian multilayer magnetik untuk menyimpan informasi [12], untuk itu maka perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang sifat fisis bahan *magnetite* yang dibuat dalam bentuk lapisan tipis. Terdapat sejumlah teknik deposisi untuk penumbuhan film tipis *magnetite*, beberapa diantaranya antara lain *Chemical Vapor Deposition (CVD)*, *Physical Vapor Deposition (PVD)*, elektrodeposisi, *spraying*, dan *spin coating*. Setiap metoda ini memiliki hasil pelapisan yang berbeda tergantung pada proses penumbuhannya.

Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk membuat lapisan tipis *magnetite* adalah secara elektrodeposisi karena lebih mudah dilakukan. Metode elektrodeposisi adalah adalah teknik yang paling sederhana dan ekonomis. Oleh karena itu metoda ini menjadi motivasi kerja bagi peneliti untuk menyelidiki penumbuhan film tipis *magnetite* melalui metoda elektrodeposisi. Proses elektrodeposisi dapat dilakukan dengan menerapkan arus searah (CDC) dan arus pulsa (PDC).

Pada penelitian ini elektrodeposisi ini dilakukan dalam sel yang terdiri dari larutan yang mengandung $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ yang diencerkan dengan alkohol 97%. Proses dilakukan dengan menggunakan arus searah (CDC) dengan variasi tanpa surfaktan dan dengan penambahan surfaktan (volume 10% terhadap pelarutnya). Surfaktan yang digunakan adalah *ethylen glycol*, karena bersifat adhesif dengan daya rekat tinggi terhadap substrat serta pada katoda digunakan kaca yang dilapisi *Indium Tin Oxide (ITO)* yang bersifat konduktor.

METODOLOGI

Persiapan Substrat untuk Media Tumbuh Lapisan Tipis

Substrat sebagai media penumbuhan lapisan tipis dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 0,5 cm. Setelah dipotong, sisi tempat pemotongan dibersihkan dengan cara di gosok dengan amplas halus, kemudian kaca ITO dibersihkan dengan menggunakan *aquades* dan selanjutnya kemudian dibilas dengan alkohol untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel pada ITO. Kaca kemudian dikeringkan agar siap untuk digunakan.

Pembuatan Larutan $Fe_2(SO_4)_3$

Pembuatan larutan diawali dengan larutan $Fe_2(SO_4)_3$ untuk konsentrasi 0,1 M. Pembuatan larutan dilakukan dengan cara menimbang sejumlah massa $Fe_2(SO_4)_3$, dan dilanjutkan dengan penambahan alkohol sampai volume yang diinginkan. Kemudian larutan tersebut diaduk di dalam gelas *beacker* menggunakan *magnetic stirer* kurang lebih selama 4 jam. Tujuan dari pengadukan ini agar semua bahan yang dicampurkan dapat menjadi campuran yang homogen dan tidak mengendap.

Larutan Ethylen Glycol ($C_2H_6O_2$) sebagai Surfaktan

Sejumlah volume $C_2H_6O_2$ ditentukan, untuk menghasilkan surfaktan dengan konsentrasi 10% terhadap pelarutnya. Pembuatan larutan dilakukan dengan cara mengambil sejumlah volume $C_2H_6O_2$ dan diencerkan dengan alkohol dalam labu ukur, kemudian larutan tersebut diaduk di dalam gelas *beacker* menggunakan *magnetic stirer* selama 1 jam.

Elektrodeposisi

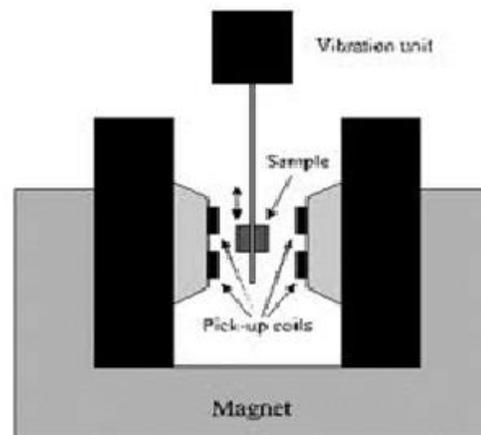
Pada katoda digunakan kaca ITO yang telah dipersiapkan sebelumnya, sedangkan pada anoda digunakan Platinum (Pt). Pada tahap awal, akan dilakukan proses elektrodeposisi dengan konsentrasi 0,1 M dengan tegangan eksternal 3,5 volt, tanpa

penambahan surfaktan. Deposisi dilakukan selama 2 jam.

Tahap selanjutnya dilanjutkan dengan melakukan proses elektrodeposisi dengan konsentrasi 0,1 M dengan tegangan eksternal 3,5 volt selama 2 jam, dengan penambahan surfaktan *ethylen glycol*. Proses elektrodeposisi dilakukan dengan rasio volume surfaktan 10% terhadap pelarutnya. Deposisi juga dilakukan selama 120 menit. Sampel hasil deposisi dikeringkan dan dipotong dan di panaskan pada suhu 400°C selama 1 jam.

VSM (Vibrating Sample Magnetometer)

Vibrating Sample Magnetometer (VSM) merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mengetahui dan mempelajari sifat magnetik bahan. Karakterisasi dengan VSM menghasilkan informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva *histerisis*. Alat ini merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mempelajari sifat magnetik bahan. Sifat magnetik pada bahan terjadi sebagai akibat dari perubahan suhu, dan sifat-sifat magnetik sebagai fungsi sudut pengukuran atau kondisi anisotropik bahan.

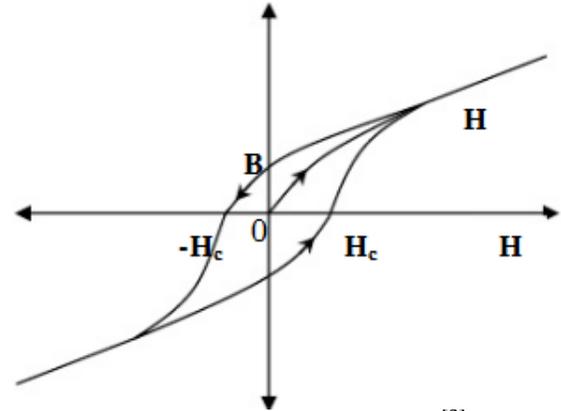


Gambar 2.10
Prinsip kerja VSM

Prinsip kerja VSM adalah, saat sampel ditepatkan pada medium preparat, yang berada ditengah perangkat. Sampel diletakkan pada ujung batang medium preparat yang dipasang pada sebuah transduser elektromekanis. Sampel akan diletakkan dalam medan magnet yang seragam. Setelah induksi magnet dilakukan, maka pada sampel akan menunjukkan sinyal berupa getaran sinusoidal dalam medium *pick-upcoil*. Sinyal yang dihasilkan sebanding dengan amplitudo dan medan magnet partikel. Sinyal akan dikirim ke penguat diferensial. Keluaran dari penguat diferensial ini akan diproses di amplifier yang menerima sinyal referensi. Proses identifikasi akan menghasilkan sinyal DC proporsional yang menunjukkan informasi mengenai momen magnetik sampel yang dianalisis. Sinyal tersebut akan membentuk suatu keluaran berupa kurva *histerisis*.

Kurva Histerisis

Secara bahasa histerisis berarti tertinggal, yaitu fluks magnet tertinggal oleh kenaikan atau penurunan gaya magnetisasi. Kurva histerisis akan menunjukkan karakteristik bahan magnetik. Arus yang berbalik menyebabkan berbaliknya arah medan magnet dari $+H$ menjadi $-H$, begitu juga dengan kerapatan fluks juga mengalami polaritas terbalik menjadi $+B$ atau $-B$. Ketika bahan tidak dipengaruhi oleh kemagnetan dari luar, maka arus akan berawal dari nol.



Gambar 2.3 Kurva histerisis ^[3]

Hubungan antara B dan H tidak linear. Dengan menaikkan harga H , mula-mula B ikut naik dengan lancar, tetapi pada saat tertentu, kenaikan harga H hanya menyebabkan kenaikan kecil pada B dan semakin lama nilai B menjadi konstan. Nilai medan magnet pada keadaan ini, disebut juga dengan medan magnet saturasi. Pada bahan ferromagnetik, setelah mencapai saturasi dan intensitas medan magnetik H diturunkan hingga mencapai nol, maka kurva B yang dihasilkan tidak melewati jalur semula, dengan kata lain saat $H = 0$, nilai $B \neq 0$ yang disebut dengan induksi remanen (B_r).

Setelah mencapai nilai nol, nilai H dibuat negatif, maka nilai B akan mencapai nol, nilai intensitas ini disebut juga dengan koersivitas bahan (H_c). Nilai H terus diperbesar hingga mencapai saturasi lagi, dan membentuk lintasan tertutup yang disebut dengan kurva histerisis.

Sifat Kemagnetan Bahan

Material atau bahan tersusun dari atom-atom atau molekul-molekul. Atom-atom tersebut terdiri atas inti atom dan elektron yang bergerak mengelilingi intinya. Akibat dari gerakan elektron mengelilingi intinya timbul momen dipol magnetik yang akan menghasilkan arus listrik. Aliran arus listrik tersebut akan menyebabkan timbulnya

medan magnet, disimbolkan dengan H yang merupakan besaran vektor.

Kemagnetan dapat dikatakan sebagai suatu fenomena alami yang paling dasar. Semua bahan bersifat magnet, hanya saja beberapa bahan lebih magnetis dari yang lain [8]. Sifat kemagnetan berasal dari orbital dan gerakan spin serta interaksi elektron dengan yang lainnya. Sifat magnetik dari suatu bahan, sangat bergantung pada kandungan mineral magnetik, ukuran bulir magnetik, temperatur dan tekanan. Salah satu cara untuk menentukan tipe mineral penyusun suatu bahan adalah dengan melihat respon bahan tersebut terhadap medan magnetik.

Berdasarkan sifat magnetiknya suatu bahan dapat digolongkan menjadi tiga bagian yaitu:

Bahan Diamagnetik

Bahan diamagnetik mempunyai resultan medan magnet atomis masing-masing atom atau molekulnya adalah nol. Sifat diamagnetik dimiliki oleh semua bahan, meskipun biasanya sifat ini sangat lemah^[8]. Diamagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) negatif dan kecil^[13].

Bahan diamagnetik tidak mempunyai momen dipol magnet permanen. Apabila dilewatkan medan magnet terhadap bahan ini maka akan menghasilkan induksi magnetik yang kecil dan melawan arah medan magnet yang digunakan. Bahan diamagnetik ketika ditempatkan dalam medan magnet, memiliki momen magnet yang menyebabkan dalam dirinya melawan arah medan magnet dari luar. Dalam bahan diamagnetik, semua spin elektronnya berpasangan, sehingga bahan tidak menarik garis gaya.

Permeabilitas bahan diamagnetik $\mu < \mu_0$, dan suseptibilitas magnetiknya $\chi_m < 0$. Magnetisasinya sebanding dengan medan magnet (H) yang digunakan. Magnetisasi tersebut akan berkurang atau nol jika medan

magnet (H) dihilangkan. Contoh bahan yang termasuk diamagnetik diantaranya bismuth, tembaga, emas, perak, seng, garam dapur^[4].

Bahan Paramagnetik

Paramagnetik merupakan mineral yang tersusun dari atom-atom yang memiliki momen dipol magnet, tetapi tidak ada interaksi antara momen dipol magnet pada atom yang berdekatan dan menghasilkan induksi magnetik yang sejajar dengan medan magnet (H) yang digunakan^[4]. Material paramagnetik akan ditarik ketika diberi medan magnet dari luar. Penjajaran *dipole* magnet dengan medan magnet cenderung untuk memperkuat medan magnet.

Permeabilitas bahan paramagnetik adalah $\mu > \mu_0$, resultan momen magnet masing-masing atom atau molekulnya tidak nol dan memiliki suseptibilitas magnetik (χ) positif ($\chi_m > 0$) dan nilainya kecil [13]. Bahan paramagnetik tersusun atas atom-atom yang memiliki momen magnet tetapi tidak berinteraksi antara momen atom yang berdekatan dan menghasilkan induksi magnetik yang sejajar dengan medan magnet (H) yang digunakan.

Sebagaimana bahan diamagnetik, magnetisasi dari bahan paramagnetik akan berkurang menuju nol saat medan magnetnya dihilangkan^[8]. Sifat dari bahan paramagnetik tidak memperlihatkan efek magnetik jika medan magnetik luarnya tidak ada. Jika kita pasang medan magnetik luar, arah momen magnetiknya cenderung untuk berbaris searah dengan medan magnet luar sehingga menunjukkan efek paramagnetik^[11].

Bahan Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik mempunyai resultan medan magnetis atomis besar dan sangat baik sebagai magnet permanen. Hal ini disebabkan oleh momen magnetik spin elektron. Pada bahan ferromagnetik, banyak spin elektron yang tidak berpasangan. Masing-masing spin elektron yang tidak

berpasangan ini akan memberikan medan magnetik, sehingga total medan magnetik yang dihasilkan oleh suatu atom lebih besar [3]. Bahan ferromagnetik menahan gaya magnet ketika medan magnet eksternal dihilangkan atau dikurangi. Efek ini adalah hasil dari interaksi kuat antara momen magnet atom-atomnya atau elektron dalam substansi magnetik yang menghasilkan momen magnet sejajar satu terhadap yang lain. Biasanya material ferromagnetik dibagi ke dalam daerah-daerah di sebut domain. Dalam setiap domain, momen atomiknya memiliki arah yang sejajar satu dengan yang lain. Jika diberi medan dari luar kemudian medan dikurangi hingga menjadi nol maka bahan ferromagnetik akan menunjukkan kurva histerisis [8].

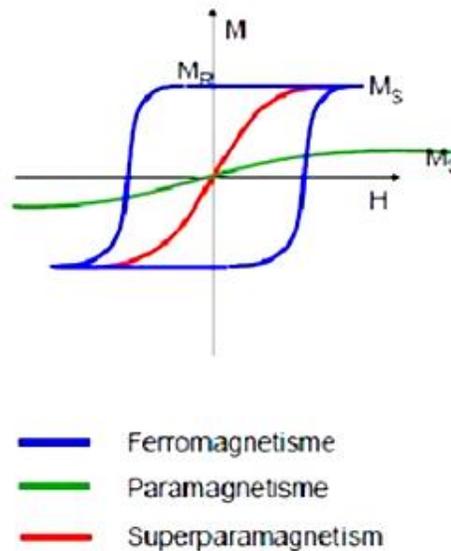
Permeabilitas bahan ferromagnetik adalah $\mu \gg \mu_0$, serta memiliki susceptibilitas magnetik (χ) positif dan besar yaitu sekitar 106 kali dari diamagnetik atau paramagnetik [13]. Sifat kemagnetan bahan ini dipengaruhi oleh kondisi temperatur, yaitu pada temperatur di atas temperatur Curie maka sifat kemagnetannya akan hilang [4]. Bahan ferromagnetik ini terdiri atas atom-atom yang memiliki momen magnetik, tetapi tidak seperti kasus pada bahan paramagnetik, momen atom yang berdekatan saling berinteraksi. Akibat dari interaksi ini menghasilkan magnetisasi yang lebih besar dibandingkan dengan bahan paramagnetik untuk medan magnetik yang sama. Pada bahan ferromagnetik ada saat dimana magnetisasinya maksimum yang dikenal dengan magnetisasi saturasi. Contoh bahan ferromagnetik adalah baja, besi, besi silikondan lain-lain.

Suatu respon khusus dari ferromagnetik ditemukan dalam kelompok bahan yang dikenal sebagai antiferromagnetik. Dalam bahan ini, momen magnetik tersusun sejajar tetapi dengan arah yang berlawanan sehingga tidak ada momen magnetik total pada saat medan magnetik

luar dihilangkan. Bahan yang mempunyai momen magnetik yang sejajar dan berlawanan arah tersebut mempunyai kekuatan yang tidak sama, dikenal sebagai ferrimagnetik. *Magnetit* dan *ferrites* termasuk ke dalam kelompok ferrimagnetik.

Bahan Superparamagnetik

Superparamagnet adalah material yang mirip dengan paramagnet tetapi mengandung juga sifat material ferromagnet atau mengandung domain magnet dalam ukuran kecil yang berbentuk kelompok (*cluster*) seperti *crystallite*. Sifat superparamagnet timbul pada material yang berukuran kecil (1-10 nm). Dalam kondisi di bawah temperatur *Curie*, energi termal tidak cukup memisahkan interaksi gaya antara atom-atom tetapi hanya cukup untuk mengubah arah magnetisasi di dalam domain tersebut. Proses ini menyebabkan medan magnet menjadi nol dan material akan menyerupai material paramagnet [15].



Gambar 2.1 Histerisis ferromagnetik, paramagnetik, dan superparamagnetik

Superparamagnetik adalah keteraturan sifat magnetik bahan yang terbentuk hanya pada saat ada medan magnet luar. Pada medan magnet luar sama dengan nol maka bersifat paramagnetik.

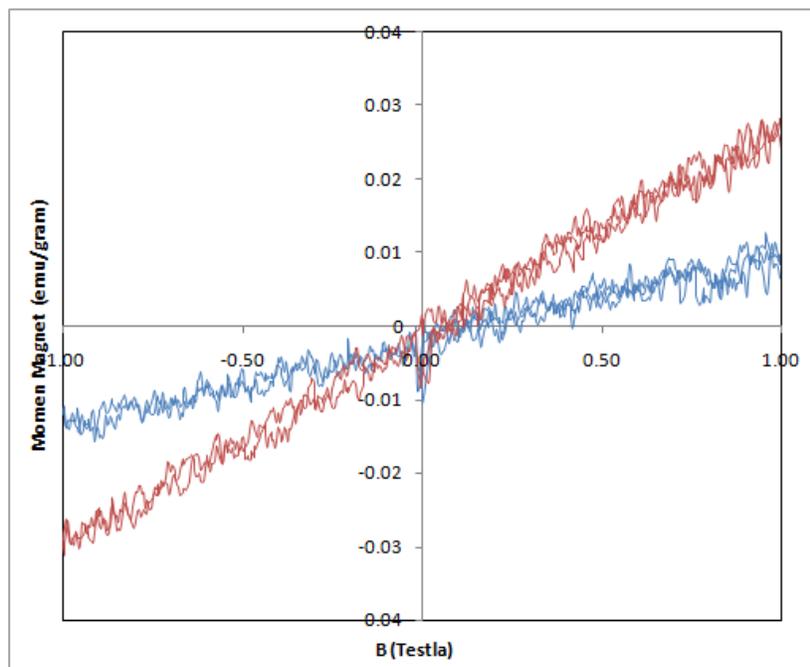
Sifat ini dapat timbul pada bahan magnetik dengan ukuran partikel yang semakin kecil sampai berukuran nano. Bahan superparamagnetik timbul dari bahan feromagnetik yang berukuran sangat kecil (nano) yang membentuk domain magnetik yang mempunyai derajat kebebasan yang tinggi. Bahan superparamagnetik ini ketika diberi medan magnet yang tinggi maka akan terbentuk magnetisasi saturasi^[2].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian terdahulu^[16] telah dilakukan analisa pengaruh surfaktan *ethylene glycol* terhadap penumbuhan lapisan tipis magnetite. Dari penelitian tersebut didapatkan suatu kesimpulan bahwa surfaktan berperan sebagai pengontrol ukuran kristal dan jarak antar bidang kristal *magnetite*. Kondisi tanpa penambahan surfaktan menghasilkan ukuran kristal dan jarak antar bidang kristal yang lebih besar dari pada sampel dengan penambahan surfaktan *ethylene glycol*. Konsentrasi surfaktan yang terlalu pekat justru membuat

ukuran kristal semakin besar membentuk misel (penggumpalan atau agregasi dari molekul-molekul). Jadi, untuk mendapatkan *magnetite* dengan ukuran kristal yang lebih kecil, perlu diperhatikan perbandingan konsentrasi surfaktan *ethylene glycol* terhadap pelarutnya.

Pada penelitian kali ini akan diulas bagaimana perbedaan hasil karakterisasi VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) untuk lapisan tipis hasil karakterisasi tanpa menambahkan surfaktan terhadap sampel yang dikarakterisasi dengan penambahan surfaktan 10%. Hasil karakterisasi VSM menghasilkan kurva seperti Gambar 4.13. Berdasarkan bentuk perubahan momen magnet terhadap medan luar yang diterapkan, maka dapat dikatakan bahwa *magnetite* hasil deposisi mempunyai sifat paramagnetik, jika diberi medan magnet dari luar maka bahan akan termagnetisasi. Magnetisasinya akan ikut terus bertambah seiring dengan penambahan besar medan magnet luar.



Gambar 4.13. Perbandingan pola hysteresis sampel tanpa surfaktan (merah) dan sampel menggunakan surfaktan 10% dengan pemanasan 400°C

Berdasarkan perbandingan pola hysteresis kedua sampel, dapat dianalisis bahwa kedua sampel bersifat paramagnetik. Penambahan *ethyleneglycol* pada larutan induk, mempengaruhi respon bahan terhadap medan magnet eksternal yang diberikan, terlihat dari Gambar 4.13 bahwa sampel dengan surfaktan 10% mempunyai kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa surfaktan, dengan kata

lain sampel tanpa surfaktan (dengan pemanasan) lebih cepat termagnetisasi dibandingkan dengan penambahan surfaktan.

Mengacu pada hasil karakterisasi XRD pada penelitian terdahulu (tebriani, 2013) yang terlihat pada table dibawah ini :

Tabel 1. Hasil perhitungan ukuran kristal *magnetite* berdasarkan data XRD

No	Nama Sampel	% V Surfaktan	Kuat Arus	Ukuran Kristal <i>magnetite</i>	Keterangan
1	A.1	0	4,03 mA	tidak terbentuk <i>magnetite</i>	Tanpa pemanasan
2	A.2	0	4,03 mA	46,589	Dengan pemanasan 400°C
3	B	1	4,09 mA	32,617	Dengan pemanasan 400°C
4	C	2	3,96 mA	32,617	Dengan pemanasan 400°C
5	D	10	230,88 μ A	40,768	Dengan pemanasan 400°C

Dari tabel 1 diatas didapatkan informasi bahwa ukuran kristal sampel tanpa surfaktan (dengan pemanasan) lebih besar daripada sampel dengan penambahan surfaktan. Sifat magnet dipengaruhi oleh ukuran partikel dan ukuran kristal dari material. Semakin besar perbandingan antara ukuran partikel terhadap ukuran kristal, maka jumlah kristal penyusun partikel semakin banyak akibatnya domainnya semakin jamak dan bahan akan sulit untuk dipengaruhi oleh medan magnet dari luar. Magnetisasi bahan akan menjadi lebih kecil dan bahan akan bersifat paramagnetik.

Material paramagnetik mempunyai kemiripan sifat dengan superparamagnetik, tetapi pada bahan superparamagnetik nilai magnetisasinya akan mencapai nilai saturasi pada besar magnet tertentu, sehingga sifat kemagnetannya dapat dikendalikan. Sifat paramagnetik terdapat pada material yang ukurannya lebih besar daripada superparamagnetik. Material paramagnetik mudah termagnetisasi akan tetapi sifat magnetiknya mudah hilang, jika pengaruh

medan dari luar di hilangkan. Momen magnetik material paramagnetik searah dengan medan eksternal sehingga menghasilkan suseptibilitas positif.

Jika ukuran partikel mendekati ukuran kristal berarti bahwa dalam 1 partikel terdapat 1 buah kristal, dan domainnya tunggal (*single domain*). Bahan yang mempunyai domain tunggal akan mudah menyearahkan diri terhadap arah medan luar yang diberikan. Kemampuan bahan untuk termagnetisasi menjadi lebih besar, atau dengan kata lain respon bahan terhadap medan eksternal lebih cepat, dan pada saat tertentu akan tercapai megentisasi saturasi, Material dengan sifat-sifat tersebut, akan mempunyai sifat magnet superparamagnetik. Bahan magnetik akan berperilaku superparamagnetik jika bahan terdiri dari kristalit yang sangat kecil yaitu kecil dari 10 nm [6]. Agar mendapatkan *magnetite* dengan sifat superparamagnetik, ukuran kristal harus diperkecil sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media penyimpanan data.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa lapisan tipis *magnetite* hasil elektrodeposisi bersifat paramagnetik, baik untuk larutan elektrolit tanpa *ethylene glycol* maupun larutan elektrolit yang ditetesi *ethylene glycol*. Sampel dengan surfaktan 10% mempunyai kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan sampel tanpa surfaktan, dengan kata lain sampel tanpa surfaktan (dengan pemanasan) lebih cepat termagnetisasi dibandingkan dengan penambahan surfaktan.

REFERENSI

- [1] Abdullah, M, 2009, *Pengantar Nanosains*, Bandung, ITB
- [2] Afandi, S., 2006. *Sintesa dan Karakterisasi Partikel Magnetik Submikron Berbasis Oksida Fe dan Polimer Polilaktat (PLA)*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [3] Billah. A., 2006, *Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit dengan Bahan Dasar Pasir Besi*, Universitas Negeri Semarang.
- [4] Butler, R. F. 1992, *Paleomagnetism: Magnetik Domains to Geologic Teranes*. Boston: Blackwell Scientific Publications.
- [5] Chumming, J. and Xiangqin, L., 2009, *Electrochemical Synthesis of Fe₃O₄-PB Nanoparticles with Core-Shell Structure and its Electrocatalytic Reduction Toward H₂O₂*, J. Solid State Electrochem. 13: 1273-1278.
- [6] Eken, A.E., 2008, *Characterization of Magnetite Thin Films Produced by Sol-Gel Processing*, Metallurgical and Materials Engineering Department, Middle East Technical University.
- [7] Gaihre, B., Khil, M.S., Lee, D.R., Kim, H.Y., 2009, *Gelatin-coated Magnetic Iron Oxide Nanoparticles as Carrier System: Drug Loading and In Vitro Drug Release Study*, Inter. J. Pharm. 365: 180-189.
- [8] Hunt, C. P., 1991, *Handbook From The Environmental Magnetism Workshop*. Minneapolis: University Of Minnesota.
- [9] Jia, X., Tan, L., Zhou, Y., Jiang, X., Xie, Q., Tang, H., Yao, S., 2009, *Magnetic Immobilization and Electrochemical Detection of Leukemia K562 Cells*, Electrochem. Commun. 11: 141-144.
- [10] Liu, T.Y., Hu, S.H., Liu, D.M., Chen, S.Y., Chen, I.W., 2009, *Biomedical Nanoparticle Carriers with Combined Thermal and Magnetic Responses*, NanoToday 4: 52-65.
- [11] Loeksmanto, W (1993), *Medan Elektromagnetik*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Dirjen Pendidikan Tinggi.
- [12] Siyambalapatiya, Chamila S., 2006, *Growth And Physical Properties of Magnetite Thin Films*, Graduate School Theses and Dissertations. Paper 2705.
- [13] Sulistijo, Budi, Sumardi, Darmawan., Heriawan, Nur, Riyanto, Yana Rahmat., 2002, *Geofisika Cebakan Mineral II*. Penerbit ITB. Bandung.
- [14] Yulianto, A. Bijaksana S, Loeksmanto W. (2002), *Karakterisasi Magnetik dari Pasir Besi Cilacap*. Jurnal Himpunan Fisika Indonesia vol. A5 no. 0527.
- [15] Sumarlin., 2011. *Material Magnetik Dasar Superparamagnetik*. Universitas Hauluoleo, Kendari.
- [16] Tebriani, S., 2013, *Analisa Pengaruh Tegangan Terhadap Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Arus Continue Direct Current*. Universitas Islam Negeri Imam Bonjol, Padang.