

KARAKTERISTIK MAGNETIK LAPISAN TIPIS Ni-Fe SEBAGAI *FLAT CORE FLUX GATE* SENSOR

MAGNETIC CHARACTERISTIC OF Ni-Fe THIN FILMS AS FLAT-CORE FLUX GATE SENSOR

B. Purnama*, H.S.B.R. Prihanto, D.S. Artono, Suharyana

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret

Diterima: 10 April 2013. Disetujui: 2 Mei 2013. Dipublikasikan: Juli 2013

ABSTRAK

Karakteristik magnetik lapisan tipis Ni-Fe hasil elektrodeposisi sebagai *flat core flux gate* sensor didiskusikan pada makalah ini. Lapisan tipis Ni-Fe dideposisi di atas substrat *printed circuit board* (PCB) dengan variasi komposisi Ni dan rapat arus J. Untuk memperoleh kualitas lapisan tipis yang baik, zat aditif vanily digunakan untuk mengurangi laju deposisi untuk keseluruhan eksperimen. Hasil menunjukkan modifikasi karakteristik magnetik hasil vibrating sample magnetometer karena perubahan parameter penumbuhannya. Koersif field (H_c) meningkat dengan kenaikan prosentase komposisi Ni pada lapisan tipis yang terbentuk. Sedangkan H_c tidak membentuk pola tertentu dengan modifikasi apat arus J. Akhirnya magnetisasi jenuh maksimum $m_s = 0.72$ emu/gr diperoleh untuk prosentase Ni = 51%, dan $m_s = 0.43$ emu/gr untuk $J = 5$ mA/cm². Klarifikasi dengan STM, hal ini akibat perubahan struktur mikroskopik lapisan tipis Ni-Fe.

ABSTRACT

This paper discusses magnetic characteristic of Ni-Fe permalloy thin film produced by electro deposited as flat core flux gate sensor. Ni-Fe thin films were deposited on printed circuit board (PCB) substrates with variation of composition in Ni percentage and current density J. In order to obtain high quality thin films, an additive ingredient of vanily was used to reduce rate deposition for whole experimental procedure. Experiment results showed that modified of magnetic characteristic evaluated by vibrating sample magnetometer was caused by the modified of deposition parameters. Coersive field (H_c) increased with the increase of percentage of Ni composition, while the H_c did not form any particular pattern by modifying current density J. Finally, maximum saturated magnetization $m_s = 0.72$ emu/gr was attained for percentage Ni of 51% and $m_s = 0.43$ emu/gr for $J = 5$ mA/cm². Clarification by using STM showed that this was caused by the change of microscopic structure in Ni-Fe thin films.

© 2013 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: electrodeposition; Ni-Fe thin films; flat core flux gate sensor

PENDAHULUAN

Penelitian sensor medan magnet untuk kawasan medan rendah dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik via skema *flux-gate* telah dikenal sejak lama dengan spektrum pemanfaatan yang luas. Namun demikian, penelitian berkenaan dengan hal ini menjadi hangat kembali setelah skema *flux-gate* mampu dihadirkan menjadi dua dimensi (2D) pada

suatu *printed circuit board* PCB di era tahun 2000-an. Dua aspek penting yang menjadi perhatian para peneliti untuk peningkatan sensitifitas sensor adalah (i) menggunakan inti lapisan tipis feromagnetik dengan permeabilitas tinggi dan (ii) pelebaran kanal (*band width*).

Bahan feromagnetik yang sesuai untuk inti *flux-gate* adalah bahan soft-feromagnetik dengan medan *coersive* & magnetisasi jenuh kecil, resistivitas tinggi, serta magnetostriksi rendah. Lapisan tipis yang memiliki sejumlah kecil ketidaksempurnaan struktur dengan permukaan halus akan menghasilkan *noise* ren-

*Alamat Korespondensi:

Jl. Ir. Sutami 36A Kentingan Surakarta 57126
E-mail: bpurnama@mipa.uns.ac.id / fax.: +62271669017

dah. Disamping itu, masih ditambah dengan tampang lintang yang uniform (Ripka, 2000). Ketidak simetrian orientasi anisotropy magnetik juga mempengaruhi sensitifitas sensor yang diperoleh (Kubík *dkk*, 2009). Hal ini mengindikasikan bahwa bentuk geometri *flat core flux-gate* sensor menentukan sensitifitas sensor. Material yang sesuai dengan keperluan ini antara lain permalloy ($\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$), amorphous Co, $(\text{CoFe})_{70}(\text{MoSiB})_{30}$, CoP, $\text{Co}_{85}\text{Nb}_{12}\text{Zr}_3$ (Perez *dkk*, 2004). Hasil eksperimen terkini yang dilaporkan Ripka *dkk* menggunakan inti $\text{Co}_{68,25}\text{Fe}_{4,5}\text{Si}_{1,25}\text{B}_{15}$ dengan ketebalan $22 \mu\text{m}$; memberikan sensitifitas $30 \text{ mV}/\mu\text{T}$ pada frekuensi 1 Hz (Ripka *dkk*, 2009).

Sedangkan Perez *dkk*, melaporkan bahwa sensitifitas sensor meningkat secara linear dengan menaikkan frekuensi hingga 50 MHz (Perez *dkk*, 2004). Namun demikian kenaikan sensitifitas ini dikompensasi dengan besarnya daya yang hilang saat penginderaan (Donnell *dkk*, 2006). Hasil yang telah dilaporkan ini memberi arahan bahwa *flat core flux-gate* sensor menjadi hal yang sangat mendasar guna keberhasilan realisasi *flux-gate sensor magnet* untuk kawasan rendah.

Pada penelitian ini, lapisan tipis Ni-Fe hasil elektrodeposisi dikaji potensinya sebagai *flat core magnet flux gate* sensor. Lapisan tipis dideposisi di atas substrat *printed circuit board* (PCB). Modifikasi variabel deposisi berupa komposisi dan rapat arus dimaksudkan untuk memperoleh karakteristik magnetik yang sesuai. Akhirnya, pembahasan hanya berdasarkan hasil pengamatan karakteristik magnetik melalui pengukuran dengan *vibrating sample magnetometer* (VSM).

METODE

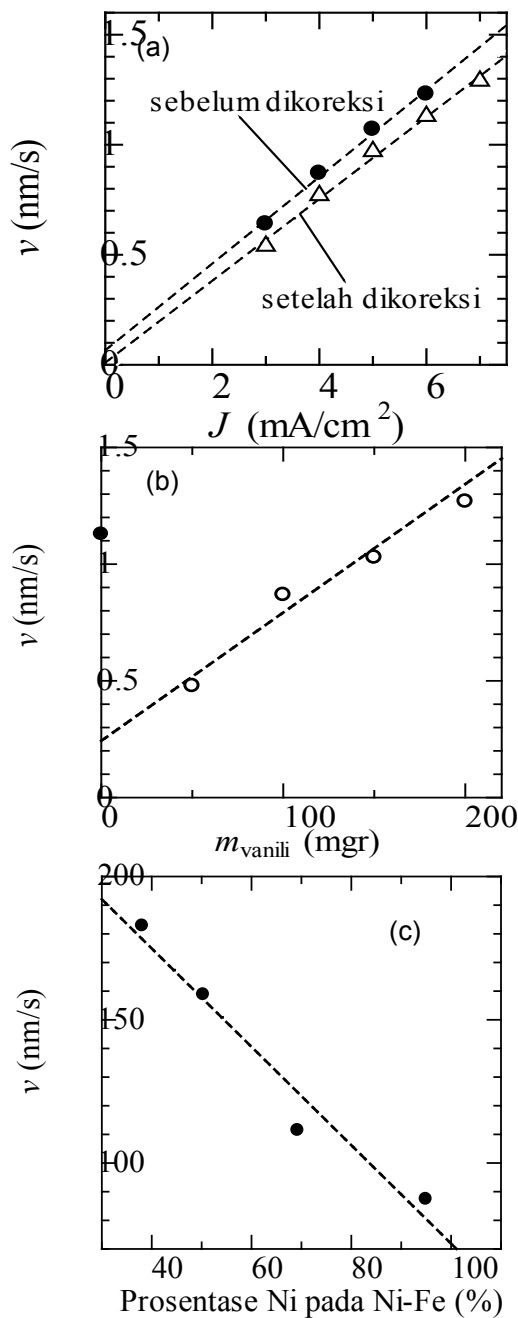
Prosedur penelitian ini terdiri dari 3 tahapan yaitu (i) preparasi larutan elektrolit, (ii) elektrodeposisi dengan elektrode Pt dan (iii) karakterisasi lapisan tipis. Ketebalan lapisan diperhitungkan dengan metode graviti, sedangkan karakteristik magnetik diamati dengan *vibrating sample magnetometer* (VSM).

Larutan elektrolit utama yang digunakan adalah $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,02 M), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,02 M), H_3BO_3 (0,4 M). Sedangkan zat aditif yang digunakan adalah vanily.

Tahap berikutnya adalah elektrodeposisi. Pada penelitian ini proses elektrodeposisi dilakukan menggunakan substrat Tembaga dalam bentuk PCB. Tegangan 5 volt digunakan pada proses deposisi lapisan tipis. Seluruh sampel difabrikasi pada suhu kamar dan tanpa pengadukan. Sesaat sebelum deposisi dimulai, plat tembaga dalam bentuk PCB tersebut ditimbang *massanya* guna perhitungan ketebalan secara graviti. *Counter electrode* berupa Pt digunakan untuk semua eksperimen ini. Sebelum elektrodeposisi utama yaitu lapisan tipis NiFe dilakukan, proses *copper strike plating* dilakukan terlebih dahulu. Pada tahap ketiga, karakterisasi lapisan tipis Ni-Fe hasil elektrodeposisi. Karakterisasi komposisi dilakukan dengan menggunakan XRF (*x-ray fluorescence*). Sedangkan karakterisasi sifat magnetiknya diukur menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dengan medan magnetik pengimbas sebesar 500 Oe. Akhirnya modifikasi karakterisasi magnetik yang terungkap dari kurva histeresis (kemiringan kurva, luasan sapuan kurva) dianalisis kaitannya dengan variasi parameter penumbuhan yaitu komposisi dan rapat arus J . Hasil analisis ini akan menghasilkan besaran magnetik dari sampe lapisan tipis yang diperoleh yaitu *coercive field* H_c dan *saturated field* H_s .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1(a) menunjukkan kurva laju deposisi sebagai fungsi rapat arus. Lingkaran hitam merupakan nilai perhitungan secara graviti, sedangkan segitiga adalah data perhitungan yang telah dikoreksi dengan ekstrapolasi ke nilai nol jika $J = 0$. Teramati dengan jelas bahwa laju deposisi meningkat secara linier dengan rapat arus J . Hasil ini sesuai dengan perumusan teoritis (hukum Faraday) banyaknya material yang terdeposisi tiap waktu.



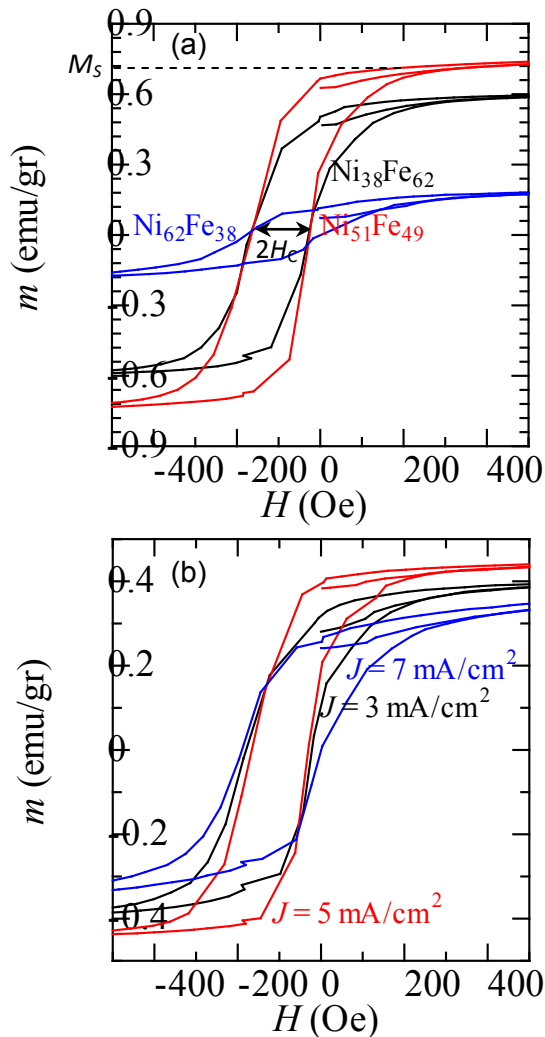
Gambar 1. laju lektrodeposisi v Ni-Fe sebagai fungsi (a) rapat arus J , (b) penambahan massa vanili m , (c) prosentase Ni

Variasi lain guna memperoleh lapisan NiFe yang baik adalah dengan penambahan bahan aditif vanili. Dengan memperhitungkan massa terdeposit sebelum dan sesudah elektrodeposisi maka laju deposisi sebagai fungsi massa tambahan bahan aditif vanili ditunjukkan pada Gambar 1(b). Hasil eksperimen ini dilakukan dengan $J = 6$ mA/cm². Tanda lingkaran

bulat pada $m_{\text{vanili}} = 0$ adalah laju deposisi NiFe tanpa tambahan bahan aditif vanili. Teramati dengan jelas bahwa laju deposisi NiFe meningkat dengan kenaikan tambahan massa bahan aditif. Menarik untuk diperhatikan bahwa laju deposisi NiFe tanpa bahan aditif vanili memiliki nilai cukup besar yaitu sebesar $v = 1,13$ nm/s. Hal ini berarti penambahan bahan aditif mengurangi laju deposisi sehingga proses pembentukan lapisan pada permukaan substrat jadi lebih baik. Hal ini diindikasikan dengan perbaikan kualitas lapisan yang dihasilkan.

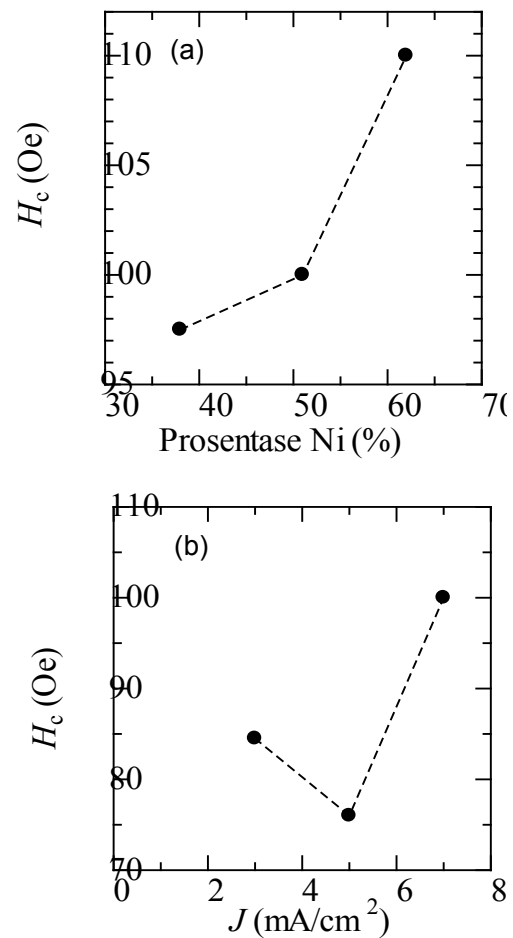
Gambar 1(c). menunjukkan grafik laju deposisi lapisan NiFe sebagai fungsi prosentase Ni terdeposit pada lapisan tipis. Teramati dengan jelas bahwa laju deposisi menurun dengan kenaikan prosentase Ni pada lapisan. Kenyataan ini dapat dijelaskan bahwa masa relatif atom Ni memiliki berat atom lebih besar daripada atom Fe. Sehingga mobilitas atom Ni lebih lambat dibandingkan dengan mobilitas atom Fe. Dengan bertambah prosentase ion Ni pada larutan elektrolit maka konsekuensinya laju penumbuhan lapisan menjadi lebih lambat. Laju deposisi lapisan NiFe menurun dari $v = (182,7 \pm 0,2)$ nm/s pada prosentase Ni = 38% menjadi $v = (87,3 \pm 0,2)$ nm/s pada prosentase Ni = 95%. Dengan kalimat lain, laju deposisi lapisan NiFe menurun sebesar 53,8% = $(182,7 - 87,3) / 182,7$.

Karakteristik magnetik lapisan NiFe yang terungkap dalam kurva histeresis hasil pengukuran vibrating sample magnetometer (VSM) ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 2(a) adalah karakteristik kurva histeresis untuk tiga variasi komposisi yaitu Ni₃₈Fe₆₂, Ni₅₁Fe₄₉, dan Ni₆₂Fe₃₈. Teramati dengan jelas, prosentase komposisi penyusun lapisan NiFe sangat menentukan karakteristik kurva histeresis. Tipikal hasil yang sama terungkap untuk lapisan NiFe hasil elektrodeposisi dengan tiga modifikasi rapat arus yaitu $J = 3$ mA/cm², $J = 5$ mA/cm², dan $J = 7$ mA/cm² seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2(b). Kenyataan hasil yang menarik ini dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut. Perubahan komposisi penyusun paduan lapisan tipis NiFe baik dengan perubahan komposisi larutan saat penumbuhan maupun variasi rapat arus akan menentukan konfigurasi magnetik. Karakteristik konfigurasi magnetik ini pada akhirnya akan menentukan sifat magnetik yaitu medan koersif (H_c) dan magnetisasi jenuh (m_s) yang terungkap dari kurva histeresis.



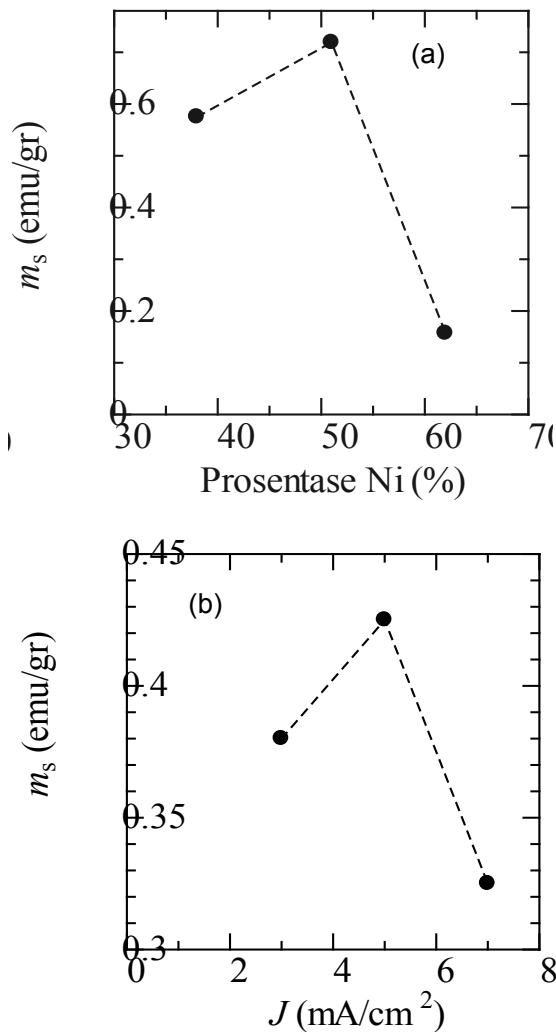
Gambar 2. Modifikasi kurva m - H untuk variasi (a) prosentase komposisi Ni dan (b) rapat arus J .

Hasil analisis kurva histeresis pada pembahasan sebelumnya memberikan nilai medan koersif H_c dan magnetisasi jenuh m_s yang berubah dengan modifikasi variabel penumbuhannya. Hasil ketergantungan H_c dan m_s dapat ditampilkan pada Gambar 3 sebagai berikut. Gambar 3(a) memperlihatkan H_c meningkat dengan kenaikan prosentase Ni pada lapisan NiFe. Ketika prosentase Ni = 38%, H_c yang diperoleh sebesar 97 Oe. Dan H_c menjadi 110 Oe saat prosentase Ni = 63%. Sedangkan pada Gambar 3(b) merupakan hasil ketergantungan medan koersif H_c sebagai fungsi rapat arus J deposisi. Kenyataan hasil ini menegaskan bahwa proses pembentukan lapisan paduan NiFe sangat mempengaruhi karakteristik magnetik lapisan NiFe yang terungkap dari pengamatan medan koersif H_c .



Gambar 3. Medan koersif sebagai fungsi (a) prosentase Ni dan (b) rapat arus J .

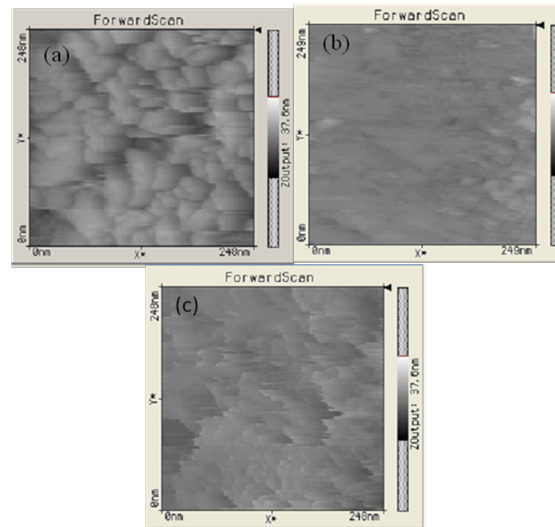
Gambar 4(a) dan 4(b) memperlihatkan tipikal ketergantungan prosentase Ni dan J terhadap magnetisasi jenuh m_s lapisan NiFe hasil elektroplating. Kedua kurva memperlihatkan tipikal ketergantungan yang sama, yaitu m_s meningkat dengan kenaikan prosentase Ni maupun J , kemudian m_s menurun. Magnetisasi jenuh $m_s = 0,72$ emu/gr diperoleh saat prosentase Ni = 51%. Sedangkan hasil magnetisasi maksimum untuk variasi rapat arus didapat untuk $J = 5$ mA/cm² dengan nilai $m_s = 0,43$ emu/gr. Hal ini mengindikasikan bahwa pada keadaan tersebut interaksi kedua atom penyusun lapisan tipis menghasilkan momen magnetik yang besar. Tipikal perubahan karakteristik magnetik dengan parameter penumbuhan ini membuka peluang aplikasi *flat core flux gate sensor*. Sistem sensor ini banyak diterapkan untuk sistem sensor jarak maupun sensor posisi.



Gambar 4. Magnetisasi jenuh m_s sebagai fungsi (a) prosentase Ni dan (b) rapat arus J

Untuk lebih menguatkan diskusi sebelumnya, perubahan mikroskopik permukaan lapisan tipis akibat perubahan rapat muatan (J) dievaluasi dengan scanning tunneling microscopy (STM). Tipikal perubahan struktur permukaan lapisan tipis Ni-Fe ditunjukkan pada Gambar 5. Luasan scan yang dipilih adalah 250 nm \times 250 nm, sedangkan modifikasi rapat arus adalah $J = 3$ mA/cm², 5 mA/cm² dan 7 mA/cm². Terlihat dengan jelas bahwa bentuk struktur morfologi permukaan lapisan NiFe berubah dengan perbedaan rapat arus (J) saat elektrodeposisi. Saat $J = 3$ mA/cm² terlihat tipikal pola pertumbuhan lapisan tipis yang tersusun struktur *granular*. Namun saat $J = 5$ mA/cm², lapisan tipis kontinu terealisasi. Ketika rapat arus dinaikan menjadi $J = 7$ mA/cm² struktur permukaan termodifikasi menjadi struktur *granular* meskipun ukurannya berbeda dengan kasus sebelumnya. Apabila hasil ini dikorelasikan de-

ngan hasil karakterisasi magnetik sebelumnya (Gambar 3b) maka perubahan struktur *granular* menjadi lapisan tipis kontinu akan menurunkan nilai medan koersif (H_c). Interaksi yang sangat kuat pada struktur lapisan tipis kontinu meningkatkan magnetisasi saturasi (m_s) lapisan tipis Ni-Fe seperti diperlihatkan Gambar 4b. Medan koersif (H_c) kembali meningkat dan sebaliknya m_s menurun ketika *granular* teramati kembali untuk $J = 7$ mA/cm².



Gambar 5. Modifikasi permukaan lapisan tipis magnetik NiFe untuk variasi rapat arus J yaitu (a) 3 mA/cm², (b) 5 mA/cm², dan (c) 7 mA/cm².

PENUTUP

Karakteristik magnetik lapisan tipis Ni-Fe hasil elektrodeposisi sebagai *flat core flux gate* sensor telah diuraikan pada makalah ini. Lapisan tipis Ni-Fe dideposisi di atas substrat printed circuit board (PCB) dengan variasi komposisi Ni dan rapat arus J . Untuk memperoleh kualitas lapisan tipis yang baik, zat aditif vanily digunakan untuk mengurangi laju deposisi untuk keseluruhan eksperimen. Hasil menunjukkan modifikasi karakteristik magnetik hasil vibrating sample magnetometer karena perubahan parameter penumbuhannya. Koersif field (H_c) meningkat dengan kenaikan prosentase komposisi Ni dan H_c tidak membentuk pola tertentu dengan modifikasi apat arus J . Akhirnya magnetisasi jenuh maksimum $m_s = 0.72$ emu/gr diperoleh untuk prosentase Ni = 51%, dan $m_s = 0.43$ emu/gr untuk $J = 5$ mA/cm². Klarifikasi dengan STM, hal ini akibat perubahan struktur mikros-

kopik lapisan tipis Ni-Fe.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Hibah Bersaing DIPA BLU Universitas Sebelas Maret Nomor Kontrak 2338/UN27.16/PN/2012.

DAFTAR PUSTAKA

- Basschiroto, A., Dallago, E., Ferri, M., Malcovati, P., Rossini, A., dan Venchi, G., 2010. *A 2D Micro-Fluxgate Earth Magnetic Field Measurement Systems With Fully Automated Acquisition Setup*, Measurement Vol. 43. Hal. 46-53.
- Choi, W.-Y., Park, K.-Y., Koh, B.-C., Kang, M.-S., Na, K.-W., dan Choi, S.-O., 2005. *A Fabricating Method For A Fluxgate Sensor Integrated In Printed Circuit Board*, Paten USA No. US 2005/0172480 A1.
- Janosek, M., and Ripka, P., 2009. *Current-Output of PCB Fluxgates*, Sensor Letters, Vol. 7. Hal. 1-4
- Kubik, J., Vcelak, J., O'Donnell, T., dan McCloskey, P., 2009. *Triaxial Fluxgate Sensor With Electroplated Core*, Sensors and Actuators A 152. Hal. 139-145.
- O'Donnell, T., Tipek, A., Connell, A., McCloskey, P., O'Mathuna, S.C., 2006. *Planar Fluxgate Current Sensor Integrated In Printed Circuit Board*, Sensors and Actuator A 129. Hal. 20-24.
- Perez, L., Aroca, C., Sanches, P., Lopez E., dan Sanches, M.C., 2004. *Planar Fluxgate Sensor With An Electrodeposited Amorphous Core*, Sensors and Actuator A 109. Hal. 208-211.
- Ripka P., 2000. *New Directions In Fluxgate Sensors*, J.Mag.Mag.Mat. Vol. 215-216 Hal. 735-739.
- Ripka, P., Li, X.P., dan Pan, J., 2009. *Multiwire Core Fluxgate*, Sensors and Actuators A, 156. Hal. 265-268.