

Efek Magnetoimpedansi pada variasi Ketebalan lapisan Cu sampel Multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ Substrat Cu-PCB (Printed Circuit Board)

Frendi Maulana¹, Erni Mariana²

1,2 Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung
Jl. Raya Lintas Pantai Timur Sumatra, Purbolinggo Kabupaten Lampung Timur 34394.

Email : frendimaulana270@gmail.com

Abstract: Magnetoimpedance (MI) effect was observed on multilayer samples $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ Cu-Printed Circuit Board substrates. The multilayer system was grown through an electrodeposition process by modifying thickness of the Cu layer. The MI effect was analyzed by means of an impedance test under an external magnetic field at low frequency 100 kHz. The results found that MI ratio increased ± 1.02 fold with the reduction Cu layer (800 nm until 0 nm) from 2.39% to 3.44%. This condition is believed by differences resistance of magnetic layer to conductive layer in the multilayers system. The measured sample resistance value is inversely proportional to the function of "x" as the thickness of the conductive layer. This means that the reduction conductive layer can be improve magnetic properties for a multilayer $[\text{NiFe}/\text{Cu}]_N$ system. The analysis calculation of the sensitivity value also shows the potential increase sample sensitivity to 0.9746% / mT.

Keywords: Magnetoimpedance, Sensitivity, Conductive Coating, Resistance

Abstrak: Magnetoimpedansi (MI) telah diamati untuk sampel multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ substrat Cu-Printed Circuit Board. Sistem multilapisan ditumbuhkan melalui proses elektrodposisi dengan memodifikasi ketebalan lapisan Cu. Efek MI dianalisis melalui pengujian impedansi dibawah medan magnet luar pada frekuensi 100 kHz. Hasil uji ditemukan rasio MI meningkat ± 1.02 kali lipat dengan berkurangnya lapisan Cu (800 nm sampai 0 nm) dari 2,39 % menjadi 3,44 %. Kondisi ini diyakini oleh adanya perbedaan resistensi lapisan magnetik dengan lapisan konduktif pada sistem multilapisan. Nilai resistensi sampel yang terukur berbanding terbalik terhadap fungsi x sebagai ketebalan lapisan konduktif. Artinya berkurangnya lapisan konduktif dapat meningkatkan sifat magnetik sampel untuk sistem multilapisan $[\text{NiFe}/\text{Cu}]_N$. Analisa perhitungan nilai sensitifitas juga menunjukkan potensi kenaikan sensitifitas sampel tertinggi sampai 0,9746 %/mT.

Kata kunci: Magnetoimpedansi, Sensitifitas, Lapisan Konduktif, Resistensi

1. PENDAHULUAN

Efek magnetoimpedansi (MI) adalah fenomena perubahan impedansi ketika terpengaruhi oleh medan magnet luar. Sebuah efek medan yang berbeda pada tegangan AC pertama kali diamati pada kawat magnetik amorf $\text{Fe}_{4,3}\text{Co}_{68,2}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15}$ yang diaplikasikan pada frekuensi rendah (hingga 10 kHz). Semenjak ditemukannya, magnetoimpedansi (MI) telah menjadi alat untuk menyelidiki permeabilitas AC melintang dari banyak material magnetik (Eggers *et al*, 2016). Selain itu kajian lebih luas penelitian di bidang ini terletak pada pengembangan sensor berbasis magnetik. Sensor berbasis MI telah menarik perhatian komunitas ilmiah akhir-akhir ini untuk terus dikaji karena memiliki kebermanfaatan yang luas. Sensor magnetik diketahui merupakan salah satu piranti yang sangat penting di dalam teknologi modern, terutama pada perangkat magneto-electronic (Chen *et al*, 2010). Dalam hal ini, sensor magnetik telah didorong untuk meningkatkan sensitifitas, ukuran yang lebih kecil, respon lebih cepat dan komparabilitas dengan sistem elektronik. Berbagai pendekatan metode dalam beberapa tahun terakhir telah

digunakan oleh banyak peneliti untuk mengindera kuat medan magnet seperti flux-gate, efek hall, induksi dan magnetoimpedansi (Wicaksono *et al*, 2015). Khusus untuk magnetoimpedansi metode ini telah memberikan peluang baru dalam mengembangkan sensor magnetik yang memenuhi persyaratan. Menariknya, sensor magnetik berbasis MI beroperasi pada suhu kamar/ruang, dengan kepekaan ultrahigh (medan deteksi, ~ 100 pT), stabilitas termal tinggi, resolusi ruang tinggi, ukuran kecil, light weight dan konsumsi daya rendah (Tung *et al*, 2014).

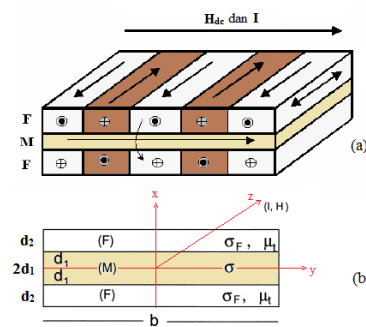
Sebuah studi efek MI melaporkan pemanfaatan permalloy (Ni80Fe20) sebagai material sensor yang memiliki keunggulan yakni medan koersif dan magnetostriksi rendah (Gupta *et al*, 2008). Disamping itu, aplikasi sampel multilapis $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ sebagai sensor magnetoimpedansi dapat berpotensi sebagai sensor magnetik dengan sensitifitas tinggi pada substrat fleksibel Nahrun *et al*, 2015).

Dalam beberapa studi, efek MI telah diamati pada substrat kawat Cu menggunakan konfigurasi lapisan tipis multilapisan yaitu menyisipkan lapisan non-magnetik diantara lapisan magnetik. Diantaranya multilapisan NiFe/Cu dengan variasi ketebalan NiFe telah ditemukan bahwa dengan menjaga ketebalan yang optimal pada lapisan magnetik secara signifikan didapatkan MI yang besar (Atalay *et al*, 2005).

Hasil penelitian juga dilaporkan bahwa rasio MI dengan rentang frekuensi tinggi (0,1-10 MHz) meningkat lebih baik dengan kenaikan frekuensi serta kenaikan tebal lapisan $[\text{NiFe}/\text{Cu}/\text{FiNe}]$ (Chaturvedi *et al*, 2014). Sementara pada rentang frekuensi yang lebih rendah (20-100 KHz) rasio MI teramati semakin besar seiring bertambahnya kenaikan jumlah lapisan pada system multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ kawat Cu (Amiruddin *et al*, 2014). Pemakaian berbagai diameter sampel kawat Cu mulai dari 0,1 mm sampai 1 mm untuk multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ juga telah diselidiki. Hasilnya dilaporkan bahwa rasio MI dan nilai sensitifitas meningkat secara signifikan dengan diameter sampel (Ismail *et al*, 2015). Hasil penelitian lain yang dipublikasikan mengevaluasi fenomena MI untuk variasi geometri kawat berbentuk solenoid memperlihatkan sensitifitas sensor tercapai sebesar 53,75 %/mT pada sistem multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(200\text{nm})}]_3$ uji rentang frekuensi rendah (wicaksono *et al*, 2015). Dari berbagai alternative serta hasil temuan tersebut maka studi MI dalam penelitian ini dievaluasi pada variasi pada Ketebalan lapisan Cu multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ rentang uji frekuensi rendah (100kHz). Penelitian ini menitikberatkan pada pemakaian substrat berbasis Cu-PCB sebagai pengganti kawat Cu. Penerapan rentang frekuensi rendah dalam kajian MI ini diharapkan akan lebih mendekatkan dalam pengaplikasian material sebagai sensor magnet.

2. METODE PENELITIAN

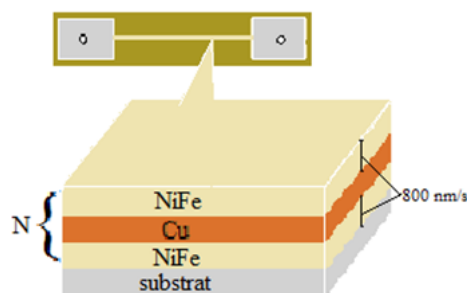
Proses pembuatan lapisan tipis dilakukan menggunakan metode fabrikasi elektrodeposisi dengan memakai elektroda Pt (platina). Struktur sampel multilapisan terdiri dari lapisan konduktif (M = Cu) yang diapit di antara dua lapisan magnetik (F = NiFe) seperti ditunjukkan Gambar 1 berikut.



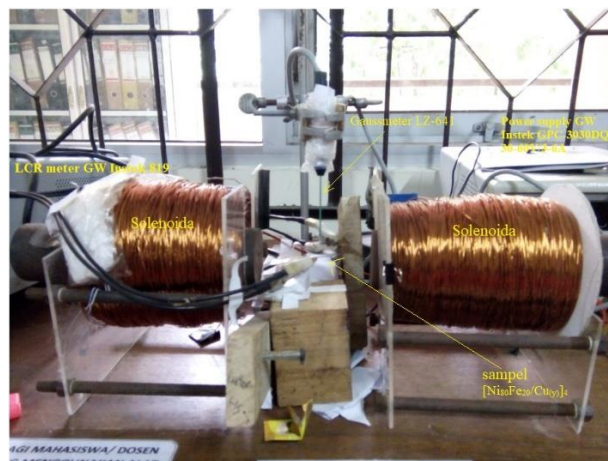
Gambar 1. (a) struktur domain pada sistem multilapisan (b) tampang lintang dari multilapisan (Borge, 2005)

Penumbuhan sistem multilapisan $[\text{NiFe}_{(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ seperti pada penelitian sebelumnya, dimana tebal lapisan magnetik NiFe maupun lapisan konduktif Cu didapatkan dari durasi waktu deposisi. Rapat arus untuk pelapisan $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ sebesar $15,5 \text{ mA/cm}^2$ dan beda potensial $3,5 \text{ V}$ dengan laju deposisi 2 nm/s sedangkan untuk pelapisan Cu menggunakan rapat arus 8 mA/cm^2 , beda potensial 3 V dengan laju deposisi 6 nm/s . ketebalan lapisan $\text{Cu}_{(x)\text{nm}}$ dalam penelitian ini berturut-turut sebesar $x=0\text{nm}$, $x=200\text{nm}$, $x=400\text{nm}$, $x=600\text{nm}$, $x=800\text{nm}$. Untuk $x=0\text{nm}$ artinya sampel multilapisan tanpa terlapisi spacer/lapisan konduktif sehingga ketebalan lapisan NiFe sebesar 3200 nm . Sebelum dibuat multilapisan, preparasi substrat memakai ultrasonic cleaner kadar etanol 70% .

Komposisi larutan elektrolit pembentuk lapisan magnetik berturut-turut adalah $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($0,009 \text{ M}$), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ($0,012 \text{ M}$), H_3BO_3 ($0,149 \text{ M}$), $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3$ ($0,002 \text{ M}$), dan aquades 120 ml . Sedangkan komposisi pembentuk larutan spacer Cu sebagai lapisan konduktif adalah $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($0,065 \text{ M}$), $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ($0,002 \text{ M}$), dan aquades 120 ml (Maulana *et al*, 2017). Dalam penelitian ini, bahan aditif berupa cairan H_2SO_4 kadar $0,1 \text{ M}$ (± 1 tetes) masing-masing ditambahkan kedalam dua larutan elektrolit tersebut untuk menjaga derajat keasaman $\text{pH} = 2,6$ (Hanafi *et al*, 2013). Dalam bukunya, Kanani N., (2004) menjelaskan bahwa fungsi bahan aditif dalam proses elektrodeposisi adalah sebagai penstabil, agen pereduksi, agen pengompleks dan untuk mempertahankan pH larutan elektrolit. Kedua larutan elektrolit yang akan digunakan diupayakan dalam kondisi fresh (baru) dan suhu ruang dijaga konstan selama proses fabrikasi berlangsung. Skema sampel hasil elektrodeposisi ditunjukkan seperti gambar2. Sedangkan proses pengujian sampel variasi suhu annealing seperti pada Gambar 3 sebagai berikut.



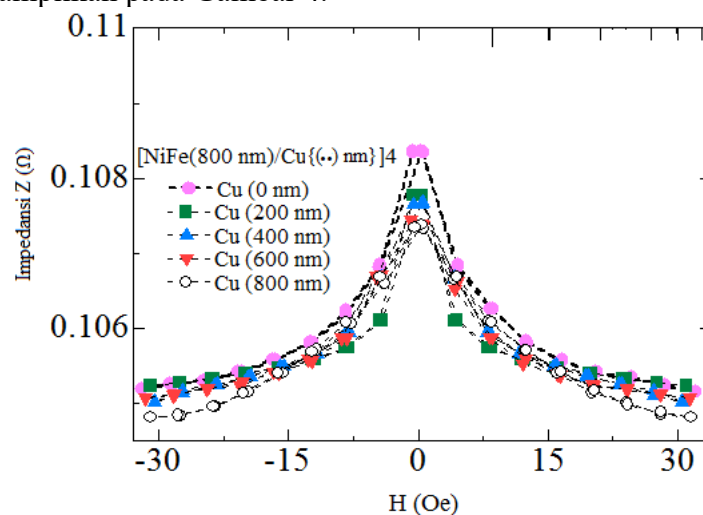
Gambar 2. sampel $[\text{NiFe}_{(800\text{nm})}/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ hasil elektrodeposisi



Gambar 3. Skema analisis magneto-impedansi substrat Cu PCB

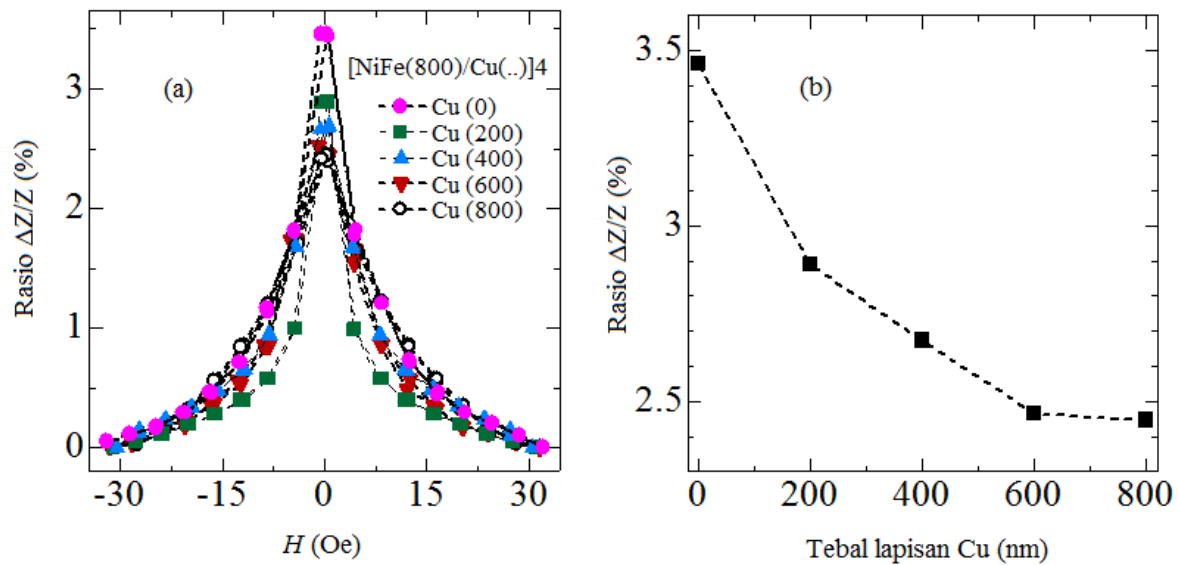
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh variasi ketebalan lapisan konduktif Cu terhadap perubahan fenomena Magnetoimpedansi telah diamati di frekuensi pengukuran 100 kHz pada sampel Cu-PCB panjang 3,5 cm ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Impedansi (Z) sampel Cu-PCB multilapisan $[Ni_{80}Fe_{20}(800\text{ nm})/Cu_{(x)}nm]_4$

Gambar 4. merupakan kurva perubahan nilai impedansi pada masing-masing sampel dengan ketebalan lapisan Cu yang berbeda. Teramati bahwa aplikasi medan magnet luar pada sampel telah memicu timbulnya perubahan nilai puncak impedansi yang berbeda. Fenomena ini dapat ditafsirkan sebagai efek Magneto-impedansi. Dalam konteks ini pemakaian arus AC selama pengukuran pada rentang frekuensi 100 kHz menunjukkan perbedaan karakteristik sampel variasi tebal lapisan konduktif Cu (0 nm, 200 nm, 400 nm, 600 nm dan 800 nm) dalam merespon perubahan impedansi. Teramati pada Gambar 4. impedansi puncak dicapai disekitaran medan magnet luar nol atau pada saat tidak teraktivasi oleh medan magnetik. Impedansi terdeteksi mengalami penurunan dengan bertambahnya pemberian medan luar.



Gambar 5. typical kurva MI multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ variasi ketebalan Cu pada frekuensi uji 100 kHz.

Dalam penelitian ini telah diamati fenomena ketergantungan MI pada variasi ketebalan lapisan spacer Cu selama diberikan medan magnet. Gambar 5 (a), (b) memperlihatkan rasio MI semakin besar dengan mengurangi ketebalan dari lapisan konduktif Cu. Rasio MI meningkat ± 1.02 kali lipat dengan berkurangnya lapisan Cu (800 nm sampai 0 nm) dari 2,39 % menjadi 3,44 %. Pendekatan konseptual digunakan guna memahami/menjelaskan fenomena MI yang terjadi pada multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ pada konduktor sampel Cu-PCB yang diringkas sebagai berikut:

- (i) **faktor Resistansi.** Penurunan rasio MI yang teramati pada sistem multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ dikarenakan adanya perbedaan resistansi lapisan magnetik (NiFe) dan lapisan konduktif (Cu). Merujuk pada Gambar 1. dimana dalam kasus ini telah dimodifikasi ketebalan lapisan magnetik d_2 relatif lebih besar dibandingkan lapisan konduktif d_1 ($d_2 > d_1$), hasil pengukuran menunjukkan adanya penurunan pada nilai puncak impedansi. Nilai-nilai puncak impedansi cenderung menurun dengan meningkatnya ketebalan lapisan konduktif Cu dan tren ini diperkirakan akan terus berlanjut hingga nilai resistansi dari lapisan non-magnetik mendekati nilai resistansi magnetik (resistansi lapisan Cu diimbangi oleh resistansi lapisan NiFe).
- (ii) **penelitian yang relevan;** Dalam kesempatan lain Wicaksono *et al.* (2015) telah mengkaji penelitian yang hampir sama dan melaporkan bahwa pada kasus dimana crossing effect sudah tidak terlalu mempengaruhi kenaikan rasio MI yakni ketika resistansi dari kedua lapisan relatif sama. Dalam penelitian ini kondisi tersebut teramati untuk sampel dengan komposisi ketebalan yang sama ± 800 nm baik lapisan magnetik maupun lapisan konduktif/non-magnetik memunculkan karakteristik yang sesuai (lihat Gambar 5. b). Adanya peningkatan ketebalan lapisan konduktif Cu menurunkan nilai resistansi, akibatnya nilai impedansi juga semakin menurun. Pengukuran terpisah juga dilakukan oleh Morikawa *et.al* (1997) mengungkapkan bahwa ketahanan lapisan konduktif jauh lebih rendah daripada lapisan magnetik, sehingga sebagian besar arus mengalir melalui lapisan konduktif. Lapisan konduktif

memiliki efek mengurangi daya tahan keseluruhan elemen. Struktur berlapis, kecuali struktur dengan titanium sebagai lapisan konduktif, menunjukkan peningkatan dramatis pada respons MI dibandingkan dengan film berlapis tunggal. Peningkatan ini disebabkan karena penyisipan lapisan konduktif secara efektif meningkatkan rasio perubahan resistensi karena lapisan konduktif mengurangi resistansi R dari multilapisan.

Nilai-nilai resistansi sampel multilapisan $[\text{NiFe}_{(800\text{ nm})}\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Resistansi multilapisan $[\text{NiFe}_{(800\text{ nm})}\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ substrat Cu-PCB

| No. | Ketebalan Cu (nm) | Resistansi (Ω) |
|-----|-------------------|-------------------------|
| 1 | 0 | 0.0859 |
| 2 | 200 | 0.0856 |
| 3 | 400 | 0.0846 |
| 4 | 600 | 0.0845 |
| 5 | 800 | 0.0839 |

Tabel 1. secara kuantitatif menunjukkan adanya penurunan pada rasio MI multilapisan $[\text{NiFe}_{(800\text{ nm})}\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ yang ditandai oleh penurunan nilai resistansi sampel bersamaan dengan bertambahnya ketebalan Cu. Dalam konteks yang hampir sama Volchkov *et.al* (2011) mempercayai bahwa peningkatan ketebalan lapisan konduktivitas yang tinggi menyebabkan penurunan resistansi dimana baik untuk efek MI. Semakin tinggi ketebalan lapisan Cu mengakibatkan semakin tinggi rasio MI total nya. Hal itu teramati dalam penelitian ini. Analisis sensitifitas sensor dalam penelitian ini menggunakan persamaan :

$$\xi = 2(\Delta Z/Z)_{\text{max}}/\Delta H \tag{1}$$

Dimana ΔH sama dengan lebar penuh pada setengah maksimum kurva MI. Hasil perhitungan diketahui kenaikan nilai sensitifitas semakin besar ekuivalen dengan berkurangnya ketebalan Cu sebagai lapisan non-magnetik (konduktif) seperti ditampilkan pada Tabel 2. Artinya berkurangnya lapisan konduktif dapat meningkatkan sifat magnetik sampel untuk sistem multilapisan $[\text{NiFe}/\text{Cu}]_N$ dan akan respon sensitifitas sensor magnetiknya.

Tabel 2. sensitivitas sensor berbasis MI

| No. | Konfigurasi Ketebalan Cu (nm) | Sensitifitas (%/mT) |
|-----|-------------------------------|---------------------|
| 1 | 0 | 0,9746 |
| 2 | 200 | 0,6040 |
| 3 | 400 | 0,4744 |
| 4 | 600 | 0,3985 |
| 5 | 800 | 0,3145 |

4. KESIMPULAN

Fenomena magnetoimpedansi telah diamati pada sistem multilapisan $[\text{NiFe}_{(800\text{ nm})}\text{Cu}_{(x)\text{nm}}]_4$ rentang frekuensi rendah ($f < 100\text{ kHz}$). Rasio MI dapat diperbaiki dengan mengurangi ketebalan lapisan konduktif. Rasio MI meningkat setidaknya ± 1.02 kali lipat dengan selama percobaan (Cu sebesar 800 nm sampai 0 nm) dari 2,39 % menjadi 3,44 %. Hal ini dipercaya akibat perbedaan resistensi lapisan magnetik dengan lapisan konduktif pada sistem multilapisan. Nilai resistensi sampel yang terukur berbanding terbalik terhadap fungsi x sebagai ketebalan lapisan konduktif. Artinya berkurangnya lapisan konduktif dapat meningkatkan sifat

magnetik sampel untuk sistem multilapisan [NiFe/Cu]N. Analisa perhitungan nilai sensitifitas juga menunjukkan potensi kenaikan sensitifitas sampel tertinggi sampai 0,9746 %/mT.

5. SARAN

Untuk mencapai dan memperbaiki hasil penelitian fenomena MI pada sistem multilapisan [NiFe/Cu]_N substrat Cu-PCB selanjutnya, perlu untuk dikembangkan hal-hal diantaranya: (a) menggunakan rentang pengukuran frekuensi arus AC yang lebih tinggi >100 kHz (b) melakukan variasi parameter lain selama kegiatan elektrodeposisi berlangsung, seperti: jarak platina dengan sampel, pH larutan, suhu larutan dll.

DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, M., Utari, and Budi, P. 2014. Fenomena Magneto-impedansi untuk Frekuensi Rendah pada Multilayer [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]N Hasil Elektro-deposisi. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 10, No. 2, pp. 95 - 98.
- Atalay, F.E., & Atalay, S. (2005). Giant magnetoimpedance effect in NiFe/Cu plated wire with various plating thicknesses. *Journal Alloys & Compound*, 392, 322-328.
- Borge, A. (2005). Giant magneto-impedance effect in thin film layered structures. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering University of Central Florida.
- Chaturvedi, A., Ruiz, A., Le, A. T., Tung, M. T., Mukherjee, P., Srikanth, H., & Phan, M. H. (2013). Magneto-impedance effect in electrodeposited Cu-(FeNi/Cu/FeNi) multilayer wires. *ScienceJet*, 3, 1-4.
- Chen, L., Zhou, Y., Lei, C., Zhou, Z. M., & Ding, W. (2010). Giant magnetoimpedance effect in sputtered single layered NiFe film and meander NiFe/Cu/NiFe film. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 322, 2843-2839.
- Eggers, T., Leary, A., McHenry, M., Marcin, J., Skorvanek, L., & Srikanth, H. (2016). Correlation between domain structure, surface anisotropy and high frequency magneto impedance in joule annealed CoFe based melt spun ribbons. *Journal of Alloys and Compounds*, 682, 799-804.
- Gupta, R., Gupta M., and Gutberlet, T. (2008). Magnetization in permalloy thin films. *Pramana-Journal of Physics*, 71, 1123-1127.
- Hanafī, E.P., Utari, dan Purnama, B. 2013. Magneto-impedansi pada kumparan kawat Fe. *Jurnal Fisika & Aplikasinya*, Vol. 9, No. 2, pp. 63-65.
- Ismail., Wicaksono, B. A., Nuryani., & Purnama, B. (2015). Pengaruh jumlah multilapisan [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]N terhadap efek magnetoimpedansi pada kawat Cu hasil elektrodeposisi. *Jurnal Materi dan Pembelajaran Fisika (JMPPF)*, 2, 9-12.
- Kanani, N. (2004). *Electroplating Basic Principles, Processes and Practice*. Berlin: Elsevier.
- Maulana, F., Nuryani., & Purnama, B. (2017). *Low-frequency magneto-impedance effect in electrodeposited multilayers [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]N on the Cu-PCB*. 795 (2017) 012018
- Morikawa T., Y. Nishibe, H. Yamadera, Y. Nanomura, M. Takeuchi, Y. Taga, (1997). Giant Magneto-Impedance in Layered thin films. *IEEE Transactions on Magnetics* vol. 33, No. 5.
- Nahrūn, A. A., Ismail., Wicaksono, B. A., Amirudin, M., Nuryani., & Purnama, B. (2015). Penumbuhan multilayer [NiFe/Cu] dengan metode elektrodeposisi sebagai bahan

dasar sensor magneto impedansi. *Seminar Nasional Fisika dan Pembelajarannya*, FM1-FM4.

- Tung, M. T., Hang Le, T. T., Tuan, L. A., Nghi, N. H., & Phan, M. H. (2014). Influence of electrodeposition on the magnetic impedance properties of CoP/Cu wires. *Physica B Elsevier*, 442, 16-20.
- Volchkov, S. O., Fernández, E., García-Arribas, A., Barandiaran, J. M., Lepalovskij, V. N., and Kurljansk, G. V. 2011. Magnetic Properties and Giant Magnetoimpedance of FeNi-Based Nanostructured Multilayers With Variable Thickness of the Central Cu Lead. *Ieee Transactions On Magnetics*, Vol. 47, NO. 10 3328-3331.
- Wicaksono, B. A., Nuryani., & Purnama, B. (2015). Performa sensor berbasis megneto impedansi pada multilapisan [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]N. *Jurnal Fisika dan aplikasinya*, 11, 131-134.