

Fenomena Magneto-impedansi untuk Frekuensi Rendah pada Multilayer $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ Hasil Elektro-deposisi

Muhammad Amiruddin,* Utari, dan Budi Purnama

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Kentingan, Surakarta 57126

Intisari

Karakterisasi magneto-impedansi telah dilakukan pada kawat Cu dengan pelapisan multilayer $[\text{NiFe}/\text{Cu}]_N$ hasil elektro-deposisi. Elektro-deposisi dilakukan pada temperatur ruangan dengan menggunakan Pt sebagai elektrode. Magneto-impedansi dimodifikasi dengan variasi frekuensi dan jumlah perulangan lapisan tipis N. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nisbah MI akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan frekuensi dan perulangan lapisan tipis N. Nisbah MI terbesar sebesar 1,31 diperoleh untuk $N = 3$ pada frekuensi 100 kHz. Perubahan nisbah pada rentang frekuensi rendah ini mengindikasikan bahwa mekanisme MI disumbang oleh perbedaan laju perubahan komponen impedansi imajiner yang lebih cepat dibandingkan komponen riil.

ABSTRACT

Characterization of magneto-impedance effect was conducted on Cu wire with a electrodeposited multilayer $[\text{NiFe}/\text{Cu}]_N$. Electro-deposition process carried out at room temperature with electrode Pt. Magneto-impedance was modified by varying frequency and was repeated N times. The highest magneto-impedance ratio of 1.31 was obtained for $N = 3$ at frequency of 100 kHz. The change of ratio at this low frequency indicated that magneto-impedance mechanism was attributed by the different decreasing speed in imaginary component which was much faster than real component.

KATA KUNCI: multilayer NiFe, electrodeposition, wire substrate, magneto-impedance

I. PENDAHULUAN

Sejak ditemukan pertamakali pada tahun 1994 [1] fenomena magneto-impedansi telah menjadi salah satu sistem sensor magnetik kawasan medan magnet rendah dengan sensitifitas tinggi yaitu orde pico Tesla [2]. Fenomena magneto-impedansi ini secara umum dapat diekspresikan dengan menggunakan persamaan,

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{Z(H) - Z(H_{max})}{Z(H_{max})} \times 100\% \quad (1)$$

dengan $Z(H)$ merupakan impedansi yang terukur ketika diberikan medan magnet, sedangkan $Z(H_{max})$ merupakan impedansi yang terukur ketika nilai medan magnet yang diberikan maksimum atau pada saat nilai impedansi mengalami saturasi. *Classical skin effect* pada konduktor magnetik merupakan faktor penyumbang utama fenomena magneto-impedansi [3]. Sementara *skin effect* bergantung pada *skin depth* yaitu kedalaman gelombang elektromagnetik menembus permukaan ferromagnetik. Perumusan analitik *skin depth* bahan magnetik dipengaruhi oleh permeabilitas (μ) bahan magnetik tersebut seperti ditunjukkan persamaan

$$\delta_m = \frac{c}{\sqrt{4\pi^2 f \sigma \mu \phi}} \quad (2)$$

Dari Pers.(1) teramati dengan jelas bahwa *skin depth* δ_m terkait medan magnet pengimbas luar melalui permeabilitas bahan magnetik terungkap pada fenomena magneto-impedansi. Bahan magnetik dengan permeabilitas tinggi secara teoritis akan memberikan gejala magneto-impedansi yang besar [4]. Namun hal ini dikompensasi dengan realisasi magneto-impedansi pada frekuensi sangat tinggi (mega giga hertz).

Ketika *skin effect* tidak signifikan, maka modulasi magneto-impedansi dapat diusahakan dengan membuat struktur multilayer. Perbedaan impedansi antara dua lapisan dengan konduktansi yang berbeda akan mampu menghadirkan magneto-impedansi dengan frekuensi rendah [5]. Beragam konfigurasi telah difabrikasi yaitu dengan modifikasi tebal *spacer* non magnetic, susunan konfigurasi terbuka maupun tertutup, dan sebagainya. Nilai impedansi yang muncul pada lapisan tipis multilayer dapat diekspresikan dengan persamaan

$$Z = R_m \left(1 - 2j\bar{u}_{yy} \frac{d_1 d_2}{\delta_1^2} \right) \quad (3)$$

dengan R_m merupakan resistansi dari lapisan konduktif, \bar{u}_{yy} merupakan permeabilitas tensor komponen y, d_1 , d_2 secara berturut-turut merupakan tebal lapisan konduktif dan magnetik, dan δ_1 merupakan *skin depth* yang berada di dalam lapisan konduktif. Pers.(3) inilah yang mendasari bahwa ketika kontribusi dari *skin depth* bernilai kecil, rasio MI dapat bernilai besar walaupun pada frekuensi yang rendah [6].

*E-MAIL: amirmanshurin@gmail.com

TABEL I: Larutan elektrolit yang dipakai.

Bahan	Jumlah
Penumbuhan NiFe	
NiSO ₄ .7H ₂ O	0,06 mol
H ₃ BO ₄	0,0094 mol
C ₈ H ₈ O ₃	0,018 g
Penumbuhan Cu	
CuSO ₄ .5H ₂ O	0,012 mol
C ₆ H ₁₂ O ₆	0,048 mol

Pada sisi lain, realisasi sensor magneto-impedansi pada substrat kawat menjadi kajian menarik selain *multilayer films*. Hal ini karena penumbuhan lapisan tipis yang digunakan adalah elektro-deposisi dan realisasi magneto-impedansinya berada pada ketebalan orde m. Terlebih lagi, sampel mudah dibuat untuk dimensi panjang hingga beberapa milimeter tanpa mengalami pengurangan dalam sensitivitasnya [7].

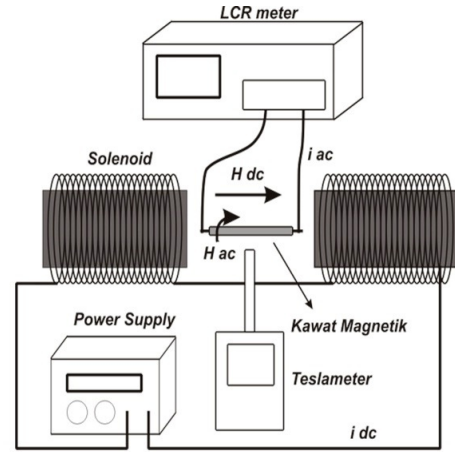
Pada makalah ini, fenomena magneto-impedansi pada lapisan tipis multilayer [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]_N hasil elektro-deposisi dengan substrat kawat Cu akan dikaji. Penggunaan multilayer ini diharapkan untuk dapat merealisasikan magneto-impedansi pada frekuensi rendah. Akhirnya, seluruh pengamatan fenomena magneto-impedansi diamati pada temperatur ruangan.

II. METODE EKSPERIMEN

Pada eksperimen ini, penumbuhan lapisan tipis multilayer [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]_N menggunakan metode elektro-deposisi. Elektrode Pt dipakai untuk keseluruhan fabrikasi. Sedangkan substrat adalah kawat Cu diameter 0,46. Substrat sebelum digunakan dicuci dalam ultrasonic cleaner di lingkungan alkohol 99% selama 10 menit. Tabel I memperlihatkan jenis dan berat mol larutan elektrolit yang digunakan dalam proses elektro-deposisi lapisan tipis multilayer [NiFe/Cu]_N.

Larutan yang sudah terbentuk selanjutnya ditera dengan menggunakan H₂SO₄ 1M sebanyak 0,05 untuk membentuk suasana asam dengan pH 2,7. Setelah larutan telah siap kemudian dilakukan proses elektroplating dengan temperatur larutan konstan yaitu 30°C. Pertama-tama lapisan tipis NiFe dideposisi adalah NiFe dengan rapat arus 15,5 mA/cm², kemudian dilanjutkan dengan Cu dengan rapat arus 16,5 mA/cm². Laju deposisi dengan parameter penumbuhan ini untuk NiFe adalah 2 nm/s dan Cu adalah 6 nm/s. Sedangkan lama deposisi ditetapkan untuk memperoleh ketebalan yang diinginkan. Proses elektroplating ini dilakukan berulang-ulang untuk memperoleh [NiFe(200 nm)/Cu(150 nm)]_N dengan N = 1, 2, 3.

Setelah proses elektroplating selesai dilanjutkan dengan karakterisasi magneto-impedansi (MI). Karakterisasi MI ini menggunakan LCR meter 819 dari GW Instek untuk mengukur nilai impedansi dari kawat Cu yang telah terdeposisi multilayer magnetik [NiFe(200 nm)/Cu(150 nm)]_N. Elektromagnet berupa kumparan/solenoid buatan sendiri dengan jumlah lilitan 2 × 5000 lilitan sebagai penghasil medan magnet external. Solenoid ini mampu menghasilkan medan magnet sebesar 128 mT dengan arus 1,03 A. Diagram skematik



Gambar 1: Diagram skematik pengukuran magneto-impedansi.

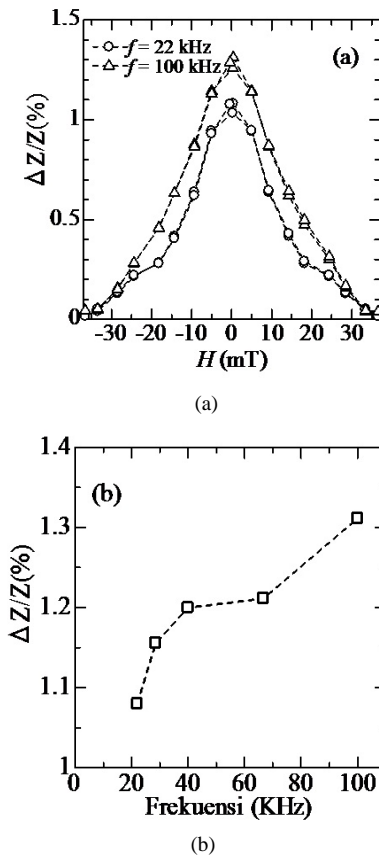
pengukuran magneto-impedansi ditunjukkan pada Gambar 1.

Untuk memperoleh variasi nisbah/rasio magneto-impedansi, pengukuran dilakukan pada frekuensi 20 kHz sampai dengan 100 kHz. Jangkauan pengukuran pada rentang frekuensi ini terletak pada frekuensi rendah. Modifikasi rasio magneto-impedansi lainnya adalah dengan variasi N = 1, 2, dan 3.

Prosedur pengambilan data MI dilakukan dengan mengukur nilai reaktansi (X), dan resistansi (R) dari sampel untuk setiap perubahan H external. Kemudian, nilai impedansi terukur adalah impedansi total sumbangan dari komponen riil yaitu resistansi dan komponen imajiner sumbangan dari kapasitansi dan induktansi. Nilai impedansi ini dihitung dengan rumus $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$. Keseluruhan pengukuran MI ini dilakukan pada temperatur ruang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

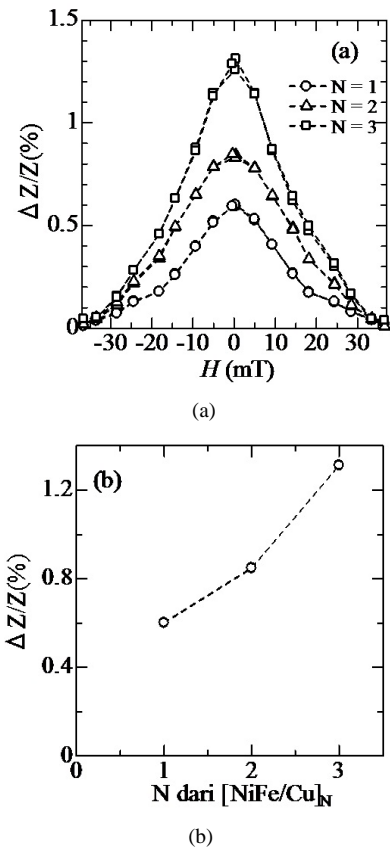
Hasil karakterisasi magneto-impedansi dapat diungkapkan pada Gambar 2. Gambar 2(a) menunjukkan kurva karakteristik MI terhadap aplikasi medan magnet luar dengan variasi frekuensi pada kawat yang dilapisi [NiFe(200 nm)/Cu(150 nm)]₃. Dari gambar terlihat jelas bahwa karakteristik MI untuk setiap variasi frekuensi arus ac memiliki tipikal yang sama. Ketika H = 0 nisbah MI berada pada nilai maximum. Namun ketika medan diberikan H > 0, nisbah MI semakin menurun dan hamper konstan setelah nilai medan maksimum (H_{m.ax}) tertentu yaitu 40 mT. Untuk 2 variasi frekuensi yaitu 22 kHz dan 100 kHz, teramati tidak ada perubahan signifikan perihal H_{m.ax}. Namun nilai nisbah MI cukup terkoreksi dengan perubahan frekuensi ini. Nilai nisbah MI sebesar 1,08% teramati ketika pengukuran MI dilakukan pada f = 22 kHz. Nilai nisbah ini berubah menjadi 1,31% pada pengukuran dengan f = 100 kHz. Gambar 2(b) menunjukkan hubungan perubahan nisbah MI terhadap variasi frekuensi arus ac f untuk sampel [NiFe(200 nm)/Cu(150 nm)]₃. Dari gambar terlihat jelas bahwa nisbah MI meningkat seiring kenaikan nilai f dari frekuensi 22 kHz hingga 100 kHz. Fenomena ini terjadi karena ketika semakin besar frekuensi arus ac yang



Gambar 2: (a) Tipikal kurva MI terhadap medan magnet dan (b) Kurva MI sebagai fungsi frekuensi pada kawat $[\text{NiFe}(200 \text{ nm})/\text{Cu}(150 \text{ nm})]_3$.

mengalir pada kawat maka nilai skin depth akan menjadi kecil. Sehingga nilai nisbah MI dominan dipengaruhi oleh ketebalan lapisan baik NiFe maupun Cu serta permeabilitas sampel. Ketergantungan nilai permeabilitas magnetik terhadap frekuensi pada variasi medan pengimbas luar merupakan penyebab perubahan nisbah MI ini.

Gambar 3(a) menunjukkan kurva karakteristik MI terhadap aplikasi medan magnet dengan variasi jumlah N lapisan $[\text{NiFe}(200 \text{ nm})/\text{Cu}(150 \text{ nm})]_N$ pada frekuensi 100 KHz. Dari gambar terlihat jelas bahwa variasi N lapisan NiFe/Cu menunjukkan tipikal grafik MI yang sama, namun dengan nilai puncak MI yang berbeda. Untuk $N = 1$, nisbah MI sebesar 0,61% diperoleh. Kemudian meningkat menjadi 0,85% untuk $N = 2$ dan akhirnya MI menjadi 1,31% untuk $N = 3$. Peningkatan nilai nisbah MI lebih dari dua kali dengan kenaikan nilai perulangan pelapisan N . Selain kenaikan nisbah MI, perubahan N juga meningkatkan sensitifitas sensor jika sampel diaplikasikan sebagai sensor magnet dengan kemiringan kurva didefinisikan sebagai sensitifitas. Sensitifitas sensor magneto-impedansi $N = 1, 2$ dan 3 adalah berturut-turut 28,8 m /mT, 32,1 m /mT dan 53,3 m /mT. Gambar 3(b) menunjukkan bahwa kenaikan jumlah lapisan N pada konfigurasi multilayer maka semakin besar pula nisbah MI yang dihasilkan.



Gambar 3: (a) Kurva MI sebagai fungsi N , (b) Hubungan nisbah MI dengan N untuk sampel lapisan tipis $[\text{NiFe}(200 \text{ nm})/\text{Cu}(150 \text{ nm})]_N$; $N = 1, 2$, dan 3 diukur pada frekuensi 100 kHz.

MI meningkat secara linier dengan kenaikan N . Kenyataan hasil ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Kenaikan jumlah perulangan lapisan tipis akan meningkatkan komponen riil impedansi dan imajiner impedansi sampel. Ketika jumlah perulangan lapisan N dimodifikasi, nilai reaktansi yaitu bagian imajiner impedansi total sampel mengalami perubahan lebih drastik dibandingkan komponen riil. Akibatnya, nilai terukur nisbah MI untuk sampel dengan $N = 3$ terbesar dibandingkan sampel lainnya.

IV. SIMPULAN

Karakterisasi fenomena magneto-impedansi telah dilakukan pada kawat Cu dengan pelapisan multilayer $[\text{NiFe}/\text{Cu}]_N$ hasil elektro-deposisi. Elektro-deposisi dilakukan pada temperatur ruangan dengan menggunakan Pt sebagai elektrode. magneto-impedansi dimodifikasi dengan variasi frekuensi dan jumlah perulangan lapisan tipis N . Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nisbah MI akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan frekuensi hingga frekuensi 100 kHz. Nisbah MI juga meningkat seiring dengan kenaikan perulangan lapisan tipis N . Nisbah MI terbesar yaitu sebesar 1,31 diperoleh untuk sampel dengan $N = 3$ pada

frekuensi 100 kHz. Perubahan nisbah pada rentang frekuensi rendah ini mengindikasikan bahwa mekanisme MI disumbang

oleh perbedaan laju perubahan komponen impedansi imajiner yang lebih cepat dibandingkan komponen riil.

-
- [1] G.V. Kurlyandskaya, *et al.*, *Textures & Microstructures*, **32**, 269-279 (1999).
- [2] T. Uchiyama, *et al.*, *IEEE Trans.Magns*, **47**(10), 3070-3073 (2011).
- [3] C. Garcia, *et al.*, *Applied Physics Letters.*, **96**, 232501 (2010).
- [4] M.H. Phan, and H.X. Peng., *Progress in Materials Science.*, **53**, 323-420 (2008).
- [5] Fernandez, *et al.*, *Nanoscale Research Letters*, **7**, 230 (2012).
- [6] L.V. Panina, and D.P. Makhnovskiy, *Introduction to Complex Mediums for Optics and Electromagnetics* (SPIE Optical Engineering Press, 2003).
- [7] B. Fisher, *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, **49**(1), 89-92 (2013).