

Sensitifitas sensor Magnetoimpedansi pada sistem Multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ hasil Elektrodeposisi Substrat Cu-Printed Circuit Board

Frendi Maulana

Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Lampung

Email : frendimaulana270@gmail.com

Abstrak. Magnetoimpedansi (MI) telah diamati untuk sampel multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ substrat Cu-Printed Circuit Board. Sistem multilapisan ditumbuhkan melalui proses elektrodeposisi dengan memodifikasi jumlah perulangan multilapisan sebanyak $N = 2$ sampai 6. Rasio MI dianalisis melalui pengujian impedansi dibawah medan magnet luar pada frekuensi 100 kHz. Jika diaplikasikan sebagai sensor magnet, nilai sensitifitas dapat dianalisa menggunakan persamaan $\xi = 2[(\Delta Z/Z)_{\max}]/\Delta H$. Hasil uji dan perhitungan ditemukan keselarasan antara peningkatan rasio magnetoimpedansi dengan sensitifitas sensor berbanding lurus. Rasio MI meningkat ± 1.61 kali lipat dengan penambahan jumlah multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ dari $N = 2$ sampai $N = 6$ lapis, atau meningkat dari 3.32 % menjadi 5.36 % sebesar 2,04 %. Peningkatan tersebut kemungkinan disebabkan karena bertambahnya jumlah multilapisan pada sampel meningkatkan permeabilitas bahan magnetik sistem multilapisan itu sendiri. Penambahan jumlah multilapisan telah meningkatkan sensitifitas sensor sebesar $\pm 1,64$ kali lipat. Sensitifitas tertinggi didapat pada sampel dengan $N=6$ sebesar 0,61 %/Oe.

Kata kunci : sensor; magnetoimpedansi

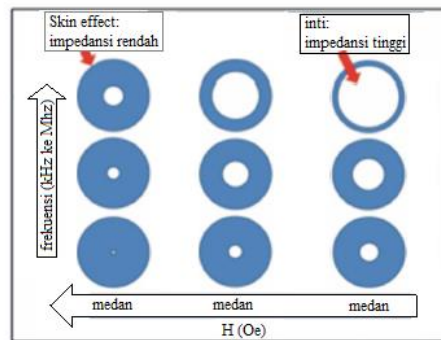
1. Pendahuluan

Konsep magneto-impedansi berakar pada gagasan ketergantungan impedansi pada *skin depth* konduktor. Dimana frekuensi arus AC yang mengalir melalui sampel konduktor akan terkonsentrasi di permukaan. Munculnya suatu fenomena perubahan impedansi yang ditimbulkan karena perubahan skin depth dari arus AC dalam bahan konduktor ketika diberi medan magnet dikenal sebagai efek magnetoimpedansi (MI) [1]. Untuk sistem multilapisan tipis, *skin depth* dipengaruhi oleh permeabilitas magnetik yang dinyatakan oleh:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} \quad (1)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2)$$

Skin depth (δ) berbanding terbalik dengan akar kuadrat produk dari frekuensi melingkar (ω), konduktivitas (σ), dan permeabilitas (μ) bahan. Untuk bahan-bahan feromagnetik, μ bergantung pada frekuensi dan amplitudo arus AC serta besarnya medan magnet luar. Permeabilitas magnetik sejatinya merupakan derajat magnetisasi sebuah material dalam merespon suatu medan magnet.



Gambar 1. ilustrasi pengaruh frekuensi terhadap skin efek (atau skin depth) [2].

Fenomena MI telah lama menarik perhatian komunitas ilmiah sejak pertama kali ditemukan oleh Panina dan Mohri tahun 1994. Sejak saat itu, Magnetoimpedansi telah memberikan peluang baru dalam mengembangkan sensor magnetik yang memenuhi persyaratan. Sensor magnetik berbasis magnetoimpedansi menawarkan keunggulan yang lebih baik dari sensor pada umumnya karena dapat dioperasikan pada suhu kamar, sangat sensitif dengan kepekaan ultrahigh (medan deteksi, ~ 100 pT), tetap stabil pada suhu tinggi, resolusi ruang tinggi, ukuran kecil, ringan, dan konsumsi daya yang rendah [3].

Sebuah studi MI melaporkan pemanfaatan permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) sebagai material sensor yang memiliki keunggulan yakni medan koersif dan magnetostriksi rendah. Permalloy $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ dibuat dari logam campuran nikel dengan kadar 80% dan besi dengan kadar 20%. Dari berbagai logam campuran nikel-besi, permalloy mempunyai permeabilitas paling besar (300.000) dan medan koersif yang kecil (0,02 Oe) sehingga mudah untuk dimagnetisasi [4]. Disamping itu, aplikasi sampel sistem multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ sebagai sensor magnetoimpedansi dapat berpotensi sebagai sensor magnetik dengan sensitifitas tinggi pada substrat fleksibel [5]. Oleh karena itu kajian penelitian ini menggunakan permalloy ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) sebagai material sensor yang akan diamati. Karakterisasi substrat Cu-PCB (*printed circuit board*) dilakukan untuk mengevaluasi Rasio MI dan performa sensor sampel multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ yang diuji menggunakan arus AC frekuensi rendah (100 kHz). Pada makalah ini, studi MI diamati untuk sampel dengan variasi jumlah perulangan multilapisan sebanyak $N = 2$ sampai $N = 6$.

Secara umum nilai impedansi keseluruhan $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ selama periode pengukuran disumbang oleh besarnya nilai resistansi dan reaktansi; dimana R adalah bagian real (resistansi) dan X adalah bagian imajinar (reaktansi). Perubahan nilai rasio MI dinyatakan menggunakan persamaan:

$$\frac{\Delta Z}{Z}(\%) = 100\% \frac{Z(H) - Z(H)_{\max}}{Z(H)_{\max}} \quad (3)$$

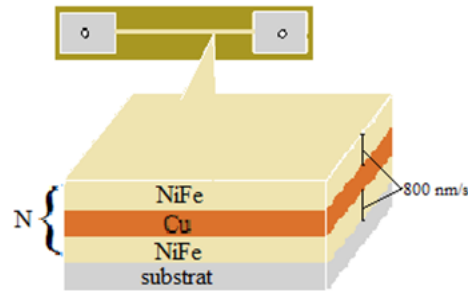
$Z(H)$ adalah impedansi yang terukur pada saat diberikan medan magnet luar H , serta $Z(H)_{\max}$ merupakan nilai impedansi yang terukur pada saat H maksimum [6]. Sensitifitas sensor berbasis MI dinyatakan kedalam persamaan berikut:

$$\xi = \frac{2(\frac{\Delta Z}{Z})_{\max}}{\Delta H} \quad (4)$$

dimana ΔH adalah wilayah cakupan lebar penuh pada setengah maksimum kurva rasio MI [7]. Nilai sensitifitas yang tinggi menunjukkan kualitas sensor yang baik untuk bahan-bahan feromagnetik.

2. Metode penelitian

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



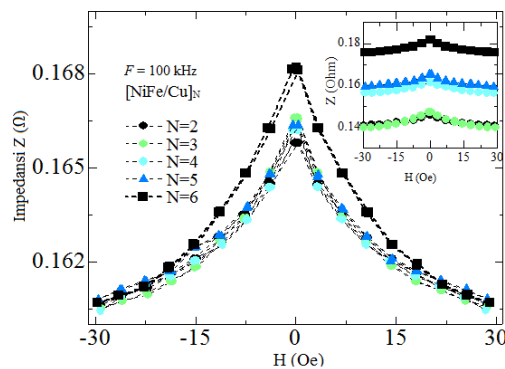
Gambar 2. Skema sampel $[\text{NiFe}(800\text{nm})/\text{Cu}(x)\text{nm}]_N$ hasil elektrodeposisi

Penumbuhan sistem multilapisan $[\text{NiFe}(800\text{nm})/\text{Cu}(x)\text{nm}]_N$ seperti pada penelitian sebelumnya, dimana tebal lapisan magnetik NiFe maupun lapisan konduktif Cu didapatkan dari durasi waktu deposisi. Rapat arus untuk pelapisan Ni₈₀Fe₂₀ sebesar 15,5 mA/cm² dan beda potensial 3,5 V dengan laju deposisi 2 nm/s sedangkan untuk pelapisan Cu menggunakan rapat arus 8 mA/cm², beda potensial 3 V dengan laju deposisi 6 nm/s. variasi jumlah multilapisan dalam penelitian ini berturut-turut sebesar N=2, N=3, N=4, N=5, N=6. Sebelum dibuat multilapisan, preparasi substrat memakai ultrasonic cleaner kadar etanol 70%. Komposisi larutan elektrolit pembentuk lapisan magnetik berturut-turut adalah NiSO₄.6H₂O (0,009 M), FeSO₄.7H₂O (0,012 M), H₃BO₃ (0,149 M), C₆H₈O₃ (0,002 M), dan aquades 120 ml. Sedangkan komposisi pembentuk larutan spacer Cu sebagai lapisan konduktif adalah CuSO₄.5H₂O (0,065 M), C₆H₁₂O₆ (0,002 M), dan aquades 120 ml [8].

Pada penelitian ini, bahan aditif berupa cairan H₂SO₄ kadar 0,1 M (±1 tetes) masing-masing ditambahkan kedalam dua larutan elektrolit tersebut untuk menjaga derajat keasaman pH = 2,6 [18]. Fungsi bahan aditif dalam proses elektrodeposisi adalah sebagai penstabil, agen pereduksi, agen pengompleks dan untuk mempertahankan pH larutan elektrolit [16]. Kedua larutan elektrolit yang akan digunakan diupayakan dalam kondisi fresh (baru) dan suhu ruang dijaga konstan selama proses fabrikasi berlangsung.

3. Hasil dan pembahasan

Pengamatan fenomena magnetoimpedansi telah dilakukan pada variasi jumlah perulangan multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ dari $N=2,3,4,5,6$ pada frekuensi 100 kHz yang disajikan pada Gambar 3.

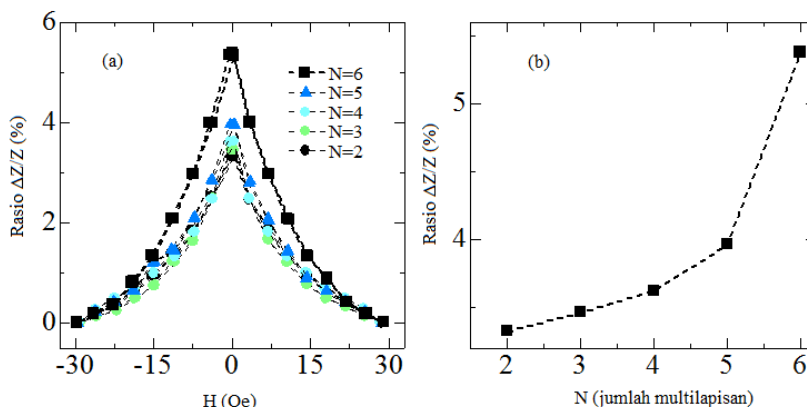


Gambar 3. typical kurva Impedansi (Z) sebagai fungsi medan (H) pengaruh jumlah multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ substrat Cu-PCB pada frekuensi 100 kHz.

Sistem multilapisan dalam penelitian ini telah ditumbuhkan diatas substrat Cu-PCB panjang 3,5 cm². Satu multilapisan ditandai dengan dua lapisan magnetik dan satu lapisan konduktif (magnetik/ konduktif / magnetik). Teknik ini sesuai dengan eksperimen yang sudah dilakukan bahwa pemisahan konduktif lapisan dalam dan luar adalah teknologi kunci [17]. Secara eksperimental sistim geometri dengan jumlah multilapisan lebih banyak memperlihatkan peningkatan nilai rasio MI yang jauh lebih besar dibandingkan sampel dengan sedikit multilapisan teramati selama penelitian. Fenomena MI dapat diamati melalui

adanya *tren* perubahan nilai impedansi dalam merespon pemberian medan magnet yang diberikan selama pengukuran.

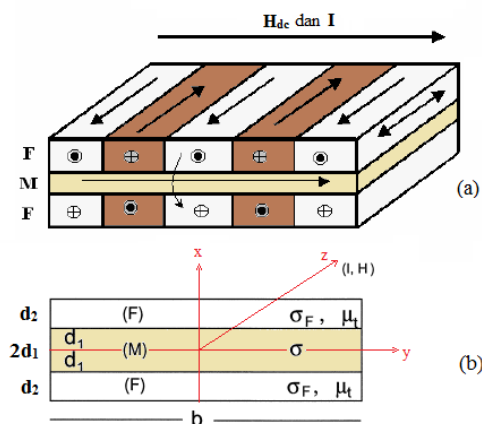
Hasil pengujian Gambar 3. apabila diamati seksama masing-masing nilai impedansi maksimum dicapai pada saat medan yang diberikan nol ($H=0$ Oe), selanjutnya menurun relatif jenuh mencapai kondisi lebih stabil setelah $H=28$ Oe. Fenomena perubahan keadaan tersebut secara definisi dikenal sebagai efek magnetoimpedansi. Sementara perbedaan nilai puncak impedansi yang terbaca pada setiap sampel diyakini karena adanya pengaruh jumlah multilapisan masing-masing sampel yang ditunjukkan Gambar 4 berikut.



Gambar 4. (a) kurva rasio magneto-impedansi ($\Delta Z/Z$) multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ pada frekuensi 100 kHz, (b) hubungan N terhadap rasio $\Delta Z/Z$ (%).

Secara teori sistim geometri berlapis banyak (multilayer) memperlihatkan peningkatan efek rasio MI yang jauh lebih besar dibandingkan pada geometri berlapis tunggal (single-layer) [9].

Secara teori untuk kasus dengan struktur multilapisan ($F / M / F$) perubahan impedansi yang sangat besar dapat terjadi pada frekuensi yang jauh lebih rendah. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan resistansi yang cukup besar antara lapisan konduktif (M) dengan lapisan magnetik (F) seperti ilustrasiampang lintang dari sistem multilapisan berikut:



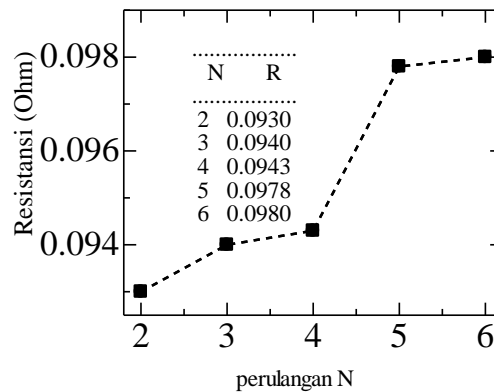
Gambar 5. (a) struktur domain pada sistem multilapisan (b) tampang lintang dari multilapisan [10][11].

Lapisan konduktif yang terjepit akan dilewati sebagian besar arus AC dan menciptakan fluks (Φ) di lapisan magnetik. Hal ini dikarenakan konduktivitas dari lapisan konduktif (σ_1) menjadi lebih besar dari lapisan magnetik (σ_2). Pada saat arus listrik mengalir ke arah sumbu y , faktor skin depth dapat diabaikan yang dipengaruhi oleh ketebalan kedua lapisan ($d_1 > d_2$).

Gambar 4. Di atas menunjukkan kurva puncak rasio magnetoimpedansi terhadap perulangan jumlah multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$. Rasio MI meningkat dari 3.32 % menjadi 5.36 % atau sebesar 2,04 % selama pengukuran. Artinya, peningkatan jumlah multilapisan dari $N=2$ sampai $N=6$ meningkatkan rasio MI setidaknya $\pm 1,61$ kali lipat. Kemungkinan hal ini disebabkan karena bertambahnya jumlah multilapisan pada sampel meningkatkan permeabilitas bahan magnetik sistem multilapisan itu sendiri.

Jika merujuk persamaan (1) dan (2), dapat difahami bahwa nilai permeabilitas, resistansi dan impedansi pada umumnya berbanding terbalik terhadap nilai skin depth sampel. Hasil penelitian lain melaporkan bahwa bahan yang memiliki permeabilitas yang lebih tinggi dikarenakan jumlah lapisan magnetiknya yang lebih banyak akan mempunyai nilai skin depth yang lebih kecil dan keadaan tersebut berlaku kebalikanya [10, 12-15].

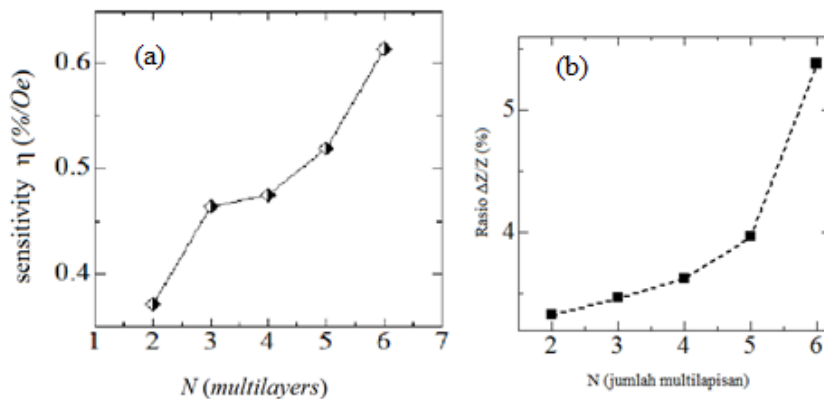
Disamping itu, nilai impedansi dalam penelitian ini salah satunya ditentukan oleh besar kecilnya resistansi bahan. Karena impedansi total adalah akar kuadrat resistansi (real) dan reaktansi (imaginary). Selama pengujian berlangsung, teramati adanya kenaikan pada nilai resistansi sampel disetiap bertambahnya jumlah multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$, nilai resistansi hasil uji ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 6. nilai resistansi multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ sebagai fungsi perulangan N.

Berdasarkan hasil penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 6, penambahan perulangan multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ secara efektif telah merespos peningkatan nilai MI pada bahan Cu-PCB. Hal ini dikarenakan adanya penambahan perulangan multilapisan (N) softmagnetic telah memperbesar permeabilitas (μT) sampel dan meningkatkan nilai resistansi (Ω) sesuai yang di ilustrasikan Gambar 5 dan pada persamaan (1).

Penelitian ini juga telah melakukan analisa perhitungan sensitifitas sensor magnetoimpedansi diseluru sampel multilapisan dan frekuensi pengujian arus AC.



Gambar 7. (a) nilai sensitifitas sensor sebagai fungsi N, (b) Rasio MI sebagai fungsi N

Gambar 7, menunjukkan hubungan sensitifitas sensor sampel terhadap jumlah multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ pada substrat Cu-PCB. memperlihatkan secara jelas bahwa kenaikan rasio MI berbanding lurus dengan kenaikan nilai sensitivitas sensor berbasis MI. Perhitungan sensitifitas sensor sampel multilapisan dengan $N=2,3,4,5$ dan 6 berturut-turut adalah $0,37 \text{ %/Oe}$, $0,46 \text{ %/Oe}$, $0,47 \text{ %/Oe}$, $0,51 \text{ %/Oe}$ dan $0,61 \text{ %/Oe}$. Hal ini menegaskan bahwa sampel dengan penambahan multilapisan mampu meningkatkan sensitifitas sensor magnetoimpedansi sebesar $\pm 1,64$ kali lipat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan kajian fenomena magnetoimpedansi pada lapisan tipis sampel Cu-PCB, temuan-temuan penelitian sebagai berikut: Hasil uji dan perhitungan ditemukan keselarasan antara peningkatan rasio magnetoimpedansi dengan sensitifitas sensor berbanding lurus. Rasio MI meningkat ± 1.61 kali lipat dengan penambahan jumlah multilapisan [Ni₈₀Fe₂₀/Cu]N dari N = 2 sampai N = 6 lapis, atau meningkat dari 3.32 % menjadi 5.36 % sebesar 2,04 %. Peningkatan tersebut kemungkinan disebabkan karena bertambahnya jumlah multilapisan pada sampel meningkatkan permeabilitas bahan magnetik sistem multilapisan itu sendiri. Penambahan jumlah multilapisan telah meningkatkan sensitifitas sensor sebesar $\pm 1,64$ kali lipat. Sensitifitas tertinggi didapat pada sampel dengan N=6 sebesar 0,61 %/Oe.

5. Daftar Pustaka

- [1] Sinnecker, J. P., Knobel, M., Pirota, K. R., Garcí'a, J. M., Asenjo, A., Va'zquez, M. 2000. Frequency dependence of the magnetoimpedance in amorphous CoP electrodeposited layers. *Journal Of Applied Physics*, vol 87, no.9.
- [2] Uppili, H., Daglen, B. 2013. Bi-Directional Giant Magneto Impedance Sensor. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, vol 3, pp. 249-254.
- [3] 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.
- [4] Gupta, R., Gupta M., and Gutberlet, T. 2008. Magnetization in permalloy thin films. *Pramana-Journal of Physics*, 71, 1123-1127.
- [5] Nahrun, 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*.
- [6] Phan, M.H., dan Peng, H.X. 2008. Giant magnetoimpedance materials: Fundamentals and applications. *Progress in Materials Science*, vol 53, pp. 323-420.
- [7] Tuan, L.A., Huy, N.T., and Huy, P.T., 2009. Giant magnetoimpedance in layered composite micro-wires for high-sensitivity magnetic sensor applications. *Journal of Physics: Conference Series* 187 012044
- [8] Maulana F, Nuryani, and Purnama B 2017 *journal of physic conference series*, 1 vol 795
- [9] Panina, L.V., & Makhnovskiy, D.P. 2003. Magnetoimpedance in Multilayered Films for Miniature Magnetic Sensors: Book chapter in *Introduction to Complex Mediums for Optics and Electromagnetics*. Plymouth: SPIE Optical Engineering Press.
- [10] Borge, A. 2005. Giant magneto-impedance effect in thin film layered structures. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering University of Central Florida.
- [11] Makhnovskiy, D.P., & Panina, L.V. 2005. Field and stress tunable microwave composite materials based on ferromagnetic wires : *Progress in Ferromagnetic Research*. Plymouth: Nova Science Publisher.
- [12] 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.
- [13] Seet Hang Li. 2008. Research And Development Of Super Permeability Nife/Cu Composite Wires For Micro Magnetic Sensors. Thesis, National University Of Singapore.
- [14] Sirisathitkul, C., and Jantaratana, P. 2009. Magnetoimpedance of electroplated wires with large core diameters. *J. Mater. Sci. Technol*, 25(6), 825-828
- [15] Zhang, Y., Dong, J., Sun, X., Liu, Q., and Wang, J. 2013. Interface coupling-induced enhancement of magnetoimpedance effect in heterogeneous nanobrush by adjusting textures of Co nanowires. *Nanoscale Research Letters*, 8, 471.
- [16] Kanani, N. 2004. *Electroplating Basic Principles, Processes and Practice*. Berlin: Elsevier.
- [17] 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.
- [18] Hanafi, E.P., Utari., & Purnama, B. 2013. Magneto-impedansi pada kumparan kawat Fe. *Jurnal Fisika & Aplikasinya*, 9 (2), 63-65.