

Performa Sensor Berbasis Magneto-Impedansi pada Multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$

Blasius Anggit Wicaksono,* Nuryani, dan Budi Purnama
 Program Studi Ilmu Fisika,
 Program Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret
 Jl. Ir. Sutami No 36A Surakarta 57126

Intisari

Telah dilaksanakan analisis performa sensor magnetik berbasis magneto-impedansi multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ pada kawat Cu. Multilapisan adalah hasil elektrodeposisi dengan Pt (platina) sebagai elektroda. Performa sensor diamati dari hasil pengukuran nisbah magneto-impedansi dan sensitifitas sampel. Sedangkan sensor dimodifikasi berdasarkan modifikasi ketebalan lapisan konduktor dan jumlah perulangan pada sistem multilayer serta variasi bentuk geometri sensor. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa sensitifitas sensor MI tertinggi adalah 53,75%/mT untuk sampel $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800\text{nm})/\text{Cu} (200\text{nm})]_3$.

Abstract

Analysis of performance magnetic sensor has been carried out based magneto-impedance of $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ multilayers on Cu wire. The multilayer is the result of electro-deposition methods with Pt (platinum) as the electrode. Sensor performance observed from the measurement of magneto-impedance ratio and sensitivity of the sample. While the sensor is modified based on the thickness of the conductor layer, the number of repetition in multilayer systems and a shape of geometric sensor. The observation shows that the highest MI sensor sensitivity is 53.75% / mT to sample of $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800\text{nm})/\text{Cu} (200\text{nm})]_3$.

KATA KUNCI: sensitivity sensor MI, $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$, electro-deposition

I. PENDAHULUAN

Dewasa ini, terdapat beberapa ragam metode yang tersedia untuk mengindera dan mengukur kuat medan magnet seperti metode efek Hall, metode induksi, metode flux-gate, magneto resistansi dan magneto-impedansi. Metode magneto-impedansi merupakan metode pengembangan lebih lanjut perubahan sifat kelistrikan bahan akibat medan terpasang. Dalam perkembangannya, magneto-impedansi (MI) menarik perhatian para ilmuwan mengingat sensor magneto-impedansi dapat ditumbuhkan di atas substrat fleksibel [1] dan sensitifitasnya yang sangat tinggi hingga mencapai orde pico Tesla [2].

Selanjutnya, sensor MI banyak diaplikasikan di berbagai bidang, misalnya deteksi kendaraan, geomagnetik, deteksi mata uang, sensor gerak, sensor arus, disk drive [1]. Akhir-akhir ini, sensor MI ini banyak dikembangkan untuk mendeteksi sumber medan magnet bio-medikal dari tubuh manusia seperti jantung, sistem komunikasi pada neuron [3, 4].

Pada makalah ini, sensor berbasis fenomena magneto-impedansi pada multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ hasil elektrodeposisi untuk frekuensi jangkauan rendah dievaluasi performanya berdasar perolehan nilai nisbah MI dan sensitifitas. Sensor dimodifikasi meliputi ketebalan lapisan konduktif

(*spacer* Cu), jumlah perulangan lapisan, dan bentuk geometri sampel.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Multi lapisan tipis pada penelitian ini dihasilkan menggunakan metode elektro-deposisi dengan elektroda kawat Pt (platina). Prosedur penumbuhannya mengadopsi dengan memodifikasi pada penelitian sebelumnya [5]. Substrat yang dipakai pada penelitian berupa kawat Cu (tembaga) berdiameter 0,46 mm. Substrat digunakan dibersihkan ultrasonic cleaner dalam lingkungan alkohol.

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat larutan elektrolit dapat dilihat pada Tabel I. Larutan elektrolit tersebut diupayakan mencapai keadaan asam yang ukuran pH berkisar 2,7 dengan cara diberikan beberapa tetes H_2SO_4 1M.

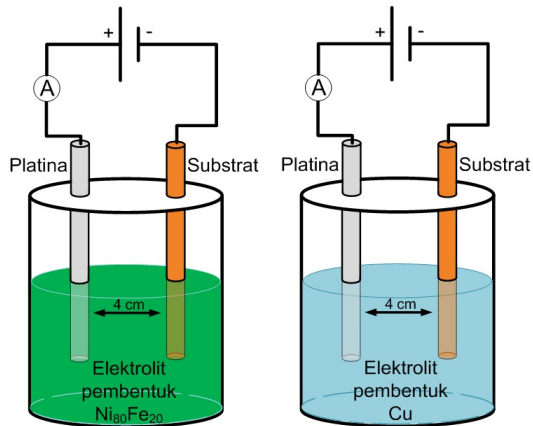
Gambar 1 menunjukkan skema proses elektro-deposisi lapisan $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ dan Cu. Mula-mula proses penumbuhan lapisan $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ sebagai komponen magnetik multi-lapisan pada substrat menggunakan rapat arus $15,5 \text{ mA/cm}^2$. Setelah itu dilanjutkan proses deposisi Cu dengan rapat arus 8 mA/cm^2 sebagai lapisan konduktif pada substrat yang sebelumnya telah dilapisi lapisan magnetik $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$. Kedua proses pelapisan tersebut dilakukan berulang-ulang, sehingga terbentuklah lapisan multi-lapisan/*multilayer*.

Pada eksperimen ini, tiga tipe sampel sensor magneto-impedansi dievaluasi performanya. Sampel pertama dibuat

*E-MAIL: wicakgitya@gmail.com

TABEL I: Elektrolit bath untuk deposisi multi-lapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$.

Elektrolit	Bahan	Jumlah
Pembentuk NiFe	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,099 M
	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,012 M
	H_3BO_4	0,149 M
	$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_3$	0,002 M
Pembentuk Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,065 M
	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	0,002 M



Gambar 1: Skema elektro-deposisi lapisan (a) $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ dan (b) Cu pada multi lapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$.

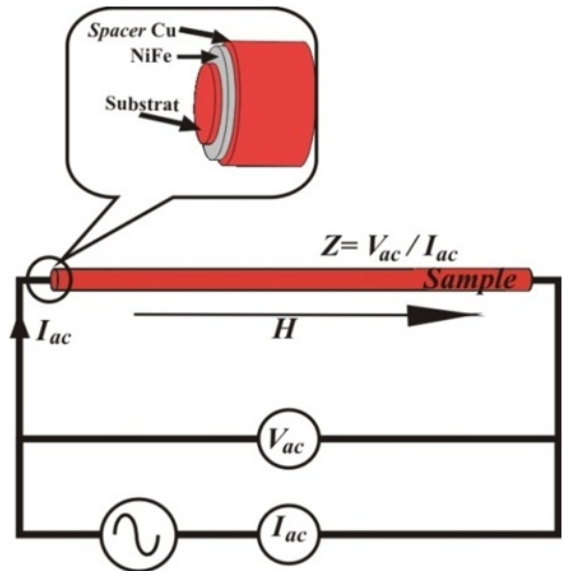
dengan modifikasi ketebalan lapisan konduktif pada konfigurasi multi-lapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (800 nm)/Cu (y)]₃ dengan y = 200, 250, 300, dan 350 nm. Kedua, sampel sensor dimodifikasi N kali jumlah perulangan lapisan pada sistem multi-lapisan/multilayer $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (800 nm)/Cu (300 nm)]_N dengan N = 1, 3, dan 5. Serta modifikasi bentuk geometri sampel, yaitu sampel dibuat kumparan seperti pada Gambar 2.

Sampel-sampel multi-lapisan tersebut dikarakterisasi nisbah magneto-impedansi (MI) dan dihitung sensitifitasnya dengan skematik pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 3.

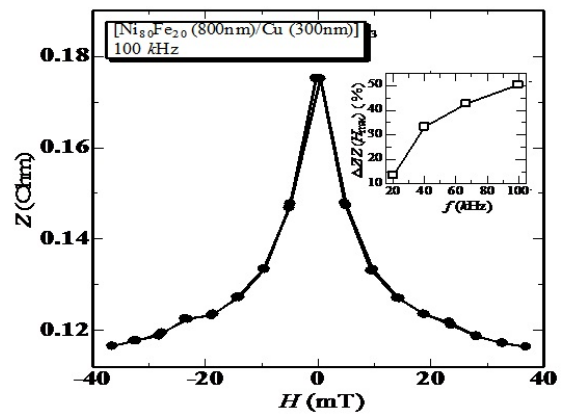
Nilai impedansi total pada pengukuran diatas adalah sumbangan nilai resistansi (R) dan reaktansi (X) dari masing-masing sampel $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$. Untuk setiap perubahan medan luar (H), masing-masing komponen dihitung dan dihi-



Gambar 2: Skematik sensor MI bentuk kumparan .



Gambar 3: Skema pengukuran magneto-impedansi.



Gambar 4: Grafik impedansi listrik total Z sebagai fungsi medan magnet H atau dikenal sebagai kurva magneto-impedansi (MI) untuk multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ (800nm)/Cu (300nm)]₃ pada frekuensi pengukuran 100 kHz dan grafik nisbah/rasio MI sebagai fungsi frekuensi (*inset*).

tung nilai impedansi total pada medan magnet tertentu. Besar nilai nisbah MI dapat diekspresikan dengan 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 luar H, sedangkan Z(H_{max}) merupakan impedansi yang terukur ketika nilai medan magnet yang diberikan maksimum [6]. Sedangkan untuk perhitungan sensitifitas sensor MI digunakan hubungan berikut,

$$\eta = \frac{2 \left(\frac{\Delta Z}{Z} \right)_{max}}{\Delta H} \quad (2)$$

dengan ΔH adalah lebar penuh pada setengah maksimum kurva MI [7].

TABEL II: Sensitifitas Sensor MI pada frekuensi 100 kHz.

Parameter	Konfigurasi	Nisbah MI (%)	Sensitifitas (%/mT)
Ketebalan Lapisan Konduktif (y)	[Ni ₈₀ Fe ₂₀ (800 nm)/ Cu (y)]		
	y = 200 nm	118,26	53,75
	y = 250 nm	103,33	40,52
	y = 300 nm	64,95	14,93
	y = 350 nm	48,44	7,12
Jumlah Perulangan Lapisan (N)	[Ni ₈₀ Fe ₂₀ (800 nm)/ Cu (300 nm)] _N		
	N = 1	97	4,20
	N = 3	54	9,70
	N = 5	22	26,63
Bentuk Geometri Sampel	[Ni ₈₀ Fe ₂₀ (800 nm)/ Cu (300 nm)] ₃		
	Linier $\ell = 3$ cm	54,36	9,05
	Kumparan D = 0,3 cm	70,54	12,82

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan tipikal grafik impedansi Z sebagai fungsi medan magnet atau yang dikenal sebagai fenomena magnetoimpedansi pada sampel multi-lapisan [Ni₈₀Fe₂₀ (800 nm)/Cu (300 nm)]₃ dengan frekuensi pengukuran 100 kHz. Grafik tersebut teramati secara jelas karakterisasi perubahan kurva impedansi saat diberikan medan magnet luar H. Saat H= 0, nilai impedansi terukur maksimum Zmaks dan kemudian berangsur-angsur turun dengan kenaikan H hingga mencapai hampir jenuh pada nilai Z = 0,12 Ω setelah H ± 30 mT. Tipikal kurva semacam ini teramati juga untuk frekuensi lainnya, namun dengan nilai puncak Zmaks yang berbeda.

Nilai nisbah/rasio MI dihitung dengan Pers.(1) menggunakan data perubahan nilai impedansi akibat medan magnet yang telah diperoleh. Tipikal kurva rasio MI semacam ini juga teramati untuk frekuensi lainnya, namun dengan nilai puncak yang berbeda. Dengan menganalisa puncak-puncak kurva rasio MI tiap frekuensi, didapat bahwa nilai rasio MI meningkat seiring dengan kenaikan frekuensi. Peningkatan tersebut cenderung konstan setelah frekuensi 40 kHz. Hasil ini mengindikasikan bahwa sumbangan dominan berada pada perubahan komponen reaktansi akibat medan pengimbas luar [8]. Hasil ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Dengan meninjau sebagai sistem sederhana, ketika H_{ex} meningkat sepanjang arah longitudinal, magnetisasi dalam setiap domain berputar ke arah sumbu ini dan meningkatkan nilai impedansi Z. Permeabilitas maksimum tercapai ketika medan magnet eksternal statis dapat menyeimbangkan medan transversal anisotropi H_k, yaitu keadaan impedansi memiliki nilai maksimum. Peningkatan lebih lanjut dari H_{ex} mengarah ke situasi dengan rotasi magnetisasi melingkar (*circular magnetization*). Oleh karena itu permeabilitas circular permeability μ_{φ} berkurang, mencapai nilai konstan dan sangat rendah. Impedansi Z mengikuti perilaku yang sama. Untuk frekuensi yang relatif rendah, ketergantungan bidang impedansi tersebut diberikan untuk komponen induktif, yang hanya sebanding dengan *circular permeability* [9].

Dari data rasio MI yang telah diperoleh dan dengan analisis

sensitifitas sensor dengan Pers.(2), *key performance* sensor MI dengan berbagai modifikasi pada frekuensi pengukuran 100 kHz dapat dilihat pada Tabel II. Teramati dengan jelas bahwa kenaikan nisbah MI selaras dengan kenaikan sensitifitas sensor.

Dari hasil penelitian, setiap variasi pada masing-masing konfigurasi sampel yang telah dilakukan memiliki tingkat sensitifitas yang berbeda. Pada modifikasi ketebalan lapisan konduktif didapat sensitifitas sensor MI tertinggi 53,75%/mT di ketebalan 200 nm, yaitu di ketebalan paling tipis konduktif. Modifikasi ini menghasilkan sensitifitas sensor MI semakin menurun seiring dengan penambahan ketebalan konduktif. Efek ini dapat dijelaskan dengan teori MI yang terjadi pada sistem multilapisan yang terealisasi pada konduktor kawat silinder. Efek ini dikarenakan adanya perbedaan resistansi antara lapisan magnetik dan non-magnetik. Ketika nilai ketebalan magnetik meningkat maka resistansi dari lapisan ini mengalami penurunan. Ketika lapisan magnetik ini terus diperbesar maka resistansi dari lapisan magnetik ini akan mendekati nilai resistansi dari lapisan non-magnetik.

Sedangkan pada modifikasi perulangan lapisan, sensitifitas sensor MI tertinggi 26,63%/mT pada N = 5, yaitu pada jumlah perulangan lapisan terbanyak. Kenaikan jumlah perulangan lapisan akan meningkatkan komponen riil dan imajiner impedansi sampel. Ketika jumlah perulangan lapisan dimodifikasi, nilai reaktansi yaitu bagian imajiner pada impedansi total sampel mengalami perubahan lebih drastik dibandingkan komponen riil. Akibatnya, nilai terukur nisbah MI ataupun sensitifitas sensor MI untuk sampel dengan N = 5 terbesar dibandingkan sampel lainnya.

Ekspresi lain sensitifitas sensor MI dengan modifikasi bentuk geometri sampel, yaitu membandingkan sampel dengan bentuk kawat linear dengan bentuk kawat solenoid. Perubahan bentuk dari kawat menjadi solenoid juga meningkatkan sensitifitas sensor. Pada solenoid didapatkan sensitifitas sensor hingga mencapai 12,82%/mT. Pada modifikasi ini mengenai peningkatan induktansi eksternal terhadap struktur geometri sampel. Adanya peningkatan tersebut dikaitkan dengan interaksi magnetik kompleks (fluk magnetik) dan

mekanisme magnetisasi. Fluk magnetik tersebut dalam masing-masing arah garis lurus longitudinal dan ternsversal akan menghubungkan antara satu sama lainnya dengan saling menginduksi (*self-induction*).

IV. SIMPULAN

Performa sensor magnetik berbasis magneto-impedansi multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ pada kawat Cu telah diuji

melalui nisbah magneto impedansi dan sensitifitas. Sensor magnet berupa multilapisan hasil elektrodeposisi menggunakan elektrode Pt (platina). Sensor divariasikan berdasarkan ketebalan lapisan konduktor dan jumlah perulangan pada sistem multilayer serta variasi bentuk geometri sensor. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sensitifitas sensor magnet tertinggi diperoleh sebesar 53,75%/mT untuk sampel $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800 \text{ nm})/\text{Cu} (200 \text{ nm})]_3$.

-
- [1] P. Ripka, *Magneti Sensors and Magnetometers* (Artech House, Inc. London, 2001).
- [2] T. Uchiyama, *et al.*, *IEEE Transactions on Magnetics*, **48**, 3833-3839 (2012).
- [3] J. Devkota, *et al.*, *Journal of Applied Physics*, **49**, 4060-4063 (2013).
- [4] T.E. Wang, *et al.*, *Biosensors and Bioelectronics*, **58**, 338-344 (2014).
- [5] M. Amiruddin, Utari, and B. Purnama, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, **10**(2), 95-98 (2014).
- [6] M. Knobel, M. Vazquez, and L. Kraus, *Handbook of magnetic materials* (Elsevier Science B.V 15, 1-69, 2003).
- [7] L.H. Tuan, N.T. Huy, and P.T. Huy, *Journal of Physics*, **187**(1), 1-5 (2009).
- [8] A. Chaturvedi, *et al.*, *Science Jet*, **3**, 1-4 (2014).
- [9] M. Knobel, and K.R. Pirota, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **242**, 33-40 (2002).