

Kajian Magnetoresistansi pada Nanopartikel *Magnetite* (Fe_3O_4) yang Dienkapsulasi dengan *Polyethylene Glycole* (PEG) dan Biomaterial dengan Sensor Lapisan Tipis Co/Cu *Multilayer* Berbasis *Giant Magnetoresistance* (GMR)

Ferawati Artauli Hasibuan¹, Indra Pardede¹, dan Edi Suharyadi^{1,*}

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*corresponding author: esuharyadi@ugm.ac.id

Abstrak – Telah dilakukan kajian magnetoresistansi (MR) pada nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) yang dienkapsulasi dengan polietilen glikol (PEG)-4000 dan biomolekul menggunakan sensor lapisan tipis berbasis giant magnetoresistance (GMR). Lapisan tipis yang digunakan adalah Si/Cr(5nm)/[Co(1,5nm)/Cu(x)]₂₀/Cr(5nm) multilayer ($x = 0,8; 0,9; \text{ dan } 1,0$ nm). Fenomena GMR dipengaruhi oleh variasi ketebalan lapisan tipis dan pelapisan nanopartikel Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul yang mengganggu mobilitas momen magnetik material. Resistansi pada ketebalan lapisan tipis Cu 0,8; 0,9; dan 1,0 nm ketika $H=0$ masing-masing 3,7; 3,5; dan 2,7 Ohm dan ketika $H=599,7$ G masing-masing 3,5; 3,2; dan 2,3 Ohm. Nilai MR ketika lapisan tipis dilapisi nanopartikel Fe_3O_4 , Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG, dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul masing-masing mengalami perubahan yang berbeda. Perubahan nilai MR pada lapisan tipis multilayer sebelum dan setelah pelapisan nanopartikel menunjukkan bahwa lapisan tipis Co/Cu multilayer dapat diaplikasikan sebagai sensor medan magnet dan potensial sebagai biosensor.

Kata kunci: giant magnetoresistance (GMR), lapisan tipis multilayer, nanopartikel Fe_3O_4 , PEG, biomolekul

Abstract – A study of magnetoresistance has been done on magnetite nanoparticle (Fe_3O_4) encapsulated with polyethylene glycole (PEG) and biomaterials using thin film sensor based on giant magnetoresistance (GMR). The thin film used is Si/Cr(5nm)/[Co(1.5nm)/Cu(x)]₂₀/Cr(5nm) multilayer ($x = 0,8; 0,9; \text{ dan } 1,0$ nm). GMR phenomenon that appears influenced by the thin film thickness variation and nanoparticle coatings which is encapsulated with PEG and addition of biomolecule that effected the mobility of magnetic moment. Resistances on the Cu layer with thickness of 0.8; 0.9 nm; and 1.0 nm when $H=0$ are 3.7; 3.5; and 2.7 Ohm, respectively, and when $H=599.7$ G are 3.5; 3.2; and 2.3 Ohm, respectively. The value of MR when a thin film coated by Fe_3O_4 nanoparticles, Fe_3O_4 encapsulated with PEG, and Fe_3O_4 encapsulated with PEG and addition of biomolecule undergo different changes. The change of MR value in the thin film multilayer before and after being coated indicate that the thin film multilayer can be applied as a magnetic field sensor and it is potential as a biosensor.

Key words: giant magnetoresistance (GMR), thin film multilayer, nanoparticle Fe_3O_4 , PEG, biomolecule

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi memungkinkan pengembangan instrumen yang murah, berkualitas dan otomatis. Salah satu jenis instrumen yang akhir-akhir ini menarik untuk dikembangkan yaitu teknologi sensor yang dapat diaplikasikan pada berbagai bidang seperti bidang otomotif, teknologi pengolahan, bangunan, medis, komunikasi, teknologi informasi dan bidang industri. Salah satu sensor yang cukup menarik perhatian para peneliti saat ini adalah sensor magnetik yang bekerja melalui pendeteksian perubahan medan magnet yang diakibatkan karena keberadaan atau pergerakan suatu benda yang menjadi objek pengukuran. Beberapa fenomena yang terjadi pada sensor magnetik antara lain, menggunakan efek Hall [1], *flux-gate* magnetometer, *Superconducting Quantum Interference Device* (SQUID) magnetometer [2], *Anisotropic Magnetoresistive* (AMR) [3], *Tunneling Magnetoresistance* (TMR) dan *Giant Magnetoresistive* (GMR) [4].

GMR terjadi karena perubahan MR yang cukup besar yang disebabkan oleh adanya hamburan pada saat *transport* elektron. Prinsip dasar dari MR adalah perubahan resistivitas material sebagai akibat dari respon terhadap keberadaan medan magnet luar. Sensor GMR lapisan tipis terdiri dari struktur *sandwich*, *spin valve* (*sandwich pinned*) dan *multilayer*. Struktur *sandwich* merupakan stuktur dasar GMR yang terdiri dari tiga lapisan dengan susunan bahan ferromagnetik/nonmagnetik/ferromagnetik (FM-NM-FM). Struktur *spin valve* merupakan struktur yang diberi lapisan pengunci (*pinning layer*), sedangkan struktur *multilayer* adalah struktur dengan pengulangan lapisan ferromagnetik/nonmagnetik (FM/NM) dengan indeks n adalah jumlah pengulangan [5]. Lapisan tipis magnetik dikembangkan untuk sistem penyimpanan (*hard-drive*) dan pembacaan data digital [6] dengan harapan akan tercipta sensor-sensor dengan akurasi, kecepatan, dan

sensitivitas yang sangat tinggi pada ukuran yang sangat kecil.

Sensor GMR dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sensor pengukuran arus, pengukuran jarak, pengukuran kecepatan rotasi, keberadaan (*presence*), dan beberapa mulai merambah biosensor [7]. Penggunaan material GMR sebagai sensor magnet memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sensor lainnya yakni, sensitivitas yang tinggi, kestabilan temperatur yang tinggi, konsumsi daya rendah, ukuran kecil dan harga murah, sifat magnetik dapat bervariasi dalam rentang yang sangat luas [8].

Salah satu aplikasi sensor magnetik berbasis GMR dengan menggunakan lapisan tipis *multilayer* adalah untuk mendeteksi suatu keberadaan (*presence*) sehingga sensor GMR *multilayer* membuka peluang baru untuk melakukan penelitian lebih lanjut khususnya dalam aplikasi biosensor. Prinsip biosensor menggunakan sensor GMR adalah pelabelan biomolekul yang akan dideteksi menggunakan material nanopartikel magnetik.

Nanopartikel Fe₃O₄ merupakan salah satu jenis material magnetik yang cukup menjanjikan karena mempunyai karakteristik yang cukup potensial dalam aplikasi sensor magnetik GMR. Karakteristik nanopartikel Fe₃O₄ meliputi nilai magnetisasi saturasi (*M_s*) yang tinggi, *soft* magnetik, medan koersifitas (*H_c*) yang kecil, dan nilai anisotropi yang rendah [9] serta memiliki sifat superparamagnetik. Dalam proses pendeteksian biomolekul dengan sensor GMR lapisan tipis *multilayer* tidak dapat dilakukan secara langsung. Hal ini disebabkan karena material magnetik dan biomolekul tidak dapat berikatan secara langsung, sehingga dibutuhkan material sebagai *template* untuk menumbuhkan biomolekul tersebut.

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran nilai *Magnetoresistance* (MR) pada lapisan tipis *multilayer* dengan variasi ketebalan lapisan non magnetik dengan pemberian medan magnet eksternal (**H**) melalui *4-point probe system*. Lapisan tipis yang digunakan adalah Si/Cr(5nm)/[Co(1,5nm)/Cu(x)]₂₀/Cr(5nm) *multilayer* dengan beberapa variasi ketebalan lapisan Cu (*x* = 0,8 nm, 0,9 nm, dan 1,0 nm). Selanjutnya perubahan MR diamati ketika lapisan tipis Co/Cu *multilayer* dilapisi dengan nanopartikel Fe₃O₄ yang dienkapsulasi dengan PEG-4000 dan penambahan biomolekul.

II. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Pengukuran nilai MR dilakukan dengan berbasis lapisan tipis Si/Cr(5nm)/[Co(1,5nm)/Cu(x)]₂₀/Cr(5nm) *multilayer* yang difabrikasi dengan metode DC *magneton sputtering* dengan parameter *background pressure* sekitar 3x10⁻⁵ Pa, *sputtering* gas Xe dengan tekanan 0,47 Pa, dan substrat silikon (Si) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Nanopartikel Fe₃O₄ disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi berbahan dasar senyawa hidrat FeSO₄.7H₂O 0.005 mol, FeCl₃.6H₂O 0.001 mol dan NH₄OH 10% dengan konsentrasi suhu pengadukan

600°C, kecepatan pengadukan 450 rpm selama 90 menit dan penengrangan dilakukan dengan menggunakan furnace pada suhu 80°C selama 3 jam. Kemudian nanopartikel hasil sintesis dienkapsulasi dengan poliethilen glikol 4000 dengan perbandingan 1:1. Selanjutnya untuk pengukuran MR dengan menggunakan sensor GMR lapisan tipis *multilayer* dilakukan dengan penambahan biomolekul.

Pengukuran MR pada lapisan tipis GMR [Co(1,5nm)/Cu(x)]₂₀ *multilayer* dilakukan dengan pemberian medan magnet luar menggunakan metode *4-point probe system*, terdiri dari probe terluar (probe 1 dan 4) yang dihubungkan dengan sumber arus (I) dan probe bagian dalam (probe 2 dan 3) untuk tegangan (V) yang dihubungkan ke voltmeter ditunjukkan pada Gambar 2. Untuk pengukuran MR, lapisan tipis GMR dengan variasi ketebalan lapisan Cu masing-masing dilapisi nanopartikel Fe₃O₄, Fe₃O₄ yang dienkapsulasi dengan PEG, dan Fe₃O₄ yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul. Penentuan rasio sifat GMR dengan menggunakan persamaan berikut:

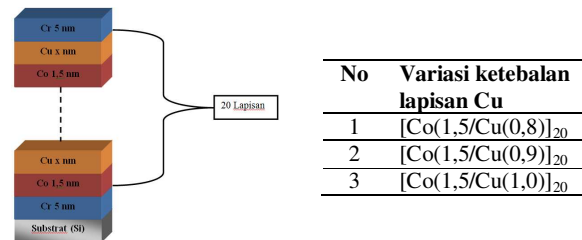
$$\% MR = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P} \times 100\% \quad (1)$$

dengan *R_{AP}* adalah resistansi antiparalel (Ω) dan *R_P* adalah resistansi paralel (Ω). Resistansinya dapat diperoleh dari persamaan berikut:

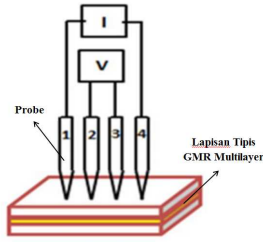
$$R_{sheet} = \frac{\rho}{t_f} = 4,532 \frac{V}{i} \quad (2)$$

dengan *R_{sheet}* adalah resistansi lapisan tipis (Ω), adalah ρ adalah resistivitas dari lapisan tipis (mΩ), *t_f* adalah ketebalan lapisan tipis (nm), *v* adalah tegangan yang terukur (V), dan *i* adalah arus yang mengalir (A).

Karakterisasi nanopartikel dilakukan melalui *X-ray diffractometer* (XRD), *transmission electron microscopy* (TEM), *vibrating sample magnetometer* (VSM), dan *fourier transform infra red* (FTIR).



Gambar 1. Struktur GMR lapisan tipis [Co(1,5nm)/Cu(x)]₂₀ *multilayer*.



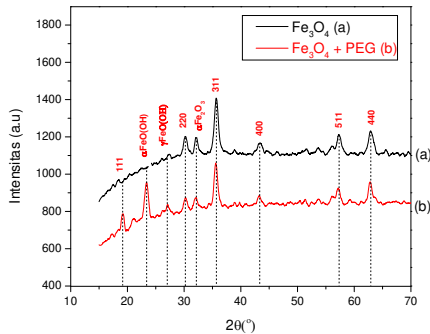
Gambar 2. Geometri pengukuran MR pada lapisan tipis GMR multilayer dengan metode 4-point probe system.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

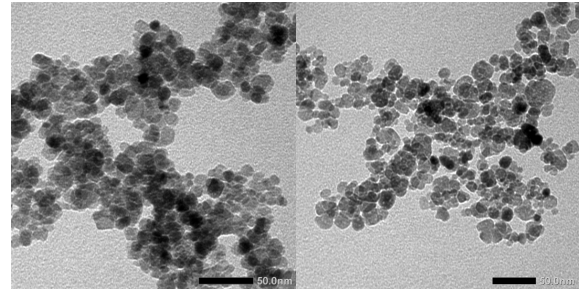
Hasil XRD sifat kristalin dari nanopartikel Fe_3O_4 dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG pada Gambar 3 menunjukkan adanya puncak-puncak difraksi masing-masing (220) (311) (400) (511) (440) dan (111) (220) (311) (400) (511) (440). Selain itu muncul fasa lain $\alpha-Fe_2O_3$ pada nanopartikel Fe_3O_4 dan fasa $\alpha-FeO(OH)$, $\gamma-FeO(OH)$, $\alpha-Fe_2O_3$ pada Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG. Analisa XRD menghasilkan ukuran partikel dan parameter kisi Fe_3O_4 dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG ditunjukkan pada Tabel 1.

Karakterisasi struktur dan morfologi nanopartikel dengan menggunakan TEM ditunjukkan pada Gambar 4 dan menghasilkan bahwa ukuran partikel berbeda antara Fe_3O_4 dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG seperti pada Tabel 1.

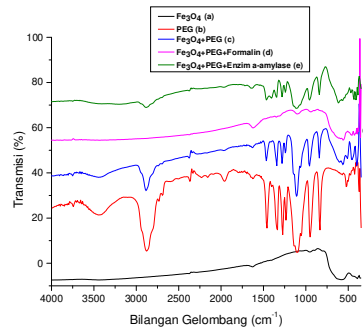
Pengujian FTIR pada Gambar 5 menunjukkan beberapa puncak serapan dengan bilangan gelombang masing-masing puncak. Pada bilangan gelombang $586,36\text{ cm}^{-1}$ dan $408,91\text{ cm}^{-1}$ terdapat ikatan tetrahedral Fe-O dan oktahedral Fe-O. Puncak pada bilangan gelombang $3448,72\text{ cm}^{-1}$ terjadi serapan molekul air pada permukaan nanopartikel Fe_3O_4 yang berikatan dengan polimer PEG-4000 yaitu vibrasi gugus -OH (hidroksil). Terdapat puncak serapan baru pada bilangan gelombang $1350,17\text{ cm}^{-1}$ (vibrasi gugus C-O) yang menunjukkan terbentuknya ikatan baru antara polimer PEG-4000 dan biomolekul formalin. Puncak dengan bilangan gelombang $1404,61\text{ cm}^{-1}$ terdapat vibrasi ikatan C-O antara PEG dan α -amylase.



Gambar 3. Pola spektrum XRD (a) Fe_3O_4 dan (b) Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG.



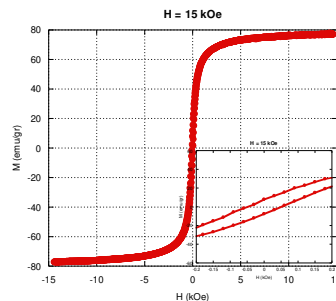
Gambar 4. Morfologi dan pola difraksi sampel Fe_3O_4 dan Fe_3O_4+PEG dengan TEM.



Gambar 5. Spektrum FTIR (a) sampel nanopartikel Fe_3O_4 , (b) polimer PEG-4000, (c) nanopartikel Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG-4000, (d) Fe_3O_4+PEG +biomolekul formalin, dan (e) Fe_3O_4+PEG +enzim α -amylase.

Pengamatan VSM pada Gambar 6 menunjukkan nilai magnetisasi saturasi (M_s), magnetisasi remanen (M_r), dan koersivitas (H_c) yang dimiliki nanopartikel Fe_3O_4 dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

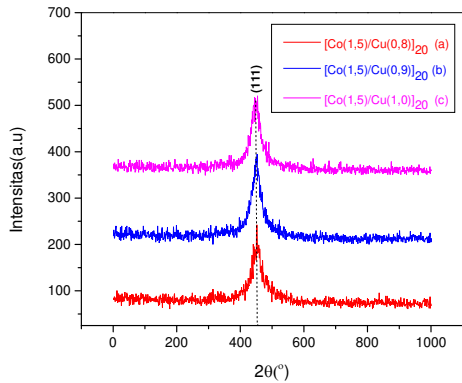
Hasil pengamatan dengan menggunakan *low angle diffraction*, lapisan tipis $[Co(1,5)/Cu(x)]_{20}$ multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu menunjukkan puncak yang sama yaitu puncak (111) seperti yang ditunjukkan Gambar 7. Pengamatan spektrum XRD dengan *large angle diffraction*, pada Gambar 8 ditunjukkan puncak yang berbeda dan dari hasil perhitungan diperoleh ukuran butir dan parameter kisi seperti pada Tabel 2.



Gambar 6. Histeresis loop nanopartikel Fe_3O_4

Tabel 1. Analisa ukuran partikel Fe₃O₄, magnetisasi dan medan koersivitas.

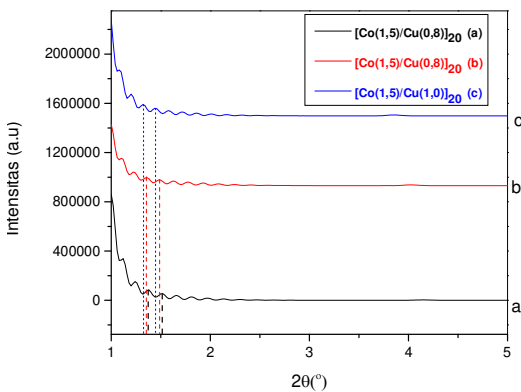
Sampel	XRD (nm)	TEM (nm)	M _s (emu/g)	M _r (emu/g)	H _c (kOe)
Fe ₃ O ₄	19,5	16,5	77,2	7,03	0,05
Fe ₃ O ₄ + PEG	20,9	17,6	55,7	6,3	0,06



Gambar 7. Pola spektrum XRD pada sampel lapisan tipis Co/Cu multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu (a) 0,8 nm, (b) 0,9 nm, dan (d) 1 nm.

Tabel 2. Estimasi ukuran butir kristal (t), parameter kisi (a), ketebalan lapisan tipis (d)/bilayer (low-XRD), dan ketebalan sampel lapisan tipis lapisan tipis Co/Cu multilayer (s) dengan variasi ketebalan Cu.

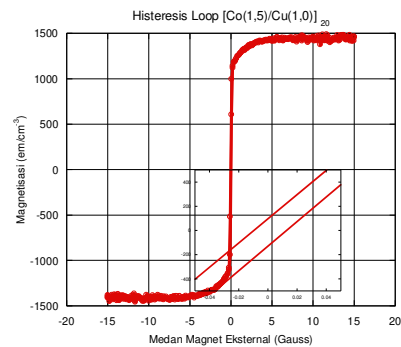
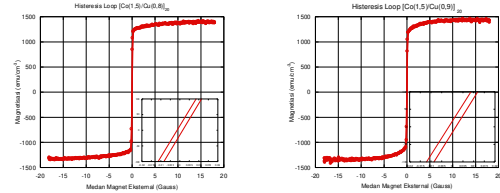
No	Sampel	a (Å)	t (nm)	d (nm)	s (nm)
1	[Co(1,5)/Cu(0,8)] ₂₀	3.69	17.2	2.1	56
2	[Co(1,5)/Cu(0,9)] ₂₀	3.81	18.6	2.2	58
3	[Co(1,5)/Cu(1,0)] ₂₀	3.9770 25	19.923	2.287	60



Gambar 8. Pola spektrum low-XRD gabungan lapisan tipis [Co(1,5)/Cu(0,9)]₂₀ multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu (a) 0,8 nm, (b) 0,9 nm, dan (c) 1 nm.

Kurva histeresis pada Gambar 9 menunjukkan bahwa membuat arah momen magnet termagnetisasi menjadi satu arah membutuhkan medan eksternal yang kecil yang ditunjukkan pada Tabel 3. Ini menunjukkan bahwa sifat magnetik lapisan tipis [Co(1,5)/Cu(x)]₂₀ multilayer bersifat *soft magnetic* dan *easy direction* dimana pergeseran *domain-wall*nya sangat mudah dipengaruhi medan magnet eksternal. Hal ini ditunjukkan dengan magnetisasi saturasi dan permeabilitas yang tinggi dimana hal itu ditentukan oleh komposisi lapisan ferromagnetik (Co) dan nonmagnetik (Cu).

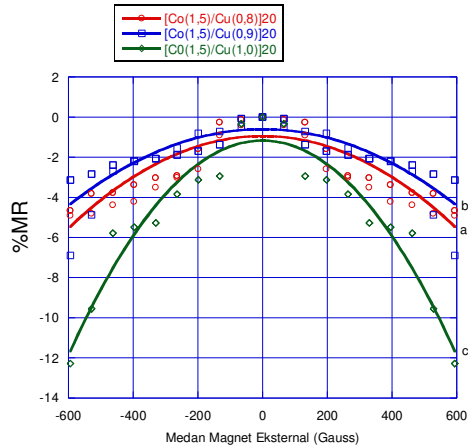
Gambar 10 menunjukkan rasio penurunan nilai MR pada lapisan tipis [Co(1,5)/Cu(x)]₂₀ multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu (0,8 nm), (0,9 nm), dan (1,0 nm) masing-masing berkisar (2,28%), (2,23%), dan (4,9%). Hasil pengukuran nilai MR pada lapisan tipis tersebut terlihat pada Gambar 11 yang menunjukkan bahwa nilai resistansi R pada lapisan tipis turun secara eksponensial seiring dengan meningkatnya medan magnet eksternal H yang diberikan. Sebelum medan magnet eksternal diberikan, magnetisasi pada lapisan tipis saling antiparalel satu sama lain sehingga nilai resistansinya besar. Setelah diberikan medan magnet eksternal, moment magnetik pada lapisan tipis akan termagnetisasi menjadi paralel dan menyebabkan resistansi menurun. Hal ini terjadi karena momen-momen magnetik pada lapisan tipis saling menyearahkan



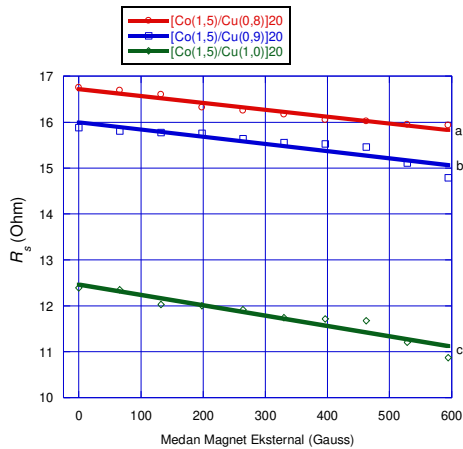
Gambar 9. Histeresis loop pada lapisan tipis Co/Cu multilayer dengan variasi ketebalan lapisan (a) 0,8 nm, (b) 0,9 nm, (c) 1,0 nm.

Tabel 3. Perhitungan hasil magnetisasi histeresis loop lapisan tipis Co/Cu multilayer.

No	Sampel	M_s (emu/cm^{-3})	M_r (emu/cm^{-3})	H_c (Oe)
1	[Co(1,5)/Cu(0,8)] ₂₀	1369,1	16,1	1,5
2	[Co(1,5)/Cu(0,9)] ₂₀	1409,3	15,4	1,7
3	[Co(1,5)/Cu(1,0)] ₂₀	1429,5	97,3	11



Gambar 10. Grafik hubungan antara %MR dengan medan magnet eksternal pada lapisan tipis Co/Cu multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu (a) 0,8 nm, (b) 0,9 nm, dan (c) 1,0 nm



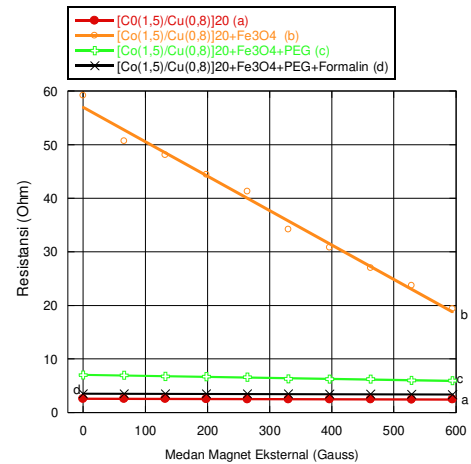
Gambar 11. Grafik hasil pengukuran resistansi pada lapisan Co/Cu multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu (a) 0,8 nm, (b) 0,9 nm, dan (c) 1,0 nm.

Fenomena MR lapisan tipis [Co(1,5)/Cu(0,8)]₂₀ multilayer yang dilapisi nanopartikel yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul ditunjukkan pada Gambar 12, dapat diamati bahwa terjadi perubahan resistansi yang sangat signifikan. Nilai R lapisan tipis pada saat $H=0$ dan $H=599,7$ G adalah 3,7 Ohm dan 3,5

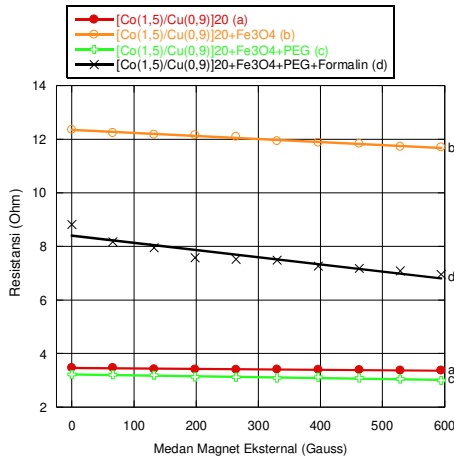
Ohm. Perubahan nilai R ketika lapisan tipis dilapisi Fe_3O_4 , Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG, dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul masing-masing adalah sekitar $\pm 16,4\%$, $\pm 1,9\%$, dan $\pm 0,9\%$ seiring dengan pertambahan medan magnet eksternal.

Gambar 13 menunjukkan hubungan resistansi dengan medan magnet eksternal pada lapisan tipis [Co(1,5)/Cu(0,9)]₂₀ multilayer dilapisi nanopartikel yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul. Nilai R pada lapisan tipis pada saat $H=0$ dan $H=599,7$ G adalah 3,5 Ohm dan 3,2 Ohm. Perubahan nilai R ketika lapisan tipis dilapisi Fe_3O_4 , Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG, dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul masing-masing adalah sekitar $\pm 3,5\%$, $\pm 0,9\%$, dan $\pm 2,5\%$.

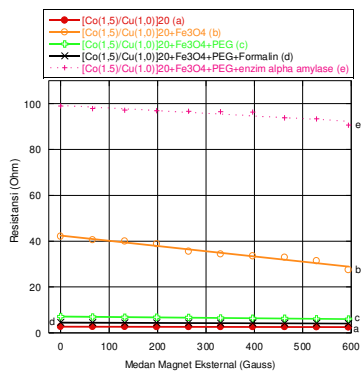
Perubahan nilai MR pada lapisan tipis [Co(1,5)/Cu(1,0)]₂₀ multilayer ditunjukkan oleh Gambar 14. Penurunan nilai resistansi terjadi seiring dengan pertambahan medan magnet eksternal yang diberikan.



Gambar 12. Hubungan R dengan H pada lapisan tipis (a) [Co(1,5)/Cu(0,8)]₂₀ multilayer dengan pelapisan nanopartikel (b) Fe_3O_4 , (c) Fe_3O_4 +PEG, dan (d) Fe_3O_4 +PEG+Formalin.



Gambar 13. Hubungan resistansi dengan medan magnet eksternal pada lapisan tipis (a) $[Co(1,5)/Cu(0,9)]_{20}$ multilayer dengan pelapisan nanopartikel (b) Fe_3O_4 , (c) Fe_3O_4+PEG , dan (d) $Fe_3O_4+PEG+Formalin$.



Gambar 14. Hubungan R dengan H pada lapisan tipis (a) $[Co(1,5)/Cu(1,0)]_{20}$ multilayer dengan pelapisan nanopartikel (b) Fe_3O_4 , (c) Fe_3O_4+PEG , (d) $Fe_3O_4+PEG+Formalin$, dan (e) $Fe_3O_4+PEG+\alpha$ -amylase.

Nilai R pada lapisan tipis pada saat $H=0$ dan $H=599,7$ G adalah 2,7 Ohm dan 2,3 Ohm. Perubahan nilai R ketika lapisan tipis Co/Cu multilayer dilapisi Fe_3O_4 , Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG, dan Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul formalin dan enzim α -amylase masing-masing adalah sekitar $\pm 15,6\%$, $\pm 2,6\%$, $\pm 1,7\%$ dan $\pm 36,7\%$. Timbulnya perubahan resistansi tersebut disebabkan oleh hamburan partikel bermuatan (elektron-elektron penghantar) yang bergantung dari orientasi spin, yaitu *spin up* dan *spin down* yang memberikan efek yang berbeda pada hamburan yang disebabkan adanya medan magnet luar. Gangguan momen magnet yang saling berlawanan pada lapisan tipis dipengaruhi oleh momen magnetik nanopartikel Fe_3O_4 , kemudian nanopartikel dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul.

IV. KESIMPULAN

Sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dan dienkapsulasi dengan polyethylene glycole (PEG-400) telah berhasil dilakukan. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan ukuran partikel menggunakan XRD dan TEM, sifat kemagnetan menggunakan VSM, serta FTIR untuk mengetahui ikatan molekul. Pengukuran histeresis telah menghasilkan kurva histeresis yang sesuai dengan fenomena GMR yang ditimbulkan akibat medan magnet eksternal. Kajian magnetoresistansi (MR) pada lapisan tipis $[Co(1,5)/Cu(x)]_{20}$ multilayer dengan variasi ketebalan lapisan Cu menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap medan magnet luar rendah. Dari hasil pengukuran magnetoresistansi lapisan tipis, diperoleh bahwa dengan bertambahnya ketebalan lapisan nonmagnetik (Cu) maka resistansinya akan semakin menurun. Setiap pengukuran MR yang divariasikan ketebalan lapisan Cu dan dilapisi oleh nanopartikel Fe_3O_4 , Fe_3O_4 yang dienkapsulasi dengan PEG dan penambahan biomolekul diperoleh nilai MR yang berbeda. Hal ini disebabkan pergerakan spin magnetik pada lapisan tipis yang *soft magnetic (easy direction)* yang dipengaruhi nanopartikel *soft magnetic (hard direction)* demikian juga dengan nanopartikel yang dienkapsulasi dengan PEG. Berdasarkan hasil pengukuran dan kajian tentang fenomena GMR, maka lapisan tipis $[Co(1,5)/Cu(x)]_{20}$ multilayer telah mengindikasikan untuk aplikasi yang cukup potensial di bidang sensor magnet pada daerah linier 0-600 gauss dan potensi pengembangan sensor GMR ke depan sebagai biosensor sangat potensial terutama di bidang medis.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Nano-Fabrication Consortium of Nagoya University, Culture, Sports, Science, and Technology (MEXT) Nano-Project Platform, Japan, 2012-2017.
2. Hibah Penelitian Kompetensi (HIKOM) Dikti, Kementerian Pendidikan Nasional, 2015-2016.

PUSTAKA

- [1] P. A. Besre, G. Boero, M. Demierre, V. Pott, dan R. Popovic, Detection of a Single Magnetic Microbead using a Miniaturized Silicon Hall Sensor, *Applied Physics Letters*, vol. 80, no. 22, 2002, pp. 4199-4201.
- [2] S. Lee, W. R. Myers, W. H. I. Grossman, H. M. Cho, Y. R. Chemla, dan J. Clarke, Magnetic Gradiometer Based on a High-Transition Temperature Superconducting Quantum Interference Device for Improved Sensitivity of a Biosensor, *Applied Physics Letters*, vol. 81, 2002, pp. 3094-3096.
- [3] M. M. Miller, G. A. Prinz, S. F. Cheng, dan S. Bounnak, Detection of a Micron-Sized Magnetic Sphere Using a Ring-Shaped Anisotropic Magnetoresistance Based Sensor: a Model for a Magnetoresistance based Biosensor, *Applied Physics Letters*, vol. 81, no. 12, 2002, pp. 2211-2213.

- [4] J.C. Rife, M.M. Miller, P.E. Sheehan, C. R. Tamanaha, M. Tondra, dan L. J. Whitman, Design and Performance of GMR Sensors for the Detection of Magnetic Microbeads in Biosensors. *Sensor and Actuator A*, 2003, pp.107:209–218.
- [5] M. Djamal, dan Yulkifli., Penumbuhan Lapisan Tipis NiCoFe/Si Sebagai Material Pembuatan Sensor Giant Magneto Resistance (GMR), *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, vol. 9, no. 1, 2009, pp.1-11.
- [6] K. Wiesen, dan B. Cross, GMR Head Side-Reading and Bit Aspect Ratio, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 39, no. 5, 2003.
- [7] S. I. Kasatkin, N. P. Vasil'eva, dan A. M. Murav'ev, Biosensors Based on Thin-film Magnetoresistive Sensors, *Automation and Remote Control*, vol. 71, no. 1, 2010, pp.156–166, ISSN 0005-1179.
- [8] G. Li, S. Sun, R. J. Wilson, R. L. White, N. Pourmand, dan S. X. Wang, Spin Valve Sensors for Ultrasensitive Detection of Superparamagnetic Nanoparticles for Biological Applications, *Sensors and Actuators A*, vol 126, 2006, pp.98-106.
- [9] S. X. Wang, dan G. Li, Advances in Giant Magnetoresistance Biosensors with Magnetic Nanoparticle Tags: Review and Outlook, *IEEE Transaction on Magnetics*, vol. 44, no. 7, 2008, pp.1687-1691.