

ARTIKEL RISET

# Analisa *Magnetoresistance* Berbasis Lapisan Tipis *Giant Magnetoresistance* (GMR) pada *Nanopartikel Cobalt* ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ) dilapisi *Polyethelyn Glicol*

Novi Susanti<sup>1\*</sup> dan Edi Suharyadi<sup>2</sup>

## Abstrak

Telah dilakukan pengukuran *magnetoresistance* pada lapisan tipis *spin valve* GMR yang memiliki struktur  $\text{CoFeB}/\text{Cu}/\text{CoFe}/\text{MnIr}$  dengan memvariasikan ketebalan lapisan *barrier* Cu (2,2 dan 2,8 nm) dan *free layer*  $\text{CoFeB}$  (7 dan 10 nm) menggunakan *System Four Point Probe Method* (SFPPM) pada medan eksternal 0-600 gauss. Dihilangkan perubahan range resistansi ( $69,29 - 71,74$ ) $\Omega$  untuk Cu 2,2 nm dan ( $38,5 - 40,47$ ) $\Omega$  untuk ketebalan Cu 2,8 nm. Pada variasi ketebalan  $\text{CoFeB}$  dihasilkan perubahan range resistansi untuk ketebalan 7 nm dan 10 nm masing-masing adalah ( $38,74 - 41,11$ ) $\Omega$  dan ( $69,29 - 71,74$ ) $\Omega$ . Selanjutnya lapisan tipis digunakan sebagai sensor magnetik untuk mendeteksi kehadiran nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  yang dimodifikasi PEG dan  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat biomolekul formalin. Terjadi pergeseran nilai resistansi ketika lapisan tipis dilapisi nanopartikel magnetik tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tipis GMR mampu mendeteksi perilaku spin pada nanopartikel magnetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ .

**kata kunci:** giant magnetoresistance; lapisan tipis; nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , polyethelyn glicol

## Abstract

Magnetoresistance measurements were carried out in a thin film of the spin valve GMR structure  $\text{CoFeB}/\text{Cu}/\text{CoFe}/\text{MnIr}$  by varying the thickness of the barrier layer of Cu (2,2 and 2,8 nm) and  $\text{CoFeB}$  free layer (7 and 10 nm) using System Four Point probe Method (SFPPM) in the external field 0-600 Gauss. It was found that the changes in the resistance range were ( $69.29 - 71.74$ ) $\Omega$  for Cu 2,2 nm and ( $38.5 - 40.47$ ) $\Omega$  for Cu 2,8 nm. In variations of  $\text{CoFeB}$  thickness, the changes in the resistance range for the thickness of 7 nm and 10 nm were ( $38.74 - 41.11$ ) $\Omega$  and ( $69.29 - 71.74$ ) $\Omega$  respectively. Furthermore, a thin layer is used as a magnetic sensor to detect the presence of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles, PEG coated  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  and  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  modified by PEG that was bonded with formalin biomolecules. A shift in resistance value occurs when a thin layer of the coated magnetic nanoparticles. This suggests that the thin layer of the GMR is able to detect the behavior of magnetic spins of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  magnetic nanoparticles.

**keywords:** giant magnetoresistance; thin film;  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticle; polyethelyn glicol

## 1. Pendahuluan

Perkembangan sensor magnetik berbasis teknologi *Giant Magnetoresistance* (GMR) pada saat ini menarik minat banyak peneliti. Hal ini dikarenakan material GMR memiliki sifat listrik dan magnetik yang baik. Disamping itu, keuntungan lain dari penggunaan teknologi GMR ini adalah memiliki

sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat pada medan magnet rendah [1].

Prinsip dasar *Giant magnetoresistance* adalah perubahan resistansi pada lapisan multilayer ketika diberikan medan magnet luar dan merupakan efek mekanika kuantum yang bergantung pada fenomena *scattering spin*. Ketika medan eksternal diberikan pada lapisan multilayer Fe/Cr, arah magnetisasi pada lapisan Fe akan berotasi ke arah paralel seiring dengan meningkatnya medan eksternal hingga akhirnya moment magnetik total mengalami saturasi. Selama rotasi magnetisasi dari antiparalel menuju paralel

\*Korespondensi: ovieelkarim@yahoo.co.id

<sup>1</sup>Dinas Sosial Kabupaten Bengkalis, Jalan Antara-Bengkalis, Riau, Indonesia

Informasi lengkap tentang penulis dapat dilihat pada akhir artikel

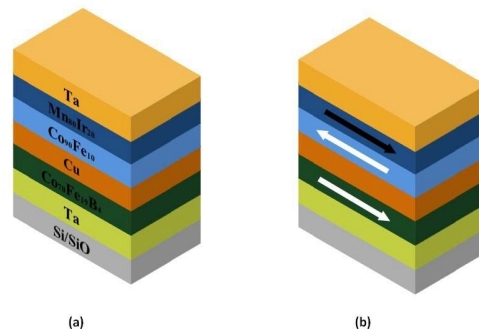
terjadi perubahan resistansi yang besar. Asal dari perubahan resistansi ini adalah hamburan elektron antara wilayah magnetisasi paralel dan antiparalel yang disebut dengan *spin dependent transport* [2].

Struktur lapisan tipis GMR berpengaruh terhadap nilai resistansi, sehingga banyak penelitian dilakukan untuk menemukan struktur metal-magnetik yang bisa menghasilkan perubahan resistansi yang besar. Ada tiga tipe lapisan GMR, *sandwich*, *multilayer* dan *spin valve* [3]. Selain dari jenis struktur penyusunnya, sifat GMR pada lapisan tipis juga dipengaruhi oleh ketebalan lapisan magnetik dan non magnetik [4]. Dalam penelitian ini digunakan lapisan tipis GMR *spin valve*  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{19}\text{B}_4/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{19}/\text{Mn}_{80}\text{Ir}_{20}$  (*free layer /barrier/pinned layer/pinning layer/*) yang lapisan magnetik *free layer* dan nonmagnetik *barrier* divariasikan untuk menguji kualitas dari nanopartikel magnetik.

Nanopartikel magnetik telah menjadi objek penelitian yang menarik karena sifatnya yang aplikatif di berbagai bidang seperti bioteknologi, penyimpanan data dan biomedis. Di antara jenis material magnetik,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  banyak diteliti karena memiliki stabilitas kimia dan kekerasan mekanik yang baik. Selain itu, dengan mengontrol ukuran material,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  akan memiliki sifat superparamagnetik yang memiliki magnetisasi tinggi ketika diberi medan eksternal, namun memiliki magnetisasi rata-rata nol tanpa medan eksternal [5]. Sehingga, nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  mudah dikondisikan dalam aplikasinya. Salah satu cara memodifikasi material  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  yaitu *pengcoatingan* dengan polimer, seperti *polyethylen glycol* (PEG). Penggunaan PEG bertujuan untuk menambah dispersibilitas, biokompatibel dan stabilitas kimia  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  [6]. Dalam penelitian ini, akan diteliti bagaimana perubahan resistansi pada lapisan tipis GMR ketika dilapisi nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  yang termodifikasi dengan PEG dan nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat biomolekul formalin. Dengan sifat PEG yang mampu mengikat biomolekul penelitian ini berpotensi dikembangkan dalam teknologi biosensor magnetik.

## 2. Metode Penelitian

Lapisan tipis  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{19}\text{B}_4/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{19}/\text{Mn}_{80}\text{Ir}_{20}$  *spin valve* ditumbuhkan dengan metode *Dc-Magnetron Sputteri* (DMS) pada daya 60-120 Watt. Susunan dan arah magnetisasi lapisan tipis dapat dilihat pada gambar 1. Lapisan tipis yang digunakan divariasikan ketebalan free layer CoFeB (2,2 nm dan 2,8 nm) serta barrier Cu (7 nm dan 10 nm).



Gambar 1: Lapisan tipis GMR (a) susunan skematik (b) arah magnetisasi.

Nanopartikel magnetik  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi. Senyawa hidrat  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dengan perbandingan fraksi mol 1:2 dilarutkan dengan HCl 3,37ml. Larutan kemudian dimasukkan kedalam larutan NaOH 5 M dengan suhu pengadukan  $80^\circ\text{C}$  dan lama pengadukan 120 menit. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan furnace pada suhu  $80^\circ\text{C}$ .  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  yang telah disintesis kemudian dimodifikasi menggunakan *polyethylen glycol* 4000 dengan perbandingan 2:1.  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  termodifikasi PEG selanjutnya digunakan untuk mengikat biomolekul formalin.

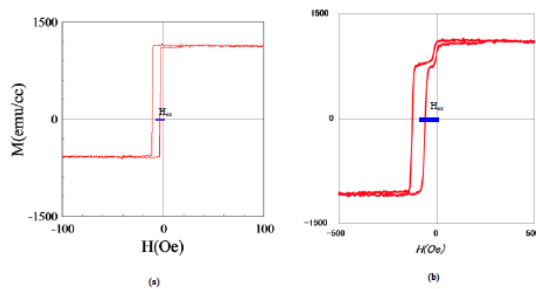
Lapisan  $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{19}\text{B}_4/\text{Cu}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{19}/\text{Mn}_{80}\text{Ir}_{20}$  dilapisi dengan nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  yang telah termodifikasi PEG-4000 dan  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat biomolekul formalin kemudian diukur resistansinya ketika diberikan medan eksternal dengan menggunakan metode *4-point probe system*.

Karakterisasi struktur kristal, ukuran partikel, morfologi, gugus fungsi dan sifat kemagnetan nanopartikel  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  menggunakan *-RayDiffraction* (XRD), *Transmission Electron Microscope* (TEM), *Fourier transform infrared* (FTIR) dan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pengukuran GMR untuk Ketebalan Lapisan Barrier Cu yang Berbeda

Lapisan *barrier* merupakan lapisan non magnetik berfungsi sebagai jembatan yang memungkinkan terjadinya efek terobosan dengan syarat ketebalannya harus melebihi jalan bebas rata-rata elektron (*mean free path*) yaitu jarak minimum yang memungkinkan elektron untuk mengubah arah spinnya[3]. Gambar 2 merupakan histeresis loop untuk lapisan tipis dengan variasi *barrier* Cu 2,2 nm (a) dan 2,8 nm (b). Kedua



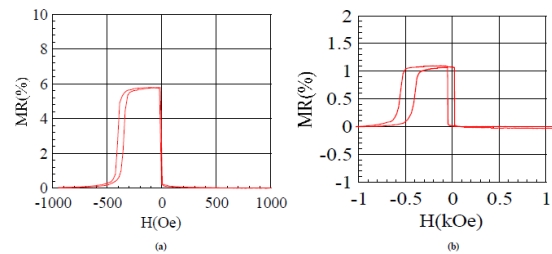
Gambar 2: Kurva histeresis lapisan tipis (a) tebal barrier Cu 2,2 nm dan (b) tebal barrier Cu 2,8 nm

kurva histeresis menunjukkan bahwa sampel yang dibuat termasuk jenis material *soft magnetic* yang memiliki fenomena pergeseran *domain-wall* sangat mudah dipengaruhi medan eksternal.

Ditinjau dari medan koersivitasnya ( $H_c$ ) maka pada ketebalan *barrier* Cu 2.2 nm memiliki  $H_c$  yang relatif lebih kecil ( 5 Oe) dibandingkan pada ketebalan *barrier* Cu 2.8 nm ( 15 Oe). Hal ini menunjukkan untuk mengubah magnetisasi pada tebal *barrier* Cu 2,2 nm adalah relatif lebih mudah dibandingkan mengubah magnetisasi pada tebal *barrier* Cu 2.8 nm.

Kurva histeresis pada gambar 2 mengalami pergeseran ke arah kiri dari kurva histeresis normal. Besarnya medan yang digunakan untuk menggeser kurva disebut medan *exchange bias* ( $H_{eb}$ ). *Exchange bias* terjadi pada interface ferromagnetik dan antiferromagnetik. Fenomena ini menunjukkan adanya kekasaran struktur interface pada lapisan ferromagnetik dan antiferromagnetik sehingga menyebabkan moment-moment magnetik pada lapisan ferromagnetik akan tertahan.

Besarnya  $H_{eb}$  pada ketebalan *barrier* Cu 2,8 nm memiliki nilai yang lebih besar yaitu 100 Oe dibandingkan pada ketebalan *barrier* Cu 2,2 nm yang bernilai 10 Oe. Perbedaan nilai  $H_{eb}$  ini dikarenakan tingkat kekasaran interface pada lapisan tipis dengan ketebalan Cu 2,8 nm lebih tinggi dibandingkan lapisan tipis dengan Cu 2,2 nm. Pernyataan ini sesuai dengan bentuk kurva histeresis pada gambar 2(b) yang memperlihatkan terbentuknya kurva bertingkat dua pada lapisan tipis dengan Cu 2,8 nm. Hal ini menunjukkan bahwa medan terpasang digunakan terlebih dahulu untuk memposisikan pada kondisi benar-benar antipararel [7], sehingga berpengaruh terhadap perubahan resistansi yang terjadi. Munculnya fenomena GMR pada lapisan tipis merupakan efek dari mekanika kuantum yang berhubungan dengan kenyataan bahwa spin elektron memiliki dua keadaan yang berbeda, *spin up* dan *spin down*. Ketika spin-spin ini melintasi lapisan tipis



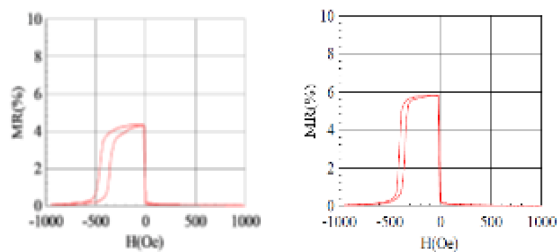
Gambar 3: Rasio sifat GMR pada variasi tebal barrier Cu (a) 2,2 nm dan (b) 2,8 nm.

yang dimagnetisasi, *spin up* dan *spin down* mengalami hambatan yang berbeda. Sifat ini menunjukkan adanya hambatan bergantung spin. Rasio GMR diperoleh dengan mempertimbangkan rasio dari perubahan resistansi pada kondisi puncak sampai pada kondisi saturasi dibandingkan kondisi tanpa medan.

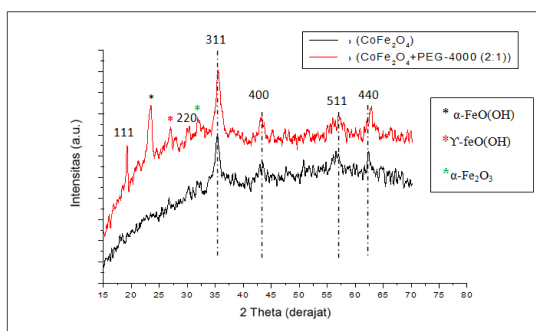
Gambar 3 menunjukkan bahwa pada sampel dengan ketebalan lapisan *barrier* Cu 2,2 nm memiliki rasio GMR sebesar 6% sedangkan pada ketebalan *barrier* Cu 2,8 nm hanya sebesar 1%. Hal ini menunjukkan bahwa sifat GMR lebih mudah muncul pada lapisan dengan variasi tebal Cu 2,2 nm dibandingkan dengan tebal *barrier* Cu 2,8 nm. Bertambahnya ketebalan lapisan *barrier* meningkatkan kemungkinan terjadinya hambatan ketika elektron konduksi melewati lapisan non magnetik yang mengakibatkan berkurangnya aliran elektron diantara lapisan ferromagnetik. Selain itu, dengan lapisan *barrier* yang tebal akan terjadi hambatan pembalikan spin, sehingga spin yang berada pada lapisan *barrier* dapat menyesuaikan diri dengan arah magnetisasi pada lapisan ferromagnetik. Kedua hal di atas menyebabkan pelemahan pada efek GMR.

### 3.2 Pengukuran GMR untuk Ketebalan Lapisan free layer CoFeB yang Berbeda

Besarnya rasio sifat GMR yang teramati pada gambar 4 adalah 4% untuk ketebalan free layer CoFeB 7nm dan 6% untuk ketebalan free layer 10 nm. Persen rasio bertambah besar dengan meningkatnya ketebalan dari lapisan free layer CoFeB. Besarnya persen (%) rasio ini menentukan sensitivitas lapisan tipis terhadap medan magnet eksternal yang diberikan. Penurunan MR ratio pada ketebalan lapisan free layer CoFeB yang lebih tipis (7 nm) dikarenakan hambatan yang terjadi pada *outer boundary* (*caping layer* dan *interface*). Hambatan ini terjadi karena lapisan ferromagnetik lebih tipis dari dua *mean free path* elektron yang berhubungan dengan *spin up* dan *spin down*.



Gambar 4: Rasio Sifat GMR pada variasi ketebalan free layer CoFeB (a) 7 nm dan (b) 10 nm



Gambar 5: Pola spektrum XRD nanopartikel  $CoFe_2O_4$  dan  $CoFe_2O_4$  yang telah dilapisi PEG

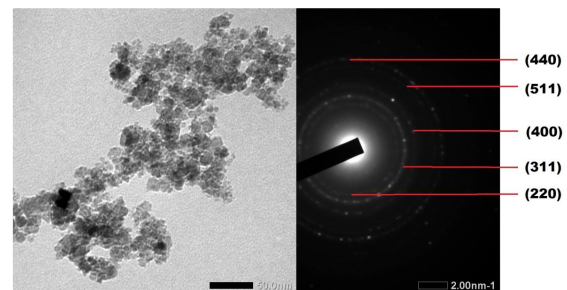
### 3.3 Karakterisasi Struktur Kristal Nanopartikel

Pola karakterisasi struktur kristal dapat dilihat pada gambar 5. Pola XRD menunjukkan bahwa sampel membentuk fase  $CoFe_2O_4$  yang terlihat dari puncak-puncak bidang difraksi (220), (311), (400), (511) dan (440). Selain itu terdapat fasa lain  $\alpha - Fe_2O_3$  yang merupakan fasa pengotor.

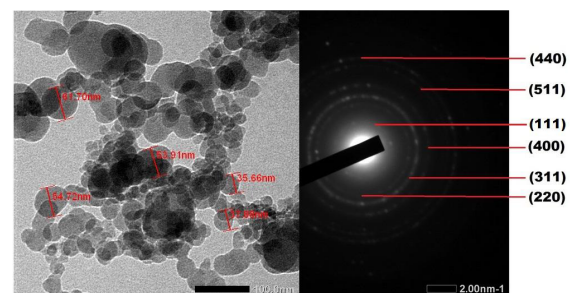
Pola spektrum XRD untuk  $CoFe_2O_4$  yang telah termodifikasi PEG menunjukkan adanya puncak-puncak baru goethite ( $\alpha - FeO(OH)$ ) dan lepidocrocite ( $\gamma - FeO(OH)$ ). Fasa tersebut menandakan bahwa telah terjadi pelapisan nanopartikel oleh PEG. Hal ini dikarenakan atom-atom  $Fe^{3+}$  pada permukaan  $CoFe_2O_4$  bereaksi dengan gugus hidroksil pada PEG.

### 3.4 Karakterisasi Ukuran Butir dan Morfologi Nanopartikel

Pada gambar 6(a) terlihat bahwa nanopartikel  $CoFe_2O_4$  memiliki bentuk ukuran bulat meski belum bulat sempurna. Hasil citra morfologi juga menunjukkan bahwa sampel memiliki kecenderungan teraglomerasi. Berdasarkan perhitungan histogram distribusi ukuran sampel menggunakan software



Gambar 6: (a) Citra morfologi dan (b) Pola difraksi nanopartikel  $CoFe_2O_4$ .



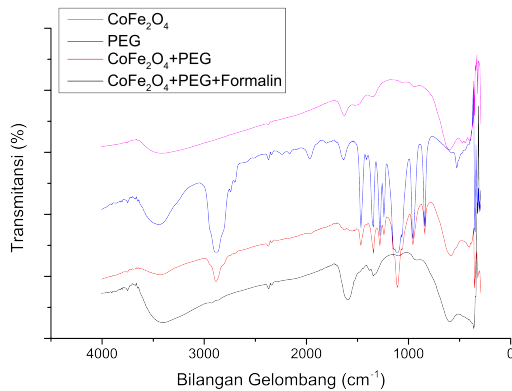
Gambar 7: (a) Citra morfologi dan (b) pola difraksi nanopartikel  $CoFe_2O_4$  yang telah dimodifikasi dengan PEG-4000

image-J didapatkan ukuran butir partikel  $CoFe_2O_4 \pm 9nm$ .

Pada pengujian TEM juga dilengkapi oleh gambar cincin difraksi untuk nanopartikel  $CoFe_2O_4$  dan  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG pada gambar 6 (b) dan 7(b) yaitu bidang-bidang kristal (220), (311), (400), (511) dan (440) yang merupakan ciri khas bidang kristal  $CoFe_2O_4$ . Untuk nanopartikel  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG citra morfologinya dapat dilihat pada gambar 7(a). Terdapat perbedaan morfologi dengan nanopartikel  $CoFe_2O_4$  sebelum dimodifikasi dengan PEG. Aglomerasi nanopartikel menjadi berkurang dan ukuran butir nanopartikel cenderung merata. Ukuran butir nanopartikel  $CoFe_2O_4$  menjadi lebih besar setelah difungsionalisasi dengan PEG yaitu  $\pm 42nm$ . Perbedaan ukuran butir ini terjadi karena adanya proses *self assembly* dimana didalam satu butir nanopartikel yang termodifikasi PEG terdapat lebih dari satu butir nanopartikel  $CoFe_2O_4$ .

### 3.5 Karakterisasi Gugus Fungsi Nanopartikel

Karakterisasi FTIR dari sampel yang telah dimodifikasi diperoleh spektrum seperti pada Gambar 8. Terdapat perbedaan spektrum serapan antara  $CoFe_2O_4$  yang telah dimodifikasi dengan PEG-4000



Gambar 8: Spektrum FTIR untuk nanopartikel  $CoFe_2O_4$ , PEG-4000,  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG, dan  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat formalin

,  $CoFe_2O_4$  yang belum dimodifikasi PEG-4000, PEG-4000 murni dan  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat formalin.

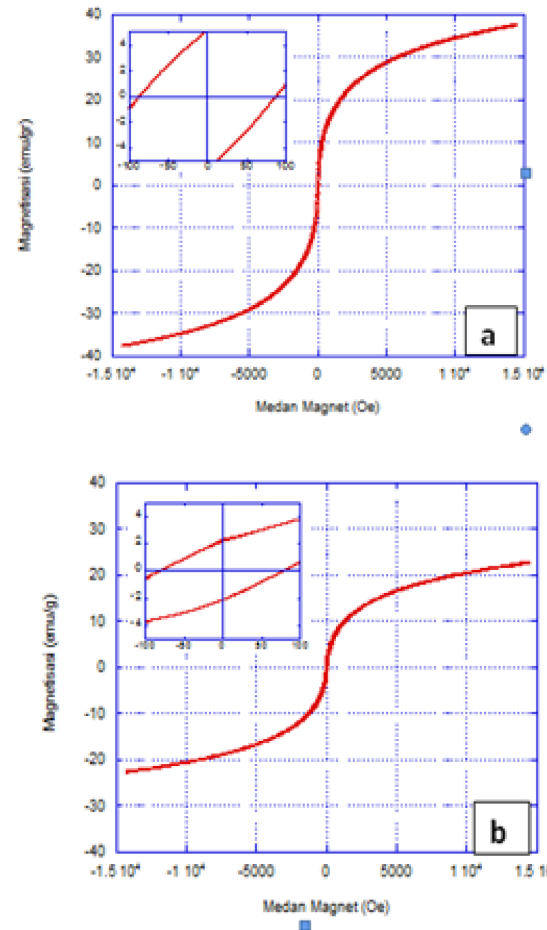
Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa  $CoFe_2O_4$  berhasil berikatan dengan PEG dengan hadirnya puncak serapan baru pada nanopartikel  $CoFe_2O_4$  yang telah dimodifikasi dengan PEG. Puncak serapan baru tersebut terdapat pada bilangan gelombang  $354,90\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan puncak dari vibrasi ion logam dan oksigen. Pada sampel  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat formalin puncak serapan baru terdapat pada bilangan gelombang  $1589,34\text{ cm}^{-1}$  (vibrasi gugus C-O) yang menunjukkan terbentuknya ikatan baru antara polimer PEG dan biomolekul formalin.

### 3.6 Karakterisasi Sifat Kemagnetan Nanopartikel

Gambar 9 merupakan kurva histeresis dari  $CoFe_2O_4$  dan  $CoFe_2O_4$  dimodifikasi PEG. Medan saturasi  $M_s$  remanance  $M_r$  mengalami penurunan ketika dimodifikasi dengan PEG dari  $37,6\text{ emu/g}$  dan  $5,2\text{ emu/g}$  menjadi  $22,7\text{ emu/g}$  dan  $2,6\text{ emu/g}$ .

Penurunan nilai  $M_s$  disebabkan oleh penambahan PEG-4000 yang merupakan polimer dengan sifat kemagnetan paramagnetik. Di samping itu kehadiran fasa  $\alpha - Fe_2O_3$  dan  $\alpha - FeO(OH)$  yang bersifat antiferromagnetik serta  $\gamma - FeO(OH)$  yang bersifat paramagnetik, yang terlihat pada hasil pengujian XRD memberikan andil pada turunnya nilai magnetisasi pada sampel[8].

Penurunan juga terjadi pada nilai koersivitas  $H_c$  dari  $85,6\text{ Oe}$  menjadi  $79,6\text{ Oe}$ . Penurunan nilai koersivitas ini berhubungan dengan semakin seragamnya ukuran butir nanopartikel  $CoFe_2O_4$  setelah dimodifikasi



Gambar 9: Kurva histeresis nanopartikel (a)  $CoFe_2O_4$  dan (b)  $CoFe_2O_4$  dimodifikasi PEG

dengan PEG-4000 yang menyebabkan domain magnet disetiap butirnya hampir sama sehingga energi *barrier* akan menurun. Sehingga momen magnet akan lebih mudah untuk termagnetisasi.

### 3.7 Biosensor Magnetik Berbasis Lapisan Tipis GMR

Lapisan tipis GMR berpotensi dikembangkan dalam teknologi biosensor magnetik. Lapisan tipis digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi biomolekul formalin yang telah dilabeli nanopartikel magnetik  $CoFe_2O_4$ .

Untuk semua pengukuran resistansi pada lapisan tipis sebelum dan setelah dilapisi nanopartikel dengan variasi ketebalan *barrier* Cu, pola grafik yang terbentuk adalah magnetoresistansi negatif dimana nilai resistansi akan menurun seiring dengan bertambahnya medan magnet eksternal seperti yang terlihat pada gambar 10. Nilai resistansi maksimum terjadi pada keadaan tanpa medan eksternal ( $H=0$ ). Hal ini menunjukkan bahwa pada

Tabel 1: Gugus fungsi dan bilangan gelombang hasil analisa FTIR

Ikatan(gugus fungsi)	$CoFe_2O_4$	PEG-4000	$Co_2Fe_2O_4$ +PEG-4000	$Co_2Fe_2O_4$ +PEG-4000+Formalin	jenis fibrasi
O-H	3245,28	3448,72	3425,58	3402,43	Stretching
C-H	-	2885,51	2885,51	2924,09	Stretching
O-H	1627,92	1635,64	1627,92	-	Bending
C-O	-	-	-	1589,34	Stretching
C-H	-	1465,90	1465,90	-	Bending
C-H	-	1342,46	1342,46	1342,46	Bending
C-H	-	1280,73	1280,73	-	Bending
C-H	-	1242,16	1242,16	-	Bending
C-O-C	-	1111,00	1111,00	1095,57	Stretching
C-H	-	956,69	956,69	925,83	Bending
C-H	-	840,96	840,96	-	Bending
M-O tet	601,79	-	586,36	594,08	Stretching
M-O oct	408,91	-	401,19	-	Stretching
M-O	-	-	354,90	362,62	Stretching

kondisi tersebut terjadi peristiwa hamburan tukar (*exchange scattering*) terbesar. Ketika medan eksternal ditingkatkan, maka akan terjadi peningkatan keteraturan arah magnetisasi sehingga hamburan akan semakin berkurang.

Terdapat perbedaan respon magnetik yang berbeda ketika lapisan tipis dilapisi  $CoFe_2O_4$ ,  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG,  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang mengikat formalin yang ditandai oleh pergeseran nilai resistansi seperti yang terlihat pada tabel 2. Pergeseran nilai resistansi disebabkan oleh adanya *exchange interaction* antara moment magnetik lapisan *free layer* dan moment magnetik pada nanopartikel.

Tabel 2: Hasil pengukuran resistansi untuk variasi ketebalan Cu

Sample	Resistansi maksimum ( $\Omega$ )	
	Cu 2,2 nm	Cu 2.8 nm
Lapisan tipis	71,74 $\pm$ 0,77	40,47 $\pm$ 0,50
Lapisan tipis + $CoFe_2O_4$	44,33 $\pm$ 0,77	42,67 $\pm$ 0,68
Lapisan tipis + $CoFe_2O_4$ + PEG	39,3 $\pm$ 0,77	43,54 $\pm$ 0,54
Lapisan tipis + $CoFe_2O_4$ + PEG + Formalin	7083,5 $\pm$ 0,77	49,4 $\pm$ 0,54

Nilai resistansi tertinggi dihasilkan pada lapisan tipis dilapisi  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat biomolekul formalin. Hal tersebut berkaitan dengan sifat paramagnetik formalin yang dapat mengurangi sifat kemagnetan  $CoFe_2O_4$ . Pada lapisan tipis dengan Cu 2,2 nm, nilai resistansi ketika lapisan tipis dilapisi  $CoFe_2O_4$  yang termodifikasi PEG berada dibawah nilai resistansi ketika lapisan tipis dilapisi nanopartikel  $CoFe_2O_4$ . Penurunan nilai resistansi ini bisa dikaitkan dengan perubahan morfologi nanopartikel  $CoFe_2O_4$ . Setelah difungsionalisasi dengan PEG ukuran butir nanopartikel menjadi lebih seragam, domain magnet dalam setiap butirnya hampir sama sehingga energi *barrier* akan berkurang. Pada kondisi ini momen magnet akan lebih mudah mensejajarkan diri dengan arah magnetisasi medan

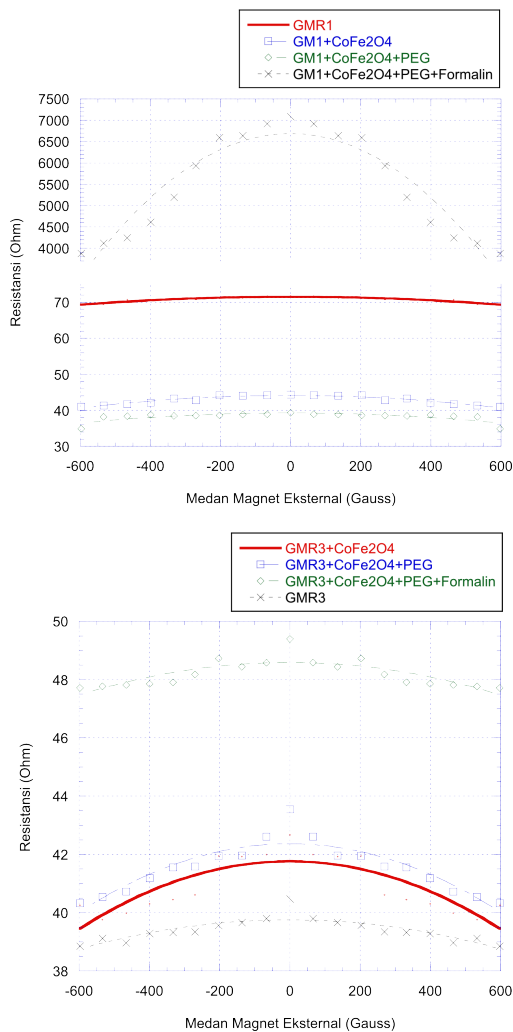
Tabel 3: Hasil pengukuran resistansi untuk variasi ketebalan CoFeB

Sample	Resistansi maksimum ( $\Omega$ )	
	CoFeB 7 nm	CoFeB 10 nm
Lapisan tipis	41,114 $\pm$ 0,45	71,74 $\pm$ 0,77
Lapisan tipis + $CoFe_2O_4$	202,72 $\pm$ 0,68	44,33 $\pm$ 0,77
Lapisan tipis + $CoFe_2O_4$ + PEG	32,8 $\pm$ 0,14	39,3 $\pm$ 0,77
Lapisan tipis + $CoFe_2O_4$ + PEG + Formalin	681,8 $\pm$ 1,72	7083,5 $\pm$ 0,77

eksternal. Pada lapisan tipis dengan Cu 2,8 nm pergeseran nilai resistansi tidak terlalu signifikan. Hal ini berhubungan dengan rasio *magnetoresistance* (MR) yang kecil yaitu 1% sehingga menyebabkan sensitivitas lapisan tipis lemah. Resistansi cenderung menurun ketika ketebalan lapisan nonmagnetik Cu bertambah. Pada lapisan barrier yang tebal akan terjadi hamburan pembalikan spin, sehingga spin yang berada pada lapisan barrier dapat menyesuaikan diri dengan arah magnetisasi pada lapisan ferromagnetik.

Pada lapisan tipis dengan variasi ketebalan CoFeB, semua pengukuran resistansi pada sebelum dan setelah dilapisi nanopartikel pola grafik yang terbentuk adalah magnetoresistansi negatif seperti yang terlihat pada gambar 11. Berdasarkan data pada tabel 3, resistansi tertinggi diperoleh ketika lapisan tipis dilapisi  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat biomolekul formalin. Pada lapisan tipis dengan ketebalan CoFeB 7 nm dan 10 nm nilai resistansi ketika lapisan tipis dilapisi  $CoFe_2O_4$  yang termodifikasi PEG berada dibawah nilai resistansi ketika lapisan tipis dilapisi nanopartikel  $CoFe_2O_4$ . Hal ini berkaitan dengan perubahan morfologi nanopartikel yang menyebabkan perubahan sifat kemagnetan.

Resistansi cenderung meningkat ketika lapisan ferromagnetik bertambah. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa ketika lapisan ferromagnetik terlalu tipis, kemungkinan lintasan *mean free path*

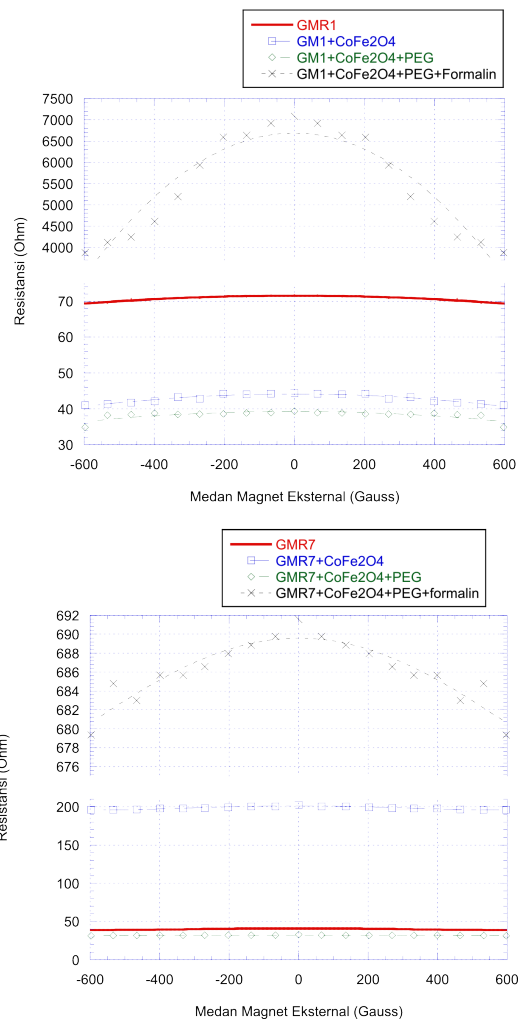


Gambar 10: Grafik pergeseran nilai resistansi pada lapisan tipis Cu (a) 2,2 nm dan (b) 2,8 nm yang memberikan respon yang berbeda pada nanopartikel

elektron lebih panjang dari pada ketebalan lapisan ferromagnetik sehingga hamburan tidak terjadi di lapisan ferromagnetik melainkan di *interface*, substrat atau *capping layer* [8].

### Kesimpulan

Pengujian magnetoresistance pada lapisan tipis GMR *spin valve*  $Co_{90}Fe_{19}B_4/Cu/Co_{90}Fe_{19}/Mn_{80}Ir_{20}$  menunjukkan adanya pergeseran nilai resistansi ketika dilapisi  $CoFe_2O_4$ ,  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG dan  $CoFe_2O_4$  termodifikasi PEG yang telah mengikat biomolekul formalin. Hal ini disebabkan adanya *exchange interaction* antara nanopartikel magnetik dan lapisan *free layer* CoFeB. Perbedaan ketebalan barrier Cu dan *free layer* pada lapisan tipis berpengaruh terhadap nilai resistansi yang dihasilkan.



Gambar 11: Grafik pergeseran nilai resistansi pada lapisan tipis CoFeB (a) 10 nm dan (b) 7 nm yang memberikan respon yang berbeda pada nanopartikel

### Informasi penulis

<sup>1</sup>Dinas Sosial Kabupaten Bengkalis, Jalan Antara-Bengkalis, Riau, Indonesia. <sup>2</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara PO BOX BLS 21, 55281 Yogyakarta, Indonesia.

### Pustaka

1. Djamal, M., Ramli: Development of sensors based on giant magnetoresistance material. *Procedia Engineering* **36**, 60–68 (2012)
2. Shirota, Y., R.Tsunasima, Imada, Y., Nomura, S., Iwata, Jimbo, M.: Giant magnetoresistance effect in *cofeb/cu/cofeb* spin valve. *Japan Journal Applied Physics* **38(2A)**, 714–717 (1999)
3. Djamal, M.: Development of new Giant Magnetoresistance (GMR) Material with Spin-valve Structure using OTMS Reactor. Laporan Hibah Penelitian Asahi Glass Foundation (2009)
4. Xu, M., Fan, Y., Luo, G., Mai, Z.: Dependence of giant magnetoresistance on the thickness of magnetic and non-magnetic layers in spin-valve sandwich. *Physics*

- Letters A. (272), 282–288
5. Mattei, Y.C., Pérez, O.P., Tomar, M.S., Román, F.: Optimization of magnetic properties in cobalt ferrite nanocrystal. *ENS* (2007)
  6. Tamhankar, P.M., Kukarni, A.M., Watawe, S.C.: Functionalization of cobalt ferrite nanoparticles with alginate coating for biocompatible application. *Material Sciences and application* **2**, 1317–1321 (2011)
  7. Setiadi, E.A., Shabrina, N., Utami, H.R.B., Fahmi, F.N., Kato, T., Iwata, S., Suharyadi, E.: Sintesis nanopartikel cobalt ferrite ( $CoFe_2O_4$ ) dengan metode kopresipitasi dan karakterisasi sifat kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics* (2013)
  8. E.Y. Tsybal, D.G. Pettifor: Perspective of giant magnetoresistance. In: *Solid State Physics* vol. 56. by H. Ehrenreich dan F. Spaepen, Academic Press, ??? (2011)