

EFEK GIANT MAGNETORESISTANCE PADA MULTILAYER (NiCoFe/Cu) YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE DC-UBMS

Yenni Darvina^{*}, Ramli^{*}, Yulkifli^{*}, Sri Lidia Lestari Nora^{**} dan Mitra Djamal^{***}

^{*} Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang

^{**} Alumni Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang

^{***} Staf Pengajar Dep. Fisika, FMIPA Institut Teknologi Bandung

*Email: ydarvina@yahoo.com

ABSTRACT

In this paper, we present results of a study on (NiCoFe/Cu) multilayer grown by DC unbalanced magnetron sputtering (DC-UBMS) method onto Si (100) substrate. The aim of this study was to determine the effect of the number of layers in (NiCoFe/Cu) multilayer on the magnetoresistance ratio (MR). For ferromagnetic materials used Ni₆₀Co₃₀Fe₁₀ whereas non magnetic material is Cu. Multilayer structure has been prepared consisting of 2, 3 and 4 layer. One layer consists of NiCoFe/Cu/NiCoFe thin films. The growth parameters for both NiCoFe and Cu layer are: temperature of 100 °C, growth pressure of 5.2 x10⁻¹ torr, flow rate of Ar gas of 100 sccm, time of growth of 5 minutes, applied voltage of 600 V, and plasma currents of 0.36 A. After measurement of the MR ratio with the number of layer 2, 3 and 4 layers, the MR ratios are: 11.65%, 35.60% and 45.27%, respectively. From these results it can be concluded that as number of layers increases, the MR ratio of (NiCoFe/Cu) multilayer increases.

Keyword: DC-UBMS, GMR, multilayer, NiCoFe, MR ratio

PENDAHULUAN

Magnetoresistance adalah perubahan nilai resistansi logam atau divais bila berada dalam medan magnet luar. Nilai *magnetoresistance* yang sangat besar dinamakan dengan *giant magnetoresistance* (GMR). Fenomena GMR yang diamati dalam lapisan tipis, pertama kali ditemukan tahun 1988 oleh Baibich dkk (Baibich, dkk, 1988) yaitu dalam lapisan tipis *multilayer* Fe/Cr yang ditumbuhkan dengan MBE (*Molecular Beam Epitaxy*).

GMR merupakan salah satu penemuan yang mengagumkan dalam lapisan tipis magnetik, karena menggabungkan kajian fisika fundamental dengan potensi aplikasi teknologi informasi seperti perekaman magnetik pada *hard disk drive* komputer, sensor medan magnet dan memori *non-volatile*. *J. Nature physics science* (2006), melaporkan bahwa penelitian tentang GMR termasuk salah

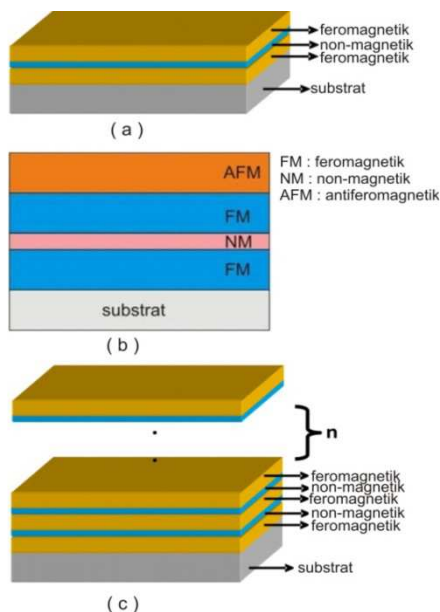
satu dari lima penelitian top dalam fisika. Kemajuan penggunaan GMR dalam teknologi nano telah menghantarkan Albert Fert (Perancis) dan Peter Grunberg (Jerman) sebagai peraih Nobel tahun 2007.

Saat ini, para peneliti terus mengembangkan penelitian lapisan tipis GMR, baik dalam metode penumbuhan maupun dalam struktur GMR yang dibuat dengan tujuan memperoleh karakteristik material GMR yang baik seperti memiliki rasio GMR yang tinggi, medan koersif yang rendah dan perubahan medan bias (*exchange biasing field*) yang besar (Saragi. T 2005).

Metode penumbuhan lapisan tipis GMR ada beberapa macam seperti *Molecular Beam Epitaxy* (MBE), *sputtering*, PECVD, dan lain-lain. Dalam tulisan ini dilaporkan penggunaan metode DC- Unbalanced Magnetron Sputtering (DC-UBMS) untuk penumbuhan lapisan tipis GMR. Beberapa keuntungan metode

DC-UBMS adalah mampu mendeposisi bahan sangat akurat dan terkontrol pada permukaan substrat, juga dapat mengurangi pengikisan lapisan tipis yang sudah dihasilkan (Saragi, T, 2005). Disamping itu biaya operasional metode DC-UBMS lebih murah dan peralatannya lebih sederhana dibandingkan metode lainnya.

Struktur lapisan tipis GMR ada beberapa macam yaitu *spin valve*, *multilayer*, dan *sandwich*. Struktur *sandwich* merupakan struktur dasar GMR yang terdiri dari tiga lapisan dengan susunan bahan feromagnetik/nonmagnetik/feromagnetik (FM-NM-FM). Struktur *spin valve* merupakan struktur *sandwich* yang diberi lapisan pengunci (pinning layer), sedangkan struktur *multilayer*, adalah struktur dengan pengulangan lapisan feromagnetik/non magnetik (FM/NM)_n dengan indeks n adalah jumlah pengulangan. Ketiga struktur tersebut dapat terlihat pada Gambar 1.

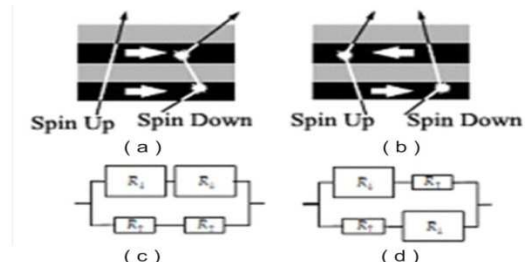


Gambar 1. Struktur Lapisan Tipis GMR.
(a) Sandwich, (b) Spin valve
(c) Multilayer

Fenomena GMR dalam multilayer feromagnetik dapat dijelaskan dengan argumentasi Mott, yakni: (1). konduktivitas listrik dalam logam dapat diuraikan dalam hubungannya dengan dua saluran konduksi

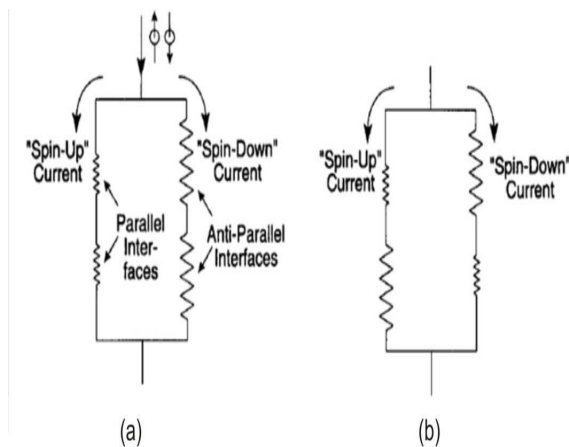
bebas; yang pertama berhubungan dengan elektron dengan *spin up* dan yang lain berhubungan dengan elektron dengan *spin down*. (2). Di dalam logam feromagnetik laju hamburan dari *spin up* dan *spin down* elektron-elektron sangat berbeda.

Tinjau konfigurasi multilayer fero magnetik seperti Gambar 2. Diasum-sikan bahwa hamburan kuat terjadi untuk elektron dengan spin antiparalel terhadap arah magnetisasi (b), sedangkan hamburan lemah terjadi untuk elektron dengan spin paralel terhadap arah magnetisasi (a). Anggapan ini menggambarkan asimetri dalam rapat keadaan pada tingkat Fermi yang bersesuaian dengan argumentasi Mott yang kedua. Dalam Gambar 2, diperlihatkan lintasan elektron dalam dua saluran spin (*spin channels*). Diasumsikan lintasan bebas rata-rata elektron lebih besar dari ketebalan lapisan dan arus mengalir dalam bidang lapisan. Untuk magnetisasi paralel pada (c) elektron *spin up* melewati lapisan tanpa dihamburkan sedangkan elektron dengan *spin down* mengalami hamburan kuat dalam kedua lapisan feromagnetik, menghasilkan resistivitas total kecil. Untuk magnetisasi antiparalel pada (d), keduanya *spin up* dan *spin down* mengalami hamburan kuat dalam satu lapisan feromagnetik, sehingga resistivitas total dalam multilayer menjadi tinggi. Model ini dinamakan dengan model konduksi dua arus, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Transport Elektron dalam Multilayer Feromagnetik untuk (a) Magnetisasi Paralel, dan (b) Magnetisasi Antiparalel. (c) dan (d) Model Rangkaian Resistor untuk Magnetisasi Paralel dan Antiparalel

Diasumsikan lintasan bebas rata-rata elektron lebih besar dari ketebalan lapisan dan arus mengalir dalam bidang lapisan. Untuk magnetisasi paralel pada elektron *spin up*, elektron melewati lapisan tanpa dihamburkan sedangkan elektron dengan *spin down* mengalami hamburan kuat dalam kedua lapisan feromagnetik, dan menghasilkan resistivitas total kecil. Untuk magnetisasi antiparalel pada keduanya mengalami *spin up* dan *spin down*, sehingga mengalami hamburan kuat dalam satu lapisan feromagnetik, sehingga resistivitas total dalam multilayer menjadi tinggi (Malison, 2002). Model ini dinamakan dengan model konduksi dua arus seperti diperlihatkan Gambar 3.



Gambar 3. Model konduksi bebas dua arus.
a. kondisi resistansi rendah dan
b. kondisi saat resistansi tinggi
(Mallison. J.C, 2002)

Dalam tulisan ini struktur GMR yang dilaporkan adalah *multilayer*. Penelitian GMR berstruktur *multilayer* dengan metode dc-UBMS, sebelumnya telah dilakukan oleh Sugita dkk (1998) dengan

bahan feromagnetik (FM) NiCoFe dengan perbandingan 68:20:12 dan Cu sebagai bahan non magnetik (NM). Penumbuhan dilakukan pada suhu kamar dan menghasilkan rasio MR sebesar 5.1%. Dari penelitian Sugita terlihat rasio MR yang dihasilkan masih kecil. Karena itu perlu penelitian lebih lanjut untuk bahan ini.

Alasan pemilihan material paduan NiCoFe sebagai lapisan FM adalah bahwa material NiCoFe memiliki sifat-sifat feromagnetik lunak, rapat fluks magnetik saturasi tinggi dan medan koersif yang rendah (Osaka dkk, 1998), sehingga berpotensi digunakan sebagai material feromagnetik penyusun GMR. Pemilihan bahan Cu didasari dari hasil penelitian Saragi (2005), karena nilai MR yang dihasilkannya lebih tinggi dengan menggunakan Cu dibandingkan dari bahan lainnya seperti Au atau Ag. Untuk penelitian ini digunakan bahan $Ni_{60}Co_{30}Fe_{10}$ hasil optimasi tertinggi dari penelitian yang dilakukan Ramli dkk (2009).

METODE PENELITIAN

Sampel lapisan tipis GMR *multilayer* yang telah dibuat ada 3 macam yaitu dengan dua, tiga, dan empat *layer*. Satu *layer* terdiri dari NiCoFe/Cu/NiCoFe. Penumbuhan dilakukan secara bergantian dengan menggunakan target $Ni_{60}Co_{30}Fe_{10}$ terlebih dahulu, kemudian setelah selesai diganti dengan target Cu. Ketiga macam sampel tersebut memiliki struktur lapisan dan jumlah *layer* seperti terlihat dalam Tabel 1.

Tabel. 1. Struktur Lapisan dan Jumlah *layer* dari Sampel GMR *Multilayer*

No	Nama	Struktur	Jumlah layer
1	Sampel 1	NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe	2
2	Sampel 2	NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe	3
3	Sampel 3	NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe	4

Pembuatan target NiCoFe dilakukan dengan reaksi padatan hasil optimasi Ramli

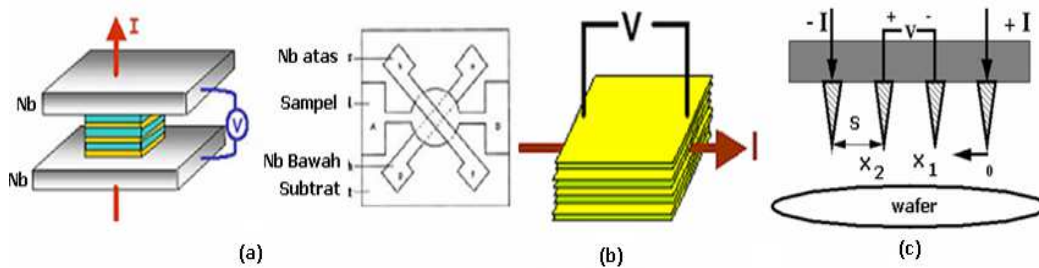
(2009), dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar target

NiCoFe terdiri dari serbuk logam Nikel (Ni = 99.9%) serbuk logam Cobalt (Co = 99.99%) dan logam besi (Fe = 99.99%). Campuran serbuk NiCoFe digerus selama 3 jam kemudian dicetak menjadi pelet. Setelah dicetak dilakukan proses *annealing* dalam *furnace* dengan suhu 600°C selama 6 jam. Sedangkan target Cu juga dibuat dengan reaksi padatan dari bubuk Cu dengan kemurnian 99,5%. Bahan dasar tersebut di atas diperoleh dari Cerac, Inc. Substrat yang digunakan adalah Si (100). Sebelum penumbuhan, substrat Si (100) dibersihkan dari zat-zat pengotor

menggunakan aseton, metanol dan air terdeionisasi.

Parameter penumbuhan untuk lapisan tipis NiCoFe dan Cu terdiri dari suhu penumbuhan 100°C, tekanan 5.2 x 10⁻¹ torr, laju gas Argon 100 sccm, lama penumbuhan 5 menit, tegangan listrik 600 V, dan arus plasma 0,36 A. Parameter penumbuhan ini berdasarkan optimasi yang dilakukan oleh Ramli (2009).

Pengukuran rasio MR dari sampel *multilayer* (NiCoFe/Cu) dilakukan dengan metode probe empat titik dengan arus tegak lurus bidang seperti dapat dilihat pada Gambar 4:



Gambar 4. Geometri Pengukuran MR Pada GMR: (a). CPP, (b). (CIP), (c). Standar *Four Point Probe Methode* (Saragi, T. 2005)

Dalam eksperimen, nilai MR diperoleh dengan membandingkan perubahan resistansi dalam medan magnetik dengan resistansi tanpa medan magnet terhadap resistansi tanpa medan magnet, yang dirumuskan dengan (Sudakar, C, 2004):

$$MR = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R(H) - R(H = 0)}{R(H = 0)} \quad (1)$$

dengan:

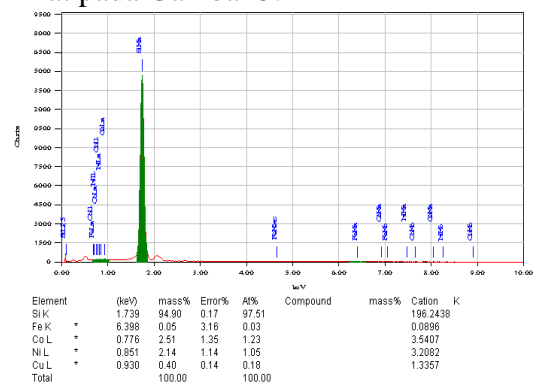
- MR = rasio magetoresistance (MR)
- R(H) = resistansi ketika diberi medan magnet,
- R(H=0) = resistansi tanpa medan magnet.

Biasanya rasio MR dinyatakan dalam persen sehingga hasil perhitungan dikalikan dengan 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

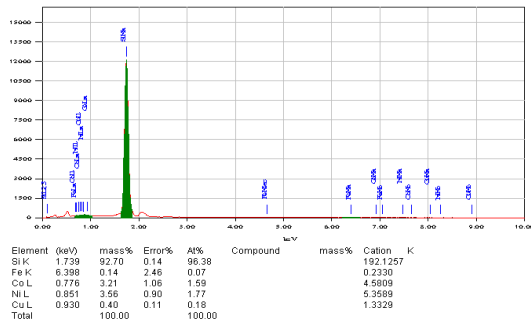
Hasil EDAX dari lapisan tipis GMR dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini:

Sampel pertama untuk 2 *layer* dengan struktur: NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu /NiCoFe terlihat pada Gambar 5.



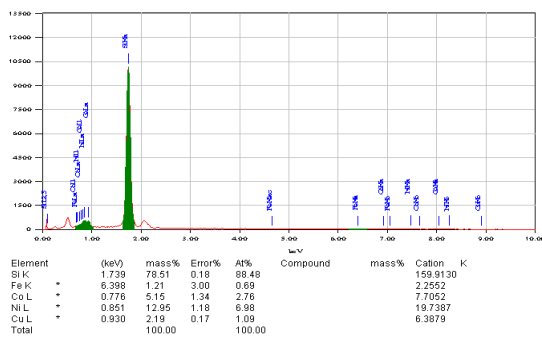
Gambar 5. Hasil EDAX dari Lapisan Tipis GMR dengan Dua *Layer*

Pada Gambar 6 terlihat hasil EDAX dari Sampel kedua untuk 3 *layer* dengan struktur: NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe



Gambar 6. Hasil EDAX dari Lapisan Tipis GMR dengan Tiga Layer

Sampel ketiga untuk 4 layer dengan struktur : NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Komposisi dari Lapisan Tipis GMR dengan Empat Layer

Dari Gambar 5, 6, dan 7 didapatkan hasil EDAX untuk ketiga sampel seperti yang terlihat pada Tabel 2 di bawah ini:

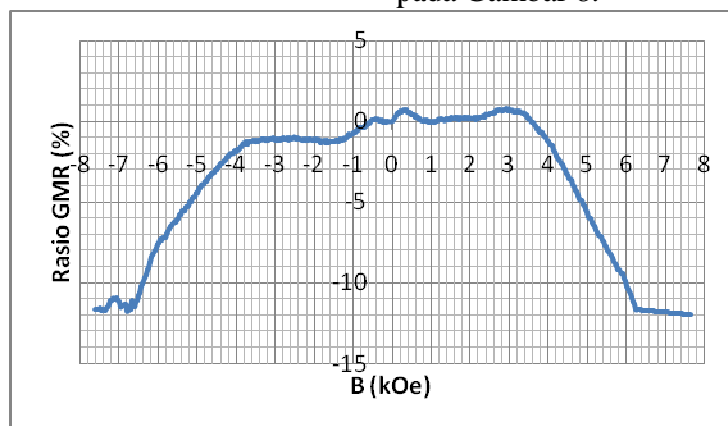
Tabel 2. Komposisi Lapisan Tipis GMR dari Hasil EDAX

Sampel	Komposisi					Total
	Si K	Fe K	Co L	Ni L	Cu L	
1	94.90	0.05	2.51	2.14	0.4	100
2	92.7	0.14	2.51	3.56	0.4	100
3	78.51	1.21	5.15	12.95	2.19	100

Dari Tabel 2 di atas terlihat bahwa sampel yang dibuat mengandung unsur Si sebagai substrat, NiCoFe dan Cu sebagai bahan target. Berarti sampel yang berasal dari NiCoFe dan Cu berhasil ditumbuhkan di atas Si.

Berdasarkan hasil EDAX terlihat bahwa lapisan tipis GMR yang dibuat benar-benar telah tumbuh yang terbuat dari NiCoFe dan Cu yang ditumbuhkan diatas Si. Semakin banyak lapisan yang dibuat semakin tebal lapisan tipis GMR yang ditumbuhkan.

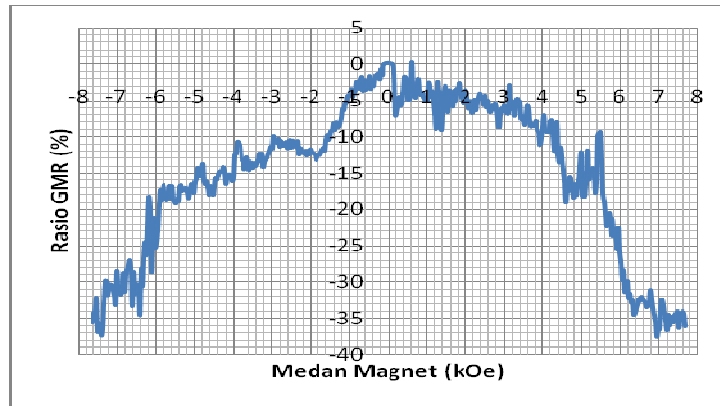
Hasil pengukuran MR dapat dilihat pada Gambar 8, 9, dan 10. Grafik hasil pengukuran rasio MR dari lapisan tipis GMR berstruktur *multilayer* untuk sampel 1 yang terdiri dari NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe (dua layer) dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Pengukuran Magnetoresistance (MR) dari Lapisan Tipis GMR Berstruktur Multilayer dengan Dua Layer

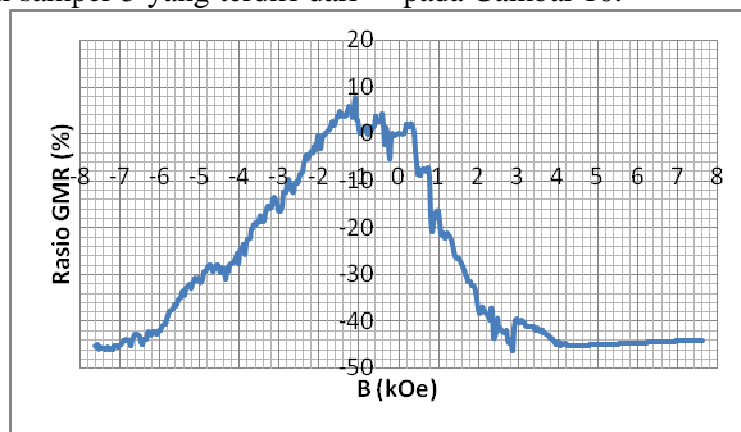
Grafik hasil pengukuran rasio MR dari lapisan tipis GMR berstruktur *Multilayer* untuk sampel 2 dengan struktur NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/

NiCoFe (tiga layer) dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Pengukuran MR dari Lapisan Tipis GMR Berstruktur *Multilayer* dengan Tiga *Layer*

Grafik hasil pengukuran rasio MR dari lapisan tipis GMR berstruktur *multilayer* untuk sampel 3 yang terdiri dari NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe (empat *layer*) terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Pengukuran MR dari Lapisan Tipis GMR Berstruktur *Multilayer* dengan Empat *Layer*

Bila dilihat dari grafik yang diperoleh terlihat bahwa respon lapisan tipis GMR dengan 4 *layer* lebih cepat dibanding dengan 3 *layer*, dan 3 *layer* lebih cepat dari 2 *layer*.

Dari grafik nilai mutlak rasio MR dari sampel 1, 2 dan 3 lapisan tipis GMR dengan 2, 3 dan 4 *layer* berturut-turut adalah sekitar 12%, 36 dan 46%. Jika data mentah dari nilai R saat tanpa medan magnet $R(H=0)$ dan dalam medan magnet $R(H)$ yang diperoleh diolah dengan rumus yang dikemukakan oleh Sudakar (2004) maka diperoleh nilai mutlak dari rasio MR untuk ketiga sampel berturut-turut 11.65%, 35.60% dan 45.27%. Hasil ini sangat sesuai dengan perkiraan yang dilihat berdasarkan grafik pada Gambar 8, 9, dan 10 yaitu

12%, 36% dan 46%. Dari ketiga nilai rasio MR yang diperoleh dari sampel 1, 2 dan 3 terlihat bahwa semakin banyak jumlah *layer* yang dibuat maka nilai rasio MR dari lapisan tipis GMR yang dibuat dengan struktur *multilayer* semakin besar. Hasil ini juga sama dengan hasil yang diperoleh Sato, dkk (1994) dalam *multilayer* (NiFe/Cu).

Rasio MR pada lapisan tipis GMR terjadi karena probabilitas sebuah elektron yang dihamburkan saat melewati lapisan feromagnetik dengan non magnetik bergantung pada arah spin dan arah momen magnet lapisannya. Elektron-elektron mempunyai *spin up* dan *spin down*. Ketika arah spin elektron dari lapisan logam feromagnetik anti parallel terhadap magneti

sasi, resistansinya tinggi, sebaliknya bila arah spin elektron dalam lapisan logam feromagnetik paralel terhadap magnetisasi maka resistansinya rendah (Parkin, S. S. P, 1994).

Bahan feromagnetik *multilayer* dengan spin elektron anti paralel terhadap magnetisasi akan mengalami hamburan kuat pada lapisan feromagnetik sehingga resistansinya jadi besar. Sebaliknya jika elektron-elektronnya paralel terhadap arah magnetisasi, maka elektron tersebut saat melewati lapisan feromagnetik tidak mengalami hamburan sehingga menghasilkan resistansi yang rendah. Rasio MR diperoleh dari selisih nilai resistansi saat ada magnetisasi $R(H)$ dikurangi dengan nilai resistansi tanpa magnetisasi $R(H=0)$ dibagi dengan resistansi tanpa magnetisasi $R(H=0)$ (Sudakar, C, 2004).

KESIMPULAN

Pada saat arah spin elektron dari lapisan feromagnetik anti paralel terhadap magnetisasi, resistansinya tinggi sebab elektron anti paralel mengalami hamburan kuat saat melewati lapisan feromagnetik. Sebaliknya, bila arah spin elektron dalam lapisan feromagnetik paralel terhadap magnetisasi, maka resistansinya kecil. Sebab elektron tersebut tidak mengalami hamburan saat melewati lapisan feromagnetik.

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa rasio MR untuk penumbuhan lapisan tipis berstruktur *multilayer* yang ditumbuhkan dengan metode dc-UBMS untuk 2, 3 dan 4 *layer* berturut-turut adalah 11.65%, 35.60% dan 45.27%. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah *layer* dari *multilayer* (NiCoFe/Cu), maka semakin tinggi nilai rasio MR-nya.

DAFTAR PUSTAKA

Baibich, M. N. Broto, J.M. Fert. A, Nguyen Van Dau, Petroff. F, Etienne. P, Creuzet. G, Frederick. A and Cjazelas. J, (1988). **“Giant Magnetoresistance of (001)Fe/Cr(001)**

Magnetic Superlattice”. *Phys. Rev. Lett.*, **61**. p.

- Osaka, T. M. Takai, Hayashi, K. Ohashi, K. Saito, M. and Yamada K. (1998). **“A Soft Magnetic CoNiFe Film with High Saturation Magnetic Flux Density and Low Coercivity”**. *Nature* **392**,
- Parkin, S.S.P. (1994), **Ultrathin Magnetic Structure II**, Springer-Verlag, Berlin. Heidelberg.
- Ramli. M. Djamal, and Khairurrijal. (2009) **“Effect of Ferromagnetic Layer Thickness on the Giant Magnetoresistance Properties of Ni CoFe/Cu/NiCoFe Sandwich”**, *Asian Physics Symposium*, Bandung, July 2009.
- Ramli, Yulkifli, Mitra Djamal dan Khairurrijal, (2009), **“Struktur dan Sifat Giant Magnetoresistance Sandwich NiCoFe-Cu-NiCoFe yang Ditumbuhkan dengan Metode Opposed Target Magnetron Sputtering”**. Jurnal SAINS MATERI INDONESIA, Edisi Khusus Desember 2009, ISSN:1411-1098.
- Saragi, T, Djamal, M, Darsikin, and Bar mawi, M. (2005). **Characteristic of Giant Magnetoresistance CoFe/Cu/CoFe Sandwich on Si (100) Substrates in Perpendicular Geometry Grown by dc-Sputtering**, *Physics Journal of the Indonesian Physical Society*, **A7** 0219, (2005).
- Sato. M, S. Ishio and T. Miyazaki, (1994). **“Magnetoresistance in NiFe/Cu Multilayers”**, *IEEE Trans. Mag. Jpn*, **9** (1). 44 - 48.
- Sudakar.C and T.R.N.Kutty, (2004), **“Electrical and Magnetoresistance Properties of Composites Consisting of Iron Nanoparticles within the Hexaferrites”**. *Journal of Electronic Materials*, **33** (11).
- Sugita.Y, M. Satomi, Y. Kawawake, and H. Sakakima, (1998) **“Enhancement of Giant Magnetoresistance in NiFe Co/Cu/Co with Ag Capping Layer**

Prepared by Sputering” , *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37**, 109-110.
Tsymbol, E.Y. and Pettifor D.G. (2001).
Perspectives of Giant Magnetore

sistance, dalam Solid State Physics, ed. by H. Ehrenreich and F. Spaepen, **56**. Academic Press., p.