

Penumbuhan Lapisan Tipis Material Sensor *Giant Magnetoresistance* Berstruktur *Sandwich* dengan Metode Sputtering

^{1,2}Ramli, ¹M. Djamal, ¹F. Haryanto & ¹Khairurrijal

¹Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia

²Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Hamka, Padang 25131, Indonesia

¹ramlisutan@gmail.com

²mitra@fi.itb.ac.id

Abstrak

Material giant magnetoresistance (GMR) menjanjikan untuk diterapkan dalam bidang teknologi penting, salah satunya sebagai sensor medan magnet lemah. Sensor GMR memiliki kelebihan, yakni ukuran yang kecil, daya dan harga yang relatif rendah dibandingkan sensor-sensor magnetik lainnya serta sifat-sifat magnetik dan elektriknya dapat divariasikan dalam rentangan yang sangat lebar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat efek giant magnetoresistance dari lapisan tipis sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe yang ditumbuhkan di atas substrat Si (100) dengan metoda dc-Opposed Target Magnetron Sputtering (dc-OTMS). Parameter penumbuhan yakni; suhu 1000C, laju aliran gas argon sebesar 100 sccm, tekanan 0,52 mTorr, dan tegangan dc 600 volt. Dalam paper ini, akan dibahas pengaruh ketebalan lapisan feromagnetik (NiCoFe) dan ketebalan lapisan non magnetik (Cu) terhadap sifat giant magnetoresistance dari sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe. Hasil pengukuran rasio magnetoresistance memperlihatkan bahwa ketebalan lapisan NiCoFe mempengaruhi nilai rasio GMR, serta makin tebal lapisan NiCoFe, makin kecil medan saturasi, yang ditandai dengan kurva rasio GMR yang makin runcing. Dalam struktur sandwich, kecilnya nilai rasio GMR saat ketebalan NiCoFe rendah, kemungkinan disebabkan oleh hamburan pada permukaan luar seperti antarmuka substrat-film atau buffer layer. Hamburan ini mempengaruhi nilai GMR saat ketebalan lapisan feromagnet lebih kecil dibanding panjang lintasan bebas rata-rata yang berhubungan dengan elektron ber-spin ke atas dan spin ke bawah. Demikian pula halnya dengan ketebalan lapisan non magnetik Cu juga mempengaruhi rasio GMR, dimana rasio GMR semakin berkurang dengan bertambahnya ketebalan lapisan Cu. Hal ini kemungkinan terjadi akibat peningkatan hamburan elektron konduksi yang melintasi lapisan pemisah non magnetik, yang mengurangi aliran elektron diantara lapisan-lapisan feromagnetik dan meningkatkan arus shunting, sehingga mengurangi nilai rasio GMR.

Kata kunci: *feromagnetic, giant magnetoresistance, lapisan tipis, NiCoFe, non magnetik, sensor GMR.*

Abstract

Giant magnetoresistance (GMR) materials, promising to be applied in the field of critical technologies, one of them as a weak magnetic field sensors. The GMR sensor had some advantages; small size, low power and low price compared to other magnetic sensors and its magnetic and electric properties can be varied in a very wide range. This research had a purpose to determine the effect of giant magnetoresistance of a thin film of the sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe which were grown on Si (100) substrate with dc- Opposed Target Magnetron Sputtering (dc-OTMS) method. Growth parameters were temperature 1000C, flow rate of Argon 100 sccm, pressure 0.52 mTorr, and dc voltage 600 volt. In this paper, we discussed the influence of ferromagnetic layer thickness (NiCoFe) and non-magnetic layer thickness (Cu) on the giant magnetoresistance properties of NiCoFe/Cu/NiCoFe sandwich. Measurement results of magnetoresistance ratio showed that the thickness of NiCoFe layer that influenced the value of GMR ratio, and saturation field decreases with increasing NiCoFe layer thickness, which was marked with a curve that increasingly pointed GMR ratio. In a sandwich structure, the small value of GMR ratio at low NiCoFe layer thickness, it caused by scattering on the outer surface such as substrate-film interface or buffer layer. This Scattering affects the value of GMR when the thickness of the ferromagnetic layer thickness is smaller than the length of mean free path

associated with the electron had spin up and spin down. Similarly, non-magnetic Cu layer thickness also affects the GMR ratio, where the GMR ratio decreases with increasing thickness of Cu layer thickness. This occur due to increased scattering of conduction electrons passing through a layer of non-magnetic spacer, which reduced the flow of electrons between ferromagnetic layers and increasing the flow shunting, thereby reducing the value of GMR ratio.

Keywords: feromagnetic, giant magnetoresistance, GMR sensor, NiCoFe, non magnetik, sputtering thin film.

1 Pendahuluan

Salah satu prinsip fisika yang mendasari penelitian mengenai sensor magnetik adalah prinsip hamburan elektron yang mengakibatkan adanya perubahan resistansi pada suatu konduktor bila diberi medan magnet luar. Prinsip ini dinamakan *magnetoresistance* (MR). Material yang memperlihatkan nilai MR yang sangat besar dinamakan sebagai material *giant magnetoresistance* (GMR). Efek GMR ditemukan pertama kali oleh Baibich, dkk, pada tahun 1988 dalam lapisan *multilayer* yang terdiri atas lapisan ferromagnetik Fe dan lapisan pemisah non-magnetik Cr , $(\text{Fe/Cr})_n$, yang ditumbuhkan dengan metode *Molecular Beam Epitaxy* (MBE) dengan ketebalan 0.5 – 5 nm dan menghasilkan rasio GMR ~ 50% [1].

Penemuan GMR telah membuka peluang untuk penerapannya dalam banyak bidang aplikasi. Material GMR mempunyai potensi yang sangat besar sebagai devais pengindera medan magnet generasi mendatang, mempunyai sifat-sifat magnetik dan listrik yang baik sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi berbagai aplikasi seperti: sensor pengukuran medan magnet, pengukuran arus, posisi linier & rotasi, penyimpanan data, *heads recording*, dan *non-volatile magnetic random access memory (MRAM)* [2]. Disamping itu, kebutuhan akan media penyimpanan magnetik berkapasitas besar namun berukuran kecil untuk komputer saat ini, telah menuntut pengembangan serius akan sensor medan magnet berbasis GMR ini.

Dalam kasus logam transisi seperti Ni, Co, Fe ataupun paduannya sebagai lapisan feromagnet (FM), maka lapisan pemisah non magnetic (NM) dipilih harus lebih tipis. Transportasi elektron di seluruh lapisan pemisah ini harus melestarikan informasi spin, sehingga ketebalan lapisan pemisah harus dijaga lebih tipis dari beberapa kali jalan bebas rata-rata (dalam kasus arus dalam bidang, CIP-GMR) atau panjang difusi spin (dalam kasus arus tegak lurus bidang, CPP-GMR).

Ketika meninjau ketergantungan rasio GMR pada ketebalan lapisan penyusun material GMR dalam strukur sandwich dan multilayer, maka kita membandingkan resistansi dari konfigurasi magnet paralel dan antiparalel. Rasio GMR dicari dengan persamaan berikut:

$$\Delta R = (R_{AP} - R_P) / R_P \quad (1)$$

dengan, R_{AP} adalah resistansi saat konfigurasi antiparalel, R_P adalah resistansi saat konfigurasi paralel, dan ΔR adalah rasio magnetoresistance.

Kebergantungan nilai rasio GMR pada ketebalan lapisan feromagnet (FM), secara kualitatif diungkapkan dengan persamaan [3]:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0 \frac{1 - \exp\left(-d_{FM}/l_{FM}\right)}{\left(1 + d_{FM}/d_0\right)} \quad (2)$$

Sedangkan kebergantungan nilai rasio GMR pada ketebalan lapisan non magnetik (NM) secara kualitatif dinyatakan dengan persamaan di bawah ini [4]:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0 \frac{\exp\left(-d_{NM}/l_{NM}\right)}{\left(1 + d_{NM}/d_0\right)} \quad (3)$$

dengan $d_{FM(NM)}$ adalah ketebalan lapisan feromagnetik (non magnetik), d_0 adalah ketebalan efektif dan $l_{FM(NM)}$ adalah panjang lintasan bebas rata-rata dari feromagnetik (non magnetik).

2 Eksperimen

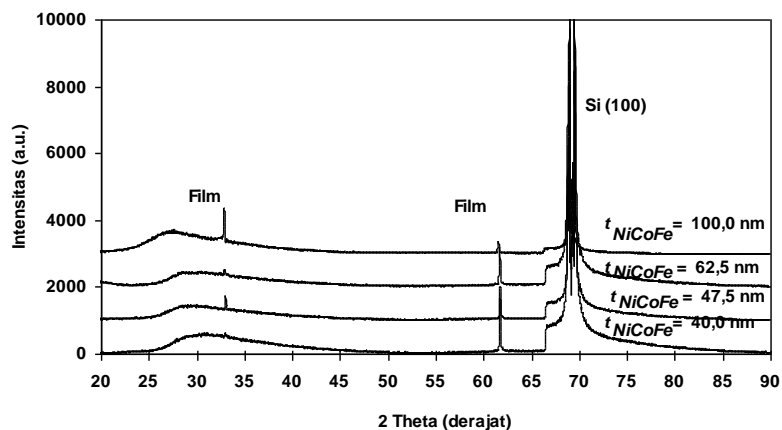
Penumbuhan lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe dilakukan di Laboratorium Oksida Fisika Material Elektronik jurusan Fisika ITB dengan metode *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering*. Target *sputtering* adalah NiCoFe sebagai bahan feromagnet dan Cu sebagai bahan non-magnet. Pembuatan target NiCoFe dilakukan dengan reaksi padatan dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar diperoleh dari Cerac, Inc, yang terdiri dari serbuk logam Nikel (Ni = 99,9%) serbuk logam Cobalt (Co = 99,99%) dan logam besi (Fe = 99,99%). Pembuatan target Cu juga menggunakan reaksi padatan dari logam Cu dengan kemurnian 99,5% yang juga diperoleh dari Cerac, Inc.

Sebelum penumbuhan, substrat Si (100) dibersihkan dari zat-zat pengotor menggunakan aseton, metanol dan DI water. Substrat yang sudah bersih dikeringkan dengan nitrogen, kemudian ditempelkan di atas heater menggunakan pasta perak dan dipanaskan sampai suhu 100°C. Sementara itu, target dimasukkan ke dalam holder dalam reaktor. Setelah suhu substrat mencapai 100°C, substrat dimasukkan dalam reaktor dengan shutter dalam keadaan menutupi permukaan substrat. Parameter penumbuhan yakni; laju aliran gas argon sebesar 100 sccm, tekanan 0,52 mTorr, suhu 100°C, dan tegangan dc 600 volt. Parameter yang diubah-ubah adalah lama penumbuhan lapisan NiCoFe dengan Cu tetap yang akan berpengaruh pada ketebalan lapisan NiCoFe, serta lama penumbuhan lapisan Cu dengan NiCoFe tetap yang akan berpengaruh pada ketebalan lapisan Cu. Dari hasil penelitian sebelumnya [5] diperoleh bahwa lama penumbuhan berpengaruh pada ketebalan lapisan tipis feromagnet maupun lapisan non magnet penyusun material GMR.

Sampel lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe yang telah ditumbuhkan, dikarakterisasi menggunakan XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscope) dan karakterisasi rasio magnetoresistance dengan metoda *linear four-point probe* dengan arus tegak lurus bidang.

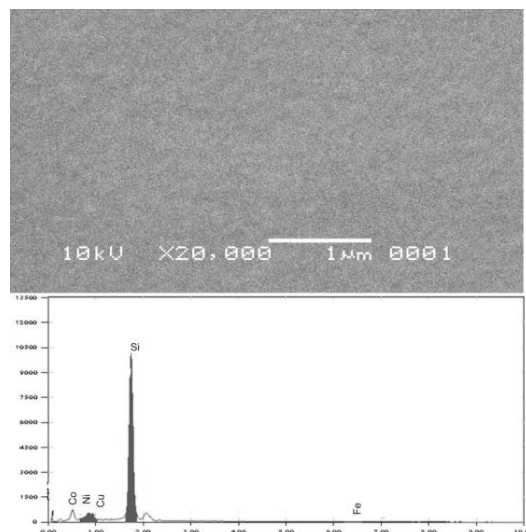
3 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran XRD memperlihatkan bahwa telah berhasil ditumbuhkan lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe yang memiliki puncak difraksi pada sudut 2θ sekitar 34,0° dan 61,9° seperti terlihat dalam Gambar 1.



Gambar 1 Kurva XRD dari lapisan tipis sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe untuk beberapa variasi ketebalan NiCoFe dengan ketebalan Cu tetap 14,4 nm

Ukuran butiran diperoleh dengan formula Scherrer [6] dan didapatkan ukuran butiran untuk ketebalan lapisan NiCoFe; 40,0 nm, 47,5 nm, 62,5 nm, dan 100,0 nm dengan ketebalan lapisan Cu konstan sebesar 14,4 nm, berturut-turut adalah; 59,8 nm, 54,9 nm, 44,1 dan 68,8 nm. Permukaan dan hasil EDAX lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe terlihat dalam Gambar 2. Permukaan film terlihat homogen, dan komposisi film telah memenuhi komposisi target *sputtering*.

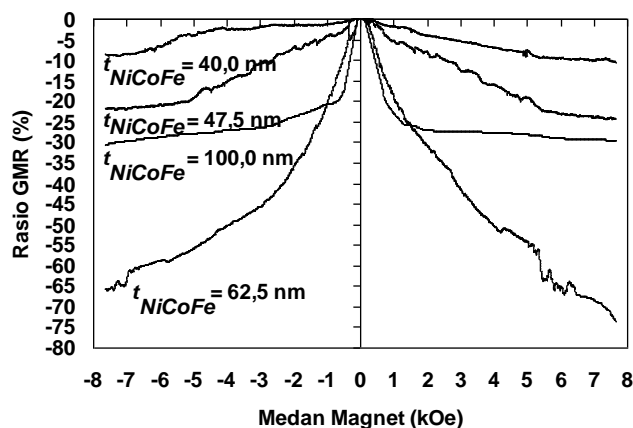


Gambar 2 Hasil SEM dan EDAX dari sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe untuk ketebalan NiCoFe 62,5 nm dan ketebalan Cu 14,4 nm

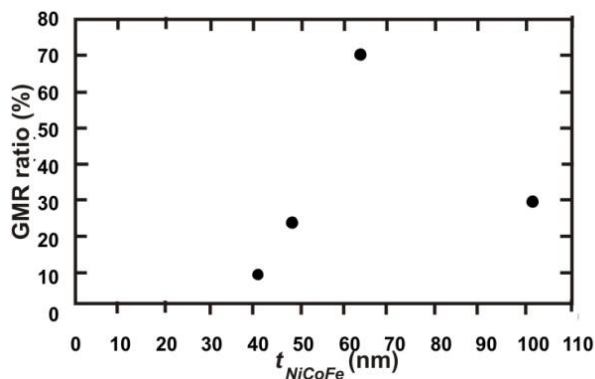
3.1 Pengaruh Ketebalan Lapisan Feromagnetik, NiCoFe

Variasi nilai rasio GMR lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe yang diukur pada suhu ruang terhadap ketebalan lapisan NiCoFe, diperlihatkan dalam Gambar 3. Dalam Gambar 3

juga terlihat bahwa ketebalan lapisan NiCoFe mempengaruhi nilai rasio GMR dan medan saturasi. Semakin tebal lapisan NiCoFe, makin kecil medan saturasi, yang ditandai dengan kurva rasio GMR yang makin runcing. Dalam struktur *sandwich*, kecilnya nilai rasio GMR saat ketebalan NiCoFe rendah, kemungkinan disebabkan oleh hamburan pada permukaan luar seperti antarmuka substrat-film atau *buffer layer*. Hamburan ini mempengaruhi nilai GMR saat ketebalan lapisan feromagnet lebih kecil dibanding panjang lintasan bebas rata-rata yang berhubungan dengan elektron ber-spin ke atas dan spin ke bawah. Ketika ketebalan NiCoFe makin besar (di atas 62,5 nm) nilai rasio GMR berkurang. Hal ini kemungkinan dapat dijelaskan dengan munculnya daerah tidak aktif dalam lapisan NiCoFe yang akan men-*shunting* arus, sehingga mengurangi rasio GMR. Grafik ketebalan NiCoFe terhadap rasio GMR diperlihatkan dalam Gambar 4. Terlihat dalam Gambar 4 bahwa nilai rasio GMR maksimum diperoleh pada ketebalan NiCoFe sebesar 62,5 nm. Posisi maksimum ini diasumsikan berhubungan dengan letak pusat hamburan bergantung spin dalam lapisan feromagnetik [2].



Gambar 3 Kurva Rasio GMR dari sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe untuk beberapa variasi ketebalan NiCoFe dengan ketebalan Cu tetap 14,4 nm.

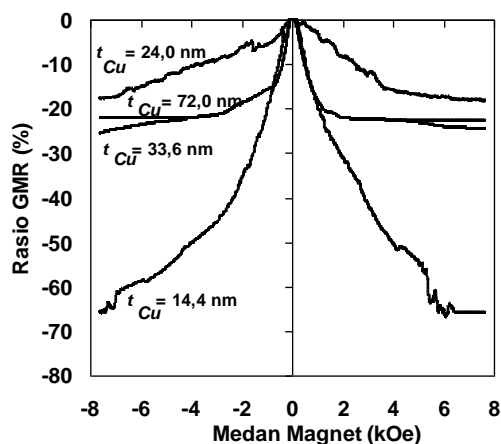


Gambar 4 Variasi ketebalan lapisan NiCoFe terhadap rasio GMR dari sandwich NiCoFe/Cu/NiCoFe

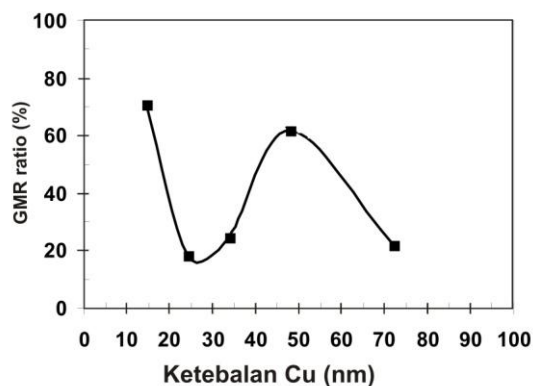
3.2 Pengaruh Ketebalan Lapisan Non Magnetik, Cu

Nilai rasio GMR lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe sebagai fungsi ketebalan lapisan non magnetik Cu, diperlihatkan dalam Gambar 5. Terlihat bahwa medan saturasi dari kurva GMR berkurang dengan bertambahnya ketebalan Cu. Hal ini kemungkinan teramati karena adanya reduksi interaksi dipole-dipol diantara lapisan NiCoFe.

Variasi nilai rasio GMR terhadap ketebalan lapisan pemisah Cu diperlihatkan dalam Gambar 6. Secara umum, perilaku rasio GMR terhadap ketebalan lapisan pemisah non magnetik menunjukkan adanya osilasi. Osilasi tersebut menggambarkan osilasi pertukaran kopling diantara keadaan feromagnetik dan antiferomagnetik. Osilasi ini disebabkan oleh osilasi dalam tanda dari kopling pertukaran interlayer diantara lapisan-lapisan feromagnetik penyusun material GMR [7]. Terlihat pula bahwa puncak osilasi meluruh secara eksponensial mengikuti persamaan (3).



Gambar 5 Kurva Rasio GMR dari *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe untuk beberapa variasi ketebalan Cu dengan ketebalan NiCoFe tetap 62,5 nm



Gambar 6 Variasi ketebalan lapisan Cu terhadap rasio GMR dari *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe

4 Kesimpulan

Telah berhasil ditumbuhkan material sensor GMR berstruktur *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe dengan metode *Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS) di atas substrat Si (100). Nilai rasio *magnetoresistance* dari sampel sangat dipengaruhi oleh ketebalan lapisan feromagnetik, NiCoFe maupun ketebalan lapisan non magnetik, Cu. Dalam penelitian ini, nilai rasio GMR maksimum sekitar 70% pada suhu ruang diperoleh pada ketebalan NiCoFe 62,5 nm dan ketebalan Cu 14,4 nm. Dengan demikian, lapisan tipis *sandwich* NiCoFe/Cu/NiCoFe yang telah dikembangkan ini, berpotensi untuk dijadikan sensor medan magnet.

5 Ucapan Terimakasih

Penulis pertama mengucapkan terimakasih kepada DP2M Dikti, Mendiknas Indonesia, atas dana penelitian yang diberikan melalui Hibah Disertasi Doktor dengan kontrak: No. 501/SP2H/PP/ DP2M/VI/2010.

6 Referensi

- [1] M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich and J. Chazelas, "Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices", Phys. Rev. Lett., Vol. 61, 2472;2475 (1988).
- [2] Tsymbal E.Y., and D.G. Pettifor, (2001): Perspective of Giant Magnetoresistance, Published in Solid State Physics, ed. By H. Ehrenreich dan F. Spaepen, 56, Academic Press, pp.113-237.
- [3] B.Dieny, P.Humbert, V.S.Speriosu, S.Metin, B.A.Gurney, P.Baumgart, and H.Lefakis, Phys.Rev.B 45, 806 (1992).
- [4] B.Dieny, J.Magn.Mag.Mat. 136, 335 (1994).
- [5] M. Djamal, Ramli, Yulkifli, Kadek J. Parwanta, and I. Andriana, "Deposition of Ferromagnetic (FM) and non-magnetic (NM) Thin Film Using Sputtering Method for GMR Material" Proceedings of the Second International Conference on Mathematics and Natural Science (ICMNS 2008), Bandung, October, 28-30, 2008.
- [6] Suryanarayana.C dan M. Grant Norton, 1998, X-Ray Diffraction, A Practical Approach, Plenum Press, New York.
- [7] Tripathy, D and A. O. Adeyeye, "Effect of spacer layer thickness on the magnetic and magnetotransport properties of Fe₃O₄/Cu/Ni₈₀Fe₂₀ spin valve structures" Phys. Rev. B 75, 012403 (2007).