
PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS NiCoFe/Si SEBAGAI MATERIAL PEMBUATAN SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE (GMR)

Mitra Djamal¹, Yulkifli^{1,2}

¹Theoretical High Energy Physics and Instrumentation Research Division,
Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10, Bandung 40132
E-mail: mitra@fi.itb.ac.id

^{1,2}Instrumentation division, Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Padang State of University, Jl. Prof Dr. Hamka Airtawar Padang

ABSTRAK

Pada paper ini akan dilaporkan optimasi waktu penumbuhan lapisan tipis (*thin film*) NiCoFe/Si sebagai material sensor berbasis *Giant Magnetoresistance* (GMR) menggunakan Reaktor *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS). Material GMR mempunyai sifat-sifat magnetik dan elektrik yang sangat baik sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi devais pengindera (sensor) medan magnet generasi mendatang (*next generation magnetic field sensing devices*), seperti: sensor magnetik medan lemah, sensor arus, sensor posisi linier & rotasi, penyimpanan data (*data storage*), *non-volatile magnetic random access memory (MRAM)*, *heads recording* dan *spin valve transistor*. Sifat magnetik dan listrik GMR selain ditentukan oleh jenis material yang digunakan juga sangat ditentukan oleh ketebalan lapisan struktur penyusunnya. Dari hasil pengukuran sampel menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk waktu deposisi selama 30, 60 dan 90 menit diperoleh ketebalan sampel berturut-turut adalah 0.30 μm , 0.45 μm dan 0.52 μm .

Kata Kunci: Lapisan Tipis NiCoFe/Si, Sensor Giant Magnetoresistance.

ABSTRACT

In this paper will be reported the optimum of the deposition rate of thin film NiCoFe/Si as a sensor material based on Giant Magnetoresistance. GMR materials have high potential as the next generation magnetic field sensing devices. It has such high magnetic and electric properties that have high potential to be developed as sensors, such as: low magnetic field sensor, current measurement, linier and rotation position sensor, data storage, non-volatile magnetic random access memory (MRAM), heads recording, spin valve transistor. The magnetic and electric properties of GMR are not only depend on the type of the materials but also on the layer thickness of the material's structure. The measurement results using Scanning Electron Microscope (SEM) for deposition time of 30, 60 and 90 minutes give the thickness of 0.30 μm , 0.45 μm and 0.52 μm respectively.

Keywords: NiCoFe/Si thin film, Giant Magnetoresistance Sensor.

I. PENDAHULUAN

Giant Magnetoresistance (GMR) adalah sebuah sensor yang bekerja berdasarkan perubahan medan magnetik sekitarnya [1, 2]. Perubahan medan magnet di sekitar sensor akan merubah arah spin (*spin-up* dan *spin down*) dari elektron-elektron yang terdapat dalam lapisan masing-masing material ferromagnetik penyusunnya [3].

Saat ini penelitian tentang GMR mengalami perkembangan yang sangat pesat, perkembangan ini mulai dari metode yang digunakan, jenis material, struktur dan aplikasinya di lapangan. Kelebihan GMR seperti ukuran yang kecil, daya dan harga yang relatif rendah dibandingkan sensor-sensor magnetik lainnya serta sifat-sifat magnetik dan elektriknya yang dapat divariasikan dalam *range* yang sangat lebar [4], menjadikan GMR sebagai sebagai salah satu primadona dalam dunia nanoteknologi. GMR dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti: pengukuran arus, pengukuran jarak, pengukuran kecepatan rotasi, khusus untuk struktur *spin valve* sensor berbasis material GMR digunakan untuk penyimpanan data (*data storage*), *non-volatile magnetic random access memory (MRAM)*, *heads recording*, *spin valve transistor* dan pengukuran medan magnet lemah [4]. Oleh karena itu sensor berbasis bahan GMR dapat disebut sebagai divais pengindera medan magnet generasi mendatang (*next generation magnetic field sensing devices*).

Berdasarkan laporan *J. Nature physics science vol. 441 No. 7091 tahun 2006*, penelitian tentang GMR termasuk salah satu dari lima top penelitian bidang fisika saat ini (*top five hot research topics in physics*), bahkan Albert Fert (Paris) dinobatkan sebagai peraih Nobel 2007 karena penelitiannya tentang GMR.

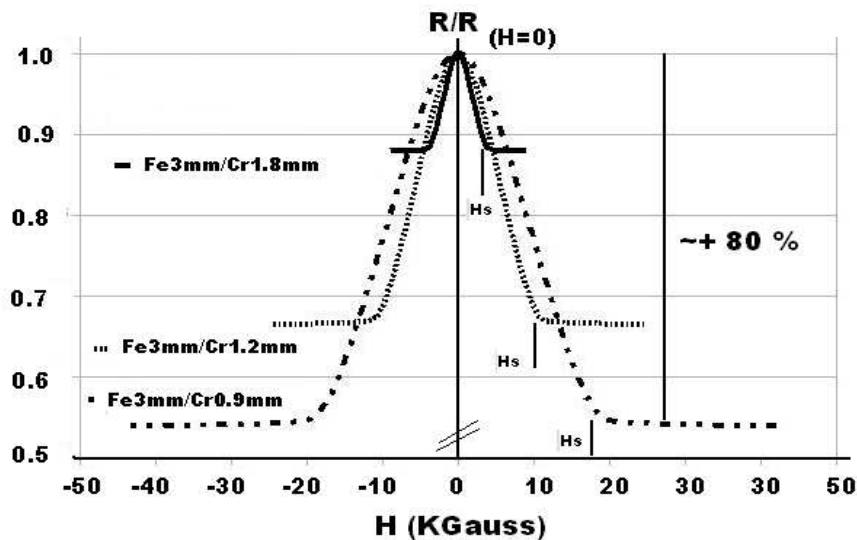
Penggunaan GMR sebagai sensor didasarkan pada nilai MR yang dihasilkan. Nilai MR sangat ditentukan oleh sifat magnetik dan sifat listrik yang dihasilkannya. Sifat-sifat itu ditentukan oleh beberapa faktor antara lain: jenis material yang digunakan sebagai lapisan penyusunnya, struktur susunannya (*sandwich*, *spin valve* dan *multilayer*) dan ketebalan dari masing-masing lapisan. Pada paper ini akan dijelaskan optimasi ketebalan material *NiCoFe* di atas Silikon (Si) dengan memvariasikan waktu penumbuhan.

II. LATAR BELAKANG TEORI

Tahun 1988 Baibich, *et al.*, menemukan nilai MR yang sangat besar dalam lapisan *superlattice* multilayer antara ferromagnetik (FM): Fe dan lapisan pemisah non-magnetik Cr (Fe/Cr_n) dengan

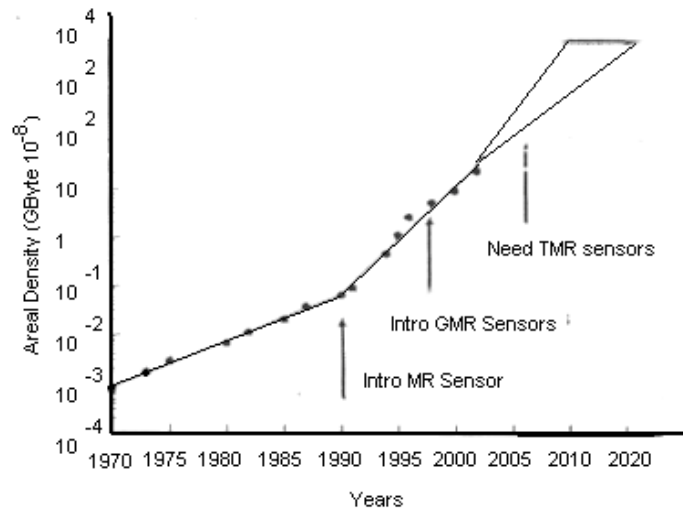
ketebalan (0.5–5) nm dan MR~50% yang ditumbuhkan dengan metode Molecular Beam Epitaxy (MBE). Nilai MR yang besar itu dinamakan *Giant Magnetoresistance* (GMR) [5]. Gambar 1 menunjukkan nilai MR untuk variasi ketebalan lapisan susunan GMR oleh Baibich *et al.*

Material GMR memiliki sifat magnetoresistan yang tinggi, sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan dalam berbagai aplikasi. Perkembangan GMR sebagai sensor, penyimpanan data (*data storage density*), *non-volatile magnetic random access memory (MRAM)*, *heads recording*, dan *magnetic hard disk drives (HDDS)*, meningkat sangat cepat.



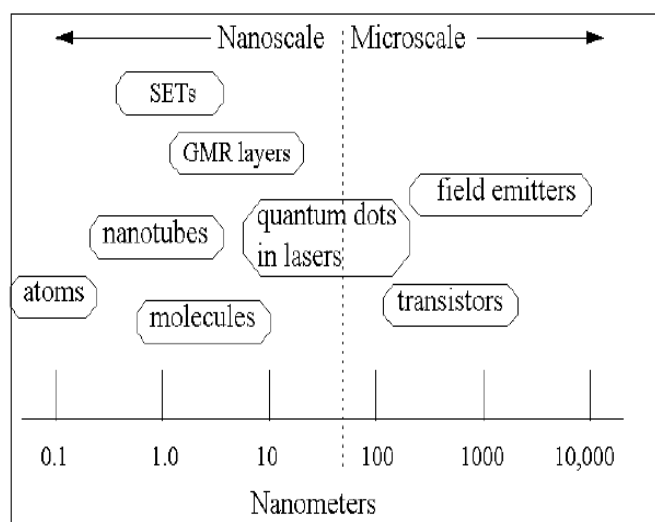
Gambar 1. Magnetoresistance Fe/Cr dengan Variasi Ketebalan Lapisan Struktur [1].

Menurut Bellason (*Hitachi's Research center*) dan William (*IBM Almaden Research Center*) sebagai salah satu perusahaan terbesar yang bergerak dalam bidang PC menggambarkan perkembangan sensor GMR yang sangat tajam dari tahun 1990-an sampai sekarang, laju pertumbuhan tahunan (*compound annual growth rate: CGR*) meningkat sampai 60%, hal ini terlihat pada Gambar 2.



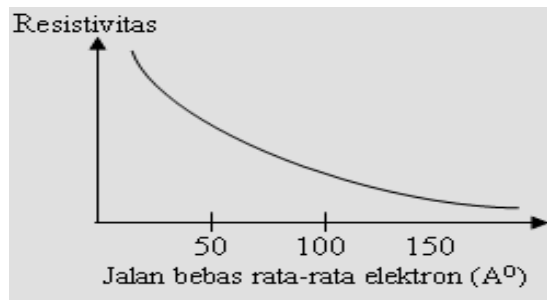
Gambar 2. Perkembangan aplikasi GMR terhadap sensor [6]

Adanya potensi yang menjanjikan dari sensor yang berbasis material GMR, terutama dalam aplikasinya yang sangat luas seperti telah dijelaskan di atas, maka penelitian ini dipandang penting dan sangat strategis dalam rangka mengantisipasi kebutuhan di masa datang. Dalam teknologi GMR permasalahan yang paling mendasar adalah bagaimana pemilihan material dan penyusunan ketebalannya. Ketebalan lapisan material GMR harus dibuat dalam orde nanometer seperti terlihat pada Gambar 3.



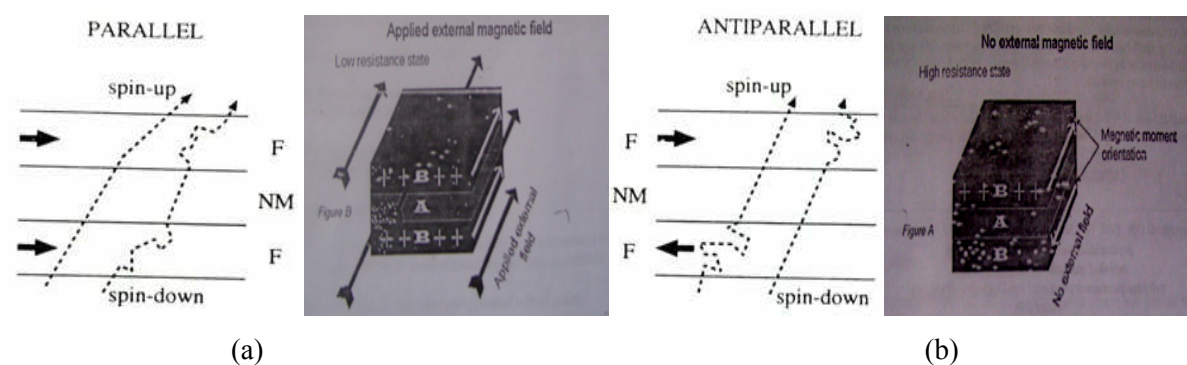
Gambar 3. Skala ketebalan lapisan GMR [7]

Film tipis ferromagnetik yang baik harus memiliki ketebalan yang lebih kecil dari jalan bebas rata-rata (*mean free path*: λ) elektron konduksi dalam material, karena dia memiliki resistivitas yang tinggi, hal ini sesuai dengan Gambar 4 .



Gambar 4. Hubungan resistansi material GMR dengan panjang *mean free path* [8].

Permasalahannya adalah mencari dan membuat lapisan tipis GMR yang optimum (ketebalan orde 10-an nanometer, magnetoresistansi (MR) yang tinggi, medan koersive, H_c yang kecil, dan histeresis yang tajam atau saturasi medan yang besar), dan mencari komposisi material yang cocok untuk bahan sensor magnetik.



Gambar 5. Skematik ilustrasi transport elektron dari *spin dependence scattering*; Paralel (a), Antiparalel (b) [6, 9, 10].

Tanpa medan eksternal, nilai resistansi saat momen magnetik antiparalel (R_{AP}) adalah besar dan saat paralel (R_P) adalah kecil. Ilustrasi mekanisme efek GMR terlihat pada Gambar 5. Magnetoresistansi Ratio (MR) adalah nilai rasio dari perubahan resistansi bahan dengan resistansi bahan ketika dalam konfigurasi paralel (medan magnet saturasi) dapat dihitung dengan rumus berikut [6,11] :

$$\frac{\Delta R}{R_P} = \frac{R_{AP} - R_P}{R_P} \dots\dots\dots (1)$$

III. METODE PEMBUATAN LAPISAN TIPIS GMR.

Penumbuhan lapisan tipis GMR dilakukan dengan teknik sputtering menggunakan reaktor *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* (dc-OTMS) dilaboratorium Oksida Fismatel Fisika ITB. Reaktor OTMS adalah sebuah reaktor yang dikembangkan oleh Togar Saragih dkk. [14, 15] di Laboratorium Fismatel ITB.

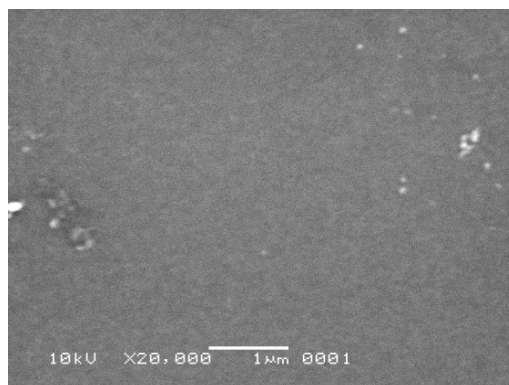
Material yang digunakan sebagai bahan pembuatan lapisan tipis GMR adalah *NiCoFe*. Material tersebut dibuat berupa target berbentuk pelet. Pembuatan target *NiCoFe* dilakukan dengan reaksi padatan dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar diperoleh dari Cerac, Inc, yang terdiri dari serbuk logam Nikel (Ni=99.9%) serbuk logam Cobalt (Co=99.99%) dan logam Besi (Fe=99.99%).

Sampel lapisan tipis yang ditumbuhkan terdiri dari 3 buah dengan variasi waktu penumbuhan 30, 60 dan 90 menit, sedangkan parameter penumbuhan yang lain dibuat tetap yaitu aliran gas Argon 100 sscm (*standart centimeter cubic per menit*), tekanan deposisi 5.2×10^{-4} Torr, tegangan plasma 600 Volt dan temperatur 100°C. Hasil lapisan tipis dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) (JEOL JSM-6360 LA) dan EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) di P3GL Bandung.

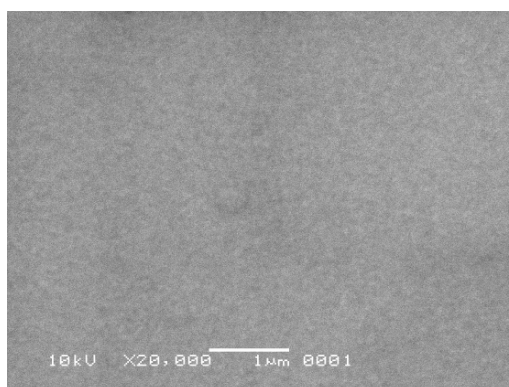
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi sampel menggunakan SEM dan EDX ditunjukkan pada Gambar 6 sampai Gambar 11.

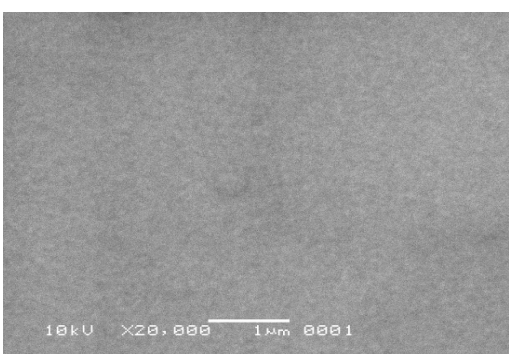
a. Permukaan lapisan tipis CoNiFe/Si



Gambar 6. Foto pengukuran SEM-permukaan CoNiFe/Si dengan perbesaran 20.000 kali dengan waktu deposisi 30 menit.



Gambar 7. Foto pengukuran SEM-permukaan CoNiFe/Si dengan perbesaran 20.000 kali dengan waktu deposisi 60 menit.

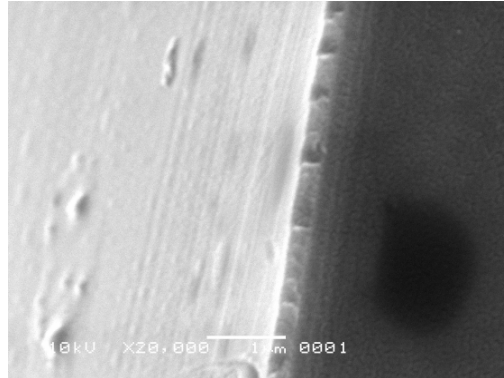


Gambar 8. Foto pengukuran SEM-permukaan CoNiFe/Si dengan perbesaran 20.000 kali dengan waktu deposisi 90 menit.

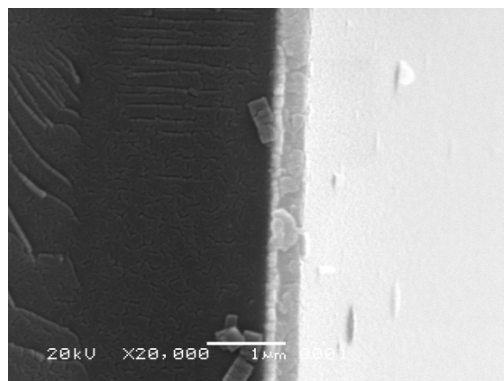
Berdasarkan hasil pengukuran SEM pada permukaan sampel terlihat adanya transformasi butiran

lapisan tipis *NiCoFe*. Ukuran butiran bertambah besar terhadap kenaikan waktu deposisi. Secara umum butiran yang dihasilkan mempunyai bentuk yang merata dan homogen.

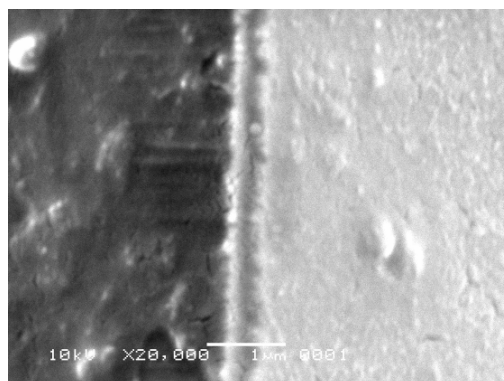
b. Penampang lapisan tipis CoNiFe/Si



Gambar 9. Foto pengukuran SEM-penampang lapisan tipis CoNiFe/Si dengan perbesaran 20.000 kali dengan waktu deposisi 30 menit.

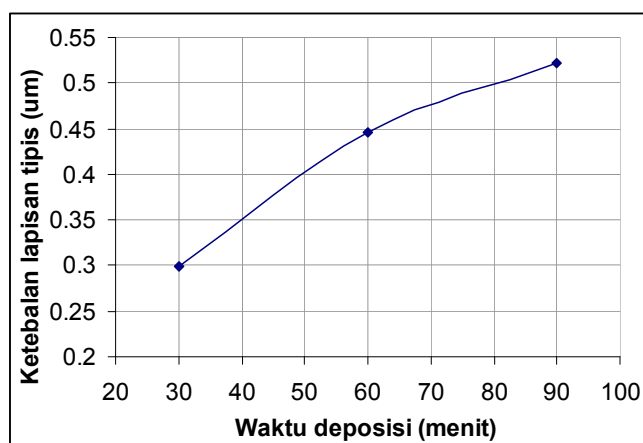


Gambar 10. Foto pengukuran SEM-penampang lapisan tipis CoNiFe/Si dengan perbesaran 20.000 kali dengan waktu deposisi 60 menit.



Gambar 11. Foto pengukuran SEM-penampang lapisan tipis CoNiFe/Si dengan perbesaran 20.000 kali dengan waktu deposisi 90 menit.

Berdasarkan hasil pengukuran SEM pada penampang juga terlihat bahwa permukaan lapisan tipis makin tebal dengan meningkatnya waktu deposisi. Artinya makin lama waktu penumbuhan makin tebal film yang dihasilkan. Pada waktu deposisi 90 menit (Gambar 10) terlihat lapisan film yang dihasilkan tidak begitu bagus (retak), hal ini mungkin disebabkan terlalu lama deposisinya. Dari hasil pengukuran ketebalan diperoleh tebal masing-masing lapisan adalah: $0.30\mu\text{m}$, $0.45\mu\text{m}$ dan $0.52\mu\text{m}$. Hubungan waktu deposisi dengan ketebalan ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hubungan waktu deposisi dengan ketebalan lapisan tipis.

Berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa ketebalan lipisan tipis sebanding dengan waktu penumbuhan. Hubungan ini akan mempermudah kita untuk mencari ketebalan lapisan yang kita inginkan. Untuk menghasilkan sifat GMR yang bagus diperlukan ketebalan lapisan tipis dalam orde nanometer [7].

Untuk melihat material yang tumbuh pada lapisan dilakukan pengukuran menggunakan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakterisasi EDX terhadap variasi waktu penumbuhan.

Waktu deposisi (menit)	Persentase atom (%)				Jumlah atom (%)
	Ni	Co	Fe	lainnya	
30	7.49	2.1	0.64	89.77	100
60	70.98	23.33	5.69	0	100
90	10.97	72.83	16.2	0	100

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa material yang tumbuh adalah *NiCoFe*, sesuai dengan bahan dasar target yang dibuat. Persentase atom tumbuh meningkat sesuai dengan waktu penumbuhan. Tetapi ketika waktu 90 menit jumlah persentase atom Ni menurun sedangkan Co dan Fe meningkat, hal mungkin disebabkan waktu penumbuhan yang terlalu lama sehingga atom Ni yang tumbuh terkikis dan digantikan oleh atom Co dan Fe. Terkikisnya atom Ni disebabkan ikatan atom Ni lebih lemah dari atom Co dan Fe.

KESIMPULAN

Telah berhasil ditumbuhkan lapisan tipis *NiCoFe* di atas *silicon (Si)* sebagai salah satu material penyusun lapisan sensor GMR menggunakan teknik *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering (dc-OTMS)*. Dari hasil pengukuran dengan menggunakan SEM diperoleh ketebalan masing-masing sampel adalah 0.30 μm (30 menit), 0.45 μm (60 menit) dan 0.52 μm (90 menit). Waktu penumbuhan sebanding dengan ketebalan lapisan tipis, tetapi jika terlalu lama mengakibatkan lapisan menjadi rusak (retak).

DAFTAR PUSTAKA

1. Baibich M.N., J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Frederick and J. Cjazelas., Giant magnetoresistance of (001)Fe/Cr(001) magnetic superlattice, *Phys. Rev. Lett.*, **61**, 1988, p. 2472.
2. Anggraeni, W., Akfiny H. A., Mitra D., Habibullah A., dan Yulkifli, Valert Fert Model and its Application for Calculation Giant Magnetoresistance of Multilayer Structure, *Proceeding of International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMS) 2006*, Bandung – Indonesia, 2006.
3. Djamal, M. Darsikin, Togar Saragi and M. Barmawi, Design and Development of Magnetic Sensors Based on Giant Magnetoresistance (GMR) Material, *J. Materials Science Vol 517*, 2006, pp 207-217.
4. Daughton, J.M. *J. Appl. Phys.* **81**, 1997, 3758.
5. Saragi, T., Mitra D., Darsikin, M. Barmawi, Characteristic of CoFe/Cu/CoFe Sandwich Giant

-
- Magnetoresistance (GMR) sensors in bridge configuration, dipresentasikan pada *Annual Physics Seminar*, 30 September 2004 Bandung.
6. Kelsall, Robert W., Lan W. Hamley, Mark Geoghegan, *Nanoscale Science and Technology*, John Wiley & Sons, LTD, 2005.
 7. *Nanostructure Science and Technology_A Worldwide Study*, WTEC, Loyola College in Maryland, tersedia di: http://itri.loyola.edu/nano/05_01.htm, 1999.
 8. NVE Corporation, Application Notes, tersedia di :www.nve.com, 2007.
 9. Smith, C.H., & J.L. Brown, *Giant Magnetoresistance Materials and Integrated Manetic Sensors*, *SAE International Congress and Exposition*, February 24-27, Detroit MI, 1997.
 10. E., Tsymbal Y., and D.G. Pettifor, *Perspective of Giant Magnetoresistance*, Published in *Solid State Physics*, ed. By H. Ehrenreich dan F. Spaepen, **56**, 2001, Academic Press, pp.113-237.
 11. Aoshima, Ken-ichi, Nobuhiko F., Kenji M., Yasuyoshi M., Kiyoshi K, Low Resistance Spin Valve Type Current Perpendicular to Plane Giant Magnetoresistance With $\text{Co}_{75}\text{Fe}_{25}$, *J. Appl of Physics* Vol. 97, 2005, pp. 10C5071-10c5073.
 12. Bellason and Ed Grochowski, The era of Giant Magnetoresisistive head, tersedia: www.Storage.ibm.com/hdd/teknologi/gmr/gmr.thn, 2007.
 13. Iljinas, A. J. Dudonis, R. Brucas, A. Meskauskas, *Nonlinier Analysis: Modeling and Control* Vol. 10, No. 1 , 2005, pp. 57-64.
 14. Saragi, T., Pengembangan Reaktor Opposed-Target Magnetron Sputtering (OTMS) untuk Penumbuhan Lapisan Tipis Giant Magnetoresistance (GMR), *Disertasi* Program Doktor Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung, 2005.
 15. Saragi, T. Mitra D., Darsikin and M. Barmawi, Characteristic of Giant Magnetoresistance (GMR) Cofe/Cu/CoFe Sanwich on Si (100) Substrates in Perpendicular Geometri Grown by dc-Sputtering. *Physics Journal of the Indonesian Physical Society*, Vol A7, No. 0219, 2005.