

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIV. NEGERI PADANG

Bidang Ilmu: MIPA

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



MILIK PERPUSTAKAAN UNIV. NEGERI PADANG	
DITERIMA TGL	15 April 2014
SUMBER/HARGA	Hd
KOLEKSI	P1
NO. INVENTARIS	65g/Hd/2014-p.1 (1)
KLASIFIKASI	530.416 Dar P-1

PENGEMBANGAN SENSOR *GIANT MAGNETORESISTANCE* BERSTRUKTUR *SPIN VALVE* DENGAN METODE *OPPOSED* *TARGET MAGNETRON SPUTTERING*

TIM PENELITI

Dra. Yenni Darvina, M.Si/NIDN: 0011096311 (Ketua)

Dr. Yulkifli, S.Pd, M.Si/NIDN: 0002077306 (Anggota)

Ramli, S.Pd, M.Si/NIDN: 0004027309 (Anggota)

Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamal/NIDN: 0022056003 (Anggota)

Dibiayai oleh Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat,
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas
Dengan Nomor Kontrak : 098/UN35.2/PG/2012

UNIVERSITAS NEGERI PADANG
Desember, 2012

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. Judul Penelitian : Pengembangan Sensor *Giant Magnetoresistance* Berstruktur *Spin Valve* dengan *Opposed Target Magnetron Sputtering*
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dra. Yenni Darvina, M.Si
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan
 - c. NIP : 19630911 198903 2 003
 - d. Jabatan Fungsional : Pembina / IVa
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Bidang Keahlian : Fisika Material Elektronik
 - g. Fakultas/Jurusan : FMIPA / Fisika
 - h. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang
 - i. Tim Peneliti :

No	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Fakultas/Jurusan	Perguruan Tinggi
1.	Dr. Yulkifli, M.Si.	Fisika Instrumentasi & Elektronika	FMIPA/Fisika	UNP
2.	Ramli, S.Pd, M.Si	Fisika Material Elektronik	FMIPA/Fisika	UNP
3.	Prof. Dr.-Ing. Mitra Djamal	Fisika Instrumentasi & Elektronika	FMIPA/Fisika	IT B

3. Jangka Waktu Penelitian yang diusulkan : 3 Tahun

Padang, Desember 2012
Ketua Peneliti,

Dra. Yenni Darvina, M.Si
NIP. 19630911 198903 2 003

Mengetahui,
Dekan FMIPA,
Universitas Negeri Padang

Prof. Dr. Lufri, MS
NIP. 196105101987031020

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang

(Dr. Alwen Bentri, M. Pd)
NIP. 19610722 1986021 002



PENGANTAR

Kegiatan penelitian dapat mendukung pengembangan ilmu pengetahuan serta terapannya. Dalam hal ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang berusaha mendorong dosen untuk melakukan penelitian sebagai bagian integral dari kegiatan mengajarnya, baik yang secara langsung dibiayai oleh dana Universitas Negeri Padang maupun dana dari sumber lain yang relevan atau bekerja sama dengan instansi terkait.

Selubungan dengan itu, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang telah memfasilitasi peneliti untuk melaksanakan penelitian dengan judul *Pengembangan Sensor Giant Magnetoresistance Berstruktur Spin Valve dengan Opposed Target Magnetron Sputtering* sesuai dengan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Desentralisasi Hibah Bersaing Tahun Anggaran 2012 Nomor: 098/UN35.2/PG/2012 Tanggal 29 Februari 2012.

Kami menyambut gembira usaha yang dilakukan peneliti untuk menjawab berbagai permasalahan pembangunan, khususnya yang berkaitan dengan permasalahan penelitian tersebut di atas. Dengan selesainya penelitian ini, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Padang telah dapat memberikan informasi yang dapat dipakai sebagai bagian upaya penting dalam peningkatan mutu pendidikan pada umumnya. Di samping itu, hasil penelitian ini juga diharapkan memberikan masukan bagi instansi terkait dalam rangka penyusunan kebijakan pembangunan.

Hasil penelitian ini telah ditelaah oleh tim pembahas usul dan laporan penelitian, serta telah diseminarkan ditingkat nasional. Mudah-mudahan penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pada umumnya, dan peningkatan mutu staf akademik Universitas Negeri Padang.

Pada kesempatan ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini. Secara khusus, kami menyampaikan terima kasih kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Ditjen Dikti Kemendiknas yang telah memberikan dana untuk pelaksanaan penelitian tahun 2012. Kami yakin tanpa dedikasi dan kerjasama yang baik dari DP2M, penelitian ini tidak dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan. Semoga hal yang demikian akan lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Terima kasih.

Padang, Desember 2012

Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Negeri Padang,



Dr. Alwen Bentri, M.Pd.
NIP. 19610722 198602 1 002

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SENSOR *GIANT MAGNETORESISTANCE* BERSTRUKTUR *SPIN VALVE* DENGAN METODE *OPPOSED TARGET MAGNETRON SPUTTERING*

Yenni Darvina^{a)}, Yulkifli^{a)}, Ramli^{a)}, Mitra Djamal^{b)}

^{a)} Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

^{b)} Jurusan Fisika, FMIPA Institut Teknologi Bandung

Magnetoresistance adalah perubahan resistansi konduktor bila berada dalam medan magnet luar. Material GMR memiliki *magnetoresistance* yang tinggi, sifat-sifat magnetik dan listrik yang baik, sehingga sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi berbagai devais sensor medan magnet generasi mendatang. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis lapisan tipis material GMR baru berstruktur *spin valve* yang memiliki karakteristik yang baik (memiliki rasio GMR yang tinggi, medan koersif, (H_c) yang rendah dan perubahan medan bias (*exchange biasing field*, H_e) yang besar). Target khusus yang ingin dicapai adalah; 1). Diperolehnya paraeter penumbuhan yang optimum untuk penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*. 2). Diperolehnya lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* yang berkualitas baik. Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental. Dalam tahun I ini, telah berhasil ditumbuhkan lapisan tipis GMR *spin valve* dengan struktur NiCoFe/Cu/NiCoFe/FeMn. Target-target *sputtering* untuk penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*. Material yang digunakan sebagai target *sputtering* adalah bahan ferromagnetik (FM) NiCoFe, bahan non magnetik (NM) Cu dan bahan antiferomagnetik (AF) FeMn. Pembuatan target *NiCoFe* dengan reaksi padatan, dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar target 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%. Bahan dasar target *FeMn* terdiri serbuk logam Besi (Fe=99,99%) dan logam Mangan (Mn=99,99%). Komposisi molar *FeMn* adalah 50:50. Target yang dihasilkan selanjutnya di-*sintering*. Penumbuhan lapisan tipis GMR *spin valve* ini menggunakan reaktor *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* (dc-OTMS). Substrat yang digunakan adalah silikon, *Si* (100). Parameter-parameter penumbuhan adalah: suhu 100^oC, tekanan 0,52 torr, laju aliran gas Argon 100 sccm dan tegangan dc plasma 600 V. Penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* telah dilakukan dengan memvariasikan waktu deposisi. Hasil SEM dan EDAX lapisan tipis GMR *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* memperlihatkan bahwa permukaan lapisan GMR *spin valve* semakin halus dan homogen, dengan makin lamanya waktu penumbuhan. Komposisi lapisan tipis GMR yang terbentuk juga sama dengan komposisi target-target *sputtering*nya. Perubahan resistansi terhadap medan magnet yang diamati, menandakan bahwa efek GMR telah muncul dalam lapisan tipis *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe*. Dimana, rasio GMR dalam lapisan tipis GMR untuk lama penumbuhan 10, 15 dan 20 menit, berturut-turut adalah 10,0%, 32,5% dan 13,6%. Dari hasil yang telah diperoleh, menunjukkan bahwa lapisan tipis GMR *spin valve* *NiCoFe/Cu/NiCoFe/FeMn* yang telah dikembangkan ini, berpotensi untuk dijadikan sensor medan magnet.

Katakunci: dc-OTMS, *giant magnetoresistance*, lapisan tipis, *sputtering*, *spin valve*.

A. LAPORAN HASIL PENELITIAN

RINGKASAN DAN SUMMARY

PENGEMBANGAN SENSOR *GIANT MAGNETORESISTANCE* BERSTRUKTUR *SPIN VALVE* DENGAN METODE *OPPOSED TARGET MAGNETRON SPUTTERING*

Yenni Darvina^{a)}, Yulkifli^{a)}, Ramli^{a)}, Mitra Djamal^{b)}

^{a)} Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

^{b)} Jurusan Fisika, FMIPA Institut Teknologi Bandung

Dalam tahun I, telah berhasil ditumbuhkan lapisan tipis GMR *spin valve* dengan struktur NiCoFe/Cu/NiCoFe/FeMn. Target-target *sputtering* untuk penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*. Material yang digunakan sebagai target *sputtering* adalah bahan ferromagnetik (FM) NiCoFe, bahan non magnetik (NM) Cu dan bahan antiferomagnetik (AF) FeMn. Pembuatan target NiCoFe dengan reaksi padatan, dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar target 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%. Bahan dasar target FeMn terdiri serbuk logam Besi (Fe=99,99%) dan logam Mangan (Mn=99,99%). Komposisi molar FeMn adalah 50:50. Target yang dihasilkan selanjutnya di-sintering. Penumbuhan lapisan tipis GMR *spin valve* ini menggunakan reaktor dc-*Opposed Target Magnetron Sputtering* (dc-OTMS). Substrat yang digunakan adalah silikon, Si (100). Sebelum dilakukan proses penumbuhan terlebih dahulu substrat silikon dibersihkan sesuai dengan proses standar yang dikembangkan oleh Werner Kern. Parameter-parameter penumbuhan adalah: suhu 100⁰C, tekanan 0,52 torr, laju aliran gas Argon 100 sccm dan tegangan dc plasma 600 V. Penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* telah dilakukan dengan memvariasikan waktu deposisi. Hasil SEM dan EDAX lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe memperlihatkan bahwa permukaan lapisan GMR *spin valve* semakin halus dan homogen, dengan makin lamanya waktu penumbuhan. Komposisi lapisan tipis GMR yang terbentuk juga sama dengan komposisi target-target *sputtering*nya. Perubahan resistansi terhadap medan magnet yang diamati, menandakan bahwa efek GMR telah muncul dalam lapisan tipis *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe. Dimana, rasio GMR dalam lapisan tipis GMR untuk lama penumbuhan 10, 15 dan 20 menit, berturut-turut adalah 10,0%, 32,5% dan 13,6%. Dari hasil yang telah diperoleh, menunjukkan bahwa lapisan tipis GMR *spin valve* NiCoFe/Cu/NiCoFe/FeMn yang telah dikembangkan ini, berpotensi untuk dijadikan sensor medan magnet.

LAPORAN EKSEKUTIF

PENGEMBANGAN SENSOR *GIANT* *MAGNETORESISTANCE* BERSTRUKTUR *SPIN VALVE* DENGAN METODE *OPPOSED TARGET MAGNETRON* *SPUTTERING*¹⁾

Oleh²⁾

Yenni Darvina^{a)}, Yulkifli^{a)}, Ramli^{a)}, Mitra Djamal^{b)}

^{a)} Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

^{b)} Jurusan Fisika, FMIPA Institut Teknologi Bandung

Magnetoresistance adalah perubahan 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) dalam lapisan tipis multilayer Fe/Cr yang ditumbuhkan dengan MBE (*Molecular Beam Epitaxy*). GMR merupakan salah satu penemuan yang mengagumkan dalam lapisan tipis magnetik, yang menggabungkan kajian fisika fundamental dengan potensi aplikasi teknologi. Tidak seperti beberapa penemuan penting lainnya, penemuan GMR berdampak besar pada kehidupan manusia, khususnya dalam teknologi informasi.

Konsep fisika dari efek GMR berhubungan dengan kenyataan bahwa *spin* elektron memiliki dua nilai yang berbeda (dinamakan dengan *spin up* dan *spin down*). Ketika *spin-spin* ini melintasi material yang telah dimagnetisasi, salah satu jenis *spin* akan mengalami hamburan berbeda daripada yang dialami oleh jenis *spin* lainnya. Permasalahan yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah: 1). Berapa parameter deposisi yang optimum untuk penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* 2). Berapakah nilai GMR lapisan tipis GMR berstruktur

-
- 1) Penelitian dibiayai melalui Hibah Bersaing, tahun anggaran 2012
 - 2) Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang dan Dosen Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.

spin valve. 3) Bagaimanakah sifat listrik dan magnetik lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*.

Tujuan dari penelitian ini adalah mensintesis lapisan tipis material GMR baru berstruktur *spin valve* yang memiliki karakteristik yang baik (memiliki rasio GMR yang tinggi, medan koersif, (H_c) yang rendah dan perubahan medan bias (*exchange biasing field*, H_x) yang besar). Target khusus yang ingin dicapai adalah: 1). Diperolehnya parameter penumbuhan yang optimum untuk penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*. 2). Diperolehnya lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* yang berkualitas baik. Penelitian ini diharapkan bermanfaat terhadap: 1) Pengembangan material sensor medan magnet berbasis *Giant Magnetoresistance* di Indonesia, khususnya di Laboratorium Fisika, Jurusan Fisika FMIPA UNP. 2) Penyediaan material *Giant Magnetoresistance* dalam bentuk lapisan tipis dengan struktur GMR untuk kebutuhan industri dan penelitian. 3) Penambah bacaan mengenai material sensor berbasis *Giant Magnetoresistance*, khususnya di Perpustakaan Jurusan Fisika FMIPA UNP.

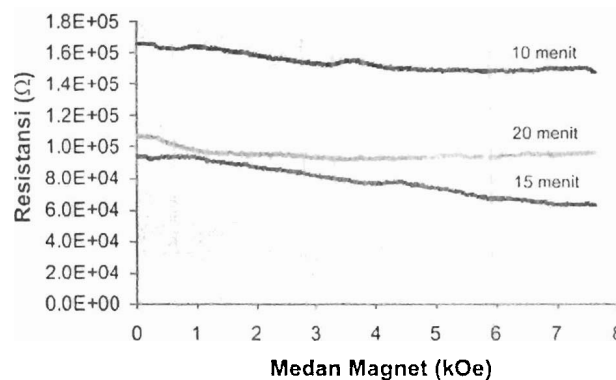
Metode penumbuhan lapisan tipis GMR menggunakan metode *opposed target magnetron sputtering* (OTMS). Material GMR yang disintesis disusun dari lapisan feromagnetik paduan NiCoFe, lapisan non-magnetik Cu dan lapisan pengunci FeMn. Sebagai substrat digunakan Si (111). Bergantung pada variasi dari ketebalan masing-masing lapisan (t_{NiCoFe} , t_{Cu} , t_{FeMn}), suhu *sputtering* dan laju aliran gas Argon diharapkan dapat diperoleh lapisan tipis material GMR berstruktur *spin valve* yang memiliki karakteristik yang baik. Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut; 1). Membuat target-target *sputtering* dari bahan feromagnet paduan, NiCoFe, bahan non-magnetik, Cu dan bahan antiferomagnet, FeMn. 2). Mengoptimasi parameter penumbuhan; suhu, laju aliran Ar dan lama penumbuhan. 3). Penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*.

-
- 1) Penelitian dibiayai melalui Hibah Bersaing, tahun anggaran 2012
 - 2) Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang dan Dosen Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.

Dalam tahun I, penelitian ini telah menghasilkan parameter penumbuhan yang optimal seperti terlihat dalam Tabel 1. Sedangkan pengukuran resistansi terhadap medan magnet lapisan tipis GMR *spin valve* diperlihatkan dalam Gambar 1. Terlihat bahwa resistansi pada waktu penumbuhan 15 menit, bernilai lebih kecil dibandingkan dengan waktu penumbuhan lainnya. Nilai resistansi terlihat berubah terhadap medan magnet yang diterapkan, artinya telah terjadi peristiwa magnetoresistansi dalam lapisan GMR tersebut.

Tabel 1. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi.

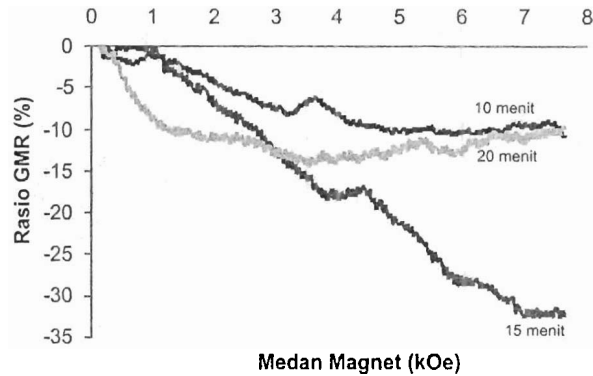
No	Parameter	Nilai
1.	Suhu	100 °C
2.	Tekanan	0,52 Torr
3.	Laju aliran gas Argon	100 sccm
4.	Tegangan dc	600 V



Gambar 1. Kurva resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe.

Rasio GMR ditentukan dengan persamaan; $GMR(\%) = \{(R_H - R_0)/(R_0)\} \times 100\%$ dengan R_H adalah resistansi ketika dalam medan magnet dan R_0 adalah resistansi tanpa medan magnet. Nilai rasio GMR lapisan tipis *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang diukur pada suhu ruang, diperlihatkan dalam Gambar 2. Terlihat bahwa rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5%.

- 1) Penelitian dibiayai melalui Hibah Bersaing, tahun anggaran 2012
- 2) Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang dan Dosen Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.



Gambar 2. Kurva rasio resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe.

Dalam Gambar 2 juga terlihat bahwa rasio GMR dipengaruhi oleh ketebalan masing-masing lapisan penyusun GMR. Hal ini, dapat dijelaskan secara teori bahwa kebergantungan rasio GMR terhadap ketebalan lapisan feromagnetik (FM), diungkapkan dengan persamaan:

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

sedangkan kebergantungan rasio GMR terhadap ketebalan lapisan non magnetik (NM) adalah:

$$\frac{\Delta R}{R}(d_{NM}) = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0 \frac{\left[\exp\left(-\frac{d_{NM}}{l_{NM}}\right)\right]}{\left(1 + \frac{d_{NM}}{d_0}\right)}, \quad (2)$$

dengan d (FM,NM) adalah ketebalan lapisan (feromagnetik, non magnetik), dan l (FM,NM) adalah lintasan bebas rata-rata elektron dalam lapisan (feromagnetik,

non magnetik) dan $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0$ adalah konstanta fenomenologis.

-
- 1) Penelitian dibiayai melalui Hibah Bersaing, tahun anggaran 2012
 - 2) Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang, Dosen Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang dan Dosen Departemen Fisika Institut Teknologi Bandung.

DAFTAR ISI

PENGANTAR	
ABSTRAK.....	i
RINGKASAN DAN SUMMARY	ii
LAPORAN EKSEKUTIF.....	iii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
1. Efek <i>Giant Magnetoresistance</i>	5
2. <i>Sputtering</i>	7
BAB III EKSPERIMEN.....	9
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	11
1. Penumbuhan Lapisan Tipis NiCoFe.....	11
2. Penumbuhan Lapisan Tipis Cu	13
3. Penumbuhan Lapisan Tipis FeMn.....	15
4. Penumbuhan Lapisan Tipis GMR spi valve.....	16
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	22
A. Kesimpulan.....	22
B. Saran.....	22
C. Sinopsis Penelitian Lanjutan.....	22
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	27

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. Foto Kegiatan.....	27
LAMPIRAN II. Daftar Publikasi / Artikel Ilmiah.....	30

BAB I PENDAHULUAN

Magnetoresistance adalah perubahan 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) dalam lapisan tipis multilayer Fe/Cr yang ditumbuhkan dengan MBE (*Molecular Beam Epitaxy*). GMR merupakan salah satu penemuan yang mengagumkan dalam lapisan tipis magnetik, yang menggabungkan kajian fisika fundamental dengan potensi aplikasi teknologi. Tidak seperti beberapa penemuan penting lainnya, penemuan GMR berdampak besar pada kehidupan manusia, khususnya dalam teknologi informasi.

Penemuan GMR telah membuka peluang untuk penerapannya dalam banyak bidang aplikasi. Beberapa divais yang bekerja berdasarkan fenomena GMR ini telah dikembangkan. Diantara divais tersebut misalnya: perekaman magnetik pada *hard disk drive* komputer, sensor medan magnet dan memori *non-volatile*. 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. Sensor GMR juga memperlihatkan keunggulan dibanding dengan sensor medan magnet lainnya yakni; lebih sensitif, biaya murah, daya operasi rendah dan ukuran kecil (Tabel I.1). Selain itu, pemasangan sensor GMR tidak bersentuhan dengan rangkaian yang diukur, sehingga mengurangi kesalahan pengukuran.

Tabel I.1. Matrik perbandingan untuk beberapa sensor medan magnet.

	GMR	AMR	Hall	VR(Variable Reluctance)
DC Operation	Yes	Yes	Yes	No
Size	Small	Large	Small	Very large
Signal size	Large	Medium	Small	Varies with size
Sensitivity	Very high	High	Low	Varies
Relative cost	Low	High	Low	Medium to high
Stability over Temperature	Good	Good	Fair	Good

(Sumber: GMR sensor data books, 2003, <http://www.nve.com>)

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.

Penelitian tentang GMR ini masih berkembang. Berdasarkan laporan *J. Nature*, Vol 441 tahun 2006, penelitian tentang GMR termasuk salah satu dari lima penelitian top dalam fisika (*top five in physics*) (Jim Giles, 2006). 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.

Munculnya divais-divais nano GMR tentu memerlukan peningkatan metode untuk memanipulasi struktur skala-atomik dari permukaan dan *interface* selama proses deposisi material GMR. Kemampuan meningkatkan karakteristik GMR dapat dikontrol melalui komposisi material, pemilihan geometri dan struktur, khususnya struktur dari interface film. Oleh karena itu sebuah metodologi penumbuhan film tipis yang mampu mengontrol parameter proses deposisi dan komposisi lapisan terhadap mikrostruktur dan sifat-sifatnya sangat diperlukan. Metode *dc Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS) adalah salah satu metode yang dapat dipakai untuk pembuatan material GMR. Metode ini memiliki kelebihan yaitu biaya operasional lebih rendah, film yang dihasilkan lebih homogen dalam luasan yang besar, dapat mengurangi proses *re-sputtering*, dan ionisasi lebih tinggi dibandingkan dari metode lain seperti OTS dan MBE. (Saragi, T., 2005).

Adanya potensi yang menjanjikan dari sensor yang berbasis material GMR terutama dalam aplikasinya untuk pengukuran medan lemah, dan khususnya untuk struktur *spin valve* sebagai penyimpanan data (*data storage*), *non-volatile magnetic random access memory (MRAM)*, *heads recording*, dan *spin valve transistor*, maka penelitian ini dipandang penting dan sangat strategis dalam rangka mengantisipasi kebutuhan di masa datang. Disamping memiliki arti ekonomis yang sangat besar juga memiliki arti kebanggaan nasional yang cukup besar karena riset ini memberi peluang kepada Indonesia untuk ikut berpartisipasi dalam forum ilmiah internasional. Dengan demikian keberhasilan penelitian ini akan memberikan sumbangan yang berarti terhadap kemajuan IPTEK di Indonesia terutama teknologi komunikasi.

Pencarian paten untuk lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* yang ditumbuhkan dengan metoda *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering*, telah Penulis lakukan pada US *Patent and Trademark Office* (<http://www.uspto.gov>). Dari pencarian tersebut, ternyata metode yang paling banyak digunakan untuk penumbuhan lapisan tipis GMR adalah metode

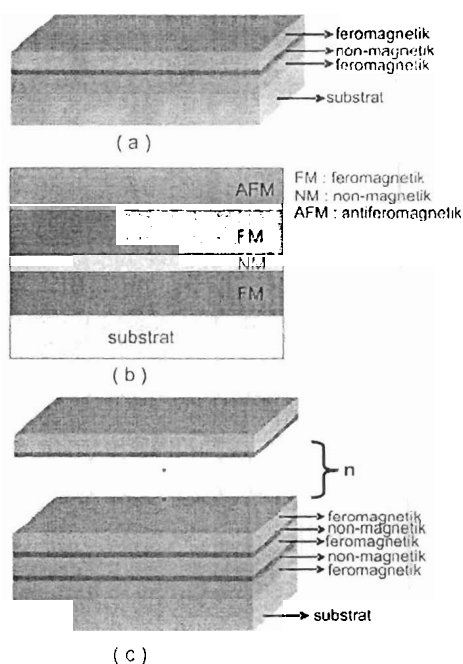
MBE (Molecular Beam Epitaxy). Sedangkan pencarian pada Dirjen HKI Kementerian Hukum dan HAM RI (<http://www.dgip.go.id/ebscript/publicportal.cgi>) belum ditemukan paten mengenai penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* dengan metoda *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering*. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk dipatenkan.

Merujuk kepada uraian di atas, dan berdasarkan pengalaman dalam riset tentang lapisan tipis GMR berstruktur *sandwich*, (Djamal, dkk, 2006; Yulkifli, dkk, 2009; Djamal, dkk, 2009; Ramli, dkk, 2011), kami tertarik melakukan pengembangan material sensor GMR berstruktur *spin valve* dengan metode penumbuhan *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* serta menerapkannya dalam bentuk prototipe sensor GMR.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Efek Giant Magnetoresistance (GMR)

Lapisan tipis GMR mempunyai struktur yang berbeda-beda dan masing-masing struktur memiliki efek *magnetoresistance* (MR) yang berbeda pula. Struktur GMR terdiri dari struktur *sandwich*, *spin valve* (*sandwich pinned*) dan *multilayer*. 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 II.1 di bawah ini.

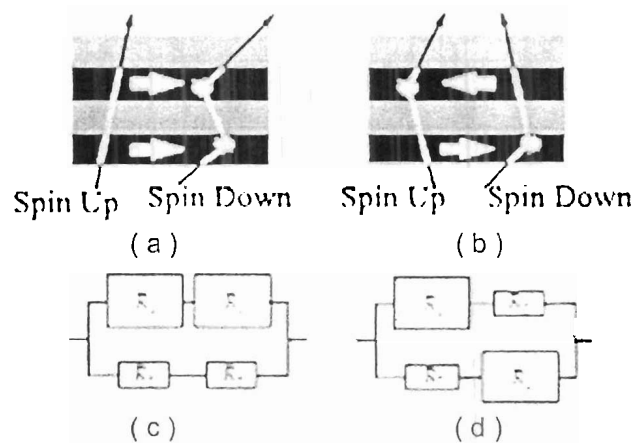


Gambar II.1. Struktur lapisan tipis GMR. (a) *Sandwich*, (b) *Spin valve* (c) *Multilayer*.

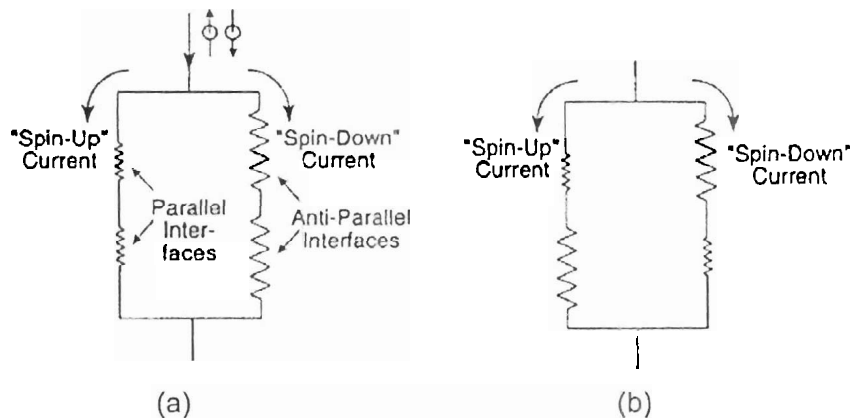
Fenomena GMR dalam multilayer feromagnetik dapat dijelaskan dengan argumentasi Mott, yakni: (1). konduktivitas listrik dalam logam dapat diuraikan dalam hubungannya dengan dua saluran konduksi bebas; yang pertama berhubungan dengan elektron dengan *spin up* dan yang lain berhubungan dengan elektron dengan *spin down*. (2). Di dalam logam feromagnetik laju hamburan dari *spin up* dan *spin down* elektron-elektron sangat berbeda.

Tinjau konfigurasi multilayer feromagnetik seperti Gambar II.2, dan diasumsikan bahwa hamburan kuat terjadi untuk elektron dengan spin antiparalel terhadap arah magnetisasi, sedangkan hamburan lemah terjadi untuk elektron dengan spin paralel terhadap arah

magnetisasi. Anggapan ini menggambarkan asimetri dalam rapat keadaan pada tingkat Fermi yang bersesuaian dengan argumentasi Mott yang kedua. Dalam Gambar II.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 II.3.



Gambar II.2. Ilustrasi tranport elektron dalam multilayer feromagnetik untuk (a) magnetisasi paralel, dan (b) magnetisasi antiparalel. (c) dan (d) Model rangkaian resistor untuk magnetisasi paralel dan antiparalel (Tsymbal, E.Y. and D.G.Pettifor, 2001).



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

Model Resistor dari GMR

Menurut model resistor, masing-masing lapisan logam feromagnetik dan antarmukanya diperlakukan sebagai sebuah resistor bebas. Dalam masing-masing saluran konduksi spin, resistor dijumlahkan secara paralel atau seri bergantung pada hubungan antara lintasan bebas rata-rata elektron dan ketebalan lapisan. Bila lintasan bebas rata-rata elektron lebih pendek dibandingkan ketebalan lapisan, maka masing-masing lapisan menghantar arus listrik secara bebas dan resistor-resistor dijumlahkan secara paralel. Dalam keadaan ini, resistansi dari susunan paralel dan antiparalel adalah sama dan akibatnya GMR nol. Agar GMR tidak nol, maka lintasan bebas rata-rata elektron haruslah cukup panjang dibandingkan ketebalan lapisan.

Dari Gambar II.2.a dan II.2.b di atas, dimana satu sel satuan terdiri dari dua lapisan feromagnetik dan dua lapisan non magnetik. Sumbu kuantisasi spin dipilih *colinear* pada arah magnetisasi. Resistivitas spin minoritas dan spin mayoritas disimbolkan dengan ρ_{\uparrow} dan ρ_{\downarrow} . Resistansi dari dua lapisan yang terdiri dari lapisan feromagnetik (FM) dan non magnetik (NM), untuk salah satu saluran konduksi adalah:

$$R_{\uparrow,\downarrow} = \rho_{NM}d_{NM} + \rho_{\uparrow,\downarrow}d_{FM} \quad (1)$$

dengan ρ_{NM} dan d_{NM} adalah resistivitas dan ketebalan lapisan pemisah non magnetik, d_{FM} adalah ketebalan lapisan feromagnetik. Resistansi antarmuka antara lapisan feromagnetik dan lapisan pemisah adalah saling meniadakan.

Resistansi total untuk susunan paralel (Gambar II.2.c) diberikan oleh persamaan:

$$R_p = N \frac{R_{\uparrow}R_{\downarrow}}{R_{\uparrow} + R_{\downarrow}} \quad (2)$$

Sedangkan resistansi total untuk susunan antiparalel (Gambar II.2.d) adalah:

$$R_{AP} = N \frac{R_{\uparrow} + R_{\downarrow}}{2} \quad (3)$$

dengan N adalah jumlah sel satuan dalam multilayer. Rasio magnetoresistansi (MR) dihitung berdasarkan rumus (E. Y. Tsybal and D.G.Pettifor, 2001):

$$MR = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{AP} - R_p}{R_p} = \frac{(R_{\downarrow} - R_{\uparrow})^2}{4R_{\downarrow}R_{\uparrow}} \quad (4)$$

Dengan R_{AP} adalah hambatan sebelum diberi medan magnet luar, R_p adalah hambatan setelah diberi medan magnet luar, dan ΔR adalah selisih hambatan. Dari persamaan ini terlihat bahwa rasio magnetoresistansi dapat bernilai lebih dari 100%.

Dengan asumsi resistansi lapisan pemisah non magnetik lebih kecil dibandingkan resistansi lapisan feromagnetik, maka persamaan (4) menjadi:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{(\rho_{\downarrow} - \rho_{\uparrow})^2}{4\rho_{\downarrow}\rho_{\uparrow}} = \frac{(\alpha - 1)^2}{4\alpha} \quad (5)$$

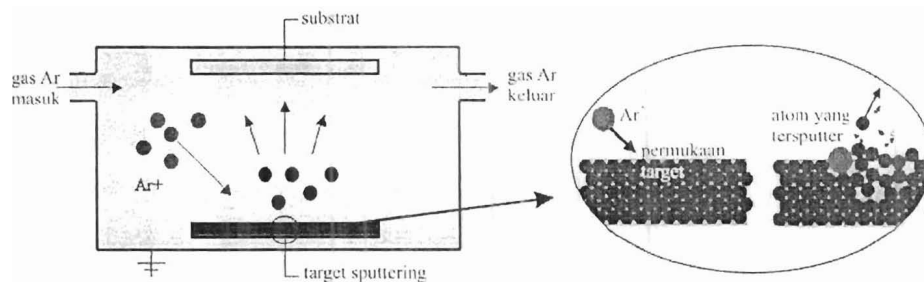
dengan α adalah parameter asimetri spin, yaitu $\alpha = \rho_{\downarrow} / \rho_{\uparrow}$. Untuk asimetri yang besar, yakni $\alpha \gg 1$ atau $\alpha \ll 1$, akan diperoleh nilai GMR yang besar. Bila tidak ada asimetri spin dalam konduktivitas dari kedua saluran spin ($\alpha = 1$), maka GMR akan nol. Dalam eksperimen, nilai MR diperoleh dengan membandingkan perubahan resistansi tanpa medan magnetik dan dalam medan magnet dengan resistansi tanpa medan magnet, yang dirumuskan dengan (Broussard, P. R, 1999; Sudakar, C, 2004):

$$MR = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R(H) - R(H = 0)}{R(H = 0)} = \frac{R(\text{maks}) - R(\text{min})}{R(\text{min})} \quad (6)$$

2.2. Sputtering

Sputtering merupakan salah satu teknik dalam PVD (*Physical Vapor Deposition*) yang bertujuan memecah ikatan antar atom pada target sehingga atom-atom tersebut dapat tersusun pada substrat dan membentuk lapisan tipis. Proses pelepasan ikatan antaratom pada target dapat terjadi melalui peristiwa tumbukan yang dilakukan oleh ion-ion dari arus plasma. Plasma adalah atom-atom yang kehilangan elektronnya pada suhu dan tekanan tertentu. Salah satu jenis zat yang dapat digunakan sebagai plasma pada proses *sputtering* adalah gas argon.

Ketika permukaan benda padat ditembak dengan partikel-partikel berenergi, seperti ion-ion Ar^+ yang dipercepat, atom-atom permukaan dari target itu akan terpecah ke arah berlawanan dengan arah partikel datang yang disebabkan oleh tumbukan antara atom-atom permukaan target dengan ion-ion Ar^+ tersebut. Dengan energi termal yang cukup, atom-atom permukaan yang terlepas ini akan menempel pada substrat dan membentuk lapisan tipis di substrat. Ilustrasinya diperlihatkan dalam Gambar II.4.



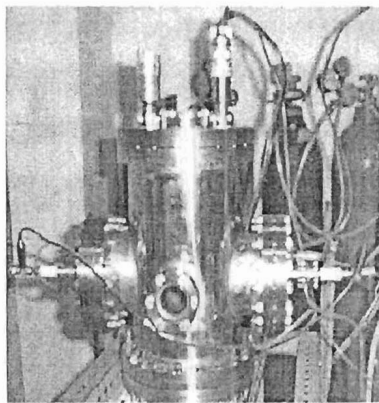
Gambar II.4. Ilustrasi proses penumbuhan menggunakan metode *sputtering*.

Secara konvensional, pada awalnya sistem *sputtering* menggunakan sistem *diode sputtering*. Akan tetapi, sistem *diode sputtering* memiliki kelemahan, di antaranya sebagai berikut. Pada saat tekanan gas tinggi, laju penumbuhan terhambat akibat tumbukan sehingga transpor atom-atom yang ter-*sputter* dan lintasan bebas rata-rata elektron berkurang. Pada tekanan gas rendah, ion-ion yang dihasilkan berada jauh dari permukaan target sehingga kemungkinan terjadinya *sputtering* dan penumbuhan sangat kecil. Selain itu, saat energi elektron naik, jalan bebas rata-rata elektron bertambah dan efisiensi ionisasinya berkurang.

Sebagai alternatif, untuk mengatasi kelemahan di atas, dikembangkanlah *sistem magnetron sputtering*. Sistem ini menggunakan medan magnetik bersama-sama dengan permukaan katoda untuk membentuk perangkap elektron. Gerakan elektron akan terkurung di sekitar katoda sehingga dapat meningkatkan efisiensi ionisasi.

Metode *opposed target sputtering* (OTS) dikembangkan tahun 1980-an oleh M.Naoe.dkk (Naoe, M. 1980), yang didesain khusus untuk penumbuhan lapisan tipis material magnetik dengan laju *sputtering* yang tinggi dan pada suhu rendah (T. Saragi, 2005). Keuntungan metode OTS adalah mampu men-*sputter* hampir semua jenis material termasuk material ferromagnetik dengan laju yang tinggi tanpa menaikkan temperatur substrat. Untuk meningkatkan laju deposisi dapat dilakukan dengan tekanan gas *sputtering* serendah mungkin, dan membuat jarak substrat dan sumber *sputtering* sedekat mungkin.

Selanjutnya, OTS ini dikembangkan di Laboratorium Fisika Material Elektronik, Departemen Fisika ITB, menjadi sistem *Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS) dimana menggunakan magnet tak seimbang. Skema OTMS ini diperlihatkan dalam Gambar II.5 (Saragi, T. 2005).



Gambar II.5. Reaktor OTMS (Saragi, T. 2005)

BAB III EKSPERIMEN

Metode penumbuhan lapisan tipis GMR ini menggunakan teknik penumbuhan *dc-opposed target magnetron sputtering* (dc-OTMS). Material GMR yang disintesis disusun dari lapisan feromagnetik paduan NiCoFe, lapisan non-magnetik Cu dan lapisan pengunci FeMn. Sebagai substrat digunakan Si (111). Bergantung pada variasi dari ketebalan masing-masing lapisan (t_{NiCoFe} , t_{Cu} , t_{FeMn}), suhu sputtering dan laju aliran gas Argon diharapkan dapat diperoleh material GMR berstruktur *spin valve* yang memiliki karakteristik yang baik. Penelitian ini akan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut; 1). Membuat target-target sputtering dari bahan feromagnet paduan, NiCoFe, bahan non-magnetik, Cu dan bahan antiferomagnet, FeMn. 2). Mengoptimasi parameter penumbuhan seperti; suhu, laju aliran Ar dan lama penumbuhan. 3). Penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*.

Pembuatan target NiCoFe dilakukan dengan reaksi padatan, 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%). Pembuatan target Cu juga menggunakan reaksi padatan dari logam Cu dengan kemurnian 99,5%, Bahan dasar target FeMn terdiri dari serbuk logam Besi (Fe=99.99%) dan logam Mangan (Mn: 99,99%). Target yang dihasilkan selanjutnya di-sintering dalam kapsul pirex untuk menghindari oksidasi selama proses *sintering*.

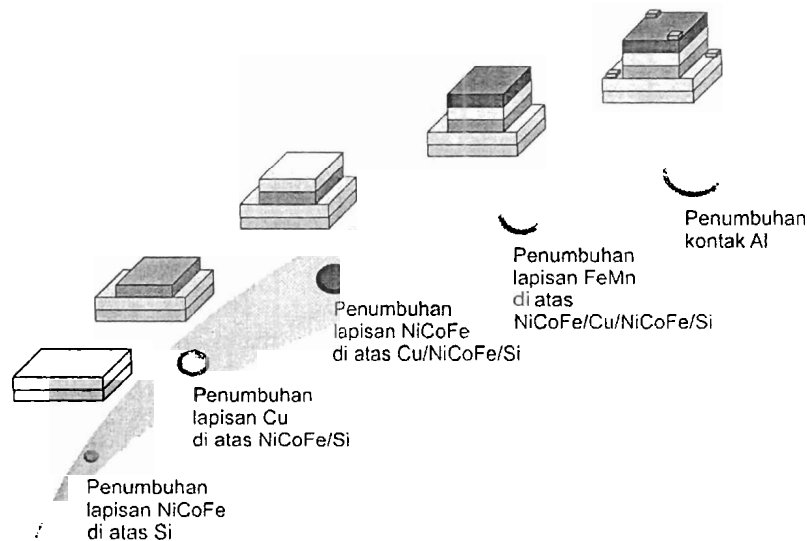
Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah silikon, Si (100). Substrat ini sering digunakan oleh para peneliti lainnya karena memiliki kelebihan antara lain: ukuran kecil, harga murah, memudahkan magnetisasi dalam arah tertentu, sifat listrik dan konduktivitas termalnya cocok untuk diintegrasikan dengan divais elektronik pada aplikasi sensor dibandingkan dengan substrat amorf lainnya seperti gelas. Sebelum dilakukan proses deposisi terlebih dahulu substrat silikon dibersihkan sesuai dengan proses standar yang dikembangkan oleh Werner Kern tahun 1965 di *Radio Corporation of America (RCA) Laboratories*.

Lapisan tipis GMR *spin-valve* ditumbuhkan dengan metode *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* (dc-OTMS) dengan parameter penumbuhan yakni; lama penumbuhan (divariskan), laju aliran gas Argon, tekanan, tegangan dc dan temperatur penumbuhan. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi didaftarkan dalam Tabel III.1. Penumbuhan lapisan tipis GMR *spin valve* dilakukan dengan urutan seperti diperlihatkan dalam Gambar III.1.

Tabel III.1. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi

No.	Parameter	Nilai
1.	Suhu	1000C
2.	Tekanan	0,52 mTorr
3.	Laju aliran gas Argon	100 sccm
4.	Tegangan dc	600 V

Karakterisasi lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* meliputi; karakterisasi struktur permukaan menggunakan SEM (Scanning Electron Micrograph), karakterisasi komposisi dengan EDAX (Energy Dispersion Analysis using X-Ray), dan karakterisasi struktur kristal dengan XRD (X-Ray Diffraction) yang dilakukan di Pusat Penelitian Pengembangan Geologi dan Kelautan (P3GL) Bandung. Karakterisasi sifat magnet dengan VSM (Vibrating Sample Magnetometer) dan magnetoresistansi diukur dengan metode probe empat titik standar dengan arus tegak lurus bidang geometri (CPP).



Gambar III.1. Proses penumbuhan lapisan tipis *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* di atas substrat Si

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

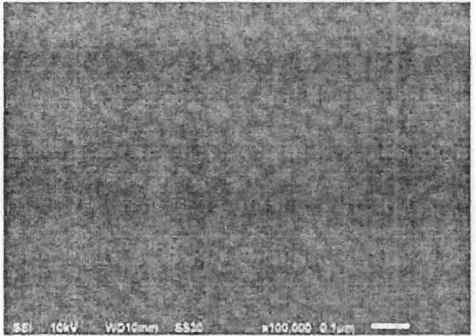
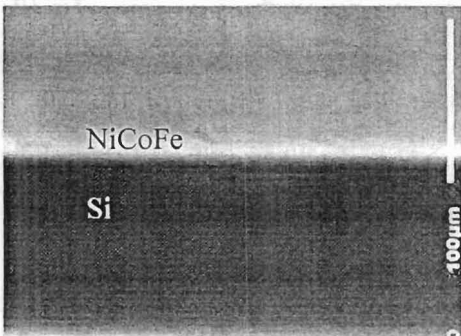
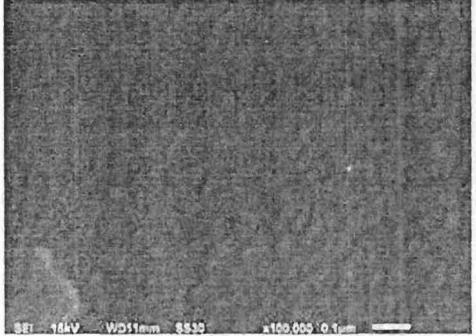
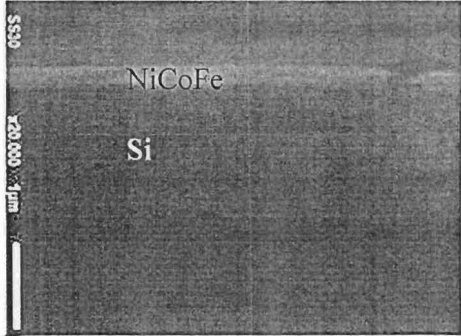
Hasil-hasil penelitian yang dicapai dalam tahun I penelitian (2012) ini, diuraikan di bawah ini.

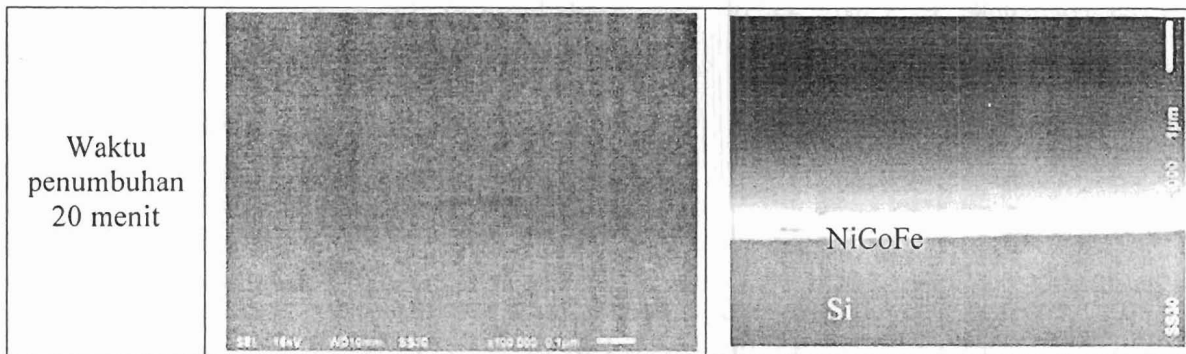
1. Penumbuhan Lapisan Tipis NiCoFe dengan dc-OTMS

Sampel lapisan tipis yang ditumbuhkan terdiri dari 3 buah dengan variasi waktu penumbuhan 10, 15, dan 20 menit, sedangkan parameter penumbuhan yang lain dibuat tetap yaitu aliran gas Argon 100 sscm (standar centimeter cubic per menit), tekanan deposisi 0,52 Torr, tegangan plasma 600 Volt dan temperatur substrat 100 °C.

Hasil karakterisasi sampel menggunakan SEM ditunjukkan Gambar IV.1 berikut:

a. Permukaan dan penampang lintang lapisan tipis NiCoFe/Si

Waktu Penumbuhan	Morfologi Permukaan	Penampang
Waktu penumbuhan 10 menit		
Waktu penumbuhan 15 menit		

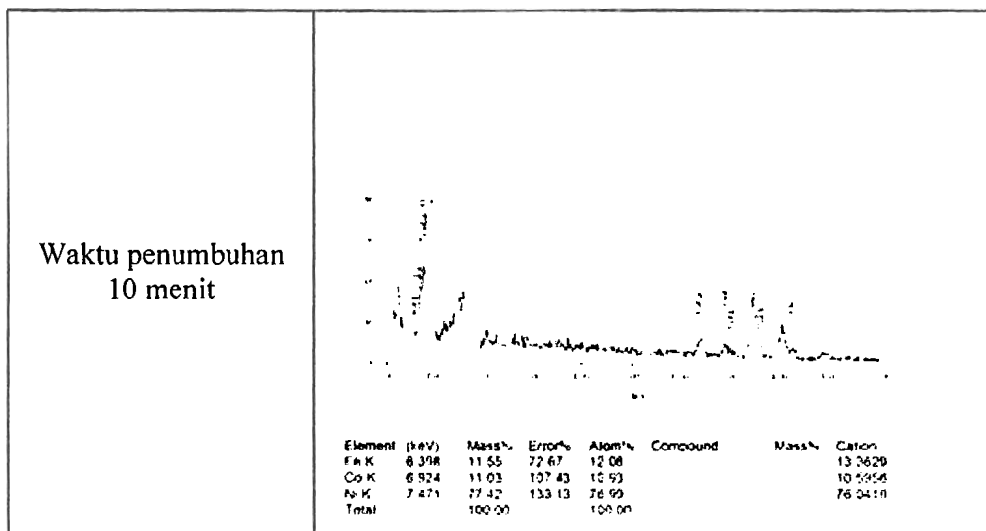


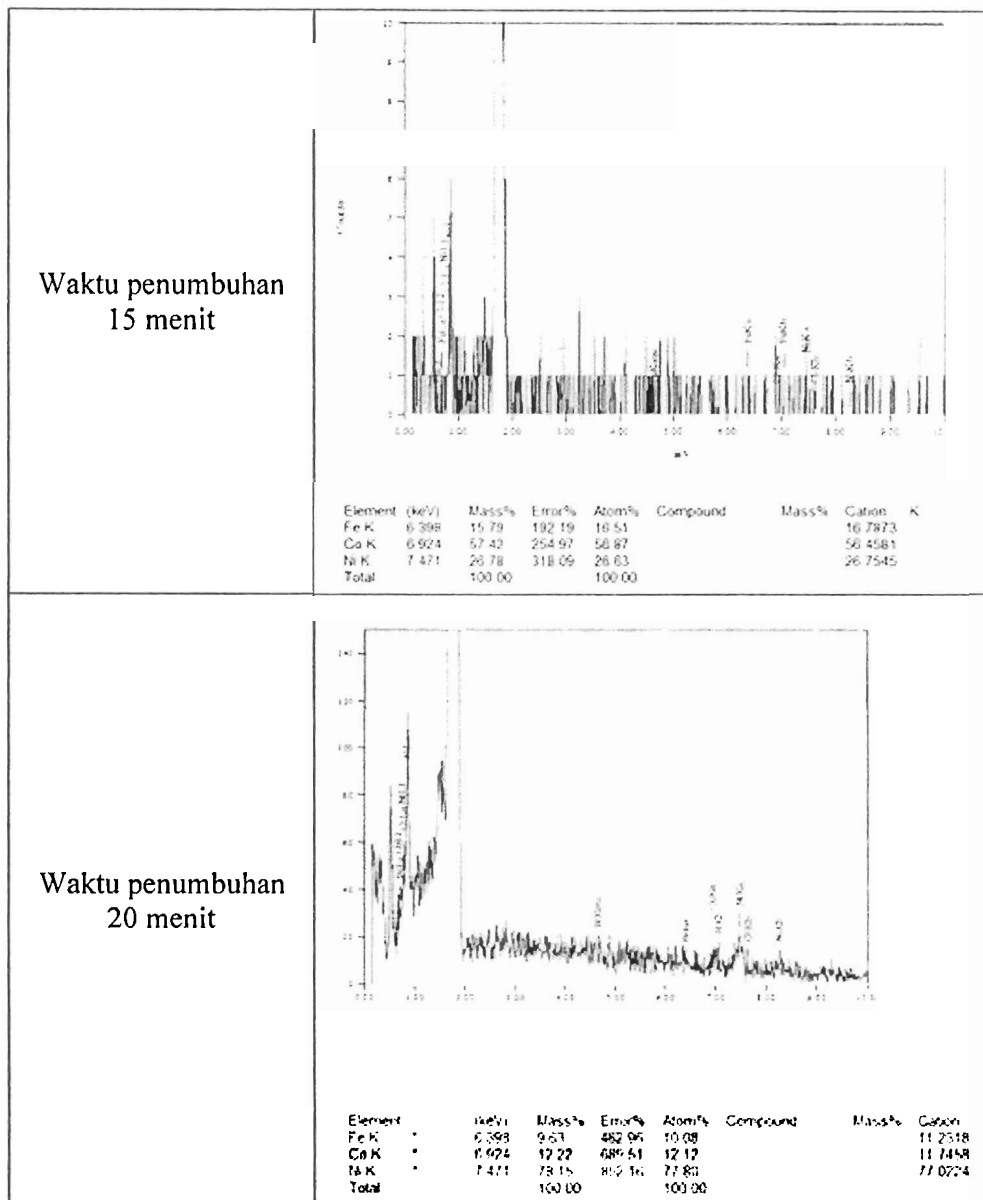
Gambar IV.1. Foto SEM permukaan dan penampang lintang lapisan tipis NiCoFe/Si

Berdasarkan hasil pengukuran SEM pada permukaan sampel terlihat adanya transformasi butiran lapisan tipis NiCoFe. Secara umum butiran yang dihasilkan mempunyai bentuk yang merata dan homogen.

b. Hasil EDAX lapisan tipis NiCoFe/Si

Untuk melihat material yang tumbuh pada lapisan dilakukan pengukuran menggunakan *Energy dispersive X-Ray* (EDAX). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar IV.2.



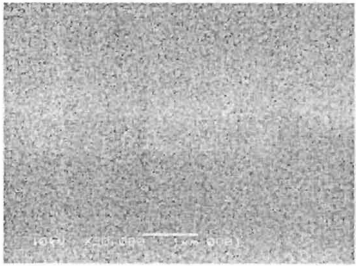
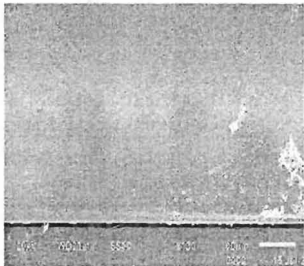
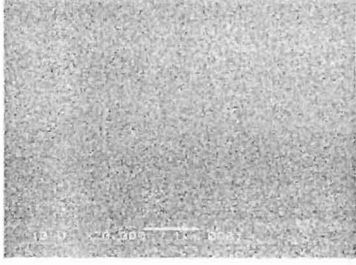
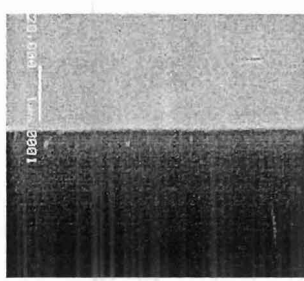
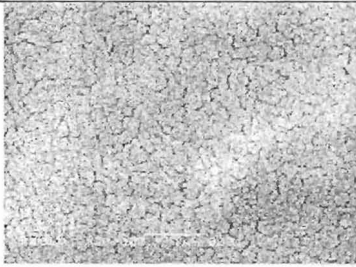
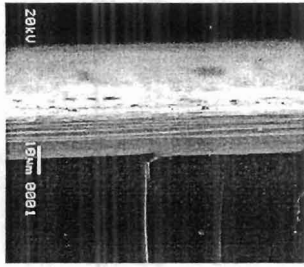


Gambar IV.2. Hasil EDAX lapisan tipis NiCoFe/Si

Berdasarkan Gambar IV.2 terlihat bahwa material yang tumbuh adalah *NiCoFe*, sesuai dengan bahan dasar target yang dibuat.

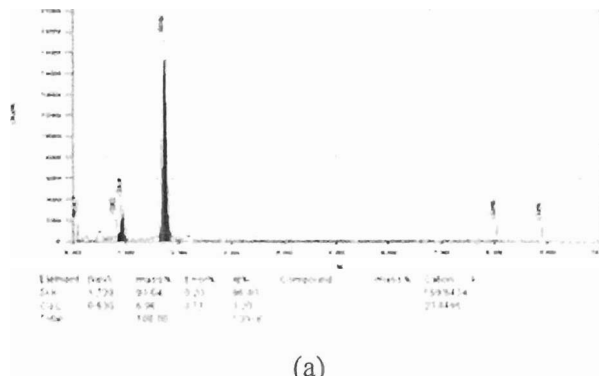
2. Penumbuhan Lapisan Tipis Cu dengan dc-OTMS

Hasil citra SEM permukaan dan penampang lapisan tipis Cu/Si dengan variasi waktu 10, 15, dan 20 menit diperlihatkan dalam Gambar IV.3. Berdasarkan hasil pengukuran SEM pada permukaan sampel terlihat makin lama waktu penumbuhan makin tebal lapisan tipis Cu. Secara umum butiran yang dihasilkan mempunyai bentuk yang homogen, namun ketika waktu penumbuhan 20 menit, terlihat permukaan lapisan tipis menjadi retak.

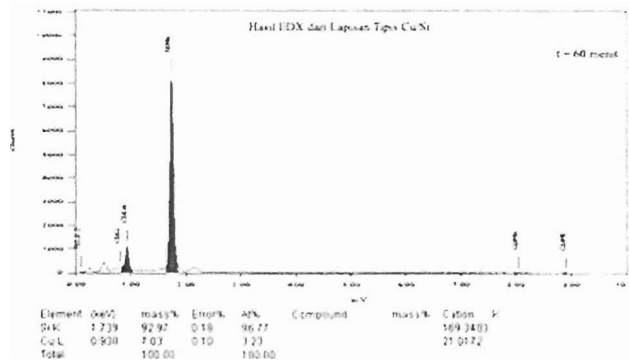
Waktu penumbuhan	Citra SEM permukaan dengan perbesaran 20.000 kali	Citra SEM penampang dengan perbesaran 20.000 kali
10 menit		
15 menit		
20 menit		

Gambar IV.3. Citra SEM permukaan dan penampang lapisan tipis Cu/Si

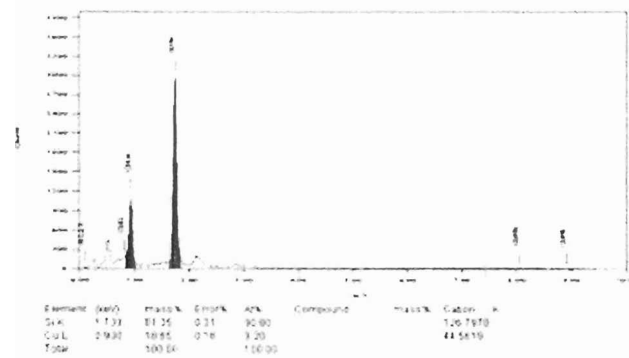
Hasil EDAX yang menunjukkan komposisi atomik Cu dan Si dalam lapisan tipis Cu/Si ditunjukkan dalam Gambar IV.4.



(a)



(b)



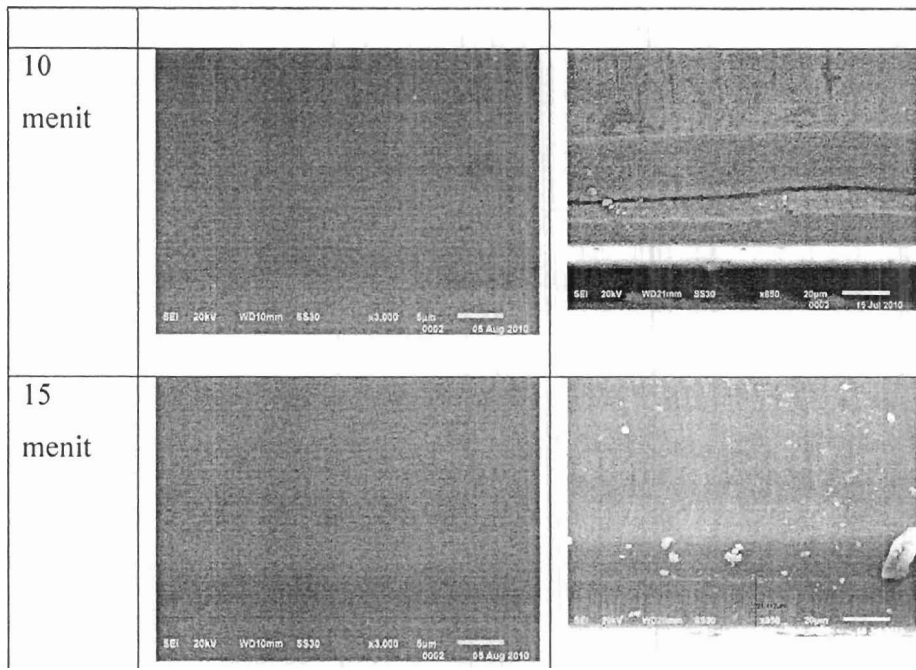
(c)

Gambar IV.4. Hasil EDAX dari lapisan tipis Cu/Si dengan waktu penumbuhan 30, 60, dan 90 menit.

3. Penumbuhan Lapisan Tipis FeMn dengan dc-OTMS

Hasil citra SEM permukaan dan penampang lapisan tipis FeMn/Si dengan variasi waktu 5, 10 dan 15 menit diperlihatkan dalam Gambar IV.5.

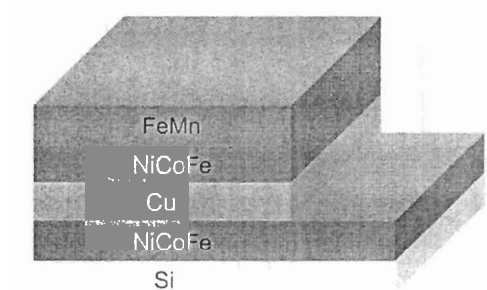
Waktu penumbuhan	Citra SEM permukaan	Citra SEM penampang
5 menit		



Gambar IV.5. Citra SEM permukaan dan penampang lapisan tipis FeMn/Si

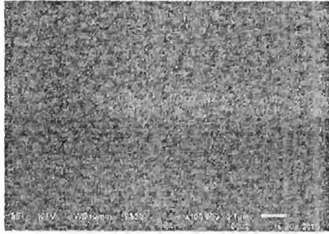
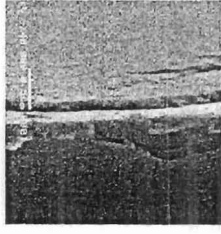
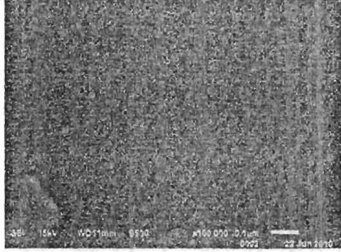

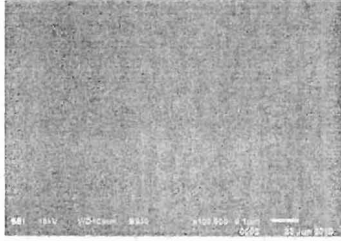

4. Penumbuhan Lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Si

Penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* telah dilakukan dengan mevariasikan waktu deposisi. Struktur lapisan tipis GMR *spin valve* diperlihatkan dalam Gambar IV.6.



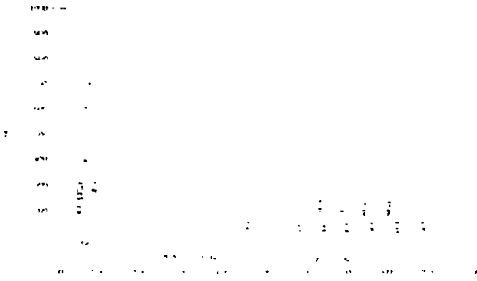
Gambar IV.6. Struktur GMR *spin valve*.

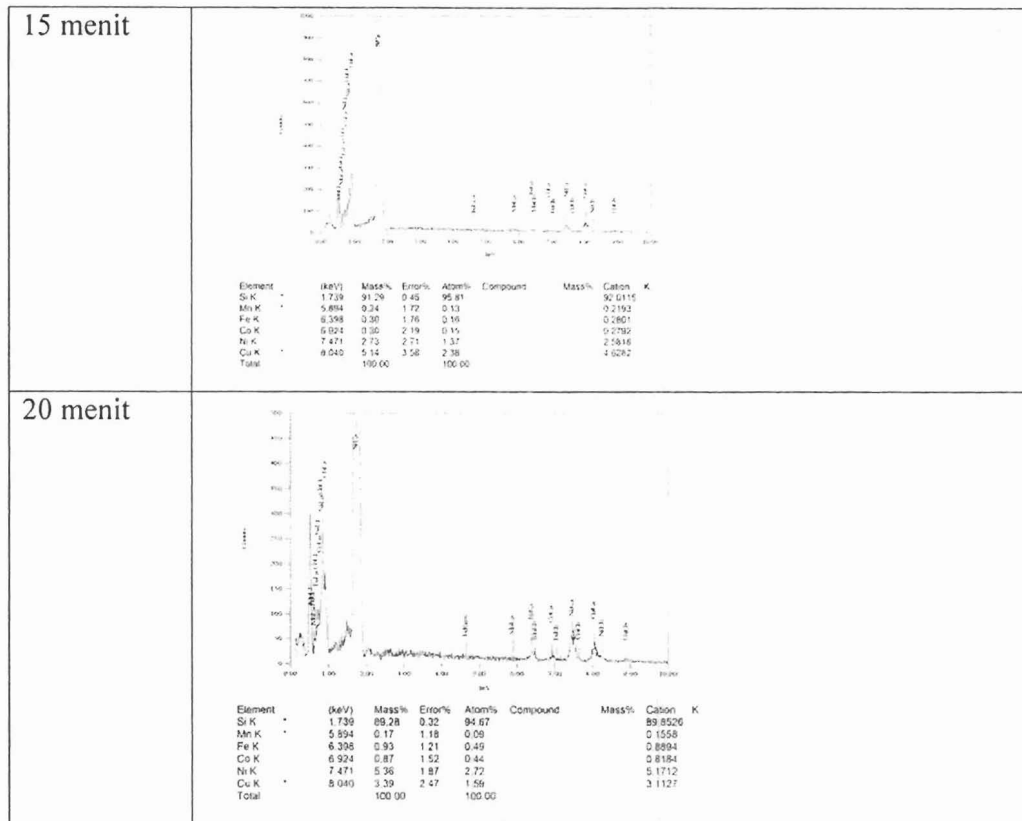
Hasil SEM permukaan lapisan tipis GMR *spin valve* diperlihatkan dalam Gambar IV.7.

Waktu penum-buhan	Citra SEM permukaan	Citra SEM Penampang
10 menit		
15 menit		
20 menit		

Gambar IV.7. Hasil SEM permukaan lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Si.

Hasil EDAX lapisan tipis GMR *spin valve* diperlihatkan dalam Gambar IV.8.

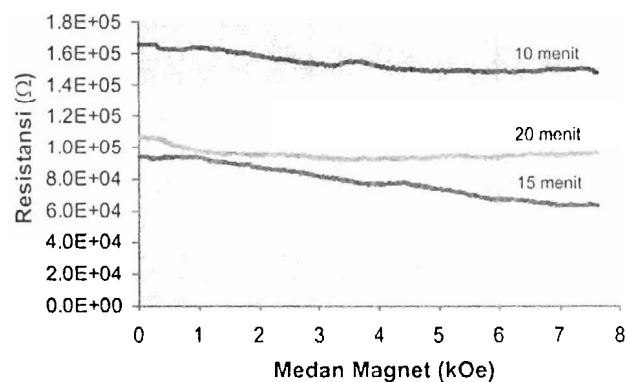
Waktu penum-buhan	Hasil EDAX																																																																								
10 menit	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>(keV)</th> <th>Mass%</th> <th>Error</th> <th>Atom%</th> <th>Compound</th> <th>Mass%</th> <th>Calcn</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Si K</td> <td>1.739</td> <td>67.99</td> <td>0.28</td> <td>93.97</td> <td></td> <td></td> <td>86.4235</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Mn K</td> <td>5.894</td> <td>0.05</td> <td>1.07</td> <td>0.03</td> <td></td> <td></td> <td>0.0516</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fe K</td> <td>6.398</td> <td>1.08</td> <td>1.04</td> <td>0.58</td> <td></td> <td></td> <td>1.0590</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ca K</td> <td>6.924</td> <td>0.87</td> <td>1.25</td> <td>0.44</td> <td></td> <td></td> <td>0.8734</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ni K</td> <td>7.471</td> <td>6.24</td> <td>1.61</td> <td>3.19</td> <td></td> <td></td> <td>6.1113</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cu K</td> <td>8.040</td> <td>3.78</td> <td>2.13</td> <td>1.79</td> <td></td> <td></td> <td>3.5203</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td></td> <td>100.00</td> <td></td> <td>100.00</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Element	(keV)	Mass%	Error	Atom%	Compound	Mass%	Calcn	K	Si K	1.739	67.99	0.28	93.97			86.4235		Mn K	5.894	0.05	1.07	0.03			0.0516		Fe K	6.398	1.08	1.04	0.58			1.0590		Ca K	6.924	0.87	1.25	0.44			0.8734		Ni K	7.471	6.24	1.61	3.19			6.1113		Cu K	8.040	3.78	2.13	1.79			3.5203		Total		100.00		100.00				
Element	(keV)	Mass%	Error	Atom%	Compound	Mass%	Calcn	K																																																																	
Si K	1.739	67.99	0.28	93.97			86.4235																																																																		
Mn K	5.894	0.05	1.07	0.03			0.0516																																																																		
Fe K	6.398	1.08	1.04	0.58			1.0590																																																																		
Ca K	6.924	0.87	1.25	0.44			0.8734																																																																		
Ni K	7.471	6.24	1.61	3.19			6.1113																																																																		
Cu K	8.040	3.78	2.13	1.79			3.5203																																																																		
Total		100.00		100.00																																																																					



Gambar IV.8. Hasil EADX lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Si.

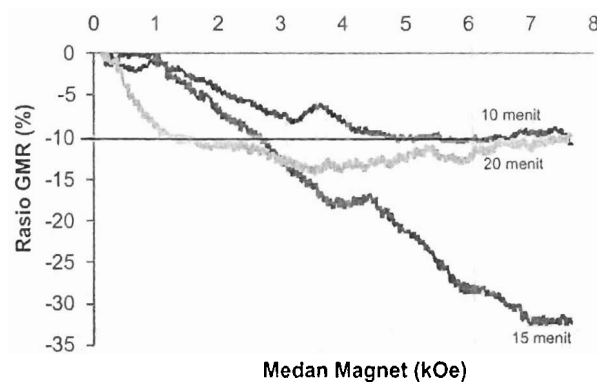
Hasil EDAX lapisan tipis GMR *spin valve* ini telah menunjukkan komposisi sama dengan komposisi target *sputtering*.

Hasil pengukuran resistansi terhadap medan magnet diperlihatkan dalam Gambar IV.9. Terlihat bahwa resistansi pada waktu penumbuhan 15 menit, bernilai lebih kecil dibandingkan dengan waktu penumbuhan lainnya. Nilai resistansi terlihat berubah terhadap medan magnet yang diterapkan, artinya telah terjadi peristiwa magnetoresistansi dalam lapisan GMR tersebut.



Gambar IV.9. Kurva resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe (Ramli, dkk, 2012).

Rasio GMR ditentukan dengan persamaan; $GMR(\%) = \{(R_H - R_0)/(R_0)\} \times 100\%$ dengan R_H adalah resistansi ketika dalam medan magnet dan R_0 adalah resistansi tanpa medan magnet. Nilai rasio GMR lapisan tipis *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang diukur pada suhu ruang, diperlihatkan dalam Gambar IV.10. Dalam Gambar IV.10 terlihat bahwa rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5%.



Gambar IV.10. Kurva rasio resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe (Ramli, dkk, 2012).

Dalam Gambar IV.10 juga terlihat bahwa rasio GMR dipengaruhi oleh ketebalan masing-masing lapisan penyusun GMR. Hal ini, dapat dijelaskan secara teori bahwa kebergantungan rasio GMR terhadap ketebalan lapisan feromagnetik (FM), diungkapkan dengan persamaan (Dieny, B, 1994).

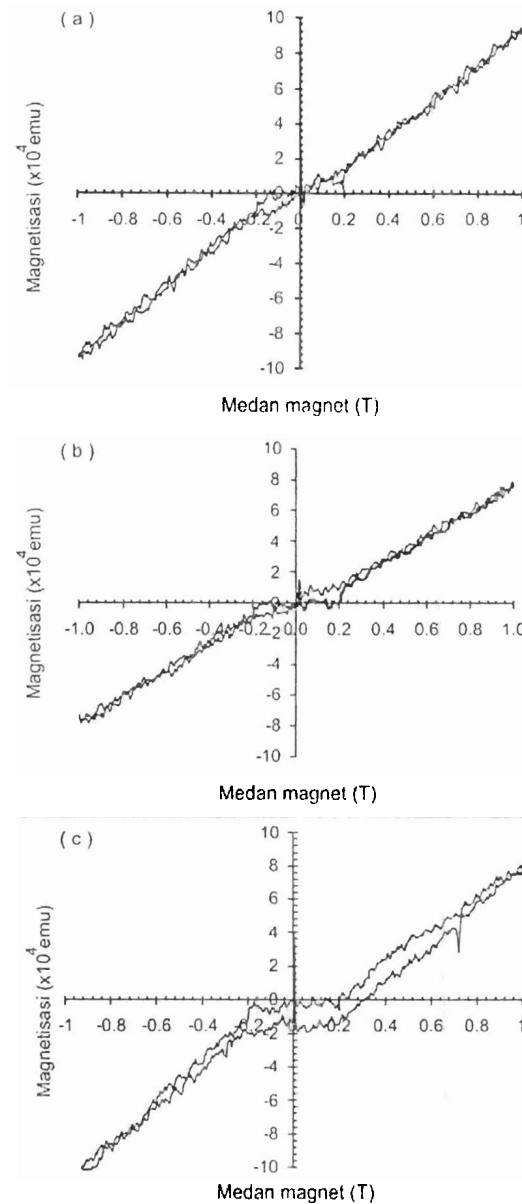
$$\frac{\Delta R}{R}(d_{FM}) = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0 \frac{\left[1 - \exp\left(-\frac{d_{FM}}{l_{FM}}\right)\right]}{\left(1 + \frac{d_{FM}}{d_0}\right)}, \quad (IV.1)$$

sedangkan kebergantungan rasio GMR terhadap ketebalan lapisan non magnetik (NM) adalah:

$$\frac{\Delta R}{R}(d_{NM}) = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0 \frac{\left[\exp\left(-\frac{d_{NM}}{l_{NM}}\right)\right]}{\left(1 + \frac{d_{NM}}{d_0}\right)}, \quad (IV.2)$$

dengan $d(FM, NM)$ adalah ketebalan lapisan (feromagnetik, non magnetik), dan $l(FM, NM)$ adalah lintasan bebas rata-rata elektron dalam lapisan (feromagnetik, non magnetik) dan

$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0$ adalah konstanta fenomenologis.



GAMBAR IV.11. Kurva *hysteresis* dari lapisan tipis GMR *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* untuk lama penumbuhan (a) 10 menit, (b). 15 menit dan (c). 20 menit.

Sifat magnetik lapisan tipis GMR *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Si* diketahui dari kurva *hysteresis* yang diperlihatkan dalam Gambar IV.11. Terlihat bahwa kurva *hysteresis* yang terbentuk masih belum sempurna. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pengotor yang timbul dalam permukaan film saat preparasi sampel. Namun begitu, kurva tersebut sudah menunjukkan adanya sifat feromagnetik lunak dengan medan koersif yang sangat rendah dalam film tipis material GMR *spin valve*. Demikian juga magnetisasi saturasi terjadi pada medan magnet yang besar. Hal ini berhubungan dengan arah medan magnet yang diberikan

sejajar dengan bidang sampel. Dari semua film tipis yang telah ditumbuhkan, hanya tiga film yang memperlihatkan kurva hysteresis. Ketiga film tersebut, juga memperlihatkan sifat magnetoresistansi, dimana rasio magnetoresistansi sudah muncul dalam ketiga film tipis GMR ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Telah ditumbuhkan lapisan tipis material sensor GMR berstruktur *spin valve*; NiCoFe/Cu/NiCoFe/FeMn dengan metode *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* di atas substrat Si (100) dengan variasi lama waktu penumbuhan. Rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5 % saat lama penumbuhan 15 menit. Kurva *hysteresis* belum terlihat bagus untuk semua film yang diuji. Namun, kurva *hysteresis* sudah mulai memperlihatkan sifat magnetik lunak dengan medan koersif yang rendah dan medan saturasi yang besar.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dalam bab IV, dapat disarankan:

1. Agar film tipis material GMR *spin valve* memiliki sifat-sifat magnetoresistansi yang baik, perlu dilakukan pengoptimasian lebih lanjut terhadap ketebalan lapisan masing-masing penyusun GMR.
2. Saat preaparasi sampel perlu diperhatikan kebersihan sampel dari zat-zat pengotor.
3. Penelitian ini masih studi awal, jadi perlu dilakukan penumbuhan lapisan tipis GMR *spin valve* untuk material penyusun yang lainnya.

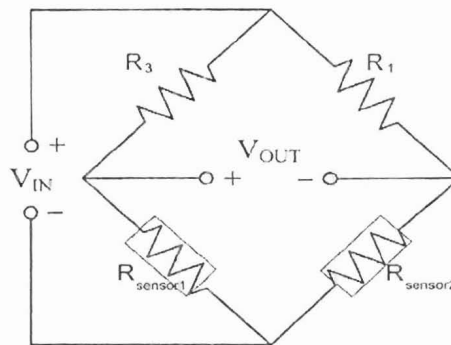
C. SINOPSIS PENELITIAN LANJUTAN

Dari hasil penelitian tahun I, telah dibuat lapisan tipis GMR *spin valve* NiCoFe/Cu/NiCoFe/FeMn. Sifat listrik dan magnetik lapisan tipis GMR tersebut sudah menunjukkan adanya efek GMR yang timbul. Dimana rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5% dan lapisan tipis GMR sudah memiliki sifat magnetik lunak.

Untuk penelitian lanjutan, akan dilakukan pembuatan prototipe sensor medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* yang telah ditumbuhkan. Dalam tahun kedua ini, penelitian ini akan difokuskan pada; 1). Pembuatan prototip sensor medan magnet berbasis lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*. 2). Pengujian prototip sensor GMR berstruktur *spin valve*..

Permasalahan yang dikemukakan untuk penelitian lanjutan adalah: 1). Bagaimanakah bentuk rangkaian yang cocok untuk prototip sensor medan magnet berbasis GMR *spin valve*. 2). Bagaimanakah karakteristik sensor medan magnet berbasis GMR *spin valve*. 3). Berapakah reliabilitas dan sensitivitas sensor medan magnet berbasis GMR *spin valve*.

Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, akan dilakukan kegiatan sebagai berikut: Pertama dilakukan perancangan sistem sensor berikut rangkaian elektroniknya. Dalam hal ini akan digunakan metoda jembatan *Wheatstone*, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.

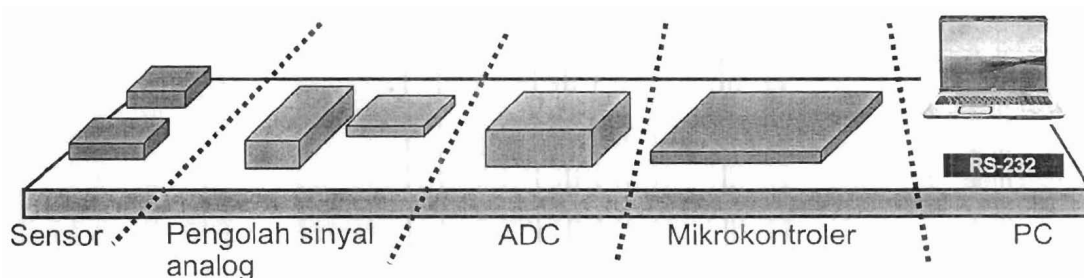


Gambar 1. Rangkaian Jembatan *Wheatstone* yang digunakan dalam prototip sensor

Berdasarkan Gambar 1, tegangan keluaran adalah:

$$4. \quad V_{OUT} = \left[\frac{R_1 R_{sensor1} - R_3 R_{sensor2}}{(R_1 + R_{sensor2})(R_3 + R_{sensor1})} \right] V_{IN} \quad (1)$$

Saat rangkaian jembatan *Wheatstone* dalam keadaan setimbang, maka tegangan keluaran dalam persamaan (1) akan sama dengan nol. Bila di dekat sensor lapisan tipis GMR diberikan medan magnet luar, maka resistansi lapisan tipis GMR akan berubah, sehingga akan timbul tegangan keluaran. Selanjutnya tegangan keluaran ini akan dihubungkan dengan pengolah sinyal, ADC, mikrokontroler dan displai (PC). Skema sistem pengukuran dengan sensor GMR organik ini diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Skema sistem pengukuran

Tahap berikutnya adalah pengujian karakteristik sensor dan penyempurnaan prototip sensor. Diharapkan di akhir tahun penelitian, telah diperoleh prototip sensor magnetik berbasis lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve*.

DAFTAR PUSTAKA

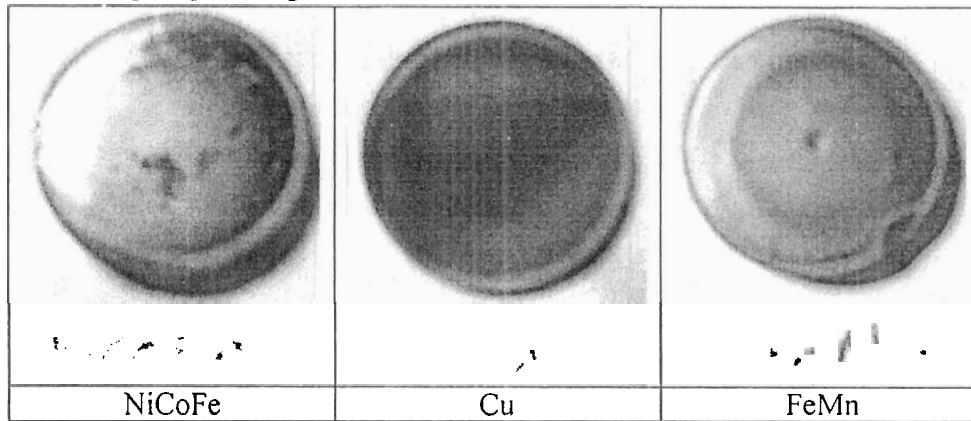
- (2003). GMR sensor data books. <http://www.nve.com> diakses tanggal 21 Februari 2011
- Baibich, M. N. Broto, J.M. Fert. A, Nguyen Van Dau, Petroff. F, Etienne. P, Creuzet. G, Frederick. A and Cjazelas. J, (1988). Giant magnetoresistance of (001)Fe/Cr(001) magnetic superlattice. *Phys. Rev. Lett.*, **61**. 2472-2475.
- Broussard P.R, S.B. Qadri, V.M. Browning, and V.C. Cestone, *Characterization of Transport and Magnetic Properties in Thin Film $La_{0,67}(Ca_xSr_{1-x})_{0,33}MnO_3$ mixtures*. Tersedia pada halaman web <http://arxiv.org/abs/cond-mat/9902020v1> diakses tanggal 25 November 2008.
- Jim Giles, Top Five in Physics, *Nature*, Vol. **441** (2006).
- Mallison, J.C. (2002). *Magneto-Resistive and Spin Valve Heads*. Academic Press. San Diego.
- Djamal, M, Ramli, Yulkifli, Khairurrijal, "Effect of Cu Layer Thickness on Giant Magnetoresistance Properties of NiCoFe/Cu/NiCoFe Sandwich", Proceeding of ICCAS-SICE, Fukuoka, Japan, August 18-21, 2009.
- Djamal, M, Darsikin, Togar Saragi, M. Barmawi, "Design and Development of Magnetic Sensors based on Giant Magnetoresistance (GMR) Materials", *Functional Materials and Devices*, Trans Tech Publication Ltd, Swiss, (2006).
- Naoe. M, Y. Hoshi, and S. Yamanaka, "Facing targets type of sputtering method for deposition of magnetic metal films at low temperature and high rate", *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-18**, 646-648, (1980).
- Ramli., Djamal, M., Haryanto, F., dan Khairurrijal., (2011): Penumbuhan Lapisan Tipis Material Sensor Giant Magnetoresistansi Berstruktur Sandwich dengan Metode Sputtering, *Jurnal Otomatisasi, Kontrol & Instrumentasi*, **3(2)**, 20-27.
- Ramli, Darvina, Y., Yulkifli., Hartono, A., Wirawan, R., Indrasari, W., Khairurrijal dan Djamal, M., (2012): Efek Giant Magnetoresistance dalam Spin Valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang Ditumbuhkan dengan Metode Opposed Target Magnetron Sputtering, *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains 2012 (SNIPS 2012)*. 7-8 Juni 2012, Bandung.
- Saragi, T. (2005): Pengembangan Reaktor Opposed-Target Magnetron Sputtering (OTMS) untuk Penumbuhan Lapisan Tipis Giant Magnetoresistance (GMR), Disertasi Program Doktor Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung.

- Shirota. Y, S. Tsunashima, R. Imada, Y. Nomura, S. Iwata and M. Jimbo, "Giant magnetoresistance effect in CoFeB/Cu/CoFeB spin valve", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, 714-717, (1999).
- Sudakar.C and T.R.N.Kutty, "Electrical and Magnetoresistance Properties of Composites Consisting of Iron Nanoparticles within the Hexaferrites". *Journal of Electronic Materials*, Vol.33,No.11, (2004).
- Tsymbal, E.Y and D.G.Pettifor (2001). *Perspectives of Giant Magnetoresistance*, dalam Solid State Physics, ed. by H. Ehrenreich and F. Spaepen, Vol. 56 , Academic Press, 2001, pp.113-237.
- Yulkifli, Mitra Djamal, Khairurrijal dan Ramli, *Pengembangan Sensor Magnetik Presisi Medan Lemah Menggunakan Material Giant Magnetoresistance (GMR)*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, 2009.

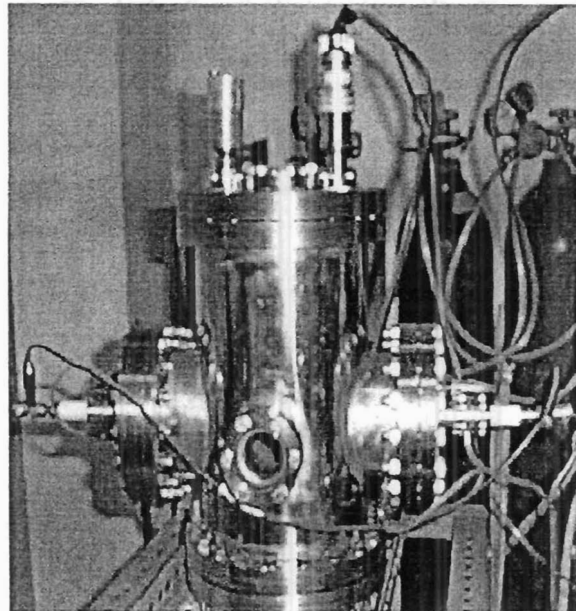
LAMPIRAN I

FOTO-FOTO KEGIATAN

A. Foto Target Sputtering



B. Foto Alat dc-OTMS



Reaktor dc-OTMS

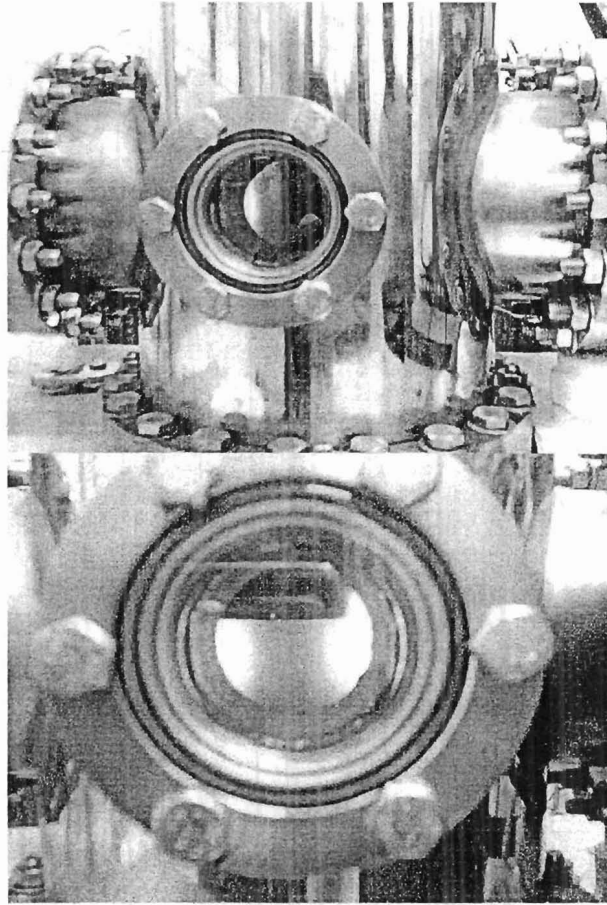


Foto plasma dc saat penumbuhan lapisan tipis GMR

C. Foto Lapisan tipis GMR



Foto sampel lapisan tipis GMR hasil deposisi

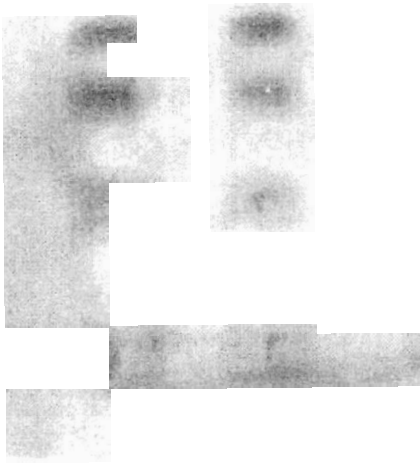


Foto pemasangan masker pada sampel lapisan tipis GMR untuk pembuatan kontak dengan evaporasi

LAMPIRAN II

B. DAFTAR PUBLIKASI/ARTIKEL ILMIAH

1. Yenni Darvina, Ramli, Yulkifli, Sri Lidia Nora, dan Mitra Djamal, “Efek *Giant Magnetoresistance* pada Multilayer (NiCoFe/Cu) yang Ditumbuhkan dengan Metode DC-UMBS” Diterbitkan Pada Jurnal Eksakta Volume II Juli Tahun XIII 2012 FMIPA UNP
2. Yenni Darvina, Ramli, Yulkifli, Sri Lidia Nora, dan Mitra Djamal, “Efek *Giant Magnetoresistance* pada Multilayer (NiCoFe/Cu) yang Ditumbuhkan dengan Metode DC-UMBS” Prosiding SEMIRATA BKS-PTN B MIPA 2012 11-12 Mei 2012, Medan, Indonesia
3. Ramli, Yenni Darvina, Yulkifli, Ambran Hartono, Rahadi Wirawan, Widyaningrum Indrasari, Khairurrijal dan Mitra Djamal, “Efek *Giant Magnetoresistance* dalam *Spin Valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang Ditumbuhkan dengan Metode *Opposed Target Magnetron Sputtering*”. Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains 2012 (SNIPS 2012) 7-8 Juni 2012, Bandung, Indonesia.
4. Ramli, Yenni Darvina, Yulkifli, Widyaningrum Indrasari, Ambran Hartono, Edi Sanjaya, Rahadi Wirawan, Khairurrijal dan Mitra Djamal, “Sifat Magnetik Lapisan Tipis Material Sensor *Giant Magnetoresistance* Berstruktur *Spin Valve*, Prosiding Seminar Nasional Fisika 2012, 4 Juli 2012, Palembang, Indonesia.



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
Jl. Prof. Dr. Hamka, Kampus Air Tawar Padang 25131
Telp. (0751) 7057420, Fax. 7058772

SURAT KETERANGAN

No. 003/UN.35.1.5/EKSAKTA/2012

Dewan redaksi Jurnal Eksakta FMIPA UNP Tahun 2012 menerangkan bahwa :

Nama : Dra. Yenni Darvina, M.Si
NIP : 19630911 198903 2 003
Pangkat/Golongan : IV/a
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA UNP
Judul Artikel : Efek *Giant Magnetoresistance* pada *Multilayer* (NiCoFe/Cu) yang Ditumbuhkan dengan Metode Dc-Ubms

Telah menyerahkan artikel untuk diterbitkan pada Jurnal Eksakta Vol.2 Juli Tahun XIII 2012 FMIPA UNP.

Demikianlah surat keterangan ini dikeluarkan untuk dapat digunakan sesuai dengan keperluan.

Padang, 03 Desember 2012

an Ketua Tim Redaksi Jurnal
Eksakta FMIPA UNP



Drs. H. Asrizal, M.Si

NIP. 19660603 199203 1 001

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.

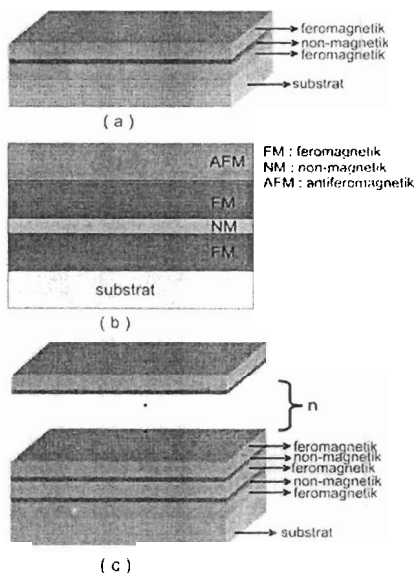
Saat ini, para peneliti terus mengembangkan penelitian lapisan tipis GMR, baik dalam metode penumbuhan maupun dalam struktur GMR yang dibuat dengan tujuan memperoleh karakteristik material GMR yang baik seperti memiliki rasio GMR yang tinggi, medan koersif yang rendah dan perubahan medan bias (*exchange 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 stuktur 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 di bawah ini.

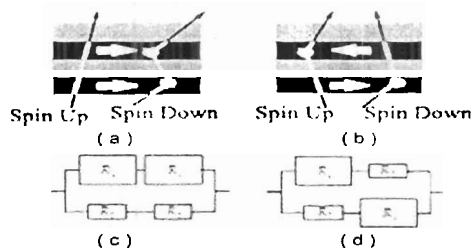


Gambar 1. Struktur lapisan tipis GMR.
(a) Sandwich, (b) Spin valve
(c) Multilayer.

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

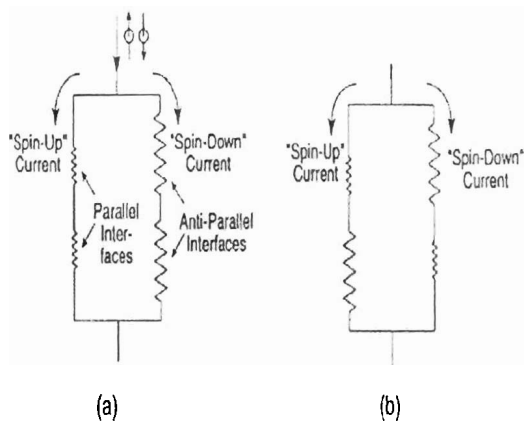
bebas; yang pertama berhubungan dengan elektron dengan *spin up* dan yang lain berhubungan dengan elektron dengan *spin down*. (2). Di dalam logam feromagnetik laju hamburan dari *spin up* dan *spin down* elektron-elektron sangat berbeda.

Tinjau konfigurasi multilayer feromagnetik seperti Gambar 2. Diasumsikan 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 tranport 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 Ni₆₀Co₃₀Fe₁₀ 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 Ni₆₀Co₃₀Fe₁₀ 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

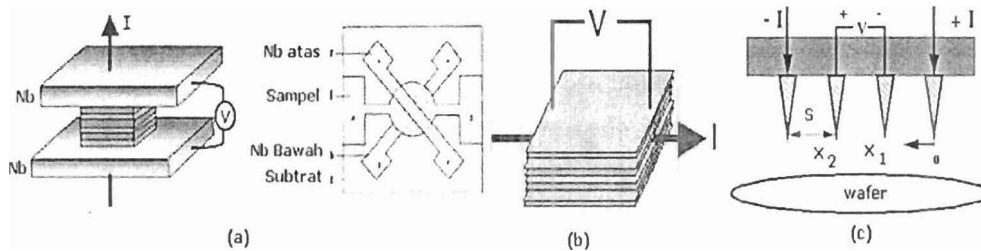
(2009), dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar target

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):

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

dengan:

MR = rasio magnetoresistance (MR)

R(H) = resistansi ketika diberi medan magnet,

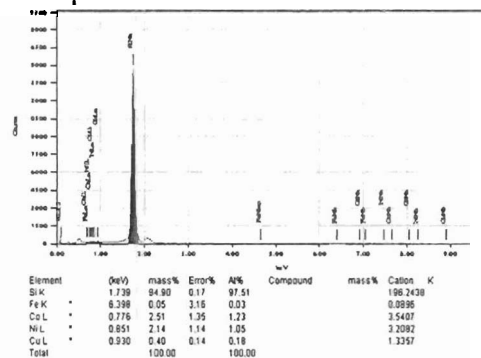
R(H=0) = resistansi tanpa medan magnet.

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

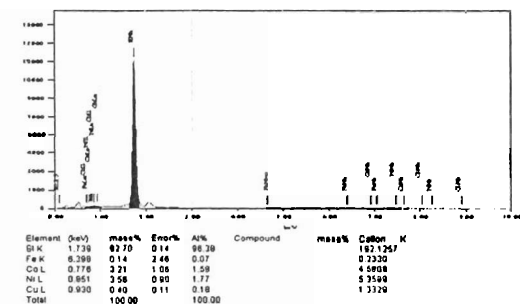
Hasil EDAX dari lapisan tipis GMR dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini:

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



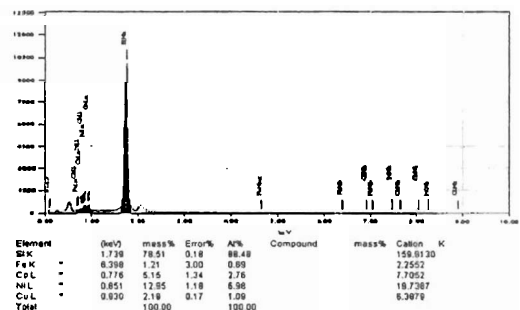
Gambar 5. Hasil EDAX dari lapisan tipis GMR dengan dua *layer*.

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:

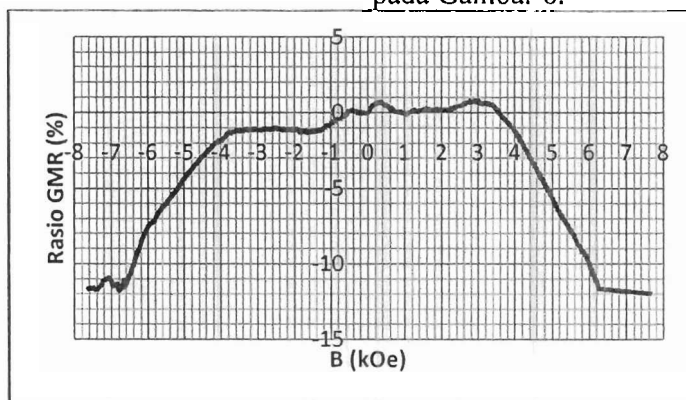
Tabel 2. Komposisi Lapisan tipis GMR dari hasil EDAX

Sampel	Komposisi					
	Si K	Fe K	Co L	Ni L	Cu L	Total
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.

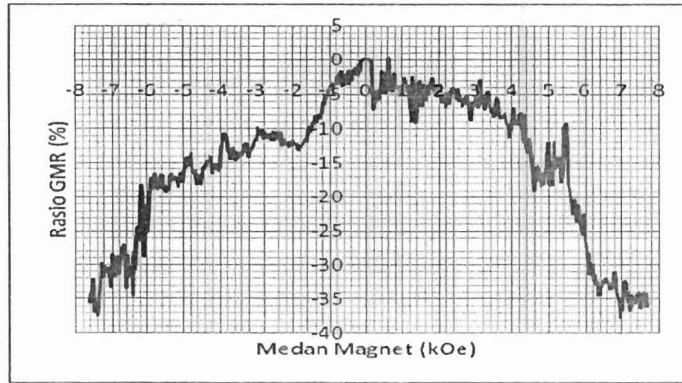
Hasil pengukuran MR dapat dilihat pada Gambar 8, 9, dan 10. Grafik hasil pengukuran rasio MR dari lapisan tipis GMR berstruktur *multilayer* untuk sampel 1 yang terdiri dari NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe (dua *layer*) dapat dilihat pada Gambar 8.



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

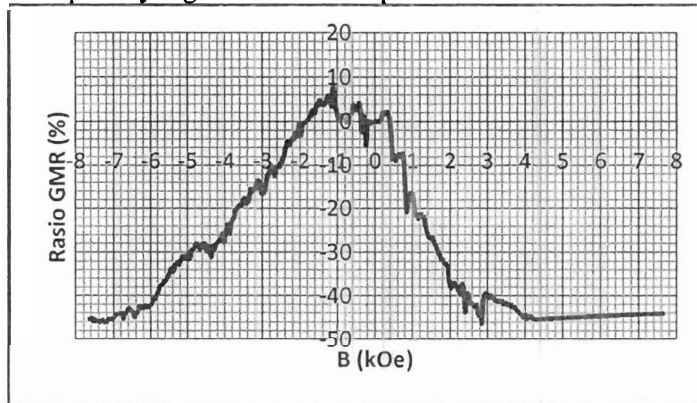
Grafik hasil pengukuran rasio MR dari lapisan tipis GMR berstruktur *Multilayer* untuk sampel 2 dengan struktur NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/

NiCoFe (tiga *layer*) dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik 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 $\text{NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe}$ (empat *layer*) terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik 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 probalitas 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 parallel 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.

Mallison, J. C. (2002). *Magneto-Resistive and Spin Valve Heads*. Academic Press. San Diego.

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 NiCoFe/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 Barmawi, 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 Ni-Fe/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 NiFeCo/Cu/Co with Ag capping layer prepared by sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 37, 109-110.

Tsymbal, E.Y. and Pettifor D.G. (2001). **Perspectives of Giant Magnetoresistance**, dalam *Solid State Physics*, ed. by H. Ehrenreich and F. Spaepen, 56. Academic Press., p.

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

Yenni Darvina^{1*}, Ramli¹, Yulkifli¹, Sri Lidia Lestari Nora² dan Mitra Djamal³

¹Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang

²Alumni Jurusan Fisika FMIPA UNP Padang

³Jurusan Fisika, FMIPA Institut Teknologi Bandung

*Email: ydarvina@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam tulisan ini akan dipaparkan hasil penelitian terhadap *multilayer* (NiCoFe/Cu) yang ditumbuhkan dengan metode DC-*Unbalanced Magnetron Sputering* (DC-UBMS) di atas substrat Si (100). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah *layer* dari lapisan tipis *multilayer* (NiCoFe/Cu) terhadap rasio *Magnetoresistance* (MR). Komposisi bahan feromagnetik yang digunakan adalah Ni₆₀Co₃₀Fe₁₀ dan non magnetik Cu. Struktur *multilayer* yang telah dibuat terdiri dari 2, 3 dan 4 *layer*. Satu *layer* terdiri dari lapisan NiCoFe/Cu/NiCoFe. Parameter penumbuhan untuk lapisan tipis NiCoFe dan Cu terdiri dari suhu penumbuhan 100°C, tekanan 5.2×10^{-1} torr, laju gas Argon 100 sccm, lama penumbuhan 5 menit, tegangan listrik 600 V, dan arus plasma 0,36 A. Setelah dilakukan pengukuran terhadap rasio MR dari lapisan tipis GMR berstruktur *multilayer* dengan jumlah lapisan 2,3 dan 4 *layer*, diperoleh rasio MR berturut-turut adalah 11.65%, 35.60% dan 45.27%. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah *layer* dari lapisan tipis GMR dengan struktur *multilayer*, semakin besar rasio MR yang diperoleh.

Kata kunci : DC-UBMS, GMR, *multilayer*, NiCoFe, Rasio MR

ABSTRACT

In this paper, we present results of a study on (NiCoFe/Cu) multilayer grown by DC unbalanced magnetron sputtering (DC-UMBS) 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 5.2×10^{-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

A. 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*. 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 $\text{Ni}_{60}\text{Co}_{30}\text{Fe}_{10}$ hasil optimasi tertinggi dari penelitian yang dilakukan Ramli dkk (2009).

B. 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 $\text{Ni}_{60}\text{Co}_{30}\text{Fe}_{10}$ terlebih dahulu, kemudian setelah selesai diganti dengan target Cu. Ketiga macam sampel tersebut memiliki struktur lapisan dan jumlah *layer* seperti terlihat dalam Tabel 1.

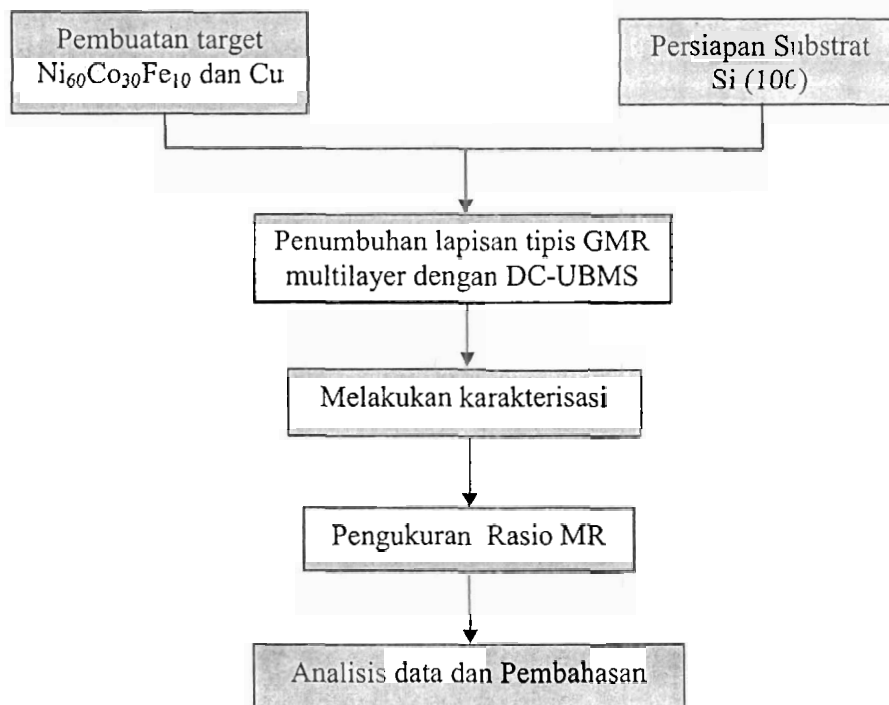
Tabel. 1. Struktur lapisan dan jumlah *layer* dari sampel GMR *multilayer*

No	Nama	Struktur	Jumlah layer
1	Sampel 1	NiCoFe/Cu/NiCoFe	2
2	Sampel 2	NiCoFe/Cu/NiCoFe/Cu/NiCoFe	3
3	Sampel 3	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 5.2×10^{-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. Diagram alir dari prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Diagram alir prosedur penelitian.

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 magnetoresistance (MR)

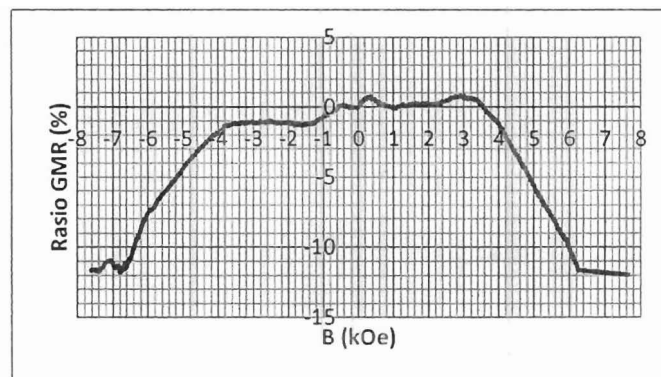
R(H) = resistansi ketika diberi medan magnet,

R(H=0) = resistansi tanpa medan magnet.

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

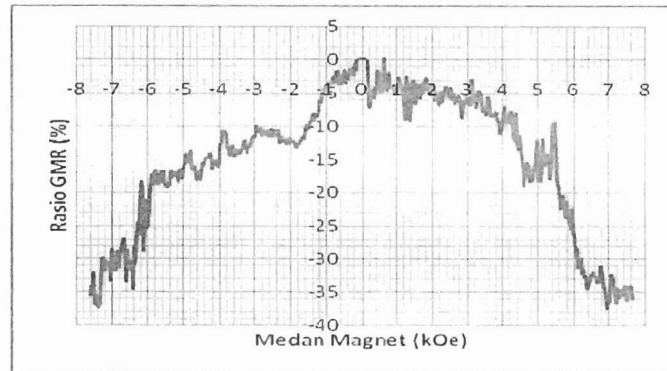
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran MR dapat dilihat pada Gambar 2, 3 dan 4. 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 2.



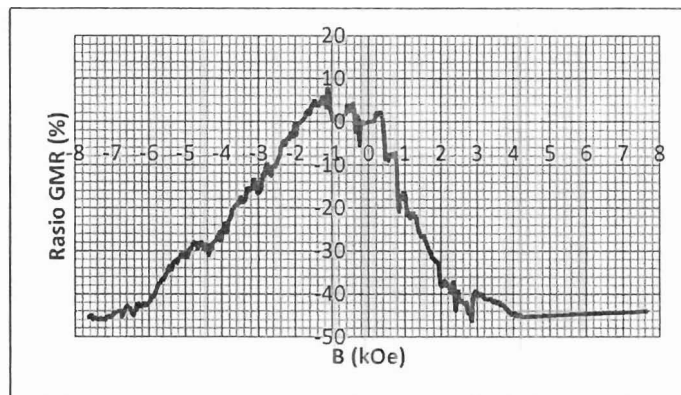
Gambar 2. Grafik hasil pengukuran magnetoresistance (MR) dari lapisan tipis GMR berstruktur *multilayer* dengan dua *layer*.

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 3.



Gambar 3. Grafik 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 4.



Gambar 4. Grafik 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 3, 4 dan 5 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 magnetisasi, resistansinya tinggi, sebaliknya bila arah spin elektron dalam lapisan logam feromagnetik parallel 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).

D. SIMPULAN

Ketika 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.

E. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan pada penyandang dana DP2M Dikti melalui penelitian Hibah Bersaing (HB) DIPA UNP tahun 2012 dengan No kontrak 098/UN35.2/PG/2012.

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.2472-2475.
- Osaka, T. M. Takai, Hayashi, K. Ohashi, K. Saito, M. and Yamada K. "A Soft Magnetic CoNiFe Film with High Saturation Magnetic Flux Density and Low Coercivity". *Nature* **392**, 796 (1998).
- 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 NiCoFe/Cu/NiCoFe Sandwich", *Asian Physics Symposium*, Bandung, July 22-23, 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 Barmawi, 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 Ni-Fe/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 NiFeCo/Cu/Co with Ag capping layer prepared by sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **37**, 109-110.
- Tsymbal, E.Y. and Pettifor D.G. (2001). *Perspectives of Giant Magnetoresistance*, dalam *Solid State Physics*, ed. by H. Ehrenreich and F. Spaepen, **56**. Academic Press., p.113-237.

Efek Giant Magnetoresistance dalam Spin Valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang Ditumbuhkan dengan Metode Opposed Target Magnetron Sputtering

Ramli*, Yenni Darvina, Yulkifli, Ambran Hartono, Rahadi Wirawan, Widyaningrum Indrasari,
Khairurrijal dan Mitra Djamal

Diterima xx Juni 2012, direvisi xx Juli 2012, diterbitkan xx Agustus 2012

Abstrak

Baru-baru ini, riset tentang divais spintronik mengalami perkembangan yang pesat. Spintronik adalah fenomena berdasarkan pengaruh spin pada transportasi elektron dalam material feromagnetik. Pengembangan divais spintronik ini dipicu oleh penemuan giant magnetoresistance (GMR). Material GMR menjanjikan untuk diterapkan dalam bidang teknologi penting, seperti perekam magnetik, memori dan sensor medan magnet lemah. Spin valve adalah salah satu struktur GMR yang saat ini digunakan dalam perekam magnetik dan sensor medan magnet. Telah dilakukan penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang ditumbuhkan dengan dc opposed target magnetron sputtering. Parameter-parameter penumbuhan adalah temperatur 100 °C, tegangan 600 volt, laju aliran gas Ar 100 sccm, dan tekanan 0.52 Torr. Lapisan tipis spin valve tersebut dikarakterisasi morfologi dengan SEM dan pengukuran rasio magnetoresistansi. Diperoleh bahwa rasio GMR maksimum sebesar 32,5%. Ketebalan masing-masing lapisan penyusun GMR spin valve terlihat berpengaruh terhadap rasio GMR. Paper ini menguraikan tentang efek GMR dalam spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe dan kaitannya dengan ketebalan lapisan penyusunnya.

Kata-kata kunci: feromagnetik, opposed target magnetron sputtering, sensor GMR, spintronik, spin valve

Pendahuluan

Meningkatnya kebutuhan untuk otomatisasi, keamanan dan kenyamanan di masa depan, menyebabkan jumlah sensor dan sistem sensor yang diperlukan juga meningkat. Pasar sensor dan aktuator dunia diproyeksi akan mengalami laju pertumbuhan sangat pesat di masa depan. Berdasarkan data dari *IC Insights* (Maret, 2012) [1] perkiraan pasar sensor/aktuator dunia dalam rentang waktu 2011-2016 akan mengalami tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (Compound Annual Growth Rate-CAGR) sebesar 16.4%.

Salah satu sensor yang berkembang pesat adalah sensor magnetik berbasis *giant magnetoresistance* (GMR). Penelitian mengenai sensor magnetik berbasis GMR ini didasarkan pada prinsip hamburan elektron yang mengakibatkan adanya perubahan resistansi pada suatu konduktor bila diberi medan magnet luar. Efek *magnetoresistance* (MR) adalah perubahan resistansi dari logam atau divais bila berada dalam medan magnet. Material yang memperlihatkan nilai MR yang sangat besar dinamakan dengan *giant magneto-resistance* (GMR).

Riset-riset tentang GMR dimulai setelah gejala GMR ditemukan pada tahun 1988 [2,3]. Penemuan GMR telah membuka peluang

penerapannya dalam banyak bidang aplikasi. Beberapa divais yang bekerja berdasarkan fenomena GMR telah pula dikembangkan seperti: sensor medan magnet, perekaman magnetik pada *hard disk drive*, dan memori non-volatile. 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.

Secara umum, basis fisika dari efek GMR berhubungan dengan kenyataan bahwa spin elektron memiliki dua nilai yang berbeda (yang dinamakan dengan *spin up* dan *spin down*). Ketika spin-spin ini melintasi material yang telah dimagnetisasi, salah satu jenis spin akan mengalami hamburan yang berbeda daripada yang dialami oleh jenis spin lainnya. Spin berpengaruh terhadap sifat konduksi dan sifat penerobosan (*tunneling*) elektron-elektron dalam logam feromagnetik. Perbedaan sifat konduksi mayoritas dan minoritas dari spin elektron dalam logam feromagnetik pertama kali diamati oleh Mott [4].

Secara kualitatif, GMR dapat dijelaskan dengan menggunakan model Mott, yakni: pertama 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. Kedua, di dalam logam feromagnetik laju hamburan spin up dan spin down elektron-elektron sangat berbeda. Berdasarkan hal tersebut, beberapa model telah diusulkan untuk menjelaskan efek GMR seperti model konduksi dua arus [2], model resistor [5,6] dan model Valet-Fert [7].

Secara sederhana lapisan GMR terdiri dari dua lapisan feromagnetik (FM) yang dipisahkan oleh satu lapisan non magnetik (NM). Elektron merambat dalam semua arah dalam struktur lapisan GMR dan membentuk bola Fermi. Pemberian medan listrik dalam bidang lapisan GMR akan mempercepat semua elektron secara seragam dan akan menggeser bola Fermi sedikit demi sedikit, namun elektron terus mengalir ke segala arah. Sesekali elektron mengalami peristiwa hamburan dan kehilangan momentumnya dan memberikannya pada kisi melalui interaksi dengan fonon ataupun magnon. Kemudian elektron kembali dipercepat oleh medan listrik lagi dan dikatakan elektron mulai mengalami waktu hidup untuk hamburan berikutnya. Untuk keadaan magnetisasi paralel dalam lapisan FM, elektron spin up melewati lapisan tanpa dihamburkan sedangkan elektron dengan spin down mengalami hamburan kuat dalam kedua lapisan FM, sehingga menghasilkan resistivitas total yang kecil. Untuk keadaan magnetisasi antiparalel pada lapisan FM, baik elektron spin up maupun spin down akan mengalami hamburan kuat dalam satu lapisan FM, sehingga resistivitas total menjadi besar [8,9].

Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang *sandwich* GMR [10,11] telah diperoleh karakteristik GMR yang baik. Dalam paper ini, akan dilaporkan efek GMR yang diamati dalam *spin valve* GMR *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe*. *Spin valve* merujuk kepada sifat bahwa magnetisasi dari lapisan bertindak sebagai sebuah *valve* untuk elektron-elektron konduksi.

Eksperimen

Sebelum penumbuhan lapisan tipis *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Fu/NiCoFe* dilakukan pembuatan target *sputtering* yaitu *NiCoFe*, *Cu* dan *FeMn*. Pembuatan target *NiCoFe* dengan reaksi padatan, dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar target 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%. Bahan dasar target *FeMn* terdiri serbuk logam Besi (Fe=99,99%) dan logam Mangan (Mn=99,99%). Komposisi molar *FeMn* adalah 50:50. Target yang dihasilkan selanjutnya di-

sintering dalam kapsul *pirex* untuk menghindari oksidasi selama proses *sintering*.

Substrat yang digunakan adalah silikon, Si (100). Substrat ini sering digunakan oleh para peneliti lainnya karena memiliki kelebihan antara lain: ukuran kecil, harga murah, memudahkan magnetisasi dalam arah tertentu, sifat listrik dan konduktivitas termalnya cocok untuk diintegrasikan dengan divais elektronik pada aplikasi sensor dibandingkan dengan substrat amorf seperti gelas. Sebelum dilakukan proses penumbuhan terlebih dahulu substrat silikon dibersihkan sesuai dengan proses standar yang dikembangkan oleh Werner Kern [12] di *Radio Corporation of America (RCA) Laboratories*.

Parameter-parameter penumbuhan yakni; lama penumbuhan (divariasikan), laju aliran gas Argon, tekanan, tegangan dc dan temperatur penumbuhan. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi didaftarkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi.

No	Parameter	Nilai
1.	Suhu	100 °C
2.	Tekanan	0,52 Torr
3.	Laju aliran gas Argon	100 sccm
4.	Tegangan dc	600 V

Karakterisasi sampel dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan rasio magnetoresistansi dengan metoda *linier four-point probe* dengan arus tegak lurus bidang.

Hasil dan Diskusi

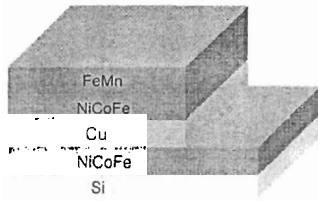
Penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* telah dilakukan dengan memvariasikan waktu deposisi. Struktur lapisan tipis GMR *spin valve* diperlihatkan dalam Gambar 1. Data SEM dan EDAX lapisan tipis GMR *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* diperlihatkan dalam Gambar 2.

Dalam Gambar 2, terlihat bahwa permukaan lapisan GMR *spin valve* semakin halus dan homogen, dengan makin lamanya waktu penumbuhan. Analisis unsur dari *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* diperoleh dari hasil EDAX. Puncak-puncak dalam grafik EDAX berhubungan dengan Si, Ni, Co, Cu, Fe dan Mn.

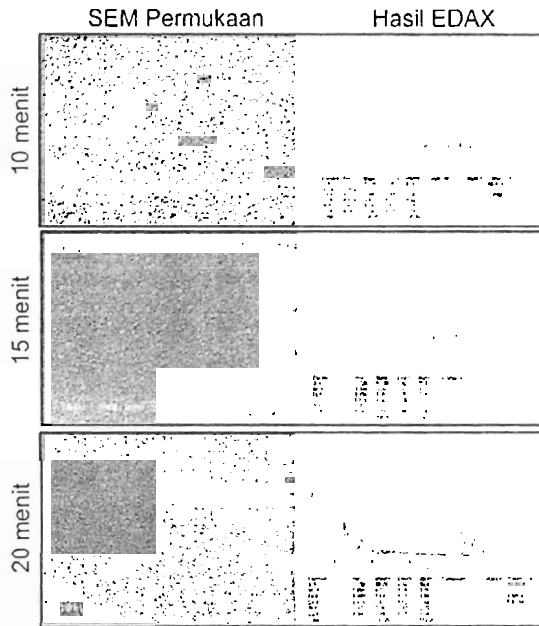
Perubahan resistansi terhadap medan magnet diperlihatkan dalam Gambar 3. Hal ini menandakan bahwa efek GMR telah muncul dalam lapisan tipis *spin valve*



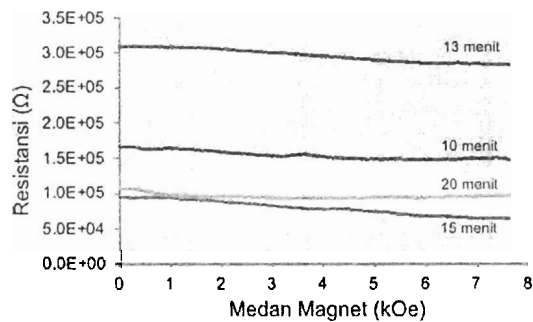
FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe yang ditumbuhkan dengan metode *opposed target magnetron sputtering*.



Gambar 1. Struktur GMR *spin valve*



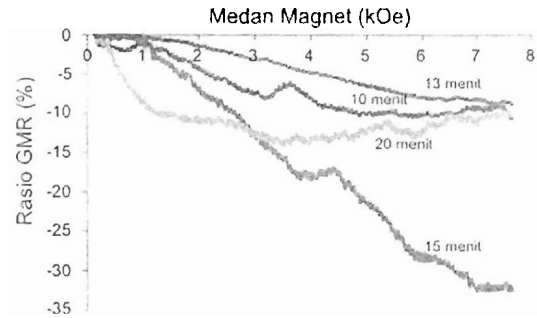
Gambar 2. Hasil SEM dan EDAX lapisan tipis GMR *spin valve*, *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe/Si*.



Gambar 3. Kurva resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe*

Rasio GMR ditentukan dengan persamaan; $GMR(\%) = \frac{(R_H - R_0)}{R_0} \times 100\%$ dengan R_H adalah resistansi ketika dalam medan magnet dan R_0 adalah resistansi tanpa medan magnet. Nilai rasio GMR lapisan tipis *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* yang diukur pada

suhu ruang, diperlihatkan dalam Gambar 4. Dari Gambar 4 terlihat rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5%.



Gambar 4. Kurva rasio resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe*

Dalam Gambar 4 terlihat bahwa rasio GMR dipengaruhi oleh ketebalan masing-masing lapisan penyusun GMR. Hal ini, dapat dijelaskan secara teori bahwa kebergantungan rasio GMR terhadap ketebalan lapisan feromagnetik (FM), diungkapkan dengan persamaan [13]:

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

sedangkan kebergantungan rasio GMR terhadap ketebalan lapisan non magnetik (NM) adalah:

$$\frac{\Delta R}{R}(d_{NM}) = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_0 \frac{\left[\exp\left(-\frac{d_{NM}}{l_{NM}}\right)\right]}{\left(1 + \frac{d_{NM}}{d_0}\right)}, \quad (2)$$

dengan $d_{(FM,NM)}$ adalah ketebalan lapisan (feromagnetik, non magnetik), dan $l_{(FM,NM)}$ adalah lintasan bebas rata-rata elektron dalam lapisan (feromagnetik, non magnetik) dan $\left(\frac{R}{R}\right)_0$

adalah konstanta fenomenologis.

Kesimpulan

Telah ditumbuhkan material sensor GMR berstruktur *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* dengan metode *Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS) di atas substrat Si (100). Nilai rasio *magnetoresistance* sampel dipengaruhi oleh lama waktu penumbuhan, yang mana lama penumbuhan ini berpengaruh pada ketebalan lapisan. Nilai rasio GMR maksimum sebesar 32,5% pada suhu ruang diperoleh pada lama

penumbuhan 15 menit. Dengan demikian, lapisan tipis *spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* yang telah dikembangkan ini, berpotensi untuk dijadikan sensor medan magnet.

Ucapan terima kasih

Terimakasih disampaikan kepada DP2M Dikti Depdiknas Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Hibah Bersaing tahun 2012, No: 098/UN35.2/PG/2012.

Referensi

- [1] IC Insight, "Growth of Opto, Sensor, Discrete Devices Outspace Ics", Research Bulletin, edisi Maret 2012, dapat diunduh pada: www.icinsights.com.
- [2] Baibich, M. N. Broto, J. M. Fert, A. Van Nguyen Dau, Petroff, F, Etienne, P, Creuzet, G, Frederick, A and Cjazelas, J, "Giant magnetoresistance of (001) Fe/Cr(001) magnetic superlattice". *Phys. Rev. Lett.*, 61. 2472-2475 (1988).
- [3] Binasch, G., Grunberg, P., Saurenbach, F., dan Zinn, W., "Enhanced Magnetoresistance in Layered Magnetic Structures with Antiferromagnetic Interlayer Exchange", *Phy. Rev. B* 39, 4828-4830. (1989).
- [4] Mott, N. F. "The Basis of the Electron Theory of Metals, With Special Reference to the Transition Metals". *Proceedings of the Physical Society of London Series A* 62 (7), 416. (1949).
- [5] Edwards, D.M., Mathon, J., Muniz, R.B. "A Resistor Network Theory of the Giant Magnetoresistance in Magnetic Superlattices", *IEEE Trans. Magn.* 27, 3548-3552. (1991).
- [6] Mathon, J. "Exchange Interaction and Giant Magnetoresistance in Magnetic Multilayers", *Contemporary Physics*, 32, 143-156. (1991).
- [7] Valet, T., dan Fert, A. "Theory of the perpendicular magnetoresistance in magnetic multilayers", *Phys. Rev. B*. 48(10), 7099-7113. (1993).
- [8] Djamel, M, Ramli, Freddy Haryanto, and Khairurrijal. "GMR Biosensors for Clinical Diagnostics" in the book "Biosensors for Health, Environment and Biosecurity ", Edited by Pier Andrea Serra, ISBN: 978-953-307-443-6. InTech, Rijeka, Croatia. pp. 149 – 164, (2011).
- [9] Djamel, M, dan Ramli, "Development of Sensors Based on Giant Magnetoresistance Material", *Procedia Engineering*, 32, 60-68. (2012).
- [10] Ramli, Mitra Djamel and Khairurrijal, (2009). "Effect of Ferromagnetic Layer Thickness

on the Giant Magnetoresistance Properties of NiCoFe/Cu/NiCoFe Sandwich". *Proceeding 3rd Asian Physic Symposium (APS) 2009*, ISBN: 978-979-98010-5-0, Bandung, 22-23 July 2009, 65-67.

- [11] Djamel, M, Ramli, Yulkifli and Khairurrijal, "Effect of Cu Layer Thickness on Giant Magnetoresistance Properties of NiCoFe/Cu/NiCoFe Sandwich". *Proceeding on ICCAS-SICE 2009 Fukuoka, Japan, August 18-21, 2009.*, 365-268. (2009).
- [12] Kern, W. Overview and Evolution of Silicon Wafer Cleaning Technology, dalam Reinhardt, K.A, dan Kern, W., Eds, *Handbook of Silicon Wafer Cleaning Technology* 2nd ed, 718p, William Andrew Inc, New York. 2008.p. 3-77.
- [13] Dieny, B. "Giant magnetoresistance in spin-valve multilayers", *J. Magn. Mater.* 136, 335-359. (1994).

Ramli*

Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof.Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia
ramlisutan@gmail.com

Yeni Darvina

Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang
Jl. Prof.Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia
ydarvina@yahoo.com

Yulkifli

Jurusan Fisika Universitas Negeri Padang
Jl. Prof.Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia
yulkifliamir@yahoo.com

Ambran hartono

Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Indonesia.
ambranhartono@yahoo.com

Rahadi Wirawan

Prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Indonesia.
rwirawan@yahoo.co.id

Widyaningrum Indrasari

Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
widyafisikaunj@gmail.com

Khairurrijal

Kelompok Keahlian Fisika Material dan Elektronik, FMIPA Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
krijal@fi.itb.ac.id

Mitra Djamel

Kelompok Keahlian Fisika Teoritik Energi Tinggi dan Instrumentasi, FMIPA Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
mitra@fi.itb.ac.id

*Corresponding author

SIFAT MAGNETIK LAPISAN TIPIS MATERIAL SENSOR GIANT MAGNETORESISTANCE BERSTRUKTUR SPIN VALVE

Ramli^{*}, Yenni Darvina¹, Yulkifli¹, Widyaningrum Indrasari², Ambran Hartono³, Edi Sanjaya³,
Rahadi Wirawan⁴, Khairurrijal⁵, dan Mitra Djamal⁴

¹Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang, Indonesia

²Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

³Prodi Fisika, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta Indonesia

⁴Prodi Fisika, Universitas Mataram, Indonesia

⁵Departemen Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

* Email: ramlisutan@ymail.com

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan akan otomatisasi, keamanan dan kenyamanan di masa depan, menuntut pengembangan sensor semakin intensif dilakukan. Salah satu sensor yang potensial dikembangkan saat ini adalah sensor magnetik berbasis material *giant magnetoresistance* (GMR). Penelitian mengenai sensor magnetik berbasis GMR ini didasarkan pada prinsip hamburan elektron yang mengakibatkan adanya perubahan resistansi pada suatu konduktor bila diberi medan magnet luar. Efek GMR adalah efek perubahan resistansi logam atau divais yang sangat besar ketika berada dalam medan magnet yang diamati dalam struktur nano magnetik. Material GMR menjanjikan untuk diterapkan dalam bidang teknologi penting, seperti percam magnetik, memori dan sensor medan magnet lemah. Salah satu struktur GMR yang banyak digunakan dalam aplikasi ini adalah *spin valve* GMR. Telah ditumbuhkan lapisan tipis *spin valve* GMR $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$ dengan metode *opposed target magnetron sputtering* (OTMS) di atas substrat silikon. Lapisan tipis *spin valve* tersebut dikarakterisasi sifat magnetiknya dengan *vibrating sample magnetometer* (VSM) dan pengukuran rasio magnetoresistansi. Lapisan tipis GMR *spin valve* yang telah ditumbuhkan ini memiliki sifat magnetik lunak dengan medan koersif yang rendah dan medan saturasi yang besar. Paper ini memaparkan sifat magnetik dari lapisan tipis *spin valve* GMR $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$.

Kata kunci: feromagnetik, *giant magnetoresistance* (GMR), sensor magnetik, *spin valve*, *sputtering*.

PENDAHULUAN

Magnetoresistansi didefinisikan sebagai perubahan resistansi logam atau divais ketika berada dalam medan magnet. Dengan kata lain, resistansi dari material bergantung pada keadaan magnetisasinya. Keadaan magnetisasi ini dapat diubah dengan memberikan medan magnet luar kepada material tersebut. Dengan demikian, efek magnetoresistansi dapat digunakan untuk membuat sensor medan magnet. Dalam beberapa dekade terakhir, sensor magnetik baru berbasis efek magnetoresistansi ini sangat intensif diteliti dan dikembangkan [1,2,3,4,5].

Efek magnetoresistansi yang sangat besar dinamakan dengan *giant magnetoresistance* (GMR). Fenomena GMR pertama kali ditemukan tahun 1988 [6] dalam lapisan tipis multilayer Fe/Cr yang ditumbuhkan dengan MBE (*Molecular Beam Epitaxy*). GMR merupakan salah satu penemuan yang mengagumkan dalam lapisan tipis magnetik, yang menggabungkan kajian fisika fundamental dengan potensi aplikasi teknologi. Tidak seperti beberapa penemuan penting lainnya, penemuan GMR berdampak besar pada kehidupan manusia, khususnya dalam teknologi informasi.

Penemuan GMR telah membuka peluang untuk penerapannya dalam banyak bidang aplikasi. Sensor GMR juga memperlihatkan keunggulan dibanding dengan sensor medan magnet lainnya yakni; lebih sensitif, biaya murah, daya operasi rendah dan ukuran kecil. Selain itu, pemasangan

sensor GMR tidak bersentuhan dengan rangkaian yang diukur, sehingga mengurangi kesalahan pengukuran.

Saat ini, para peneliti terus mengembangkan 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 dan medan koersif yang rendah.

Sebuah metode untuk meningkatkan sensitivitas sensor GMR diperkenalkan oleh Diemy dkk [7] dengan mengusulkan tipe *spin valve* GMR. Sebuah struktur standar dari *spin valve* adalah terdiri dari dua lapisan feromagnetik dipisahkan oleh lapisan pemisah non magnetik, dimana sebuah lapisan pengunci dari material antiferomagnetik ditambahkan pada bagian atas ataupun bagian bawah dari salah satu lapisan feromagnetik.

Munculnya divais-divais nano GMR tentunya memerlukan peningkatan metode untuk memanipulasi struktur skala-atomik dari permukaan dan antarmuka selama proses deposisi material GMR. Kemampuan meningkatkan karakteristik GMR dapat dikontrol melalui komposisi material, pemilihan geometri dan struktur, khususnya struktur dari antarmuka film. Oleh karena itu sebuah metodologi penumbuhan film tipis yang mampu mengontrol parameter-parameter proses deposisi dan komposisi lapisan terhadap mikrostruktur dan sifat-sifatnya sangat diperlukan. Dalam paper ini dipilih metode *dc Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS) untuk menumbuhkan lapisan tipis *spin valve* GMR.

Metode OTMS memiliki beberapa kelebihan yaitu biaya operasional lebih rendah, film yang dihasilkan lebih homogen dalam luasan yang besar, dapat mengurangi proses *re-sputtering*, dan ionisasi lebih tinggi dibandingkan dari metode lain seperti MBE.

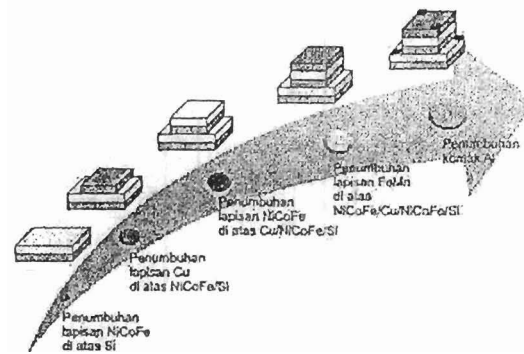
EKSPERIMEN

Lapisan tipis *spin valve* GMR *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* ditumbuhkan dari bahan target *sputtering* yaitu NiCoFe, Cu dan FeMn. Pembuatan target NiCoFe dengan reaksi padatan, dengan perbandingan molar Ni:Co:Fe = 60:30:10. Bahan dasar target 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%. Bahan dasar target FeMn terdiri serbuk logam Besi (Fe=99,99%) dan logam Mangan (Mn=99,99%). Komposisi molar FeMn adalah 50:50. Target yang dihasilkan selanjutnya di-sintering dalam kapsul pirex untuk menghindari oksidasi selama proses sintering. Substrat yang digunakan adalah silikon, Si (100). Parameter-parameter penumbuhan yakni; lama penumbuhan (divariasikan), laju aliran gas Argon, tekanan tegangan dc dan temperatur penumbuhan. Lama penumbuhan akan berpengaruh terhadap ketebalan masing-masing lapisan penyusun GMR, seperti yang telah dilaporkan sebelumnya [8]. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi didaftarkan dalam Tabel 1.

TABEL 1. Parameter-parameter penumbuhan hasil optimasi

No	Parameter	Nilai
1.	Suhu	100° C
2.	Tekanan	0,52 Torr
3.	Laju aliran gas	100 sccm
4.	Argon	600 V
	Tegangan dc	

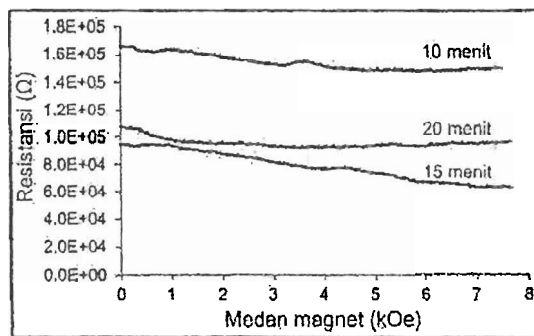
Penumbuhan lapisan tipis GMR *spin valve* dilakukan dengan urutan seperti diperlihatkan dalam Gambar 1. Sifat magnetik sampel lapisan tipis *spin valve* *FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* diketahui dari karakterisasi *vibrating sample magnetometer* (VSM) dan rasio magnetoresistansi dengan metoda *linier four-point probe* dengan arus tegak lurus bidang.



Gambar 1. Proses penumbuhan lapisan tipis *spin valve* $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$ di atas substrat Si.

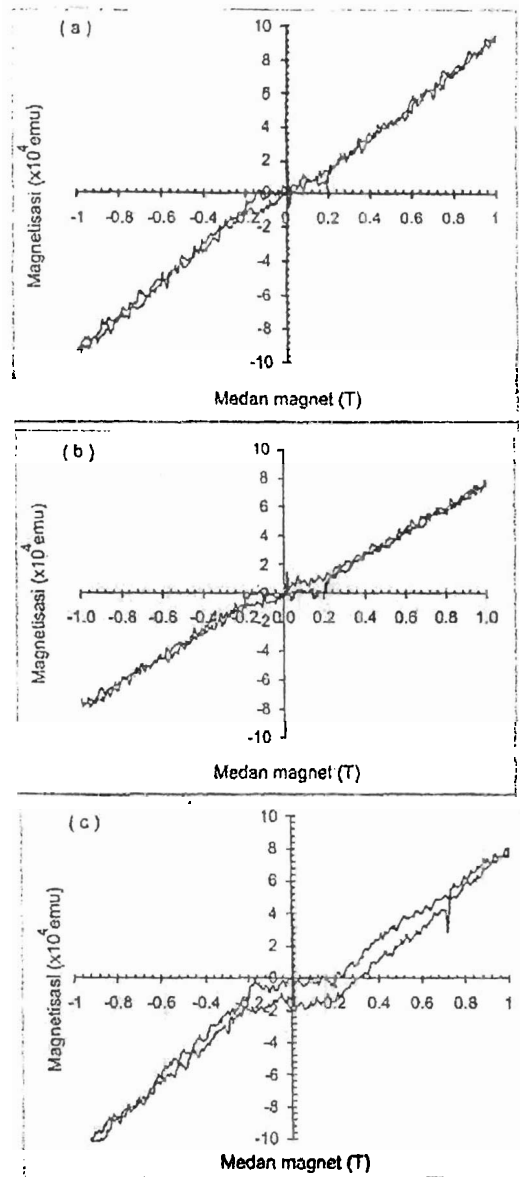
HASIL DAN DISKUSI

Perubahan resistansi terhadap medan magnet diperlihatkan dalam Gambar 2. Terlihat bahwa resistansi dari sampel berubah terhadap pemberian medan magnet. Hal ini menandakan bahwa efek GMR telah muncul dalam lapisan tipis *spin valve* $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$ yang ditumbuhkan dengan metode *opposed target magnetron sputtering*.



Gambar 2. Kurva resistansi terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$.

Kurva hysteresis dalam lapisan tipis *spin valve* $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$ diperlihatkan dalam Gambar 3. Masing kurva memperlihatkan bahwa lapisan tipis *spin valve* yang telah ditumbuhkan memiliki sifat feromagnetik lunak dengan medan koersif yang sangat rendah. Namun magnetisasi saturasi terjadi pada medan magnet yang besar. Hal ini berhubungan dengan arah medan magnet yang diberikan sejajar dengan bidang sampel.



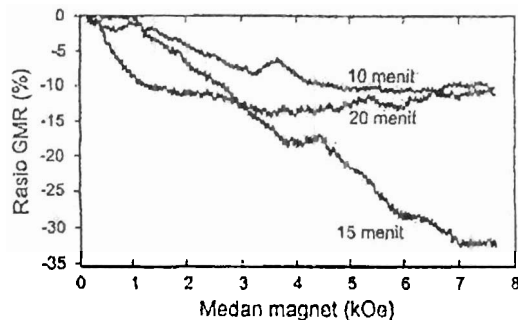
Gambar 3. Kurva hysteresis dari lapisan tipis GMR *spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* untuk lama penumbuhan (a) 10 menit, (b). 15 menit dan (c). 20 menit.

Rasio GMR ditentukan dengan persamaan; $GMR(\%) = \frac{(R_H - R_0)}{R_0} \times 100\%$ dengan R_H adalah resistansi ketika dalam medan magnet dan R_0 adalah resistansi tanpa medan magnet. Nilai rasio GMR lapisan tipis *spin valve FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe* yang diukur pada suhu ruang, diperlihatkan dalam Gambar 4.

Dari Gambar 4 terlihat rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5% pada sampel dengan lama penumbuhan 15 menit. Ketika medan magnet dibalik arahnya, maka dalam sampel tidak terjadi efek magnetoresistansi, hal ini disebabkan oleh adanya lapisan pengunci antiferomagnetik FeMn yang hanya melewati satu arah magnetisasi saja.

FeMn memiliki lapisan resistif tinggi dengan resistivitas $95 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ [8] yang digunakan untuk mengunci magnetisasi pada satu lapisan feromagnetik (FM) melalui pertukaran anisotropi. Munculnya

efek GMR dalam *spin valve* juga disebabkan oleh adanya pertukaran kopling diantara lapisan-lapisan FM.



Gambar 4. Kurva rasio GMR terhadap medan magnet dari lapisan tipis GMR *spin valve* $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$.

KESIMPULAN

Telah ditumbuhkan lapisan tipis GMR *spin valve* $FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe$ dengan metode *opposed target magnetron sputtering* di atas substrat Si (100) dengan variasi lama waktu penumbuhan. Rasio GMR maksimum diperoleh sebesar 32,5 % saat lama penumbuhan 15 menit. Kurva hysteresis menunjukkan bahwa lapisan tipis GMR *spin valve* yang telah ditumbuhkan memiliki sifat magnetik lunak dengan medan koersif yang rendah dan medan saturasi yang besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada DP2M Dikti Depdiknas Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Hibah Bersaing tahun 2012, No: 098/UN35.2/PG/2012

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Tumanski, *Thin Film Magnetoresistive Sensors*, Bristol, Institute of Physics Publishing, 2001, pp. 165-168.
2. A.G. Ravlik, "AMR and GMR Layers and Multilayers for Magnetic Field Sensors", in *Nanostructured Magnetic Materials and Their Applications*, edited by D. Shi, B. Aktas, L. Pust. and F. Mikailov, Berlin, Springer-Verlag, 2002, pp. 22-42.
3. G.W. Fernando, *Metallic Multilayers and their Applications*, Amsterdam, Elsevier B.V, 2008, pp. 1-8.
4. A. Fert, *Rev. Mod. Phys.*, 80(4), 1517-1530. (2008).
5. M. Djamal and Ramli, *Procedia Engineering*. 32, 60-68. (2012).
6. M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, Nguyen van Dau, F. Petro, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, *Phys. Rev. Lett.*, 61, 2472-2475. (1988).
7. B. Dieny, *J. Magn. Magn. Mater.*, 136, 335-359. (1994).
8. M. Djamal, Ramli, Yulkifli, K.J. Parvanta, dan I. Andriana, "Deposition of Ferromagnetic (FM) and Non-Magnetic (NM) Thin Film Using Sputtering Method for GMR Material", *Proceedings of 2nd International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS)*, edited by R. Simanjuntak, Bandung, 2008, pp. 800-804

ISBN(13) 978-879-19544-9-5

Pelajar Fisika I Jurusan Fisika FMIPA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA



PROSIDING Seminar Nasional Fisika

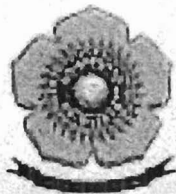
Ata Pascasarjana UNSRI, 4 Juli 2012

*Ilmu, Teknologi, dan Teknologi Masa Depan:
Inovasi dan Peluang Ilmu Fisika*

Fisika Teori, Fisika Komputasi, Fisika Material,
Fisika Instrumentasi & Pengukuran, Geofisika, Biofisika,
Fisika Energi & Lingkungan, Fisika Nuklir & Medis
Pendidikan Fisika

Editor: Assaidah, Emi, dan Suparji

JURUSAN FISIKA FMIPA
UNIVERSITAS SRIWIJAYA 2012



PT. MITRA INTIMARGA
PUBLISER COLLABORATION & QUALITY SERVICE

SINERGI