

NISBAH GMR SUPERKISI Ag/NiFe/Ag/NiFe

Moh. Toifur¹, Prayoto², Kamsul Abraha² dan Ridwan³

¹Jurusan Fisika Universitas Ahmad Dahlan
Jl. Kapas No. 9, Semaki, Yogyakarta 55166

²Jurusan Fisika FMIPA - UGM
Jl. Sekip Utara, Yogyakarta 55281

³Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

NISBAH GMR SUPERKISI Ag/NiFe/Ag/NiFe. Telah dibuat sistem multilapisan berstruktur Ag/NiFe/Ag/NiFe dengan mesin *sputtering* dc pada variasi waktu deposisi Ag(2) dari 2 menit sampai dengan 10 menit dengan tujuan untuk memperoleh multilapisan dengan nisbah GMR terbesar akibat sumbangan GMR yang berasal dari *antiferromagnetic coupling* antara *spin-spin* lapisan NiFe(1) dan NiFe(2). Karakterisasi yang dilakukan meliputi keadaan morfologi lapisan, sifat magnetik dari bahan lapisan, strukturmikro serta resistansi dibawah pengaruh medan magnet luar (H_{ext}). Hasil penelitian menunjukkan multilapisan dengan waktu deposisi Ag(2) = 8 menit memiliki nisbah GMR terbesar yaitu 67,74% atau 11,2 kali lebih besar dari efek MR lapisan tunggal NiFe dan telah mendekati perkiraan Pool bahwa efek GMR 4 lapis sekitar 75%. Lapisan ini memiliki remanen magnet (M_r) dan medan koersif (H_c) yang kecil. Sementara itu pemakaian lapisan penyangga Ag(111) semakin memperkokoh struktur atom paduan NiFe (111) yang ditumbuhkan di atasnya.

Kata kunci : GMR, multilapisan, *antiferromagnetic coupling*

ABSTRACT

GMR RATIO OF Ag/NiFe/Ag/NiFe SUPERLATTICE. The Ag/NiFe/Ag/NiFe multilayer have been produced by dc sputtering machine on the varied of deposition time of Ag(2) from 2 up to 10 minutes with the aim to get the highest GMR effect caused by contribution of ant ferromagnetic coupling between electron spins on the NiFe(1) layer and NiFe(2) layer. Characterization was done on morphology, magnetic properties, and microstructure and film resistance in the external magnetic field (H_{ext}). From the result show that the multilayer with deposition time of Ag(2) = 2 minute has the highest GMR ratio i.e.: 67,74% that 11.2 more higher than MR effect of NiFe single layer and has closed to Pool's estimation that GMR effect of four layers was about 75%. This layer have low of remanen magnetic and high of coercive field. While by using a buffer layer of Ag(111) the structure of alloy NiFe (111) growth above it was more corroborate.

Key words : GMR, multilayers, *antiferromagnetic coupling*

PENDAHULUAN

Dari penelitian yang telah dilakukan pada pembuatan multilapisan NiFe/Ag/NiFe diperoleh kenyataan bahwa peran lapisan Ag sebagai lapisan sela (*spacer*) sangat besar dalam menentukan besarnya efek GMR [1]. Nisbah GMR dapat ditingkatkan hingga 9 kalinya dari nisbah GMR yang diperoleh pada lapisan tunggal NiFe yaitu dari 6% [2] menjadi 54%. Tebal lapisan Ag untuk sistem multilapisan ini adalah lapisan Ag hasil deposisi selama 2 menit.

Masih terbuka kemungkinan untuk meningkatkan efek GMR multilapisan ini yaitu dengan menumbuhkan multilapisan NiFe/Ag/NiFe pada substrat Ag sehingga susunan lapisan menjadi Ag/NiFe/Ag/NiFe atau Ag(1)/NiFe(1)/Ag(2)/NiFe(2). Lapisan Ag(1) dapat berperan sebagai lapisan penyangga (*buffer*) terhadap atom-atom lapisan berikutnya. Diharapkan dengan

adanya lapisan penyangga ini struktur atom lapisan yang ditumbuhkan di atasnya (baik jenis struktur maupun arah pertumbuhan kristalnya) sama dengan struktur atom lapisan penyangganya sehingga terjadi struktur atom yang teratur pada semua lapisan. Selain itu dengan terbentuknya *interface* antara lapisan NiFe(1) dan lapisan Ag(1) maka diharapkan *spin-spin* elektron lapisan NiFe(1) lebih mudah berpindah atau berputar (mengingat Ag merupakan konduktor yang baik) jika dipaparkan dibawah lingkungan medan magnet luar (H_{ext}) dibandingkan dengan *spin-spin* elektron lapisan NiFe(1) yang berbatasan langsung dengan substrat gelas pada susunan NiFe(1)/Ag/NiFe(2). Dengan keadaan ini diharapkan efek GMR dapat ditingkatkan lagi dari efek GMR yang dihasilkan sistem multilapisan NiFe(1)/Ag/NiFe(2).

Selanjutnya pada penelitian ini akan dibuat multilapisan Ag(1)/NiFe(1)/Ag(2)/NiFe(2) dengan memvariasi waktu deposisi lapisan sela Ag(2) dari 2 menit sampai dengan 10 menit. Di sini *set up* waktu deposisi Ag(2) dibuat berbeda dari waktu deposisi Ag pada multilapisan NiFe/Ag/NiFe karena adanya efek difusi lapisan NiFe(2) pada Ag(2) sehingga dapat mengurangi ketebalan lapisan Ag(2). Diharapkan dengan pengaturan tebal N₂ tersebut maka efek GMR sistem dapat lebih ditingkatkan lagi. Mengenai pengaturan daya dan waktu *sputtering* untuk NiFe adalah 30 watt dan 30 menit sedangkan untuk lapisan Ag(1) adalah 25 watt dan 2 menit [3].

Untuk melengkapi analisis dilakukan karakterisasi morfologi lapisan dengan foto SEM (*Scanning Electron Microscope*) tampak lintang, struktur mikro lapisan dengan XRD (*X-Ray Diffraction*), watak magnetik lapisan dengan VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) serta efek GMR dengan probe 4 titik dibawah lingkungan medan magnet luar dari -20 gauss sampai dengan 20 gauss.

METODE PERCOBAAN

Proses deposisi lapisan tipis ini meliputi empat tahap yaitu deposisi lapisan Ag sebagai lapisan penyangga, deposisi lapisan NiFe sebagai lapisan magnetik pertama, deposisi lapisan Ag sebagai lapisan sela dan yang terakhir deposisi lapisan NiFe sebagai lapisan magnetik kedua.

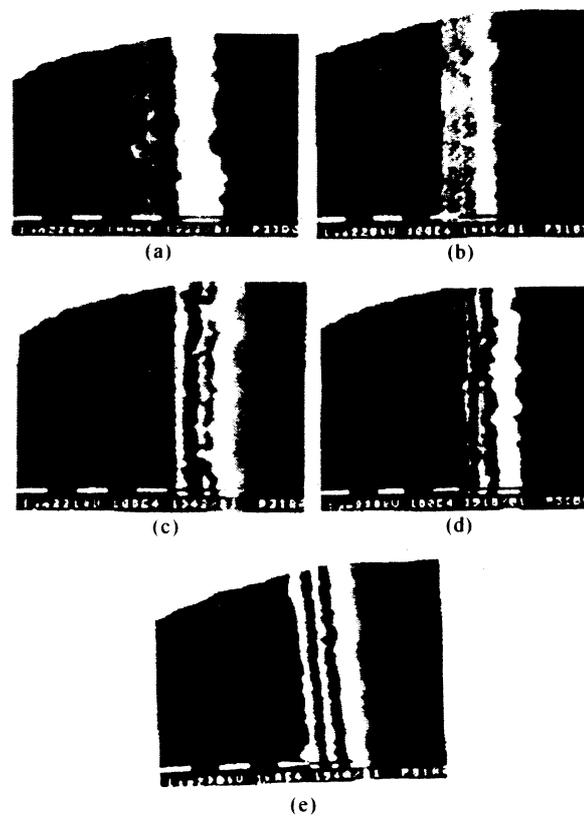
Adapun prosedur deposisi lapisan adalah sebagai berikut. Mula-mula target Ag atau NiFe dipasang pada elektroda negatif (katoda) yang telah dilengkapi dengan pendingin target dan substrat dipasang pada elektroda positif (anoda). Kemudian *stem sputtering*, pendingin target, pemanas substrat, pompa turbo dijalankan untuk memompa tekanan udara dalam tabung hingga mencapai 10⁻⁶ torr. Setelah tekanan ini tercapai maka gas argon dialirkan ke dalam tabung reaktor sehingga tekanan gas dalam tabung naik menjadi 1,6 x 10⁻¹ torr atau diatur sesuai yang dikehendaki. Setelah itu sistem tegangan tinggi dc dihidupkan kemudian diatur sesuai daya kerja yang diinginkan. Maka akan nampak terbentuknya plasma di dalam reaktor, yang berarti proses deposisi sedang berlangsung. Pada deposisi NiFe untuk membantu pembentukan kesearahan *spin-spin* elektron maka deposisi dilengkapi dengan medan deposisi yang besarnya 150 gauss. Arah medan deposisi untuk lapisan NiFe(1) berkebalikan dengan arah medan deposisi untuk lapisan NiFe(2). Untuk lapisan Ag(1) waktu deposisi di set 2 menit, sedang lapisan Ag(2) waktu deposisi divariasikan dari 2 menit sampai dengan 10 menit. Untuk lapisan NiFe(1) maupun NiFe(2) waktu deposisi diset 30 menit. Setelah deposisi selesai tegangan tinggi dc diturunkan sampai 0 volt kemudian dimatikan. Demikian

pula aliran gas dimatikan, arus medan deposisi, pemanas substrat, pendingin target, dan pompa vakum dimatikan dan terakhir mesin *sputtering* dimatikan. Setelah 30 menit substrat dapat diangkat dari kamar deposisi.

HASIL PENELITIAN

Foto SEM Tampang Lintang Multilapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe

Pada Gambar 1 ditampilkan hasil foto tampak lintang beberapa sampel multilapisan Ag(1)/NiFe(1)/Ag(2)/NiFe(2) pada berbagai waktu deposisi lapisan sela Ag(2) atau $t_{Ag(2)}$ yang diambil dengan SEM pada perbesaran 10.000 kali.



Gambar 1. Foto SEM tampak lintang dari multilapisan Ag(1)/NiFe(1)/Ag(2)/NiFe(2) pada variasi $t_{Ag(2)}$.
(a) $t_{Ag(2)} = 2$ menit, (b) $t_{Ag(2)} = 4$ menit, (c) $t_{Ag(2)} = 6$ menit,
(d) $t_{Ag(2)} = 8$ menit dan (e) $t_{Ag(2)} = 10$ menit

Dari Gambar 1 tampak semakin lama $t_{Ag(2)}$ masing-masing lapisan Ag(1), NiFe(1), Ag(2) dan NiFe(2) tampak semakin jelas. Untuk multilapisan dengan $t_{Ag(2)} = 2$ menit atom-atom pada lapisan NiFe(1), Ag(1), Ag(2) dan NiFe(2) saling berdifusi sehingga sulit menentukan ketebalannya secara teliti. Keadaan *interface* antar masing-masing lapisan juga sulit diamati. Lapisan NiFe(2) tampak tebal karena ditumbuhkan pada struktur atom campuran antara NiFe(1) dan Ag(2) sehingga rapat atomnya lebih besar. Keadaan ini

mempermudah lapisan NiFe(2) untuk langsung tumbuh. Salah satu akibatnya permukaan NiFe(2) tampak cukup halus.

Untuk multilapisan dengan $t_{Ag(2)} = 4$ menit hampir mirip dengan multilapisan dengan $t_{Ag(2)} = 2$ menit bahkan lebih jelek lagi karena atom-atom pada lapisan Ag(1) dan NiFe(1) maupun Ag(2) dan NiFe(2) saling berdifusi sehingga kedua lapisan tidak terbedakan secara jelas. Permukaan NiFe(2) sudah cukup halus namun di beberapa tempat masih ditemukan adanya celah.

Untuk lapisan dengan $t_{Ag(2)} = 6$ menit masing-masing lapisan Ag(1), NiFe(1), Ag(2) dan NiFe(2) tampak terpisah secara jelas dengan tebal tertentu. Lapisan NiFe(1) tampak lebih tebal dari NiFe(2). Permukaan *interface* antara substrat dan lapisan Ag(1) tampak halus. Permukaan antara Ag(1) dan NiFe(1) tampak cukup halus, namun untuk permukaan yang membatasi antara NiFe(1) dan Ag(2) kurang halus yang ditandai dengan adanya beberapa celah yang diisi oleh atom-atom Ag(2). Demikian pula permukaan yang membatasi Ag(2) dan NiFe(2) juga tampak kurang halus dan di beberapa tempat terdapat difusi atom-atom NiFe(2) ke Ag(2) walaupun dengan tingkat kerapatan yang rendah. Permukaan NiFe(2) tampak kurang halus juga. Di beberapa tempat terdapat celah yang sampai tembus hingga ke lapisan Ag(2). Tentu adanya celah seperti ini akan mengganggu keseragaman konduktivitas lapisan pada berbagai tempat.

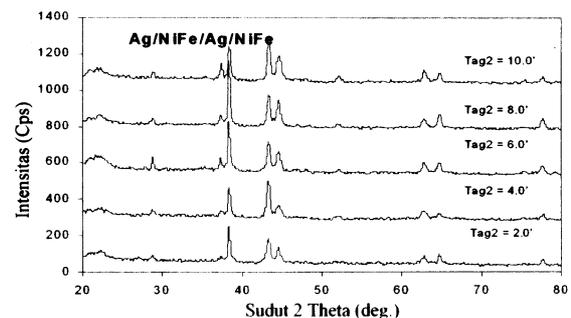
Untuk lapisan hasil deposisi pada $t_{Ag(2)} = 8$ menit tampak masing-masing lapisan sudah lebih bagus lagi. Secara umum permukaan batas antara lapisan yang satu dengan yang lain tampak lebih halus. Lapisan Ag(1) tampak lebih tipis dibanding dengan lapisan Ag(2), namun tidak sampai menimbulkan difusi atom antara lapisan satu dengan lapisan yang lain. Hanya saja permukaan NiFe(2) tampak kurang halus. Pada sampel hasil deposisi dengan $t_{Ag(2)} = 10$ menit pemisahan antar lapisan sudah lebih jelas lagi.

Hasil Pengamatan Strukturmikro Multilapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe dengan XRD

Pada Gambar 2 ditampilkan kurva spektrum XRD untuk sistem lapisan ini. Dari gambar tersebut tampak struktur lapisan berupa kristal dengan puncak-puncak difraksi berada di sekitar sudut $37,2^\circ$, $38,2^\circ$, $43,1^\circ$ dan $44,5^\circ$. Sudut-sudut tersebut setelah dicocokkan dengan *Powder Diffraction File* [4] diidentifikasi sebagai NiO, Ag, NiFe dan Fe_2O_3 . Munculnya oksida NiO dan Fe_2O_3 ini mungkin disebabkan karena adanya oksigen yang terikat pada target pada saat pemanasan target setelah dipres. Pemanasan dilakukan suhu $700^\circ C$ dalam ruang yang tidak vakum sehingga memungkinkan terjadinya ikatan antara atom-atom oksigen dengan atom Ni atau Fe. Kemungkinan lain adalah reaksi antara paduan NiFe dengan oksigen saat lapisan diangkat dari ruang vakum (paska deposisi) mengingat NiFe merupakan bahan yang

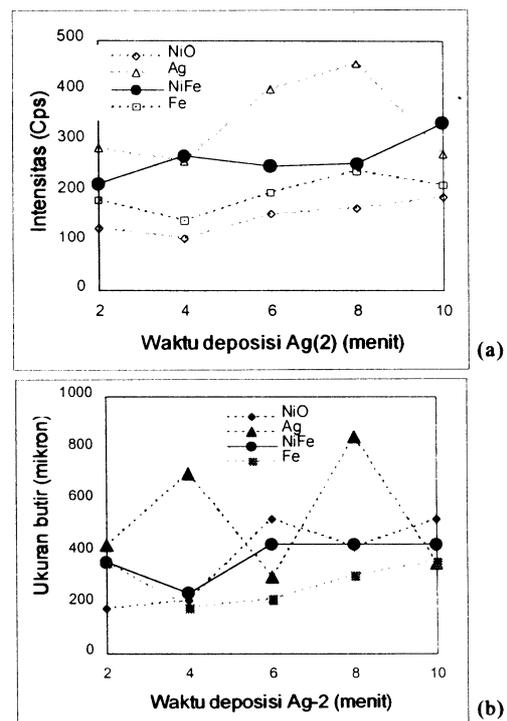
sangat reaktif terhadap oksigen. Yang pertama dapat dihindarkan dengan memanaskan target setelah di pres dalam tungku vakum dan yang kedua dapat dihindari dengan menunda pengangkatan sampel dari ruang deposisi.

Arah pertumbuhan atom-atom NiFe dan Ag adalah sama yaitu (111). Selain itu waktu deposisi Ag(2) berpengaruh pada tingkat keteraturan struktur atom-atom lapisan. Hal ini dapat diamati dari tinggi puncak difraksi (intensitas) yang berbeda-beda pada masing-masing sampel. Selain itu dengan rumus *Scherer* [5] dapat ditentukan ukuran butir masing-masing atom atau paduan.



Gambar 2. Intensitas Ag, NiO, NiFe dan Fe_2O_3 terhadap sudut difraksi 2 theta

Gambar 3 menampilkan kurva intensitas dan ukuran butir terhadap $t_{Ag(2)}$. Kedua hal ini berperan dalam menentukan resistansi lapisan. Semakin teratur strukturnya semakin kecil resistansinya. Demikian pula



Gambar 3. (a) Intensitas dan (b) ukuran butir lapisan Ag(1)/NiFe(1)/Ag(2)/NiFe(2) pada variasi $t_{Ag(2)}$

semakin besar ukuran butirnya juga semakin kecil resistansinya. Untuk lapisan sela Ag keteraturan strukturnya sangat penting untuk memastikan konduktivitasnya baik. Demikian pula besarnya ukuran butir penting untuk memastikan bahwa elektron konduksi tidak mengalami terlalu banyak hamburan pada batas butir.

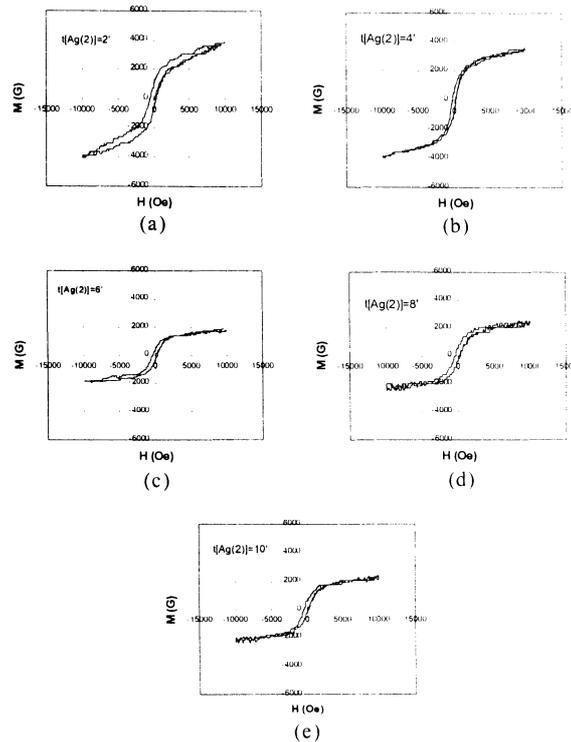
Dari Gambar 3 tampak bahwa untuk atom Ag mulai dari $t_{Ag(2)} = 2$ menit sampai dengan 4 menit tingkat keteraturan strukturnya (*ordering of atomic structure*) mengalami penurunan, kemudian dari $t_{Ag(2)} = 4$ menit sampai dengan 8 menit tingkat keteraturan strukturnya mengalami perbaikan secara cukup signifikan kemudian setelah itu menjadi menurun lagi. Untuk NiFe, tingkat keteraturan strukturnya semakin bagus pada $t_{Ag(2)} = 2$ menit sampai dengan 4 menit kemudian sedikit menurun dari $t_{Ag(2)} = 4$ menit sampai dengan 8 menit kemudian naik lagi hingga $t_{Ag(2)} = 10$ menit. Hal ini terkait dengan pola pertumbuhan lapisan Ag(2) yaitu dari *island*-lapisan kontinyu-gabungan *island* dan lapisan-dan seterusnya [6].

Untuk sampel dengan $t_{Ag(2)} = 8$ menit tampak bahwa tingkat keteraturan struktur atom Ag paling bagus yaitu sebesar 455 cps dibandingkan tingkat keteraturan struktur atom Ag pada sampel yang lain. Demikian pula ukuran butirnya paling besar diantara ukuran butir Ag pada sampel yang lain yaitu sekitar $841,52 \text{ \AA}$, sehingga untuk sampel ini konduktivitas lapisan Ag yang paling bagus. Sementara itu untuk atom NiFe intensitas puncak difraksi pada $t_{Ag(2)} = 8$ menit menempati urutan kedua setelah sampel dengan $t_{Ag(2)} = 10$ menit yaitu 255 cps dan ukuran butirnya hampir sama dengan sampel hasil deposisi pada $t_{Ag(2)} = 6$ menit dan 10 menit sebesar $427,53 \text{ \AA}$.

Sifat Magnetik Multilapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe

Selanjutnya untuk mengetahui sifat magnet bahan (lapisan), sampel-sampel tersebut dikarakterisasi dengan VSM. Hasilnya sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Multilapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe yang dihasilkan pada berbagai waktu deposisi Ag(2) memiliki sifat magnetik yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut dapat dilihat terutama pada *remanen magnetic* (M_r) dan medan koersifnya (H_c). Dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa untuk semua sampel pada medan pemagnetisasi $H = 10.000$ Oe telah diperoleh magnetisasi jenuh (M_s). Selain itu luas daerah yang dilingkupi oleh *loop M-H* cukup kecil sehingga bahan lapisan termasuk bahan magnet lunak. Semua grafik memiliki kurva kurang halus (agak bergerigi atau berosilasi) jika dibandingkan dengan kurva histeresis lapisan tunggal maupun multilapisan NiFe/Ag/NiFe. Hal ini disebabkan karena terjadinya interaksi

antara *spin-spin* elektron pada lapisan NiFe(1) dan *spin-spin* elektron pada lapisan NiFe(2) pada saat diberi medan pemagnetisasi. Sedangkan yang paling tampak berosilasi adalah sampel dengan $t_{Ag(2)} = 8$ menit.



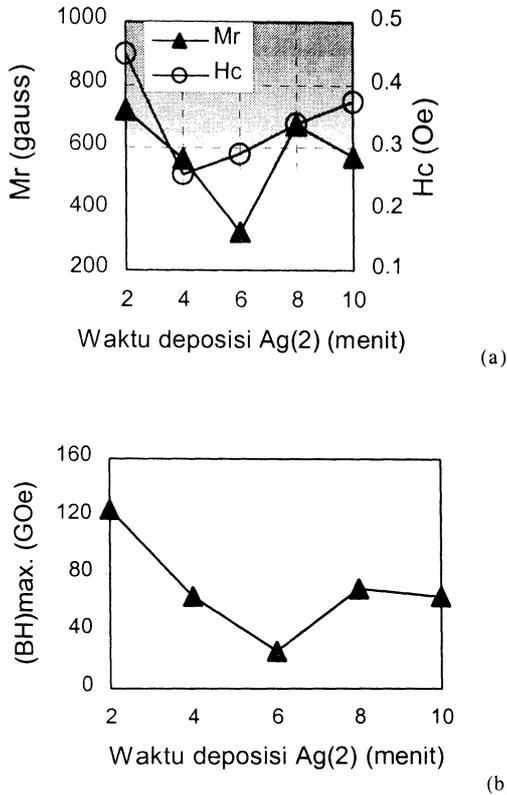
Gambar 4. Kurva *loop* histeresis sistem multilapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe pada berbagai $t_{Ag(2)}$. (a) untuk $t_{Ag(2)} = 2$ menit, (b) untuk $t_{Ag(2)} = 4$ menit, (c) untuk $t_{Ag(2)} = 6$ menit, (d) untuk $t_{Ag(2)} = 8$ menit, (e) untuk $t_{Ag(2)} = 10$ menit

Selanjutnya pada Gambar 5(a) ditampilkan kurva M_r dan H_c masing-masing sampel. Dari gambar tersebut tampak bahwa M_r terbesar 722,18 gauss bersesuaian dengan $t_{Ag(2)} = 2$ menit dan berikutnya 673,41 gauss yang bersesuaian dengan $t_{Ag(2)} = 8$ menit. H_c untuk keduanya masing-masing 0,45 Oe dan 0,34 Oe. Pada sampel yang pertama memang memiliki M_r yang besar namun H_c juga besar sehingga *domain magnetic* lapisan tidak mudah dihilangkan.

Sampel kedua memiliki M_r sedikit lebih kecil namun H_c juga lebih kecil sehingga domain magnetik lapisan mudah digerakkan. Menilik implementasi bahan ini nantinya akan digunakan sebagai bahan sensor medan magnet lemah maka kecilnya H_c lebih menjadi pertimbangan utama asalkan M_r masih dalam batas yang bagus. Dari Gambar 5(b) dapat dilihat bahwa energi magnetik maksimum yang dikandung oleh sampel dengan $t_{Ag(2)} = 8$ menit 69,19 GOe

Nisbah GMR Multilapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe

Selanjutnya pada Gambar 6 ditampilkan nisbah GMR masing-masing sampel.



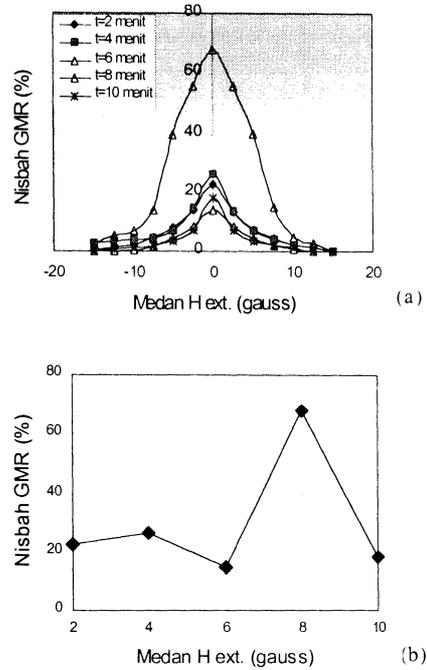
Gambar 5. Sifat bahan magnet lapisan Ag/NiFe/Ag/NiFe. (a) kurva M_r dan H_c , (b) Kurva $(BH)_{max}$

Pengukuran nisbah GMR dilakukan dengan alat probe 4 titik model CIP (*Current in Plane*) sehingga terdapat dua kanal *spin* yang menyumbang terhadap resistansi yaitu kanal *spin up* dan kanal *spin down*.

Dari gambar tersebut tampak bahwa semua sampel mampu merespon medan magnet yang di set dari -20 gauss sampai dengan 20 gauss. Medan yang dibutuhkan untuk menghasilkan kesearahan *spin-spin* lapisan (H_s) adalah 15 gauss. Hal ini menunjukkan bahwa semua sampel memungkinkan dijadikan bahan sensor medan magnet lemah. Multilapisan yang memiliki nisbah GMR terbesar adalah multilapisan yang dihasilkan dari deposisi dengan $t_{Ag(2)} = 8$ menit sebesar 67,74%. Hasil ini lebih besar dari nisbah GMR sistem superkisi NiFe/Ag/NiFe yang besarnya 54% atau terjadi peningkatan sebesar 1,25 kali dari GMR NiFe/Ag/NiFe atau 11,2 kali dari GMR lapisan tunggal NiFe. Hasil ini setidaknya menuju ungkapan Kano [7] yang menyatakan bahwa dengan mengurangi tebal lapisan sela hingga 3 nm sampai dengan 5 nm maka hamburan elektron tergantung *spin* dapat mencapai maksimum sehingga efek GMR dapat mencapai nilai yang sangat tinggi, lebih 80% [8].

KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa nisbah GMR terbesar bersesuaian dengan multilapisan



Gambar 6. Nisbah GMR sistem multilapisan berstruktur Ag/NiFe/Ag/NiFe pada berbagai $t_{Ag(2)}$, (a) pada variasi medan magnet eksternal dari -20 s/d 20 gauss, (b) nilai nisbah GMR maksimum dari masing-masing sampel.

Ag/NiFe/Ag/NiFe dengan $t_{Ag(2)} = 8$ menit sebesar 67,74%. Lapisan ini memiliki struktur atom NiFe dan Ag yang teratur serta ukuran butir yang besar. Sementara itu sifat magnet lapisan ini memiliki remanen magnet yang besar serta H_c yang kecil. Pemakaian lapisan *buffer* Ag (111) semakin mengokohkan arah pertumbuhan NiFe yaitu (111).

DAFTARACUAN

- [1]. TOIFUR, MOH., PRAYOTO, KAMSULABRAHA dan RIDWAN, Efek GMR Multilapisan Superkeksi NiFe/Ag/NiFe Pada Variasi Waktu Deposisi Ag, *Makalah Seminar MIPA dan Pendidikan MIPA*, UNY Yogyakarta, (2004)
- [2]. TOIFUR, MOH., SUGIYANTO, SUJATMOKO dan TONO WIBOWO. Efek Resistansi dan GMR dari Permalloy ($Ni_{80}Fe_{20}$) yang dideposisikan pada Substrat Gelas dengan Variasi Suhu. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 2 (1) (2000) 7-12
- [3]. TOIFUR, MOH., Ketergantungan Resistansi Terhadap Struktur mikro Kristal Film Perak Hasil Sputtering dc dengan Variasi Daya, *Prosiding Seminar Nasional XRD 2002*, PPIB dan Ilmu Dasar, LP ITS, Surabaya, 17 September (2002)
- [4]. MORRIS, M.C., MCMURDIE, H.F., EVANS, E, DE GROOT, J and PARETZKIN, *Powder Diffraction File*, Joint Committee on PDS, Park Lane, Pennsylvania, (1981)
- [5]. TAN, M., TONG, H.C., TAN., S.I. and ROTTMAYER, R., *J. Appl. Phys.*, 79 (1996) 8

- [6]. WASA, K. and HAYAKAWA, S., *Handbook of Sputter Deposition Technology*, Noyes Pub., New Jersey, USA, (1992)
- [7]. KANO, H., Substrate Temperature Effect on Giant Magnetoresistance of Sputtered Co/Cu Multilayers, *Appl. Phys. Lett.*, **63** (1993) 2829
- [8]. POOL, R., Magnetic Film Get Sensitivity Training, *Science*, **261** (1993) 20-26