

SIFAT MAGNETISASI DAN EFEK GMR PADA SISTEM LAPISAN TIPIS TOP SPIN VALVE NiFe/Cu/NiFe/NiO

Tri Mardji Atmono

P3TM – Badan Tenaga Nuklir Nasional

ABSTRAK

SIFAT MAGNETISASI DAN EFEK GMR PADA SISTEM LAPISAN TIPIS TOP SPIN VALVE NiFe/Cu/NiFe/NiO. Telah dilakukan preparasi dan karakterisasi sistem lapisan tipis yang membentuk top-spin-valve yang terdiri dari lapisan free layer NiFe I, spacer Cu, dan lapisan antiferromagnetik NiO yang mengikat lapisan magnetik NiFe II menjadi pinning layer. Lapisan dengan susunan tertentu yang membentuk sistem NiFe/Cu/NiFe/NiO tersebut telah berhasil dibuat dengan metoda sputtering, kemudian dilakukan karakterisasi. Pengukuran hubungan antara medan magnet dengan tahanan lapisan tipis menunjukkan hasil efek GMR yang signifikan, berkisar antara 0 - 4,5 %. Pengamatan kurva histerisis yang merupakan hubungan antara magnetisasi dengan medan luar menunjukkan suatu sistem yang terdiri dari free layer, pinning layer dan spacer. Hal ini merupakan realisasi dari sistem lapisan dengan sifat exchange-coupling seperti RKKY antar thin films. Dengan menggunakan Cu sebagai spacer, muncul efek anisimetris dari efek GMR yang kemungkinan disebabkan oleh anisotropi yang terjadi pada saat pertumbuhan thin film. Sifat tersebut diperkuat oleh adanya pengaruh medan luar H sebesar 50 Oe pada saat preparasi.. Efek magnetoresistance yang teramati merupakan GMR-ratio yang disebabkan oleh medan magnet luar, sehingga terjadi hamburan elektron pada batas antar lapisan. Pengukuran histerisis menunjukkan “pinning” yang mengikat permalloy NiFeII secara antiferromagnetik pada lapisan NiO yang diikuti oleh pergeseran gaya koersitiv yang cukup besar, berkisar 30-75 gauss.

ABSTRACT

THE MAGNETIC BEHAVIOURS AND THE GMR EFFECT OF TOP-SPIN-VALVE THIN FILM SYSTEM NiFe/Cu/NiFe/NiO. The preparation and the characterization of system thin film in the form of top spin valve containing free layer NiFe I, spacer Cu and antiferromagnetic layer NiO, which pinned the magnetic layer NiFeII as pinning layer, has been done. This layer system with the defined structure to form NiFe/Cu/NiFe/NiO was able to be prepared by the sputtering method, followed by the characterization. The measurement of the relation between the magnetic field and the resistance showed the GMR effect which was significant, in the range of 0 - 4.5%. Observing the hysteresis curve, i.e the magnetization as function of the applied field, has indicated that the prepared sample was composed of free layer, pinning layer and spacer. It was the realization of the layer system with the exchange coupling like RKKY between thin films. By using Cu as spacer, it was obtained the effect of anti-symmetric of GMR, which may be caused by anisotropy, formed during the growing of the films. This behaviour was intensified by the external field H of 50 Oe applied during the preparation process. The observing effect of magnetoresistance was the GMR-ratio caused by the applied magnetic field, resulted the electron scattering at the boundaries of the layers. Measurement of the hysteresis showed the pinning which bound the permalloy NiFeII to the NiO layer antiferromagnetically followed by the shifting of the coercive force in the range of 30-75 gauss.

PENDAHULUAN

Perubahan resistansi suatu material yang diakibatkan oleh medan magnet luar telah sejak lama dikenal, terutama setelah Baibich /1/ pada tahun 1988 menemukan efek *Giant Magnetoresistance* (GMR) pada sistem multilayer Fe/Cr.

Perubahan besarnya tahanan listrik dari sistem tersebut mencapai lebih dari 20%. Fenomena yang sama dengan efek ini antara lain adalah Efek Hall, dimana perubahan tahanan hanya mencapai beberapa %, AMR (*Anisotropy Magnetoresistance*) mencapai beberapa % dan Tunnel

Magnetoresistance (TMR) yang bisa mencapai beberapa puluh %. Aplikasi dari gejala ini antara lain adalah untuk pengukuran medan magnet, sebagai *head* pada sistem *data storage* /2/, pengukuran putaran mesin dll. Dalam hubungannya dengan logam peralihan yang bersifat magnetik dan sekaligus sebagai penghantar, efek dari GMR memegang peranan yang sangat penting karena perubahan tahanan listrik yang sangat besar. Timbulnya perubahan resistansi pada GMR terutama disebabkan oleh hamburan partikel bermuatan yang bergantung dari spin, yaitu *spin up* (\uparrow) dan *spin down* (\downarrow). Oleh adanya medan magnet luar yang menyebabkan *exchange-coupling*, terjadi pergeseran state tenaga yang tergantung dari arah spin. Arah dari pergeseran tsb adalah saling berlawanan untuk masing-masing spin (*up* dan *down*). Besarnya pergeseran ini kira-kira adalah 1 eV pada logam Ni. Untuk ke arah bawah (sebesar kira-kira 1 eV pada logam Ni). Banyaknya state yang berada dibawah *Fermi level* untuk elektron dengan *spin down* akan lebih besar, artinya state tenaga bebas untuk spin \downarrow akan lebih banyak. Oleh karenanya keboleh jadian hamburan untuk *spin down* adalah lebih besar dibanding *spin up*.

Telah banyak dilakukan penelitian pembuatan lapisan tipis magnetik beserta aplikasinya /1/. Sifat umum lapisan tipis pada dasarnya sangat berlainan dengan material massivnya ("*bulk*"-material) disebabkan proses preparasinya (evaporasi, Sputtering, RF-Glow discharge dll.) maupun geometrinya (panjang dan lebar » tebal) serta komposisi dan strukturnya. Salah satunya adalah untuk aplikasi dalam bidang sensor magnet. Sebelum ditemukannya lapisan tipis magnetik dengan sifat GMR, pengukuran medan magnet dilakukan dengan menggunakan batang semi konduktor kristal hall, dimana pada batang semikonduktor tersebut pada arah X dipasang medan magnet yang akan diukur, arah Y dialirkan arus listrik, maka arah Z akan muncul tegangan

hall (akibat gaya Lorentz) yang besarnya adalah sebanding dengan kuat medan ($\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$). Sensor magnet semacam ini tidak praktis karena harus menggunakan sumber arus, dan juga ketepatannya tidak bisa diandalkan karena adanya interaksi antara arus dan medan. Bila magnetisasi lapisan tipis ditentukan oleh medan luar, maka lapisan tipis tersebut bisa difungsikan sebagai sensor medan magnet lewat pengukuran tahanan. Dua mekanisme/proses untuk mengukur/ menentukan medan luar adalah bahwa medan terpasang menentukan arah dan besar magnetisasi thin film dan kemudian magnetisasi menentukan besarnya resistivitas. Efek ini muncul berdasarkan prinsip GMR (*Giant-Magnetoresistance*) yaitu perubahan tahanan thin film karena adanya pengaruh medan luar /4/. Berdasarkan teori scattering, elektron dengan *spin up* akan diteruskan oleh lapisan dengan arah magnetisasi vertikal, sehingga *mean-free-path* akan bertambah, tetapi akan dihamburkan oleh lapisan dengan arah magnetisasi yang berlawanan,. Gejala demikian akan menimbulkan efek tahanan karena muatan penghantar terhamburkan "bolak-balik" di dalam sistem lapisan tipis, sebagian kecil saja yang diteruskan. Efek GMR adalah besar bila sistem lapisan saling antiparalel (*antiferromagnetic-coupling*) /2/. Kemungkinan akan bertambah apabila digunakan Si(100) sebagai substrat dan menggunakan Tantalum sebagai lapisan penutup. Realisasi dari GMR tersebut akan teramati nyata dalam suatu pseudo. Dalam suatu sistem pseudo-spin valves, dikenal dua besaran, yaitu gaya koersitif dari lapisan NiFe dan H-pinning dari NiFe yang terikat pada lapisan antiferromagnetik NiO. Sistem ini hanya bisa dibuat dengan parameter sputtering tertentu saja dan stabil pada daerah temperatur yang juga tertentu /1/. Jadi oleh sebab timbulnya perubahan tahanan oleh adanya medan luar, maka sistem tersebut bisa diaplikasikan sebagai sensor magnet tanpa menggunakan arus seperti pada metoda lama Hall, terutama untuk

pengukuran medan kecil (beberapa Oe sampai puluhan Oe), tergantung dari daerah linearitas lapisan NiFe sebagai free layer. Kemungkinan sensitivitas dari sensor magnet tersebut akan bisa dinaikkan dengan cara irradiasi pada sistem pseudo-spin-valves./3/.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan sistem lapisan tipis yang tersusun dari lapisan *free layer* NiFe, pinning- dan pinned layer, masing-masing NiO dan NiFe serta *spacer* Cu. Kemudian pada sistem tersebut dilakukan karakterisasi magnetic, terutama sifat hysteresis dan elektrik untuk mengetahui sifat GMR. Dari hasil penelitian diharapkan diperolehnya pengetahuan tentang sifat GMR dari permalloy NiFe yang bisa diaplikasikan sebagai sensor medan magnet.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Sistem lapisan tipis dengan susunan NiFeI/Cu/NiFeII/NiO dihasilkan dengan metoda sputtering pada frekuensi radio 13,56 MHz. Frekuensi ini dipakai karena telah disepakati secara internasional dan juga agar tidak mengganggu komunikasi, disamping juga merupakan frekuensi optimal agar terbentuk tegangan *self-bias* yang maksimal pada katoda yang berfungsi untuk memberikan tenaga kepada ion-ion Argon Untuk mengoptimalkan daya yang digunakan pada proses pembentukan lapisan tipis, digunakan *match-box* yang berfungsi untuk menyesuaikan impedansi generator dengan plasma.

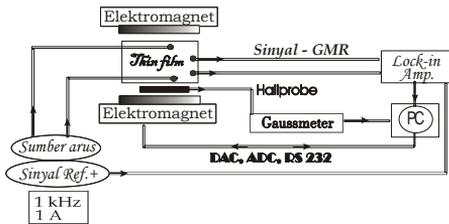
Dalam hal NiO- dan NiFe-thin film maka diperlukan masing-masing bahan target Ni dan Permalloy yang ditempatkan pada katoda. Untuk membentuk NiO maka diperlukan gas oksigen disamping juga gas argon sebagai *sputter-gas*. Tabel 1 di bawah ini adalah merupakan *sputterparameter* pada saat preparasi lapisan tipis ganda NiFe/Cu dan antiferromagnetik NiO yang merupakan *pinning* dari NiFe.

Tabel 1 : Sputter parameter

Frekuensi	13,56	M Hz
Arus katoda	125	mA
Tegangan DC-Bias	1000	V
Jarak elektroda	60	mm
Tekanan Argon	3×10^{-2}	mbar
O ₂ -flowrate	0.8	sccm

Secara umum semua material target ditempatkan pada katoda, sedangkan substrat pada anoda. Sistem lapisan tipis membentuk *spin valves* yang dapat diaplikasikan sebagai sensor medan magnet yang sangat bergantung dari kepekaan lapisan permalloy NiFe I sebagai *free layer* dalam hubungannya dengan sifat GMR. Untuk membentuk susunan tersebut sangat diperlukan parameter sputtering yang sangat peka, seperti ketebalan lapisan dan tekanan argon. NiO dengan sifat antiferromagnetik merupakan lapisan *pinning* dari NiFe II. Pengamatan histeresis, struktur mikro, pengukuran efek GMR sangat diperlukan untuk mengetahui karakter dari masing masing lapisan dan dari sistem yang terintegrasi. Gambar 1 di bawah ini adalah set-up elektronik dari sistem pengukuran efek GMR.

Daya nominal untuk RF berkisar antara 150 s/d 175 W untuk memperoleh tegangan bias -800 s/d -1000 V. Sebagai sputter gas adalah Argon dengan kemurnian 99,9%. Tekanan Ar pada proses sputtering adalah 5×10^{-2} mbar. Jarak elektroda adalah 30 mm. Ketebalan lapisan tipis berkisar 20 s/d 100 nm. Setelah terbentuk thin film, kemudian dilakukan karakterisasi dengan menggunakan aktivasi netron cepat untuk identifikasi unsure yang terdeposisi, X-ray untuk penelitian struktur, Untuk karakterisasi magnetik, yang merupakan titik berat dari pengukuran/ pengamatan pada penelitian ini, digunakan VSM. Pengukuran efek GMR dikerjakan dengan metoda *four-point-probe* (gambar 1).

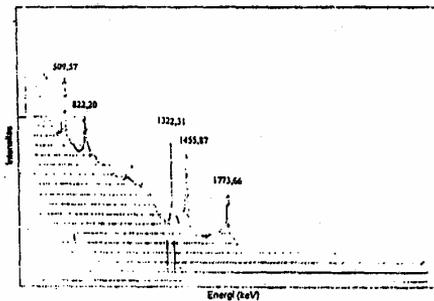


Gambar 1: Set-up sistem pengukuran efek Giant Magnetoresistance

HASIL DAN PEMBAHASAN

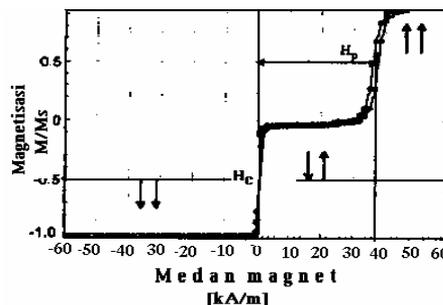
Ketebalan thin film dengan sifat optimal pada aplikasi dalam penelitian ini adalah berturut-turut 10 nm (NiFeI), 3...6 nm untuk spacer Cu dan 10 sampai 15 nm untuk pinned layer NiFeII serta 50 nm untuk lapisan antiferromagnetik NiO. Preparasi lapisan tipis dengan menggunakan metoda sputtering yang bekerja pada frekuensi radio pada umumnya memiliki sifat yang sangat kompleks karena banyaknya parameter yang terlibat, sehingga untuk membuat *thin films* yang memiliki sifat yang diinginkan, sesuai dengan tuntutan aplikasinya, tidaklah mudah, bahkan sangat sulit, sehingga pada proses preparasinya telah dibuat beberapa variasi parameter terutama flow-rate dari oksigen (untuk membentuk antiferromagnetik NiO) dan ketebalannya, kemudian dipilih lapisan dengan sifat optimal. Hal ini terutama berlaku untuk sistem multilayer yang memang sangat rumit dalam penyiapannya,. Sifat yang harus dimiliki oleh lapisan tipis adalah mutlak sesuai dengan sifat aplikasinya: sifat mekanik, listrik, sifat kemagnetan dll. Parameter yang terlibat dalam proses ini terutama adalah tegangan RF dan tegangan *self-bias* pada katoda, jenis gas, tekanan gas, jarak elektroda dan suhu substrat Tegangan elektroda menentukan komposisi atau kandungan unsur tertentu dalam lapisan tipis, karena adanya sifat *preferential sputtering*. Pada gambar 2 ditunjukkan secara kualitatif hasil pengamatan komposisi dari sistem lapisan NiFe/Cu/NiO/NiFe dengan menggunakan teknik aktivasi

neutron cepat. Multilayer tsb dihasilkan pada tegangan self bias 1000 V (DC), tegangan RF 1800 V dan arus katoda 120 mA. Dengan cara mencocokkan tabel energi aktivasi neutron, maka dapatlah ditentukan unsur-unsur yang menghasilkan puncak-puncak energi γ .



Gambar 2. Spektrum tenaga γ dari sistem lapisan NiFe/Cu/NiFe/NiO

Akibat irradiasi dengan neutron cepat tersebut, sebagian inti unsur-unsur Ni, Fe dan Cu pada multilayer akan menangkap neutron sehingga bersifat radioaktif. Selanjutnya radionuklida yang terbentuk tersebut memancarkan sinar γ dengan energi karakteristik masing-masing untuk unsur-unsur Ni, Fe dan Cu. Dari hasil deteksi spectrometer γ , teramati puncak tenaga γ yang dihasilkan oleh Cu pada nomor kanal 141,87 dengan tenaga 509,57 keV, Fe pada nomor kanal 630,14 (tenaga 1322,31 keV), Ni pada 710,95 (tenaga 1455,87) dan Si pada tenaga 1773,66 keV sesuai dengan nomor kanal 903,87.



Gambar 3. Kurva magnetisasi dari system top-spin-valve NiFeI/Cu/NiFeII/NiO

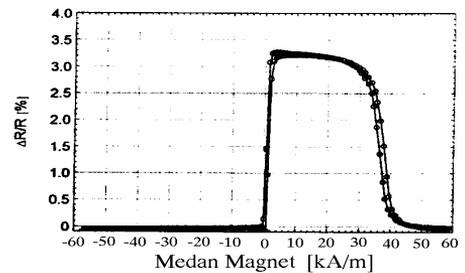
Besarnya efek GMR didefinisikan sebagai perbandingan perubahan tahanan listrik akibat medan magnet luar (ΔR) terhadap tahanan listrik pada medan besar R_{sat} (beberapa kA/m sampai diperolehnya tahanan jenuh) dirumuskan sebagai :

$$\Delta R/R_{sat} = (R_{max} - R_{sat})/R_{sat}$$

Dengan R_{max} adalah tahanan terbesar yang terjadi pada medan magnet tertentu, tergantung dari jenis/susunan sistem layer.

Pada gambar 3 ditampilkan hasil pengukuran magnetisasi sebagai fungsi dari medan magnet luar untuk sistem *top-spin-valve* NiFeI/Cu/NiFeII/NiO. Kurva magnetisasi ini sangat menentukan sifat GMR, karena keterlibatan parameter “*pinning*” H_c dan H_p seperti tampak pada gambar 3. Besarnya medan pinning H_p ini ditentukan oleh orientasi dari EA (*easy axis*, sumbu ringan) yang terletak sejajar pada bidang lapisan tipis (*in-plane anisotropy*) dan juga merupakan kontribusi dari sifat antiferromagnet dari lapisan NiO. *Rate* dari oksigen untuk membentuk lapisan antiferromagnetik yang berfungsi sebagai pinning layer adalah 0.8 sccm telah mampu mengikat dengan kuat lapisan NiFeII yang merupakan referensi dari *free layer* NiFeI. Pada medan negatif, orientasi dari kedua lapisan adalah parallel dan searah dengan medan luar. Apabila medan luar H tersebut dibalik arahnya maka lapisan bebas (*free layer*) akan terorientasi sejajar dengan H , sedangkan lapisan yang terikat (*pinned layer*) akan mengikuti arah NiO sampai dengan 30 kA/M. Pada daerah tersebut diperoleh efek GMR maksimum (gambar 4) karena muatan penghantar akan dihamburkan pada batas-batas lapisan tipis. Gejala GMR tersebut teramati pada ketebalan *spacer* Cu sebesar 3 nm. Disini kemungkinan berlangsung kopling antiferromagnetik (AF-coupling) yang kedua sesuai dengan teori dari RKKY (Rudermann, Kittel, Kasuya, Yosida) /6/, dimana untuk ketebalan sekitar 2 nm terjadi kopling

ferromagnetik. *AF-coupling* yang pertama berada di sekitar $t=1$ nm.



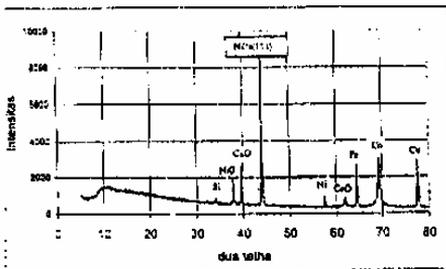
Gambar 4 . Efek GMR dari lapisan top-spin-valve NiFeI/Cu/NiFeII/NiO

DC-Sputtering ternyata memerlukan tegangan yang jauh lebih besar daripada metode RF /4/. Untuk tegangan self-bias yang sama dengan tegangan DC bahkan kandungan Ni, Fe, Co maupun spacer Cu dalam *thin film* jauh lebih kecil. Oleh karenanya maka *sputter-yield* akan berbeda untuk kedua proses tersebut. Pada lapisan tipis dengan ketebalan beberapa nm yang bersifat ferromagnetik, seperti yang dilakukan dalam eksperimen ini Fe,Co, Ni atau gabungannya seperti permalloy NiFe, magnetisasi bisa terletak di bidang (Easy Axis // M) karena bidang thin film merupakan *preferred direction*, membentuk *in-plane anisotropy*. Orientasi M dengan demikian terdefiniskan tanpa adanya pengaruh medan luar. Bila thin film ini dialiri arus listrik i yang membentuk sudut θ terhadap magnetisasi, maka tahanan terukur merupakan fungsi sudut (i, M). Sifat GMR yang dimiliki oleh lapisan tipis ternyata juga tidak sama besarnya, tegangan RF memberikan efek yang lebih besar. Sehingga untuk preparasi lapisan tipis dengan sifat Magnetoresistance lebih tepat menggunakan tegangan pada radio frekuensi tersebut. Untuk daerah medan lebih besar dari 40 kA/m, terlihat orientasi sejajar dari momen magnetik kedua lapisan (gambar 3) dan efek GMR yang dihasilkan menjadi minimal, bahkan tidak bisa difungsikan sebagai sensor. Dengan demikian pada *range*

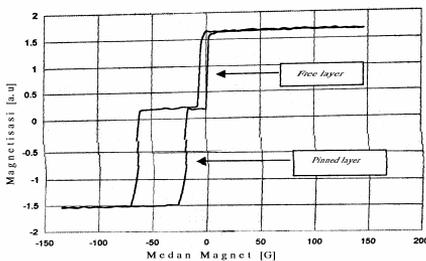
0...30 kA/m merupakan daerah kerja sensor magnet.

Selanjutnya, untuk mengetahui struktur mikro, telah dilakukan analisis dengan menggunakan difraksi sinar X. Pada gambar 5 ditampilkan salah satu hasil pengamatan struktur dengan menggunakan difraksi sinar X tersebut. Berdasarkan rumusan Bragg $2d \sin\theta = n \lambda$, maka akan terdeteksi peak (puncak) karena interferensi konstruktif yang menandakan struktur kristal. Sebaliknya bila struktur lapisan tipis adalah amorph maka tidak akan memberikan puncak-puncak difraksi karena interferensi destruktif.

Data hasil eksperimen yang ditampilkan pada gambar 5 kemudian dicocokkan dengan data literature. Diperoleh struktur kristal dengan orientasi bidang hkl berturut-turut Si(100), NiO(100), CuO(200), NiFe(111), Ni(220), Fe(220),Co(311) dan Cu(311). Dalam hal ini Si berasal dari substrat, Co kemungkinan berasal dari *sputter-chamber*. Terlihat bahwa pertumbuhan kristal yang paling dominan adalah NiFe pada sudut $2\theta=44,0196^\circ$



Gambar 5: Hasil pengamatan struktur dengan menggunakan XRD



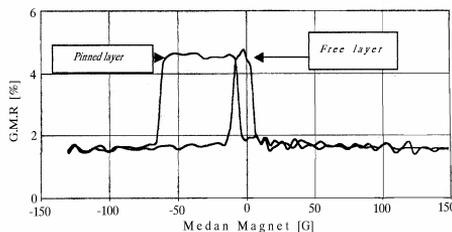
Gambar 6 :Hasil pengukuran sifat magnetik dari sistem NiFe/Cu/NiFe/NiO

Hasil pengukuran sifat magnetik ditampilkan pada gambar 6. Tampak dengan jelas adanya 2 lapisan yang memiliki perbedaan gaya koersitiv, yaitu *free layer* NiFe I dan *pinned layer* NiFe II masing-masing dengan $H_c=5$ G dan $H_c=50$ G. Lapisan NiFe kedua tergeser sebesar 40 G akibat dari lapisan antiferromagnetik NiO yang mengunci lapisan ferromagnetik tersebut. Lapisan pertama yang lebih *soft* yang dihasilkan dengan parameter sputtering tertentu, kemungkinan bisa diaplikasikan sebagai sensor medan magnet. Kelemahannya disini tampaknya adalah H_c yang terlalu kecil yang membentuk sistem *spin-valves*, bukan *pseudo* karena adanya interaksi antar lapisan, indikasinya tampak pada timbulnya pergeseran kurva.

Untuk memperbesar gaya koersitiv tersebut mungkin bisa ditempuh dengan mengurangi ketebalan, tetapi kerugiannya adalah M_s yang menurun sehingga akan mengurangi sensitivitas sebagai sensor/5/.

Berdasarkan pengukuran sifat magnetik, medan yang relatif kecil 50 Oe dalam sistem sputtering mampu membentuk *easy-axis* yang sejajar dengan H dan *hard-axis* yang tegak lurus bidang lapisan tipis. Pada aplikasinya dalam sistem *spin-valves* FeNi/Cu/NiFe/NiO, terjadi pergeseran gaya koersitiv FeNi dari lapisan tunggalnya. Dengan demikian terjadi kopling interaksi antara kedua lapisan tipis. Pengamatan *Magnetoresistance* Gambar 7 menunjukkan ketergantungan tahanan *spin-valves* dari medan magnet terpasang. Hal tersebut bisa dijelaskan dengan model spin yang terorientasi parallel dan antiparallel terhadap arah magnetisasi, yaitu *spin-up* dan *spin-down* yang jelas memberikan kontribusi pada efek medan magnet luar terhadap pergeseran pita d, sehingga menyebabkan proses hamburan, menyebabkan perubahan konduktivitas logam, terutama logam peralihan (3d), juga dalam kaitannya dengan

teori RKKY. Besarnya maksimal perubahan tahanan listrik akibat dari medan luar adalah hampir sama untuk kedua lapisan, yaitu sekitar 4,5%. Teramati sifat yang tidak simetris terutama pada lapisan pinned layer terhadap medan luar, sesuai dengan kurva histerisis yang tergeser oleh lapisan antiferromagnetik. Dengan menggunakan Cu sebagai spacer, menunjukkan munculnya efek antisimetris dari efek GMR tersebut yang kemungkinan disebabkan oleh anisotropi yang terjadi pada saat pertumbuhan thin film. Sifat tersebut diperkuat oleh adanya pengaruh medan luar H sebesar 50 Oe pada saat preparasi untuk membentuk EA pada arah *in-plane*. Noise teramati yang besarnya sekitar 5% dari sinyal bukan berasal dari efek GMR melainkan dari sistem instrumen atau dari getaran mekanik diluar sistem pengukuran. Dari gambar 6 diperoleh indikasi bahwa system lapisan ini bisa diaplikasikan untuk sensor pada medan rendah sampai dengan 50 gauss, sesuai dengan range medan, yang menghasilkan perubahan tahanan terbesar dari *pinned layer*.



Gambar 7: Hasil pengukuran efek GMR

KESIMPULAN

Pengukuran MR pada lapisan *free-layer* memperlihatkan ketergantungan pada medan luar yang menunjukkan keterkaitannya dengan sistem lapisan tipis yang membentuk susunan *top-spin-valve*. Pada aplikasinya dalam sistem *top-spin-valve* ini lapisan FeNi/Cu/NiFe/NiO, terjadi pergeseran gaya koersitiv FeNi dari lapisan tunggalnya.

Dengan demikian terjadi kopling interaksi antara kedua lapisan tipis. Pengamatan *Magnetoresistance* menunjukkan ketergantungan tahanan *spin-valves* dari medan magnet terpasang, tergantung dari orientasi relatif antara *free layer* dengan *pinned layer*, menghasilkan efek GMR antara 0...4,5 %. Hasil ini memungkinkan aplikasi di bidang sensor magnetik pada daerah medan antara 0 sampai 30 kA/m. Sedangkan untuk medan rendah aplikasi ini berada pada daerah 0...50 gauss. Hal tersebut bisa dijelaskan dengan model spin yang terorientasi parallel dan antiparallel terhadap arah magnetisasi, yaitu *spin-up* dan *spin-down* yang memberikan kontribusi efek hamburan (*scattering*) yang berbeda pada efek medan magnet luar terhadap pergeseran pita d, sehingga menyebabkan proses hamburan dengan *cross section* yang bersifat *spin-dependent*, menghasilkan perubahan konduktivitas logam, khususnya sistem lapisan tipis yang membentuk *spin-valve*.

DAFTAR PUSTAKA

1. L. BAIBICH, M. URBANIAK, T. LUCINSKI, *Molecular Physics Reports*, 21,167, 1988
2. KIENEL, G., FREY. H.; *Dünnschichttechnologie*; VDI Verlag, Düsseldorf, 1996.
3. P.GRUENBERG, R.SCHREIBER, *Phys. Rev. Letters*, 5,2442,1999.
4. W.CLEGG et.al, *Some aspects of Thin Film Magnetoresistive Sensors*, Proceeding of the 2 nd International Conference on Physics of Magnetic Materials, Polandia 17-22 Setember 2000.
5. S.TUMASKI, *Thin Films Magnetoresistive Sensors*, ed Institute of Physics Publishing, Philadelphia, 2002.
6. A.FERT, F.PETROFF, *Oscillatory interlayer coupling and Giantmagnetoresistance in Co/Cu multilayer*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 94, L1-L5, 1997.