Jurnal Sains Materi Indonesia
Indonesian Journal of Materials Science

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 54 - 58
ISSN : 1411-1098

EFEK GMR (*GIANT MAGNETORESISTANCE*) PADA LAPISAN TIPIS MAGNETIK FeSiAl YANG DIHASILKAN DENGAN TEKNIK *SPUTTERING*

Yunanto, Trimardji Atmono dan Sudjatmoko
Puslitbang Teknologi Maju (P3TM) - BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 8, Yogyakarta

ABSTRAK

EFEK GMR (*GIANT MAGNETORESISTANCE*) PADA LAPISAN TIPIS MAGNETIK FeSiAl YANG DIHASILKAN DENGAN TEKNIK *SPUTTERING*. Telah dilakukan pembuatan lapisan tipis FeSiAl dengan, metoda *pin hole* menggunakan teknik RF *sputtering*. Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat lapisan tipis magnetik yang terdiri dari bahan magnetik, nonmagnetik dan semikonduktor yang mempunyai sifat *GMR*. Senyawa FeSiAl diperoleh dengan menggunakan metoda *pin hole*, dimana metoda ini lebih sederhana dibandingkan dengan.metoda multi *layer* maupun target paduan. Target *pin hole* Si, Al dan dan target utama Fe, ditembaki dengan ion argon berasal dari gas argon yang telah terionisasi oleh tegangan RF. Penelitian efek *GMR* dilakukan dengan mengukur tahanan lapisan tipis magnetik dengan ohm meter menggunakan metoda *probe* empat titik, sebagai fungsi medan magnet luar. Analisis unsur dilakukan dengan menggunakan metoda Analisa Reaksi Inti. Dari hasil pengukuran yang dilakukan didapatkan hasil efek *GMR* yang paling baik dengan nisbah GMR 34 %. Perubahan tahanan lapisan tipis paling besar dari 7,551 ohm menjadi 2,567 ohm terjadi pada kuat medan magnet 0 gauss sampai dengan 60 gauss Parameter yang menghasilkan efek GMR paling baik timbul pada perbandingan komposisi unsur Fe 83:%, Si 6 %, Al 7 %, daya RF 185 watt, tekanan $9x10^{-2}$ torr dan waktu deposisi 30 menit.

Kata kunci : RF *sputtering*, lapisan tipis magnetik

ABSTRACT

THE GMR (GIANT MAGNETORESISTANCE) EFFECT OF MAGNETIC THIN FILM FeSiAl PREPARED WITH PINHOLE METHODE BY USING SPUTTERING TECHNIQUE. The preparation of magnetic thin film FeSiAl with pinhole methode by using RF sputtering technique has been done. The aim of the research was to prepair the magnetic thin film which consist of magnetic, non magnetic material and semiconductor having GMR properties. The preparing of the sample with the pin hole methode was simple compared to the system multi layer and also to the system alloy of material target. The pin hole target Si, Al and the main target Fe, the were bombarded with argon ion from ionized plasma discharged by RF voltage. The research of GMR effect was done through the measurement of the resistance of magnetic thin film with four point probe methode. Nuclear Reaction Analysis was used to analyze of the element content in thin film. The measurement has showed the GMR effect with GMR ratio of 34 %. The changing of the resistance from 7.551 ohm to 2.567 ohm occured at the range $\pm$ 0 gauss - 60 gauss of magnetic field. The following sputtering parameter produced the best GMR effect : RF power 185 watt, argon pressure of $9x10^{-2}$ torr, and time deposition of 30 minutes as well as the composition of Fe 83 %, Si 6 % and Al 7 %

Key word : RF sputtering, magnetic thin film.

PENDAHULUAN

Pada tahun terakhir ini banyak dilakukan penelitian lapisan tipis magnetik dari bahan magnetik dan bahan nonmagnetik antara lain : Fe/Cr, Fe/Ag, Fe/Ni Selain itu dilakukan juga pembuatan lapisan tipis bahan magnetik dan semikonduktor yang memperlihatkan sifat gandengan magnetik yang istimewa yaitu gandengan tiga lapis Fe/Si/Fe atau Fe/Si multi layer. Lapisan tipis magnetik dapat diaplikasikan antara lain sebagai : sensor medan magnet, transitor magnetik, pembuatan sistem memori komputer, sistem perekam data, kontrol magnetik, trafo frekuensi tinggi dan amplifier magnetik [1,2,3]

Pada pembuatan lapisan tipis magnetik dapat digunakan bahan yang peka terhadap medan magnet yaitu bahan besi yang termasuk feromagnetik dicampur dengan bahan nonmagnetik atau bahan semikonduktor yang tidak peka terhadap perubahan medan magnet. Bahan nonmagnetik atau semikonduktor berfungsi untuk memperbaiki sifat magnet bahan (menambah

permeabilitas), menghilangkan regangan transformasi dan meningkatkan pengendalian orientasi Selain itu menambah sumbangan pada penurunan tahanan, karena akan menimbulkan hamburan potensial pada elektron konduksi. Hamburan ini tidak menimbulkan perbedaan populasi kanal *spin up* dan *spin down* [4,5].

Paduan unsur bahan magnetik, nonmagnetik dan semikonduktor dapat dilakukan dengan deposisi lapisan tipis secara *multi layer* atau menggunakan bahan target yang sudah merupakan *alloy* yang terdiri dari : bahan magnetik, non magnetik dan semikonduktor. Selain itu bisa juga dilakukan dengan sistem *pin hole* yaitu dengan meletakkan bagian dari target *pin hole* di atas target utama. Diameter target *pin hole* ini dibuat jauh lebih kecil dari target utama. Cara terakhir ini dalam pelaksanaanya lebih mudah dilakukan, terutama karena kontrol kompoisisi yang mudah dilakukan yaitu dengan cara variasi cacah *pin hole* [7].

Bahan feromagnetik memberikan respon yang cukup besar bila dikenai medan magnet dan mempunyai magnetitisasi spontan. Magnetisasi spontan ini sudah ada tanpa diberi medan magnet luar. Besar magnetisasi bahan feromagnetik tergantung pada kuat medan magnet yang yang dipasang dan mencapai maksimum bila momen magnetik atom seluruhnya sejajar dengan arah medan magnet [4].

Efek *GMR (Giant Magneto Resistance)* merupakan peristiwa perubahan tahanan yang cukup besar pada struktur lapisan tipis bahan feromagnetik akibat timbulnya perubahan momen magnet relatif terhadap lapisan tipis sebagai fungsi dari kuat medan magnet luar yang mengenai lapisan tipis tersebut. Efek *GMR* ini timbul disebabkan karena spin magnetik elektron bebas dalam merespon medan magnet luar. Spin tersebut mengisi dua keadaan arah yaitu keadaan searah dengan arah medan magnet dan berlawanan dengan medan magnet Keadaan tersebut disebut sebagai keadaan *spin up* dan *spin down*. Perubahan tahanan pada lapisan tipis magnetik ini disebabkan karena pengarahan spin-spin akibat medan magnet luar. Pengarahan spin-spin ini akan mengakibatkan elektron akan mengalami *flip* yang berakibat elektron dengan mudah mengalir (tahanan lapisan tipis magnetik bertambah kecil).

Pembuatan lapisan tipis magnetik dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :teknik evaporasi, teknik CVD, teknik *implantasi* dan teknik *sputtering*. Dalam penelitian ini digunakan cara teknik *sputtering* pada gelombang radio 13,56 MHz. Dalam teknik RF *sputtering* bahan yang dideposisikan pada *substrat* akan dapat merekat dengan kuat, dapat untuk mendeposisikan bahan konduktor, semikonduktor maupun isolator dan laju deposisinya lebih tinggi.

Dalam makalah ini disajikan hasil penelitian tentang pembuatan lapisan tipis magnetik dengan teknik *sputtering*, sebagai *substrat* dipilih bahan kaca. Sedangkan untuk membuat lapisan tipis magnetik dipilih bahan magnetik bahan magnetik, nonmagnetik dan semikonduktor FeSiAl. Selain itu juga dibahas bagaimana pengaruh campuran unsur FeSiAl, daya RF dan waktu deposisi terhadap tahanan lapisan tipis magnetik dan nisbah *GMR* serta komposisi unsur hasil *sputtering*. Tujuan dari penelitian ini adalah pengaruh paduan unsur, daya RF dan waktu deposisi terhadap tahan lapisan tipis dan nisbah *GMR* dan bagaimana komposisi unsur hasil *sputtering*. Selanjutnya diharapkan hasil penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan bahan lapisan tipis magnetik sebagai sensor medan magnet lemah

TATA KERJA

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yang meliputi : penyiapan cuplikan, pendeposisian lapisan tipis, pengukuran nilai tahanan terhadap fungsi medan magnet dan pengukuran kandungan Fe, Si, Al.

Penyiapan Cuplikan dan Target

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini untuk target utama adalah Fe diameter 75 mm tebal 2 mm, sedangkan target *pin hole* adalah Si dan Al berbentuk pelet dengan diameter 10 mm tebal 1 mm Bahan untuk *substrat* adalah kaca, dipotong dengan ukuran 8 mm x 8 mm tebal 1 mm.

Pendeposisian Lapisan Tipis

Peralatan sistem RF *sputtering* yang digunakan terdiri dari : tabung reaktor plasma dengan tiga target Fe, Si dan Al yang disusun secara *pin hole*, pompa vakum rotari, pompa vakum turbo, vakum meter, sumber tegangan RF, rangkaian penyesuai (*matching box*), pendingin target, pendingin sumber RF dan sumber gas argon. Target Fe, Si dan Al diletakkan pada pada katoda, dimana target Fe yang diameternya lebih besar diletakkan dibawah, sedangkan target Si dan Al dengan diameter jauh lebih kecil diletakkan diatas target Fe. Ketiganya berfungsi sebagai katoda di dalam tabung reaktor plasma. *Substrat* kaca diletakkan pada anoda yang terletak berhadap-hadapan dengan katoda pada jarak sekitar 10mm.

Tabung reaktor plasma divakumkan sampai $3x10^{-5}$ torr dengan pompa vakum rotari dan turbo (untuk membersihkan partikel yang tidak dikehendaki), kemudian gas argon dialirkan ke dalam tabung reaktor plasma melalui kran yang digunakan untuk mengatur tekanan gas. Tekanan gas dinaikkan menjadi $5x10^{-2}$ torr. Sumber tegangan RF dihidupkan, sampai gas argon akan terionisasi, ion argon akan menumbuk target Fe, Si. dan Al. Atom Fe, Si dan Al akan terlepas berhamburan meninggalkan target menuju *substrat* dengan tenaga yang berasal dari ion argon.

Untuk mendapatkan senyawa FeSiAl paling baik, maka dilakukan variasi waktu deposisi lapisan tipis FeSi

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 54 - 58
ISSN : 1411-1098

10 menit sampai 30 menit (untuk mendapatkan lapisan tipis FeSiAl paling tebal), variasi daya RF dari 165 watt sampai dengan 185 watt dan variasi perbandingan kandungan Fe, Si dan Al dengan melakukan variasi jumlah target Si dan Al (target *pin hole*) dari 1 buah sampai dengan 5 buah dengan cara selang seling.

Pengujian Efek GMR

Efek *GMR* dapat diketahui dengan mengukur tahanan lapisan tipis magnetik FeSiAl menggunakan *probe* empat titik dan ohm meter, dimana lapisan tipisnya dikenai medan magnet. Medan magnet yang digunakan adalah medan magnet searah dari elektro magnet dengan diameter kutub 10 cm. Kuat medan magnetnya dapat divariasi dari 0 gauss sampai dengan 60 gauss dan polaritas dari medan magnet dapat dibalik dengan membalik polaritas catu dayanya.

Pengamatan Kandungan FeSiAl dengan Analisis Reaksi Inti

Pengamatan unsur FeSiAl yang terdeposisi pada *susbstrat* kaca menggunakan analisis reaksi inti. Cara pengukuran ini sangat sensitif terhadap atom tak murni yang terdeposisi pada suatu bahan. Dalam pengamatan ini atom tak murni yang terdeposisi pada *substrat* diradiasi dengan neutron cepat 14 MeV dari generator neutron dengan waktu tertentu. Selama mengalami radiasi neutron, *substrat* mengalami aktivitas peningkatan nomor massa inti atom, sehingga substrat bersifat radioaktif. Aktivitas ini berlangsung terus tetapi pada suatu saat terjadi aktivitas jenuh. Pada kondisi ini tidak akan terjadi peningkatan nomor massa inti atom meskipun radiasi berlangsung terus. Setelah berakhirnya proses aktivasi *substrat* yang telah bersifat radioaktif akan mengalami peluruhan dengan memancarkan sinar gamma. Tenaga sinar gamma yang dipancarkan menunjukkan nomor massa unsur *substrat*. Sinar gamma ini dianalisis menggunakan spektrometer gamma. Untuk unsur Fe mempunyai tenaga 846,9 KeV, Si 1.765,2 KeV dan Al 1.025,3 KeV.

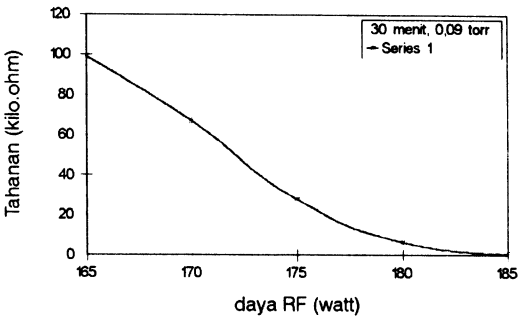
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pengaruh medan magnet terhadap tahanan lapisan tipis magnetik dan hasil pengamatan analisis unsur yang menyebabkan efek *GMR* yang paling baik disajikan pada Tabel 1., Gambar 1, 2, 3, 4 dan 5.

Dari data Tabel 1. menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah target *pin hole* Si akan menaikkan tahanan lapisan tipis. Hal ini disebabkan karena bahan Si (ekstrisik) termasuk bahan semikonduktor yang mempunyai tahanan yang besar sebelum diberi suatu pengotor. Dengan demikian dengan bertambahnya jumlah atom Si yang terdeposisi pada *substrat* maka akan semakin menaikkan tahanan lapisan tipis FeSiAl. Sebaliknya semakin banyak target *pin hole* Al akan menurunkan tahanan. Hal ini disebabkan karena bahan Al mempunyai tahanan jenis yang lebih kecil dari Fe dan Si. Selain itu atom Al dapat memperkecil tahanan Si (sebagai pengotor). Dengan bertambahnya atom Al yang terdepsosi pada *substrat* maka akan meurunkan tahanan lapisan tipis.

Tabel 1. Hubungan antara jumlah target *pin hole* dengan tahanan lapisan tipis

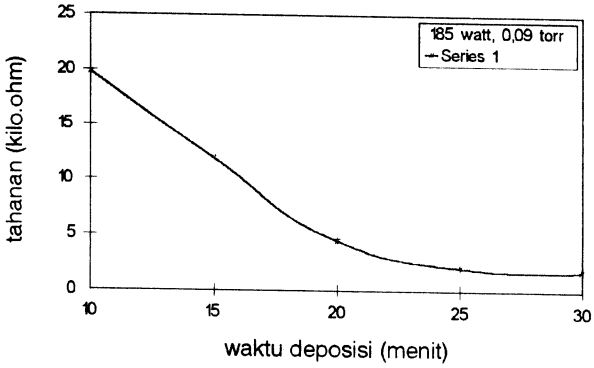
No	UNSUR *PIN HOLE*	TAHANAN (K.OHM)
1	1 Si, 1 Al	1,840
2	2 Si, 2 Al	2,123
3	3 Si, 3 Al	7,5416
4	4 Si, 4 Al	21,232
5	1 Si, 3 Al	1,765
6	1 Si, 5 Al	1,698



Gambar 1. Grafik hubungan antara daya RF dengan tahanan lapisan tipis

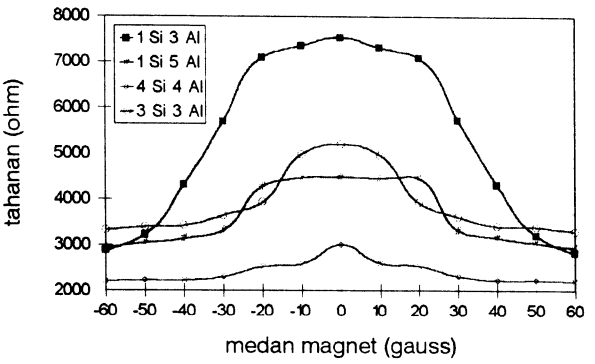
Gambar 1 menyajikan grafik hubungan antara daya RF dengan tahanan lapisan tipis, dimana dengan naiknya daya RF maka tahanan lapisan tipis cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena dengan naiknya daya RF, maka tenaga kinetik ion argon makin besar, sehingga atom target lebih banyak yang terlepas dengan tenaga yang lebih tinggi. Dengan waktu deposisi yang sama akan menghasilkan lapisan tipis yang lebih banyak. Pada akhirnya lapisan tipis yang terbentuk semakin tebal yang menyebabkan tahanan lapisan tipis semakin kecil, karena tempat untuk mengalir elektron semakin besar.

Gambar 2 menyajikan grafik hubungan antara waktu deposisi dengan tahanan lapisan tipis, dimana dengan bertambahnya waktu deposisi maka tahanan lapisan tipis cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya waktu deposisi maka semakin banyak senyawa FeSiAl yang terdeposisi pada substrat, sehingga lapisan tipis semakin tebal. Senyawa FeSiAl yang terdeposisi akan menempati tempat kosong pada batas butir, sehingga kerapatan senyawa FeSiAl di sekitar permukaan semakin bertambah. Dengan demikian akan mempermudah elektron untuk melewati lapisan tipis tersebut, mobilitasnya naik sehingga tahanannya turun.



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu deposisi dengan tahanan lapisan tipis

Gejala *GMR* adalah perubahan tahanan lapisan tipis magnetik karena pengaruh medan magnet luar, disajikan seperti pada Gambar 3. Terlihat watak simetris hubungan kuat medan magnet dengan tahanan lapisan tipis dari - 60 gauss sampai dengan + 60 gauss untuk berbagai macam kondisi parameter. Watak simetris ini menunjukkan bahwa bahan magnet yang berasal dari bahan magnetik Fe merupakan besi lunak yang remanensinya kecil, sehingga sewaktu dikenai medan magnet orientasi spinnya sejajar tetapi setelah medan magnet hilang maka spin akan tidak teratur lagi (acak). Nilai maksimum tahanan lapisan tipis berada simetris disekitar B = 0. Tahanan lapisan tipis pada saat B = 0 disebabkan karena ketidak teraturan spin dalam bahan lapisan tipis yang berasal dari hamburan tukar.

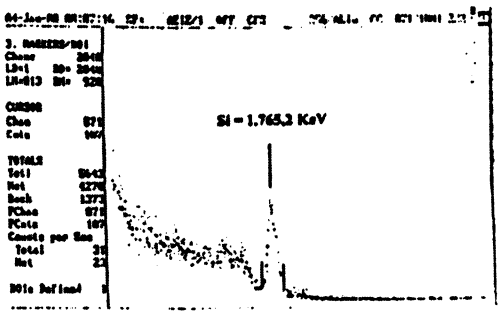


Gambar 3. Grafik hubungan antara kuat medan magnet dengan tahan lapisan tipis

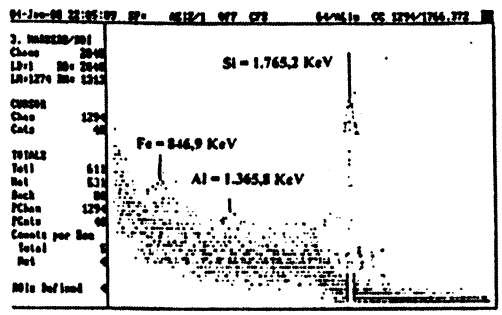
Pada penelitian ini medan magnet dikenakan tegak lurus pada lapisan tipis untuk mendapatkan perubahan tahanan yang besar. Medan magnet luar dipasang tegak lurus mengenai lapisan tipis, maka ketidak teraturan spin akan berkurang, sehingga akan mulai menurunkan tahanan. Penurunan tahanan lapisan tipis selain dipengaruhi oleh medan magnet luar juga dipengaruhi oleh hamburan potensial pada elektron konduksi yang disebabkan karena pengaruh pengotor non magnetik Si dan Al. Penurunan tahanan ini akan mencapai maksimum bila spin magnetik dalam keadaan teratur (sejajar). Dengan demikian mulai saat itu peningkatan medan magnet tidak lagi berpengaruh terhadap penurunan tahanan lapisan tipis.

Penurunan tahanan lapisan tipis mulai terjadi bila keteraturan arah spin semakin meningkat. Keteraturan arah spin pada berbagai kompoisisi campuran unsur dan ketebalan lapisan tipis terbentuk akan berlainan. Untuk *substrat* yang mempunyai arah spin yang mempunyai keteraturan yang lebih baik akan lebih peka terhadap perubahan medan magnet, tetapi nisbah *GMR* nya lebih rendah karena perubahan arah spin hanya sedikit. Hal ini terjadi pada *substrat* dengan komposisi 1 Si 3 Al, sedangkan *substrat* dengan komposisi 3 Si 3 Al kurang peka terhadap perubahan medan tetapi mempunyai efek *GMR* paling besar.. Keteraturan arah spin tergantung juga pada komposisi campuran unsur bahan magnetik, nonmagnetik dan semikonduktor FeSiAl dan juga ketebalan lapisan tipis. Perbandingan komposisi FeSiAl juga mempengaruhi *coupling* antara unsur bahan FeSiAl. Selain itu unsur Si akan meningkatkan *permeabilitas* lapisan tipis sehingga akan meningkatkan kepekaan terhadap perubahan medan magnet yang lemah sekalipun[3].

Untuk mengetahui unsur yang terdeposisi pada *substrat* kaca maka lapisan tipis yang yang terdeposisi pada *substrat* kaca diamati dengan Analisis Reaksi Inti. Pengamatan dilakukan sebelum dan sesudah *substrat* kaca dideposisi dengan lapisan tipis, hal ini karena *substrat* kaca sebagian besar unsurnya adalah Si. Pada Gambar 4. disajikan spektrum tenaga dari Si pada *substrat* kaca (tanpa lapisan tipis), unsur Si nya mencapai 61 %. Untuk mengetahui prosentase lapisan tipis FeSiAl yang terdeposisi pada *substrat* dibuat *substrat* standar dari bahan murni dari Fe, Si dan Al. Ketiga bahan ini dicampur dan diamati cacahnya untuk masing-masing unsur.



Gambar 4. Spektrum dari tenaga unsur Si pada substrat kaca tanpa lapisan tipis



Gambar 5. Spektrum dari tenaga unsur FeSiAl dari Analisa Reaksi Inti

Volume 3 No. 2, Pebruari 2002, hal : 54 - 58
ISSN : 1411-1098

Dengan membandingkan cacah dari bahan standar dan lapisan tipis FeSiAl maka dapat diketahui prosentase kandungan FeSiAl.

Pada Gambar 5 menyajikan spektrum dari Analisis Reaksi Inti yang menunjukkan puncak tenaga dari unsur Fe pada tenaga 846,9 KeV, Si pada tenaga 1765,2 KeV dan Al pada tenaga 1025,3 KeV yang terdeposisi pada *substrat* kaca. Pada spektrum dapat ditentukan kandungan Fe 83 %, Si 6 % dan Al 7 %. Pemilihan *substrat* yang diamati unsurnya ini dipilih yang menghasilkan efek *GMR* yang paling baik.

KESIMPULAN

Dengan menggunakan metoda target *pin hole* Si dan Al di atas target utama Fe dengan sistem *sputtering* pada frekuensi radio 13,56 MHz telah berhasil dibuat lapisan tipis magnetik FeSiAl yang menunjukkan gejala *GMR*. Parameter yang berpengaruh adalah : daya RF yaitu dengan meningkatnya daya akan memberikan efek penurunan tahanan dari 99,912 ohm pada daya 165 watt sampai 1,880 ohm pada daya 185 watt. Waktu deposisi juga menentukan besarnya tahanan lapisan tipis FeSiAl yaitu turun dengan bertambahnya waktu deposisi, karena pengaruh langsung pada ketebalan. Diperoleh tahanan lapisan tipis 21,102 ohm untuk waktu deposisi 10 menit dan 1,123 ohm untuk waktu deposisi 30 menit. Nisbah *GMR* paling besar yaitu 34 % diperoleh pada daya 185 watt, tekanan $9x10^{-2}$ torr, waktu deposisi 30 menit. Efek *GMR* tesebut teramati pada komposisi unsur target Fe 83 %, Si 6 % dan Al 7 %.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih pada Sdr, Giri Slamet yang telah membantu membuat dan mengkarakterisasi lapisan tipis FeSiAl. Demikian juga kepada Sdri. Ir. Elin Nuraini yang telah mengerjakan pengamatan komposisi unsur dengan Analisis Reaksi Inti.

DAFTAR ACUAN

[1]. M. N. BAIBICH et al, "Giant Magnetoresistance of (001)Fe(001)Cr Magnetic Superlattices", *Physical Review Letter*, **61** (21) (1984) 2472-2475

[2]. YASUSHI ENDO, OSAMU KITAKAMI, YUTAKA SHIMADA, "Measurement of Perpendicular Giant Magnetoresistance of Fe/Si Superlattice", *Appl Phys Left* **72** (4) (1998).

[3]. TATA SURDIA, SHINRABU SAITO, *Pengetahuan bahan Teknik*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, (1992).

[4]. C. KITTEL, *Introduction to Solid State Physics*, John Weley and Son, New York, (1986).

[5]. C. LOCH,"Struktur und thermishe Stabilitat von Spin Valve Systemen", Thesis Doktor GhK-Universtt, FB Physik, Kassel-Germany, (1999).

[6]. KONUMA, *Thin Film Deposition by Plasma Techniques*, Springer Verlag, Berlin, (1992).

[7]. KIYOTAKA W, SHIGER H, *Handbook Sputter Deposition Technology*, Noyes Publication, New Yersey, (1991)