

## Pengaruh Ketebalan Lapisan Antiferomagnetik pada Sifat Magnetik Lapisan Tipis *Spin Valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe

Yenni Darvina<sup>1\*</sup>, Ramli<sup>1</sup>, Yulkifli<sup>1</sup> dan Mitra Djamal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, Institut Teknologi Bandung

\*ydarvina@yahoo.com

**Abstrak.** Beberapa tahun belakangan ini, material *giant magnetoresistance* (GMR) berstruktur *spin valve*, telah banyak digunakan dalam divais perekam magnetik dan sensor medan magnet dengan sensitivitas tinggi [1]. Struktur dasar dari GMR *spin valve* terdiri dari lapisan pengunci antiferomagnetik, dua lapisan feromagnetik yang dipisahkan oleh lapisan pemisah non magnetik. Lapisan antiferomagnetik digunakan untuk mengunci magnetisasi pada satu lapisan feromagnetik melalui pertukaran anisotropi. Telah dilakukan penumbuhan lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* FeMn/NiCoFe /Cu/NiCoFe dengan metode *dc opposed target magnetron sputtering* di atas substrat silikon. Lapisan tipis GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe /Cu/NiCoFe ditumbuhkan dari bahan target *sputtering* yaitu NiCoFe, Cu dan FeMn. Pembuatan target NiCoFe, Cu dan FeMn dengan reaksi padatan. Komposisi molar target Ni:Co:Fe = 60:30:10 sedangkan komposisi molar target FeMn adalah 50:50. Parameter-parameter penumbuhan adalah temperatur 100<sup>0</sup>C, tegangan 600 volt, laju aliran gas Ar 100 sccm, dan tekanan 0.52 Torr. Lapisan tipis GMR *spin valve* tersebut dikarakterisasi dengan SEM, VSM dan pengukuran rasio magnetoresistansi. Ketebalan NiCoFe dan Cu berturut-turut adalah 47,5 nm dan 14,4 nm. Diperoleh bahwa rasio GMR maksimum sebesar 32,5% pada ketebalan lapisan antiferomagnetik 45,0 nm. Ketika medan magnet dibalik (arah negatif), efek *magnetoresistance* tidak terjadi, hal ini disebabkan oleh lapisan antiferomagnetik FeMn yang hanya melewati satu arah magnetisasi. Ketebalan lapisan FeMn juga berpengaruh pada medan magnet saturasi dan medan koersif dari material GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe. Dalam paper ini akan dipaparkan pengaruh ketebalan lapisan antiferomagnetik FeMn terhadap sifat magnetik dari material GMR *spin valve* FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe.

**Kata Kunci:** antiferomagnetik, *giant magnetoresistance*, feromagnetik, *spin valve*, *sputtering*.

### PENDAHULUAN

Secara umum, *magnetoresistance* didefinisikan sebagai perubahan resistansi sampel/material 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. Sehingga efek *magnetoresistance* dapat digunakan untuk membuat sensor medan magnet. Dalam beberapa dekade terakhir,

sensor magnetik baru berbasis efek *magnetoresistance* ini sangat intensif diteliti dan dikembangkan [1,2,3]. Respon dari divais magnetoresistive diungkapkan dalam persentase rasio *magnetoresistance* (MR) yaitu:

$$MR(\%) = \frac{\Delta R}{R} \times 100\%, \quad (5)$$

dengan  $R$  adalah resistansi,  $\Delta R$  adalah perubahan resistansi divais di dalam medan



magnet. Material yang memiliki nilai MR yang sangat besar dinamakan dengan material *giant magnetoresistance* (GMR).

Fenomena GMR telah menarik perhatian besar para peneliti sehingga menjadi sebuah area penelitian terapan yang luas saat ini. Dalam waktu relatif singkat, penerapannya mulai terlihat dalam bentuk perbaikan divais memori dan sensor. Area penelitian yang menarik tersebut, dinamakan dengan “spintronics”. *Spintronic* adalah fenomena berdasarkan pengaruh spin pada transportasi elektron dalam material feromagnetik. Pengembangan divais *spintronic* ini dipicu oleh penemuan GMR yang menyediakan divais dengan konsumsi daya lebih rendah [4]. Beberapa divais yang bekerja berdasarkan fenomena GMR telah dan sedang dikembangkan seperti: sensor medan magnet [5,6], memori *non-volatile* [7,8] dan perekaman magnetik pada *hard disk drive* [9].

Dalam *hard disk drive* (HDD) berbasis perekam magnetik seperti sensor GMR, informasi disimpan pada daerah yang telah termagnetisasi dalam sebuah film tipis. Transisi di antara daerah-daerah serupa menyatakan suatu “bit” yang akan dideteksi oleh sebuah “read head” pada HDD. Jumlah bit persatuan luas dinamakan dengan “areal density”. Semenjak tahun 1990-an *areal density* ini meningkat secara dramatis, dengan *compound growth rate* (CGR) meningkat sampai 100% [10]. Diperkirakan pada tahun 2015, *areal density* HDD akan mencapai 10 Tb/in<sup>2</sup>, dimana saat ini *areal density* 1 Tb/in<sup>2</sup> sudah tersedia di pasaran [11]. Ketersediaan media penyimpanan data yang besar seperti HDD dengan konsumsi daya yang rendah serta ukuran yang kecil, menuntut pengembangan sensor medan magnet berbasis GMR menjadi intensif dilakukan.

Dua divais yang familiar digunakan dalam HDD yakni *spin valve* GMR dan *magnetic tunnel junction* (MTJ). MTJ

terdiri dari dua lapisan feromagnetik dipisahkan oleh lapisan penghalang insulator sangat tipis (beberapa nanometer). Arus listrik mengalir melalui penghalang melalui efek terobosan (*tunnelling*). Fenomena ini dinamai juga dengan *Tunnelling Magnetoresistance* (TMR). Dalam paper ini akan dibahas tentang *spin valve* GMR dengan material FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe serta studi tentang pengaruh ketebalan lapisan FeMn terhadap sifat magnetiknya..

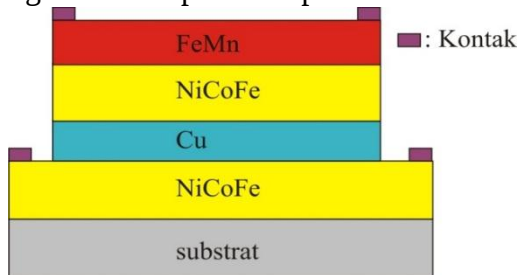
## METODE PENELITIAN

Metode penumbuhan yang digunakan adalah *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering* (dc-OTMS). Target *sputtering* terdiri dari NiCoFe, Cu dan FeMn. Pembuatan masing-masing target dengan reaksi padatan. Komposisi molar target NiCoFe adalah Ni:Co:Fe = 60:30:10, sedangkan komposisi molar FeMn adalah Fe:Mn = 50:50. Target yang dihasilkan selanjutnya di-sintering dalam kapsul *pirex*. Substrat yang digunakan adalah silikon, Si (100).

Lapisan tipis *spin-valve* GMR ditumbuhkan dengan parameter penumbuhan yakni; laju aliran gas Argon 100 sccm, tekanan deposisi 0,54 Torr, tegangan plasma 600 volt dan temperatur penumbuhan 100°C. Ketebalan lapisan pengunci FeMn divariasikan; 30, 45, dan 60 nm. Sedangkan ketebalan NiCoFe dan Cu dibuat tetap yaitu berturut-turut adalah 47,5 nm dan 14,4 nm. Lapisan tipis GMR berstruktur *spin valve* ini dioptimasi dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya [12,13]. Struktur lapisan tipis *spin valve* GMR tersebut diperlihatkan dalam Gambar 1.

Lapisan tipis *spin valve* GMR dikarakterisasi dengan scanning electron microscope (SEM), energy dispersive x-ray (EDX), vibrating sample magnetometer

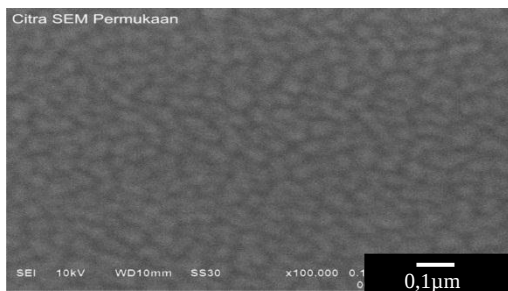
(VSM) dan pengukuran magnetoresistansi dengan metode probe empat titik.



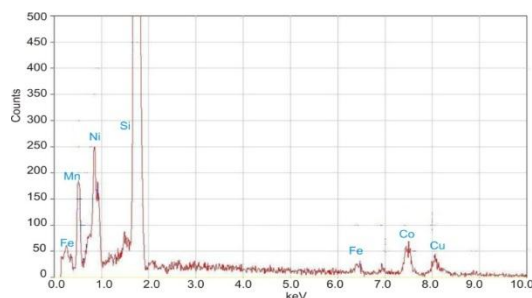
Gambar 15. Struktur *spin valve* GMR

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe telah berhasil ditumbuhkan dengan metode dc *Opposed Target Magnetron Sputtering* di atas substrat silikon. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil SEM dalam Gambar 2 dan EDAX pada Gambar 3.



Gambar 16. Citra SEM permukaan lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe. Perbesaran 100.000 kali dan ketebalan FeMn 45 nm.



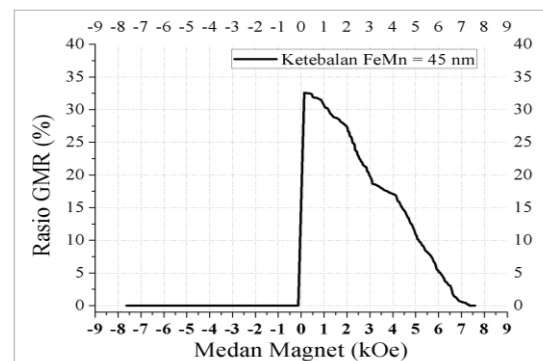
Gambar 17. Spektrum EDAX lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe untuk ketebalan FeMn 45 nm. Puncak-

puncak dalam gambar berhubungan dengan unsur-unsur Ni, Co, Cu, Fe, Mn dan Si.

Dalam Gambar 2 terlihat lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe memiliki morfologi permukaan yang homogen. Penumbuhan lapisan tipis dengan metode sputtering, memiliki struktur mikro yang bersesuaian dengan suhu penumbuhan terhadap titik leleh material target sputtering-nya. Dalam model zona Thornton [14], penumbuhan *spin valve* GMR ini berada pada zona I ( $0 < T_s/T_m < 0,2$ ;  $T_s$  adalah suhu penumbuhan,  $T_m$  adalah titik leleh) yang mana penumbuhan pada zona ini menghasilkan struktur butiran batangan yang relatif homogen sepanjang ketebalan film. Sedangkan dalam Gambar 3 terlihat bahwa puncak-puncak intensitas berhubungan Fe, Co, Cu Ni, Mn, dan Si sebagai unsur-unsur penyusun lapisan tipis FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe.

Lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe memperlihatkan efek *giant magnetoresistance* dengan rasio GMR maksimum sebesar 32,5% pada ketebalan FeMn 45 nm [13]. Kurva rasio GMR terhadap medan magnet yang dipakaikan diperlihatkan dalam Gambar 4.

Pada material GMR berstruktur *spin valve*, lapisan antiferomagnetik bertindak sebagai pengunci “pinning” arah magnetisasi dalam lapisan feromagnetik di atas atau dibawahnya melalui pertukaran anisotropi (exchange anisotropy).

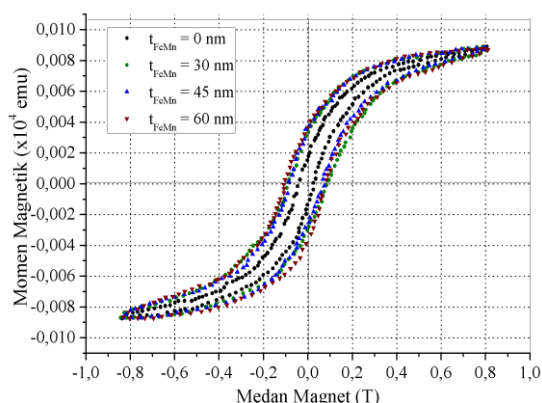


Gambar 18. Kurva rasio GMR terhadap medan magnet yang dipakaikan dari lapisan tipis *spin valve* GMR untuk ketebalan FeMn 45 nm

Material FeMn telah digunakan secara eksperimental sebagai lapisan antiferomagnetik, karena FeMn memiliki resistivitas permukaan yang besar ( $\rho_{\text{FeMn}} = 95 \mu\Omega \text{ cm}$ ) [15].

Ketika lapisan antiferomagnetik FeMn di tambahkan ke dalam sistem NiCoFe/Cu/NiCoFe, medan koersifnya menjadi bertambah dibandingkan dengan tanpa lapisan FeMn, seperti terlihat dalam Gambar 5. Selanjutnya, medan koersif  $H_c$ , berkurang dengan bertambahnya ketebalan lapisan antiferomagnetik,  $t_{\text{FeMn}}$ . Diperoleh besarnya medan koersif adalah; 0,1 T, 0,09T dan 0,08T masing-masing untuk ketebalan lapisan FeMn berurutan adalah; 30 nm, 45 nm dan 60 nm.

Interaksi pertukaran pada antarmuka dari lapisan feromagnetik (FM) dengan lapisan antiferomagnetik (AFM) menghasilkan beberapa sifat magnetik yang menarik, seperti pergeseran loop histeresis dan penambahan medan koersif [16]. Hasil-hasil eksperimen menunjukkan penambahan medan koersif akan berkurang seiring dengan bertambahnya ketebalan lapisan antiferomagnetik. Sedangkan, pergeseran loop histeresis berhubungan dengan medan pertukaran bias yang berbanding terbalik dengan tebal lapisan antiferomagnetik [17].



Gambar 19. Kurva histeresis lapisan tipis FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe untuk ketebalan lapisan antiferomagnetik FeMn; 0, 30, 45 dan 60 nm.

## KESIMPULAN

Telah dilakukan penumbuhan lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe dengan metode *dc-Opposed Target Magnetron Sputtering*. Pemberian lapisan antiferomagnetik FeMn pada sistem lapisan tipis NiCoFe/Cu/NiCoFe akan menambah medan koersif. Selanjutnya, ketebalan lapisan antiferomagnetik FeMn mempengaruhi medan koersif, dimana medan koersif berkurang dengan semakin tebalnya lapisan FeMn. Studi selanjutnya, akan dilakukan pengamatan terhadap perilaku magnetik lapisan tipis *spin valve* GMR FeMn/NiCoFe/Cu/NiCoFe dalam beberapa temperatur yang bervariasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada DP2M Dikti Depdiknas Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Hibah Bersaing tahun 2013.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Fert, (2008). Nobel Lecture: Origin, development, and future of spintronic, *Rev. Mod. Phys.*, Vol. 80, Issue 4, p.1517-1530
- B. Dieny, V.S. Speriosu, S.S.P. Parkin, B.A. Gurney, D.R. Wilhoit, and D. Mauri, (1991), Giant Magnetoresistive in Soft Ferromagnetic Multilayers, *Phys. Rev. B.* Vol. 43, Issue 1, January, 1991, p.1297-1300.
- C. Reig, M.D.C. Beltran, and D.R. Munoz. (2009). Magnetic Field Sensors Based on Giant Magnetoresistance (GMR) Technology: Application in Electrical



- Current Sensing, *Sensors* Vol 9. 2009 p. 7919-7942.
- G. C. Han, J. J. Qiu, L. Wang, W. K. Yeo, and C. C. Wang. (2010). Perspectives of Read Head Technology for 10 Tb/in<sup>2</sup> Recording. *IEEE Trans. Mag.* Vol. 46. Issue 3, March 2010 p. 709-714.
- G.W. Fernando. (2008), *Metallic Multilayers and their Applications*, Elsevier B.V, Amsterdam, p.1-8.
- J. Daughton, J. Brown, R. Beech, A. Pohm, and W. Kude. (1994). Magnetic Field Sensors Using GMR Multilayer, *IEEE Trans. Magn.*, Vol.30, (1994) p. 4608-4610.
- M. D. Stiles and R. D. McMichael, (2001), Coercivity in Exchange Bias Bilayers, *Phys. Rev. B* Vol. 63, Issue 6, January 2001, 064405.
- P. Clarke. (1998). Non-volatile RAM designed with magnetic spin valves. *Electronic Engineering Times*; July 20, 1998; 1017. p. 59.
- P. Grundberg and K. Takanashi. (2010), Spintronics: towards devices with lower energy consumption, Proceeding of 10<sup>th</sup> IEEE International Conference on Nanotechnology Joint Symposium with Nano Korea, KINTEX– Korea. August 17-20, 2010.
- P.B. Barna, and M. Adamanik, (1998), Fundamental Structure Forming Phenomena of Polycrystalline Films and The Structure Zone Models, *Thin Solid Films*, Vol. 317, Issue 1-2, April 1998, p. 27-33.
- Q. Zhan, W. Zhang, and K.M. Krishnan, (2011), Antiferromagnetic Layer Thickness Dependence of the Magnetization Reversal in the Epitaxial MnPd/Fe Exchange Bias System, *Phys. Rev. B* Vol. 83, Issue 9, March 2011, 094404.
- R. Wood. (2009). Future hard disk drive systems, *J Magn Magn Mater* Vol. 321 issue 100, p. 555-561
- Ramli, M. Djamal, F. Haryanto, S. Viridi, and Khairurrijal. (2012). Giant Magnetoresistance in (Ni<sub>60</sub>Co<sub>30</sub>Fe<sub>10</sub>/Cu) Trilayer Growth by Opposed Target Magnetron Sputtering, *Advanced Materials Research*, Vol. 535-537, June 2012, p.1319-1322
- Ramli, Y. Darvina, Yulkifli, A. Hartono, R. Wirawan, W. Indrasari, Khairurrijal dan M. Djamal. (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.
- S. Tehrani, E. Chen, M. Durlam, T. Zhu, and H. Goronlun, (1996). High Density Nonvolatile Magnetoresistive RAM, *Proceeding International Electron Devices Meeting* (IEDM'96), December 8-11, 1996.
- S. Tumanski. (2001), *Thin Film Magnetoresistive Sensors*, Institute of Physics Publishing, Bristol, p. 165-168.
- T. Shinjo. (2009). *Nanomagnetism and Spintronics*, Elsevier, Oxford, p. 1-13.

