

PROPERTI LISTRIK DAN MAGNETIK LAPISAN TIPIS NANOKOMPOSIT Fe-C/Si(100)

Yunasfi, Mashadi dan Saeful Yusuf

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspipstek, Serpong 15314, Tangerang Selatan
e-mail: yunasfi@gmail.com

ABSTRAK

PROPERTI LISTRIK DAN MAGNETIK LAPISAN TIPIS NANOKOMPOSIT Fe-C/Si(100). Telah dilakukan karakterisasi properti listrik dan magnetik lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si(100). Bahan nanokomposit Fe-C dibuat dari campuran serbuk grafit dan Fe dalam berbagai variasi persen berat Fe (1% berat hingga 3 % berat Fe) dengan teknik *High Energy Milling (HEM)* selama 50 jam. Setelah serbuk campuran Fe-C dikompaksi dengan mesin pres, bahan ini dipakai sebagai target *sputtering* untuk menumbuhkan lapisan tipis nanokomposit Fe-C diatas substrat Si(100). Hasil pengamatan dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)* menunjukkan bahwa lapisan tipis memiliki permukaan rata dan halus, partikel Fe-C terdeposisikan secara merata dan homogen di atas substrat Si(100) dengan ukuran partikel sekitar 50 nm. Dari pengamatan penampang lintang diperlihatkan bahwa lapisan tipis karbon telah terbentuk di atas substrat Si(100), dengan ketebalan sekitar 100 nm. Karakterisasi properti listrik dengan *LCRmeter* menunjukkan bahwa nilai konduktansi Fe-C/Si(100) bertambah tinggi seiring dengan penambahan Fe. Karakterisasi properti magnetik dengan metode *Four Point Probe* menunjukkan bahwa lapisan tipis Fe-C/Si(100) adalah *magnetoresistance* positif, dimana seiring dengan peningkatan kandungan Fe pada lapisan tipis Fe-C, nilai resistivitas semakin rendah dan nilai *MagnetoResistance (MR)* semakin meningkat.

Kata kunci: Lapisan Tipis Fe-C, Konduktivitas Listrik, Nisbah *MagnetoResistance*, Resistivitas

ABSTRACT

ELECTRICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF Fe-C/Si(100) NANOCOMPOSITE THIN FILM. Characterization of electrical and magnetic properties of Fe-C/Si(100) nano composite thin film were carried out. Nano composite Fe-C materials were made from mixing of graphite and Fe in various weight% of Fe (1-3 weight %) using High Energy Milling (HEM) for 50 hours. After mixing powder of Fe-C were compacted by pres machine, then this compaction were used as a target sputtering for growing nano composite Fe-C thin film on Si(100) substrate. The result observation of Scanning Electron Microscope (SEM) shows that the thin film has flat and smooth surface, particle of Fe-C was deposited homogenous on Si(100) with the particle size of around 50 nm. From cross section observation, it is shown that the graphite thin film has been formed on Si(100) substrate with a thickness of around 100 nm. Characterization of electrical property using LCRmeter shows that the conductance value of Fe-C/Si(100) become higher in accordance with the increasing of Fe. Characterization of magnetic property using Four Point Probe method shows that the Fe-C/Si(100) thin film is a positive magnetoresistance, which in accordance with the increasing of Fe inside the Fe-C thin film, the resistivity value become lower and the MagnetoResistance (MR) value become higher.

Keywords: Fe-C Thin film, Electrical Conductivity, Magnetoresistance Ratio, Resistivity

PENDAHULUAN

Material berstruktur nano menarik perhatian para ilmuwan material karena ukurannya yang sangat kecil dan rasio luas permukaan terhadap volume menyebabkan ukuran yang mempengaruhi sifat kimia dan fisiknya, yang sangat berbeda dengan material berukuran besar pada komposisi kimia yang sama. Ukuran kritis dari nanodomains dengan sifat tertentu didefinisikan atas dasar dimensi yang relevan dalam setiap cabang ilmu fisika, seperti radius eksitasi *Bohr* dalam semikonduktor atau panjang korelasi *spin* dalam magnet.

Berbagai jenis promosi aplikasi nanomaterial menyebabkan aktivitas riset yang luar biasa di bidang ini. Nanopartikel yang saat ini dianggap sebagai *building block* berguna untuk teknologi masa depan [1]. Karena ukuran dan selektivitas struktur nanomaterial yang tinggi, sifat fisik yang cukup beragam, tergantung pada struktur skala-atom, ukuran dan kimianya. Untuk memelihara dan memanfaatkan keuntungan dasar dan teknologi yang ditawarkan oleh ukuran spesifik dan selektivitas nanomaterial, adalah penting untuk mengembangkan

teknik baru yang dapat mengukur secara kuantitatif sifat masing-masing nanomaterials, seperti nanopartikel tunggal atau karbon berstruktur nano [2].

Nanokomposit merupakan bahan yang dibuat dari pencampuran serbuk berukuran nanopartikel. Nanokomposit akan memperlihatkan sifat-sifat baru yang lebih unggul dibandingkan dengan bahan asal penyusunnya. Hal ini merupakan salah satu keunggulan utama dari perkembangan dunia nanoteknologi. Penambahan nanopartikel ke dalam bahan matriks juga akan dapat menunjukkan sifat-sifat yang sangat berbeda dibandingkan dengan sifat matriks awal. Sebagai contoh, dengan menambahkan karbon berstruktur nano pada suatu bahan, maka nilai konduktivitas termal dari bahan tersebut akan meningkat. Secara umum, nanopartikel akan terdispersikan ke dalam matriks selama proses pencampuran. Prosentase berat (*mass fraction*) dari nanopartikel yang disisipkan sangat kecil (0,5% hingga 5%), karena sangat besarnya rasio luas permukaan (*sa/vol*) dari nanopartikel. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengembangkan kombinasi bahan matriks dan bahan pencampur (*additif*) yang lebih efisien guna menuju pengendalian proses pencampuran yang lebih baik [3-4].

Sistem bahan yang berbasis karbon-besi (C : Fe) merupakan sistem yang menarik karena memiliki sifat kelistrikan dan magnetik yang sangat baik serta berpotensi diaplikasikan sebagai bahan sensor, kapasitor penyimpan energi dan katalis [5-7]. Nanokomposit dan nanostruktur karbon yang mengandung nanopartikel besi menunjukkan sifat kedua unsur, yaitu kelistrikan dan magnetik, dimana telah terbukti bahwa bahan komposit ini menjadi bahan yang berguna untuk aplikasi elektromagnetik di dalam bentuk lapisan tipis [8-10].

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap properti listrik dan magnetik lapisan tipis bahan nanokomposit Fe-C yang ditumbuhkan pada permukaan Si(100) dengan teknik *sputtering*. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya dalam rangka pengaplikasian bahan nanokomposit berbasis karbon untuk sensor.

METODE PERCOBAAN

Campuran serbuk grafit dan Fe (kandungan 1 %berat hingga 3%berat) hasil *milling* [11], masing-masing serbuk hasil *milling* ini, ditimbang sebanyak 0,5 gram kemudian dipeletisasi dengan daya tekan sampai 15 ton dengan menggunakan mesin pres hidrolik merek *Daiwa Universal Testing Machine rat 100*, Capacity = 100 ton, AC = 20 V, produksi Daiwa Kenko, Co. Ltd., yang terdapat di Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB-Bandung. Pelet grafit yang terbentuk ini berdiameter 1,5 cm dengan ketebalan sekitar 0,3 cm. Pelet yang terbentuk ini digunakan sebagai target sedangkan sebagai substrat digunakan Si(100) dalam pembuatan lapisan tipis Fe-C dengan teknik *DC-Sputtering*.

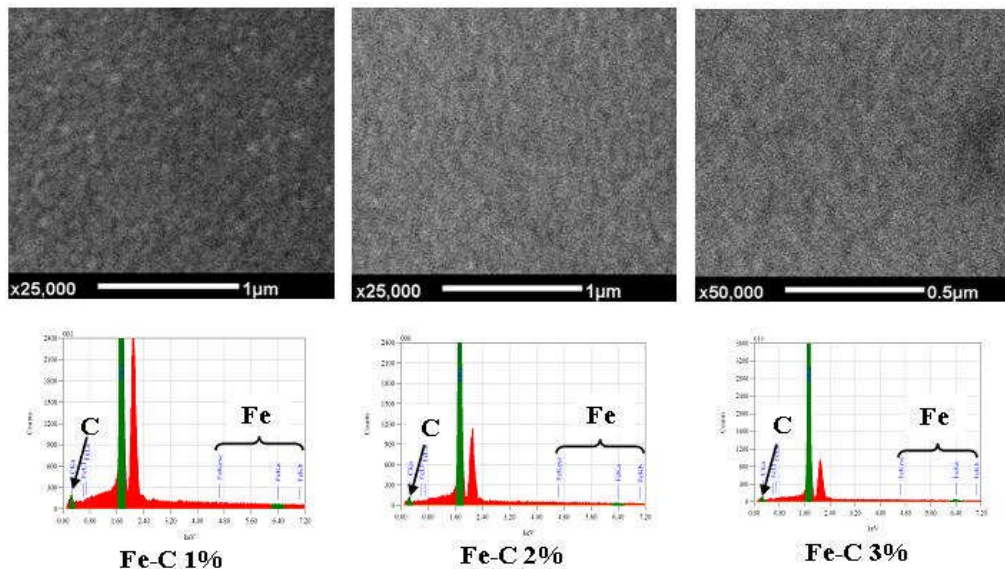
Parameter *sputtering* adalah suhu substrat 300 °C dengan waktu deposisi = 60 menit, kuat arus = 0,033 A, tegangan = 600 V, dan tekanan vakum $3,3 \times 10^{-2}$ Torr, yang dilakukan di Jurusan Fisika, FMIPA-ITB, Bandung.

Lapisan tipis nanokomposit Fe-C yang terbentuk, selanjutnya dilakukan pengamatan dengan metode *Scanning Electron Microscope (SEM)* merek JEOL, yang dilakukan di BBIN, PTBIN-BATAN. Selanjutnya dilakukan pengukuran properti listrik dengan alat ukur *LCRmeter* dengan parameter frekuensi antara 10 Hz hingga 100 kHz pada tegangan potensial $V = 1$ Volt dan pada suhu ruang. Sedangkan untuk pengukuran nilai nisbah *magnetoresistance* dan resistivitas dengan menggunakan metode *Four Point Probe*, dengan nilai minimum 0,01 A, nilai perubahan arus 0,01 A dan nilai tegangan maksimum 2 mA, yang dilakukan di BKAN, PTBIN-BATAN.

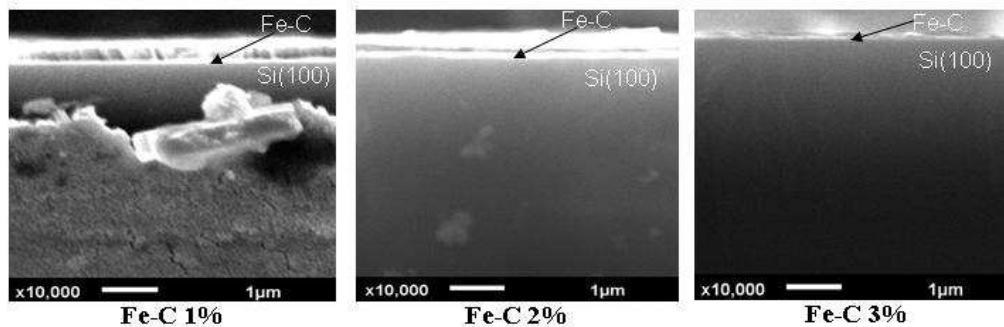
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan *Scanning Electron Microscope (SEM)* terhadap morfologi permukaan lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si hasil penumbuhan dengan teknik *DC-Sputtering* ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa lapisan tipis ini memiliki morfologi permukaan yang bagus, halus dan merata, serta juga tampak jelas bahwa partikel Fe-C telah terdeposisikan cukup merata di atas permukaan substrat Si (100), yang ditandai dengan adanya bulatan putih yang merata di permukaan substrat Si (100). Pada morfologi permukaan ini semakin jelas terlihat butiran-butiran partikel seiring dengan bertambahnya kandungan Fe. Hal ini menunjukkan bahwa Fe telah berfungsi dengan baik sebagai katalis penumbuh, dalam hal ini dalam penumbuhan lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si. Pengamatan morfologi permukaan ini bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel serbuk setelah dihancurkan dengan proses *milling*. Partikel Fe-C yang terdistribusi pada permukaan substrat Si(100) ini memiliki ukuran sekitar 50 nm. Terbentuknya lapisan tipis Fe-C pada permukaan Si(100) juga didukung oleh hasil *EDX* terhadap permukaan, yang memunculkan puncak-puncak difraksi elemen Fe dan C.

Foto *Scanning Electron Microscope (SEM)* penampang lintang lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si hasil penumbuhan dengan teknik *DC-Sputtering* ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat adanya lapisan terang berwarna putih di bagian atas substrat Si(100) yang tampak dengan jelas. Berdasarkan hasil *EDX* diketahui bahwa lapisan yang terbentuk ini adalah lapisan tipis nanokomposit Fe-C. Sedangkan di bawah lapisan berwarna putih nampak terlihat lapisan berwarna keabu-abuan, dimana dari hasil *EDX* diketahui bahwa lapisan ini adalah substrat Si(100). Sehingga dari hasil observasi *SEM* terhadap permukaan dan penampang lintang lapisan tipis dapat dikatakan bahwa secara keseluruhan di atas substrat Si(100) telah terdeposisikan



Gambar 1. Morfologi permukaan lapisan tipis nanokomposit Fe-C dan data EDX



Gambar 2. Penampang lintang lapisan tipis nanokomposit Fe-C

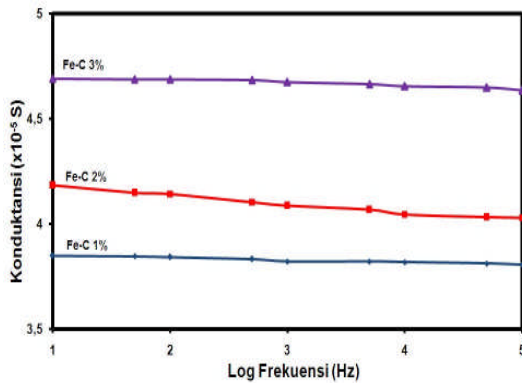
partikel Fe-C dan telah terbentuk lapisan tipis nanokomposit Fe-C (selanjutnya ditulis dengan nanokomposit Fe-C/Si) pada proses *sputtering* kali ini. Ketebalan lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si sekitar 100 nm.

Pengukuran nilai konduktansi sebagai sifat listrik dari lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si dilakukan dengan alat ukur *LCRmeter* pada frekuensi antara 10 Hz hingga 100 kHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa nilai konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C menurun seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktansi merupakan fungsi dari frekuensi, yaitu berbanding terbalik terhadap frekuensi. Namun secara umum, besar penurunan nilai konduktansi ini adalah tidak signifikan, yaitu dibawah 2%. Walaupun demikian, penurunan ini masih dalam toleransi yaitu dibawah 10%, yang merupakan persyaratan untuk diaplikasikan sebagai piranti elektronik.

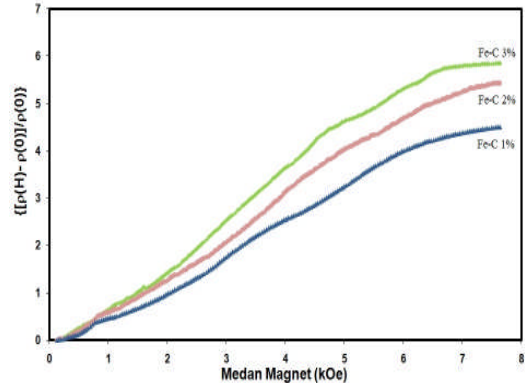
Dari grafik garis yang ditunjukkan pada Gambar 3 juga secara jelas memperlihatkan bahwa nilai konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si meningkat seiring dengan penambahan kandungan Fe

dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si. Atau dengan kata lain, bahwa peningkatan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si secara jelas telah membuktikan peningkatan properti listrik dari sisi nilai konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si yang dibuat. Nilai konduktansi yang paling tinggi ditunjukkan oleh lapisan tipis nanokomposit Fe-C dengan kandungan Fe 3%, yaitu sekitar 4,63 S, sedangkan untuk nilai konduktansi yang paling rendah ditunjukkan pada saat kandungan Fe sebesar 1%, yaitu berkisar 3,81 S pada frekuensi 100 kHz. Dengan memasukan ukuran (luas, ketebalan) sampel, maka nilai konduktivitas dapat dihitung secara matematis.

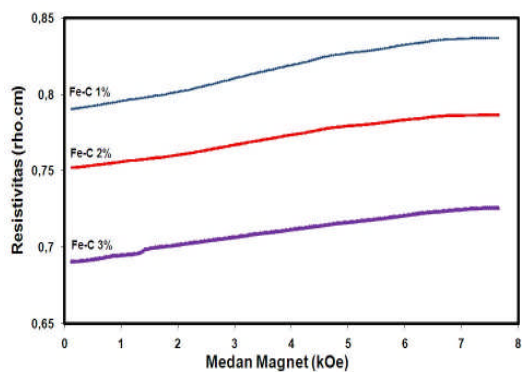
Hasil pengukuran nilai resistivitas lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si hasil penumbuhan dengan teknik *DC-Sputtering* yang diukur dengan metode *Four Point Probe* ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai resistivitas semakin menurun seiring dengan penambahan kandungan Fe dan juga nilai resistivitas ini semakin tinggi seiring dengan bertambahnya medan magnet. Hasil pengukuran resistivitas ini sesuai dengan hasil pengukuran konduktansi, dimana nilai resistivitas merupakan perbandingan terbalik dengan nilai



Gambar 3. Kurva konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C



Gambar 5. Kurva magneto-resistance lapisan tipis nanokomposit Fe-C



Gambar 4. Kurva resistivitas lapisan tipis nanokomposit Fe-C

konduktivitas. Nilai resistivitas yang paling tinggi ditunjukkan oleh lapisan tipis nanokomposit Fe-C dengan kandungan Fe 3%, yaitu sekitar 0,84 Ω.cm, sedangkan untuk nilai resistivitas yang paling rendah ditunjukkan pada saat kandungan Fe sebesar 1%, yaitu berkisar 0,73 Ω.cm pada medan magnet 7,6 kOe. Dari hasil ini terlihat jelas bahwa semakin tinggi prosentase kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C, maka nilai resistivitasnya semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sifat magnetik dari lapisan tipis nanokomposit Fe-C berasal dari partikel Fe yang bersifat magnetik.

Nisbah *magneto-resistance* adalah besaran fisis yang menyatakan perubahan harga resistivitas bahan akibat pengaruh medan magnet luar. Semakin besar nisbah maka menunjukkan bahan memiliki kepekaan semakin tinggi. Nisbah *magneto-resistance* dapat ditulis dengan Persamaan (1) [12]:

$$\Delta\rho/\rho = \frac{\rho_{(H)} - \rho_{(0)}}{\rho_{(0)}} \times 100 \% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- $\Delta\rho/\rho$ = *Magneto-resistance Ratio (MR)*,
- ρ_H = Tahanan listrik (resistivitas) ketika dikenakan medan magnet
- $\rho_{H=0}$ = Resistivitas saat medan magnet nol

Pengukuran *magneto-resistance ratio (MR)* terhadap lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si dengan variasi kandungan Fe sebesar 1% hingga 3% yang ditumbuhkan dengan teknik DC-Sputtering dilakukan dengan metode *Four Point Probe*. Hasil pengukuran tersebut diperlihatkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa nilai MR untuk lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si ini menunjukkan MR positif (*positive magneto-resistance*), dan nilai MR semakin besar seiring penambahan kandungan Fe. Selain itu, nilai MR semakin besar seiring dengan penambahan medan magnet. Hal ini menunjukkan bahwa ketergantungan nilai MR terhadap medan magnet sangat besar.

Pada Gambar 5 juga terlihat bahwa nilai MR mengalami kejenuhan sampai sekurang-kurangnya medan magnet 7,6 kOe pada temperatur ruang. Nilai MR dari lapisan tipis nanokomposit Fe-C dapat menjadi lebih besar pada medan magnet yang cukup tinggi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa ketergantungan nilai MR dari lapisan tipis nanokomposit Fe-C terhadap medan magnet ditunjukkan dengan hubungan $MR \propto B^n$, nilai eksponen n dari 0,74 sampai 0,86 untuk sampel lapisan tipis nanokomposit Fe-C pada hampir semua jangkauan medan magnet yang diperiksa (*field probed*). Pengaruh penambahan % berat Fe di dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C terhadap nilai MR dan n pada medan magnet 7,6 kOe dan temperatur ruang, ditunjukkan pada Tabel 1.

Karena MR dari lapisan tipis nanokomposit Fe-C memiliki korelasi dengan sifat listrik, bentuk partikel dan ukuran serta distribusi partikel tersebut, sehingga sangat sulit untuk menyatakan dengan akurat efek dari MR terhadap medan magnet. Namun demikian, efek dari MR

Tabel 1. Pengaruh penambahan % berat Fe di dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C terhadap nilai MR dan n.

No.	Kandungan Fe	Nilai MR	Nilai n
1.	1 %	4,5103	0,7409
2.	2%	5,4273	0,8319
3.	3%	5,8447	0,8684

terhadap medan magnet dapat dipahami secara kualitatif. Pada suhu kamar, nilai *MagnetoResistance* semakin meningkat seiring dengan peningkatan medan magnet. Oleh karena itu, peningkatan prosentase berat Fe akan memberikan hasil kepada peningkatan nilai eksponen.

Dalam medan magnetik, elektron dan *hole* dibelokkan pada sisi yang sama, sehingga tidak ada akumulasi muatan kosong pada permukaan dan tanpa *Hall voltage* yang dikembangkan. Tidak adanya medan *Hall* akan menghasilkan suatu tenaga yang bersaing dengan tenaga *Lorentz, carrier* dalam medan magnet bergerak sepanjang garis kurva dari garis lurus. Oleh karena itu, apabila medan magnet diaplikasikan pada lapisan tipis nanokomposit Fe-C, maka nilai resistivitasnya akan meningkat, dan dengan adanya partikel Fe yang terkandung di dalam lapisan tipis tersebut dapat menghasilkan jenis *MR* positif lain.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si yang ditumbuhkan dengan teknik *DC-Sputtering* menghasilkan morfologi permukaan yang bagus, halus dan merata dengan ketebalan sekitar 100 nm. Peningkatan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si menimbulkan peningkatan nilai konduktansinya. Sedangkan nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktansi yaitu semakin menurun seiring dengan penangkatan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si, nisbah *MagnetoResistance (MR)* meningkat seiring dengan peningkatan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si. Hal ini membuktikan bahwa peningkatan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si dapat meningkatkan properti listrik dan magnetik lapisan tipis tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Bapak Ruswanto dari Fakultas teknik Sipil dan Lingkungan ITB-Bandung yang telah membantu kami dalam pembuatan pelet, Bapak Yudi Darma dari jurusan

Fisika FMIPA-ITB Bandung yang telah membantu kami dalam pembuatan lapisan tipis, serta Ibu Deswita dari Bidang Bahan Industri Nuklir PTBIN-BATAN yang membantu melakukan karakterisasi dengan *SEM*.

DAFTAR ACUAN

- [1]. AVASTHI D. K., and PIVIN J. C., *Current Science*, **98** (26) (2010) 780-790
- [2]. WANG Z. L., PONCHARAL P., and DE HEER W. A., *Pure Appl. Chem.*, **7** (2000) 209-219
- [3]. X.Q. ZHAO, Y. LIANG, et. al., *J. Appl. Phys.*, **80** (1996) 5857-5860
- [4]. C.A. GRIMES, D. QIAN, et. al., *J Appl. Phys.*, **87** (2000) 5642-5648.
- [5]. F.S. DENES, S. MANOLACHE, Y.C. MA, V. SHAMAMIAN, B. RAVEL and S. PROKES, *J Appl. Phys.*, **94** (2003) 3498-3506
- [6]. J.L. WILSON, P. PODDAR, et. al., *J. Appl. Phys.*, **95** (2004) 1439-1443
- [7]. H.M. KIM, K. KIM, C.Y. LEE, et. al., *Appl. Phys. Lett.*, **84** (2004) 589-591
- [8]. YUNASFI, SALIM MUSTOFA dan TRIA MADESA, *Jurnal Sains Materi Indonesia, Edisi Khusus Desember 2008*, (2008) 132-135
- [9]. J.P. CHENG, X.B. ZHANG, G.F. YI, Y. YE, M.S. XIA, *J. Alloys Compd.*, **455** (2008) 5-9
- [10]. P.J.F. HARRIS, *International Materials Reviews*, **49** (2004) 31-42
- [11]. YUNASFI, SALIM MUSTOFA dan MUFLIKHAH, Penumbuhan Karbon Nanotube dengan Teknik Milling Menggunakan Fe Sebagai Katalis Penumbuh, Seminar Nasional Fisika 2012, Serpong, 4-5 Juli 2012
- [12]. Q.Z. XUE, X. ZHANG, D.D. ZHU, *J. Magn. Magn. Mater.*, **270** (2004) 397-402