

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

Yunasfi, Mashadi, Saeful Yusuf

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang -15314

E-mail : yunasfi@gmail.com

Masuk tanggal : 11-04-2013, revisi tanggal : 02-07-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 17-07-2013

Intisari

SIFAT LISTRIK DAN MAGNETIK LAPISAN TIPIS NANOKOMPOSIT Fe-C/Si(100). Telah dilakukan karakterisasi sifat listrik dan magnetik lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si(100). Nanokomposit dan nanostruktur karbon yang mengandung nanopartikel besi menunjukkan sifat listrik dan magnetik, sehingga banyak diaplikasikan di bidang elektromagnetik dalam bentuk lapisan tipis. Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati sifat listrik dan magnetik lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si(100) dalam rangka pengaplikasiannya di bidang sensor. Nanokomposit Fe-C dibuat dari campuran serbuk grafit dan Fe dalam berbagai variasi persen berat Fe (1%-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 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 sifat listrik dengan LCR meter menunjukkan bahwa nilai konduktansi Fe-C/Si(100) bertambah tinggi seiring dengan penambahan Fe. Karakterisasi sifat 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 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. Carbon nanocomposite and nanostructured with containing iron nanoparticles exhibit electrical and magnetic properties, so a lot of the electromagnetic field is applied in the form of thin layers. The purpose of this study was to observe the electrical and magnetic properties of Fe-C/Si (100) nanocomposite thin layer in the context of its application in the field of sensors. Fe-C nanocomposites were made by mixing 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 pressing machine, the pellets were used as a sputtering target for growth of Fe-C nanocomposite thin film on Si(100) substrate. The result observation of SEM shows that the thin film has flat and smooth surface, particle of Fe-C was clearly and homogenously deposited 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 LCR meter 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 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 macam 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 (sekitar 0,5% - 5%), karena sangat besarnya rasio luas permukaan (*sa/vol*) dari nanopartikel. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengembangkan kombinasi bahan matriks dan bahan pencampur (aditif) 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, katalis dan lain sebagainya^[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 pengukuran sifat listrik dan magnetik lapisan tipis bahan nanokomposit Fe-C dengan variasi kandungan Fe yang ditumbuhkan pada permukaan substrat Si(100) dengan teknik *DC sputtering*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si(100) yang memiliki sifat listrik dan magnetik yang memenuhi persyaratan teknis dalam pengaplikasiannya di bidang sensor. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya dalam rangka pengaplikasian bahan nanokomposit berbasis karbon untuk sensor.

PROSEDUR PERCOBAAN

Campuran serbuk grafit dan Fe (kandungan 1-3% 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, dengan jarak antara target dan substrat sekitar 40 cm, yang dilakukan di Jurusan Fisika, FMIPA-ITB, Bandung.

Lapisan tipis nanokomposit Fe-C yang terbentuk, selanjutnya dilakukan pengamatan dengan metode SEM merek JEOL, yang dilakukan di BBIN, PTBIN-BATAN. Selanjutnya dilakukan pengukuran sifat listrik dengan alat ukur LCR meter dengan parameter frekuensi antara 10 Hz sampai 100 kHz pada tegangan potensial $V=1$ Volt serta pada temperature 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.

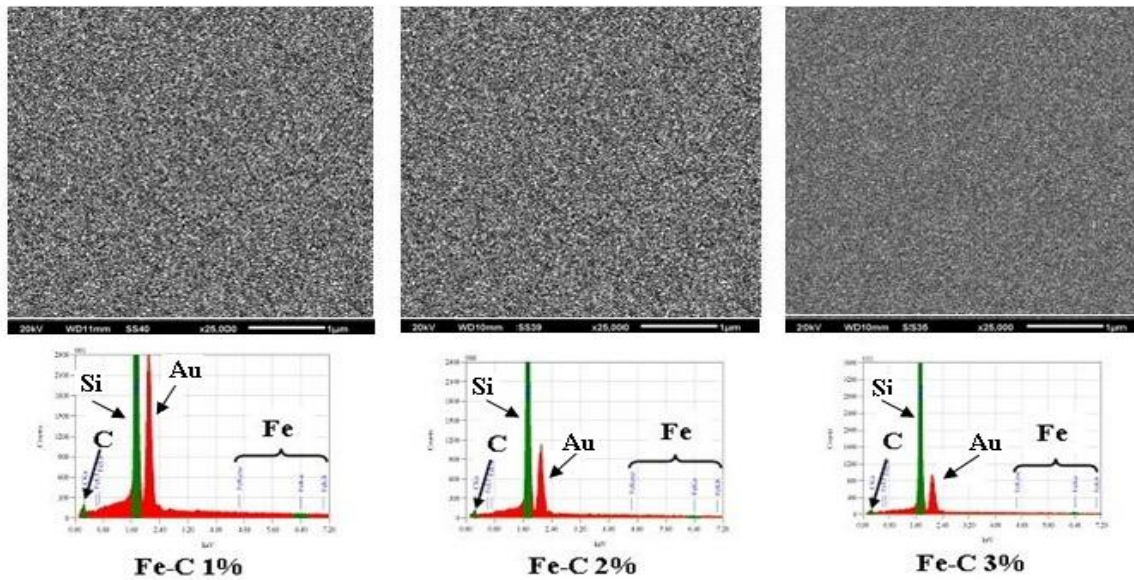
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan 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). Pada morfologi permukaan ini semakin jelas terlihat butiran-butiran partikel seiring dengan bertambahnya kandungan Fe. Hal

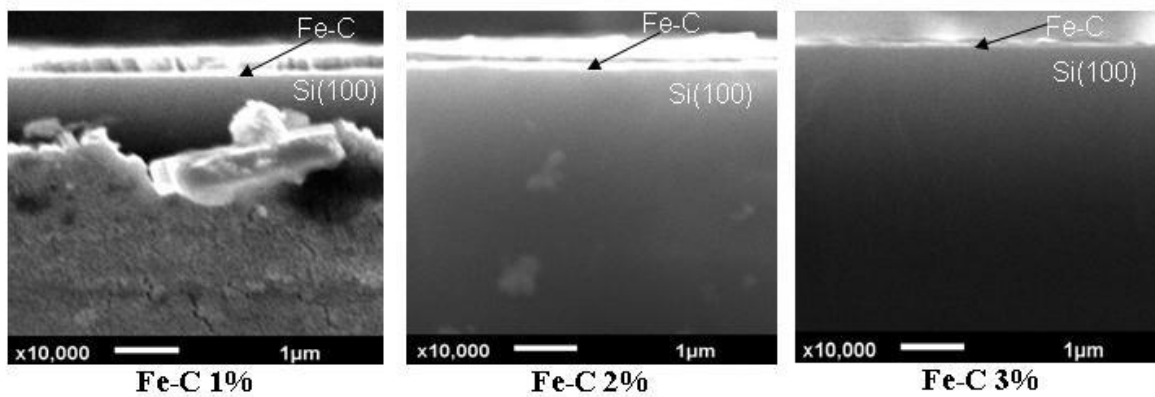
ini menunjukkan bahwa Fe telah berfungsi dengan baik sebagai katalis penumbuh, dalam hal ini dalam penumbuhan lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si. Pengamatan morfologi permukaan ini bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel serbuk setelah dihancurkan dengan proses *milling*. Partikel Fe-C yang terdistribusi 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 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 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. Pada Gambar 2 juga terlihat bahwa ketebalan lapisan tipis Fe-C 3% terlihat lebih tipis (kurang dari 100 nm), hal ini mungkin disebabkan oleh proses deposisi yang kurang sempurna dalam proses pembuatan lapisan tipis.

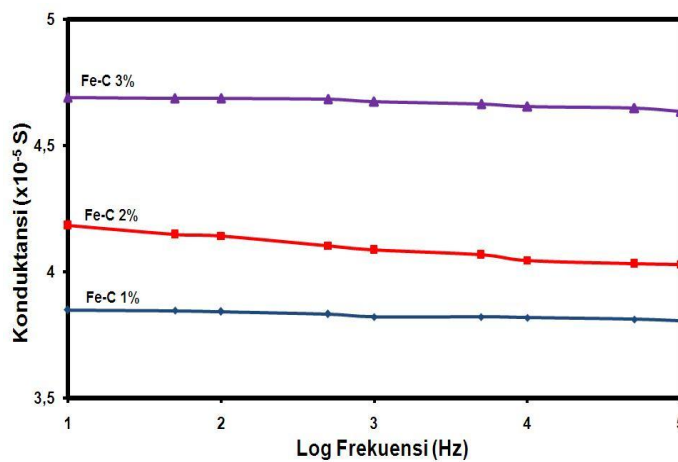
Pengukuran nilai konduktansi sebagai sifat listrik dari lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si dilakukan dengan alat ukur LCR meter pada frekuensi antara 10 Hz – 100 kHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



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



Gambar 2. Penampang lintang lapisan tipis nanokomposit Fe-C



Gambar 3. Kurva konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C

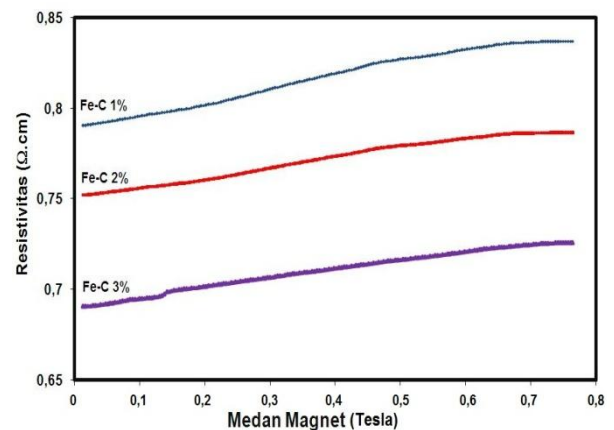
Terlihat bahwa nilai konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C menurun seiring dengan peningkatan frekuensi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktansi

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 sifat 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.

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 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 0,76 Tesla. 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.



Gambar 4. Kurva resistivitas lapisan tipis nanokomposit Fe-C

Nisbah *magnetoresistance* 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 *magnetoresistance* dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut^[12] :

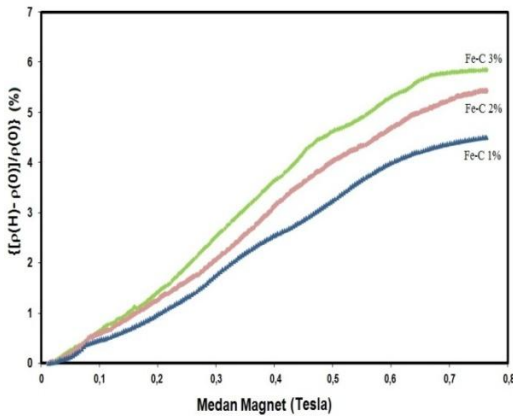
$$\Delta\rho/\rho = \frac{\rho(H) - \rho(0)}{\rho(0)} \times 100 \% \quad (1)$$

dimana:

$\Delta\rho/\rho$, ρ_H , dan $\rho_{H=0}$ masing-masing adalah *Magnetoresistance Ratio* (MR), tahanan listrik (resistivitas) ketika dikenakan medan magnet dan resistivitas saat medan magnet nol.

Pengukuran *magnetoresistance ratio* (MR) terhadap lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si dengan variasi kandungan Fe sebesar 1-3 % 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 magnetoresistance*), 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.



Gambar 5. Kurva *magnetoresistance* lapisan tipis nanokomposit Fe-C

Pada Gambar 5 juga terlihat bahwa nilai MR mengalami kejenuhan sampai sekurang-kurangnya medan magnet 0,76 Tesla 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 n (eksponen medan magnet) dari 0,74 sampai 0,86 untuk sampel lapisan tipis nanokomposit Fe-C pada hampir semua range 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 0,76 Tesla dan temperatur ruang, ditunjukkan pada Tabel 1.

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

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 terhadap medan magnet dapat dipahami secara kualitatif. Pada suhu kamar, nilai MR 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 peningkatan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si, nisbah 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 sifat listrik dan magnetik lapisan tipis tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Ibu Tria Madesa yang telah membantu kami dalam preparasi sampel dan teman-teman di kelompok Sensor Nano Komposit, BKAN-PTBIN, BATAN yang telah memberikan saran dan masukan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Bpk 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 telah membantu kami dalam melakukan karakterisasi dengan SEM. Serta, ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Bapak Gunawan sebagai kepala Pusat Teknologi Bahan Nuklir (PTBIN) – BATAN yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada kami dalam melaksanakan penelitian ini yang dibiayai dari dana Riset Insentif PKPP tahun anggaran 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Avasthi D.K., and Pivin J. C. 2010. *Ion Beam Synthesis of Nanostructures*, Current Science, 98, p. 780 – 790.
- [2] Wang Z. L., Poncharal P., and Deheer W.A. 2000. *Nanomeasurements of Individual Carbon Nanotube by in Situ TEM*, Pure Appl. Chem, 7. p. 209 – 219.
- [3] X.Q. Zhao, Y. Liang etc., 1996. *Oxidation Characteristics and Magnetic Sifatess of Iron Carbide and Iron Ultrafine Particles*, J. Appl. Phys. 80, p. 5857-5860.
- [4] C.A. Grimes, D. Qian etc., 2000. *Laser Pyrolysis Fabrication of Ferromagnetic γ' -Fe₄N and FeC Nanoparticles*, J Appl. Phys. 87, p. 5642-5648.
- [5] F.S. Denes, S. Manolache, Y.C. MA, etc., 2003. *Gold Catalyzed Growth of Silicon Nanowires by Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*, J Appl. Phys. 94, p. 3498-3506.
- [6] J.L. Wilson, P. Poddar etc., 2004. *Synthesis and Magnetic Sifatess of Polymer Nanocomposites with Embedded Iron Nanoparticles*, J. Appl. Phys. 95, p. 1439-1443.
- [7] H.M. Kim, K. Kim, C.Y. Lee etc., 2004. *Electrical Conductivity and Electromagnetic Interference Shielding of Multiwalled Carbon Nanotube Composites Containing Fe Catalyst*, Appl. Phys. Lett. 84, p. 589-591.
- [8] Yunasfi, Salim Mustofa dan Tria Madesa., 2008. *Efek Konsentrasi Karbon terhadap Sifat Elektrik Bahan Komposit Fe_xC_{1-x}*, Jurnal Sains Materi Indonesia, Edisi Khusus, Desember, p. 132-135.
- [9] J.P. Cheng, X.B. Zhang, G.F. Yi, Y. Ye, M.S. Xia., 2008. *Preparation and Magnetic Sifatess of Iron Oxide and Carbide Nanoparticles in Carbon Nanotube Matrix*, J. Alloys Compd, 455, p. 5-9.
- [10] P.J.F.Harris., 2004. *Carbon Nanotube Composites*, International Materials Reviews, 49, p. 31-42.
- [11] Yunasfi, Salim Mustofa dan Muflikhah., 2012. *Penumbuhan Karbon Nanotube dengan Teknik Milling Menggunakan Fe Sebagai Katalis Penumbuh*, Jurnal Sains Materi Indonesia, 14, p. 29-33.
- [12] Q.Z. Xue, X. Zhang, D.D. Zhu., 2004. *Positive Linear Magnetoresistance in Fe_x-C_{1-x}*

Composite, J. Magn. Magn. Mater.,
270, p. 397-402.

RIWAYAT PENULIS

Yunasfi, lahir di Padang, 4 Juni 1962, setelah menamatkan Strata-1 (S-1) Kimia FMIPA-UNAND, Padang, Sumatera Barat kemudian mengikuti dan menyelesaikan Strata-2 (S-2) Grad. School of Eng., Dept. of Materials Design Engineering, Kanazawa Institute Of Technology, Japan. Saat ini bekerja sebagai Peneliti di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir BATAN, Puspipstek Serpong BANTEN.