

## EFEK IMPLANTASI ION Ni<sup>+</sup> DAN Ar<sup>+</sup> TERHADAP SIFAT MAGNETIK LAPISAN TIPIS C/Si<sup>1</sup>

Yunasfi

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang -15314  
Email : yunasfi@gmail.com

Diterima: 23-04-2013

Diterima dalam bentuk revisi: 16-09-2013

Disetujui: 12-12-2013

### ABSTRAK

**EFEK IMPLANTASI ION Ni<sup>+</sup> DAN Ar<sup>+</sup> TERHADAP SIFAT MAGNETIK LAPISAN TIPIS C/Si.** Telah dilakukan studi efek implan ion Ni<sup>+</sup> dan ion Ar<sup>+</sup> terhadap sifat magnetik lapisan tipis C/Si (100). Implantasi ion Ni<sup>+</sup> dan ion Ar<sup>+</sup> terhadap lapisan tipis C/Si dilakukan dengan dosis sampai  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>. Hasil identifikasi XRD menunjukkan adanya puncak intensitas difraksi C (002) dan Ni (100). Implantasi ion dapat menyebabkan penurunan puncak intensitas difraksi C (002). Puncak intensitas difraksi C (002) semakin menurun seiring dengan bertambahnya dosis ion, sedangkan puncak intensitas difraksi Ni (100) semakin tinggi seiring dengan bertambahnya dosis ion. Hasil ini menunjukkan telah terjadi distribusi atom Ni pada permukaan lapisan tipis C/Si. Hasil pengamatan morfologi permukaan menggunakan SEM/EDS, menunjukkan adanya atom Ni yang tersebar pada permukaan lapisan tipis C/Si. Hasil pengukuran sifat magnetik dengan metode VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) menunjukkan adanya perubahan sifat magnetik pada lapisan tipis C/Si dengan penambahan dosis implan. Sifat magnetik ini meningkat seiring dengan penambahan dosis ion Ni<sup>+</sup>, yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai-nilai M<sub>s</sub> (*saturated magnetization*), M<sub>r</sub> (*remanent magnetization*) dan H<sub>c</sub> (*coercive field*), masing-masing sebesar 28%, 21% dan 42%. Hasil pengukuran sifat GMR dengan *Four Point Probe* juga menunjukkan peningkatan nilai nisbah MR sekitar 26% pada medan magnet 7,5 kOe seiring dengan peningkatan dosis ion..

**Kata kunci :** lapisan tipis C/Si, implantasi ion, sifat magnetik

### ABSTRACT

**EFFECTS OF Ni<sup>+</sup> AND Ar<sup>+</sup> IONS IMPLANTATION ON MAGNETIC PROPERTIES OF C/Si THIN FILM.** The study of Ni<sup>+</sup> and Ar<sup>+</sup> ions effects on the magnetic properties of C/Si thin film was carried out. The Ni<sup>+</sup> and Ar<sup>+</sup> ions were implanted on C/Si thin up to the doses of  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>. Identification by XRD indicates Ni<sup>+</sup> and Ar<sup>+</sup> ion intensity of diffraction peaks for C (002) and Ni (010). The ion implantation could cause the decline in the peak intensity of C (002). The peak intensity of C (002) decreases with the increasing of dose, whereas, the peak intensity of Ni (010) increases with increasing of ion dose. These results indicate the occurrence of distribution of Ni atoms on the surface of C/Si thin film. Measurement of magnetic properties by VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*) indicates a change in magnetic properties of carbon nanostructures on a thin film with addition of implantation dose. These magnetic properties increase with the addition of Ni<sup>+</sup> ion dose, as indicated by the increase in the values of M<sub>s</sub> (*saturated magnetization*), M<sub>r</sub> (*remanent magnetization*) and H<sub>c</sub> (*coercive field*), i.e 28%, 21% and 42% respectively. Measurement of GMR with *Four Point Probe* also shows an increase in the value of MR of about 26% at 7.5 kOe magnetic field with increasing ion dose.

**Keywords:** C/Si thin film, ion implantation, magnetic properties.

<sup>1</sup> Dipresentasikan pada Seminar Nasional Magnet 2011 – ITS Surabaya, 26 Oktober 2011

## 1. PENDAHULUAN

Material berstruktur nano telah menarik perhatian para ilmuwan karena rasio antara luas permukaan terhadap volume sangat besar sehingga cukup mempengaruhi sifat-sifat kimia dan fisik material tersebut. Hal ini sangat berbeda bila dibandingkan dengan material ukuran yang lebih besar, misal: mikro, walaupun dengan komposisi kimia yang sama. Ukuran kritis dari *nano domain* dengan sifat tertentu didefinisikan atas dasar dimensi yang relevan pada setiap cabang ilmu fisika, seperti radius eksitasi Bohr dalam semikonduktor atau korelasi panjang spin magnet. Nanopartikel saat ini dianggap sebagai *building block* yang bermanfaat bagi teknologi yang akan datang [1-3]. Berbagai metode fisika telah berhasil digunakan untuk produksi dan modifikasinya, salah satunya adalah iradiasi elektron energi tinggi [4].

Implantasi ion merupakan cara yang sesuai untuk membuat atau memodifikasi struktur material elektronik dengan menambahkan elemen *doping* konsentrasi rendah. Ion dengan energi rendah menginduksi *collision cascade* pada ketebalan material yang kecil (skala  $\mu\text{m}$ ) dan ion energi tinggi mengganggu struktur target dalam saluran yang sempit (dengan diameter sekitar 10 nm) hingga kedalaman beberapa mikron, terutama melalui proses transfer energi elektronik [5,6]. Masa kini, penelitian tentang implantasi ion terhadap bahan berbasis karbon termasuk grafit, diamond dan *carbon nanotube* (CNT) telah banyak dikembangkan untuk menumbuhkan sifat magnetik yang diakibatkan oleh cacat kristal yang terbentuk [7]. Sifat feromagnetik

bahan berbasis karbon yang *didoping* (diimplan) dengan ion, dapat diprediksi karena adanya gangguan (*disorder*) dalam struktur bahan [8]. Gangguan tersebut menyebabkan perubahan paramagnetik ke magnetisasi, dan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah ion yang diimplan [9]. MISRA, et al. [10] melaporkan bahwa tumbuhnya sifat feromagnetik dari CNT yang diimplan dengan ion Ni disebabkan oleh kerusakan kisi dalam struktur kital CNT. Sedangkan, sifat feromagnetik nano partikel berlian yang diimplan dengan ion boron disebabkan oleh timbulnya cacat kristal [11].

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan sifat magnetik dari lapisan tipis karbon yang terdeposisi pada permukaan substrat silikon (C/Si) setelah diimplan dengan ion  $\text{Ni}^+$  dan  $\text{Ar}^+$ , dengan variasi dosis implan. Penelitian ini merupakan penelitian dasar, yang dilanjutkan dengan pengamatan dosis optimum yang dapat memberikan perubahan sifat magnetik yang optimal pada lapisan tipis C/Si sehingga dapat dimanfaatkan dan diaplikasikan di bidang sensor biomedis.

## 2. METODOLOGI PERCOBAAN

Lapisan tipis karbon dibuat dengan teknik *sputtering* sebagai target digunakan pelet grafit yang dibuat dari serbuk grafit hasil *milling* selama 50 jam dan sebagai substrat digunakan Si(100) [12]. Lapisan tipis tersebut diimplan dengan ion  $\text{Ni}^+$  pada dosis  $1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> dan  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>, kemudian implantasi dengan ion  $\text{Ar}^+$  pada dosis  $1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> dan  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>. Implantasi ion dilakukan di PTAPB – BATAN,

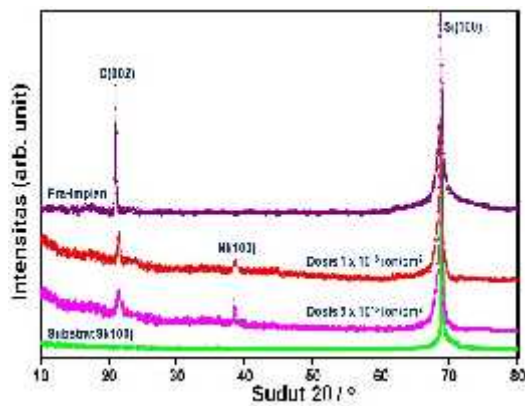
Yogyakarta [13]. Parameter proses implantasi ion adalah energi doping (E) = 70 keV, arus (I) = 20 mA, tingkat vakum = 10<sup>-5</sup> mbar, muatan elektron Ar (e) = 1,603 x 10<sup>-19</sup>, dan luas penampang sumber ion (L) = 12,566 cm<sup>2</sup>, sedangkan lama implan (t) antara ± 17 menit sampai ± 14 jam.

Lapisan tipis C/Si hasil implan diidentifikasi dengan XRD, sedangkan pengamatan morfologi permukaan dilakukan dengan SEM. Pengukuran parameter magnetik dilakukan dengan metode VSM (*Vibrating Sampel Magnetometer*), dengan rentang medan magnet luar ± 1 Tesla, pada suhu ruang. Pertambahan dan pengurangan percepatan medan magnet luar diatur sebesar 0,25 Tesla per menit. Pengukuran nilai nisbah *magnetoresistance* menggunakan metode *Four Point Probe*, dengan nilai minimum 0,01 A, nilai perubahan arus 0,01 A dan nilai arus maksimum 2 mA.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapisan tipis C/Si diimplan ion nikel (Ni<sup>+</sup>) dengan variasi dosis 1 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup> dan 5 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup>, kemudian diimplan ion argon (Ar<sup>+</sup>) pada dosis sama dengan dosis ion nikel (Ni<sup>+</sup>). Identifikasi fasa lapisan tipis C/Si dilakukan dengan difraksi sinar-X. Pola difraksi sinar-X lapisan tipis C/Si hasil implan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup> ditunjukkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa intensitas puncak difraksi untuk substrat Si(100) berada pada sudut sekitar 68,82°. Puncak difraksi C(002) di dalam lapisan tipis C/Si sebelum diimplan adalah sekitar 771 a.u pada sudut sekitar 21,08°. Setelah proses implantasi ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup> masing-masing pada dosis 1 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup>, diperoleh intensitas puncak difraksi C(002) sekitar 219 a.u. pada sudut 21,46°,

Ni(100) sekitar 81 a.u. pada sudut sekitar 38,44° serta Si(100) sekitar 1292 a.u. pada sudut 68,78°. Dengan penambahan dosis implan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup> menjadi 5 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup>, intensitas puncak dan sudut difraksi untuk Si(100) tidak terjadi perubahan yang signifikan yaitu 1292 a.u. pada sudut 68,78°. Untuk C(002) terjadi penurunan intensitas puncak difraksi menjadi 185 a.u. dan pergeseran sudut difraksi menjadi 21,50°. Sedangkan intensitas puncak difraksi Ni(100) meningkat menjadi 129 a.u. pada sudut 38,54°. Penambahan dosis ion maka intensitas puncak difraksi untuk C(002) menurun dan Ni(100) meningkat, sedangkan sudut difraksi tidak berubah secara signifikan. Karena energi yang digunakan dalam proses implantasi ion cukup tinggi yaitu sekitar 70 keV, maka ion Ar<sup>+</sup> yang diimplankan dapat menimbulkan cacat pada struktur kristal grafit (*crystal defect*), sehingga mengakibatkan intensitas puncak difraksi C(002) menurun. Penambahan dosis implan akan menambah kerusakan (cacat) struktur grafit, sehingga intensitas puncak difraksi semakin rendah, karena bidang pantul sinar-X untuk C(002) berkurang. Implantasi ion akan menginduksi cacat dalam struktur grafit akibat dari interaksi berkas ion dengan partikel grafit. Berkas ion Ar<sup>+</sup> menghasilkan ikatan *dangling/void* (kekosongan) pada permukaan karbon dan dapat menyebabkan penyusutan diameter karbon. Iradiasi ion Ar<sup>+</sup> digunakan untuk menciptakan *tunneling barrier* pada karbon, dan juga untuk mengatur pembentukan struktur karbon yang diinginkan [9].

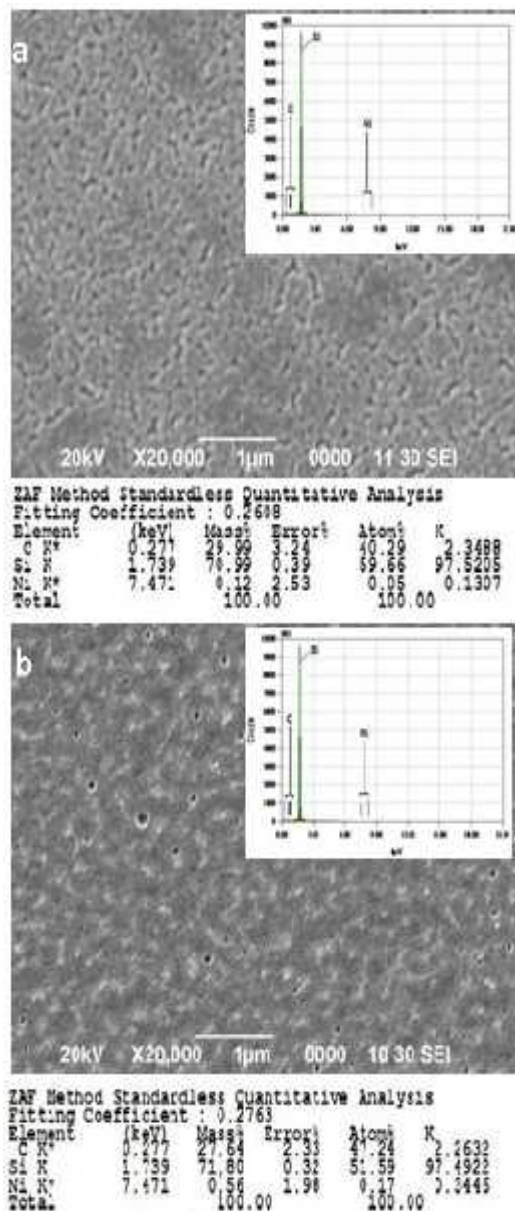


Gambar 1. Pola difraksi lapisan tipis C/Si sebelum dan sesudah implan dengan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup> sampai dosis  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>

Implan ion Ni<sup>+</sup> pada lapisan tipis C/Si menimbulkan penyebaran atom Ni pada permukaan lapisan tersebut. Penambahan dosis implan ion Ni<sup>+</sup> menyebabkan intensitas puncak difraksi Ni (100) semakin tinggi, karena jumlah atom Ni yang tersebar pada permukaan lapisan tersebut semakin bertambah. Untuk mengetahui penyebaran atom Ni pada permukaan lapisan tipis ini, maka dilakukan pengamatan dengan SEM/EDS.

Pengamatan morfologi permukaan lapisan tipis C/Si dilakukan dengan metode HRSEM (*High Resolution Scanning Electron Microscopy*) dan analisis data EDS. Hal itu dilakukan untuk mengamati lebih lanjut pembentukan lapisan tipis C/Si dan penyebaran atom karbon pada permukaan substrat Si, serta penyebaran atom Ni pada permukaan lapisan tipis C/Si setelah proses implantasi ion. Hasil pengamatan ini ditunjukkan pada Gambar 2.

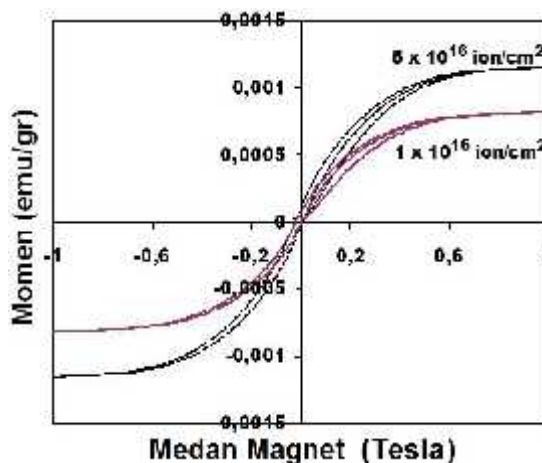
Dari data yang ditunjukkan pada Gambar 2, morfologi permukaan lapisan tipis C/Si terlihat butiran-butiran berukuran sekitar 100 nm dan tersebar merata pada permukaan substrat Si.



Gambar 2. Citra SEM dan data EDS lapisan tipis C/Si hasil implan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup> pada dosis (a)  $1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> dan (b)  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>

Data EDS menunjukkan bahwa penambahan dosis ion Ni<sup>+</sup> menyebabkan jumlah atom Ni (%) yang tersebar pada permukaan lapisan tipis C/Si meningkat. Untuk dosis ion  $1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>, jumlah atom Ni yang tersebar sekitar 0,12 %. Sedangkan dengan penambahan dosis sampai  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>, jumlah atom Ni yang tersebar sekitar 0,56 %.

Untuk mempelajari sifat-sifat magnetik dan pengukuran parameter magnetik lapisan tipis C/Si setelah proses implantasi ion dilakukan dengan metode VSM pada suhu ruang. Hasil pengukuran sifat magnetik ditunjukkan dengan kurva magnetisasi, diketahui bahwa momen magnetik merupakan fungsi dari medan magnetik yang diaplikasikan pada lapisan tipis C/Si setelah implantasi ion Ni<sup>+</sup> dan ion Ar<sup>+</sup>. Kurva magnetisasi hasil implan ion Ni<sup>+</sup> dan ion Ar<sup>+</sup> dengan variasi dosis, yaitu pada dosis 1 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup> dilanjutkan dengan ion Ar<sup>+</sup> pada dosis 1 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup> dan 5 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup> dilanjutkan dengan ion Ar<sup>+</sup> pada dosis 5 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup>, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva magnetisasi lapisan tipis C/Si hasil implan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup>

Terlihat bahwa puncak kurva magnetisasi semakin tinggi seiring dengan bertambahnya dosis ion yang dikenakan terhadap sampel lapisan tipis C/Si. Puncak kurva magnetisasi menunjukkan nilai parameter magnetik bahan, yaitu nilai M<sub>s</sub> (saturated magnetization) yang diperoleh dari nilai maksimum medan magnet yang dapat dihasilkan bahan tersebut (nilai

puncak kurva histerisis), H<sub>c</sub> (coercive field) diperoleh dari momen polarisasi pada saat medan magnet = 0 dibagi 2, dan M<sub>r</sub> (remanent magnetization) diperoleh dari nilai medan magnet pada saat momen polarisasi = 0.

Hasil analisis kurva magnetisasi maka diperoleh nilai M<sub>s</sub>, M<sub>r</sub> dan H<sub>c</sub> lapisan tipis C/Si setelah diimplan dengan ion Ni<sup>+</sup> dan ion Ar<sup>+</sup>, ditunjukkan pada Tabel 1. Terlihat bahwa nilai M<sub>s</sub>, M<sub>r</sub> dan H<sub>c</sub> untuk dosis 5 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup> lebih tinggi dibanding dengan nilai M<sub>s</sub>, M<sub>r</sub> dan H<sub>c</sub> untuk dosis 1 x 10<sup>16</sup> ion/cm<sup>2</sup>.

Tabel 1. Data parameter magnetik lapisan tipis C/Si hasil implan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup>

Parameter magnetik	Dosis Implan (ion/cm <sup>2</sup> )	
	1 x 10 <sup>16</sup>	5x 10 <sup>16</sup>
M <sub>s</sub> (emu/g)	0,0008299	0,0011546
M <sub>r</sub> (emu/g)	0,0000466	0,0000593
H <sub>c</sub> (Oe)	0,0011	0,0019

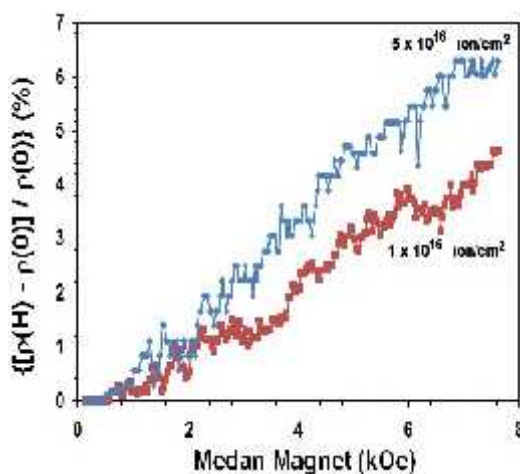
Fenomena ini disebabkan oleh cacat struktur grafit hasil interaksi antara radiasi ion dengan partikel grafit dan meningkatnya jumlah atom Ni yang tersebar pada permukaan lapisan tipis C/Si. Hal ini sangat menarik untuk menganalisis hubungan antara cacat yang dihasilkan oleh implantasi ion dan sifat magnetik sampel. Momen magnetik yang ditunjukkan pada Gambar 3, adalah efek dari implantasi ion. Energi yang digunakan dalam proses implantasi ion cukup besar yaitu sekitar 70 keV, sehingga ion Ar<sup>+</sup> yang diimplankan dapat menimbulkan cacat struktur grafit. Peningkatan dosis ion dapat meningkatkan cacat dalam struktur grafit, sehingga nilai M<sub>s</sub>, M<sub>r</sub> dan H<sub>c</sub> bahan juga meningkat [14] karena cacat dapat menginduksi sifat magnetik bahan [15].

Nisbah *magnetoresistance* adalah besaran fisis yang menyatakan perubahan harga resistivitas bahan akibat pengaruh medan magnet luar. Semakin besar nisbah menunjukkan bahan memiliki kepekaan semakin tinggi. Nisbah *magnetoresistance* dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut [16]:

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

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

Hasil *magnetoresistance* (MR) lapisan tipis C/Si setelah diimplan ion  $Ni^+$  dan ion  $Ar^+$  pada dosis  $1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> dan  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup>, diukur dengan metode *Four Point Probe*. Hasil pengukuran MR ini ditunjukkan pada Gambar 4, terlihat bahwa nilai MR untuk lapisan tipis karbon yang diimplan ion  $Ni^+$  dan ion  $Ar^+$  mempunyai nilai positif.



Gambar 4. Kurva *Magnetoresistance* lapisan tipis C/Si hasil implantasi ion  $Ni^+$  dan  $Ar^+$

Penambahan dosis ion  $Ni^+$  dan  $Ar^+$  sampai  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> menyebabkan konsentrasi agregat Ni pada permukaan lapisan tipis C/ Si meningkat (sesuai dengan data SEM/ EDS). Nilai MR meningkat hingga mencapai 16% seiring dengan meningkatnya dosis implantasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sejenis, yaitu pada kasus doping Co pada lapisan tipis C/Si [17]. Peningkatan nilai MR ini selain karena bertambahnya agregat Ni juga karena adanya cacat pada struktur agregat akibat implantasi ion [18].

Sampel lapisan tipis C/Si yang menggunakan bahan dasar grafit setelah diimplan ion  $Ni^+$  dan  $Ar^+$  menghasilkan cacat pada struktur *graphene* dari grafit [19].

Proses *magnetoresistance* yang terjadi adalah *electron tunneling* antar *granular* dengan karbon sebagai potensial *barrier* yang sebagian telah mengalami cacat struktur akibat proses implantasi ion  $Ni^+$  dan ion  $Ar^+$ . Grafit merupakan bahan semi-logam dengan jumlah elektron dan *hole* hampir sama. Dalam medan magnet, elektron dan *hole* dibelokkan pada sisi yang sama sehingga terjadi penimbunan muatan tanpa adanya spasi pada permukaan dan tanpa tegangan ruang yang dikembangkan, sehingga menghasilkan tenaga yang bersaing dengan tenaga Lorentz. *Carrier* dalam medan magnet dipindahkan sepanjang garis kurva dari pada garis lurus. Oleh karena itu, apabila medan magnet diaplikasikan pada bahan grafit, resistivitas bahan akan berubah. Interaksi antara berkas ion dengan bahan grafit menghasilkan pasangan elektron dan *hole* meningkat, sehingga mengakibatkan

momen magnetik dalam bahan meningkat dan memperbaiki sifat bahan tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa implan ion Ni<sup>+</sup> dan Ar<sup>+</sup> sampai dosis  $1 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> terhadap lapisan tipis karbon dapat merusak struktur grafit dan atom Ni tersebar pada permukaan lapisan tipis tersebut, hal itu ditunjukkan dengan munculnya intensitas puncak difraksi Ni (100) selain intensitas puncak difraksi C (002) dan S i(100) sebagai substrat. Data SEM/EDS menunjukkan bahwa atom Ni yang tersebar pada permukaan lapisan tipis C/Si, yaitu sebanyak 0,12%. Selain itu proses implantasi juga menimbulkan sifat magnetik pada lapisan tipis C/Si yang terlihat dengan adanya kurva magnetisasi dan nilai MR.

Peningkatan dosis implan ion Ni<sup>+</sup> dan ion Ar<sup>+</sup> masing-masing hingga  $5 \times 10^{16}$  ion/cm<sup>2</sup> menunjukkan intensitas puncak difraksi C(002) menurun secara drastis dan Ni(100) meningkat. Data SEM/EDS menunjukkan bahwa jumlah atom Ni yang tersebar meningkat menjadi 0,56%. Juga, sifat magnetik lapisan tipis C/Si mengalami peningkatan oleh penambahan dosis ini. Peningkatan ini mencapai 28% untuk M<sub>s</sub>, 21% untuk nilai M<sub>r</sub> dan 42 % untuk nilai H<sub>c</sub>, serta nilai MR mencapai sekitar 26% pada medan magnet 7,5 kOe.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada teman-teman di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN-PTBIN): Bpk Setyo Purwanto dan Bpk Salim Mustofa yang telah memberikan masukan dan arahan pada peneliti-

an ini, Ibu Tria Madesa yang telah membantu preparasi sampel, Bpk Yosef Sarwanto, Ibu Deswita, Ibu Mujamilah dan Bpk Eko Yudo Promono serta Bpk Wisnu A. A. yang telah membantu karakterisasi sampel. Terimakasih juga kami sampaikan kepada Bpk Iman Kuntoro selaku Kepala PTBIN–BATAN yang telah memberikan tugas melaksanakan penelitian ini yang dibiayai dari DIPA PTBIN tahun anggaran 2010.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Nasibulin A.G., et. al., "Carbon nanotubes and onions from carbon monoxide using Ni(acac) and Cu(acac) as catalyst precursors", *Carbon*, 41 (2003), 2711–2724.
2. de Heer W. and Ugarte D. "Carbon onions produced by heat treatment of carbon soot and their relation to the 217.5 nm interstellar absorption feature", *Chem. Phys. Lett.*, 207(4–6)(1993), p. 3480–6.
3. Cabioch T. et. al., "Carbon onions formation by high-dose carbon ion implantation into copper and silver", *Surf Coat Tech.*, 128/129 (2004), p. 3–50.
4. Chen X. H. et. al., "New method of carbon onion growth by radio-frequency plasma-enhanced chemical vapor deposition", *Chem. Phys. Lett.*, 336, (2001), p. 201–204.
5. Avasthi D.K., and Pivin J.C., "Ion beam for synthesis and modification of Nanostructures", *Current Science*, Vol. 98, No. 6 (2010), p. 780-792.
7. Wu J. et. al., "Fabrication of carbon nanotube-based nanodevices using a

- combination technique of focused ion beam and plasma-enhanced chemical vapor deposition”, *Appl. Phys. Lett.* 91 (2007), p.173122.1-3.
8. Talapatra S., et. al., “Irradiation-induced magnetism in carbon nanostructures”, *Phys. Rev. Lett.* 95 (9) (2005) 97201, p. 1-4.
9. Lehtinen P. O. et. al., “Structure and magnetic properties of adatoms on carbon nanotubes”, *Phys. Rev. B* 69 (2004) 155422, p.1-5
10. Esquinazi P. and Höhne R., “Magnetism in C<sub>60</sub> induced by proton irradiation”, *J. Magn. Magn. Mater.* 290–291 (2005), p. 20.
11. Misra A., et al. “Structural damage on multiwalled carbon nanotubes and encapsulated single crystal nickel anorods irradiated with Au<sup>7+</sup> ions of 100 MeV”, *Diam Relat Mater.* 15(2–3) (2006), p. 300–303.
12. Höhne R., et. al., “Magnetic properties of ion-implanted diamond”, *Diamond and Related Materials*, 16 (2007), p. 1589–1596.
13. Yunasfi, Salim Mustofa and Deswita,” Fabrication and Characterization of Graphite Nanostructure Thin Lapisan with Sputtering Technique”, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 13 (2011),. Hal. 59-64
14. Salim Mustofa and Yunasfi, “Growth of Carbon Nanotube by Applying Ion Implantation Technique”, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, Vol. 13 (2012), Hal. 108-113
15. Xinmei Y. et. al., “Correlation between the vacancy defects and ferromagnetism in graphite”, *Carbon*, 47 (2009), p. 1399–1406.
16. Zhang Y. et. al., “First-principle study of defect-induced magnetism in carbon”, *Phys. Rev. Lett.* 99(2007), 107201, p. 1–4.
17. Xue Q.Z. et. al., “Positive linear magnetoresistance in Fe<sub>x</sub>-C<sub>1-x</sub> composites”, *J. Magn. Magn. Mater.*, 270 (2004), p. 397-402.
18. Jiang Y. C. and Gao J., “Positive colossal magnetoresistance observed in Co doped amorphous cobalt/silicon heterostructures”, *Appl. Phys. Lett.* 101 (2012), p. 182401.
19. Yazyev O. V. and Helm L., “Defect-induced magnetism in grapheme”, *Phys. Rev B*, 75(2007), 125408, p.1–5.
20. Telling R. H. et. al, “Wigner defects bridge the graphite gap”, *Nature Materials*. Advanced on Line Publication. 2003, p. 1-5.