

**SIFAT MAGNETORESISTANCE BAHAN KOMPOSIT  $Fe_{0,2}C_{0,8}$   
SEBELUM DAN SESUDAH IRADIASI SINAR GAMMA  
PADA DOSIS 250 kGy**

Yunasfi, Setyo Purwanto, Wisnu A. A.

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang

**ABSTRAK**

**SIFAT MAGNETORESISTANCE BAHAN KOMPOSIT  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  SEBELUM DAN SESUDAH IRADIASI SINAR GAMMA PADA DOSIS 250 kGy.** Telah dilakukan penelitian terhadap sifat *magnetoresistance* bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  sebelum dan sesudah iradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy. Bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  dibuat dari campuran serbuk Fe dan serbuk C, dengan rasio komposisi 20% berat Fe dan 80% berat C. Pada penelitian ini, diamati perubahan sifat *magnetoresistance* bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  setelah diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy. Pengujian struktur  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  dilakukan dengan difraktometer sinar-X (XRD) dan karakterisasi sifat *magnetoresistance* dilakukan dengan metode *Four Point Probe*. Hasil pengujian dengan XRD menunjukkan penurunan intensitas puncak difraksi dari fasa Fe dan C oleh radiasi sinar gamma, sedangkan hasil pengukuran *magnetoresistance* menunjukkan peningkatan nilai *magnetoresistance* bahan tersebut. Peningkatan nilai ini mencapai 5 kali pada medan magnet 7,5 kOe setelah diiradiasi dengan sinar gamma. Hal ini disebabkan oleh adanya cacat struktur yang terbentuk dalam bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  akibat interaksi sinar gamma dengan bahan komposit tersebut yang menimbulkan perubahan intensitas interaksi magnetik di dalam bahan ini.

**Kata Kunci** : iradiasi sinar gamma, cacat struktur, *magnetoresistance*

**ABSTRACT**

**MAGNETORESISTANCE PROPERTIES OF  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  COMPOSITE MATERIALS PRE AND POST GAMMA IRRADIATED AT 250 kGy DOSE.** Research about change of *magnetoresistance* properties of  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  composite materials pre and post gamma irradiation at a dose of 250 kGy was carried out.  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  was prepared by mixing of Fe and C powder with the ratio of Fe : C set on 20:80 in weight %. In this research, the phase structure and magnetic properties of  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  composite materials after 250 KGy dose of gamma irradiation have been measured and analyzed. The phase structure of  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  was analyzed using X-ray diffractometer (XRD), while the *magnetoresistance* properties was characterized using Four Point Probe method. The analyzing results showed the decreasing of X-ray diffraction peak intensity, but also in the same time showed the increasing of *magnetoresistance* properties after gamma irradiation. The enhancement of *magnetoresistance* value reached 5 times at 7,5 kOe magnetic field. This enhancement was caused due to structure defect within  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  composite initiated by interaction between radiation of gamma ray and composite materials that further causes a change of magnetic interaction intensity in this materials.

**Key words** : gamma ray irradiation, structure defects, *magnetoresistance*

**1. PENDAHULUAN**

Bahan *magnetoresistance* adalah suatu bahan yang sifat resistivitasnya berubah terhadap pengaruh medan magnet

luar (1). Telah umum diketahui bahwa sifat resistivitas pada bahan *magnetoristance* seperti lapisan Fe/Ni (2) dan paduan (Sm,R)Mn<sub>2</sub>Ge<sub>2</sub> (3) memiliki ketergantungan

terhadap medan magnet. Konfigurasi spin magnet ternyata menjadi salah satu sebab munculnya sifat ini. Pencarian sifat-sifat *magneto-resistance* pada paduan magnetik akhir-akhir ini sangat sensitif dengan ditemukannya bahan *Giant* dan *Colossal magneto-resistance* pada bahan *Perovskite* seperti La-Mn-O, di mana peningkatan *magneto-resistance*-nya dapat sampai ratusan dan bahkan ribuan persen (4). Potensi aplikasi dari bahan *magneto-resistance* ini adalah sebagai sensor resistivitas dan divais penyimpanan data, sehingga bahan jenis ini terus dipejari oleh para peneliti maupun litbang swasta.

Penelitian sifat transport elektron pada material karbon dan komposisinya menjadi sangat menarik karena berkaitan langsung dengan ketidak sempurnaan struktur kristal dan struktur elektroniknya. Cacat atau kerusakan pada material berbasis karbon akan mempengaruhi sifat elektronik dan magnetik bahan secara bersamaan (5). Salah satu dari material nanokomposit berbasis karbon yang telah diteliti dan dikembangkan sejak beberapa tahun yang lalu adalah material komposit Fe-C. Penelitian dan pengembangan material ini sangat menarik sekali karena Fe-C menunjukkan konduktivitas elektrik dan transmisi cahaya yang rendah. Beberapa studi yang dilakukan oleh Romanenko et.al. (6), menunjukkan adanya evolusi sifat *magneto-resistance* pada karbon nano- partikel akibat proses grafitisasi nano-diamond dari *negative magneto-resistance* (NMR) sampai medan  $H=3$  Tesla namun berubah menjadi *positive magneto-resistance* (PMR) pada medan  $H>3$  Tesla.

Mekanisme terjadinya fenomena PMR ini belum dapat dijelaskan, kecuali bahwa besaran rasio MR berbanding lurus dengan medan yang diberikan, yaitu  $M_r \propto B^n$  dengan  $n$  adalah konsentrasi berat Fe.

Dari hasil penelitian terdahulu (7) diketahui bahwa  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  menunjukkan *positive magneto-resistance* (PMR), yaitu ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *magneto-resistance* seiring dengan peningkatan medan magnetik. Penelitian ini merupakan studi lanjutan untuk mempelajari perubahan sifat *magneto-resistance* bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  yang disebabkan karena adanya iradiasi sinar gamma. Dalam studi ini dilakukan analisis sifat *magneto-resistance* pada bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  yang dihasilkan dari interaksi radiasi pengion (radiasi energi tinggi, dalam hal ini radiasi sinar gamma) terhadap bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$ . Karakterisasi yang dilakukan meliputi karakterisasi fasa dengan difraktometer sinar-X (XRD) dan pengujian resistivitas dan sifat *magneto-resistance* dengan metode *Four Point Probe*. Penelitian ini dirasa perlu dilakukan dalam rangka untuk membuka jalan menuju diaplikasikannya teknik radiasi, dalam hal ini radiasi sinar gamma, pada industri manufaktur elektronik.

## 2. METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk Fe 99.9 % dengan ukuran 10-50  $\mu m$  dan serbuk C (grafit) 99,5 % dengan ukuran 10  $\mu m$ . Bahan Fe dan C ditimbang dengan komposisi 20 % berat Fe dan 80 % berat C dengan berat total pencampuran adalah 2

gram, kemudian *dimilling* selama 4,5 jam menggunakan *High Energy Milling (HEM)* merek *SPEX CertiPrep 8000M Mixer/Mill* yang terdapat di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), PTBIN-BATAN. Perbandingan berat bola : berat serbuk adalah 1 : 1 di dalam vial kecil berukuran 5 cc. Untuk menghindari kerusakan pada alat *milling* akibat peningkatan suhu motor yang terlalu tinggi, maka untuk setiap siklus *milling* selama 90 menit, proses dihentikan sekitar 1 jam untuk tujuan pendinginan motor. Pada proses *milling* ini vial serta bola yang digunakan terbuat dari bahan *stainless steel*.

Serbuk Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> yang diperoleh dari proses *milling* ditimbang sebanyak 0,5 gram dan kemudian diproses kompaksi untuk dibentuk pelet berdiameter  $\phi$  15 mm dan ketebalan 1 mm dengan tekanan 5000 psi menggunakan *hydraulic Press Enerpac*. Selanjutnya dilakukan identifikasi fasa terhadap cuplikan pelet menggunakan difraktometer sinar-X (XRD) merek Phillips APD 3520 yang ada di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), PTBIN-BATAN. Karakterisasi sifat *magnetoresistance* bahan Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> dilakukan dengan menggunakan metode *four point probe* merek *Jandel* yang terdapat di BKAN, PTBIN-BATAN, dengan nilai minimum 0,01 A, nilai perubahan arus 0,01 A dan nilai tegangan maksimum 2 mV. Perubahan resistivitas sebanding dengan perubahan panjang dan luas penampang bahan, seperti ditunjukkan pada persamaan (1), yaitu [7] :

$$R = \rho \left( \frac{x}{A} \right) \quad (1)$$

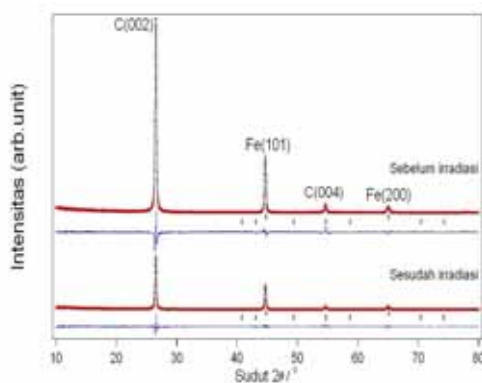
dimana, R,  $\rho$ , x, dan A masing-masing adalah resistansi (ohm), resistivitas (ohm.cm), panjang (cm) dan luas penampang (cm<sup>2</sup>). Dengan menggunakan rumus ini, maka nilai resistivitas bahan komposit Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> sebelum dan sesudah diiradiasi dengan sinar gamma dapat dihitung.

Cuplikan Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> yang telah diidentifikasi dengan XRD dan dikarakterisasi dengan metode *Four Point Probe* ini kemudian diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy dari Co-60 sebagai sumber radiasi. Iradiasi cuplikan Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> dilakukan pada fasilitas iradiasi yang ada di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) - BATAN, Pasar Jum'at – Jakarta. Cuplikan Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> yang telah diiradiasi selanjutnya diidentifikasi kembali fasanya dengan XRD dan diuji resistivitas dan sifat *magnetoresistance* dengan metode *four point probe* untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat iradiasi. Analisis profil difraktometer sinar-X yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak program *RIETAN (rietveld analysis)* (8).

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Pola difraksi sinar-X untuk bahan komposit Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> sebelum dan sesudah iradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 tidak terlihat munculnya puncak baru karena Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> merupakan bahan komposit dan tidak terjadi reaksi antara Fe dan C oleh iradiasi sinar gamma. Dengan iradiasi sinar gamma pada dosis 250 kGy terjadi penurunan intensitas puncak difraksi secara drastis dan terjadi pergeseran sudut

puncak difraksi, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Penurunan intensitas puncak difraksi C(002) adalah 33 %, 25 % untuk C(004), 13 % untuk Fe(110), dan 9 % untuk Fe(200). Sudut puncak difraksi C(002) berkurang 0,002° dan 0,027° untuk C(004) sedangkan untuk Fe(110) bertambah 0,005° dan 0,008° untuk Fe(200).



Gambar 1. Pola difraksi sinar X bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  sebelum dan sesudah iradiasi sinar gamma pada dosis 250 kGy

Tabel 1. Penurunan intensitas dan pergeseran sudut puncak difraksi bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  oleh iradiasi sinar gamma

Iradiasi	$R_{wp}$	$R_i$		$R_f$		S
	$Fe_{0,2}C_{0,8}$	Fe	C	Fe	C	
Sebelum	23,57	3,22	12,34	4,17	9,32	1,5850
Sesudah	29,02	4,86	12,95	4,39	12,13	1,1915

Perubahan yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1 disebabkan oleh interaksi sinar gamma dengan bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$ . Radiasi sinar gamma menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan struktur bahan, sehingga terjadi penurunan intensitas puncak difraksi bahan tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa struktur bahan tersebut menjadi tidak sempurna atau dengan kata lain terbentuk

cacat oleh adanya radiasi sinar gamma, salah satu kemungkinan adalah terjadinya cacat titik interstisi (9,10). Kerusakan permukaan struktur bahan ini menyebabkan elektron yang dihamburkan dalam bahan tersebut semakin berkurang. Proses terjadinya kerusakan pada bahan ini oleh sinar gamma akan dibahas lebih lanjut.

Data yang diperoleh dari identifikasi dengan metode XRD ini dianalisis dengan menggunakan program *RIETAN*, untuk membandingkan kurva eksperimen dengan teori dan untuk mendapatkan parameter kisi. Data hasil analisis dengan program *RIETAN* ditunjukkan pada Tabel 2, yang menunjukkan data *criteria of fit* dan *goodness of fit* untuk  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  sebelum dan sesudah iradiasi sinar gamma. Terlihat bahwa faktor R (*criteria of fit*) meningkat sedangkan faktor S (*goodness of fit*) berkurang setelah diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy.

Tabel 2. Data *criteria of fit* dan *goodness of fit* untuk  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  sebelum dan sesudah iradiasi sinar gamma pada 250 kGy.

Fasa	Sudut puncak difraksi ( $2\theta$ )		Intensitas puncak difraksi	
	Sebelum iradiasi	Sesudah iradiasi	Sebelum iradiasi	Sesudah iradiasi
C(002)	26,514	26,512	3352	2237
C(004)	54,598	54,595	164	123
Fe(110)	44,630	44,635	322	279
Fe(200)	64,956	64,964	44	40

Catatan :  $R_{wp}$  = *ratio of weight pattern*

$R_i$  = *ratio of intensity*

$R_f$  = *ratio of fitting*

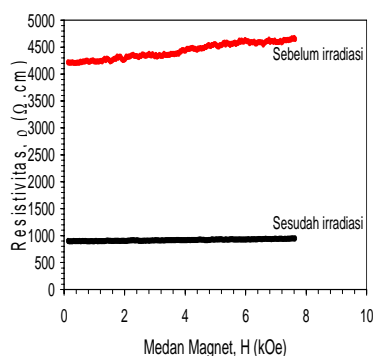
$R_p$  = *ratio of pattern*

S = *goodness of fit* =  $R_{wp}/R_p$

Hasil pengukuran resistivitas dan

*magnetoresistance* pada cuplikan Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> dengan metode *four point probe* sebelum dan sesudah diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Munculnya resistivitas bahan disebabkan karena adanya impuritas (ketidak murnian bahan), porositas atau *void* (kekosongan) dan cacat kristal sehingga elektron terhambur olehnya.

Resistivitas bahan komposit Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> mengalami penurunan oleh radiasi sinar gamma, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penurunan resistivitas oleh radiasi ini mencapai sekitar 400 % atau dengan kata lain akibat iradiasi sinar gamma maka resistivitas berkurang menjadi ¼ nya pada medan magnet 0,1 kOe dan penurunan ini semakin besar lagi dengan meningkatnya medan magnet, yaitu penurunan mencapai 500 % pada medan magnet 7,5 kOe. Hal ini disebabkan karena adanya cacat struktur yang disebabkan oleh radiasi sinar gamma sehingga efek hamburan elektron akan berkurang maka resistivitas bahan menjadi turun.



Gambar 2 Kurva resistivitas untuk Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> sebelum dan sesudah iradiasi sinar gamma pada dosis 250 kGy.

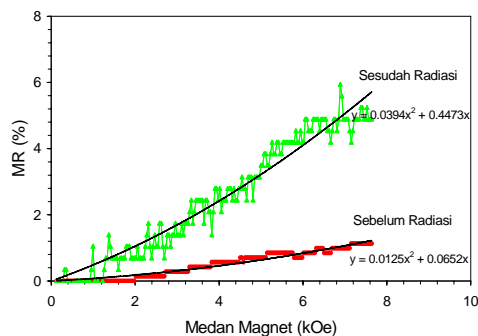
Sifat *Magnetoresistance* dapat didefinisikan sebagai perubahan resistivitas akibat pengaruh medan magnet luar, yang dapat ditulis sebagai berikut [11] :

$$\Delta\rho/\rho = \frac{\rho_H - \rho_{H=0}}{\rho_{H=0}} \times 100\% \quad (2)$$

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

Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai MR untuk bahan komposit Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub> meningkat setelah diiradiasi dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy. Sebelum iradiasi menunjukkan nilai MR sekitar 0,100% pada medan magnet 1 kOe dan meningkat menjadi sekitar 1,049% setelah diiradiasi. Nilai MR ini semakin meningkat dengan meningkatnya medan magnet, yaitu 1,130% pada 7,5 kOe sebelum iradiasi menjadi 5,245% setelah iradiasi, artinya nilai MR meningkat sekitar 5 kali lipat setelah diiradiasi. Peningkatan nilai MR ini disebabkan oleh adanya cacat yang dihasilkan di dalam struktur komposit Fe<sub>0,2</sub>C<sub>0,8</sub>.

Cacat struktur ini diduga terjadi pada masing-masing fasa C dan Fe. Dengan rusaknya struktur Fe, maka momen magnetik dari Fe ini juga terganggu, sedangkan carbon dalam hal ini memberikan kontribusi sebagai *barrier* magnetik antara partikel Fe. Dengan demikian, dengan meningkatnya medan magnet yang diterapkan, tampak MR juga semakin meningkat.



Gambar 3. Kurva *magnetoresistance* untuk  $\text{Fe}_{0,2}\text{C}_{0,8}$  sebelum dan sesudah iradiasi sinar gamma pada dosis 250 kGy.

Pada bahan komposit  $\text{Fe}_{0,2}\text{C}_{0,8}$  yang telah diproses *milling* selama 4,5 jam kemudian diiradiasi dengan sinar gamma ditemukan adanya cacat/kerusakan pada struktur *graphene* dari grafit secara signifikan yang ditandai dengan menurunnya secara drastis intensitas puncak difraksi C(002) pada pola difraksi sinar-X. Proses *magnetoresistance* yang terjadi adalah *electron tunneling* antar Fe *granular* dengan matriks grafit sebagai potensial *barrier* (11,12). Iradiasi bahan komposit  $\text{Fe}_{0,2}\text{C}_{0,8}$  menyebabkan terjadinya cacat struktur bahan tersebut. Cacat tersebut disebabkan oleh pengrusakan struktur bahan. Hal ini juga telah dibuktikan oleh Rob H. Telling et.al. (13), bahwa pengukuran makroskopik pada grafit yang diiradiasi mengungkapkan adanya *strain* atau pertumbuhan paralel pada sumbu-c dan kontraksi ke dalam *basal-plane*, peningkatan konduktivitas termal, berbagai perubahan pada sifat mekanik bahan grafit seperti konstanta elastis, *strength* dan sifat *creep*, penurunan resistivitas elektrik sumbu-c, dan peningkatan energi internal. 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 grafit, resistivitas grafit akan berubah. Akibat interaksi sinar gamma dengan bahan komposit  $\text{Fe}_{0,2}\text{C}_{0,8}$  menghasilkan pasangan elektron dan *hole* meningkat, sehingga intensitas magnetik dalam bahan meningkat. Peningkatan intensitas magnetik ini menimbulkan peningkatan sifat *magnetoresistance* bahan dan penurunan sifat resistivitas bahan tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa iradiasi bahan komposit  $\text{Fe}_{0,2}\text{C}_{0,8}$  dengan sinar gamma pada dosis 250 kGy menyebabkan penurunan intensitas puncak difraksi pada pola XRD dan meningkatkan nilai MR bahan, serta penurunan sifat resistivitas bahan tersebut. Penurunan intensitas maksimum ini disebabkan karena adanya permukaan struktur kristal bahan yang hancur oleh radiasi sinar gamma, sehingga struktur kristal menjadi tidak sempurna atau rusak. Akibat dari kerusakan struktur bahan komposit  $\text{Fe}_{0,2}\text{C}_{0,8}$  ini salah satu kemungkinan terjadinya cacat titik interstisi.

Adanya cacat yang terbentuk oleh

radiasi sinar gamma ini menyebabkan peningkatan nilai MR dan peningkatan ini semakin lebih besar dengan meningkatnya medan magnet, yaitu mencapai 500 % pada medan magnet 7,5 kOe, sedangkan nilai resistivitasnya berkurang dan pengurangan ini semakin lebih besar dengan meningkatnya medan magnet, yaitu penurunan mencapai 500 % pada medan magnet 7,5 kOe. Kerusakan struktur bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  oleh sinar gamma mengakibatkan perubahan intensitas interaksi magnetik antar atom dalam bahan tersebut, sehingga meningkatkan sifat MR dan menurunkan sifat resistivitas bahan tersebut. Namun, sampai batas dosis radiasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 250 kGy, belum menunjukkan terjadinya perubahan fase dari struktur bahan komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$ .

Untuk mengetahui lebih rinci peran cacat pada struktur C (grafit) dalam komposit  $Fe_{0,2}C_{0,8}$  akibat iradiasi sinar gamma maka perlu dilakukan percobaan untuk dosis yang lebih tinggi yaitu sampai dosis 1000 kGy.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada : Ibu Tria Madesa yang telah membantu kami dalam preparasi sampel, Bapak Yosef Sarwanto yang telah membantu kami dalam pengujian dengan metode XRD, serta Bapak Nada Marnada dari PATIR-BATAN, Pasar Jumat-Jakarta yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk melakukan iradiasi sampel.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Meneghini C, Mobilio S, Garcia-Prieto A, Foez-Gubieda M L F. *Structure and magnetic properties in CoCu granular alloy*. Nucl Instr and Meth in Phys Rev B. 2003 : 215-219.
2. Setyo Purwanto. *Penelitian dan pengembangan bahan unggul giant magnetoresistance paduan (Sm, R)  $Mn_2Ge_2$* . Laporan Riset Unggulan Terpadu VI. Kantor Menteri Riset dan Teknologi. Dewan Riset Nasional. 2001.
3. Coey J M D, Hinds G. *Magnetic electrodeposition*. Journal of Alloy and Compound. 2001 ; 326 : 238-245.
4. Foncuberta J, Martinez B, Seffat A, Pinol S, Garcia-Muniz J L, and X. Obtadors. *Chemical tuning of the colossal magnetoresistance of ferromagnetic perovskites*. Europhys Lett. 1996 ; 34 : 379-384.
5. Kenji Itozawa. *Magnetic recording medium containing iron carbide*. United State Patent 4748080 (2007).
6. Romanenko et al. *The temperature dependence of the electrical resistivity and the negative magnetoresistance of carbon nanoparticle*. Phys of Solid State. 2002 ; 44 (3) : 487-489.
7. Setyo Purwanto, Wisnu A. A., Ari Handayani dan Mashadi. *Evolusi sifat magnetoresistance pada cuplikan komposit Fe-C (grafit) hasil sintesis dengan metode mechanical alloying*, Jurnal Sains Materi Indonesia. 2007 ; 9 : 30-32.
8. Izumi F. *Rietan Manual*. 1994 (private communication).
9. Florian Banhart. *Irradiation effects in*

- carbon nanostructure*. Rep Prog Phys. 1999; 62 : 1181-1221.
10. Lehtinen P O, Foster A S, Yuchen Ma, Krashennikov A V and Nieminen R M. Irradiation induced magnetism in graphite : A density functional study. Phys Rev Let. 2004; 93 (18) : 187202.
11. Xue Q Z, Zhang X, Zhu D D. *Positive linear magnetoresistance in Fe<sub>x</sub>-C<sub>1-x</sub> composites*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2004 ; 270 : 397-402.
12. Gane E Schwarze, Janis M Niedra, Albert J Frasca and William R Wieserma. *Radiation and yemperature effects on electronic components investigated under the CSTI high capasity power project*. Tenth Symposium on Space Nulear Power Propultion. New Mexico. January 10-14, 1993.
13. Rob H Telling, Chris P Ewels, Ahlama A El-Barry and Malcolmi I Heggie. *Wigner defects bridge the graphite gap*. Nature Materials. Advanced on Line Publication. 2003 : 1-5.