

KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK GRAFIT SETELAH IRADIASI DENGAN SINAR- γ

Yunasfi, Setyo Purwanto dan Tria Madesa

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) – BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang

e-mail : yunasfi@yahoo.com

Diterima 05 Maret 2010, diterima dalam bentuk perbaikan 11 Juni 2010, disetujui 15 Juli 2010

ABSTRAK

KARAKTERISASI SIFAT LISTRIK GRAFIT SETELAH IRADIASI DENGAN SINAR- γ . Telah dilakukan penelitian tentang karakterisasi sifat listrik grafit hasil iradiasi dengan sinar- γ . Serbuk grafit dibuat dalam bentuk pelet dengan daya tekan sampai 20 ton. Pada penelitian ini, diamati perubahan sifat listrik grafit setelah diiradiasi dengan sinar- γ pada berbagai variasi dosis (100 kGy – 600 kGy). Karakterisasi sifat listrik grafit dilakukan dengan menggunakan alat ukur LCR meter. Hasil pengukuran sifat listrik pelet grafit dengan LCR menunjukkan bahwa nilai konduktivitas dan kapasitansi listrik grafit meningkat akibat radiasi sinar- γ , dan nilai ini semakin meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi. Peningkatan nilai ini mencapai sekitar 43,2 % untuk nilai konduktivitas dan sekitar 55,4 % untuk nilai kapasitansi setelah diiradiasi dengan sinar- γ sampai dosis 600 kGy. Peningkatan nilai ini diperkirakan akibat meningkatnya frekuensi interaksi antara radiasi sinar- γ dengan bahan grafit (dalam hal ini adalah elektron), yang menyebabkan daya tampung listriknya meningkat, sehingga sifat listrik bahan grafit tersebut menjadi lebih besar.

Kata kunci : Radiasi sinar- γ , grafit, sifat listrik.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF ELECTRICAL PROPERTIES OF GRAPHITES AFTER γ -RAY IRRADIATION. Characterization of electrical properties of graphites after irradiation by γ -ray was carried out. The graphite powders was formed into a pellet by a compaction under the pressure power up to 20 ton. In this research, change of electrical properties of graphites after being irradiated by γ -ray from 100 kGy to 600 kGy dose has been observed. Electrical properties of graphite were characterized using LCR meter instrument. The results showed the increase of electrical properties (conductivity and capacitance) caused by γ -ray irradiation. The values increase by increasing of γ -ray doses. The enhancement of conductivity value reaches about 43.2 %, and the capacitance value reaches about 55.4 % by 600 kGy γ -ray doses. The increasing of this value was estimated resulting from the increase in the frequency of the interaction between radiation rays-g and the graphite material (in this case was the electron), that caused his electricity capacity to increase, so as the characteristics of this graphite material of electricity became bigger.

Keywords : γ -Ray irradiation, graphite, electrical properties.

PENDAHULUAN

Potensi penggunaan grafit (karbon) dalam bidang elektronik telah dipelajari semenjak lebih dari 50 tahun yang lalu, dimana pada dekade terakhir ini dan terutama sekali pada lima tahun terakhir ini telah tumbuh dengan cepat dan mulai diberikan penghargaan terhadap aplikasinya. Negara-negara maju telah meneliti secara sangat intensif terhadap bahan-bahan karbon, dan kemudian mendisain divais elektronik yang berbasis pada bahan karbon, termasuk di dalamnya adalah grafit, *diamond*, *diamond like carbon* (DLC) dan bahan polimer yang terkonyugasi.⁽¹⁾ Penelitian sifat perpindahan elektron (*electron transport*) pada bahan karbon menjadi sangat menarik karena berkaitan langsung dengan ketidaksempurnaan struktur kristal dan struktur elektroniknya. Cacat pada bahan karbon akan mempengaruhi sifat elektronik dan magnetik bahan secara bersamaan.⁽²⁾

Efek radiasi pada zat padat telah mendapat perhatian sejak tahun 1950-an di negara-negara maju. Studi awal difokuskan pada kerusakan radiasi pada logam, bahan semikonduktor dan bahan isolator dalam tinjauan ketahanan radiasinya pada teknologi nuklir. Modifikasi karbon dengan teknik radiasi telah dilakukan lebih awal, khususnya grafit yang telah menarik perhatian peneliti karena grafit digunakan sebagai bahan reaktor nuklir⁽³⁾.

Ketertarikan ini berawal dari persoalan-persoalan yang berhubungan dengan pengoperasian reaktor fisi, misalnya perubahan dimensi dan penyusunan kembali cacat yang menimbulkan pelepasan energi secara spontan. Menurut perkembangan terkini, studi mendasar tentang cacat fisik di dalam grafit telah dilakukan untuk mengkaji aspek keselamatan yang berkaitan dengan *decommissioning* reaktor, dan sebagai sistem pemodelan untuk cacat di dalam bahan karbon yang lebih kompleks. Karbon (grafit) yang diiradiasi dengan radiasi pengion (energi tinggi) menyebabkan terjadinya cacat pada strukturnya. Cacat ini dihasilkan dari pergeseran atom akibat dari interaksi radiasi pengion (radiasi energi tinggi) dengan bahan tersebut.⁽³⁻⁴⁾ Pada umumnya populasi cacat yang terbentuk oleh radiasi ini sangat kompleks, namun masih sedikit informasi tentang sifat dasar seperti jenis cacat dan bagaimana interaksinya. Demikian pula, ada perbedaan besar dalam pemahaman efek cacat pada sifat fisik dan mikrostruktur, yang mana pemahaman tersebut sebagian besar masih hanya pada tingkat *phenomenological*.⁽⁵⁾ Pengukuran mikroskopik pada grafit yang diiradiasi mengungkapkan *strain* (pertumbuhan paralel pada sumbu-c dan kontraksi ke dalam *basal-plane*), peningkatan konduktivitas termal, berbagai perubahan pada sifat mekanik bahan grafit (konstanta elastis, *strength*, sifat *creep*), penurunan resistivitas listrik sumbu-c, dan peningkatan energi internal. Sebagian besar adalah hasil dari *disorder* kisi dan kerusakan struktur pada tingkat kristalit yang terisolasi atau cacat submikroskopik yang memusat secara parsial, dan tergantung pada variasi tingkatan temperatur iradiasi, fluks, dosis dan sumber radiasi.⁽³⁻⁶⁾

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap perubahan sifat listrik grafit setelah diiradiasi dengan sinar- γ pada dosis yang bervariasi, yaitu dari 100 kGy sampai 600 kGy. Karakterisasi sifat listrik bahan ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur LCR meter. Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya,⁽⁷⁾ yang menganalisis cacat struktur grafit setelah diiradiasi dengan sinar- γ sampai dosis 250 kGy. Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat memberikan informasi tentang penggunaan radiasi sinar- γ dalam industri elektronik. Penelitian ini perlu dilakukan dalam rangka pengaplikasian teknik radiasi (dalam hal ini radiasi sinar gamma) di bidang ilmu bahan (elektronika) di masa depan.

METODOLOGI

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk grafit (karbon, C) produksi PT. Merck yang memiliki tingkat kemurnian 99,5 % dengan ukuran serbuk 10 μm .

Alat

Peralatan yang digunakan terdiri dari : timbangan analitik, 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. Difraktometer Sinar-X merek Phillips APD 3520 dan alat ukur LCR meter, yang berlokasi di Bidang Karakterisasi dan Analisis Nuklir (BKAN), PTBIN-BATAN. Iradiator Co-60 sebagai sumber radiasi sinar gamma yang berlokasi di PATIR – BATAN, Ps Jumat – Jakarta.

Cara Kerja

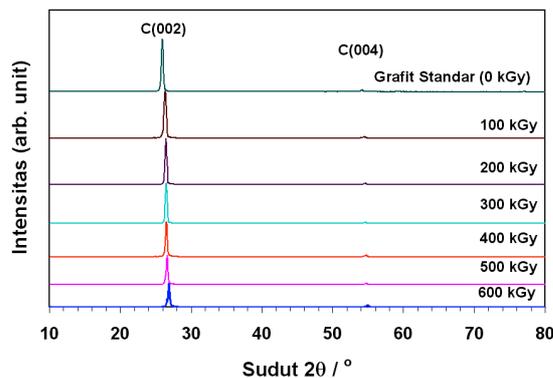
Bahan serbuk grafit ditimbang masing-masing sebanyak 0,8 gram, dan setelah itu dibuat menjadi bentuk pelet berdiameter 15 mm dengan daya tekan sampai 20 ton. Ketika daya tekan mesin pres mencapai 20 ton, penekanan didiadakan selama 5 menit untuk menyempurnakan pembentukan pelet sehingga pelet tersebut kuat dan tidak mudah pecah.

Pelet grafit yang terbentuk kemudian diukur sifat listriknya memakai peralatan LCR meter dengan parameter frekuensi antara 10 Hz sampai 100 kHz, pada tegangan potensial $V = 1$ Volt serta pada temperatur ruang.

Setelah pengukuran sifat listrik pelet grafit, kemudian diiradiasi dengan sinar- γ pada rentang dosis 100 kGy – 600 kGy dari Co-60 sebagai sumber radiasi. Setelah pelet grafit diiradiasi selanjutnya diukur kembali sifat listriknya dengan menggunakan alat ukur LCR meter. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat listrik pelet grafit yang terjadi akibat iradiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serbuk grafit dalam jumlah yang sama (0,8 gram) telah dibuat dalam bentuk pelet dengan daya tekan 20 ton pada temperatur ruang. Pelet grafit yang terbentuk mempunyai diameter 15 mm dengan ketebalan 1 mm. Hasil identifikasi pelet grafit dengan difraktometer sinar-X sebelum (0 kGy) dan sesudah iradiasi dengan sinar- γ sampai 600 kGy ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa intensitas puncak difraksi yang muncul hanya puncak difraksi untuk atom karbon yaitu C(002) dan C(004) sedangkan untuk atom-atom lain tidak ada. Hal ini menunjukkan bahwa struktur grafit masih didominasi oleh fasa heksagonal dan akibat iradiasi dengan sinar- γ tidak timbul puncak difraksi yang baru, ini berarti bahwa grafit yang diiradiasi dengan sinar- γ tidak terbentuk fasa lain. Pada Gambar 1 juga terlihat bahwa iradiasi grafit dengan sinar- γ menyebabkan penurunan intensitas puncak difraksi dan puncak difraksi ini semakin menurun seiring dengan bertambahnya dosis radiasi sinar- γ . Penurunan intensitas puncak difraksi ini menunjukkan bahwa interaksi antara sinar- γ dengan partikel grafit menyebabkan kerusakan (terbentuknya cacat) di dalam struktur grafit. Hal ini disebabkan oleh adanya *strain* yang dikembangkan dalam kristal oleh radiasi menyebabkan perubahan bidang kisi, sehingga menyebabkan pergeseran garis difraksi. Perubahan bidang kisi ini diukur dengan metode difraksi sinar-X. *Microstress* menyebabkan penurunan luasan garis difraksi, ketika *microstress* mengalami pergeseran garis. Hubungan antara penurunan luasan garis difraksi yang dihasilkan dengan ketidakteraturan *strain* dapat dibuktikan dengan menggunakan hukum Bragg.⁽⁸⁾ Menurut hasil penelitian terdahulu, cacat yang terbentuk di dalam struktur grafit ini oleh iradiasi sinar- γ ditunjukkan dengan adanya pergeseran sudut difraksi dan perubahan luasan intensitas maksimum.⁽⁷⁾

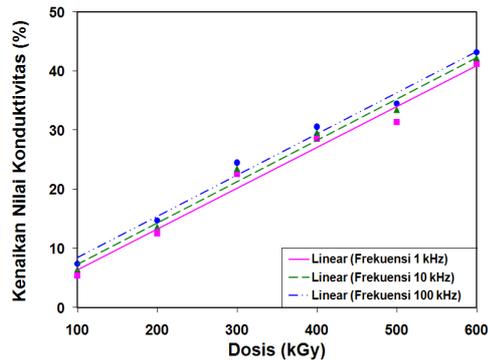


Gambar 1. Pola difraksi sinar-X pelet grafit hasil iradiasi dengan sinar gamma pada dosis (0 - 600 kGy).

Hasil pengukuran sifat listrik terhadap pelet grafit memakai alat ukur LCR meter maka diperoleh nilai konduktansi dan kapasitansi listrik pelet grafit. Pengukuran sifat listrik ini dilakukan terhadap perubahan parameter frekuensi yaitu dari 1 kHz - 100 kHz. Dengan menggunakan formula model W. K. Lee dkk.⁽⁹⁾ maka nilai konduktivitas grafit dapat dihitung, yaitu dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = G(L/A) \quad (1)$$

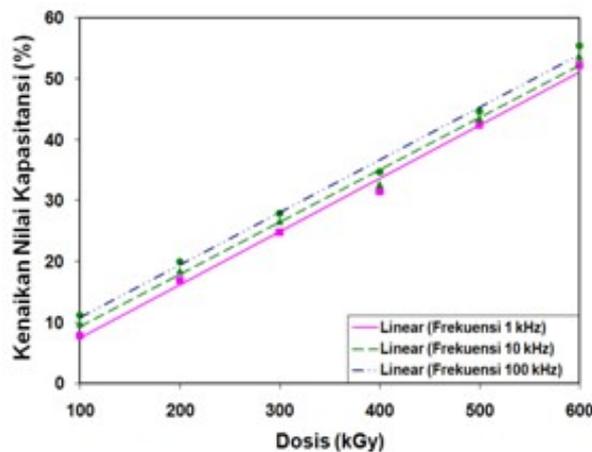
dimana, σ , G , L dan A masing-masing adalah konduktivitas (Siemens/cm), konduktansi (Siemens), tebal (cm) dan luas permukaan bahan (cm²). Dari hasil perhitungan nilai konduktivitas ini, maka diperoleh nilai konduktivitas grafit yang mengalami kenaikan seiring dengan naiknya frekuensi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konduktivitas grafit tersebut merupakan fungsi dari frekuensi. Namun secara umum besar kenaikan nilai konduktivitas ini adalah tidak signifikan, yaitu di bawah 2 %. Dengan demikian, kenaikan ini masih dalam batas toleransi yaitu ± 10 % dalam kaitannya nanti sebagai persyaratan untuk diaplikasikan sebagai piranti elektronik.



Gambar 2. Hubungan antara nilai konduktivitas grafit dengan dosis radiasi sinar- γ (100 - 600 kGy) pada perubahan frekuensi 1 kHz - 100 kHz.

Dari grafik garis yang ditunjukkan pada Gambar 2 juga secara jelas memperlihatkan bahwa nilai konduktivitas grafit meningkat setelah diiradiasi dengan sinar- γ dan nilai ini meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi. Semakin lama waktu iradiasi, maka nilai konduktivitasnya semakin besar. Nilai konduktivitas grafit sebelum diiradiasi 3,5834 Siemens/cm (untuk frekuensi 1 kHz), 3,5870 Siemens/cm (untuk frekuensi 10 kHz) dan 3,5976 Siemens/cm (untuk frekuensi 100 kHz). Sedangkan setelah diiradiasi dengan sinar- γ sampai 600 kGy, maka nilai konduktivitas ini meningkat sampai 43 %. Hasil ini menunjukkan bahwa iradiasi sinar- γ dapat meningkatkan nilai konduktivitas grafit.

Hasil pengukuran dengan LCR meter juga diperoleh nilai kapasitansi grafit dengan variasi parameter frekuensi dari 1 kHz -100 kHz. Hasil pengukuran ini diplot dalam bentuk grafik garis yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 diketahui bahwa tingkat kestabilan atau perubahan nilai kapasitansi terhadap perubahan frekuensi adalah secara keseluruhan hampir sama, yaitu dari frekuensi dari 1 kHz sampai 100 kHz meningkat sekitar 2 %. Sama halnya dengan hasil perhitungan nilai konduktivitas grafit yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 3 juga terlihat bahwa dengan semakin tinggi frekuensi maka kapasitansi grafit meningkat dan nilai kapasitansi ini juga meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi. Nilai kapasitansi grafit sebelum diiradiasi adalah 0,200 μ F (untuk frekuensi 1 kHz), 0,2121 μ F (untuk frekuensi 10 kHz) dan 0,2223 μ F (untuk frekuensi 100 kHz). Setelah diiradiasi dengan sinar- γ sampai dosis 600 kGy, maka nilai kapasitansi ini meningkat sampai 55 %. Hasil ini menunjukkan hal yang sama dengan nilai konduktivitas, yaitu iradiasi sinar- γ juga dapat meningkatkan nilai kapasitansi grafit



Gambar 3. Hubungan antara nilai kapasitansi grafit dengan dosis radiasi sinar- γ (100 – 600 kGy) pada perubahan frekuensi (1 kHz–100 kHz).

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa radiasi sinar- γ dapat meningkatkan sifat listrik grafit yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai konduktivitas dan nilai kapasitansinya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya cacat yang terbentuk akibat interaksi antara radiasi sinar- γ dengan partikel grafit di dalam struktur grafit. Peningkatan ini semakin tinggi seiring dengan bertambahnya dosis radiasi sinar- γ , karena cacat yang terbentuk juga semakin meningkat. Proses pembentukan cacat oleh radiasi sinar- γ di dalam struktur grafit dapat dijelaskan bahwa iradiasi sinar gamma terhadap bahan grafit (karbon) menghasilkan eksitasi molekul dan pembentukan elektron serta ion bebas yang berenergi tinggi.⁽⁵⁾ Partikel-partikel aktif ini akan berpindah di dalam struktur kristal bahan karbon, dan menyebabkan terjadinya tumbukan-tumbukan berikutnya dengan molekul-molekul yang ada di sekeliling jalur orbit mereka. Energi yang ditransferkan ke molekul-molekul ini melalui proses reaksi tumbukan kemungkinan dapat menimbulkan kenaikan suhu pada jalur yang dilalui elektron, yang akan membawa kepada penurunan nilai resistivitas listrik (ρ).⁽¹⁰⁾ Penurunan nilai resistivitas ini menunjukkan peningkatan nilai konduktivitas (σ) listrik dan kapasitansi listrik (C_x) bahan karena resistivitas listrik berbanding terbalik dengan konduktivitas listrik ($\rho = 1/\sigma$) dan kapasitansi berbanding lurus dengan konduktivitas listrik $C_x^2 = (\sigma A)/(r\omega^2 l)$ dengan C_x , σ , ω , A , l dan r berturut-turut adalah kapasitansi listrik, konduktivitas listrik (F), frekuensi sudut ($2\pi f$) (rad/dt), luas penampang sampel (m^2), tebal sampel (m) dan resistansi seri yang disebabkan oleh elektroda alat ukur (Ω)⁽¹¹⁾

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ini maka dapat disimpulkan bahwa iradiasi grafit dengan sinar- γ dapat meningkatkan sifat listriknya. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai konduktivitas dan nilai kapasitansi grafit dan nilai ini semakin meningkat seiring dengan bertambahnya dosis radiasi sinar- γ . Setelah grafit diiradiasi sampai 600 kGy, maka nilai konduktivitas meningkat sampai 43,23 % dan 55,41 % untuk nilai kapasitansinya. Peningkatan nilai ini diperkirakan akibat meningkatnya frekuensi interaksi antara radiasi sinar- γ dengan bahan grafit (dalam hal ini adalah elektron), yang menyebabkan daya tampung listriknya meningkat, sehingga sifat listrik bahan grafit tersebut menjadi lebih besar. Dengan demikian, iradiasi dengan sinar- γ dapat meningkatkan sifat listrik bahan grafit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada : Bapak Yosef Sarwanto yang telah membantu kami dalam pengujian dengan metode XRD. Bapak Nada Marnada yang telah mengizinkan kami untuk menggunakan fasilitas radiasi di PATIR-BATAN, Ps. Jumat. Bapak Salim Mustofa sebagai Kepala Sensor Nano Komposit, PTBIN-BATAN yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk melakukan penelitian ini, yang merupakan sebagian dari hasil kegiatan 2009 yang dibiayai dari DIPA PTBIN-BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. H. SIRRINGHAUS, SIR R FRIEND, W. HUCK, "Carbon Based Electronics : a National Consortium", Engineering and Physical Sciences Research Council (2006)
2. PATRICE GUAY, BARY L.S., ALAIN R., "On the Control of Carbon Nanostructures for Hydrogen Storage Applications", Carbon, 42 (2004) 2187-2193.
3. FLORIAN BANHART, "Irradiation Effects in Carbon Nanostructures", Rep. Prog. Phys, 62 (1999), 1181-1221.
4. ROB H TELLING, CHRIS P EWELS, AHLAMA A EL-BARRY and MALCOLM I HEGGIE. *Wigner Defects Bridge The Graphite Gap*. Nature Materials. Advanced on Line Publication. (2003) 1-5. www.nature.com/naturematerials
5. GANE E SCHWARZE, JANIS M NIEDRA, ALBERT J FRASCA AND WILLIAM R WIESERMA, "Radiation and Temperature Effects on Electronic Components Investigated Under the CSTI High Capacity Power Project", Tenth Symposium on Space Nuclear Power Propulsion. New Mexico. January 10-14 (1993)
6. FLORIAN BANHART, "Irradiation Effects in Carbon Nanostructure", Rep Prog Phys., 62 (1999) 1181-1221.
7. YUNASFI, SALIM MUSTOFA dan TRIA MADESA, *Jurnal Sains Materi*, PTBIN-BATAN, Vol. 10, No. 1, Oktober (2008) 35 – 38.
8. B. MALLICK, R. C. BEHERA, and T. PATEL, *Bull. Mater. Sci.*, 28 (6) (2005) 593-598.

9. W. K. LEE, J. F. LIU, and A.S. NOWICK, *Phys. Rev. Lett.* 67 (12) (1991) 1559 – 1561.
10. M. A. FADEL, H. H. HASSAN, H. OSMAN, and G. ATTIA, *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 11, No. 3 (1986) 270-275.
11. WILLIAM H. HAYT, JR., "*Engineering Electromagnetics*", McGraw-Hil International Edition, 5th ed. (1989) 175 -178.