

EFEK IRADIASI γ TERHADAP BAHAN KONDUKTOR PADAT $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$

P. Purwanto, Safei Purnama, E. Sukirman dan Wisnu Ari Adi

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspipetek Serpong 15314, Tangerang

ABSTRAK

EFEK IRADIASI γ TERHADAP BAHAN KONDUKTOR $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$. Bahan konduktor $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dapat dibuat dengan reaksi padatan yaitu pencampuran antara CuI dengan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$. Bahan konduktor di pelet dengan tekanan $8,43 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ dengan diameter 1,5 cm. Kemudian bahan konduktor padat dilakukan iradiasi- γ dengan laju dosis 10 kGy, 30 kGy dan 50 kGy. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan alat *LCR meter* pada frekuensi 0,1 Hz-1000 Hz. Nilai konduktivitas konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ sebelum iradiasi- γ $5,36 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ sampai $4,88 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$, sedangkan sesudah iradiasi- γ adalah $5,77 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ sampai $15,82 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$. Penentuan struktur kristal dilakukan dengan teknik difraksi sinar-x. Pola difraksi sinar-x pada bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ menunjukkan bahwa strukturnya adalah CuI.

Kata kunci : Bahan konduktor padat, iradiasi, konduktivitas, difraksi sinar-x

ABSTRACT

THE γ IRRADIATION EFFECT ON THE CONDUCTOR MATERIAL OF $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$. The conductor material of $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ has been prepared by solid state reaction, by mixing of CuI with $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ powders. The mixture was compacted with diameter 1.5 cm and at the pressure $8.43 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. The material of ionic conductor have been irradiated by γ -irradiation with dose of 10 kGy, 30 kGy and 50 kGy. The conductivity measurement of $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ was carried out by LCR at the frequency of 0.1 Hz to 1000 Hz. The result show that the conductivities value of $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ before irradiated are $5.36 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ to $4.88 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$, and after irradiated are $5.77 \times 10^{-4} \text{ S/cm}$ to $15.82 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$. Determination of crystal structure was done by x-ray diffraction. The result from x-ray diffraction show that the structure of $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ was structure of CuI.

Key words : Solid state conductor, irradiation, conductivity, x-ray diffraction

PENDAHULUAN

Konduksi ion didalam suatu bahan padat terjadi karena adanya ketidakaturan pada bahan tersebut. Adanya getaran termal pada bahan menyebabkan ion memperoleh energi untuk melakukan perpindahan dari satu tempat ke tempat lain di dalam suatu kristal sehingga terjadi kekosongan. Cacat pada kristal akan menimbulkan suatu mobilisasi ion misalnya cacat *Schottky dan Frenkel*. Banyaknya cacat pada bahan ini tergantung pada perlakuan panas yang diberikan pada bahan tersebut [1].

Konduktivitas listrik yang tinggi pada elektrolit padat disebabkan oleh adanya transport ion dalam bahan yang mekanismenya bukan pertukaran langsung kation anion yang membutuhkan energi yang sangat besar, melainkan melalui kecacatan dalam kristal dan ketidakaturan pada struktur kristal. Pada konduktor superionik, yang berperan terhadap transport ion adalah cacat titik *Schottky dan Frenkel*. Cacat *Schottky* terjadi jika ion bergerak dengan melompat ke dalam posisi yang kosong, melalui kisi dan membawa arus,

sedangkan cacat *Frenkel* terjadi dimana ion bergerak pada posisi antar interstisi. Hal ini membuat bahan mempunyai sifat konduktivitas tinggi dan energi aktivasinya rendah [1,2].

Bahan superionik padat adalah bahan ionik dengan konduktivitas listrik tinggi dibandingkan dengan elektrolit cair. Bahan ini dinamakan juga elektrolit padat atau konduktor ion cepat. Bahan superionik memiliki ikatan ionik dan konduktivitas listrik $\sigma = 0,1 - 10^{-4} \text{ S/cm}$ [2].

Bahan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ adalah bahan yang mempunyai kerapatan yang amat penting, karena perubahan kerapatan dapat menyebabkan terjadinya mobilisasi ion. Kemudian adanya kation logam pada bidang konduktivitas dapat pula menyebabkan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ mempunyai konduktivitas ionik yang tinggi [1-3].

Diketahui bahan CuI mempunyai beberapa fasa yaitu fasa γ pada suhu 27°C dan fasa α pada suhu 400°C . Konduktivitas CuI fasa γ adalah 10^{-7} S/cm dan fasa α adalah $6 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ [3].

Dari penelitian sebelumnya, pembuatan bahan komposit yang mempunyai konduktivitas yang baik telah dilakukan dengan cara perlakuan panas dengan cara di sinter pada suhu 100 °C, 200 °C dan 300 °C, hasil yang diperoleh belum mencapai optimum. Atas dasar perlakuan panas ini, selanjutnya dikembangkan dengan teknik radiasi dengan menggunakan iradiasi- γ . Teknik iradiasi- γ bersifat ada yang merusak dan tidak merusak bahan setelah di iradiasi. Dalam penelitian ini, dosis iradiasi- γ yang digunakan mulai dari 0 kGy sampai dengan 50 kGy untuk mendapatkan dosis yang optimum supaya didapatkan nilai konduktivitas yang baik.

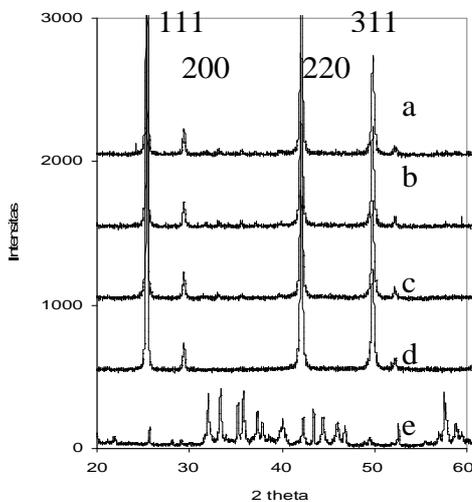
METODE PERCOBAAN

Percobaan ini dilakukan tiga jenis kegiatan, sebagai berikut : pembuatan bahan konduktor padat untuk 2 gram per pelet bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ yaitu dengan proses pencampuran antara serbuk CuI dan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan berat masing-masing yaitu CuI = 1,3026 g dan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3 = 0,6974$ g. Kemudian campuran bahan tersebut dibuat pelet dengan tekanan $8,43 \cdot 10^7$ N/m² dengan ukuran diameter 1,5 cm, selanjutnya padatan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ di iradiasi- α dengan dosis yaitu 10 kGy, 30 kGy dan 50 kGy. Penentuan struktur kristal dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar x. Pengukuran konduktivitas listrik dengan LCRmeter pada frekuensi antara 0,1 Hz sampai dengan 1000 Hz pada potensial $v = 1$ volt, $v = 1,5$ volt dan $v = 2$ volt

HASIL DAN PEMBAHASAN

Difraksi Sinar-x

Gambar 1 adalah pola difraksi dari bahan (a). $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dosis radiasi 50 kGy (b). $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dosis radiasi 30 kGy (c). $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dosis radiasi 10 kGy (d). CuI (e). $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$.



Gambar 1. Pola difraksi sinar-x dari (a). $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dosis 50 kGy (b). $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dosis 30 kGy (c). $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dosis 10 kGy (d). CuI (e). $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Dari Gambar 1, menunjukkan bahwa puncak-puncak yang nampak adalah puncak-puncak difraksi CuI, sedangkan puncak-puncak difraksi $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ tidak nampak, ini kemungkinan akibat faktor hamburan atom-atom pada CuI lebih besar dari faktor hamburan atom-atom pada $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Hasil analisis dengan program *igor* menunjukkan bahwa tidak ada perubahan intensitas dan posisi sudut difraksi pada bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$, ini berarti tidak ada kerusakan pada kristal. Misalnya pada bidang hkl = (111), (220) dan (331). Tampak pada gambar bahwa baik posisi sudut puncak maupun intensitas tidak berubah setelah iradiasi.

Tampak pada Gambar 1, puncak $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ tidak nampak setelah iradiasi, tetapi puncak-puncak CuI nampak. Hal ini berarti terjadi suatu difusi atom CuI ke permukaan bahan konduktor padat, sehingga yang nampak pada pola difraksi pada bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ hanya CuI. Penelitian pada bahan yang sama juga telah dilakukan terhadap pengaruh suhu [4]

Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$

Telah dilakukan pengukuran konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ pasca iradiasi γ dengan dosis iradiasi 10 kGy, 30 kGy dan 50 kGy. Pada pengukuran konduktivitas dengan variasi frekuensi dari 0,1 Hz sampai 1000 Hz dan variasi potensial 1 volt, 1,5 volt dan 2 volt.

Kebergantungan konduktivitas terhadap frekuensi yang dikenal dengan *Universal frequency response* dapat dijelaskan dengan model persamaan konduktivitas σ sebagai berikut [5] :

$$\sigma = \sigma_0 f^s \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

- σ = konduktivitas (Hz)
- σ_0 = konduktivitas pada frekuensi (= 1 Hz)
- S = faktor eksponen ($0 < s < 1$).

Persamaan konduktivitas (1) diubah menjadi bentuk logaritma yaitu:

$$\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f \dots\dots\dots (2)$$

Gambar kurva konduktivitas antara $\log \sigma$ terhadap $\log f$ ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 2 dilakukan *fitting* dengan membagi dua bagian yaitu pada \log rendah dan $\log f$ medium karena kedua daerah tersebut menunjukkan pola dan juga arti fisis yang berbeda. Pada daerah frekuensi rendah terjadi loncatan ion, kemudian pada daerah medium dimana konduktivitas turun pada frekuensi mencapai 1000 Hz. Hasil *fitting* ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3. Persamaan *fitting* yang digunakan adalah persamaan linier dari persamaan (3) yaitu : persamaan $\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f$.

Tabel 1. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ pada $v = 1$ volt.

Dosis (kGy)	S_{01}	S_{02}	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
0	0,00	-0,40	$5,39 \times 10^{-4}$	$4,87 \times 10^{-3}$
10	0,00	-0,57	$7,08 \times 10^{-4}$	$15,8 \times 10^{-3}$
30	0,00	-0,48	$6,15 \times 10^{-4}$	$8,08 \times 10^{-3}$
50	0,00	-0,46	$6,01 \times 10^{-4}$	$7,28 \times 10^{-3}$

Tabel 2. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ pada $v = 1,5$ volt.

Dosis (kGy)	S_{01}	S_{02}	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
0	0,00	-0,29	$5,37 \times 10^{-4}$	$2,39 \times 10^{-3}$
10	0,01	-0,39	$6,48 \times 10^{-4}$	$4,99 \times 10^{-3}$
30	0,00	-0,34	$5,93 \times 10^{-4}$	$3,33 \times 10^{-3}$
50	0,00	-0,33	$5,82 \times 10^{-4}$	$3,10 \times 10^{-3}$

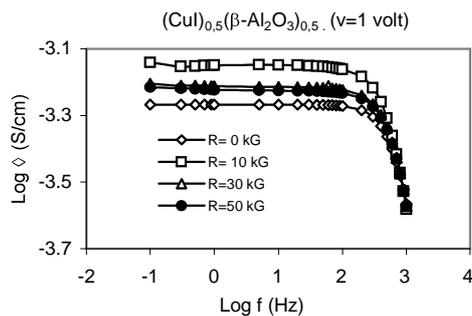
Tabel 3. Konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ pada $v = 2$ volt.

Dosis (kGy)	S_{01}	S_{02}	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
0	0,00	-0,40	$5,36 \times 10^{-4}$	$4,88 \times 10^{-3}$
10	0,01	-0,53	$6,30 \times 10^{-4}$	$11,6 \times 10^{-3}$
30	0,00	-0,46	$5,84 \times 10^{-4}$	$7,30 \times 10^{-3}$
50	0,00	-0,45	$5,77 \times 10^{-4}$	$6,83 \times 10^{-3}$

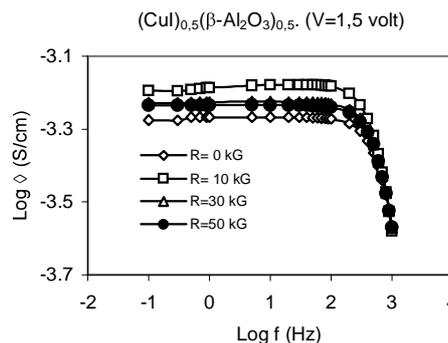
S_{01}, S_{02} = Kemiringan kurva pada daerah frekuensi rendah dan tinggi.
 σ_{01}, σ_{02} = Konduktivitas pada daerah frekuensi rendah dan tinggi.

Dari Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 nilai faktor eksponen *power* (*s*) berkisar 0,00 sampai 0,01 pada tegangan 1 volt, 1,5 volt dan 2 volt pada kisaran frekuensi rendah 0,1 Hz sampai 100 Hz, hal itu menunjukkan kurva konduktivitasnya datar yang berarti konduktivitas pada bahan konduktor padat tersebut tidak bergantung pada frekuensi, sedangkan pada kisaran frekuensi 200 Hz sampai 1000 Hz nilai faktor eksponen berkisar antara 0,29 sampai -0,57. Pada daerah frekuensi 200 Hz sampai 1000 Hz, kurva konduktivitasnya turun terhadap frekuensi. Pada daerah frekuensi sekitar 200 Hz bahan CuI mengalami suatu transisi fasa. Menurut acuan [3], bahwa CuI mempunyai fasa- γ pada suhu 27 °C dan nilai konduktivitasnya $\sigma = 10^{-7}$ S/cm sedangkan fasa- α pada suhu 400 °C konduktivitas $\sigma = 6 \times 10^{-2}$ S/cm. Energi fonon yang dihasilkan dari vibrasi konduktor padat tersebut dapat di setarakan dengan energi *thermal* pada saat bahan tersebut mengalami perlakuan panas. Begitu juga bila dipanaskan sampai suhu tertentu akan mengalami suatu vibrasi *thermal*, sehingga mengalami suatu transisi fasa pada bahan konduktor tertentu.

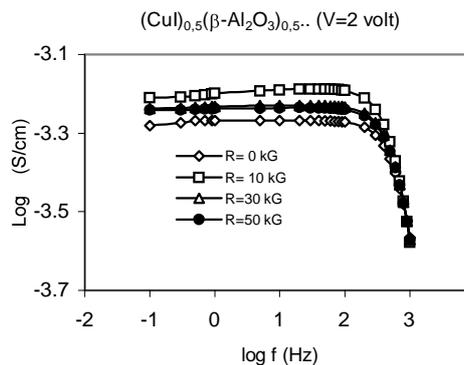
Pada Kurva Konduktivitas pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 dihitung nilai konduktivitas dalam dua daerah frekuensi, yaitu daerah frekuensi rendah 0,1 Hz sampai 200 Hz dan daerah frekuensi tinggi 200 Hz sampai 1000 Hz. Nilai konduktivitas konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ pada tegangan $v = 1$ volt, $v = 1,5$ volt dan $v = 2$ volt berturut-turut adalah $(5,39-7,08) \times 10^{-4}$ S/cm, $(5,37-6,48) \times 10^{-4}$ S/cm dan



Gambar 2. Kurva konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$, tegangan $v = 1$ volt.



Gambar 3. Kurva konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$, tegangan $v = 1,5$ volt.



Gambar 4. Kurva konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$, pada tegangan $v = 2$ volt.

$(5,36-6,30) \times 10^{-4}$ S/cm pada kisaran frekuensi 0,1 Hz hingga 100 Hz, sedangkan pada frekuensi 200 Hz sampai dengan 1000 Hz nilai konduktivitas berturut-turut adalah $(4,87-15,82) \times 10^{-3}$ S/cm, $(2,39-4,99) \times 10^{-3}$ S/cm dan $(4,88-11,56) \times 10^{-3}$ S/cm.

Konduktivitas bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3, menunjukkan bahwa konduktor tersebut stabil pada kisaran frekuensi 0,1 Hz sampai dengan 100 Hz, sedangkan pada kisaran frekuensi 200 Hz sampai dengan 1000 Hz konduktivitas turun. Dari ketiga tabel tersebut terlihat juga bahwa konduktivitas bahan konduktor $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ mempunyai nilai stabil terhadap pertambahan dosis iradiasi- γ . Konduktivitas bahan konduktor $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ yang ditunjukkan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6 menunjukkan nilai stabil walaupun dilakukan variasi potensial yaitu $v = 1,5$ volt dan $v = 2$ volt.

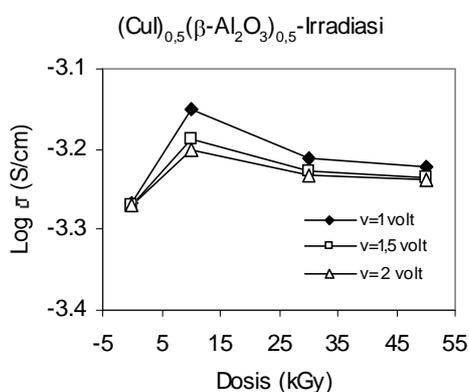
Dari Gambar 5 dan Gambar 6, menunjukkan bahwa pengaruh iradiasi γ tidak nampak berperan walaupun dosis ditingkatkan. Hal ini dapat juga dilihat pada pola difraksi bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ setelah iradiasi γ , nampak pola difraksinya tidak nampak jelas perubahan pada sudut 2θ dan intensitasnya. Bila dibandingkan nilai konduktivitas yang telah dilakukan sebelumnya [6], menunjukkan nilai konduktivitas $(\text{CuI})_{0,25}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,75}$ mempunyai nilai $(4,213\text{-}5,122)\times 10^{-5}$ S/cm. Penelitian sebelumnya telah dilakukan [4] bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ terhadap fungsi suhu dengan nilai konduktivitas $8,33\times 10^{-4}$ S/cm dan pola difraksinya yang nampak hanya puncak CuI. Apabila dibandingkan dengan proses iradiasi- γ dengan proses perlakuan panas, ditunjukkan bahwa nilai konduktivitas lebih baik setelah di iradiasi.

Pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 ditunjukkan konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ memiliki pola hampir sama terhadap variasi frekuensi dan tegangan yaitu menunjukkan datar pada daerah $\log f(-1)$ sampai $\log f(2)$, kemudian konduktivitas mencapai daerah turun pada $\log f(2)$ sampai $\log f(3)$.

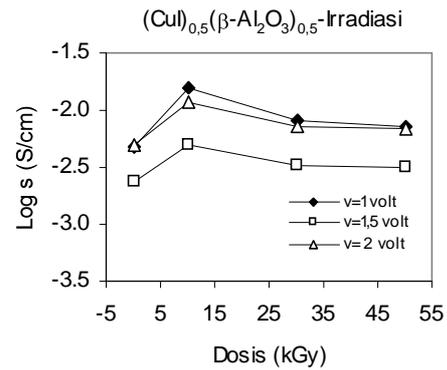
Kurva konduktivitas bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ setelah iradiasi ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4, bahwa pengaruh iradiasi dengan dosis berbeda tidak nampak perbedaan yang jelas. Begitu juga pada pengaruh iradiasi terhadap regangan pada bahan tersebut tidak menunjukkan adanya perubahan konduktivitas.

Hubungan Konduktivitas terhadap Iradiasi γ

Hubungan antara konduktivitas konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ terhadap dosis iradiasi γ ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari kedua gambar tersebut konduktivitas $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ adalah stabil terhadap dosis iradiasi- γ sampai 50 kGy. Konduktivitas bahan konduktor padat tersebut juga stabil walaupun dilakukan variasi tegangan sebesar 1 volt, 1,5 volt dan 2 volt.



Gambar 5. Hubungan konduktivitas bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ terhadap dosis iradiasi pada frekuensi 0,1 Hz-100 Hz.



Gambar 6. Hubungan konduktivitas bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ terhadap dosis iradiasi pada frekuensi 200 Hz sampai dengan 1000 Hz.

KESIMPULAN

1. Dari hasil pengukuran konduktivitas dengan menggunakan *LCR* meter pada suhu ruang, terhadap hasil iradiasi γ menghasilkan nilai konduktivitas bahan meningkat.
2. Nilai konduktivitas bahan $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ setelah iradiasi γ dengan variasi tegangan 1 volt sampai 2 volt adalah $5,36\times 10^{-4}$ S/cm sampai $15,85\times 10^{-3}$ S/cm.
3. Pada selang frekuensi 0,1 Hz sampai 100 Hz dan dosis iradiasi dari 0 kGy sampai dengan 50 kGy, kurva konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ datar. Begitu juga pada tegangan 1,5 volt dan 2 volt. Sedangkan pada daerah frekuensi 200 Hz sampai 1000 Hz dan dosis iradiasi 0 kGy hingga 50 kGy, kurva konduktivitasnya turun.
4. Pola difraksi dari $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ yang nampak adalah puncak-puncak CuI, sedangkan puncak $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ tidak nampak. Hal ini terjadi difusi atom-atom CuI ke permukaan setelah iradiasi.
5. Dengan teknik iradiasi- γ terhadap bahan konduktor padat $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dapat meningkatkan bahan pada konduktivitasnya.

DAFTARACUAN

- [1]. S. CHANDRA, *Superionic Solid Principle and Applications*, North Holland Publish Co, Amsterdam, (1981) 17-28
- [2]. R. WEST ANTHONY, *Solid State Chemistry and Its Application*, John Wiley & Son, Singapura, (1989)
- [3]. G. URR TAVIZCAYA, MANUEL J, *Mat.Res.Bull.* **27** (1991) 375-385
- [4]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan S. PURNAMA, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **6** (1) (2004) 40-44
- [5]. A. K. JONSCHER, *Nature*, **261**(1977) 673-676
- [6]. P. PURWANTO, S. PURNAMA dan E.KARTINI, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **5** (2) (2004) 14-18