

## PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA BAHAN KOMPOSIT $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$

Safei Purnama dan P. Purwanto

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

### ABSTRAK

**PENGARUH IRADIASI GAMMA PADA BAHAN KOMPOSIT  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ .** Bahan komposit  $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  telah dibuat dengan reaksi padatan yaitu pencampuran antara AgI dengan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Bahan elektrolit padat di pelet dengan ukuran diameter 1,5 cm dan tekanan 5 ton. Kemudian bahan komposit  $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  tersebut dilakukan iradiasi sinar- $\gamma$  dengan dosis 10 kGy dan 50 kGy. Setelah iradiasi, dilakukan pengukuran struktur kristal dengan teknik difraksi sinar-X, konduktivitas ionik dengan alat *LCR-meter* pada kisaran frekuensi 0,1 Hz hingga 100 kHz, dan diukur kekerasannya dengan alat *Vickers*. Pola difraksi sinar-X pada bahan komposit  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  menunjukkan bahwa struktur campuran yang terbentuk memiliki struktur *FCC* dan sama dengan fasa  $\gamma\text{-AgI}$ , dengan parameter kisi sekitar 6,52 Å. Nilai konduktivitas bahan campuran  $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  sebelum iradiasi berkisar antara  $0,11 \times 10^{-5}$  S/cm hingga  $0,13 \times 10^{-5}$  S/cm, sedangkan sesudah iradiasi adalah sekitar  $0,31 \times 10^{-6}$  S/cm hingga  $0,61 \times 10^{-6}$  S/cm.

**Kata kunci :** Komposit  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ , Difraksi sinar-X, Konduktivitas ionik, Iradiasi gamma

### ABSTRACT

**GAMMA IRRADIATION EFFECT ON THE COMPOSITE MATERIAL OF  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ .** The composite of  $\text{AgI}_{0,5}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  has been prepared via solid state reaction, by mixing of AgI with  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  powders. The mixture was compacted with diameter 1.5 cm and pressure 5 ton. The composite of  $\text{AgI}_{0,5}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  was irradiated with the value of 10 kGy, and 50 kGy, respectively. After irradiation, the crystal structure of  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  was measured by X-ray diffraction. The conductivity of  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  was measured by *LCR-metre* at the frequency between 0.1 Hz until 100 kHz, while the hardness value was used by *Vickers*. The result from X-ray diffraction show that the structure of  $\text{AgI}_{0,5}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  is correspond with phase of  $\gamma\text{-AgI}$ , with the parameter is 6.52 Å. The conductivities value of  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  before irradiation is between  $0.11 \times 10^{-5}$  S/cm to  $0.13 \times 10^{-5}$  S/cm, and after irradiation is between  $0.31 \times 10^{-6}$  S/cm to  $0.61 \times 10^{-6}$  S/cm.

**Key words :** Composite  $\text{AgI}_{0,5}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ , X-ray diffraction, Ionic conductivity, Gamma irradiation

### PENDAHULUAN

Bahan alumina,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  adalah bahan dasar untuk membuat bahan konduktor ionik  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  yang mempunyai mobilitas ion yang baik pada suhu di atas 300 °C, sedangkan untuk bahan AgI mempunyai konduktivitas ionik yang tinggi pada suhu di atas 147 °C setelah berubah menjadi  $\beta\text{-AgI}$  dan  $\alpha\text{-AgI}$  [1]. Pada suhu ruang bahan  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  dan bahan  $\gamma\text{-AgI}$  mempunyai konduktivitas ionik masing-masing sekitar  $10^{-8}$  S/cm dan  $10^{-7}$  S/cm. Pencampuran kedua bahan yang diikuti proses pemanasan pada suhu 300 °C diharapkan akan menaikkan konduktivitas ionik pada suhu kamar, dan dari hasil yang telah dilakukan didapat kenaikan konduktivitas pada campuran  $\text{AgI}_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  sekitar  $10^{-6}$  S/cm yang dapat dilihat pada Gambar 1 [2]. Hasil konduktivitas ionik campuran tersebut di atas relatif masih kurang tinggi (seharusnya lebih besar dari  $10^{-4}$  S/cm).

Untuk menaikkan konduktivitas ionik dicoba dengan cara iradiasi dengan sinar gamma. Iradiasi telah dilakukan juga pada bahan  $(\text{CuI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$  dan nilai konduktivitas elektrolit padat sebelum iradiasi  $5,36 \times 10^{-4}$  S/cm hingga  $4,88 \times 10^{-3}$  S/cm, sedangkan sesudah iradiasi adalah  $5,77 \times 10^{-4}$  S/cm sampai dengan  $1,58 \times 10^{-2}$  S/cm. Konduktivitas ionik tertinggi dilakukan iradiasi bahan dengan dosis 10 kGy [3,4].

Untuk mengetahui terjadinya kenaikan atau penurunan konduktivitas ionik perlu diketahui yang terjadi bila bahan diiradiasi sinar gamma. Tiga proses yang terjadi pada bahan akibat absorpsi sinar gamma [2] sebagai berikut :

- Absorpsi fotolistrik, bila terjadi tumbukan energi foton sinar gamma terhadap ikatan elektron pada atom. Sebagian energi sinar gamma menumbuk

elektron keluar dari atom dan sebagian memberikan energi kinetik pada elektron (T).

$$hf = T + I \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

I = Potensial ionisasi elektron

Proses ini bila atom mengabsorpsi sinar gamma dengan energi foton rendah. Bila terjadi perubahan elektron dalam atom, dimana sebuah elektron tertumbuk dari kulit K, kekosongan tersebut akan diisi oleh elektron dari kulit L atau kulit M. Selama elektron loncat dari kulit L atau kulit M ke kulit K akan mengeluarkan energi berupa radiasi sinar-X.

- b. Hamburan *Compton*, proses ini terjadi bila sinar gamma mempunyai energi foton medium, foton tersebut akan dihamburkan oleh sebuah elektron pada atom dan melewati diantara atom. Foton bergerak melengkung dengan energi akhir lebih rendah dari energi datang.
- c. Produksi pasangan elektron-positron. Hal ini terjadi bila energi foton sinar gamma sangat tinggi. Pada proses absorpsi ini sebuah foton sinar gamma menembus medan *Coulomb* sebuah inti atom dan terbentuk sebuah pasangan elektron-positron.

$$hf = T + 2m_0c^2 \dots\dots\dots (2)$$

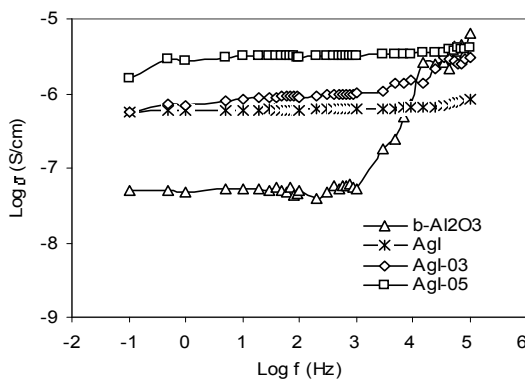
dimana :

T = Energi kinetik pasangan  
 $m_0$  = Massa diam elektron atau positron

Pasangan elektron positron tidak dapat dihasilkan bila energi foton  $hf < 2m_0c^2$  atau  $hf < 1,02$  MeV.

Iradiasi gamma dapat memutuskan ikatan antar atom dan juga dapat menimbulkan kekosongan atau cacat kristal pada bahan. Iradiasi dengan sinar gamma diharapkan akan menaikkan entropi pada bahan campuran tersebut dan seterusnya akan menaikkan konduktivitas ionik pada bahan tersebut.

Konduktivitas ionik terjadi karena adanya pergerakan ion didalam bahan, hal ini terjadi karena atom (katoda) pada bahan mempunyai energi bebas relatif



Gambar 1. Konduktivitas ionik  $AgI_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$  [5]

rendah, yang dapat diterangkan dengan Persamaan (3) berikut [2] :

$$\Delta G = \Delta G_0 + n\Delta g - T\Delta S \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

$\Delta G$  = Energi bebas atom menjadi ionik pada bahan  
 $\Delta G_0$  = Energi bebas untuk bahan sempurna (kristal tunggal)  
 n = Jumlah n cacat yang ada pada bahan  
 $\Delta g$  = Energi yang diperlukan untuk menimbulkan cacat  
 $T\Delta S$  = Energi bebas yang diperlukan yang dapat berkurang dengan naiknya suhu (T) dan entropi,  $\Delta S$ .

Menurut *Boltzman* :

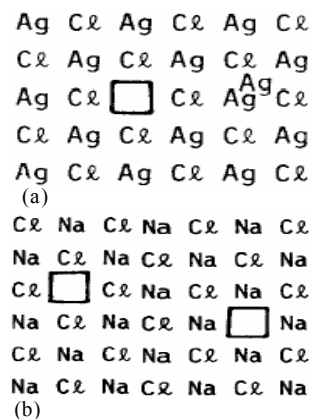
$$\Delta S = k \ln W \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

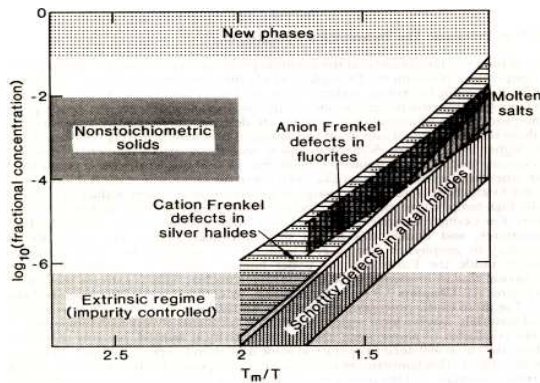
W = Jumlah cara untuk menghasilkan ketidakteraturan  
 k = Konstanta *Boltzman*

Dari persamaan tersebut diatas dapat diketahui bahwa dengan naiknya entropi maka energi bebas akan turun, yang akan memudahkan terjadi ionisasi (energi bebas yang besar) dan menghasilkan pergerakan ion yang akhirnya akan menaikkan konduktivitas ionik.

Iradiasi gamma akan menyebabkan cacat (*defect*) pada bahan campuran tersebut, hal ini disebabkan terjadinya tumbukan sinar gamma dengan elektron pada atom-atom pada campuran bahan tersebut yang mengakibatkan atom-atom tersebut tidak stabil karena kehilangan elektron yang dapat menimbulkan cacat *Frenkel*, Gambar 2(a) dimana kation meninggalkan posisinya dan menempati keadaan interstisial) dan cacat *Schottky*. Gambar 2(b) dimana sepasang kation dan anion meninggalkan posisinya dan menimbulkan kekosongan pada sistem kristal bahan campuran tersebut.



Gambar 2. (a) Gambaran cacat *Frenkel* dan (b) Gambaran cacat *Schottky*



**Gambar 3.** Pengaruh energi (suhu) terhadap cacat Schottky dan Frenkel [6].

Pada Gambar 3, memperlihatkan pengaruh energi (panas) terhadap terjadinya cacat Frenkel pada kation dan anion [3]. Dari Gambar 3. tersebut cacat terjadi disekitar suhu setengah suhu leleh bahan.

Untuk mendapatkan ketidakteraturan atau entropi yang meningkat pada bahan campuran tersebut digunakan energi iradiasi dengan dosis sinar gamma tertentu, untuk penelitian awal dilakukan dosis iradiasi gamma dengan variasi antara 0 KGy hingga 50 KGy. Pada bahan campuran  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  hasil iradiasi sinar gamma dilakukan analisis dan karakterisasi dengan menggunakan alat *LCR-meter* untuk mengetahui perubahan konduktivitas ionik, difraktometer sinar-X untuk mengetahui struktur kristal bahan tersebut dan juga dilakukan uji kekerasan dengan menggunakan alat kekerasan *Vickers*.

Penelitian ini diharapkan dapat diperoleh bahan  $(AgI)_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  sebagai elektrolit padat yang memiliki konduktivitas lebih baik yang selanjutnya akan dipakai untuk bahan elektrolit pada sistem sel ionik.

## METODE PERCOBAAN

Pembuatan elektrolit padat  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  dengan reaksi padat, campuran serbuk  $\beta-Al_2O_3$  dan AgI dipelet dengan tekanan 3 ton, dan dipanaskan pada suhu 300 °C selama 3 jam. Serbuk campuran tersebut sebagian dilakukan pengukuran suhu transisi, suhu leleh dengan mempergunakan *DTA (Differential Thermal Analysis)* dengan kecepatan pemanasan 20 °C/menit. Pengukuran ini dilakukan dengan alat *STA* merek *SETARAM*, di Bidang Bahan Industri Nuklir, PTBIN-BATAN. Iradiasi pada bahan dilakukan di PATIR-BATAN dengan sumber iradiasi  $^{60}Co$  dengan intensitas dosis 700 Gy/jam. Bahan campuran diiradiasi sinar gamma dengan dosis 0 KGy, 10 KGy dan 50 KGy (lihat Tabel 1).

**Tabel 1.** Iradiasi- $\gamma$  pada bahan  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$

No.	Dosis (KGy)	Waktu (Jam)
1.	0	0
2.	10	14,285
3.	50	71,428

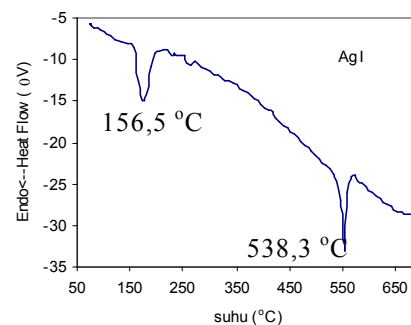
Pengukuran struktur kristal komposit hasil iradiasi gamma bahan  $AgI_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  dengan mempergunakan difraksi sinar-X, dengan kondisi peralatan : panjang gelombang Cu = 1,542 Å, tegangan = 30 kV dan arus = 30 mA. Alat yang digunakan difraktometer buatan *Philips*, di Bidang Karakterisasi dan Analisis Bahan, PTBIN-BATAN. Pengukuran konduktivitas komposit hasil iradiasi gamma bahan  $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  dilakukan dengan menggunakan alat *LCR-meter*, dan frekuensi yang digunakan 0,1 Hz hingga 100 kHz. Pengukuran kekerasan bahan dilakukan dengan alat *Vickers*, di Bidang Keselamatan dan Instrumentasi PTBIN-BATAN.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

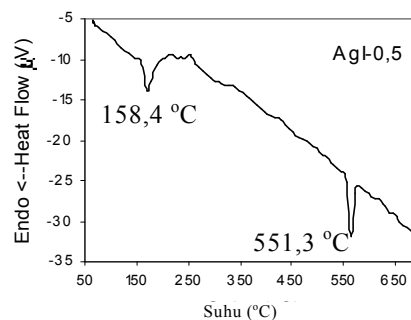
### Sifat Termal

Termogram *DTA* dari AgI dan  $AgI_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada Gambar 4 bahan AgI, reaksi endotermis yang berlangsung pada selang suhu 154 °C hingga suhu 158 °C, dan di atas suhu 538 °C mengalami pelelehan. Pada Gambar 5 ditunjukkan reaksi endotermis yang berlangsung pada selang suhu 156 °C hingga suhu 160 °C, dan di atas suhu 550 °C bahan campuran  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  mengalami pelelehan walaupun sudah ditambahkan  $\beta-Al_2O_3$ .

Dari Gambar 5, diketahui pola transisi fasa bahan campuran  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  sesuai dengan pola transisi fasa bahan AgI, tetapi suhu transisi fasa bahan campuran  $AgI_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  pada suhu 158,4 °C terjadi pergeseran sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan suhu transisi fasa AgI (Gambar 4) yaitu 156,5 °C. Pada kurva *DTA*



**Gambar 4.** Termogram *DTA* bahan AgI

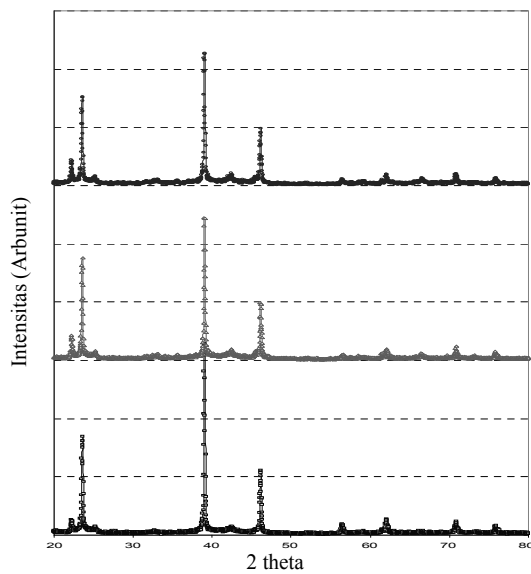


**Gambar 5.** Termogram *DTA* bahan  $AgI_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  sebelum iradiasi.

nampak terlihat suatu perubahan posisi puncak endotermis, terutama pada titik leleh yaitu 551,3 °C untuk bahan  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  dan 538,3 °C untuk bahan AgI.

### Difraksi sinar-X

Pola difraksi sinar-X dapat dilihat pada Gambar 6. Pola difraksi bahan campuran  $AgI_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  mempunyai pola difraksi bahan AgI. Perbandingan bahan  $\beta$ -Alumina dengan bahan AgI baik jumlah molekul yaitu 50,96 berbanding 117,38 atau 0,87 gram berbanding 1,13 gram untuk pembuatan campuran sebanyak 2 gram dengan metode metalurgi serbuk, bahan AgI relatif lebih banyak dalam jumlah mol atau berat sehingga pola difraksi bahan campuran didominasi oleh bahan AgI.



Gambar 6. Difraksi sinar-X bahan campuran  $(AgI)_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  yang diiradiasi dari bawah ke atas 0 KGy, 10 KGy, dan 50 KGy.

Hasil analisis pola difraksi sinar-X bahan campuran  $AgI_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  mempunyai sistem kristal FCC (*Face Centre Cubic*) sesuai dengan fasa  $\gamma$ -AgI dengan bilangan bidang difraksi semuanya genap atau ganjil yaitu [111], [220], [311], [400] dan [331]. Posisi puncak-puncak pola difraksi,  $2\theta$  bahan tersebut adalah sekitar 23°, 39°, 46°, 56°, dan 62°.

Dengan menggunakan hukum Bragg ;

$$\lambda = 2d \sin \theta \dots\dots\dots (5)$$

dengan

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

- $\lambda$  = Panjang gelombang dan target yang digunakan yaitu Cu ( $\lambda_{Cu} = 1,542 \text{ \AA}$ )
- a = Parameter kisi bahan campuran, yang akan dihitung dengan memasukkan data posisi sudut
- 2 $\theta$  = Bidang difraksi (hkl)

Puncak-puncak difraksi ditentukan dengan program Igor, dan pergeseran puncak pada setiap beda iradiasi  $\Delta 2\theta < 0,1$  derajat. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter kisi bahan  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  hasil iradiasi dari 0 KGy, 10 KGy dan 50 KGy.

Iradiasi 0 KGy			
2 $\theta$	hkl	a (Å)	a (Å) rata-rata
23,59	111	6,53	
39,05	220	6,52	6,51
46,16	311	6,52	
56,50	400	6,51	
62,09	331	6,51	
Iradiasi 10 KGy			
2 $\theta$	hkl	a (Å)	a (Å) rata-rata
23,54	111	6,54	
39,02	220	6,52	6,52
46,12	311	6,52	
56,51	400	6,51	
62,04	331	6,52	
Iradiasi 50 KGy			
2 $\theta$	hkl	a (Å)	a (Å) rata-rata
23,56	111	6,54	
39,04	220	6,52	6,52
46,14	311	6,52	
56,51	400	6,51	
62,07	331	6,51	

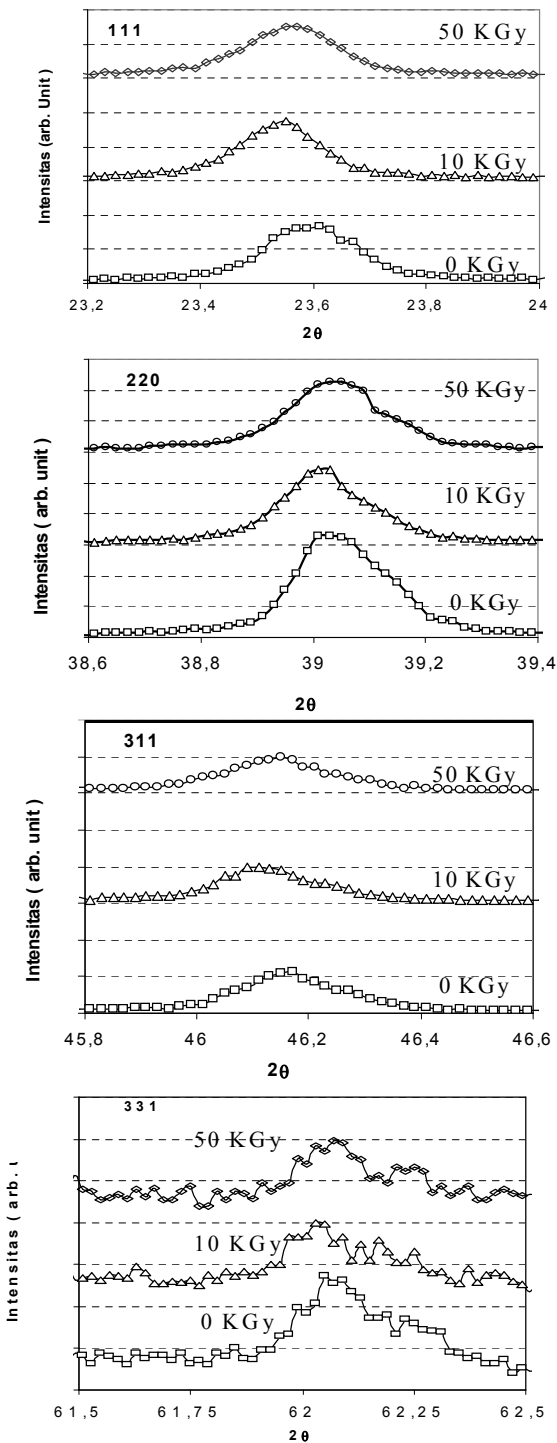
Hasil perhitungan parameter kisi dan analisis puncak difraksi sinar-X menunjukkan hampir tidak berarti adanya perubahan parameter kisi atau relatif sama pada bahan yang diiradiasi 10 KGy dan 50 KGy, maka tidak terjadi pergeseran posisi puncak difraksi (lihat Gambar 7(a), Gambar 7(b), Gambar 7(c) dan Gambar 7(d)).

### Struktur mikro $(AgI)_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$

Struktur mikro  $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  telah dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron (SEM) dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8(a) dan Gambar 8(b). Pada gambar tersebut tidak ada secara jelas perbedaan pada struktur mikro, dimana pada gambar terlihat butiran dari  $Al_2O_3$  yang belum terjadi ikatan sempurna antara butiran satu dengan yang lain, hal ini terjadi karena proses pemanasan hanya 300 °C. Sedangkan bahan AgI berada diantara butir-butir tersebut.

### Konduktivitas

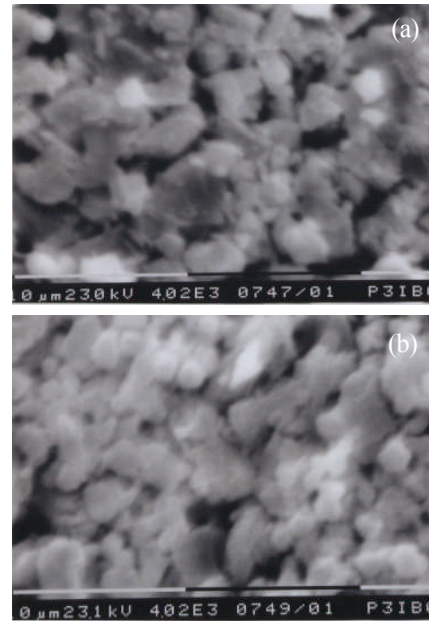
Pengukuran konduktivitas bahan campuran  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  yang belum dan sudah diiradiasi dengan menggunakan LCR-meter pada frekuensi 0,1 Hz hingga 100 kHz ditunjukkan pada Gambar 9, Gambar 9(a),



Gambar 7. Puncak Difraksi

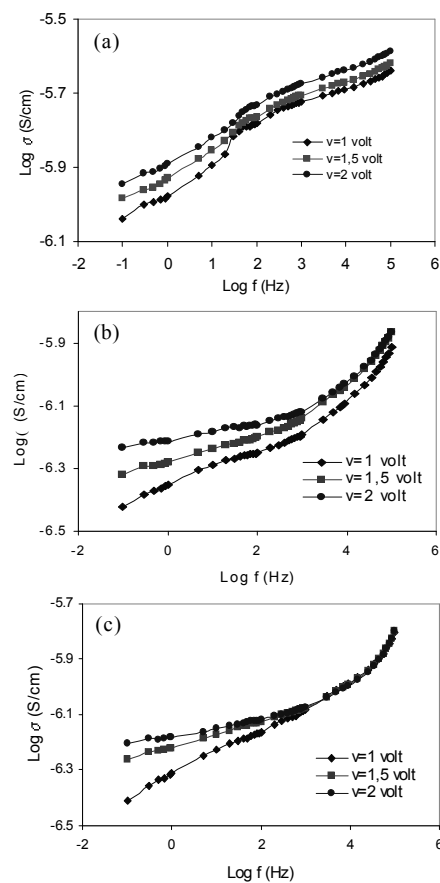
memperlihatkan konduktivitas ionik bahan sebelum iradiasi dengan variasi pengukuran 1 Volt, 1,5 Volt, dan 2 Volt, sedangkan Gambar 9(b), Gambar 9(c) dan Gambar 9(d), berturut-turut konduktivitas bahan yang telah diiradiasi dengan dosis 10 KGy, dan 50 KGy.

Dari Gambar 9(a) dan Gambar 9(b), terlihat bahan  $\text{AgI}_{0.5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0.5}$  konduktivitasnya naik dengan naiknya tegangan dari 1 Volt sampai 2 Volt dan dengan kenaikan frekuensi dari 0,1 Hz sampai 100 kHz.



Gambar 8. Strukturmikro bahan (a). sebelum diiradiasi, (b).  $(\text{AgI})_{0.5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0.5}$  sebelum iradiasi 50 KGy.

Bahan yang diiradiasi dengan dosis 50 KGy mengalami kenaikan konduktivitas ionik sampai sekitar frekuensi 1000 Hz, dan konduktivitas ioniknya tetap pada frekuensi yang lebih tinggi.



Gambar 9. Konduktivitas ionik bahan  $(\text{AgI})_{0.5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0.5}$  (a). tanpa Iradiasi, (b). Iradiasi 10 KGy dan (c). Iradiasi 50 KGy.

Tabel 1. Konduktivitas ionik  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$

Dosis Irr. (KGy)	Konduktivitas Ionik, $\sigma$ (S/cm)		
	V=1 Volt	V=1,5 Volt	V=2 Volt
0	$0,11 \cdot 10^{-5}$	$0,12 \cdot 10^{-5}$	$0,13 \cdot 10^{-5}$
10	$0,42 \cdot 10^{-6}$	$0,48 \cdot 10^{-6}$	$0,57 \cdot 10^{-6}$
50	$0,47 \cdot 10^{-6}$	$0,57 \cdot 10^{-6}$	$0,61 \cdot 10^{-6}$

Besar tegangan atau EMF yang diberikan pada sel pengukuran, menurut *Kiukkola* dan *Wagner* [1] adalah :

$$E = \frac{1}{|Z_x| F} [\mu_i'' - \mu_i'] \dots\dots\dots (7)$$

Dari Persamaan (7), menunjukan besar tegangan tergantung pada beda potensial elektroda (bahan kimia  $\mu_i''$  dan  $\mu_i'$ ). Besar tegangan tergantung pula pada besar arus dan besar tahanan, bila arus besar, maka tahanan kecil atau sebaliknya, dan bila konduktivitasnya besar, maka tahanan kecil dan arusnya besar.

Dari Persamaan (8), menggambarkan energi bebas atau ionisasi kation, semakin mudah terionisasi, maka energi bebasnya semakin kecil dan konduktivitasnya besar atau tegangan besar. Tanda negatif menunjukkan gerak kation didalam sel (bahan) berlawanan dengan gerakan elektron diluar sel.

$$E = - \Delta G / |Z_x| F \dots\dots\dots (8)$$

dimana :

- $\mu_i''$  dan  $\mu_i'$  = Potensial kimia diantara dua sisi bahan yang diukur
- $|Z_x|$  = Harga absolut dari valensi ion X
- F = Konstanta *Faraday*
- ‘G = Energi bebas *Gibbs*

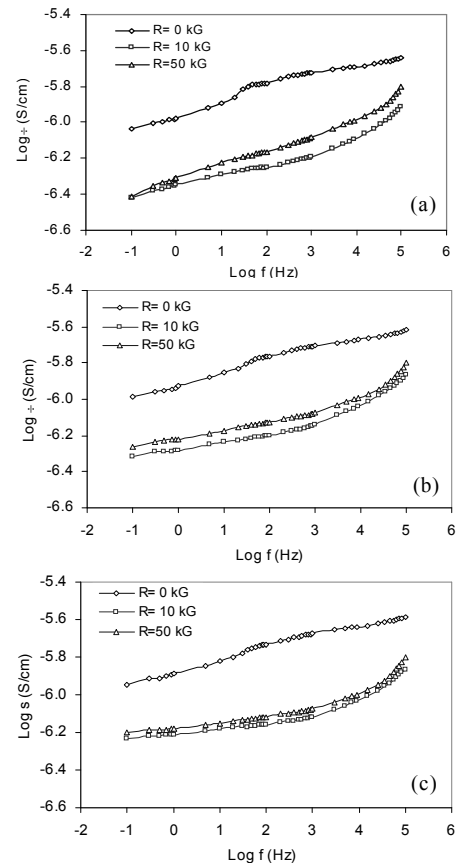
Untuk bahan  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$ , ion  $Ag^+$  adalah ion yang bergerak dengan  $|Z_x| = 1$ , sehingga persamaannya menjadi :

$$\Delta G = - EF \dots\dots\dots (9)$$

Persamaan (9) diatas menggambarkan bahwa energi bebas berhubungan dengan besar tegangan pada sistem sel. Energi bebas akan meningkatkan ion-ion yang bergerak, sehingga dapat menaikkan besar konduktivitas ionik.

Pada Gambar 9(a), Gambar 9(b) dan Gambar 9(c), terjadi kenaikan konduktivitas ionik dengan naiknya tegangan, pada frekuensi antara 0,1 Hz hingga 100 Hz, sedangkan diatas 100 Hz konduktivitas ionik konstan dengan naiknya tegangan khususnya untuk bahan diiradiasi 50 Kgy.

Pada Gambar 10(a), Gambar 10(b) dan Gambar 10(c) adalah konduktivitas ionik bahan yang diiradiasi 0 KGy, 10 KGy dan 50 KGy dengan besar tegangan 1 Volt, 1,5 Volt dan 2 Volt. Pengukuran konduktivitas komposit  $(AgI)_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  pada frekuensi



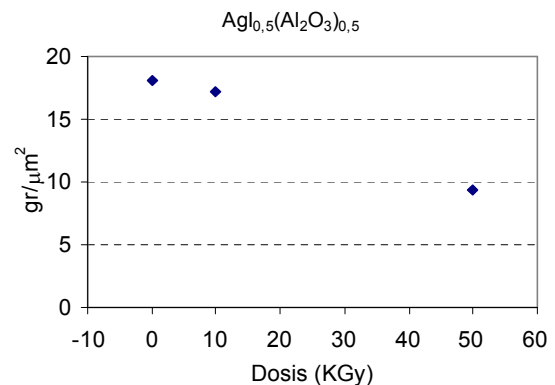
Gambar 10. Konduktivitas ionik bahan  $AgI_{0,5}(Al_2O_3)_{0,5}$  pada (a). V= 1 Volt, (b). V= 1,5 Volt dan (c). V= 2 Volt.

0,1 Hz hingga 100 kHz ditunjukkan pada Gambar 10(a), Gambar 10(b) dan Gambar 10(c). Bahan yang diiradiasi dengan dosis 10 KGy sampai dengan dosis 50 KGy terjadi penurunan konduktivitas ionik.

### Kekerasan Bahan

Hasil pengukuran kekerasan mikro Vickers pada bahan setelah diiradiasi dapat dilihat pada Gambar 11. Dari data kekerasan bahan yang diukur dengan alat kekerasan *Vickers*, terjadi penurunan kekerasan dengan naiknya dosis iradiasi.

Dari data diatas, terjadinya penurunan konduktivitas ionik pada bahan setelah diiradiasi dengan



Gambar 11. Kekerasan bahan setelah iradiasi.

dosis antara 10 KGy hingga 50 KGy disebabkan oleh adanya cacat *Frenkel*, dimana terjadi kekosongan dan interstisial kation (ion Ag). Proses tumbukan sinar gamma akan terjadi interstisial ion Ag (kation) dan sebagian akan bereaksi dengan elektron membentuk atom Ag.

Pada bahan yang diiradiasi 10 KGy dan 50 KGy disamping terjadi cacat *Frenkel* kation kemungkinan terjadi juga cacat *Frenkel* anion, yaitu terjadi interstisial ion I pada sistim kristal tersebut dan terjadinya sedikit sekali, sehingga susah diketahui. Perubahan kekerasan pada bahan disebabkan iradiasi sinar- $\gamma$  dapat dilihat juga pada bahan yang diukur kekerasannya dengan alat **kekerasan** *Vickers*, pada Gambar 11, dimana iradiasi dengan dosis 50 KGy mempunyai kekerasan yang lebih rendah.

## KESIMPULAN

Perubahan sifat termal bahan  $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  dari bahan AgI yaitu perubahan fasa pada suhu 154 °C hingga suhu 158 °C menjadi suhu 156 °C hingga suhu 160 °C, dan titik leleh dari 538 °C menjadi 550 °C. Hasil difraksi sinar-X bahan  $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  sebelum dan sesudah iradiasi tidak terjadi perubahan pada parameter kisi sistim kristal FCC sekitar  $a = 6,51 \pm 0,01 \text{ \AA}$  dan pergeseran puncak  $\Delta 2\theta$  kurang dari 0,1 derajat. Struktur mikro bahan  $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  sebelum dan sesudah iradiasi gamma tidak terdapat perbedaan. Konduktivitas ionik bahan  $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$  sebelum dan sesudah iradiasi gamma akan naik dengan naiknya besar tegangan. Konduktivitas ionik bahan menurun dengan naiknya dosis iradiasi mulai dari 10 KGy hingga 50 KGy dibandingkan konduktivitas ionik tanpa iradiasi dan kekerasan bahan turun dengan naiknya dosis iradiasi gamma. Penurunan konduktivitas dengan naiknya dosis radiasi pada bahan disebabkan terjadi kerusakan pada bahan yang tidak dapat diketahui dengan *X-Ray Diffraktometer* atau *SEM* karena skalanya kecil, hanya dapat diketahui dari sifat fisiknya yaitu konduktivitas atau tahanan listriknnya.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. S.CHANDRA, *Superionic Solid, Principle and Applications*, North Holland Publish, Co, Amsterdam, (1981)
- [2]. B.L.THERAJA. *Modern Physics*, S Chand & Company Ltd., New Delhi, (1981)
- [3]. P.PURWANTO, SAFEI PURNAMA, E. SUKIRMAN dan WISNU ARI ADI, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **Edisi Khusus** (2006)
- [4]. P.PURWANTO dan SAFEI PURNAMA, *Jurnal Mesin, Elektro, Industri, Sains, Fakultas Teknik, Atma Jaya*, 7 (2) (2006) 077-153
- [5]. P. PURWANTO, S. PURNAMA, *Pengaruh AgI Terhadap Konduktivitas Bahan Elektrolit Padat  $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$  ( $x = 0,3$  dan  $x = 0,5$ )*, (2006)

- [6]. A.M. STONEHAM, *Ionic Solids at High Suhues, Materials Physics and Metallurgy Division*, Harwell Laboratory, World Scientific publishing Co.Pte.Ltd, Singapore, (1989)
- [7]. G URRETAVIZCAYA, MANUEL J, *Mat.Res.Bull.*, 27 (1991) 375-385
- [8]. R. WEST ANTHONY, *Solid State Chemestry and Its Application*, John Wiley & Son, Singapura, (1989)
- [9]. P. PURWANTO, SAFEI PURNAMA, E. KARTINI, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 5 (2) (2004) 14-18
- [10]. W. K .LEE, J.F LIU and A. S NOWICK, *Physc.Rev.Lett.*, 67 (12) (1991) 1959
- [11]. L. VAN VLACK, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Alih bahasa SRIATI DJAPRIE, Erlangga, Jakarta, (1989)