

PENGARUH KONSENTRASI AgI TERHADAP SIFAT TERMAL DAN KONDUKTIVITAS ELEKTROLIT PADAT $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x = 0,3$ DAN $x = 0,5$)

P. Purwanto dan S. Purnama

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

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI AgI TERHADAP SIFAT TERMAL DAN KONDUKTIVITAS ELEKTROLIT PADAT $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x = 0,3$ dan $x = 0,5$). Elektrolit padat $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x = 0,3$ dan $x = 0,5$) telah dibuat dengan mencampurkan AgI dan $\beta-Al_2O_3$ dengan perbandingan fraksi berat tertentu, dibuat pelet pada tekanan $48,26 \times 10^6$ N/m² dengan diameter 1,5 cm, dilanjutkan dengan perlakuan panas pada suhu 300 °C selama 5 jam. Puncak-puncak difraksi sinar-X pada elektrolit padat $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ memperlihatkan bahwa puncak yang muncul adalah puncak AgI, sedangkan puncak $\beta-Al_2O_3$ tidak tampak. Regangan kisi $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ lebih tinggi dibandingkan $\beta-Al_2O_3$, dan nilainya meningkat terhadap pertambahan konsentrasi AgI. Konduktivitas $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ pada fraksi berat $x = 0,3$ tidak berbeda dengan konduktivitas AgI, sedangkan pada $x = 0,5$ konduktivitasnya naik. Termogram DTA untuk $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ memperlihatkan suatu proses endotermis pada suhu transisi fasa- β ke α dan titik leleh serta nilai entalpinya mengalami perubahan dengan ditambahkan konsentrasi AgI.

Kata kunci : Elektrolit, Difraksi sinar-X, Konduktivitas, Sifat termal.

ABSTRACT

EFFECT OF AgI CONCENTRATION TO THERMAL PROPERTIES AND CONDUCTIVITY IN SOLID ELECTROLYTE OF $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x = 0.3$ and $x = 0.5$). The solid electrolyte of $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x = 0.3$ and $x = 0.5$) were prepared by mixing AgI with $\beta-Al_2O_3$ with appropriate ratio of weight fraction, made into pellet at the pressure of 48.26×10^6 N/m² with diameter 1.5 cm, then heated at the temperature of 300 °C for 5 hours. X-ray diffraction profile of $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ show the peaks of AgI, but no peaks of $\beta-Al_2O_3$. Lattice strain of $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ was higher than $\beta-Al_2O_3$ and its value was increasing with concentration of AgI. The conductivities of $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ at $x = 0.3$ was not different with conductivity of AgI, but increasing at $x = 0.5$. The DTA thermogram of $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ indicated an endothermic process at transition temperature of β -phase to α while melting point and enthalpy was changing with increasing of AgI concentration.

Key words : Electrolyte, X-ray diffraction, Conductivity, Thermal properties

PENDAHULUAN.

Konduksi ion di dalam suatu bahan padat terjadi akibat 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 yaitu cacat Schottky dan Frenkel. Banyaknya cacat pada bahan tergantung pada perlakuan panas yang diberikan pada bahan tersebut [1].

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya memperlihatkan bahwa elektrolit padat $(CuI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ memiliki nilai konduktivitas $(4,5-9,7) \times 10^{-5}$ S/cm untuk frekuensi (0,1-100) Hz, sedangkan pada frekuensi (0,2-100) kHz adalah $(4-10) \times 10^{-5}$ S/cm [2].

Konduktivitas dan sifat termal elektrolit padat $(Cu)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ telah diteliti sebelumnya [3], dengan nilai konduktivitas pada tegangan yang diberikan pada sampel $v = 1$ volt adalah $(0,06-4,74) \times 10^{-5}$ S/cm.

Penelitian yang telah dilakukan yaitu sintesis bahan elektrolit padat berbasis gelas komposit $(AgI)_{0,7}(NaPO_3)_{0,3}$ menunjukkan bahwa pola difraksinya merupakan presipitasi dari kristalin AgI dan konduktivitas sekitar $(0,69-3,31) \times 10^{-5}$ S/cm. [4,5]. Peneliti lain telah mengembangkan elektrolit padat berbasis gelas [6-10]. Nilai konduktivitas amat penting karena dalam pemakaian pada baterai dapat tahan lama, maka diperlukan konduktivitas yang baik.

AgI memiliki fasa campuran γ -AgI yang berstruktur kubik dan β -AgI yang berstruktur

heksagonal [10]. Bahan elektrolit padat berbasis perak yaitu RbAg_4I_5 telah digunakan sebagai bahan elektrolit padat untuk pembuatan sel baterai sekunder dengan Ag sebagai anoda dan RbI_3 sebagai katoda dengan konfigurasi sel : $\text{Ag/RbAg}_4\text{I}_5/\text{RbI}_3$ [11].

Berdasarkan data-data penelitian di atas, maka penelitian ini akan melanjutkan dengan membuat suatu bahan campuran antara AgI dan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan variasi AgI, dengan formula $(\text{AgI})_x(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dengan fraksi berat $x = 0,3$ dan $x = 0,5$. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan elektrolit padat dengan konduktivitas yang lebih baik.

METODE PERCOBAAN

Percobaan ini dimulai dengan pembuatan bahan elektrolit padat $(\text{AgI})_x(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$. Proses pencampuran antara serbuk AgI dan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan perbandingan fraksi berat tertentu, ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan berat AgI dan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$

x	AgI (g)	$\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ (g)
0,3	0,9935	1,0065
0,5	1,3945	0,6055

Campuran kedua bahan tersebut (Tabel 1) digerus sampai halus dan dibuat pelet dengan tekanan $48,26 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dan ukuran diameter pelet 1,5 cm. Untuk pengompakan bahan tersebut dilakukan pemanasan pada suhu 300°C selama 5 jam.

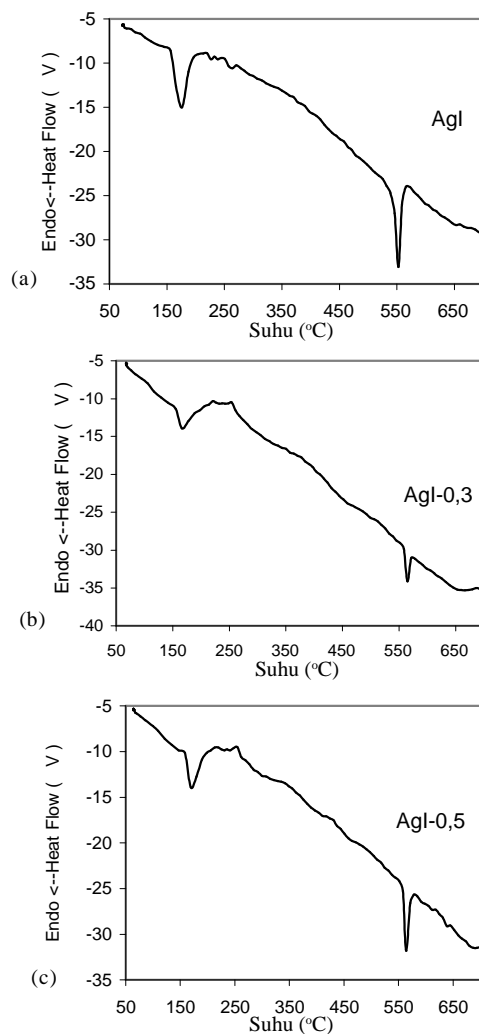
Pengujian struktur kristal dan penentuan regangan dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar-X. Pengukuran konduktivitas listrik dengan LCR meter pada frekuensi antara 0,1 Hz hingga 100 kHz dengan potensial $v = 1$ volt hingga $v = 3$ volt. Pengukuran sifat termal untuk menentukan suhu transisi dan entalpi bahan dilakukan dengan DTA dengan selang suhu 500°C hingga 800°C .

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Sifat Termal

Pada Gambar 1 memperlihatkan termogram DTA untuk ketiga sampel yaitu AgI, $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ dan $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dengan kecepatan pemanasan $20^\circ\text{C}/\text{menit}$. Parameter termal yang diperoleh dari ketiga sampel ditunjukkan pada Tabel 2.

Sampel	Entalpi (mJ/mg)	Suhu transisi ($^\circ\text{C}$)
AgI	-59,32 -79,29	159,63 (fasa- β ke α) 549,67 (titik leleh)
$(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$	-22,87 -27,09	157,73 (fasa - β ke α) 559,20 (titik leleh)
$(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$	-35,31 -45,24	160,27 (fasa - β ke α) 564,03 (titik leleh)



Gambar 1. Termogram DTA (a). AgI, (b). $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ dan (c). $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$

Gambar 1a, menunjukkan termogram DTA dari AgI dengan pemanasan mulai dari 50°C sampai dengan 800°C . Tampak pada termogram adanya suatu reaksi endotermis pembentukan dari fasa- β ke fasa- α pada suhu $159,63^\circ\text{C}$, sedangkan pada suhu $549,67^\circ\text{C}$, AgI mengalami suatu reaksi endotermis yang merupakan titik leleh.

Gambar 1b adalah termogram DTA elektrolit padat $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$. Tampak pada gambar tersebut suatu reaksi endotermis pembentukan fasa- β ke fasa- α pada suhu $157,73^\circ\text{C}$, sedangkan pada suhu $559,20^\circ\text{C}$, $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ mengalami pelelehan.

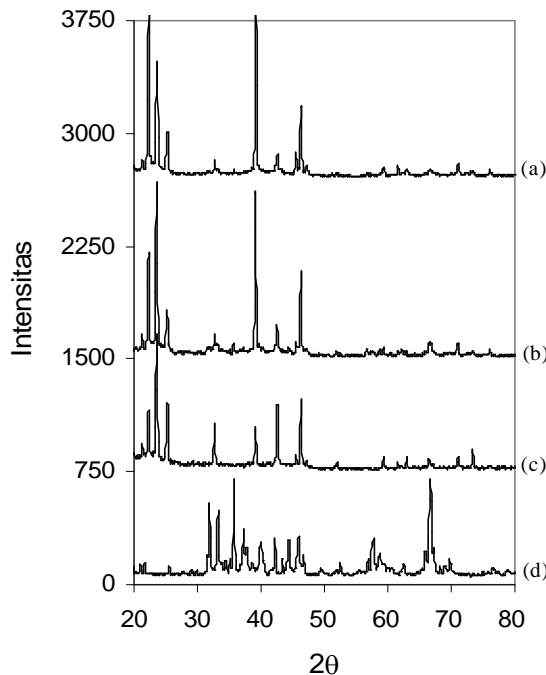
Termogram DTA dari $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ ditunjukkan pada Gambar 1c. Pada gambar tersebut ditunjukkan reaksi endotermis yang berlangsung pada selang suhu $150,0^\circ\text{C}$ hingga $220,0^\circ\text{C}$. Pada suhu $160,27^\circ\text{C}$ $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ terjadi perubahan fasa dari fasa- β ke fasa- α . Sedangkan pada suhu $564,03^\circ\text{C}$ $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ mengalami pelelehan.

Penambahan konsentrasi AgI berpengaruh terhadap perubahan sifat termal, yaitu terjadi

pergeseran suhu transisi fasa- β ke fasa- α menjadi lebih tinggi pada bahan elektrolit padat $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$. Pada kurva DTA nampak terlihat perubahan posisi puncak endotermis.

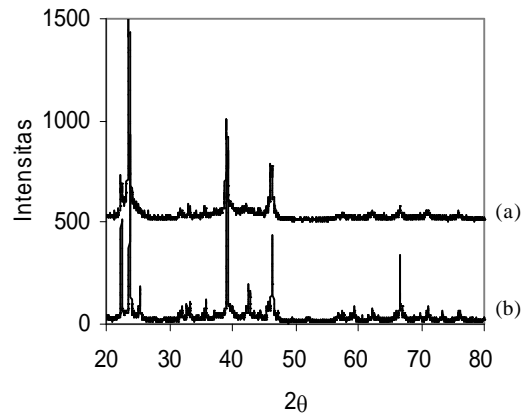
Difraksi sinar-X

Bahan $\beta-Al_2O_3$ yang telah ditambahkan AgI dengan fraksi berat $x = 0,3$ dan $x = 0,5$ dianalisis dengan difraksi sinar-X, hasilnya diperhatikan pada Gambar 2. Gambar 2a adalah puncak-puncak difraksi dari $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$. Sedangkan Gambar 2b, Gambar 2c dan Gambar 2d berturut-turut adalah puncak difraksi dari $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$, AgI dan $\beta-Al_2O_3$. Pada Gambar 2a dan Gambar 2b, yang tampak hanya puncak-puncak difraksi AgI, sedangkan puncak $\beta-Al_2O_3$ tidak kelihatan. Hal ini akibat proses pemanasan, dimana bahan AgI yang relatif lebih lunak dibandingkan bahan $\beta-Al_2O_3$ sehingga berlangsung difusi bahan AgI ketika berlangsung pemanasan.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-X (a). $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$, (b). $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$, (c). AgI (d). $\beta-Al_2O_3$

Untuk menjelaskan tidak tampak puncak-puncak $\beta-Al_2O_3$, maka dilakukan pengulangan dengan cara penggerusan bahan $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ kemudian dipelet dengan ukuran diameter sama tetapi tanpa perlakuan panas. Kedua bahan elektrolit padat ini dilakukan pengukuran dengan difraksi sinar-X. Puncak-puncak difraksi sinar-X bahan elektrolit padat $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 memperlihatkan bahwa puncak-puncak difraksi $\beta-Al_2O_3$ tetap tidak tampak, hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panas dan fraksi berat AgI berpengaruh pada



Gambar 3. Pola difraksi sinar-X serbuk (a). $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ dan (b). $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$

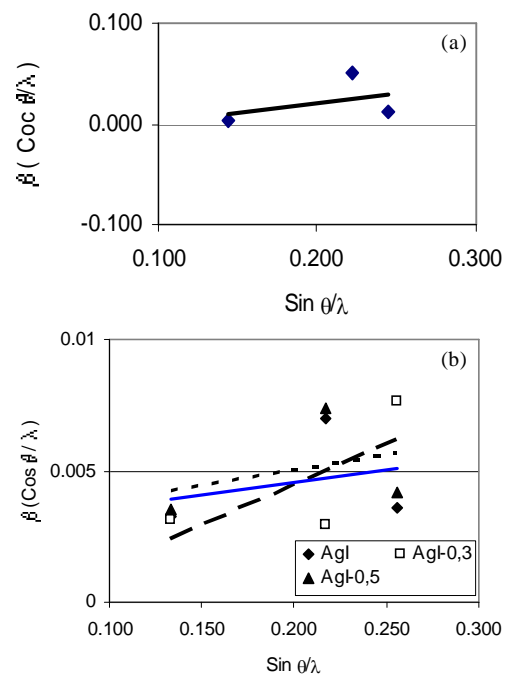
puncak-puncak $\beta-Al_2O_3$ sehingga puncak yang nampak hanya puncak-puncak AgI.

Regangan kisi kristal $\beta-Al_2O_3$, AgI dan $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [12]:

$$\beta(\cos \theta/\lambda) = 0,9/D + 2 \eta(\sin \theta/\lambda) \dots\dots\dots (1)$$

- dengan : β = lebar puncak difraksi pada FWHM
- θ = sudut Bargg
- λ = panjang gelombang sinar-X
- D = ukuran butir
- η = regangan kisi

Dengan mempergunakan persamaan (1), dibuat kurva antara $\beta \cos \theta/\lambda$ terhadap $\sin \theta/\lambda$. Dari kemiringan kurva linier yang diperoleh dapat dihitung regangan kisi yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva antara $\beta \cdot \cos \theta/\lambda$ terhadap $\sin \theta/\lambda$ (a). $\beta-Al_2O_3$ dan (b). AgI dan $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$

Pola difraksi untuk sudut tertentu ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3 ini untuk memperlihatkan pergeseran pada sudut 2θ dari bahan komposit tersebut.

Dengan menggunakan persamaan Lorentzian dapat dihitung β , yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil plot persamaan Lorentzian

Bahan	2θ	$\sin \theta$	β
$\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$	25,564	0,221	0,0063
	39,994	0,342	0,0813
	44,347	0,377	0,0183
AgI	23,609	0,205	0,0051
	39,135	0,335	0,0114
	46,299	0,393	0,0060
$(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$	23,636	0,205	0,0049
	39,142	0,335	0,0048
	46,297	0,393	0,0128
$(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$	23,649	0,205	0,0057
	39,181	0,335	0,0121
	46,296	0,393	0,0070

Data Tabel 3 digunakan untuk menghitung regangan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$, AgI dan elektrolit padat $(\text{AgI})_x(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$, dengan mempergunakan persamaan :

$$\beta \cos \theta / \lambda = 0,9/D + 2 \eta \sin \theta / \lambda$$

Sedangkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan η pada bahan AgI, $\beta\text{Al}_2\text{O}_3$ dan $(\text{AgI})_x(\beta\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$

Bahan	η
$\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$	0,100
AgI	0,005
$(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$	0,015
$(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$	0,057

Bahan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki regangan 0,1002 dan AgI regangannya adalah 0,0048. Setelah dicampurkan AgI ke dalam $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ membentuk $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ dan $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ memiliki regangan berturut-turut 0,0153 dan 0,0570. Regangan kedua komposit tersebut memiliki regangan diantara AgI dan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Konduktivitas

Pengukuran konduktivitas komposit $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ dan $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dilakukan pada frekuensi 0,1 Hz-100 kHz. Pengukuran kedua bahan komposit tersebut dilakukan juga variasi tegangan yaitu 1 Volt, 2 Volt dan 3 Volt, ditunjukkan pada Gambar 5a, Gambar 5b dan Gambar 5c.

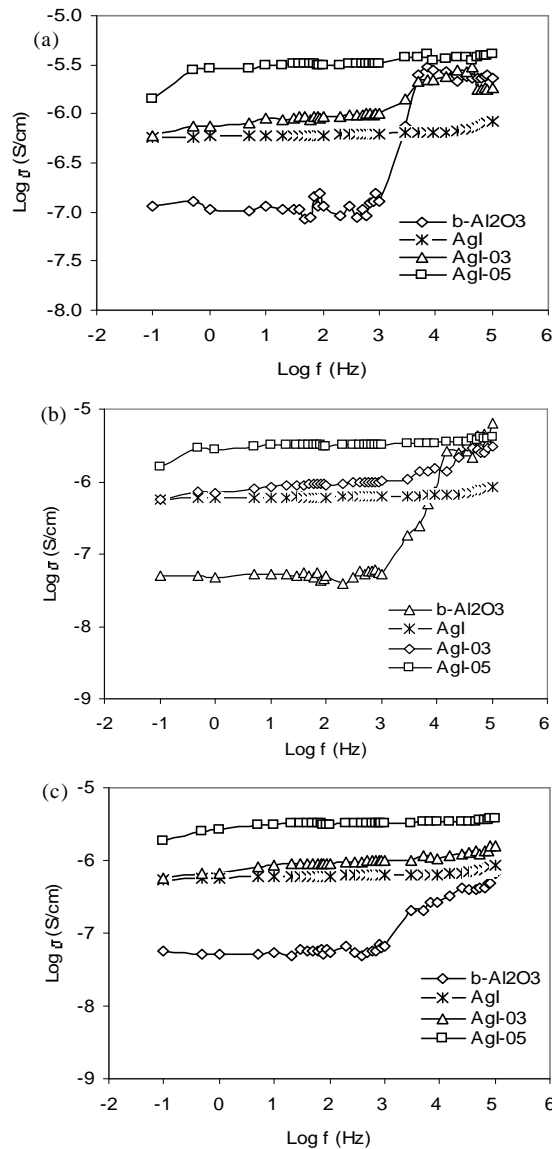
Perhitungan konduktivitas bahan AgI, komposit $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ dan $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ menggunakan model W.K. Lee dkk [13,14], dengan persamaan konduktivitas :

$$\sigma = \sigma_0 f^s \quad \dots \dots \dots (2)$$

dimana : σ = konduktivitas (S/cm)
 σ_0 = konduktivitas pada saat $f = 0$ Hz
 s = Faktor eksponen ($0 < s < 1$)

persamaan (2) diubah ke bentuk logaritma yaitu :

$$\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f \quad \dots \dots \dots (3)$$



Gambar 5. Konduktivitas $(\text{AgI})_x(\beta\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ pada (a). 1 volt, (b). 2 volt dan (c). 3 volt

Dengan mempergunakan persamaan (3) dapat ditentukan nilai konduktivitas AgI dan kedua komposit tersebut yang ditunjukkan pada Tabel 5a, Tabel 5b dan Tabel 5c.

Pada Tabel 5a, Tabel 5b dan Tabel 5c, nilai konduktivitas AgI sekitar $1,82 \times 10^{-7}$ S/cm hingga $5,75 \times 10^{-7}$ S/cm. Nilai konduktivitas elektrolit padat $(\text{AgI})_{0,3}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,7}$ berkisar $4,12 \times 10^{-7}$ S/cm sampai $1,46 \times 10^{-6}$ S/cm, dan konduktivitas $(\text{AgI})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ berkisar $2,40 \times 10^{-6}$ S/cm sampai $2,80 \times 10^{-6}$ S/cm.

Pengaruh Konsentrasi AgI Terhadap Sifat Termal dan Konduktivitas Elektrolit Padat $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x=0,3$ dan $x=0,5$) (P. Purwanto)

Tabel 5a. Konduktivitas AgI, $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ pada V = 1 volt

Sampel	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
AgI	$5,74 \times 10^{-7}$	$1,78 \times 10^{-7}$
$(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$	$7,54 \times 10^{-7}$	$1,46 \times 10^{-6}$
$(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$	$2,40 \times 10^{-6}$	$2,74 \times 10^{-6}$

Tabel 5b. Konduktivitas AgI, $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ pada V = 2 volt

Sampel	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
AgI	$5,85 \times 10^{-7}$	$1,84 \times 10^{-7}$
$(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$	$7,22 \times 10^{-7}$	$0,97 \times 10^{-7}$
$(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$	$2,48 \times 10^{-6}$	$2,70 \times 10^{-6}$

Tabel 5c. Konduktivitas AgI, $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ pada V = 3 volt

Sampel	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
AgI	$5,75 \times 10^{-7}$	$1,82 \times 10^{-7}$
$(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$	$7,01 \times 10^{-7}$	$4,12 \times 10^{-7}$
$(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$	$2,52 \times 10^{-6}$	$2,80 \times 10^{-6}$

Kurva konduktivitas pada Gambar 5a, Gambar 5b dan Gambar 5c terlihat agak datar pada interval frekuensi 10 Hz sampai 1000 Hz, hal ini menunjukkan suatu DC konduktivitas yang berarti konduktivitas komposit $(AgI)_{0,3}(\beta-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(AgI)_{0,5}(\beta-Al_2O_3)_{0,5}$ tersebut tidak tergantung pada frekuensi. Sedangkan frekuensi diatas 1000 Hz bahan $\beta-Al_2O_3$ mengalami perubahan pada konduktivitasnya.

KESIMPULAN

Elektrolit padat $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ ($x = 0,3$ dan $x = 0,5$) telah dibuat dengan dicampurkan AgI dan $\beta-Al_2O_3$. Puncak-puncak difraksi sinar-X pada elektrolit padat $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ diperlihatkan puncak yang tampak adalah puncak AgI. Regangan kisi $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ turun terhadap $\beta-Al_2O_3$, tetapi naik terhadap AgI. Konduktivitas $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ pada fraksi berat $x = 0,3$ tidak berbeda dengan konduktivitas AgI sedangkan pada $x = 0,5$ konduktivitas naik. Termogram DTA untuk $(AgI)_x(\beta-Al_2O_3)_{1-x}$ memperlihatkan suatu proses endotermis dengan suhu transisi fasa- β ke α dan titik leleh serta entalpi terjadi perubahan dengan ditambahkan konsentarsi AgI.

DAFTARACUAN

- [1]. S. CHANDRA, *Superionic Solid, Principle and Applications*, North Holland Publish Co, Amsterdam, (1981) 17-28.
- [2]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan SAFEI PURNAMA, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **5** (2004) 14-18.
- [3]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan SAFEI PURNAMA, *J Teknologi*, **2** (2004) 108-114.

- [4]. E. KARTINI, S. PURNAMA, D.W. NINGSIH dan NURAINUN, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **4** (2003) 19-25.
- [5]. B.V.R CHOWDARI and K. RADHAKRISHNAN, *Solid State Ionics*, **40-41** (1990) 680-683.
- [6]. M. TATSUMISAGO, Y. SHINKUMA, T. SAITO and T. MINAMI, *Solid State Ionics*, **50** (1992) 273-279.
- [7]. W. PASCHETO, M.G. PARTHUN, A. HALLBRUCKER and G.P. JOHARI, *J of Non Crystalline Solid*, **171** (1994) 182-190.
- [8]. T. SAITO, M. TATSUMISAGO, N. TORATA and T. MINAMI, *Solid State Ionics*, **79** (1995) 279-283.
- [9]. B.V.R CHOWDARI and P.P. KUMARI, *Solid State Ionics*, **113-115** (1998) 665-675.
- [10]. D. LINDEN, *Handbook of Batteries*, McGraw-Hill, Singapura, Chapter 15 (1995) 1-27.
- [11]. N. EFFENDI, A.K. JAHYA dan S. PURNAMA, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **1** (2000) 26-31.
- [12]. H.P. KLUG and L.E. ALEXANDER, *X-Ray Diffraction Procedures*, John Wiley & Son, New York, (1954) 755-786.
- [13]. W.K. LEE, J.F. LIU and A.S NOWICK, *Phys Rev Lett*, **67** (1991) 1559-1561.
- [14]. A.K. JONSCHER, *Nature*, **261** (1977) 673-676