

KONDUKTIVITAS IONIK (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} DENGAN x = 0,1, x = 0,2, DAN x = 0,3 PADA 2,0 VOLT

Karvita P.¹, E. Kartini² dan S. Purnama²

¹Departemen Fisika, FMIPA - IPB

Jl. Raya Pajajaran Bogor 16143

²Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) – BATAN

Kawasan Puspitex, Serpong, Tangerang 15314

ABSTRAK

KONDUKTIVITAS IONIK (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} DENGAN x = 0,1, x = 0,2, DAN x = 0,3 PADA 2,0 VOLT. Gelas superionik (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} untuk x = 0,1, x = 0,2, dan x = 0,3 berhasil disintesis dengan metode *melt quenching*. Berbagai karakterisasi telah dilakukan pada ketiga komposisi tersebut yaitu pengukuran struktur kristal menggunakan *X-ray Diffractometer*, pengukuran kekerasan dengan *Micro Hardness Tester*, pengukuran densitas dan pengukuran konduktivitas ionik dengan *Impedance Spectroscopy* (LCR meter). Dari analisis struktur kristal menunjukkan bahwa AgPO₃ yang dibuat adalah gelas dan masih bersifat amorf. Untuk x = 0,1 dan x = 0,2 pola difraksi masih mengikuti pola gelas AgPO₃ yang bersifat amorf dan belum menunjukkan sifat kristal, sedangkan untuk x = 0,3 sifat kristal sudah mulai sedikit nampak pada daerah sudut hamburan $2\theta = 20^\circ - 30^\circ$ hal ini diperkirakan berasal dari presipitat CuI. Dari pengukuran densitas dan kekerasan menunjukkan bahwa semakin besar kandungan CuI, densitasnya semakin besar sedangkan bilangan kekerasannya semakin kecil. Harga konduktivitas ionik untuk x = 0,1, x = 0,2 dan x = 0,3 pada V = 2,0 volt berturut-turut adalah $\sigma = 2,3 \times 10^{-8}$ S/cm, $\sigma = 3,6 \times 10^{-6}$ S/cm, dan $\sigma = 1,3 \times 10^{-7}$ S/cm. Sedangkan pada frekuensi 100 kHz dan V = 2,0 volt, harga konduktivitas AC untuk x = 0,1, x = 0,2 dan x = 0,3 berturut-turut adalah $\sigma = 3,6 \times 10^{-7}$ S/cm, $\sigma = 1,2 \times 10^{-5}$ S/cm dan $\sigma = 5,8 \times 10^{-7}$ S/cm. Ada penurunan konduktivitas pada komposisi x = 0,3 tetapi nilai konduktivitas ini masih di atas nilai konduktivitas untuk komposisi x = 0,1. Hal ini diperkirakan bahwa pada sampel dengan komposisi x = 0,3 telah terbentuk presipitat CuI. Namun secara umum nilai konduktivitas meningkat dengan bertambahnya komposisi CuI.

Kata kunci : Konduktivitas ionik, gelas superionik (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x}

ABSTRACT

THE IONIC CONDUCTIVITY OF (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} WITH x = 0.1, x = 0.2, AND x = 0.3 AT 2.0 VOLT. The (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} superionic glasses with the composition of x = 0.1, x = 0.2, and x = 0.3 have been successfully synthesized by using melt quenching method. Several characterizations have been performed such as the crystal structure, hardness, density and ionic conductivity by using respectively, an X-ray Diffractometer, a Vickers Hardness meter, and an Impedance Spectroscopy or LCR meter. The X-ray pattern of AgPO₃ shows that it is a good glass and has an amorphous structure. The diffraction pattern of x = 0.1 and x = 0.2 show only a broad peak indicating that the samples are glasses, while for x = 0.3 there are some peaks in the range of scattering angle $2\theta = 20^\circ - 30^\circ$ due to precipitation of CuI. The density increases and the hardness number decreases with the increasing amount of CuI. The ionic conductivities of x = 0.1, x = 0.2 and x = 0.3 for V = 0.2 volt are $\sigma = 2.3 \times 10^{-8}$ S/cm, $\sigma = 3.6 \times 10^{-6}$ S/cm, $\sigma = 1.3 \times 10^{-7}$ S/cm, respectively. At the frequency of 100 kHz and V = 2.0 volt, the AC conductivities of x = 0.1, x = 0.2, x = 0.3 are $\sigma = 3.6 \times 10^{-7}$ S/cm, $\sigma = 1.2 \times 10^{-5}$ S/cm and $\sigma = 5.8 \times 10^{-7}$ S/cm, respectively. The decreasing conductivity of x = 0,3 is because of precipitation of CuI. In general, the ionic conductivity increases with the increasing CuI.

Key words : Ionic conductivity, superionic glasses (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x}

PENDAHULUAN

Pada akhir-akhir ini penelitian bahan superionik sebagai elektrolit padat berkembang sangat pesat. Hal ini dikarenakan beberapa sifat dari bahan superionik yaitu memiliki konduktivitas sangat tinggi mencapai 10^{-2} S/cm, sehingga banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi seperti baterai, sensor, *fuel cell* dan berbagai divais elektrokimia [1].

Salah satu bahan superionik yang dijadikan sebagai elektrolit padat adalah bahan kristalin CuI. CuI

memiliki beberapa fasa yaitu fasa γ -CuI pada suhu rendah, dimana konduktivitas ioniknya rendah pada suhu ruang (27 °C) yaitu kurang dari 10^{-7} S/cm, dan fasa α -CuI pada suhu tinggi dimana pada suhu 400 °C konduktivitas ioniknya tinggi yaitu sekitar 0.06 S/cm [2,3]. Namun mengingat sebagian besar aplikasi peralatan elektronik bekerja pada suhu ruang, maka perlu dikembangkan bahan CuI yang memiliki konduktivitas ionik yang tinggi pada suhu ruang.

Salah satu cara yaitu dengan menurunkan suhu transisi fasa α -CuI. Hal ini dapat dilakukan dengan memanaskan bahan CuI tersebut sampai suhu lebur di atas 600°C, lalu dilakukan pendinginan cepat dengan dimasukkan ke dalam nitrogen cair. Namun Bahan CuI mudah terurai dan Cu akan bereaksi dengan udara membentuk CuO, sehingga fasa- α yang diharapkan terbentuk pada suhu kamar tidak terjadi. Proses oksidasi tersebut dapat diatasi dengan cara mencampur bahan CuI ke dalam bahan gelas, sehingga ketika dipanaskan pada suhu tinggi tidak terjadi oksidasi. Salah satu bahan gelas yang bisa digunakan adalah AgPO₃, dimana bahan gelas ini juga dapat menurunkan suhu transisi CuI dan meningkatkan konduktivitas ionik.

Bahan gelas AgPO₃ ini memiliki konduktivitas yang rendah pada suhu ruang yaitu sekitar 10⁻⁷ S/cm, namun dengan penambahan CuI dapat menaikkan konduktivitasnya. Sehingga dengan pencampuran kedua bahan CuI dan AgPO₃ tersebut diharapkan dapat diperoleh gelas superionik baru yaitu (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} dengan konduktivitas ionik yang lebih tinggi pada suhu ruang [4].

Telah dilakukan penelitian sebelumnya tentang struktur kristal dan konduktivitas ionik (CuI)_{0,9}(AgPO₃)_{0,1} dimana bahan ini memiliki konduktivitas ionik yang tinggi sekitar 0,001 S/cm pada suhu ruang dan naik sampai 0,01 S/cm pada suhu 200 °C. Hasil pengukuran dengan Difraksi Sinar-x pada bahan menunjukkan fase- α terbentuk pada campuran dengan struktur kristal kubik dan parameter kisi $\alpha = 6,13 \text{ \AA}$ [5].

Untuk melengkapi komposisi sebelumnya dan mengetahui konduktivitas ionik dengan komposisi $x < 0,9$, maka akan diteliti bahan gelas (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} untuk komposisi $x = 0,1$, $x = 0,2$, dan $x = 0,3$. Pada makalah ini akan diuraikan cara pembuatan gelas AgPO₃ dan gelas (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} untuk $x = 0,1$, $x = 0,2$, dan $x = 0,3$. Untuk mengetahui struktur kristal dari ketiga komposisi tersebut dilakukan pengukuran dengan difraksi sinar $-x$ pada suhu ruang kemudian dibandingkan hasilnya dengan pola difraksi gelas AgPO₃ dan kristalin CuI-standar. Untuk mengetahui konduktivitas listrik digunakan "Impedance Spectroscopy" (LCR-meter), sedangkan pengukuran densitas dilakukan dengan menggunakan jangka sorong dan pengukuran kekerasan (*Hardness*) dengan menggunakan *Micro Hardness Tester*.

METODE PERCOBAAN

Preparasi Sampel

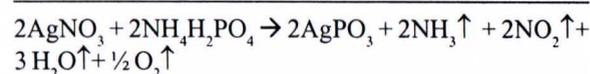
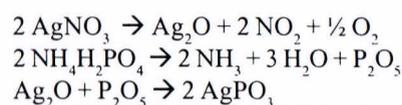
Pada dasarnya dalam membuat bahan superionik berbasis gelas diperlukan tiga komponen, yaitu garam dopan (*doping salt*), oksida pembentuk gelas (*glass oxide*) dan oksida pengubah jaringan (*network former*). Sebagai bahan pembentuk gelas dan pengubah jaringan

digunakan P₂O₅ dan Ag₂O, dimana setelah dicampur menjadi gelas dasar AgPO₃. Sedangkan sebagai garam dopan digunakan CuI. Sampel yang diperoleh adalah (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} dengan komposisi $x = 0,1$, $x = 0,2$, dan $x = 0,3$.

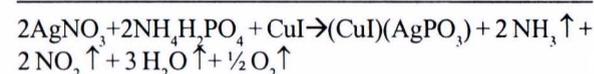
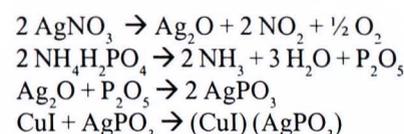
Ketiga bahan awal yaitu CuI, AgNO₃, dan NH₄H₂PO₄ dicampur dan dihaluskan. Proses selanjutnya adalah meletakkan campuran di dalam cawan porselen dan kemudian dipanaskan secara bertahap sampai suhu lebur yaitu di atas 600° C selama kurang lebih lima jam. Pada suhu lebur ini pemanasan dipertahankan selama 10 menit untuk homogenitas. Setelah itu campuran dituang ke wadah cetakan dan didinginkan secara cepat di dalam lingkungan nitrogen cair. Cetakan berbentuk silinder terbuat dari bahan kuningan berdiameter 7 mm dan tinggi 65 mm. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Bidang Bahan Maju P3IB-BATAN.

Tahapan reaksi pembuatan (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} adalah sebagai berikut :

Pembuatan AgPO₃ :



Pembuatan (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} :



Hasil sintesis tersebut kemudian dihaluskan untuk keperluan karakterisasi struktur kristal, serta dibuat pelet untuk pengukuran konduktivitas, *hardness* dan densitas.

Pengukuran dengan Difraksi Sinar-x

Untuk menguji kualitas dari bahan superionik yang dibuat, dilakukan pengukuran sifat struktur pada suhu ruang dengan menggunakan XRD Philips yang terdapat di Bidang Bahan Maju P3IB. Target yang digunakan adalah Cu ($\alpha_{\text{Cu-K}\alpha} = 1,54 \text{ \AA}$) dengan spesifikasi pengukuran : *Generator tension*=30 kV, *Generator current*=20 mA, *Time per step*=0,5 s, *Type of scan*=continuous, dan *step size*=0,02.

Pengukuran Kekerasan

Pengukuran kekerasan menggunakan *New Micro Vickers Hardness Tester* SHIMADZU tipe M yang terdapat di K2I-P3IB BATAN. Nilai *Vickers hardness* diperoleh melalui tes pemberian beban oleh

permukaan intan bentuk piramida sudut 136° dengan tekanan dan lama waktu tertentu pada permukaan benda datar, akan teridentifikasi panjang diagonal bekas pembebanan pada permukaan benda tersebut, dilakukan untuk beberapa titik yang berbeda, kemudian hasilnya dirata-ratakan, menggunakan persamaan berikut :

$$Hv = 1854,4 (P/d^2) \quad (1)$$

dimana Hv = Vickers Hardness Number, P = Beban (gf), d = Diagonal rata-rata yang teridentifikasi (μm).

Pengukuran Densitas

Pengukuran densitas dilakukan dengan menggunakan jangka sorong dengan mengukur dimensi sampel yang telah dipelet sehingga didapatkan volumenya sedangkan massa pelet diukur dengan neraca analitik. Harga densitas diperoleh berdasarkan rumus :

$$\rho = m/V \quad (2)$$

dimana m = massa pelet (g), V = volume pelet (cm³)

Pengukuran Konduktivitas Ionik

Untuk pengukuran konduktivitas listrik dari bahan superionik pada suhu ruang dilakukan LCR HiTester Hioki 3522-50 di Bidang Bahan Maju (BBM). Besaran fisis yang terukur pada alat tersebut adalah konduktansi (G), kemudian untuk mendapatkan nilai konduktivitas (σ) digunakan hubungan :

$$\sigma = (L/A) (1/R) = (L/A) G \quad (3)$$

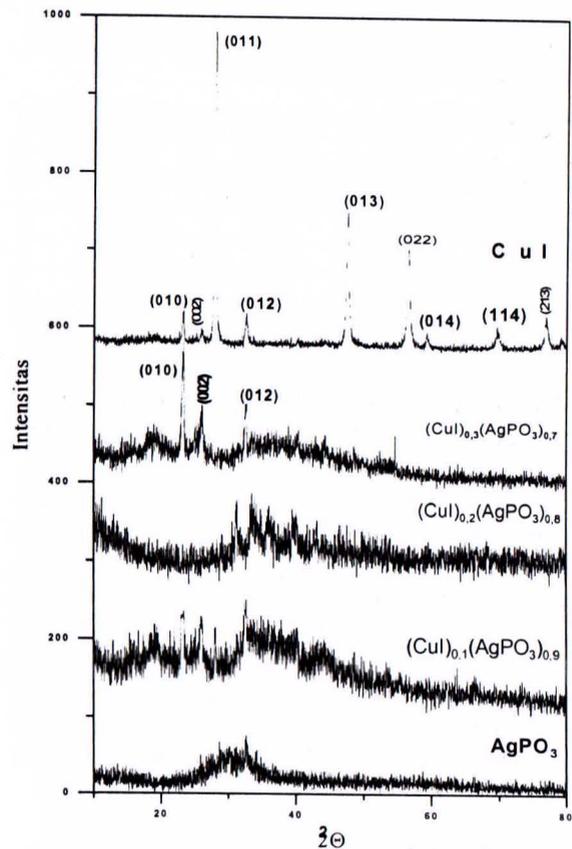
dimana : L = tebal bahan (cm)
 A = luas alas pelet (cm²)
 R = resistansi (ohm)
 G = konduktansi (Siemens)
 σ = konduktivitas (S/cm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran dengan XRD

Hasil pengukuran dengan difraksi sinar-x yang dilakukan di BBM pada gelas AgPO₃, komposit (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} untuk x = 0,1, 0,2, 0,3, dan kristal CuI pada suhu ruang ditunjukkan pada Gambar 1.

Agar terlihat perbandingan yang jelas, masing-masing pola difraksi disusun ke atas, sehingga jarak yang satu terhadap yang lain adalah sebesar 200, tanpa mengubah data hasil pengukuran. Dari hasil ini terlihat bahwa AgPO₃ yang dibuat adalah gelas dan masih bersifat amorf, hal ini ditunjukkan dengan puncak lebar. Untuk penambahan garam *doping* 10 % dan 20 % mol CuI, yaitu (CuI)_{0,1}(AgPO₃)_{0,9} dan (CuI)_{0,2}(AgPO₃)_{0,8}, pola difraksi masih mengikuti pola gelas AgPO₃ yang bersifat amorf dan belum menunjukkan sifat kristal. Hal ini menunjukkan untuk komposisi x = 0,1 dan x = 0,2 sifat kekristalan CuI masih didominasi oleh sifat amorf



Gambar 1. Perbandingan pola difraksi sinar-x pada gelas AgPO₃, komposit (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x}, dan kristalin CuI.

dari AgPO₃ atau dengan kata lain kristal CuI tersolidifikasi di dalam matriks gelas AgPO₃. Untuk penambahan garam doping 30 % mol CuI yaitu (CuI)_{0,3}(AgPO₃)_{0,7}, sifat kristal sudah mulai sedikit nampak pada daerah sudut hamburan 2θ = 20-30°, dimana puncak-puncak kristal tersebut diperkirakan berasal dari presipitat CuI, namun latar belakang amorf memang masih mendominasi keseluruhan pola difraksi. Untuk komposisi x = 0,3 ini telah memiliki campuran kristal dan gelas sehingga disebut sebagai komposit gelas.

Hasil Pengukuran Densitas dan Kekerasan

Tabel 1 menunjukkan data hasil pengukuran kekerasan dan densitas (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} pada berbagai komposisi x disertai dengan berat molekulnya. Sedangkan Gambar 2 memperlihatkan kurva hasil plot nilai kekerasan dan densitas sebagai fungsi dari x.

Dari hasil pengukuran densitas menunjukkan bahwa semakin besar kandungan CuI, densitasnya semakin besar, hal ini ditunjukkan oleh kenaikan kurva densitas sebagai fungsi dari x pada Gambar 2. Kenaikan densitas disebabkan perbedaan berat atom atau berat molekul. Berat atom Iodida lebih besar dari pada berat atom Phospor sehingga berat molekul meningkat dengan pertambahan komposisi CuI seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengukuran kekerasan dan densitas (CuI)_x(AgPO₃)_{1-x} pada berbagai komposisi x.

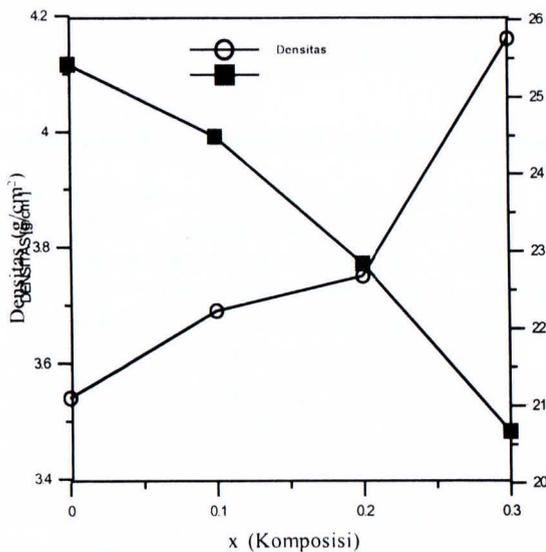
NO	X	BM (g/mol)	Densitas (g/cm ³)	Vickers hardness number
1	0,0	186,87	3,54	25,43
2	0,1	187,23	3,69	24,49
3	0,2	187,59	3,75	22,84
4	0,3	187,94	4,16	20,67
5	1,0	190,45	4,75	28,76

Dari hasil pengukuran kekerasan terlihat bahwa semakin besar kandungan CuI, semakin kecil bilangan kekerasannya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Hal ini disebabkan karena pada gelas tanpa *doping*, AgPO₃ (x = 0,0) strukturnya amorf, berupa jaringan atau matriks AgPO₃ terdiri dari satuan rantai-rantai PO₄ berbentuk tetrahedral yang terikat secara kovalen. Sedangkan pada gelas *doping* dengan komposisi x = 0,1, 0,2, dan 0,3 strukturnya berubah, dimana kehadiran CuI membuat ikatan diantara jaringan gelas lebih longgar, sehingga kekerasannya berkurang. Semakin banyak CuI yang *didoping*, meningkatkan terjadinya *grain boundary* dan *cluster* yang secara fisis akan mengurangi kekerasan didalam bahan tersebut.

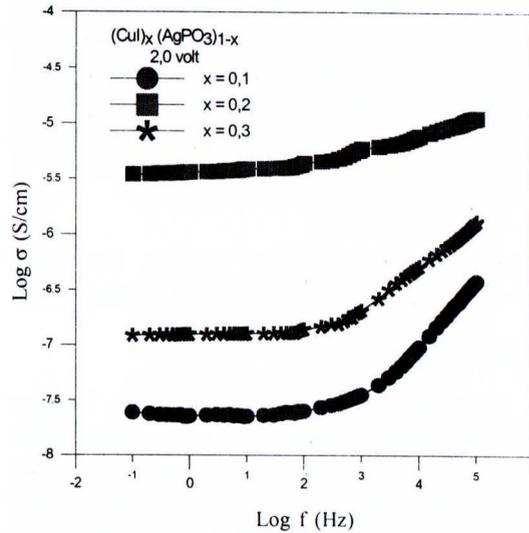
Konduktivitas Sebagai Fungsi Frekuensi

Telah dilakukan pengukuran konduktivitas pada sampel (CuI)_{0,1}(AgPO₃)_{0,9}, (CuI)_{0,2}(AgPO₃)_{0,8}, (CuI)_{0,3}(AgPO₃)_{0,7} sebagai fungsi dari frekuensi 0,1 Hz sampai 100 kHz pada tegangan 2,0 volt pada suhu ruang, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

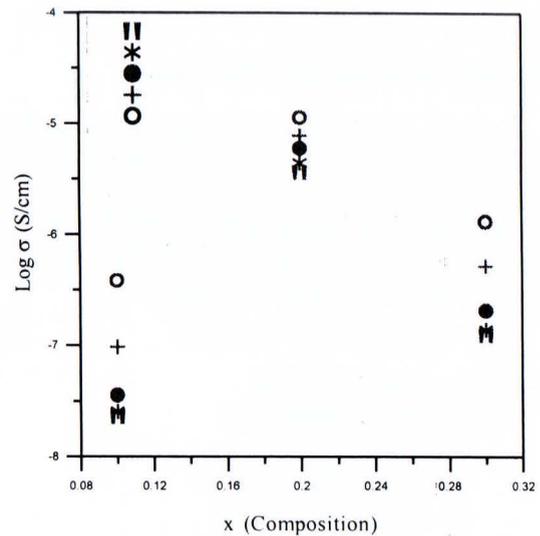
Gambar 4, menunjukkan perubahan nilai konduktivitas terhadap masing-masing komposisi pada frekuensi yang berbeda. Secara umum terlihat bahwa adanya kenaikan konduktivitas pada komposisi x = 0,1 sampai x = 0,2 dan penurunan konduktivitas terjadi



Gambar 2. Kurva hasil plot nilai densitas dan nilai kekerasan sebagai fungsi dari x.



Gambar 3. AC Konduktivitas (CuI)(AgPO₃) untuk x = 0,1, 0,2 dan 0,3 pada V = 2,0 volt.



Gambar 4. Perubahan nilai konduktivitas terhadap komposisi untuk tegangan 2,0 volt pada berbagai frekuensi.

pada komposisi x = 0,3 tetapi nilai konduktivitas ini masih di atas nilai konduktivitas untuk komposisi x = 0,1. Hal ini diperkirakan bahwa sampel dengan komposisi x = 0,3 telah terbentuk presipitat CuI yang menghalangi jalannya konduksi ion sehingga menurunkan konduktivitasnya. Terbentuknya presipitat CuI ini disebabkan karena tingkat kecepatan *quenching* yang kurang cepat saat pembuatan sampel sehingga CuI terkristalisasi. Gambar 4 juga memperlihatkan kenaikan nilai konduktivitas akibat peningkatan frekuensi.

Kebergantungan konduktivitas terhadap frekuensi dikenal dengan *Universal Frequency Response* yang dikembangkan oleh Jonscher [6]. Untuk menganalisis konduktivitas AC tersebut, dapat menggunakan beberapa model salah satunya adalah:

$$\sigma \gg f^s \quad (4)$$

dimana σ adalah konduktivitas dan s adalah *exponent power*, $0 < s < 1$. Harga s ini mempunyai limit 1 pada hasil observasi dari berbagai kristal ionik maupun gelas silika dan diusulkan persamaan untuk gelas konduktor superionik yaitu :

$$\sigma = \sigma_0 f^s \quad (5)$$

dimana pangkat s disini sudah dipengaruhi oleh suhu untuk mencapai harga limit satu [7].

Untuk membentuk suatu persamaan linear maka persamaan (4) kemudian ditulis dalam bentuk logaritma sehingga menjadi persamaan berikut :

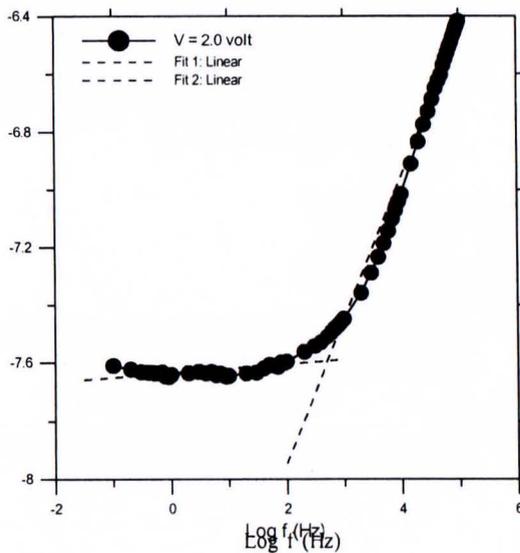
$$\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f \quad (6)$$

dimana $\log \sigma_0$ adalah konduktivitas pada frekuensi 1 Hz.

Persamaan ini digunakan untuk menentukan konduktivitas dan faktor eksponen (s) dari hasil pengukuran konduktivitas AC dengan terlebih dahulu melakukan *fitting* pada masing-masing grafik.

Pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 diperlihatkan hasil *fitting* grafik konduktivitas AC, dimana untuk $x = 0,1$, $x = 0,2$ dan $x = 0,3$ dibagi menjadi 2 daerah frekuensi. Masing-masing daerah frekuensi memiliki arti fisis yang berbeda-beda. Pada daerah frekuensi rendah terjadi loncatan ionik (*ionic hopping*), kemudian pada daerah frekuensi medium merupakan dataran atau *plateau* dimana konduktivitas umumnya tidak bergantung pada frekuensi (DC konduktivitas), sedangkan pada daerah frekuensi tinggi terjadi getaran-getaran ionik (*ionic vibration*)[8].

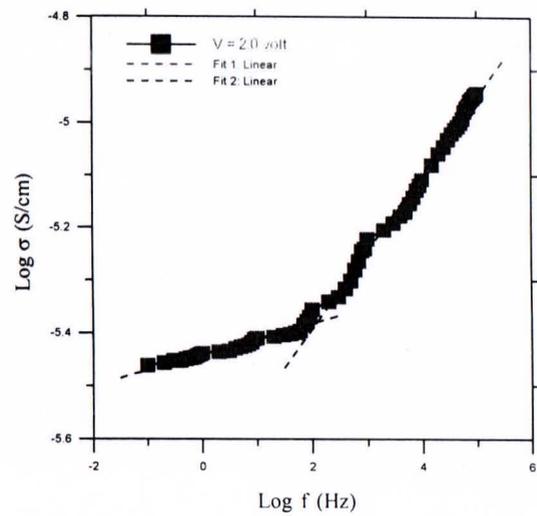
Pada Gambar 5 untuk $x = 0,1$ daerah frekuensi dibagi menjadi 2 daerah yaitu daerah $\log f (-1 - 2,5)$ Hz dan $\log f (2,5 - 5)$ Hz. Pada Gambar 6 dan Gambar 7, untuk $x = 0,2$ dan $x = 0,3$, daerah frekuensi dibagi menjadi



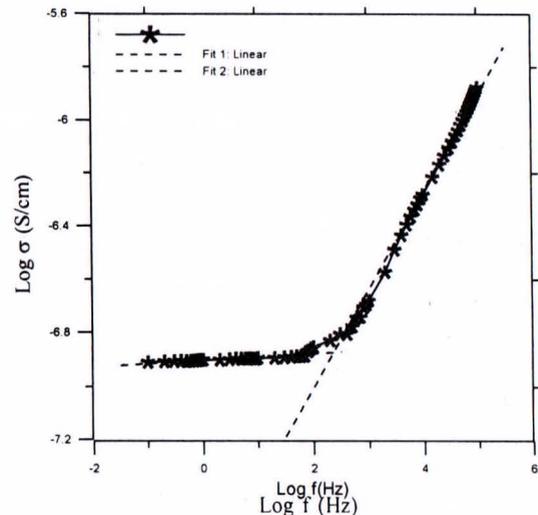
Gambar 5. Hasil *fitting* AC Konduktivitas untuk (CuI)_{0,1}(AgPO₃)_{0,9} pada V = 2,0 volt

2 daerah yaitu daerah $\log f ((-1) - 2)$ Hz dan daerah $\log f (2-5)$ Hz. Parameter hasil *fitting* dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 masing-masing untuk $x=0,1$, $x=0,2$ dan $x=0,3$.

Untuk (CuI)_{0,1}(AgPO₃)_{0,9}, daerah konduktivitas AC diperoleh pada daerah $\log f (3-5)$ Hz. Hal ini terlihat dari harga S yang paling besar yang berarti bahwa kebergantungan konduktivitas terhadap frekuensi cukup tinggi. Hasil *fitting* daerah $\log f (3-5)$ Hz untuk $V = 2,0$ volt memberikan persamaan garis *fitting* $y = 0,50x - 8,94$. Dari persamaan garis *fitting* tersebut dapat diperoleh harga konduktivitas AC untuk frekuensi 1 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz berturut-turut adalah $\sigma = 3,6 \times 10^{-8}$ S/cm, $\sigma = 1,2 \times 10^{-7}$ S/cm, dan $\sigma = 3,6 \times 10^{-7}$ S/cm. Harga $\log \sigma_{0,1}$, $\log \sigma_{0,2}$, $\log \sigma_{0,3}$ menunjukkan nilai konduktivitas pada frekuensi 1 Hz. Konduktivitas DC diperoleh dengan melihat harga s yang terkecil (mendekati nol), yang berarti



Gambar 6. Hasil *fitting* AC Konduktivitas untuk (CuI)_{0,2}(AgPO₃)_{0,8} pada V = 2,0 volt.



Gambar 7. Hasil *fitting* AC Konduktivitas untuk (CuI)_{0,3}(AgPO₃)_{0,7} pada V = 2,0 volt.

kebergantungan terhadap frekuensi sangat rendah. Di sini diperoleh harga konduktivitas DC adalah $\sigma = 2,3 \times 10^{-8}$ S/cm dengan nilai $s = 0,01$. Nilai ini masih sangat rendah yang berarti belum bersifat superionik.

Untuk $(\text{CuI})_{0,2}(\text{AgPO}_3)_{0,8}$ konduktivitas AC diperoleh pada daerah $\log f$ (2-5) Hz dengan melihat nilai s yang terbesar yaitu 0,15. Hasil *fitting* pada daerah tersebut untuk $V = 2,0$ Volt memberikan persamaan garis *fitting* $y = 0,15x - 5,69$. Dari persamaan tersebut bisa diperoleh nilai konduktivitas AC untuk frekuensi 1 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz berturut-turut adalah $\sigma = 5,7 \times 10^{-6}$ S/cm, $\sigma = 8,1 \times 10^{-6}$ S/cm, dan $\sigma = 1,2 \times 10^{-5}$ S/cm. Dari sini dapat dilihat ternyata ada kenaikan konduktivitas yang signifikan sebesar 2 orde dibandingkan nilai konduktivitas pada komposisi $x = 0,1$. Konduktivitas DC diperoleh untuk $s = 0,03$ dimana konduktivitasnya adalah $\sigma = 3,63 \times 10^{-6}$ S/cm. Ini juga berarti bahan belum bersifat superionik, tapi ada sedikit kenaikan dari komposisi $x = 0,1$.

Pada $(\text{CuI})_{0,3}(\text{AgPO}_3)_{0,7}$ konduktivitas AC diperoleh pada daerah $\log f$ (2-5) Hz dengan nilai s terbesar 0,37. Hasil *fitting* pada daerah tersebut untuk $V = 2,0$ Volt memberikan persamaan garis *fitting* $y = 0,37x - 7,74$ sehingga kita bisa peroleh nilai konduktivitas AC-nya untuk frekuensi 1 kHz, 10 kHz, dan 100 kHz berturut-turut adalah $\sigma = 2,3 \times 10^{-7}$ S/cm, $\sigma = 5,5 \times 10^{-7}$ S/cm, $\sigma = 5,8 \times 10^{-7}$ S/cm. Dan nilai konduktivitas DC diperoleh pada $s = 0,01$ dimana nilai konduktivitasnya adalah $\sigma = 1,31 \times 10^{-7}$ S/cm. Dari harga-harga tersebut dapat dilihat ada sedikit penurunan dibandingkan dengan komposisi $x = 0,2$ tetapi masih di atas harga konduktivitas komposisi $x = 0,1$.

KESIMPULAN

Gelas superionik $(\text{CuI})_x(\text{AgPO}_3)_{1-x}$ dengan komposisi $x = 0,1$, $x = 0,2$, dan $x = 0,3$ berhasil disintesis dengan metode *melt quenching*. Dari analisis struktur kristal menunjukkan bahwa AgPO_3 yang dibuat adalah gelas dan masih bersifat amorf. Untuk $x = 0,1$ dan $x = 0,2$ pola difraksi masih mengikuti pola gelas AgPO_3 yang bersifat amorf dan belum menunjukkan sifat kristal. Hal ini menunjukkan bahwa kristal CuI masih tersolidifikasi di dalam matriks gelas AgPO_3 . Sedangkan untuk $x = 0,3$ sifat kristal sudah mulai sedikit nampak pada daerah sudut hamburan $2\theta = 20^\circ - 30^\circ$, dimana puncak-puncak kristal tersebut diperkirakan berasal dari presipitat CuI . Dari pengukuran kekerasan dan densitas menunjukkan bahwa semakin besar kandungan CuI , densitasnya semakin besar sedangkan bilangan kekerasannya semakin kecil. Dari pengukuran konduktivitas diperoleh bahwa nilai konduktivitas meningkat dengan bertambahnya komposisi CuI dan konduktivitas tertinggi diperoleh pada komposisi $x = 0,2$ yaitu dengan harga konduktivitas DC sebesar $\sigma = 3,6 \times 10^{-6}$ S/cm dan

harga konduktivitas AC sebesar $\sigma = 1,15 \times 10^{-5}$ S/cm pada frekuensi $f = 100$ kHz dan tegangan $V = 2,0$ Volt.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kepala P3IB-BATAN, Kepala BBM, Kepala BKI, Kepala BBI atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan untuk melakukan Tugas Akhir S1 di P3IB-BATAN, Wisnu Ari Adi, S. Si atas bantuan pemakaian alat XRD *Phillips*. Ir. Eko atas bantuan pemakaian *Micro Hardness Tester*. dan P. Purwanto, MSc. atas bantuan pemakaian alat LCR-meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Z. A. MUNSHI, *Hand book of Solid State Batteries & Capacitor*, World Scientific, Singapore (1995)
- [2]. S. CHANDRA AND A. LASKAR, *Superionic Solid and Solid Electrolytes*, Academic Press, New York (1990)
- [3]. S. PURNAMA, dkk. *Struktur Kristal dan Transisi Fasa CuI*, Prosiding Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogya, (1998)
- [4]. E. KARTINI. *Sintesa, Karakterisasi dan Pengembangan Bahan konduktor Superionik Berbasis Gelas*. Laporan Akhir RUT VI (1999)
- [5]. S. PURNAMA, E. KARTINI, P. PURWANTO, M. SILALAH dan A. SITOMPUL, Struktur Kristal dan Konduktivitas Ionik $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgPO}_3)_{0,1}$ *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-x ke-5*, (2003)
- [6]. A. K. JONSCHER, *Nature*, **261** (1977) 673
- [7]. W. K. LEE, J. F. LIU and A. S. NOWICK, *Physc. Rev. Lett*, **67** (12) (1991) 1559
- [8]. E. KARTINI, S. PURNAMA, A. SUGIHARTO, T. SAKUMA, D. W. NINGSIH dan NURAINUN, Sintesis dan Karakterisasi Struktur Kristal, Sifat Termal, dan Konduktivitas Ionik Gelas Komposit $(\text{AgI})_{0,7}(\text{NaPO}_3)_{0,3}$, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **4** (3), (2003) 19-25

TANYAJAWAB

Adi, P2SRM - BATAN

Pertanyaan

1. Dapatkah diterapkan di industri dan bagaimana aplikasinya dalam peralatan elektronika

Jawaban

1. Dapat diaplikasikan dalam baterai padat isi ulang, namun masih perlu uji *performance* lagi.