

# EFEK Cul TERHADAP KONDUKTIVITAS DAN ENERGI AKTIVASI $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$ ( $x = 0,5 - 0,9$ )

(*EFFECT OF Cul ON CONDUCTIVITY AND ACTIVATION ENERGY OF  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  ( $x = 0.5 \text{ to } 0.9$ )*)

Patricius Purwanto

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

*E-mail : patricius@batan.go.id*

*Received : 6 Juni 2011; revised : 15 Juni 2011; accepted : 11 Juli 2011*

## ABSTRAK

Pembuatan bahan konduktor padat telah dilakukan dengan cara mencampurkan Cul dan Agl. Kedua bahan dibuat dalam bentuk pelet dan dipanaskan pada suhu  $300^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Pengukuran konduktivitas  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  dilakukan dengan alat LCR-meter pada frekuensi 0,1 Hz sampai 100 kHz dan sebagai fungsi suhu. Penentuan struktur kristal  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  dan regangan kisi dilakukan dengan difraksi sinar-X. Hasil penelitian menunjukkan regangan kisi konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  turun seiring dengan naiknya fraksi berat Cul. Puncak difraksi sinar-X untuk konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  menunjukkan puncak-puncak Cul, sedangkan puncak-puncak Agl tidak tampak. Konduktivitas konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  naik seiring dengan naiknya suhu pemanasan. Energi aktivasi naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi Cul.

Kata kunci : Bahan konduktor padat, Difraksi sinar-X, Konduktivitas, Termal, Struktur mikro

## ABSTRACT

The solid conductor  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  has been made by mixing of Cul with Agl powders. The mixture was compacted and heated at of  $300^\circ\text{C}$  for 3 hours. Measurement of conductivity had been done by LCR-meter at frequency range of 0.1Hz to 100 kHz as function of temperature. The crystal structure of  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  has been analyzed by x-ray diffraction. The result shows that the strain of lattice of  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  decreased with the increasing of weight fraction of Cul. The x-ray diffraction curve of  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  was dominated by peak of Cul. The conductivity of solid state conductor of  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  increased with the increasing of heating temperature. Activation energy increased with the addition of Cul.

Key words : Solid state electrolyte, X-ray diffraction, Conductivity, Thermal, Micro structure

## PENDAHULUAN

Bahan Cul memiliki sistem kristal kubik berpusat muka (fcc) dan berfasa- $\gamma$  pada suhu ruang, sedangkan pada suhu di atas  $400^\circ\text{C}$  mempunyai fasa- $\alpha$ . Di sisi lain pada suhu ruang Agl mempunyai dua fasa yaitu fasa- $\gamma$  berstruktur kubik dan fasa- $\beta$  berstruktur heksagonal. Agl mempunyai konduktivitas listrik sekitar  $10^7 \text{ S/cm}$ . Di atas suhu transisi, Agl mengalami transisi dari fasa- $\beta$  ke fasa- $\alpha$ . Agl fasa- $\alpha$  mempunyai sifat superionik dengan nilai konduktivitas sekitar  $10^{-4} \text{ S/cm}$ . (Chandra dan Laskar 1990)

Penelitian sebelumnya telah dilakukan terhadap bahan Cul, Agl dan KI dengan berbasis  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  dengan proses perlakuan panas maupun radiasi- $\gamma$ , dan memiliki konduktivitas  $2,43 \times 10^{-5}$  hingga  $1,58 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$  (Purwanto dkk 2006). Selanjutnya akan dikembangkan penelitian tentang bahan konduktor padat menggunakan bahan  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  dengan variasi konsentrasi Cul dan suhu. Dengan variasi konsentrasi Cul diharapkan terjadi suatu regangan kisi pada konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  dan cacat kristal yang akan meningkatkan konduktivitas bahan.

Untuk mengetahui adanya regangan kisi, maka dilakukan pengujian dengan difraksi sinar-X. Menurut S. Chandra (1990), cacat kristal yang ditunjukkan oleh adanya regangan kisi berhubungan erat dengan tingkat konduktivitas. Dengan percobaan ini diharapkan diperoleh bahan  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  sebagai bahan konduktor padat yang memiliki konduktivitas yang baik sebagai fungsi suhu.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan adalah CuI dan AgI produksi PT Alfa Aesar dengan kemurnian masing-masing 99,9% dan 99,99%. Peralatan yang digunakan terdiri dari: timbangan analitik, mortar, alat pres, pemanas, x-ray difractometer (XRD), alat ukur konduktivitas (LCR-meter).

### Metode

Penelitian dibagi dalam beberapa kegiatan, yaitu :

- Serbuk CuI dan AgI dicampur dengan perbandingan fraksi berat tertentu. Kedua campuran digerus dengan mortal dan dibuat pelet dengan tekanan 3000 psi ( $\sim 206,84 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ ) dan dilanjutkan dengan dipanaskan pada suhu 300 °C selama 3 jam.
- Pengukuran dengan difraksi sinar-X untuk menentukan struktur kristal dan regangan kisi  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  dengan menggunakan persamaan pada pustaka Klug and Alexander (1962), yaitu:

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

dimana:  $\beta$  adalah lebar setengah puncak difraksi (FWHM),  $\theta$  adalah sudut Bragg,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X,  $D$  adalah ukuran butir dan  $\eta$  adalah regangan.

- Pengukuran konduktivitas menggunakan LCR-Meter. Untuk menganalisis konduktivitas konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  dengan memakai model  $\sigma = \sigma_0 f^s$  (Jonscher 1977, Lee dkk 1991, Collins dan Kartini 2003), yaitu :

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

Persamaan (2) diubah menjadi bentuk logaritma yaitu :

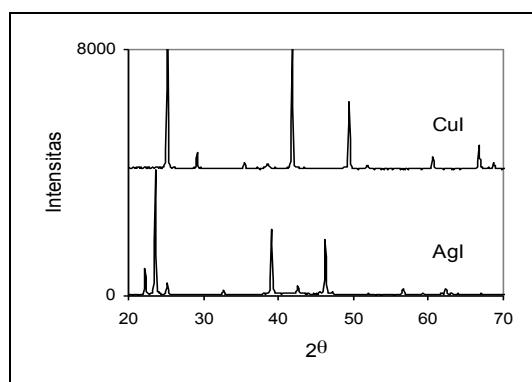
$$\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:  $\sigma$  adalah konduktivitas,  $\sigma_0$  adalah konduktivitas yang tidak tergantung frekuensi,  $f$  adalah frekuensi,  $s$  adalah faktor eksponen ( $0 < s < 1$ ).

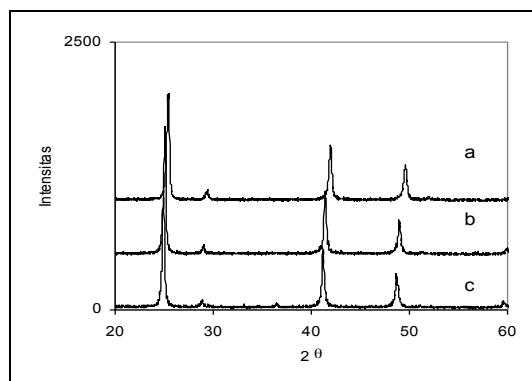
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Difraksi Sinar-X

Pola difraksi sinar-X konduktor padat CuI, AgI dan  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b. Pola difraksi ini pernah dilaporkan oleh Purwanto dkk (2007 dan 2008), dimana regangan pada konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  meningkat seiring dengan naiknya fraksi berat.



Gambar 1a. Puncak-puncak difraksi sinar-X CuI dan AgI



Gambar 1b. Puncak-puncak difraksi sinar-X  
(a)  $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$  (b)  $(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$   
(c)  $(\text{CuI})_{0,5}(\text{AgI})_{0,5}$

Gambar 1b, puncak-puncak difraksi sinar-X untuk bahan konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  memiliki puncak-puncak difraksi CuI, analisis menunjukkan bahwa konduktor padat

$(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  mempunyai struktur kristal yang sama dengan CuI.

Hasil analisis puncak-puncak difraksi konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ , menunjukkan bahwa puncak-puncak yang tampak adalah puncak CuI, sedangkan puncak AgI tidak tampak. Hal ini dikarenakan pada saat perlakuan panas pada konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  bahan AgI lebih dulu mengalami transisi fasa, sehingga puncak-puncak yang akan muncul terhalangi. Untuk menentukan regangan kisi dan ukuran kristal dibuat kurva antara  $\beta \cdot \cos\theta/\lambda$  terhadap  $\sin\theta/\lambda$ . Perhitungan regangan  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  dengan variasi  $x = 0,5$  sampai  $0,9$  ditunjukkan pada Tabel 1.

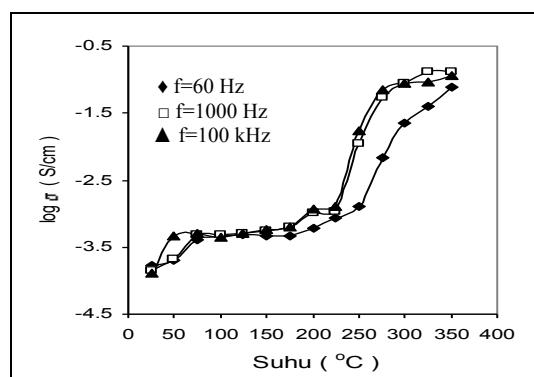
Hasil perhitungan regangan konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  berkisar 1,44% sampai 3,69%. Penambahan CuI, menunjukkan nilai regangan turun, seiring dengan naiknya konsentrasi CuI. Berarti pada bahan  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  terjadi penyusutan atau rengangan mengecil, hal ini menunjukkan adanya transisi dari AgI. Menurut Klug (1962), penambahan konsentrasi menyebabkan regangan meningkat seiring bertambah lebarnya setengah puncak atau sebaliknya.

### Konduktivitas.

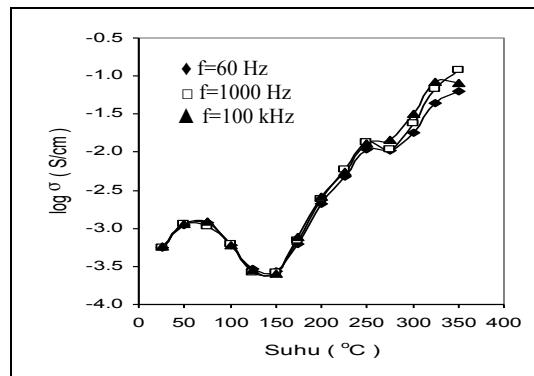
Pengukuran konduktivitas bahan konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  dilakukan dengan alat LCR-meter dengan frekuensi antara 0,1 Hz sampai dengan 100 kHz seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a-c). Pada Gambar 2a, kurva konduktivitas naik terhadap fungsi suhu pemanasan, pada suhu diatas 200 °C konduktivitas naik secara drastis, hal ini menunjukkan pada suhu tersebut terjadi cacat kisi yang menyebabkan gerakan ion-ion secara bebas. Pada Gambar 2b terlihat kurva konduktivitas konduktor padat  $(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$  naik terhadap fungsi suhu pemanasan. Konduktivitas naik secara drastis pada suhu diatas 150 °C, hal ini menunjukkan terjadi cacat kisi. Begitu juga pada Gambar 2c, konduktivitas naik drastis pada suhu diatas 175 °C. Dari Gambar 2(a-c), kurva konduktivitas pada konduktor padat menunjukkan pola yang sama walaupun dilakukan pada frekuensi yang berbeda.

Tabel 1. Hasil perhitungan parameter  $\eta$  untuk  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$

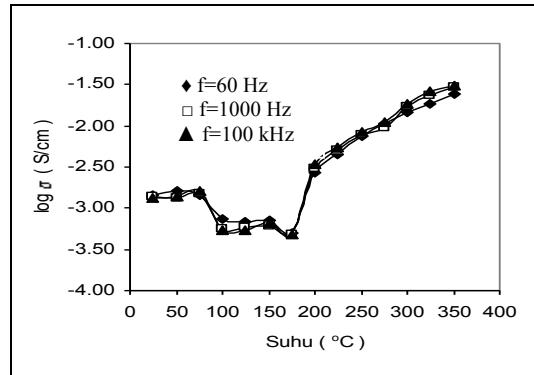
Bahan	$\eta$ (%)
$(\text{CuI})_{0,5}(\text{AgI})_{0,5}$	3,69
$(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$	2,73
$(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$	1,44



Gambar 2a. Konduktivitas  $(\text{CuI})_{0,5}(\text{AgI})_{0,5}$  sebagai fungsi suhu



Gambar 2b. Konduktivitas  $(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$  sebagai fungsi suhu.



Gambar 2c. Konduktivitas  $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$  sebagai fungsi suhu.

Konduktivitas konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  pada Gambar 2, menunjukkan bahwa konduktivitas naik seiring dengan naiknya suhu pemanasan. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses pemanasan terjadi suatu cacat yang menimbulkan ion-ion bergerak dengan cepat. Hal ini sesuai teori yang dijabarkan oleh Chandra (1990). Perhitungan konduktivitas konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  dibagi dalam dua daerah suhu yang ditunjukkan pada Tabel 2(a-b).

Nilai konduktivitas konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  pada saat frekuensi  $f=0,1 \text{ Hz}$  ( $\sigma_0$ ) naik pada selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$ , sedangkan pada selang suhu  $150^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$  turun. Konduktivitas konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  memiliki konduktivitas naik seiring dengan naiknya konsentrasi Cul. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Cul meningkatkan konduktivitas.

### Energi Aktivasi

Energi aktivasi konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  dihitung dengan memakai persamaan Arrhenius  $\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-E_a/k_B \cdot T)$ . Dengan dibuat grafik antara  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$ , ditentukan energi aktivasi konduktor padat  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$ . Kurva  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  ditunjukkan pada Gambar 3(a-f).

Dari kurva  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  pada Gambar 3(a-f) dapat ditentukan nilai energi aktivasi ( $E_a$ ) bahan konduktor padat, hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 2a. Konduktivitas  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  pada selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$

Sampel	$\sigma_{01}$ (S/cm)	$\sigma_{02}$ (S/cm)	$\sigma_{03}$ (S/cm)
(A) <sub>0,5</sub> (B) <sub>0,5</sub>	$1,53 \times 10^{-4}$	$1,35 \times 10^{-4}$	$1,83 \times 10^{-4}$
(A) <sub>0,7</sub> (B) <sub>0,3</sub>	$1,30 \times 10^{-3}$	$1,34 \times 10^{-3}$	$1,40 \times 10^{-3}$
(A) <sub>0,9</sub> (B) <sub>0,1</sub>	$2,30 \times 10^{-3}$	$2,88 \times 10^{-3}$	$2,85 \times 10^{-3}$

Tabel 2b. Konduktivitas  $(\text{Cul})_x(\text{Agl})_{1-x}$  pada selang suhu  $150^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$

Sampel	$\sigma_{01}$ (S/cm)	$\sigma_{02}$ (S/cm)	$\sigma_{03}$ (S/cm)
(A) <sub>0,5</sub> (B) <sub>0,5</sub>	$0,89 \times 10^{-6}$	$0,93 \times 10^{-6}$	$1,54 \times 10^{-6}$
(A) <sub>0,7</sub> (B) <sub>0,3</sub>	$1,45 \times 10^{-5}$	$0,94 \times 10^{-5}$	$1,19 \times 10^{-5}$
(A) <sub>0,9</sub> (B) <sub>0,1</sub>	$4,09 \times 10^{-5}$	$3,23 \times 10^{-5}$	$3,45 \times 10^{-5}$

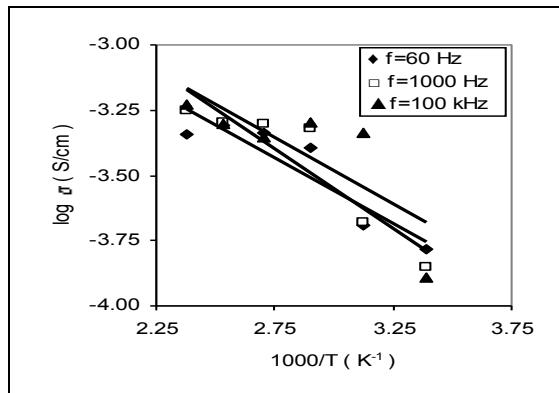
Keterangan :

A = Cul dan B = Agl

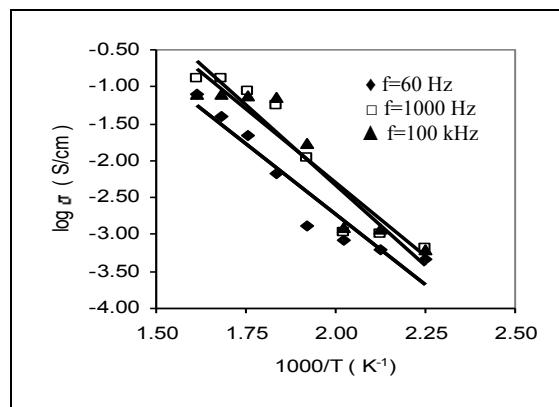
$\sigma_{01}$  = Konduktivitas pada frekuensi tetap = 60 Hz

$\sigma_{02}$  = Konduktivitas pada frekuensi tetap = 1000 Hz

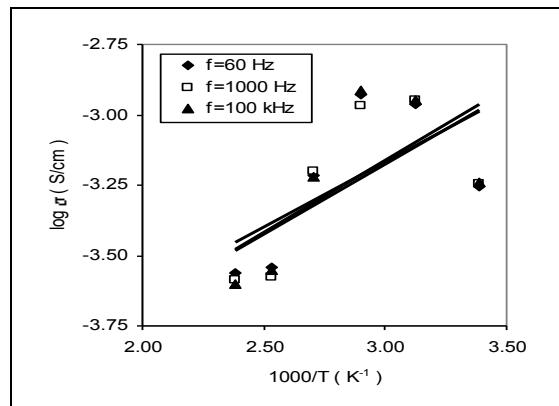
$\sigma_{03}$  = Konduktivitas pada frekuensi tetap = 100 kHz



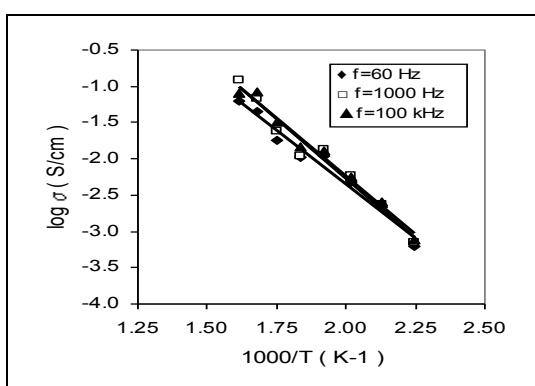
Gambar 3a. Kurva  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  pada konduktor padat  $(\text{Cul})_{0,5}(\text{Agl})_{0,5}$  dengan selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$



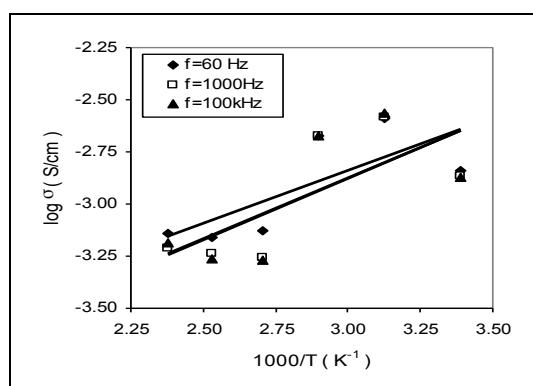
Gambar 3b. Kurva  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  pada konduktor padat  $(\text{Cul})_{0,5}(\text{Agl})_{0,5}$  dengan selang suhu  $150^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$



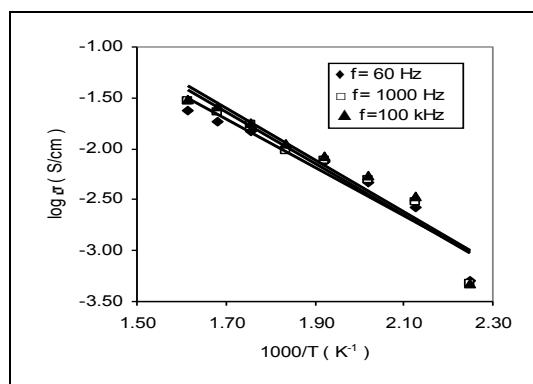
Gambar 3c. Kurva  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  pada konduktor padat  $(\text{Cul})_{0,7}(\text{Agl})_{0,3}$  dengan selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$



Gambar 3d. Kurva log  $\sigma$  terhadap  $1000/T$  pada konduktor padat  $(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$  dengan selang suhu  $150^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$



Gambar 3e. Kurva log  $\sigma$  terhadap  $1000/T$  pada konduktor padat  $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$  dengan selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$



Gambar 3f. Kurva log  $\sigma$  terhadap  $1000/T$  pada konduktor padat  $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$  dengan selang suhu  $150^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$

Dari Tabel 3, energi aktivasi bahan konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  pada selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$  konstan, walaupun dilakukan variasi fraksi berat. Begitu juga

energi aktivasi pada selang suhu  $150^\circ\text{C}$  sampai  $350^\circ\text{C}$ . Energi aktivasi konduktor padat pada suhu  $25^\circ\text{C}$  sampai  $150^\circ\text{C}$  lebih rendah dari pada suhu  $150^\circ\text{C}$  sampai  $350^\circ\text{C}$ , hal ini menunjukkan gerakan ion yang memiliki energi aktivasi rendah agak lambat dari pada yang memiliki energi aktivasi agak tinggi.

### Struktur mikro

Gambar 4, menunjukkan struktur mikro konduktor padat  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  untuk  $x = 0,7-0,9$  dengan pembesaran  $2,5 \times 10^3$ . Dari gambar tersebut, terlihat bentuk butiran teratur dengan naiknya konsentrasi CuI. Struktur mikro pada Gambar 4a dan b tidak dapat menjelaskan apakah ada retak atau cacat.

Tabel 3a. Energi aktivasi  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  untuk  $x = 0,5-0,9$  pada selang suhu  $25^\circ\text{C}-150^\circ\text{C}$

Sampel	$E_1$ (eV)	$E_2$ (eV)	$E_3$ (eV)
$(\text{A})_{0,5}(\text{B})_{0,5}$	$4,35 \times 10^{-2}$	$5,09 \times 10^{-2}$	$5,04 \times 10^{-2}$
$(\text{A})_{0,7}(\text{B})_{0,3}$	$3,96 \times 10^{-2}$	$4,28 \times 10^{-2}$	$4,39 \times 10^{-2}$
$(\text{A})_{0,9}(\text{B})_{0,1}$	$4,35 \times 10^{-2}$	$5,09 \times 10^{-2}$	$5,04 \times 10^{-2}$

Tabel 3b. Energi aktivasi  $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$  untuk  $x = 0,5-0,9$  pada selang suhu  $150^\circ\text{C}-350^\circ\text{C}$

Sampel	$E_1$ (eV)	$E_2$ (eV)	$E_3$ (eV)
$(\text{A})_{0,5}(\text{B})_{0,5}$	$3,30 \times 10^{-1}$	$3,78 \times 10^{-1}$	$3,43 \times 10^{-1}$
$(\text{A})_{0,7}(\text{B})_{0,3}$	$2,55 \times 10^{-1}$	$2,81 \times 10^{-1}$	$2,75 \times 10^{-1}$
$(\text{A})_{0,9}(\text{B})_{0,1}$	$2,05 \times 10^{-1}$	$2,17 \times 10^{-1}$	$2,19 \times 10^{-1}$

### Keterangan:

$E_1$  = Energi aktivasi pada frekuensi 60 Hz

$E_2$  = Energi aktivasi pada frekuensi 1000 Hz

$E_3$  = Energi aktivasi pada frekuensi 100 kHz

A = CuI dan B = AgI



Gambar 4b. Struktur mikro konduktor padat  $(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$



Gambar 4c. Struktur mikro konduktor padat  $(CuI)_{0,9}(AgI)_{0,1}$

## KESIMPULAN

Konduktor padat  $(CuI)_x(AgI)_{1-x}$  dapat dibuat dengan pencampuran Cul dengan  $\beta$ -AgI. Pola difraksi sinar-X menunjukkan struktur kristalnya Cul. Regangan kisi kristal naik seiring dengan naiknya Cul. Konduktivitas konduktor padat  $(CuI)_x(AgI)_{1-x}$  naik seiring dengan naiknya suhu pemanasan. Energi aktivasi naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi Cul. Bentuk butiran teratur dengan naiknya konsentrasi Cul. Pengaruh penambahan konsentrasi Cul pada bahan konduktor padat  $(CuI)_x(AgI)_{1-x}$  meningkatkan konduktivitas dan energi aktivasi serta regangan kisi kristal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih, atas pemakaian alat-alat XRD, LCR dan SEM beserta operatornya yang berada di PTBIN.

## DAFTAR ACUAN

- Chandra, S. dan Laskar. A. 1990. *Superionic Solid and Solid Electrolyte*. Academic Press. New York: 17-28.  
Purwanto, P., Purnama S., Sukirman E. dan Wisnu Ari Adi. 2006. *J. Sains. Materi Indonesia* edisi khusus: 188-191.  
Purwanto, P., Purnama S. 2006. *J. Metris* (7): 104-109.  
Purwanto, P., dan Purnama S. 2007. *J.Teknik Mesin* (9): 16-23.

- Klug, H.P and Alexander L.E. 1962. *X-Ray Diffraction Procedures*. John Wiley & Son Inc. London. Chapter 9: 642-652.  
Jonscher. A.K. 1977. *Nature* (261): 673-676.  
Lee, W.K, J.F. Liu and Nowick A.S. 1991. *Physc.Rev.Lett.* (67): 1559-1561.  
Collins, M.F and Kartini E. 2003. *Solid State Ionic* (1): 157-174.  
Purwanto, P., Purnama S., Purwanto S. dan Madesa T. 2007. *J.Sains dan Teknologi Emas* (17): 315-322.  
Purwanto, P., Purnama S., Sukirman E. dan Alfian. 2008. *J. Sains. Materi Indonesia* (10): 23-27.