

PENGARUH CUI TERHADAP SIFAT KONDUKTOR IONIK PADAT $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ ($x=0,6-0,9$)

P. Purwanto¹, S. Purnama², S. Purwanto³, dan T. Madesa⁴

ABSTRACT

The solid ionic conductor $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ was made by solid reaction, which was done by mixing of CuI and AgI powders. The mixture was compacted and heated at temperature of 300 °C in 3 hours. The conductivity measurement has been done with LCR-metre. The crystal structure measurement of $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ was done by x-ray diffraction. The conductivity of solid ionic conductor $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ with fraction weight (x) = 0.6 to 0.9 increased with addition of CuI at the voltage 1 volt and 2 volt. Analysis with x-ray diffraction, show that the structure of $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ are composed by CuI and AgI. DTA thermogram of $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ showed endothermic peaks that were transition temperature of AgI and CuI.

Key words: solid state conductor, x-ray diffraction, conductivity, thermal analysis

ABSTRAK

Bahan konduktor padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ dapat dibuat dengan metode reaksi padatan, dikompaksi dan dilakukan pemanasan pada suhu 300 °C selama 3 jam. Pengukuran konduktivitas $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ dilakukan dengan alat LCR-meter pada frekuensi mulai 0,1 Hz sampai 100 kHz. Pengukuran struktur kristal $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ dengan difraksi sinar-x. Konduktivitas konduktor padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ dengan fraksi berat $x = 0,6$ sampai 0,9 naik terhadap penambahan CuI pada tegangan 1 volt dan 2 volt. Dari pola difraksi sinar-x dapat dipastikan struktur $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ tersusun atas CuI dan AgI. Termogram DTA untuk $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ menunjukkan puncak-puncak endotermis yang merupakan suhu transisi fasa dari AgI dan CuI.

Kata kunci: konduktor padat, difraksi sinar-x, konduktivitas, analisis termal.

¹ Pustek Bahan Industri Nuklir-Batan, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

² Pustek Bahan Industri Nuklir-Batan, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

³ Pustek Bahan Industri Nuklir-Batan, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

⁴ Pustek Bahan Industri Nuklir-Batan, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

1. PENDAHULUAN

Bahan superionik adalah salah satu konduktor ionik padat yang telah diterapkan dalam berbagai bidang seperti otomotif, "fuel cell", dan lain-lain. Seiring dengan penerapan bahan konduktor ionik padat yang semakin luas, tuntutan teknologi yang cukup luas, perlu dikembangkan untuk pembuatan bahan superionik yang memiliki konduktivitas ionik bahan yang semakin tinggi (Munzhi, MZA, 1995 dan Linden, D., 1995).

Pada umumnya konduktivitas listrik yang tinggi pada elektrolit padat disebabkan oleh adanya transport ion dalam bahan yang mekanismenya bukan melalui pertukaran langsung kation-anion, melainkan melalui kecacatan dalam kristal dan ketidakteraturan pada struktur kristal. Pada konduktor superionik, yang berperan transport ion adalah cacat titik *Schottky dan Frenkel*. Cacat *Schottky* terjadi jika ion bergerak dengan melompat kedalam 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 aktivasi yang rendah (Chandra, S dan A. Laskar, A., 1990)

Bahan superionik disebut juga sebagai bahan elektrolit padat, yang memiliki konduktivitas tinggi sekitar 10^{-2} S/cm. Bahan konduktor ionik padat seperti AgI, CuI dan Ag₂S mempunyai sifat superionik pada suhu tinggi yang mengalami perubahan sifat dari non superionik ke superionik.

Bahan CuI memiliki sistem kristal kubik antar muka dengan fasa- γ pada

suhu ruang dan memiliki fasa- α pada suhu di atas 400 °C.[3,6].

Bahan AgI mempunyai suhu transisi 147 °C dan mempunyai tiga fasa yaitu fasa- γ , β , dan α . Pada suhu ruang AgI mempunyai dua fasa yaitu fasa- γ berstruktur kubik dan fasa- β berstruktur hexagonal dan mempunyai konduktivitas listrik sekitar 10^{-7} S/cm. Sedangkan diatas suhu transisi, AgI mengalami transisi dari fasa- β ke fasa- α . AgI fasa- α mempunyai sifat ionik dengan nilai konduktivitas sekitar 10^{-4} S/cm.[3,5,7,8].

Pada penelitian ini akan dibuat suatu campuran dari kedua bahan $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$. Dengan variasi CuI mulai 0,6 sampai 0,9 diharapkan terjadi suatu regangan pada kisi kristal. Akibat regangan ini, ada dua kemungkinan yang terjadi yaitu konduktivitas menurun atau meningkat. Menurut Chandra et al [3], regangan ini akan menimbulkan kerusakan pada bahan akibat cacat *Shoctky* atau *Frenkel* yang dapat meningkatkan suatu konduktivitas.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan bahan $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ sebagai bahan konduktor ionik padat yang memiliki konduktivitas yang baik.

2. LANDASAN TEORI

AgI, menurut Chandra, S dan A. Laskar, A.(1990), memiliki sistem kristal kubik pada fasa- γ dan fasa- α , sedangkan pada fasa- β memiliki sistem kristal heksagonal. Difraksi sinar-x menunjukkan bahwa pada campuran CuI-AgI terdapat puncak-puncak difraksi yang merupakan puncak-puncak dari CuI-AgI.

Konduktivitas listrik (σ) bahan superionik adalah kontribusi jumlah muatan ion pada bahan dan ditulis :

$$\sigma = \sum n_i Z_i \mu_i \quad \dots(1)$$

dimana n_i adalah konsentrasi pembawa muatan dengan muatan Z_i dan mobilitas μ_i . Konduktivitas ionik sebagai fungsi suhu dapat didekati dengan model Arrhenius [5] yaitu :

$$\sigma = (\sigma_0/kT) \exp (-E_a/kT) \quad \dots(2)$$

dimana σ_0 , k , T , E_a adalah konstanta eksponen, konstanta Boltzman, suhu (Kelvin) dan energi aktivasi.

Konduktivitas ionik suatu bahan ditentukan oleh struktur kristalnya, misalnya bahan dengan konduktivitas tinggi mempunyai tipe struktur dengan tumpukan atom tidak padat, sehingga mempunyai jaringan untuk dilewati ion yang bergerak.

Persamaan konduktivitas :

$$J = \sigma \epsilon \quad \dots(3)$$

menghubungkan antara kerapatan arus, J dan medan listrik, ϵ , dimana σ adalah konduktivitas, kebalikan dari resistivitas ρ . Misalnya arus I pada sebuah sampel bahan ionik dengan penampang tetap A (m^2) dan panjang L (m) dan diberi tegangan V pada bahan yang diukur, ditunjukkan pada gambar 1.

Kerapatan arus J adalah I/A (Ampere/ m^2), dan medan listrik ϵ adalah V/L (V/m) persamaan 3, direduksi menjadi:

$$I/A = 1/\rho \cdot V/L \quad \dots(4)$$

Tahanan R dari bahan diberikan sebagai $R= V/I$ maka :

$$R = V/I = \rho L/A (\Omega)$$

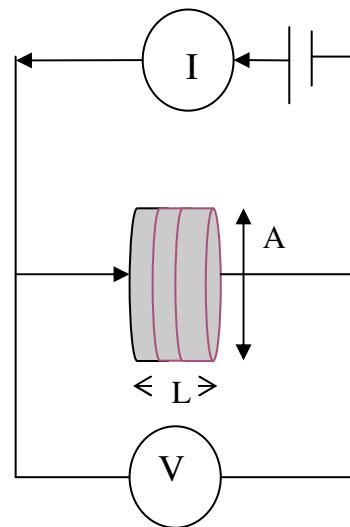
Atau

$$\rho = RA/L (\Omega m) \quad \dots(5)$$

Konduktansi, $G = 1/R$, resistivitas, $\rho = 1/\sigma$, maka persamaan 5, ditulis :

$$\sigma = G(L/A) \quad \dots(6)$$

satuannya adalah $\Omega^{-1}m^{-1}$ atau Siemen/m.



Gambar 1. Pengukuran konduktivitas ionik.

3. PERCOBAAN

Penelitian ini dibagi dalam dua kegiatan , yaitu :

a. Pembuatan Cuplikan $(CuI)_x(AgI)_{1-x}$.

Pencampuran serbuk CuI dan AgI dengan perumusan $(CuI)_x(AgI)_{1-x}$, $x = 0,6$ sampai $0,9$. Campuran serbuk CuI dan AgI dipelet dengan tekanan 3000 psi ($\sim 206,84 \times 10^7 N/m^2$), dan dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu $300 ^\circ C$ selama 3 jam.

b. Pengukuran Cuplikan $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$

Pengukuran bahan konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ dengan difraksi sinar-x, LCR-meter pada frekuensi 0,1 Hz -100 kHz dan sifat termal dengan DTA mulai suhu 100 °C sampai 800 °C.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Difraksi sinar-x

Pada gambar 2, ditunjukkan puncak-puncak difraksi CuI dan AgI. Puncak difraksi sinar-x $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3, dibagi menjadi subinterval sudut 2θ menjadi empat bagian yang ditunjukkan pada gambar 4. Puncak difraksi sinar-x untuk konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ relatif sama dengan puncak difraksi CuI, hal ini menunjukkan bahwa $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ mempunyai struktur kristal sama dengan struktur CuI. Tampak pada Gambar 2c, bahwa puncak-puncak difraksi untuk $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ mengalami pergeseran posisi pada sudut 2θ dibandingkan puncak difraksi bahan CuI.

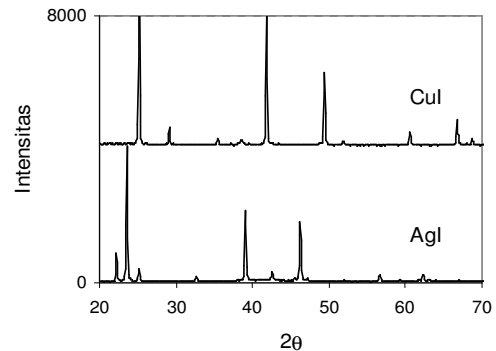
Dari puncak difraksinya, pada $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$, CuI dan AgI menunjukkan bahwa puncak difraksi mengikuti puncak difraksi CuI. Penambahan CuI dengan $x > 0,7$ puncak difraksinya menunjukkan puncak difraksi CuI, tapi mengalami pegeseran pada sudut 2θ .

Dengan ditambahkan CuI, terlihat puncak-puncak difraksinya mirip pada $x = 0,6$ tetapi sudut 2θ bergeser. Dari pergeseran sudut difraksi ini menunjukkan bahwa adanya suatu

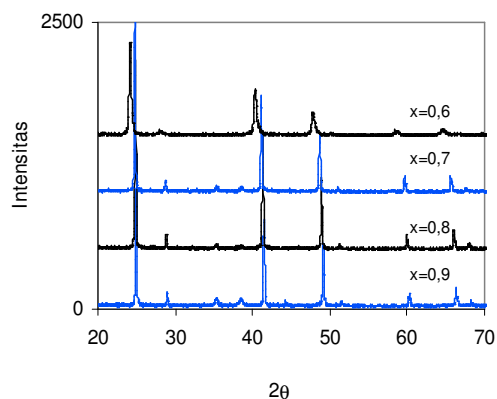
regangan pada konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ tersebut.

4.2. Konduktivitas

Hasil pengukuran konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$



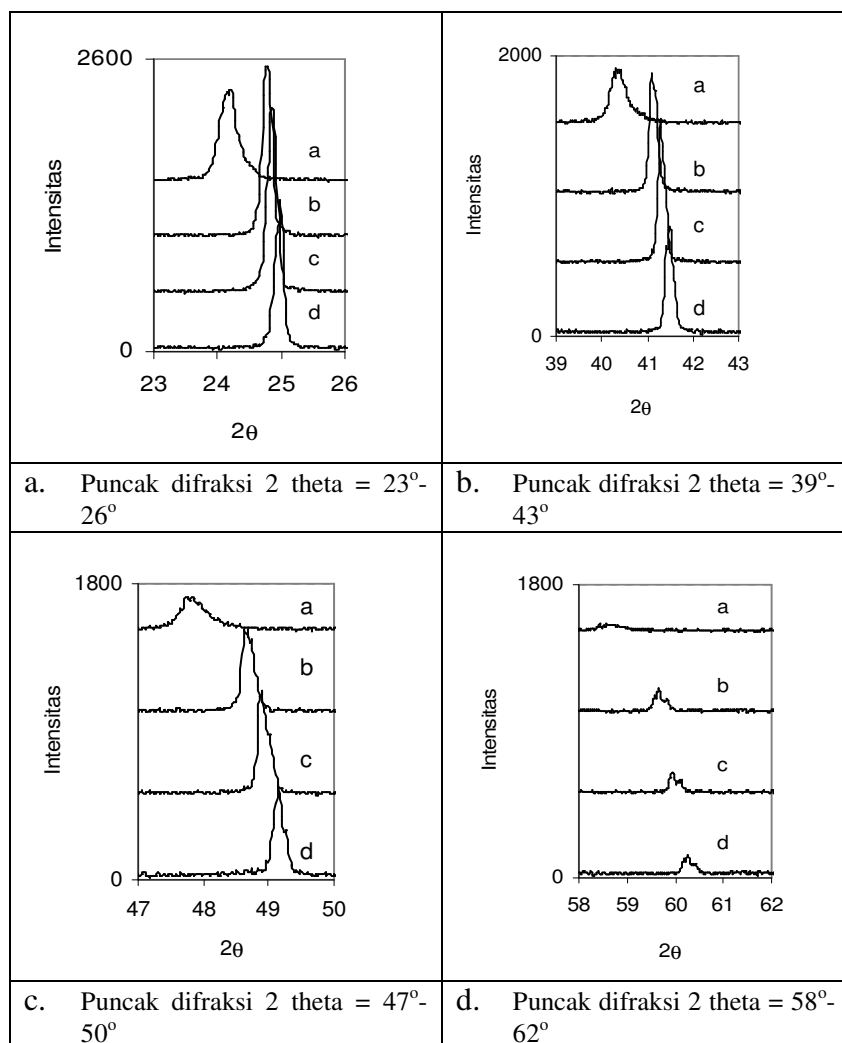
Gambar 2. Puncak difraksi sinar-x CuI dan AgI



Gambar 3. Puncak difraksi sinar-x $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$

dengan variasi fungsi frekuensi 0,01 Hz sampai dengan 100 k.Hz dan dilakukan pada potensial 1 dan 2 volt ditunjukkan pada gambar 4 dan 5.

Untuk menganalisis konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ digunakan persamaan yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya yaitu Johnscher, A.K. (1977), dan Lee, W.K,



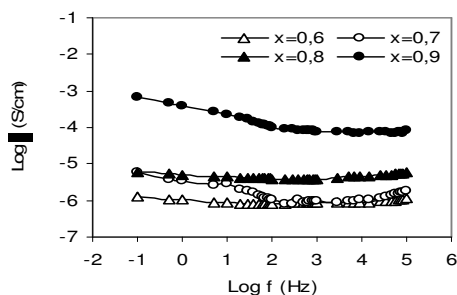
Gambar 4. Puncak difraksi sinar-x dari $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$. (a). $x = 0,6$ (b). $x = 0,8$ (c). $x = 0,7$ (d). $x = 0,9$.

J.F Liu dan A.S Nowick (1991) yaitu : $\log \sigma = \log \sigma_0 + s \log f$, dimana σ adalah konduktivitas (S/cm), σ_0 adalah konduktivitas pada saat $f = 0,1$ Hz, f adalah frekuensi (Hz), s adalah faktor eksponen mempunyai nilai antara 0 sampai 1.

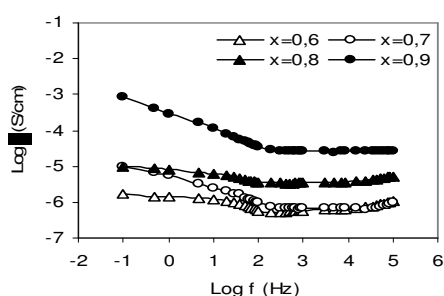
Hasil perhitungan konduktivitas bahan konduktor padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ yang merupakan fitting pada daerah frekuensi pertama antara 0,01 - 100 Hz,

dan frekuensi kedua antara 200 Hz - 100 kHz ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Kurva konduktivitas pada Gambar 5 dan 6 terlihat linear dengan mempunyai kemiringan pada daerah frekuensi 0,1 -100 Hz yang berarti konduktivitas bergantung frekuensi, sedangkan pada daerah frekuensi 200 Hz – 100 kHz adalah datar, hal ini menunjukkan konduktivitas konduktor ionik padat tidak t ergantung pada



Gambar 5. Konduktivitas $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ pada 1 volt



Gambar 6. Konduktivitas $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ pada 2 volt

Tabel 1. Konduktivitas $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$, $v = 1$ volt.

Sampel	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
$(\text{CuI})_{0,6}(\text{AgI})_{0,4}$	$1,02 \times 10^{-6}$	$6,79 \times 10^{-6}$
$(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$	$3,82 \times 10^{-6}$	$0,47 \times 10^{-6}$
$(\text{CuI})_{0,8}(\text{AgI})_{0,2}$	$4,89 \times 10^{-6}$	$2,38 \times 10^{-6}$
$(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$	$39,01 \times 10^{-5}$	$9,75 \times 10^{-5}$

Tabel 2. Konduktivitas $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$, $v = 2$ volt.

Sampel	σ_{01} (S/cm)	σ_{02} (S/cm)
$(\text{CuI})_{0,6}(\text{AgI})_{0,4}$	$1,41 \times 10^{-6}$	$0,29 \times 10^{-6}$
$(\text{CuI})_{0,7}(\text{AgI})_{0,3}$	$5,33 \times 10^{-6}$	$0,59 \times 10^{-6}$
$(\text{CuI})_{0,8}(\text{AgI})_{0,2}$	$7,31 \times 10^{-6}$	$2,13 \times 10^{-6}$
$(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$	$30,39 \times 10^{-5}$	$2,75 \times 10^{-5}$

Keterangan :

σ_{01} = konduktivitas pada frekuensi 0,1 Hz–100 Hz

σ_{02} = konduktivitas pada frekuensi 200 Hz–100 kHz

frekuensi.

Konduktivitas CuI lebih tinggi dibandingkan dengan konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ dan AgI. Sedangkan konduktivitas konduktor ionik padat $(\text{CuI})_x(\text{AgI})_{1-x}$ lebih tinggi daripada AgI.

4.3. Sifat Termal

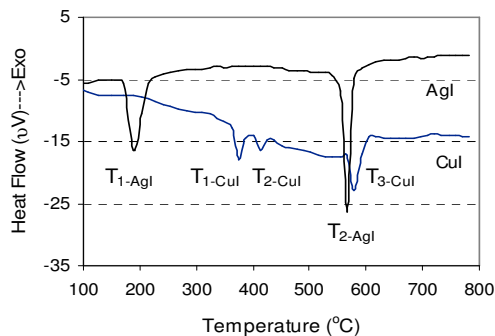
Dari termogram pada Gambar 7, dapat diketahui bahwa kedua bahan CuI dan AgI menunjukkan suatu reaksi endotermis. Puncak-puncak endotermis tersebut adalah suhu transisi fasa dan leleh. Suhu yang ditunjukkan pada termogram DTA CuI adalah $T_{1-\text{CuI}} = 357,7$ °C, $T_{2-\text{CuI}} = 398,2$ °C dan $T_{3-\text{CuI}} = 565,6$ °C. Sedangkan termogram DTA AgI dengan suhu $T_{1-\text{AgI}} = 159,4$ °C dan $T_{2-\text{AgI}} = 554,2$ °C.

Sedangkan pada Gambar 8 yaitu termogram DTA $(\text{CuI})_{0,6}(\text{AgI})_{0,4}$ dengan suhu transisi $T_1 = 375,5$ °C adalah fasa- γ dari CuI, $T_2 = 428,8$ °C adalah fasa- α dari CuI, $T_3 = 542,5$ °C adalah suhu leleh AgI dan $T_4 = 759,9$ °C.

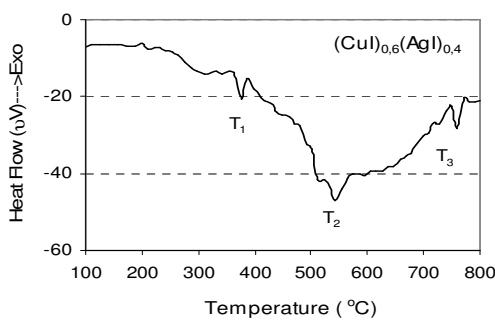
Termogram DTA $(\text{CuI})_{0,8}(\text{AgI})_{0,2}$ ditunjukkan pada Gambar 9, dari termogram tersebut suhu transisi $T_1 = 364,1$ °C fasa- γ dari CuI, $T_2 = 542,5$ °C adalah titik leleh AgI dan $T_3 = 759,9$ °C.

Gambar 10 adalah termogram DTA $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgI})_{0,1}$, dari termogram DTA suhu transisi $T_1 = 364,1$ °C adalah fasa- γ dari CuI, $T_2 = 564,6$ °C adalah suhu leleh AgI dan $T_3 = 688,0$ °C.

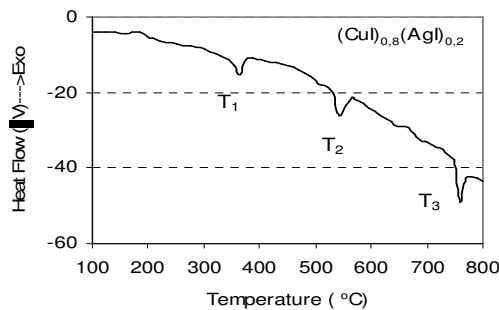
Menurut Chandra, S. dan A. Laskar (1990), bahan CuI mempunyai beberapa fasa yaitu fasa- γ pada suhu 27 °C dan fasa- α pada suhu 400 °C. Konduktivitas CuI fasa- γ adalah 10^{-7} S/cm dan fasa- α adalah 6×10^{-2} S/cm. Dari percobaan terdapat perbedaan pada suhu transisi



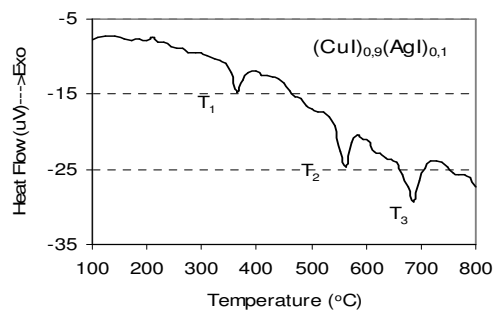
Gambar 7. Termogram DTA CuI dan AgI



Gambar 8. Termogram DTA (CuI)_{0,6}(AgI)_{0,4}



Gambar 9. Termogram DTA (CuI)_{0,8}(AgI)_{0,2}



Gambar 10. Termogram DTA (CuI)_{0,9}(AgI)_{0,1}

fasa. Dalam percobaan dengan DTA “scanning rate” dipakai 20 °C/menit, sedangkan dalam Wenland, W.W.M. (1986) tidak disebutkan. Pada umumnya, “scanning rate” semakin besar, suhu transisi fasa bergeser kearah suhu yang lebih tinggi.

5. KESIMPULAN

Konduktor ionik padat (CuI)_x(AgI)_{1-x} telah dapat dibuat dengan pencampuran antara CuI dengan AgI. Dari pola difraksi sinar-x ditunjukkan struktur yang nampak adalah struktur CuI dan AgI. Nilai konduktivitas konduktor ionik padat (CuI)_x(AgI)_{1-x} naik seiring penambahan CuI pada tegangan 1 volt maupun 2 volt. Pada termogram DTA, terlihat suatu reaksi endotermis yang merupakan suhu transisi fasa pada konduktor ionik padat (CuI)_x(AgI)_{1-x}.

DAFTAR PUSTAKA

- Chandra, S. dan A. Laskar (1990), *Superionic Solid and Solid Electrolyte*, Academic Press, New York, , p.17-28.
- Collins, M.F. dan E. KARTINI (2003), *Solid State Ionic*. Vol 1, , p.157-174.
- Johnscher, A.K. (1977), *Nature*. No. 261, p.673-676.
- Kartini, E. dan M.F. Collins (2000), *Physical B*. No. 213, p.276-278.
- Kawamura, J. dan S. Hiyama (1992), *Solid State Ionic*. 56, p.1227-1231.
- Lee, W.K, J.F Liu dan A.S Nowick (1991), *Physc.Rev.Lett*. Vol 67. No.12, p.1559-1561.
- Linden, D. (1995), *Handbook of Batteries*, McGraw-Hill, Singapura, Chapter 15, p.1-27.

- Munshi, M.Z.A.** (1995), *Handbook of Solid State Batteries and Capacitor*, Word Scientific, Singapura, pp.111-129.
- Purnama, S. Purnama, E. Kartini, P. Purwanto, M. Silalahi, dan A. Sitompul** (2003), "Struktur Kristal dan Konduktivitas Ionik $(\text{CuI})_{0,9}(\text{AgPO}_3)_{0,1}$," *Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar-X*, Serpong, , hlm 121-126.
- Saito, T., M. Tatsumigaso, dan TATSUMISAGO and T. Minami** (1993), *Solid State Ionics*.Vol 61, p.285-291.
- Wenland, W.W.M.** (1986), *Thermal Analysis*, John Wiley & Son, Singapura, p.228-232.