

PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP KONDUKTIVITAS DAN ENERGI AKTIVASI KOMPOSIT $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$

P. Purwanto ⁽¹⁾, S. Purnama ⁽¹⁾, D.S Winatapura ⁽¹⁾, Y. Margapratala ⁽¹⁾
dan Y. Sarwanto ⁽¹⁾

1. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir-BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan 15314

E-mail : ppurwanto88@gmail.com

(Naskah diterima: 7-11-2011, disetujui: 13-12-2011)

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP KONDUKTIVITAS DAN ENERGI AKTIVASI KOMPOSIT $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$. Komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dibuat dengan cara dicampur dua padatan Lil dengan Al_2O_3 . Proses mencampur dua padatan dengan memvariasi konsentrasi Lil dari 0,6 hingga 0,9. Selanjutnya komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dibuat berbentuk pelet dengan diameter 1,5 cm dan ditekan pada tekanan 4000 psi, kemudian dipanaskan dengan variasi suhu mulai 300 °K hingga 570 °K. Difraksi sinar-x pada komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ menunjukkan bahwa puncak-puncak yang nampak adalah Lil dan Al_2O_3 . Ukuran kristal komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ naik dengan naiknya konsentrasi Lil, kecuali pada fraksi berat $x = 0,9$. Pengukuran konduktivitas komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dilakukan dengan alat LCR-meter pada kisaran frekuensi 0,1 Hz hingga 100 kHz. Konduktivitas komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ turun dengan naiknya suhu, energi aktivasi komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ naik dan turun tidak teratur dengan naiknya suhu pemanasan dan konsentrasi Lil.

Kata kunci: bahan komposit padat, panas, difraksi sinar-x, konduktivitas.

ABSTRACT

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT TO CONDUCTIVITY AND ACTIVATION ENERGY IN COMPOSITE OF $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$. The composite $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ has been prepared by mixing of Lil with Al_2O_3 powders. Process mixture both powder with various concentration Lil begin 0.6 to 0.9. Then composite of $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ was compacted with diameter 1.5 cm and pressure 4000 psi, then the composite had been done heated with heating to begin 300 °K to 570 °K. The x-ray diffraction of $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ show that peaks of Lil and Al_2O_3 . The composite crystall size of $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ increase with increasing concentration of Lil, except at weight fraction $x = 0.9$. The composite conductivity of $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ is measured by LCR-meter method at the frequency between 0.1 Hz to 100 kHz. The result show that the composite conductivities of $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ decreased with increasing temperature, but activation energy the composite of $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ increased and decreased disorder with increasing of heating temperature and concentration of Lil.

Keywords: solid state electrolyte, thermal, x-ray diffraction, conductivity.

PENDAHULUAN

Bahan padat bila dipanaskan di suhu transisi akan terjadi ketidakaturan pada strukturnya. Hal tersebut akibat dari getaran termal pada bahan yang menyebabkan atom berenergi, sehingga mampu melakukan perpindahan dari tempat yang satu tempat ke tempat lain, yang di dalam suatu kristal menimbulkan kekosongan. Kekosongan pada Kristal disebut *cacat Schottky* dan *Frenkel* yang dapat digunakan untuk mobilitas ion. Banyaknya cacat pada bahan tergantung perlakuan panas yang diberikan bahan tersebut ^[1].

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang konduktivitas dan sifat termal elektrolit padat $(\text{Cu})_x(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$. Konduktivitas menunjukkan $(4,5-9,7) \times 10^{-5}$ S/cm untuk frekuensi (0,1-100) Hz, sedangkan pada frekuensi (0,2-100) kHz yaitu $(4-10) \times 10^{-5}$ S/cm ^[2]. Telah dilakukan pengukuran konduktivitas dan sifat termal elektrolit padat $(\text{Cu})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ^[3], yang menunjukkan konduktivitas $(0,06-4,74) \times 10^{-5}$ S/cm. Begitu juga ukuran partikel mempengaruhi konduktivitas listrik pada komposit Cu-Al₂O₃ ^[4,5].

Penelitian lain telah dilakukan juga tentang pengaruh suhu terhadap konduktivitas elektrolit padat $(\text{Cu})_{0,5}(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{0,5}$ dengan nilai konduktivitas $1,48 \times 10^{-5}$ S/cm pada suhu ruang dan $8,23 \times 10^{-4}$ S/cm pada suhu 300°C ^[6]. Dari hasil penelitian sebelumnya yang merupakan berbasis alumina, hal ini menunjukkan alumina memiliki sifat fisis yang baik sebagai fungsi suhu.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, maka dilanjutkan dengan membuat suatu bahan campuran antara Lil dan Al₂O₃ dengan formula $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dengan variasi $x = 0,6$ hingga $0,9$, campuran tersebut dipanaskan pada suhu 300 °K hingga 570 °K. Diharapkan dari penelitian ini didapatkan bahan konduktor lebih baik sifat konduktivitasnya sehingga

dapat digunakan untuk komponen pada baterai.

Penerapan alat LCR-meter dapat digunakan untuk mengukur bahan bakar reaktor dan kelongsong sebelum dan sesudah perlakuan panas. Bahan komposit yang berbasis alumina suatu saat dapat dipakai sebagai bahan bakar reaktor dengan mengetahui sifat fisis.

TATA KERJA

Dalam percobaan ini dilakukan tiga jenis kegiatan sebagai berikut:

1. Pembuatan komposit berbasis alumina $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dengan mencampur serbuk Lil dan Al₂O₃ dipelet dan ditekan pada 4000 psi.
2. Penentuan struktur kristal komposit $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dengan difraksi sinar-x. Pengukuran difraksi sinar dengan kondisi panjang gelombang Cu = 1,542 Å, tegangan 30 kV dan dengan arus = 30 mA.
3. Pengukuran konduktivitas komposit $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dilakukan menggunakan alat LCR-meter, pada frekuensi 0,1 Hz sampai 100 kHz dengan variasi suhu 250 °K hingga 600 °K.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Difraksi sinar-x

Pola difraksi sinar-x bahan komposit $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dengan $x = 0,6$ sampai $0,9$ ditunjukkan pada Gambar 1. Dari penelitian ini, diperoleh pola difraksi komposit $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ dengan variasi fraksi berat Lil menunjukkan masih bentuk kristal dan strukturnya sama.

Pada Gambar 1, kemudian dilakukan analisis menggunakan program *Igor* terhadap puncak-puncaknya dan sudut dua theta (θ) dan lebar setengah puncak (β) pada bahan komposit $(\text{Lil})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$. Hasil

analisis pola difraksi sinar-x ditunjukkan dalam Tabel 1a, puncak-puncak difraksi yang nampak yaitu Lil dan Al_2O_3 .

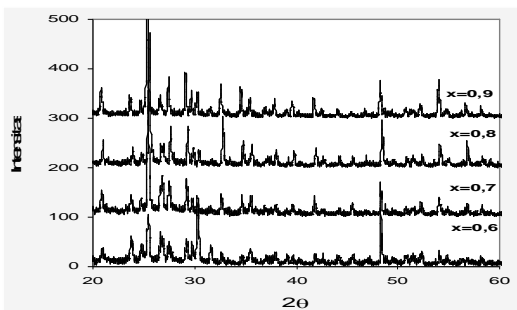
Menggunakan data dari Tabel 1b, dapat dihitung ukuran kristal komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dengan menggunakan persamaan Williams dan Hall ^[7,8], yaitu:

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

Keterangan: β : lebar setengah puncak difraksi, θ : sudut Bragg, λ : panjang gelombang sinar-x, D: ukuran kristal, η adalah regangan.

Membuat kurva antara $(\beta \cos \theta)/\lambda$ terhadap $(\sin \theta)/\lambda$ ditunjukkan pada Gambar 2, maka dapat ditentukan nilai regangan kisi dari kemiringan garis hasil *fitting*, yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Hasil perhitungan nilai ukuran kristal komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ naik seiring dengan naiknya fraksi berat Lil. Hal ini membuktikan bahwa komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ telah terjadi suatu regangan. Akibat regangan ini, komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ terjadi penyisipan atau substitusi atom Lil ke dalam komposit tersebut. Sedangkan pada fraksi berat $x = 0,9$ ukuran kristal turun, hal ini dikarenakan atom Lil sudah mencapai titik jenuh atau ruang antar kisi Al_2O_3 sudah terisi penuh oleh atom Lil, sehingga atom Lil tidak dapat menyisip.



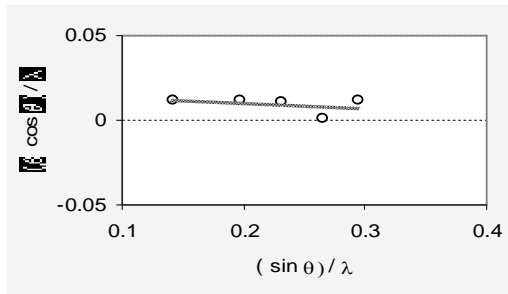
Gambar 1. Pola difraksi sinar-x komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$

Tabel 1a. Analisis puncak-puncak pola difraksi sinar-x komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$

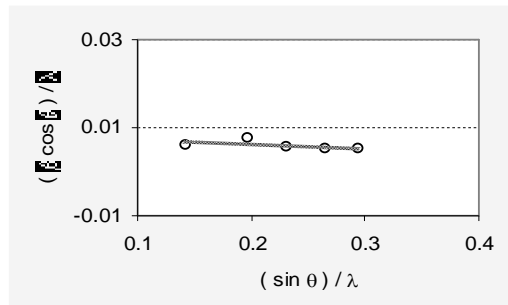
2θ	Puncak	2θ	Puncak
25,61	Lil	35,80	Lil
26,97	Alumina	42,30	Lil
28,50	Alumina	45,64	Lil
33,20	Lil	48,50	Lil
34,90	Alumina	54,17	Lil

Tabel 1b. Hasil perhitungan sudut 2θ dan β bahan komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dengan program *Igor*

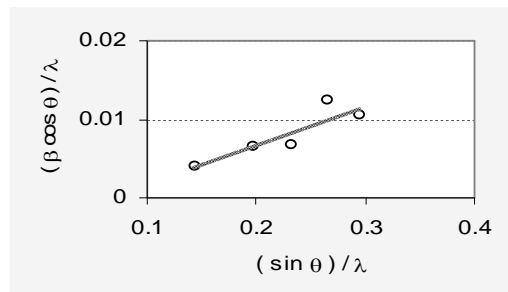
Bahan	2θ (derajat)	β (radian)
$(Li)_{0,6}(Al_2O_3)_{0,4}$	25,4516	0,0189
	35,4827	0,0189
	41,8762	0,0170
	48,3342	0,0018
$(Li)_{0,7}(Al_2O_3)_{0,3}$	54,0909	0,0206
	25,3619	0,0097
	35,4228	0,0122
	41,7480	0,0093
$(Li)_{0,8}(Al_2O_3)_{0,2}$	48,2789	0,0089
	53,9843	0,0089
	25,5909	0,0063
	35,6366	0,0107
$(Li)_{0,9}(Al_2O_3)_{0,1}$	41,9523	0,0111
	48,4555	0,0121
	54,1729	0,0181
	25,4475	0,0096
	35,5151	0,0117
	41,8262	0,0114
	48,3553	0,0147
	54,0598	0,0152



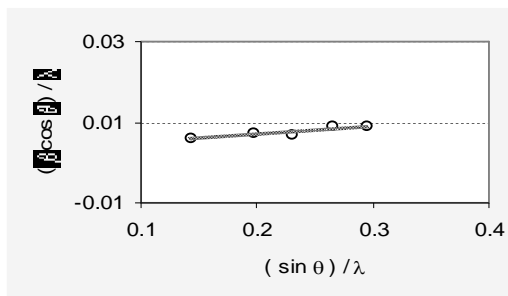
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 2. Kurva antara $(\beta \cos \theta) / \lambda$ terhadap $(\sin \theta) / \lambda$
 (a). $(\text{LiI})_{0,6}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,4}$
 (b). $(\text{LiI})_{0,7}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,3}$
 (c). $(\text{LiI})_{0,8}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,2}$
 (d). $(\text{LiI})_{0,9}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,1}$

Tabel 2. Hasil perhitungan ukuran kristal (D) pada komposit $(\text{LiI})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$

Bahan	D (Å)
$(\text{LiI})_{0,6}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,4}$	62,06
$(\text{LiI})_{0,7}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,3}$	176,46
$(\text{LiI})_{0,8}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,2}$	272,73
$(\text{LiI})_{0,9}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,1}$	257,14

2. Konduktivitas

Pengukuran konduktivitas komposit $(\text{LiI})_{0,6}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,4}$ dilakukan dengan variasi suhu dan frekuensi tetap, ditunjukkan pada Gambar 3. Begitu juga untuk komposit $(\text{LiI})_{0,7}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,3}$; $(\text{LiI})_{0,8}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,2}$ dan $(\text{LiI})_{0,9}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,1}$, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.

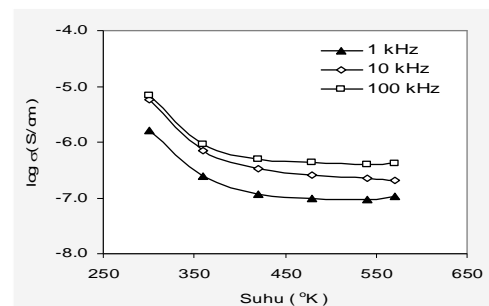
Analisis konduktivitas dengan menerapkan model yang dilakukan oleh W.K.Lee dkk^[9]:

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

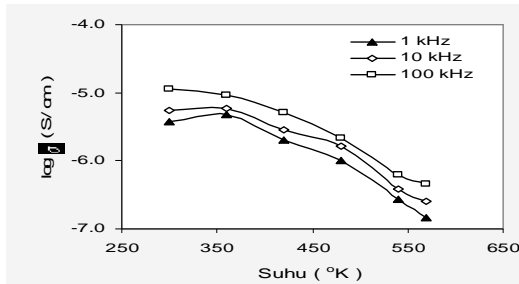
Keterangan: σ : konduktivitas dan s : faktor eksponent power ($0 < s < 1$). Persamaan 2 diubah menjadi bentuk logaritma yaitu:

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

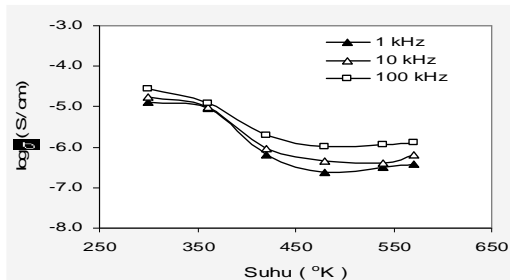
Dengan dibuat kurva antara $\log \sigma$ terhadap $\log f$ atau $\log \sigma$ terhadap T dengan frekuensi tetap, didapat kurva konduktivitas.



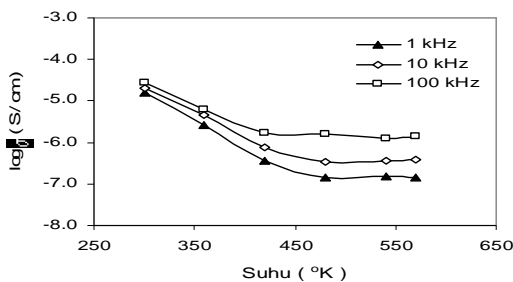
Gambar 3. Konduktivitas bahan komposit $(\text{LiI})_{0,6}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,4}$



Gambar 4. Konduktivitas bahan komposit $(Li)_{0,7}(Al_2O_3)_{0,3}$



Gambar 5. Konduktivitas bahan komposit $(Li)_{0,8}(Al_2O_3)_{0,2}$



Gambar 6. Konduktivitas bahan komposit $(Li)_{0,9}(Al_2O_3)_{0,1}$

Konduktivitas pada komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ menurun seiring dengan naiknya suhu pemanasan. Penurunan konduktivitas komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ tidak terjadi akibat cacat Frenkel atau Schotky. Pada umumnya kedua jenis cacat dapat meningkatkan konduktivitas ionik pada komposit^[1]. Hal ini menunjukkan suhu pemanasan tidak selalu menyebabkan cacat, tetapi tergantung pada suhu tertentu untuk dapat meningkatkan konduktivitas ionik. Pada penelitian sebelumnya, konduktivitas Al_2O_3 naik sebagai fungsi suhu pemanasan sampai suhu 300 °C. Terjadi

cacat atau tidak, tidak dapat dijelaskan dengan pola difraksi sinar-x.

Gerakan ionik pada komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ yaitu ion Li yang berperan dalam meningkatkan atau menurunnya konduktivitas komposit. Menurut teori yang dijabarkan oleh S. Chandra^[1], konduktivitas komposit dapat meningkat bila terjadi cacat Frenkel atau Schotky, banyak cara untuk melakukan suatu cacat pada bahan yaitu salah satunya perlakuan panas dan radiasi sinar- γ .

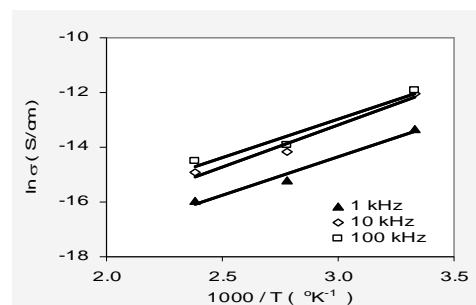
3. Energi aktivasi

Energi Aktivasi (E_a) bahan komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dihitung dengan mempergunakan persamaan Arrhenius yaitu:

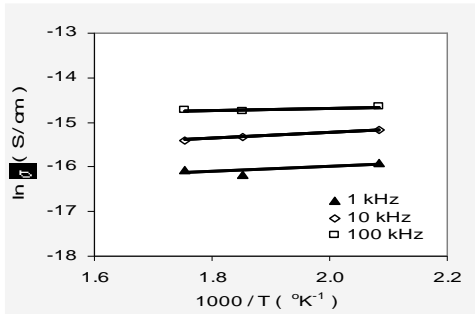
$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-E_a/k \cdot T) \quad (4)$$

Keterangan: σ : konduktivitas, E_a : energi aktivasi, k : konstanta boltzman, dan T : suhu^[1,2]. Dengan membuat kurva antara $\ln \sigma$ terhadap $1000/T$, diperoleh kemiringan garis yang merupakan energi aktivasi.

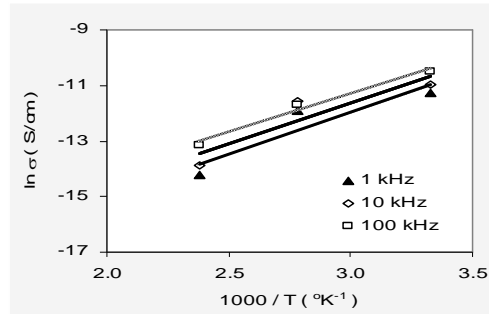
Kurva Arrhenius bahan komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ ditunjukkan pada Gambar 7 sampai Gambar 10. Energi aktivasi dapat ditentukan dengan membuat kurva antara $\ln \sigma$ terhadap $1000/T$, dari kemiringan kurva dapat dihitung energi aktivasi E_a . Perhitungan energi aktivasi dibagi dalam dua bagian interval suhu yaitu pertama suhu 300 °K sampai 420 °K dan interval suhu kedua 450 °K sampai 570 °K.



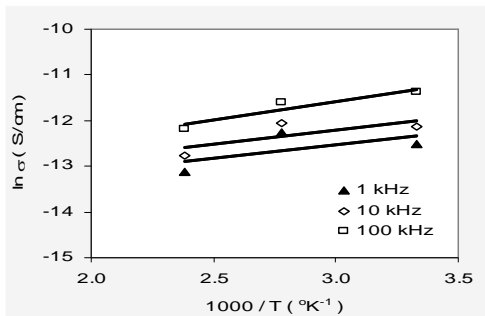
Gambar 7a. Kurva Arrhenius pada komposit $(Li)_{0,6}(Al_2O_3)_{0,4}$ interval suhu 300-420 °K



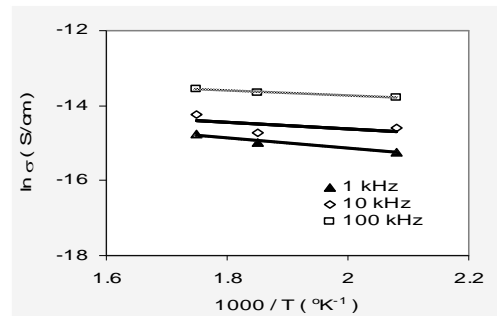
Gambar 7b. Kurva Arrhenius pada komposit $(\text{LiI})_{0,6}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,4}$ interval suhu 450-570°K



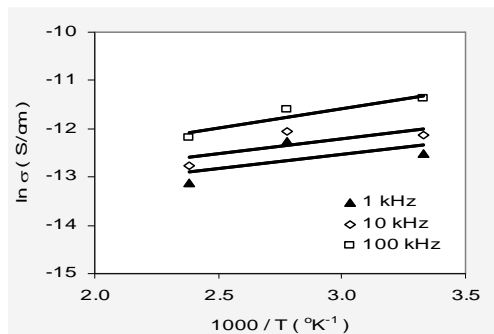
Gambar 9a. Kurva Arrhenius pada komposit $(\text{LiI})_{0,8}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,2}$ interval suhu 300-420°K.



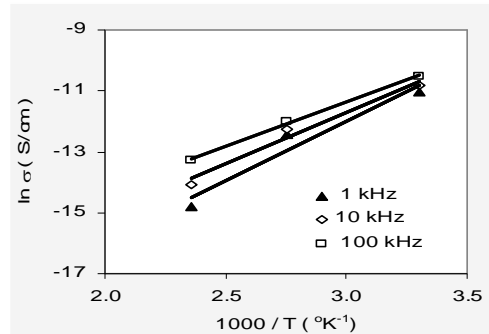
Gambar 8a. Kurva Arrhenius pada komposit $(\text{LiI})_{0,7}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,3}$ interval suhu 300-420°K.



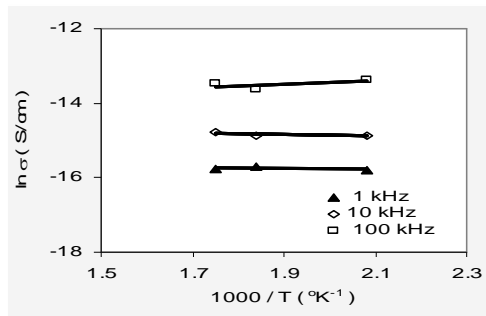
Gambar 9b. Kurva Arrhenius pada komposit $(\text{LiI})_{0,8}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,2}$ interval suhu 450-570°K



Gambar 8b. Kurva Arrhenius pada komposit $(\text{LiI})_{0,7}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,3}$ interval suhu 450-570°K.



Gambar 10a. Kurva Arrhenius pada komposit $(\text{LiI})_{0,9}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{0,1}$ interval suhu 300-420°K.



Gambar 10b. Kurva Arrhenius pada komposit $(Li)_{0,9}(Al_2O_3)_{0,1}$ interval suhu 450-570°K.

Hasil perhitungan energi aktivasi $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dengan $x = 0,6 - 0,9$ ditunjukkan pada Tabel 3-6. Tabel 3, komposit $(Li)_{0,6}(Al_2O_3)_{0,4}$ mempunyai energi aktivasi tetap pada suhu 300-420 °K dan menurun pada suhu 450-570 °K seiring dengan naiknya frekuensi. Tabel 4, komposit $(Li)_{0,7}(Al_2O_3)_{0,3}$ mempunyai energi aktivasi naik pada suhu 300-420 °K dan tetap pada suhu 450-570 °K seiring dengan naiknya frekuensi. Tabel 5, komposit $(Li)_{0,8}(Al_2O_3)_{0,2}$ mempunyai energi aktivasi tetap pada suhu 300-420 °K dan menurun pada suhu 450-570 °K seiring dengan naiknya frekuensi. Tabel 6, komposit $(Li)_{0,9}(Al_2O_3)_{0,1}$ mempunyai energi aktivasi tetap pada suhu 300-420 °K dan menurun pada suhu 450-570 °K seiring dengan naiknya frekuensi. Energi aktivasi pada komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ naik dan turun pada interval tertentu, hal ini menunjukkan konduktivitas suatu bahan komposit tinggi dengan energi aktivasi rendah atau sebaliknya. Dalam penelitian ini, energi aktivasi pada suhu interval tertentu ada yang naik dan turun, hal disebabkan gerakan ion Li didalam komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ berbeda. Gerakan ion yang beda ini, disebabkan ketidakaturan gerakan ion-ion dalam menyerap energi *phonon*. Menurut P. Padma Kumar dkk [10], konduktivitas tergantung banyak faktor seperti interstisi, ukuran ion, suhu, struktur kristal, komposisi dan perubahan fasa.

Tabel 3. Energi aktivasi $(Li)_{0,6}(Al_2O_3)_{0,4}$

Frekuensi	E_{a1} (eV)	E_{a2} (eV)
1 kHz	$2,43 \times 10^{-1}$	$0,50 \times 10^{-1}$
10 kHz	$2,66 \times 10^{-1}$	$0,57 \times 10^{-1}$
100 kHz	$2,42 \times 10^{-1}$	$0,20 \times 10^{-1}$

Tabel 4. Energi aktivasi $(Li)_{0,7}(Al_2O_3)_{0,3}$

Frekuensi	E_{a1} (eV)	E_{a2} (eV)
1 kHz	$0,50 \times 10^{-1}$	$5,04 \times 10^{-1}$
10 kHz	$0,53 \times 10^{-1}$	$5,60 \times 10^{-1}$
100 kHz	$0,71 \times 10^{-1}$	$4,18 \times 10^{-1}$

Tabel 5. Energi aktivasi $(Li)_{0,8}(Al_2O_3)_{0,2}$

Frekuensi	E_{a1} (eV)	E_{a2} (eV)
1 kHz	$2,60 \times 10^{-1}$	$1,20 \times 10^{-1}$
10 kHz	$2,50 \times 10^{-1}$	$0,80 \times 10^{-1}$
100 kHz	$2,40 \times 10^{-1}$	$0,60 \times 10^{-1}$

Tabel 6. Energi aktivasi $(Li)_{0,9}(Al_2O_3)_{0,1}$

Frekuensi	E_{a1} (eV)	E_{a2} (eV)
1 kHz	$3,40 \times 10^{-1}$	$0,10 \times 10^{-1}$
10 kHz	$2,90 \times 10^{-1}$	$0,20 \times 10^{-1}$
100 kHz	$2,50 \times 10^{-1}$	$0,40 \times 10^{-1}$

Keterangan: E_{a1} = Energi aktivasi pada interval suhu 300°K hingga 420 °K, E_{a2} = Energi aktivasi pada interval suhu 450°K hingga 570°K.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas terhadap komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ dapat mempengaruhi nilai konduktivitas dan energi aktivasinya. Konduktivitas komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ menurun seiring dengan naiknya suhu. Energi aktivasinya naik dan turun tidak teratur seiring dengan naiknya konsentrasi Li dan suhu. Struktur kristal

yang terbentuk adalah struktur Lil dan Al_2O_3 . Ukuran kristal komposit $(Li)_x(Al_2O_3)_{1-x}$ naik seiring dengan naiknya konsentrasi Lil, kecuali pada fraksi berat $x = 0,9$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada teman-teman di BKAN-PTBIN yang telah membantu dalam penelitian ini. Penelitian ini merupakan subagian dari program Block Grand tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. S. CHANDRA and A. LASKAR. (1990). Superionic Solid and Slid Electrolyte. Principle and Applications, Academic Press, New York, hal.17-28.
- [2]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan SAFEI PURNAMA. (2004). J.Sains.Materi.Ind. Vol.5,No.2, 14-18.
- [3]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan SAFEI PURNAMA. (2004). J.Teknologi.Vol.2, No.2, 108-114.
- [4]. V. RAJKOVIC, D. BOZIC, M. POPVIC, M.T. JOVANOVIC. (2009). J. Science of Sintering.41, 185-192.
- [5]. N. LIU, Y. YUAN, X. GAO. (2008). Int.J. of. Microstructure and Materials Properties.3, No.6, 763-779.
- [6]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan SAFEI PURNAMA. (2004). J.Sains.Materi.Ind.Vol.6,No.1, 40-44.
- [7]. K.G. WILLIAMS and HALL. (1953). Acta.Met. 1, 22-31.
- [8]. K.N.R. REHANI, P.B. JOSHI, K.N. LAD and A. PRATAP. (2006). Indian J.of Pure Physics, 44, 157-161.
- [9]. W.K. LEE, J.F LIU and A.S NOWICK. (1991). Physc.Rev.Lett.67,No.12, 1559-1561.
- [10]. P. PADMA KUMAR and S. YASHONATH. (2006). J. of. Chem.Sci. 118, No. 1, 134-154.