

# Pengaruh Temperatur dan Frekuensi Terhadap Konduktivitas Konduktor Padat $(KI)_x - (Na_3PO_4)_{1-x}$

**Alfian, P. Purwanto, Safei Purnama**  
*Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN*  
*Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314*

## ABSTRAK

**Pengaruh Temperatur dan Frekuensi Terhadap Konduktivitas Konduktor Padat  $(KI)_x - (Na_3PO_4)_{1-x}$ .** Elektrolit padat  $(KI)_{0,5} - (Na_3PO_4)_{0,5}$  telah dibuat menggunakan metode metalurgi serbuk yaitu dengan mencampurkan bahan KI dan  $Na_3PO_4$  secara merata menggunakan media alkohol murni dan dipanaskan pada temperatur 100 °C selama 5 jam. Selanjutnya dikompaksi menggunakan cetakan pellet diameter 1,5 cm dengan tekanan 500 kg/cm<sup>2</sup>. Struktur kristal dan konduktivitas ionik bahan tersebut dianalisis menggunakan difraksi sinar-x dan LCR meter. Hasil analisis difraksi sinar-x memperlihatkan adanya puncak-puncak difraksi dari KI dan  $Na_3PO_4$  pada suhu 25 – 100°C sedangkan pada suhu 125°C puncak-puncak KI dan  $Na_3PO_4$  telah mengalami perubahan menjadi NaI dan  $KPO_3$ . Konduktivitas  $(KI)_x(Na_3PO_4)_{1-x}$  pada frekuensi 0,1 – 100 kHz dengan waktu pemanasan selama 1, 3 dan 5 jam didapatkan konduktivitas berkisar  $1,298 \times 10^{-4} - 7,549 \times 10^{-2}$  S/cm dan energi aktivasi yang didapatkan berkisar  $4,07 \times 10^{-2} - 5,43 \times 10^{-2}$  eV, sehingga penambahan temperatur dan lamanya pemanasan akan meningkatkan konduktivitas bahan elektrolit padat KI dan  $Na_3PO_4$ .

**Kata Kunci** : elektrolit padat, konduktivitas, energi aktivasi

## ABSTRACT

**The Influence of Temperature and Frequency in the Solid State Electrolyte Conductivity  $(KI)_x - (Na_3PO_4)_{1-x}$ .** The solid state electrolyte  $(KI)_{0,5} - (Na_3PO_4)_{0,5}$  has been prepared by solid state reaction, by mixing of KI with  $Na_3PO_4$  powders homogeneously using pure alcohol media and heated at the temperature 100 °C for 5 hours. Then the mixture was compacted by using pallet with diameter 1.5 cm and pressure 500 kg/cm<sup>2</sup>. Crystal structure and ionic conductivity is analyzed using x-ray diffraction and LCR meters. The results of the x-ray diffraction show the existence of the diffraction peaks from KI and  $Na_3PO_4$  at temperature range of 25 - 100°C while the temperature 125°C diffractions peaks of KI and  $Na_3PO_4$  have changed to NaI and  $KPO_3$ . Conductivity  $(KI)_x(Na_3PO_4)_{1-x}$  at frequency between range of 0.1 to 100 kHz with heating time for 1, 3 and 5 hours obtained ranged between  $1,298 \times 10^{-4} - 7,549 \times 10^{-2}$  S/cm and the activation energy was obtained between  $4,07 \times 10^{-2} - 5,43 \times 10^{-2}$  eV. The increasing of temperature and duration of heating was will increase the conductivity of the solid electrolyte material of solid KI and  $Na_3PO_4$ .

**Keywords** : solid electrolyte material, conductivity, activation energy

## 1 Pendahuluan

Penelitian tentang struktur bahan konduktor padat sangat penting untuk memahami penyebab tingginya konduktivitas ionik bahan. Mekanisme perpindahan ion dalam kristal bahan konduktor padat menjadi hal yang sangat penting untuk diketahui dan ini semua sangat bergantung pada struktur bahan konduktor tersebut. Penelitian struktur ba-

han konduktor padat dilakukan dengan berbagai metode dan yang paling banyak dilakukan adalah penggunaan X-ray dan neutron. Tidak hanya penelitian dalam hal struktur, penelitian mengenai sifat-sifat listrik sifat termal dan sifat-sifat fisis lainnya juga sama pentingnya. Ketidakteraturan posisi atom atau adanya cacat dalam struktur menyebabkan tersedianya posisi kosong pada tempat-tempat tertentu dalam kristal. Posisi yang kosong ini da-

pat diisi oleh atom lain di sekitarnya dan meninggalkan posisi kosong yang baru, demikian seterusnya sehingga ion dalam kristal tersebut dapat berpindah-pindah. Inilah yang berperan dalam tingginya konduktivitas ionik bahan konduktor padat [1].

Bila senyawa padatan tersebut telah melampaui titik lelehnya biasanya konduktivitasnya meningkat tajam. Jadi, untuk senyawa padatan ionik pada umumnya, konduktivitas yang tinggi hanya dicapai dalam kondisi telah terlampaunya titik leleh senyawa tersebut. Namun diantara padatan ionik ada beberapa senyawa yang mempunyai konduktivitas tinggi meskipun pada temperatur jauh di bawah titik lelehnya, senyawa-senyawa inilah yang dikenal sebagai bahan Konduktor Super Ionik atau dikenal dengan istilah elektrolit padat [2].

Untuk menentukan elektroda pada komponen *fuel cell* dikelompokkan sesuai dengan jenis elektrolitnya. Pada penelitian ini menggunakan bahan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  karena bahan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  telah diketahui memiliki mobilisasi ion yang baik dan mempunyai kemampuan untuk pertukaran ion dengan kation lain. Perbedaan kerapatan pada bahan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  menyebabkan terjadinya mobilisasi ion sehingga  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  mempunyai konduktivitas ionik yang tinggi[3].

Konduktivitas dan sifat thermal elektrolit padat pada bahan  $(\text{KI})_x(\beta\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ . ( $x = 0,3$  dan  $0,5$ ) telah diteliti oleh P. Purwanto dkk [4] dengan nilai konduktivitas berkisar  $5,16 \times 10^{-5}$  S/cm -  $3,72 \times 10^{-4}$  S/cm dengan tegangan pada sample 1 volt, sedangkan sifat konduktivitas KI telah diketahui yaitu sekitar  $1,298 \times 10^{-4}$  S/cm dan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  sekitar  $1,252 \times 10^{-6}$  S/cm pada tegangan sampel yang diberikan  $V=1$  volt.

Berdasarkan data-data penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dilakukan penelitian dengan membuat suatu bahan campuran antara KI dan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  dengan perbandingan fraksi mol  $x=0,5$  karena penelitian yang dilakukan oleh P. Purwanto dkk memperlihatkan bahwa pada fraksi mol tersebut mempunyai karakteristik yang lebih baik dibandingkan pada fraksi mol  $x=0,3$ ;  $x=0,7$  dan  $x=0,9$ .  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  adalah bahan konduktor yang mempunyai struktur yang kuat dan stabil sedangkan KI adalah salah satu bahan yang kurang baik terhadap temperatur sehingga kedua bahan itu dicoba digabungkan. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan bahan elektrolit padat yang mempunyai sifat konduktivitas, sifat termal dan struktur kristal yang lebih baik dari sifat awal bahan.

## 2 Teori

Bahan konduktor superionik dikenal juga dengan istilah lain di kalangan ilmuwan sebagai elektrolit padat ataupun konduktor ion cepat. Bahan konduktor superionik tersebut merupakan bahan padatan yang mempunyai konduktivitas ionik yang tinggi pada temperatur yang jauh di bawah titik leleh dari bahan tersebut. Bahan superionik atau konduktor ion cepat itu memiliki konduktivitas yang tinggi sekitar  $10^{-2}$  S/cm. Kebanyakan bahan konduktor padat seperti AgI, CuI dan  $\text{Ag}_2\text{S}$  dapat bersifat superionik pada temperatur tinggi atau dengan kata lain mengalami perubahan sifat dari bukan superionik ke superionik [5].

Konduktivitas listrik adalah ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika suatu beda potensial listrik ditempatkan ujung-ujung sebuah konduktor maka muatannya akan bergerak atau berpindah menghasilkan arus listrik[6].

Penentuan nilai konduktivitas ionik ( $\sigma$  Siemens/cm<sup>2</sup>) dilakukan dengan mengukur nilai Konduktansi ( $G = \text{Siemens}$ ) dan dimanfaatkan persamaan :

$$\sigma = GL/A \quad (1)$$

dengan  $A = \pi(d/2)^2$ . Dimana :  $\sigma$  adalah konduktivitas ionik dalam Siemens/cm<sup>2</sup>,  $\Phi$  adalah diameter ( $d$ ) dan  $L$  adalah tebal pelet (cm). Perhitungan konduktivitas  $(\text{KI})_{0,5}(\text{Na}_3\text{PO}_4)_{0,5}$  menggunakan model W.K. Lee dkk [7] dengan persamaan konduktivitas :

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

dimana:  $\sigma$  adalah konduktivitas (S/cm),  $\sigma_0$  konduktivitas pada saat  $f = 0$  Hz dan  $s$  faktor eksponen ( $0 < s < 1$ ) Persamaan (1) diubah ke bentuk logaritma menjadi :

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

Energi Aktivasi ( $E_a$ ) bahan KI dan  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  dihitung dengan menggunakan persamaan Arrhenius yaitu

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

dimana  $\sigma$  = konduktivitas,  $E_a$  = energi aktivasi,  $k$  = konstanta boltzman, dan  $T$  = temperatur (°K) [8]. Dengan membuat kurva antara  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  (°K), diperoleh kemiringan garis yang merupakan energi aktivasi. Energi aktivasi dapat ditentukan dengan membuat kurva antara  $\log \sigma$  terhadap  $1000/T$  (°K) dengan rentang suhu yang telah disebutkan di atas.

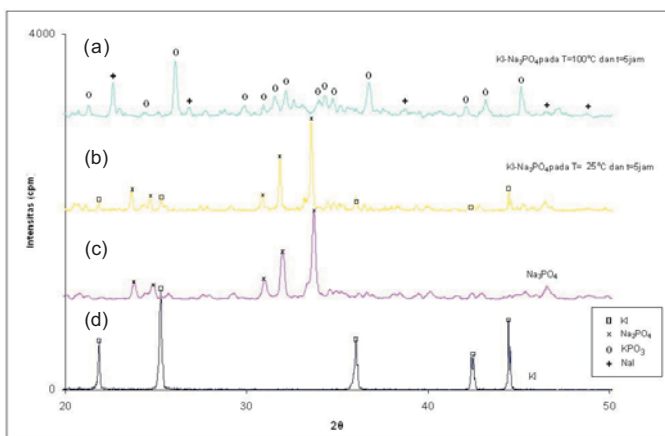
### 3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat empat jenis kegiatan yang dimulai dengan pembuatan konduktor padat (KI)<sub>0,5</sub>(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> dengan metode metalurgi serbuk yaitu dengan mencampurkan serbuk KI dengan Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> secara merata menggunakan media alkohol murni, dikeringkan pada suhu 100 °C selama 5 jam, setelah itu dilakukan kompaksi dengan menggunakan cetakan pelet dengan diameter 1,5 cm dan besar tekanan 500 kg/cm<sup>3</sup>.

Selanjutnya mengetahui perubahan fasa maka dilakukan identifikasi fasa pelet yang terbentuk menggunakan alat Difraktometer sinar-X merk Phillips PW1817 dengan arus 20 mA dan tegangan 40 kV pada rentang sudut 2θ dari 20 sampai 50 derajat. Hasil dari analisa difraktometer sinar-X diidentifikasi dengan cara membandingkan pola hasil pengukuran dengan pola difraksi pada database JCPDS untuk bahan KI (JCPDS 04.0471) dan Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (JCPDS 33-1272).

Untuk mengetahui konduktivitas komposit (KI)<sub>0,5</sub>-(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> menggunakan alat LCR-meter merk Hioky pada frekuensi 0,1 -100 kHz. Pengukuran dilakukan pada temperatur 25, 50, 75, 100 dan 125°C dengan waktu pemanasan 1, 3 dan 5 jam. Dengan mendapatkan nilai konduktivitas σ pada rentang temperatur dan waktu pemanasan yang telah ditentukan selanjutnya kita dapat menentukan energi aktivasi (E<sub>a</sub>) pada frekuensi 0,1; 100; 1000 dan 100000 Hz.

### 4 Hasil dan Pembahasan



Gambar 1: Pola difraksi sinar-x yang muncul dari campuran (KI)<sub>0,5</sub>(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub>, (a) KI, (b) Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, (c) (KI)<sub>0,5</sub>-(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub>; T=25°C (d) NaI dan KPO<sub>3</sub>; T=100°C

Pola difraksi sinar-x bahan elektrolit padat (KI)<sub>0,5</sub>-(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> ditunjukkan pada Gambar 1 pada sudut 2θ =

20-50 derajat. Hasil analisa KI dan Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan membandingkan data pola difraksi dengan database JCPDS ditampilkan pada Tabel (1).

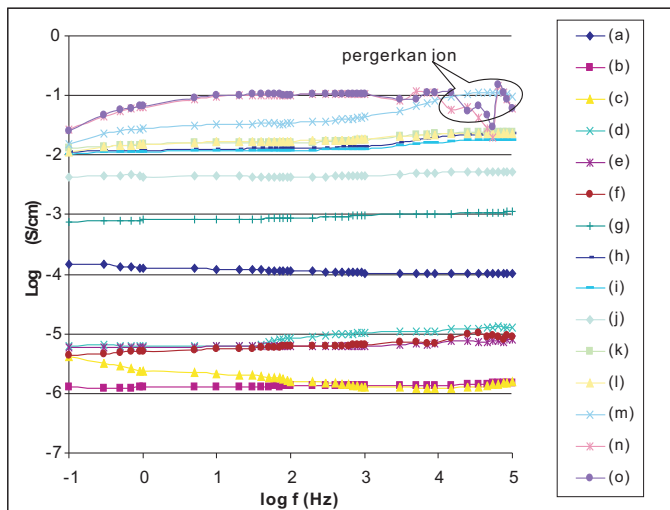
Tabel 1. Pola difraksi dengan database JCPDS.

KI				Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>			
JCPDF 04.0471		HasilXRD		JCPDS 33-1272		HasilXRD	
2θ	Intf		FWHM	2θ	Intf	2θ	FWHM
21,764	42	21,8524	0,004768			23,7821	0,025475
				24,87	60	24,8056	0,037695
25,207	100	25,2393	0,007633				
				32,56	20	31,9661	0,021268
				34,74	100	33,6946	0,014331
35,92	70	36,0079	0,006699				
42,380		42,4377	0,019076				
44,392		44,415	0,000931				

Pada Gambar 1c terlihat bahwa bahan komposit (KI)<sub>0,5</sub>(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> pada temperatur 25 °C tidak mengalami perubahan fasa namun setelah dipanaskan pada suhu 100 °C Gambar 1d, komposit tersebut telah bereaksi yang diduga kuat menjadi NaI (JCSPDF 06.0302) dan KPO<sub>3</sub>(JCSPDF 43.0099). Perubahan fasa ini disebabkan unsur Iodida merupakan unsur yang cukup reaktif sedangkan unsur Natrium memiliki energi ionisasi yang cukup besar dibandingkan dengan unsur Kalium dimana keduanya merupakan unsur alkali sehingga unsur Iodida ini mudah sekali berikatan dengan unsur Natrium untuk membentuk senyawa Natrium Iodida. Dan pada akhirnya Kalium yang telah ditinggalkan akan berikatan dengan Pospat membentuk KPO<sub>3</sub>. Data acuan dasar yang dipakai untuk mengetahui pola-pola yang terdapat yang terdapat pada KI dan Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terlihat seperti pada Tabel 1.

Pengukuran konduktivitas dilakukan pada sampel KI dan Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> pada waktu pendeposisian 1, 3 dan 5 jam sebagai fungsi dari frekuensi 0,1 Hz – 100 kHz dengan tegangan 1 volt pada suhu 25, 50, 75 , 100, dan 125°C. Dari hasil pengukuran tersebut dimasukkan dalam persamaan 1 lalu dibuat kurva frekuensi vs konduktivitas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 menunjukkan konduktivitas KI, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan (KI)<sub>0,5</sub>-(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> pada temperatur tertentu, selanjutnya untuk menganalisis konduktivitas elektrolit padat (KI)<sub>0,5</sub>-(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> menggunakan persamaan 2, dan 3. Hasil perhitungan konduktivitas elektrolit padat (KI)<sub>0,5</sub>-(Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>0,5</sub> ditunjukkan pada tabel 2.



Gambar 2: Kurva konduktivitas  $(KI)_{0,5}-(Na_3PO_4)_{0,5}$  pada suhu  $25^\circ C - 125^\circ C$ . (a) = KI;  $T=25^\circ C$  (i) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=75^\circ C$ ;  $t=5$  jam, (b) =  $Na_3PO_4$ ;  $T=25^\circ C$ , (c) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=25^\circ C$ , (d) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=50^\circ C$ ;  $t=1$  jam, (e) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=50^\circ C$ ;  $t=3$  jam, (f) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=50^\circ C$ ;  $t=5$  jam, (g) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=75^\circ C$ ;  $t=1$  jam, (h) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=75^\circ C$ ;  $t=3$  jam, (i) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=75^\circ C$ ;  $t=5$  jam, (j) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=100^\circ C$ ;  $t=1$  jam, (k) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=100^\circ C$ ;  $t=3$  jam, (l) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=100^\circ C$ ;  $t=5$  jam, (m) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=125^\circ C$ ;  $t=1$  jam, (n) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=125^\circ C$ ;  $t=1$  jam, (o) =  $KI-Na_3PO_4$ ;  $T=125^\circ C$ ;  $t=1$  jam,

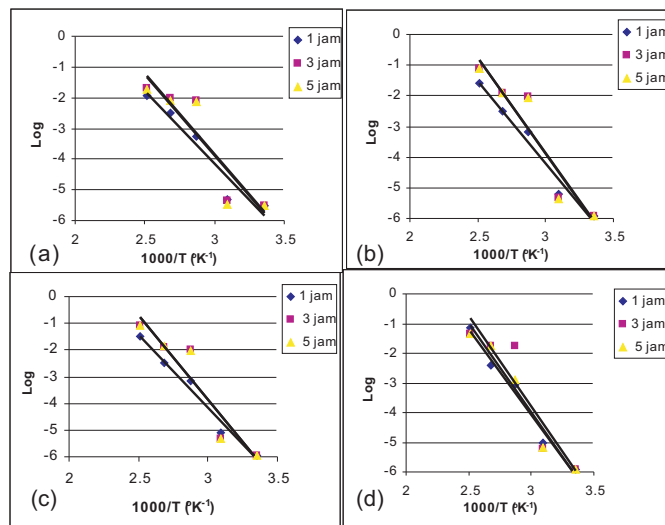
Tabel 2. Nilai konduktivitas  $KI-Na_3PO_4$  pada temperatur  $25^\circ C$  sampai  $125^\circ C$ .

Nama Bahan	Suhu ( $^\circ C$ )	Waktu (jam)	Konduktivitas (S/cm)
KI	25	0	$1,298 \times 10^{-4}$
$Na_3PO_4$	25	0	$1,259 \times 10^{-6}$
$KI-Na_3PO_4$	25	0	$6,759 \times 10^{-6}$
$KI-Na_3PO_4$	50	1	$6,172 \times 10^{-6}$
$KI-Na_3PO_4$	50	3	$5,798 \times 10^{-6}$
$KI-Na_3PO_4$	50	5	$4,853 \times 10^{-6}$
$KI-Na_3PO_4$	75	1	$7,929 \times 10^{-4}$
$KI-Na_3PO_4$	75	3	$1,089 \times 10^{-2}$
$KI-Na_3PO_4$	75	5	$1,054 \times 10^{-2}$
$KI-Na_3PO_4$	100	1	$4,222 \times 10^{-3}$
$KI-Na_3PO_4$	100	3	$1,383 \times 10^{-2}$
$KI-Na_3PO_4$	100	5	$1,433 \times 10^{-2}$
$KI-Na_3PO_4$	125	1	$2,193 \times 10^{-3}$
$KI-Na_3PO_4$	125	3	$7,621 \times 10^{-2}$
$KI-Na_3PO_4$	125	5	$7,549 \times 10^{-2}$

Gambar 2 kurva konduktivitas elektrolit padat  $(KI)_{0,5}-(Na_3PO_4)_{0,5}$  menunjukkan bahwa kurva konduktivitas mendekati linier terhadap frekuensi hal ini menunjukkan konduktivitas elektrolit padat  $(KI)_{0,5}-(Na_3PO_4)_{0,5}$  tersebut tidak tergantung pada frekuensi. Dan seiring dengan kenaikan

temperatur konduktivitas elektrolit menjadi naik. Pada temperatur  $125^\circ C$  dengan lama pemanasan 3 dan 5 jam pada frekuensi 9 kHz sampai 100 kHz konduktivitas menjadi tidak stabil hal ini menunjukkan pada suhu diatas  $125^\circ C$  dan lama pemanasan lebih dari 3 jam dan frekuensi lebih dari 9 kHz terjadi pergerakan ion yang lebih cepat dari yang sebelumnya. Dan sifat konduktor ionik mulai terjadi pada temperatur  $75^\circ C$  dengan lama pemanasan diatas 3 jam seperti pada Tabel 2.

Kurva Arrhenius bahan komposit  $(KI)_{0,5}-(Na_3PO_4)_{0,5}$  ditunjukkan pada Gambar 3a, 3b, 3c dan 3d. Perhitungan energi aktivasi dilakukan dalam rentang temperatur  $25 - 125^\circ C$  dengan lama pemanasan 1, 3 dan 5 jam. Pada Gambar 3a, 3b, 3c dan 3d menunjukkan kurva Arrhenius dengan kemiringan negatif pada waktu pemanasan 1, 3 dan 5 jam yang berarti energi aktivasinya bernilai positif yang diikuti penurunan konduktivitas walaupun sangat kecil. Dengan menggunakan persamaan 3 maka energi aktivasi dapat ditentukan seperti pada Tabel 3.



Gambar 3: Kurva Arrhenius  $(KI)_{0,5}-(Na_3PO_4)_{0,5}$  pada frekuensi 0,1, 100, 1 kHz dan 100 kHz. (a) Pada frekuensi 0,1 Hz (c) Pada frekuensi 1000 Hz, (b) Pada frekuensi 100 Hz (d) Pada frekuensi 100 kHz

Dari Tabel 3, energi aktivasi menunjukkan komposit  $(KI)_{0,5}-(Na_3PO_4)_{0,5}$  memiliki energi aktivasi yang tidak terlalu berbeda pada setiap frekuensi sehingga gerakan ion relatif stabil terhadap frekuensi, hal ini dapat diperlihatkan dari kurva konduktivitas pada Gambar 2 yang berbeda temperatur. Pada temperatur  $125^\circ C$  terlihat pada  $E_{a1}$  menuju ke  $E_{a2}$  pada lama pemanasan 3 dan 5 jam menunjukkan kenaikan energi aktivasi dan pada  $E_{a2}$  menuju  $E_{a3}$  menunjukkan penurunan energi aktivasi, sehingga pergerakan ion lebih cepat dari sebelumnya.

Tabel 3. Energi aktivasi pada frekuensi 0,1; 100; 1000 dan 100 kHz.

Frekuensi (Hz)	$E_{a1}$ (eV) Pada t=1jam	$E_{a2}$ (eV) Pada t=3 jam	$E_{a3}$ (eV) Pada t=5jam
0,1	$4,07 \times 10^{-2}$	$4,54 \times 10^{-2}$	$4,53 \times 10^{-2}$
100	$4,65 \times 10^{-2}$	$5,39 \times 10^{-2}$	$5,40 \times 10^{-2}$
1000	$4,72 \times 10^{-2}$	$5,43 \times 10^{-2}$	$5,42 \times 10^{-2}$
100000	$4,98 \times 10^{-2}$	$5,27 \times 10^{-2}$	$5,18 \times 10^{-2}$

## 5 Kesimpulan

Pada suhu  $25^\circ\text{C}$  fasa yang muncul adalah KI dan  $Na_3PO_4$  sedangkan pada suhu  $100^\circ\text{C}$  telah mengalami perubahan fasa diduga kuat puncak-puncak yang muncul adalah fasa dari NaI dan  $KPO_3$ . Konduktivitas pada sample KI dan  $Na_3PO_4$  pada frekuensi 0,1 sampai 100 kHz didapati nilai konduktivitas berkisar  $1,298 \times 10^{-4} - 7,549 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ . Konduktivitas tidak berpengaruh terhadap frekuensi dan konduktivitas akan naik seiring dengan bertambahnya temperatur dan lamanya pemanasan sampai pada temperatur  $125^\circ\text{C}$ . Pada temperatur  $125^\circ\text{C}$  dengan lama pemanasan tiga dan lima jam, frekuensi 9 kHz sampai 100 kHz mengalami pergerakan ion yang lebih cepat dari sebelumnya. Energi aktivasi yang didapatkan berkisar  $4,07 \times 10^{-2} - 5,43 \times 10^{-2} \text{ eV}$ , sehingga penambahan suhu dan lamanya pemanasan akan meningkatkan konduktivitas bahan elektrolit padat KI dan  $Na_3PO_4$ .

## Daftar Pustaka

- [1] <http://netsains.com/2007/07/konduktor-superionik-teknologi-di-balik-baterai-isi-ulang/>, 27 April 2009.
- [2] <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1111717044&6>, 27 April 2009
- [3] CHANDRA, Superionic Solid, Principle and Applications, North Holland Publish, Co, Amsterdam, 1981.
- [4] P. PURWANTO, SAFEI PURNAMA, E. KARTINI. 2004. Konduktivitas dan sifat thermal elektrolit padat pada bahan  $(KI)_x(Al_2O_3)_{1-x}$  ( $x = 0,3$  dan  $0,5$ ), Jurnal Sains Materi Indonesia, vol.5, No.2, 14-18.
- [5] MANAS CANDRA, Science of Engineering Materials, Vol 3, Indian Institute Of Science Bangalore, 1979.
- [6] E. KARTINI and M.F. COLLINS, Physical B.213, (2000), 276-278.
- [7] W. K .LEE, J.F LIU and A. S NOWICK, Physc.Rev.Lett.67.No.12,(1991),1959.
- [8] L. VAN VLACK, Ilmu dan Teknologi Bahan, Alih bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1989.