

PENGARUH KONSENTRASI Ag_2S PADA KONDUKTIVITAS BAHAN KOMPOSIT $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0,1$ HINGGA $0,5$)

P. Purwanto

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan
e-mail : patricius@batan.go.id.

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI Ag_2S PADA KONDUKTIVITAS BAHAN KOMPOSIT $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0,1$ HINGGA $0,5$). Komposit $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0,1$ hingga $0,5$) telah dibuat dengan mencampurkan Ag_2S dan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan perbandingan fraksi mol. Campuran dibuat pelet pada tekanan $48,26 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ dengan diameter 1,5 cm dilanjutkan dengan perlakuan panas pada suhu 30°C hingga 300°C selama 5 jam. Hasil karakterisasi fasa dengan difraksi sinar-X menunjukkan fasa Ag_2S dan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Seiring dengan kenaikan fraksi mol Ag_2S dalam komposit $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ pada ukuran kristal dan konduktivitas mengalami kenaikan, sebaliknya energi aktivasi turun.

Kata kunci : Komposit, Difraksi sinar-x, Konduktivitas, Energi aktivasi

ABSTRACT

EFFECT OF Ag_2S CONCENTRATION ON CONDUCTIVITY OF $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0.1$ to 0.5) COMPOSITE MATERIALS. The composite of $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ ($x = 0.1$ to 0.5) were prepared by mixing Ag_2S and $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ with appropriate ratio of mole fraction. Mixture of materials was formed as 1.5 cm pellet using $48.26 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ pressure, then heating at temperature from 30°C to 300°C for 5 hours. Phase characterization using x-ray diffraction showed only Ag_2S and $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ phase. With increasing the mole fraction of Ag_2S in composite of $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ the crystall size and conductivity increased while the activation energy decreased.

Keywords : Composite, X-ray diffraction, Conductivity, Activation energy.

PENDAHULUAN.

Bahan superionik yang sering disebut juga sebagai bahan elektrolit padat atau konduktor ion cepat adalah padatan yang memiliki konduktivitas ionik yang tinggi atau sekitar 10^{-2} S/cm pada suhu kamar. Bahan konduktor padat seperti AgI, CuI dan Ag_2S dapat bersifat superionik pada suhu tinggi [1]. Sebagai contoh Ag_2S menunjukkan sifat superionik pada suhu tinggi dimana pada suhu 178°C mengalami transisi fasa dari fasa- α dengan struktur monoklinik menjadi fasa- β dengan struktur kristal kubus [2-3]. Untuk itu telah dikembangkan sintesis bahan konduktor ionik berbasis gelas $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\text{LiPO})_{1-x}$ menggunakan metode *melt quenching* agar fasa- β dari Ag_2S dapat dipertahankan pada suhu kamar [4].

Di sisi lain bahan beta alumina ($\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$) merupakan salah satu bahan konduktor ionik dengan nilai konduktivitas sekitar 10^{-3} S/cm [1]. Dalam hal ini kerapatan pada bahan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan hal yang penting, karena dapat meningkatkan mobilisasi ion

natrium pada bidang konduksi. Adanya mobilisasi ini menyebabkan $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$ mempunyai konduktivitas ionik tinggi [5].

Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa konduktivitas elektrolit padat bahan $(\text{Cu})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$, nilai konduktivitasnya sekitar $(0,06\text{-}4,54) \times 10^{-5} \text{ S/cm}$ konduktivitas Al_2O_3 sekitar $1,45 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$ [6]. Pada penelitian ini dibuat suatu bahan komposit antara Ag_2S dan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, dengan formula $(\text{Ag}_2\text{S})_x(\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$ di mana fraksi mol x adalah 0,1 hingga 0,5. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah mendapatkan elektrolit padat dengan konduktivitas yang lebih baik dari bahan lain yang berbasis alumina (Al_2O_3).

METODE PERCOBAAN

Bahan yang digunakan adalah Ag_2S dengan kemurnian 99,9 % produk *Alfa Aesar* dan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ komersil Penelitian ini dimulai dengan pembuatan

komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ melalui proses pencampuran antara serbuk Ag_2S dan $\alpha-Al_2O_3$ (matriks) dengan perbandingan fraksi mol dengan x yang bervariasi dari $0,1$ hingga $0,5$.

Campuran kedua bahan tersebut digerus sampai halus dan dibuat pelet dengan tekanan 7000 Psi ($48,26 \times 10^6$ N/m²) dan ukuran diameter pelet $1,5$ cm. Kemudian dipanaskan pada suhu 300 °C selama 5 jam.

Karakterisasi fasa dilakukan dengan menggunakan difraktometer sinar-X merek Philips tipe PW-1710 dengan target $CuK\alpha$ dan panjang gelombang sebesar $1,54$ Å. Dari data difraksi sinar-X yang diperoleh kemudian digunakan untuk analisis ukuran kristalit. Pengukuran konduktivitas listrik dengan *LCRmeter* merek Hioki tipe-3522-50 pada frekuensi antara $0,1$ Hz hingga 100 kHz, pada suhu 30 °C sampai dengan 300 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Difraksi Sinar-X $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$

Bahan $\alpha-Al_2O_3$ yang telah ditambah Ag_2S dengan fraksi mol $x = 0,1$ sampai $0,5$ dikarakterisasi dengan difraktometer sinar-X (Gambar 1). Gambar 1(a), menunjukkan pola difraksi $\alpha-Al_2O_3$ yang sesuai dengan *JCPDS No.46-1212*. Sedangkan Gambar 1(b), menunjukkan pola difraksi Ag_2S yang sesuai dengan *JCPDS No.14-0072*. Gambar 1(c-e), menunjukkan pola difraksi komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$, dengan puncak-puncak yang nampak yaitu puncak Ag_2S dan $\alpha-Al_2O_3$.

Dari pola difraksi sinar-X, dilakukan analisis dengan menggunakan program *Igor*, maka diperoleh nilai *FWHM* (*Full Width Half Maximum*) pada sudut 2θ tertentu seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil perhitungan dari Tabel 1, digunakan untuk menentukan nilai ukuran kristalit $\alpha-Al_2O_3$, Ag_2S dan $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ dengan menggunakan persamaan Williams dan Hall [7,8]:

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

Dimana :

- β = Lebar setengah puncak difraksi (FWHM) dalam (rad)
- θ = Sudut Bragg (°)
- λ = Panjang gelombang sinar-X (°Å)
- D = Ukuran kristalit (°Å)
- η = Regangan kristal

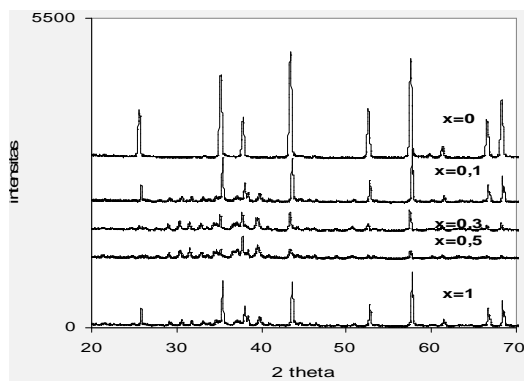
Dalam analisis ukuran kristalit diambil 6 puncak yang terdiri 3 puncak milik Ag_2S dan 3 puncak milik $\alpha-Al_2O_3$ untuk pengaruh Ag_2S pada komposit $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$ terhadap perubahan ukuran kristalit komposit.

Dengan menggunakan Persamaan (1), dibuat kurva antara $(\beta \cdot \cos \theta) / \lambda$ terhadap $(\sin \theta) / \lambda$. Dari perpotongan kurva pada sumbu vertikal

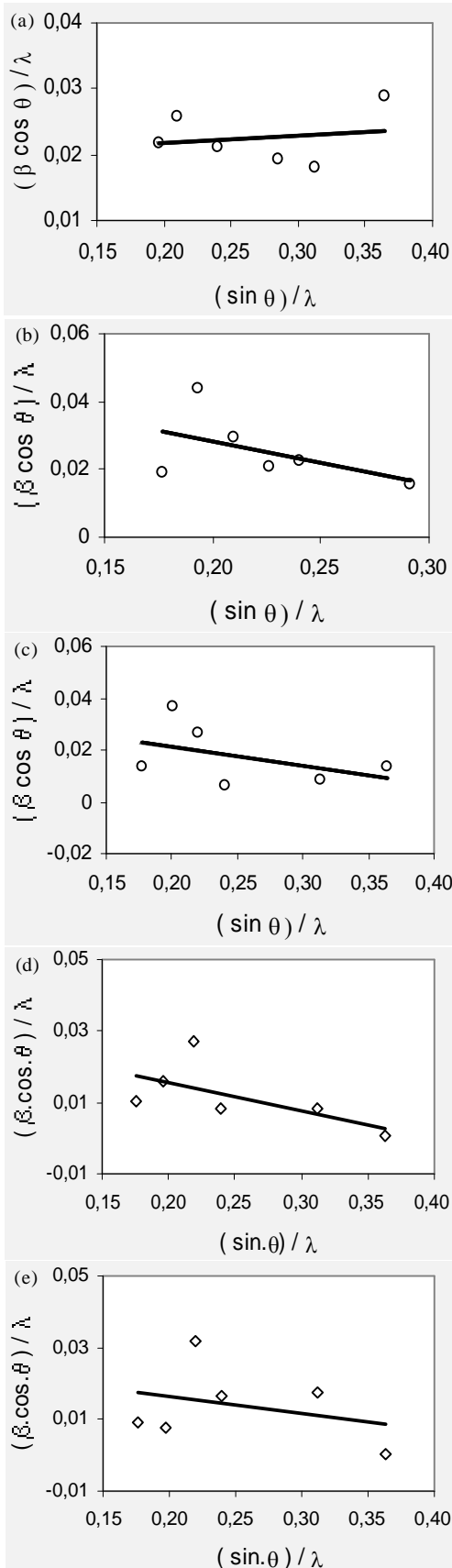
Tabel 1. Hasil perhitungan FWHM puncak difraksi $\alpha-Al_2O_3$, Ag_2S dan komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$

Bahan	2θ (°)	FWHM (rad)
$\alpha-Al_2O_3$	35,178	0,035
	37,800	0,042
	43,389	0,035
	52,177	0,033
	57,547	0,032
	68,265	0,054
Ag_2S	31,582	0,030
	34,762	0,061
	37,802	0,048
	40,822	0,034
	43,4689	0,037
	53,333	0,027
$(Ag_2S)_{0,1}(M)_{0,9}$	31,755	0,022
	35,978	0,059
	39,775	0,044
	43,598	0,011
	52,532	0,017
	57,717	0,015
$(Ag_2S)_{0,3}(M)_{0,7}$	68,418	0,025
	31,486	0,016
	35,133	0,026
	39,501	0,045
	43,349	0,014
	57,473	0,014
$(Ag_2S)_{0,5}(M)_{0,5}$	68,153	0,001
	31,530	0,015
	35,402	0,013
	39,551	0,052
	43,402	0,028
	57,520	0,031
	68,165	0,001

Keterangan : M = $\alpha-Al_2O_3$



Gambar 1. Pola difraksi sinar-x komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$



Gambar 2. Kurva $(\beta \cos \theta) / \lambda$ terhadap $(\sin \theta) / \lambda$ pada bahan komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$: (a). $\alpha-Al_2O_3$, (b). Ag_2S , (c). $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$, (d). $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$ dan (e). $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$

Tabel 2. Hasil perhitungan ukuran kristalit (D) bahan Al_2O_3 , Ag_2S dan $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$

Bahan	D (°A)
$\alpha-Al_2O_3$	46,88
Ag_2S	19,07
$(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$	25,07
$(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$	28,57
$(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$	34,88

diperoleh ukuran kristalit bahan, yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan persamaan garis yang ditunjuk pada Gambar 2, maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai ukuran kristalit bahan komposit. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2, menunjukkan ukuran kristalit komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ mengalami kenaikan karena adanya difusi Ag_2S kedalam $\alpha-Al_2O_3$, sehingga terbentuk ukuran kristalit yang lebih besar dari kristalit Ag_2S dan lebih kecil dari $\alpha-Al_2O_3$.

Konduktivitas $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$

Pengukuran konduktivitas pada komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ dilakukan pada frekuensi 0,1 Hz hingga 100 kHz, dan variasi suhu pemanasan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Perhitungan nilai konduktivitas pada komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ menggunakan model yang dikembangkan peneliti sebelumnya [9,10], dengan menggunakan Persamaan (2) :

$$\sigma(\omega) = \sigma_0 + A.f^s \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

$\sigma(\omega)$ = AC konduktivitas (S/cm)

σ_0 = DC konduktivitas pada saat $\omega = 2\pi.f$ mendekati 0,01 Hz

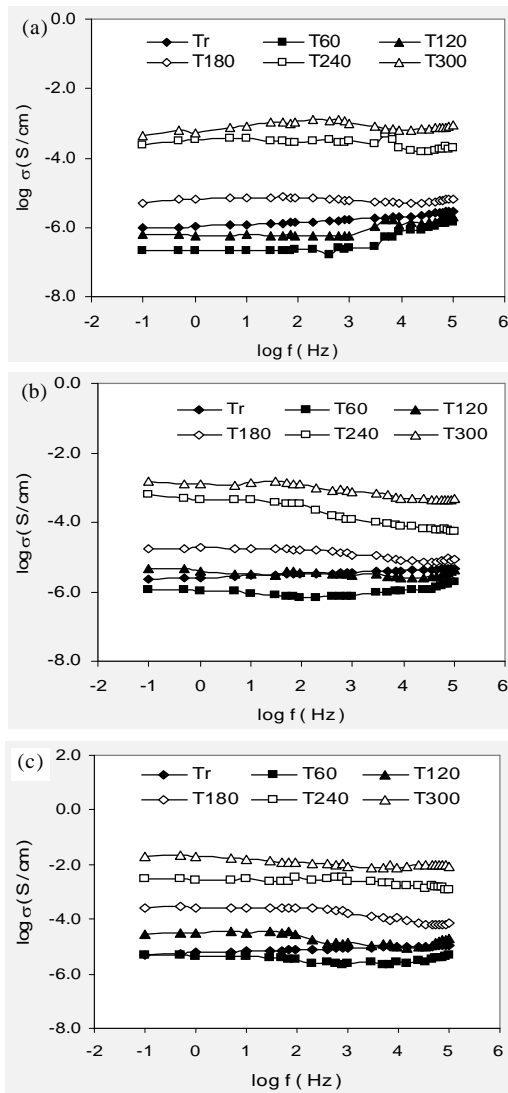
A = Faktor *pre-exponential*

s = Faktor eksponen ($0 < s < 1$)

Kurva konduktivitas pada Gambar 3(a), Gambar 3(b) dan Gambar 3(c) menunjukkan garis datar pada interval frekuensi 10 Hz hingga 1000 Hz, hal ini mengindikasikan nilai konduktivitas DC yang tidak tergantung pada frekuensi. Sedangkan frekuensi di atas 1000 Hz konduktivitas komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ mengalami perubahan pada konduktivitasnya. Daerah konduktivitas yang tergantung frekuensi menunjukkan konduktivitas AC, dimana perubahan konduktivitas naik secara drastis.

Dengan membuat kurva antara $\log f$ terhadap $\log \sigma$ dapat ditentukan nilai konduktivitas bahan komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$, seperti ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5 menunjukkan konduktivitas $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$, $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$ dan $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$ mengalami kenaikan seiring



Gambar 3. Konduktivitas sebagai fungsi frekuensi pada suhu antara 30 °C sampai 300 °C : (a). $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$, (b). $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$ dan (c). $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$

dengan naiknya suhu pemanasan. Demikian pula konduktivitas $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ mengalami kenaikan seiring dengan naiknya konsentrasi Ag_2S . Kenaikan konduktivitas pada komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$, seiring dengan kenaikan suhu pemanasan dimungkinkan karena perlakuan panas pada bahan komposit menimbulkan ketidakteraturan di mana setiap unsur menyerap energi berbeda, sehingga ion-ion Ag bergerak di dalam bahan tersebut. Konduktivitas tergantung banyak faktor seperti interstisi, ukuran ion, suhu, struktur kristal, komposisi dan perubahan fasa [11].

Energi Aktivasi $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$

Energi Aktivasi (E_a) bahan komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) (Arrhenius) :

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a/k.T) \dots\dots\dots (3)$$

Table 3. Konduktivitas komposit $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$

Suhu (°C)	σ_0 (S/cm)
30	$9,80 \times 10^{-7}$
60	$1,41 \times 10^{-7}$
120	$2,33 \times 10^{-7}$
180	$6,61 \times 10^{-6}$
240	$3,49 \times 10^{-4}$
300	$7,79 \times 10^{-4}$

Table 4. Konduktivitas komposit $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$

Suhu (°C)	σ_0 (S/cm)
30	$2,58 \times 10^{-6}$
60	$7,78 \times 10^{-7}$
120	$3,61 \times 10^{-6}$
180	$1,98 \times 10^{-5}$
240	$5,67 \times 10^{-4}$
300	$1,59 \times 10^{-3}$

Table 5. Konduktivitas komposit $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$

Suhu (°C)	σ_0 (S/cm)
30	$5,90 \times 10^{-6}$
60	$3,88 \times 10^{-6}$
120	$3,31 \times 10^{-5}$
180	$3,55 \times 10^{-4}$
240	$3,32 \times 10^{-3}$
300	$1,71 \times 10^{-2}$

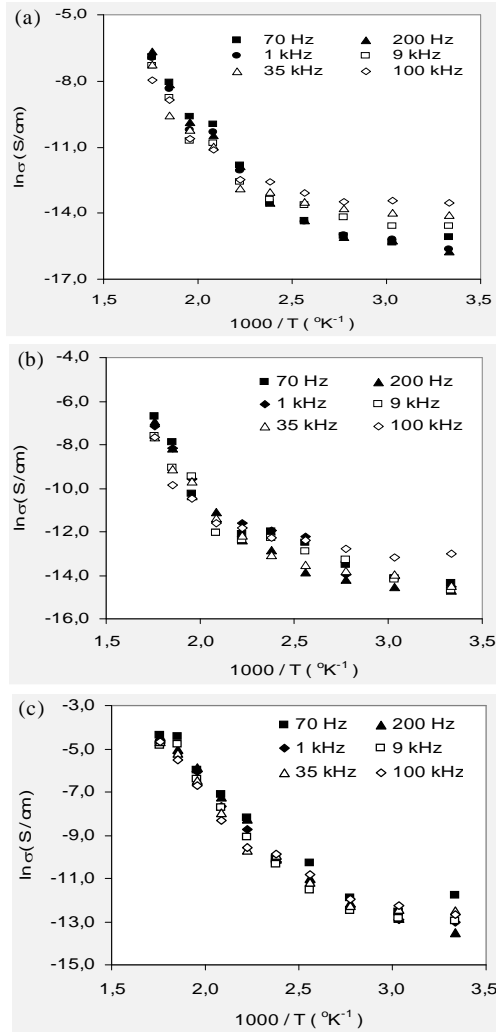
Dimana :

- σ = Konduktivitas (S/cm)
- σ_0 = DC konduktivitas pada saat f mendekati 0,01Hz
- E_a = Energi aktivasi
- k = Konstanta Boltzman
- T = Suhu mutlak [1, 12]

Dengan membuat kurva antara $\ln \sigma$ terhadap $1000/T$, diperoleh kemiringan garis yang merupakan energi aktivasi. Kurva Arrhenius pada komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ ditunjukkan seperti pada Gambar 4 Gambar 4(a) hingga Gambar 4(c), dapat dibagi dalam dua bagian interval suhu yaitu pertama antara suhu 300 K hingga 420 K dan kedua antara 450 K hingga 570 K, sehingga ada dua bagian energi aktivasi E_a pada dua daerah suhu. Karena pada suhu 178 °C (450 K) Ag_2S mengalami transisi fasa, maka diambil dua bagian interval suhu sebelum dan sesudah transisi fasa.

Perhitungan energi aktivasi komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(b). Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan energi aktivasi dengan frekuensi dan konsentrasi yang berbeda.

Energi aktivasi pada komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ pada umumnya mengalami kenaikan dari daerah suhu pertama (300 K hingga 420 K) ke daerah suhu kedua (450°K hingga 570 °K). Hal ini karena pada



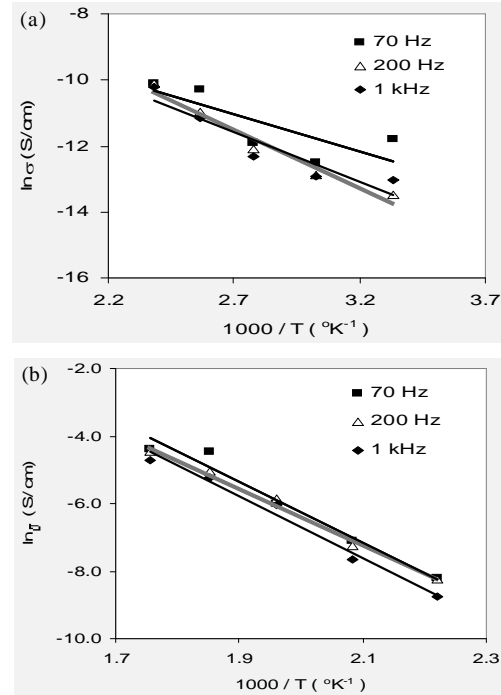
Gambar 4. Kurva Arrhenius antara $\ln \sigma$ terhadap $1.000/T$ pada komposit (a). $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$, (b). $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$ dan (c). $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$

Tabel 6. Energi aktivasi komposit $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$

Frekuensi	Ea1 (eV)	Ea2 (eV)
70 Hz	$1,4 \times 10^{-1}$	$8,7 \times 10^{-1}$
200 Hz	$1,9 \times 10^{-1}$	$9,4 \times 10^{-1}$
1 kHz	$1,7 \times 10^{-1}$	$8,9 \times 10^{-1}$
9 kHz	$1,2 \times 10^{-1}$	$9,2 \times 10^{-1}$
35 kHz	$0,9 \times 10^{-1}$	$9,2 \times 10^{-1}$
100 kHz	$0,7 \times 10^{-1}$	$8,2 \times 10^{-1}$

Tabel 7. Energi aktivasi komposit $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$

Frekuensi	Ea1 (eV)	Ea2 (eV)
70 Hz	$2,3 \times 10^{-1}$	$10,5 \times 10^{-1}$
200 Hz	$1,5 \times 10^{-1}$	$10,1 \times 10^{-1}$
1 kHz	$2,5 \times 10^{-1}$	$9,0 \times 10^{-1}$
9 kHz	$2,2 \times 10^{-1}$	$9,2 \times 10^{-1}$
35 kHz	$1,2 \times 10^{-1}$	$8,3 \times 10^{-1}$
100 kHz	$0,8 \times 10^{-1}$	$7,3 \times 10^{-1}$



Gambar 5. Kurva energi aktivasi komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$: (a). Interval suhu 300-420 °K dan (b). Interval suhu 450-570 °K

Tabel 8. Energi aktivasi komposit $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$

Frekuensi	Ea1 (eV)	Ea2 (eV)
70 Hz	$1,9 \times 10^{-1}$	$7,7 \times 10^{-1}$
200 Hz	$2,4 \times 10^{-1}$	$7,9 \times 10^{-1}$
1 kHz	$2,2 \times 10^{-1}$	$8,4 \times 10^{-1}$
9 kHz	$2,0 \times 10^{-1}$	$8,6 \times 10^{-1}$
35 kHz	$1,9 \times 10^{-1}$	$9,8 \times 10^{-1}$
100 kHz	$2,0 \times 10^{-1}$	$10,0 \times 10^{-1}$

Keterangan :

E_{a1} = Energi aktivasi pada interval suhu 300 K - 420 K

E_{a2} = Energi aktivasi pada interval suhu 450 K - 570 K

suhu antara 420 K hingga 450 K terjadi transisi fasa yaitu dari fasa- α ke fasa- β .

Pada Tabel 6, ditunjukkan energi aktivasi Ea(1) pada daerah suhu pertama pada komposit $(Ag_2S)_{0,1}(\alpha-Al_2O_3)_{0,9}$ menurun seiring dengan naiknya frekuensi, kecuali pada frekuensi 70 Hz. Biasanya terjadi fluktuasi gerakan ion-ion di dalam bahan tersebut. Sedangkan pada daerah suhu kedua, energi aktivasi Ea2 rata-rata tetap.

Energi aktivasi $(Ag_2S)_{0,3}(\alpha-Al_2O_3)_{0,7}$ ditunjukkan pada Tabel 7. Hasil energi aktivasi pada daerah suhu pertama energi aktivasi menurun seiring dengan naiknya frekuensi, tapi pada 200 Hz turunnya agak jauh hal ini adanya ketidakteraturan gerakan ion-ion dalam menyerap energi fonon. Sedangkan pada daerah kedua energi aktivasi menurun seiring dengan kenaikan frekuensi.

Pada Tabel 8, ditunjukkan energi aktivasi komposit $(Ag_2S)_{0,5}(\alpha-Al_2O_3)_{0,5}$. Dari Tabel 8, diketahui bahwa energi aktivasi pada daerah suhu pertama tidak teratur seiring dengan naiknya frekuensi, sedangkan pada daerah suhu kedua energi aktivasinya turun seiring dengan naiknya frekuensi. Naik dan turun energi aktivasi untuk menjelaskan gerakan ion di dalam kristal yang berhubungan dengan konduktivitas pada bahan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa konsentrasi Ag_2S pada komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ mempengaruhi ukuran kristalit dan konduktivitas serta energi aktivasinya. Ukuran kristalit komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ naik, seiring dengan naiknya konsentrasi Ag_2S . Konduktivitas komposit $(Ag_2S)_x(\alpha-Al_2O_3)_{1-x}$ meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi Ag_2S . Sedangkan energi aktivasinya berkurang seiring dengan kenaikan suhu pemanasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih atas selesainya penelitian yang telah dilakukan di PTBIN-BATAN. Penelitian ini merupakan subkegiatan dari konduktor ionik. Terima kasih juga kami sampaikan kepada staf BKAN dan BBIN atas bantuannya dalam menggunakan peralatan di PTBIN.

DAFTAR ACUAN

- [1]. S. CHANDRA, *Superionic Solid, Principle and Applications*, North Holland Publish Co, Amsterdam, (1981) 17-28
- [2]. S. HULL, D.A. KEEN, D.S. SIVIA, P.A. MADDEN and M. WILSON, *J. Phys: Condens. Matter.*, **14** (2002) L9-L17
- [3]. E. KARTINI, Superionic Glass Research and Development of New Solid Electrolyte for Rechargeable Battery, *Proceeding The 2007 Conference on Solid State Ionic*, (2007)
- [4]. M. IHSAN, E. KARTINI dan Y. YULIZAR, *J. Sains Materi Indonesia, Edisi Khusus* (2008) 176-180
- [5]. G. URRTAVIZCAYA and J. MANUEL, *Mat. Res. Bull.*, **27** (1991) 375-385
- [6]. P. PURWANTO, E. KARTINI dan SAFEI PURNAMA, *J. Teknologi*, **2** (2004) 108-114
- [7]. K.G. WILLIAMS and HALL, *Acta. Met.*, **1** (1953) 22-31
- [8]. K.N.R. REHANI, P.B. JOSHI, K.N. LAD and A. PRATAP, *Indian J. of Pure Physics.*, **44** (2006) 157-161
- [9]. W.K. LEE, J.F. LIU and A.S. NOWICK, *Phys. Rev. Lett.*, **67** (1991) 1559-1561
- [10]. C.S. SUNANDANA and P. SENTHIL KUMAR, *Bull. Mater. Sci.*, **27**(1) (2004) 1-17
- [11]. P.PADMA KUMAR and S. YASHONATH, *J. of Chem. Sci.*, **118** (1) (2006) 134-154
- [12]. D. KARASHANOVA, J. PIROV, N. STARBOV, *J. of Optoelectronic And Advanced Materials*, **9**(1) (2007) 225-22