

PENGARUH PENDEPOSISIAN Cu DENGAN TEKNIK SPUTTERING TERHADAP KONDUKTOR SUPERIONIK AgI

S. Nikmatin¹, E. Kartini² dan R. Widodo Adi³

¹Jurusan Fisika, FMIPA - IPB

Jl. Raya Pajajaran, Bogor

²Puslitbang Iptek Bahan (P3IB) - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang 15314

³Material Science, Pascasarjana UI

Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta

ABSTRAK

PENGARUH PENDEPOSISIAN Cu DENGAN TEKNIK SPUTTERING TERHADAP KONDUKTOR SUPERIONIK AgI. Telah dilakukan pen deposisian substrat pellet silindris AgI ($d = 15$ mm, $\phi = 2$ mm) dengan Cu melalui teknik *DC arc discharge (sputtering)* untuk menghasilkan bahan konduktor superionik tipe komposit *sandwich* {(AgI-Cu)-AgI-(AgI-Cu)} dengan variasi waktu deposisi 30 menit dan 45 menit. Bahan konduktor superionik tipe komposit *sandwich* ini diharapkan memiliki konduktivitas ionik lebih tinggi daripada AgI sebelum dideposisi pada suhu ruang. Karakterisasi dilakukan dengan difraksi sinar-x (XRD) untuk melihat perubahan fase, *Scanning Electron Microscope (SEM/EDX)* untuk melihat strukturmikro permukaan dan persen berat atom lapisan, *Mikro Hardness Tester (MHT)* untuk mengetahui sifat kekerasan dan LCR-meter untuk menentukan konduktivitas ionik dan elektronik dengan metode *plan parallel*. Pengukuran *plan parallel* ini mengukur konduktivitas total sampel. Hasil XRD memperlihatkan bahwa sampel hasil *sputtering* mengalami perubahan fasa yang signifikan dari γ -AgI ke β -AgI pada $t = 45$ menit dan terjadi peningkatan Ag murni yang diduga terlepas dari AgI. Hasil pengukuran SEM, MHT dan densitas memperlihatkan terjadi penurunan kekerasan dan kerapatan. Sementara itu hasil pengukuran LCR-meter *plan parallel* menunjukkan peningkatan konduktivitas dari AgI murni $\sim 10^{-6}$ S/cm menjadi $\sim 10^{-4}$ S/cm.

Kata kunci : Deposisi, *sputtering*, konduktor superionik

ABSTRACT

EFFECT OF Cu DEPOSITION BY SPUTTERING TECHNIQUE IN SUPERIONIC CONDUCTOR AgI. The new superionic conductor composite {(AgI-Cu)-AgI-(AgI-Cu)} has been performed from depositing Cu on a cylindrical pellet of AgI ($d = 15$ mm, $\phi = 2$ mm) by sputtering technique. Deposition time was varied at 30 and 45 minutes. Characterizations were measured by XRD, SEM/EDX, MHT and plan-parallel LCR-meter to measure the crystal structure, microstructure hardness and conductivity respectively. Plan-parallel LCR-meter is used to measure a total conductivity a sandwich type sample of {(AgI-Cu)-AgI-(AgI-Cu)} or its copper equivalent. XRD results confirmed a significant phase transition on sputtered samples especially for $t = 45$ and increase pure Ag ejected from AgI structures. SEM, MHT and density measurements showed a decrease in hardness and density. LCR measurement showed an increase of conductivity from $\sim 10^{-6}$ S/cm (pure γ -AgI) to $\sim 10^{-4}$ S/cm.

Key words : Deposition, sputtering, superionic conductor

PENDAHULUAN

Dalam perkembangan teknologi yang pesat akhir-akhir ini, terutama di bidang elektronika, para ahli berusaha untuk menemukan dan mengembangkan bahan elektrolit padat sebagai sumber energi baru yang lebih praktis dengan ukuran kecil, dapat diisi ulang dan memiliki kelebihan dibandingkan dengan elektrolit cair yaitu bebas dari kebocoran, kekurangan arus, juga lebih aman dan mudah dibawa. Sebagai contoh adalah baterai selular yang berfungsi sebagai penyimpan energi listrik dan dapat diisi ulang. Keinginan untuk membuat baterai yang berukuran kecil (mikro baterai) tetapi dapat

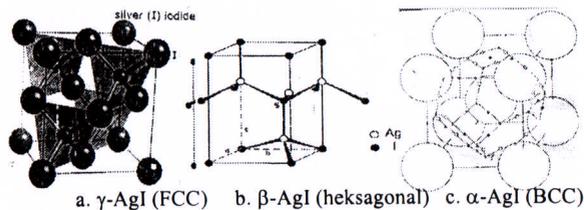
menyimpan energi yang cukup besar, dapat diwujudkan dengan ditemukannya bahan konduktor superionik [1].

Bahan konduktor superionik adalah padatan ionik yang mempunyai konduktivitas listrik tinggi yaitu $\sim \sigma > 10^{-1}$ S/cm dan energi aktivasi yang rendah yaitu ~ 0.1 eV. Hal ini disebabkan karena dalam proses konduksi yang lebih berperan adalah gerak ion dengan jumlah posisi kosong dalam subkisi, jauh melebihi jumlah ion *mobil*, sehingga semua ion dapat melompat atau bergerak seperti ion bebas dari satu posisi ke posisi lainnya [2].

Karena bahan superionik memiliki konduktivitas yang tinggi maka memungkinkan aplikasi praktisnya dalam bidang antara lain baterai mikro untuk biomedik (alat pacu jantung), baterai makro untuk otomotif, *fuel cell*, *elektrolizer*, ECD (*Electro Chromic Devices*), aplikasi dalam bidang optik (laser, *smart window*), berbagai sensor. Melihat penerapan dari bahan tersebut dalam teknologi cukup luas, maka dalam penelitian ini, telah dilakukan pengembangan bahan superionik baru dari keluarga perak yaitu AgI yang dideposisi dua sisi dengan Cu melalui teknik *sputtering* sehingga terbentuk bahan komposit *sandwich*(AgI-Cu)-AgI-(AgI-Cu) yang diharapkan dapat menghasilkan bahan konduktor superionik yang lebih baik disamping untuk menambah atau melengkapi hasil penelitian yang sudah ada tentang bahan superionik [3].

AgI mempunyai suhu transisi 147 °C dan terdiri dari tiga fasa yaitu fasa γ , fasa β dan fasa α (Gambar 1). Pada suhu ruang, AgI mempunyai dua fasa γ (kubik FCC) dan β (heksagonal) serta mempunyai konduktivitas listrik $\sim 10^{-7}$ S/cm. Sedangkan di atas suhu transisi (147 °C), AgI mengalami transisi dari fasa β ke fasa α , dimana α -AgI mempunyai struktur bertipe BCC yang mempunyai sifat superionik dengan konduktivitas listrik $\sim 10^{-1}$ S/cm [4].

Pendeposisian Cu dengan teknik *sputtering* dimaksudkan untuk dapat mengubah struktur AgI (suhu ruang), tanpa harus melakukan proses pemanasan, sehingga diperoleh campuran struktur kristal baru yang memiliki sifat lebih baik dari kristal AgI murni. Untuk mengetahui perubahan yang terjadi setelah waktu pendeposisian *sputtering* 30 menit dan 45 menit, maka dilakukan beberapa karakterisasi seperti uji struktur kristal dengan XRD, strukturmikro dengan SEM-EDS,



Gambar 1. Fasa AgI γ , β dan α [5].

sifat kekerasan dengan MHT, densitas dan sifat listrik dengan LCR meter. Dari hasil penelitian ini, ternyata diperoleh fenomena baru dalam penelitian dan pengembangan bahan superionik.

METODE PERCOBAAN

Preparasi Sampel dengan Teknik *Sputtering*

AgI yang digunakan adalah berfasa γ (Alfa Aesar) dengan tingkat kemurnian 99,9% dan berbentuk serbuk. Serbuk AgI ditimbang ± 2 g kemudian dibuat pelet dengan menggunakan *dies* pada tekanan 3000 psi.

Sebelum di deposisi, pelet AgI diukur dimensinya yaitu tebal (l), diameter (D) dan ditimbang beratnya (m). Selanjutnya pelet dideposisi dua sisi dengan Cu pada waktu deposisi 30 menit dan 45 menit. Alat deposisi yang digunakan adalah *sputtering-500 Coating Unit TAAB* di Bidang Bahan Industri P3IB BATAN. Prinsip teknik *sputtering* adalah jika suatu bahan padat dibombardir atau ditumbuk oleh partikel-partikel/atom berenergi tinggi (seperti ion-ion berenergi tinggi), maka atom-atom permukaan target (bahan pelapis) memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan diri dari permukaannya. Atom-atom yang terhambur dari permukaan target akibat *sputtering* digunakan untuk pendeposisian lapisan tipis pada substrat (bahan yang akan dilapisi). Parameter yang digunakan dalam pendeposisian *sputtering* ini meliputi tekanan kevakuman ($\sim 10^{-4}$), tekanan Gas ($0,25 \times 10^{-2}$) dan *sputter current* 17 mA [6]. Kemudian hasil pelapisan kedua sisi AgI dengan Cu yang nantinya disebut dengan AgI-Cu, diukur kembali dimensinya, serta dilakukan karakterisasi terhadap cuplikan tersebut.

SEM dan EDS

Untuk mengetahui strukturmikro dari kristal AgI dan AgI-Cu serta prosentase atom dan berat pada bahan digunakan SEM 515 Philip dan EDS PV 9900 Philip di Bidang Bahan Industri P3IB-BATAN.

Mikro Hardness Tester

Untuk mengetahui sifat mekanik khususnya kekerasan dari kristal AgI dan AgI-Cu digunakan MHT Shimadzu type-M di BK2I P3IB. Sedangkan untuk mengetahui kerapatan sampel digunakan prinsip Archimedes dengan alat piknometer di Bidang Bahan Maju P3IB-BATAN.

Difraksi Sinar X

Untuk mengetahui struktur kristal dan perubahan fasa dari bahan superionik hasil *sputtering*, dilakukan dengan menggunakan XRD Shimadzu XD-610 pada Bidang Bahan Industri P3IB-BATAN.

LCR Meter

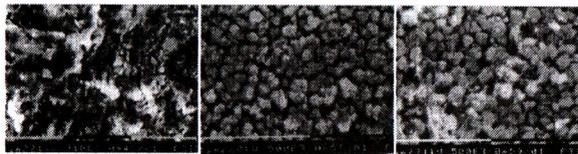
Untuk pengukuran konduktivitas listrik dari bahan AgI hasil deposisi dengan Cu digunakan LCR Hi Tester Hioki 3522-50 di Bidang Bahan Maju P3IB-BATAN, dengan variasi tegangan 0,1 volt, 1 volt dan 2 volt sebagai fungsi frekuensi 0,1 Hz – 100 kHz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Strukturmikro, Densitas dan Kekerasan

Dari hasil pendeposisian Cu ke AgI, secara visual dapat dilihat terjadinya perubahan warna dari kuning

muda menjadi coklat. Dari pengamatan strukturmikro melalui SEM dengan perbesaran 5000 X (Gambar 2) dapat dilihat daerah kekosongan dan interstisi pada AgI terisi dengan Cu sehingga permukaan AgI sesudah deposisi terlihat lebih padat atau rapat daripada sebelum deposisi. Selain itu juga terjadi perbesaran ukuran butir seiring dengan bertambahnya waktu deposisi. Hal ini juga sesuai dengan hasil pengukuran densitas menggunakan piknometer dengan menggunakan prinsip *Archimedes* (Tabel 1), dimana semakin bertambahnya waktu deposisi nilai kerapatannya



Gambar 2. Hasil pengamatan SEM.

Tabel 1. Kerapatan hasil pengukuran piknometer dari AgI-Cu hasil *Sputtering*.

Waktu pendeposisian (menit)	Kerapatan (ρ) (Piknometer, gr/cm^3)	Kekerasan (MHT ; HV)
AgI murni	5,502	12,96
30	5,672	8,820
45	5,713	8,026

Tabel 2. Prosentasi atom dan berat AgI-Cu *Sputtering* dari pengamatan EDS.

Waktu Pendeposisian (menit)	% Atom			% Berat		
	Ag	I	Cu	Ag	I	Cu
AgI murni	52,68	47,32	-	48,62	51,38	-
30	57,03	36,97	11,99	56,72	36,23	7,04
45	57,86	22,28	19,87	60,42	27,03	12,82

semakin meningkat dengan disertai kekerasan yang menurun (Gambar 3). Hal ini juga didukung oleh hasil pengamatan dari EDS (Tabel 2) melalui pengambilan 5 titik yang berbeda menunjukkan % atom dan % berat Ag dan Cu yang semakin bertambah sementara kristal AgI berkurang dengan bertambahnya waktu deposisi. Ket. MHT : Mikro Hardness Tester.

HV : Vickers Hardness number

Struktur Kristal

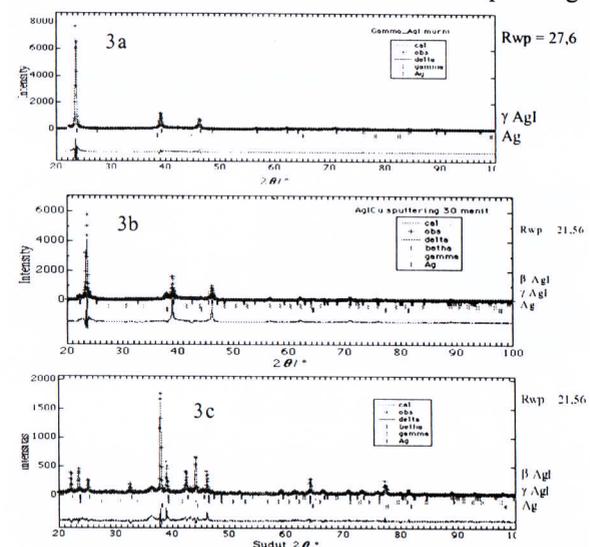
Untuk mengetahui struktur dan perubahan fasa yang terjadi pada γ -AgI selama proses *sputtering* dilakukan dengan XRD. Selanjutnya dianalisis dengan metoda *Rietveld* menggunakan program *Rietan* (Gambar 3). Struktur kristal AgI sebelum dideposisi dengan Cu, didominasi oleh γ -AgI dengan prosentasi berat 90% sedangkan fasa β -AgI belum terdeteksi pada pendeposisian awal ini (Gambar 3a). Untuk puncak tertinggi pada daerah observasi terdapat pada sudut $23,5^\circ$ dengan intensitas 7800 cacahan dimana puncak

ini merupakan gabungan dari fasa γ -AgI dan β -AgI, sedangkan puncak-puncak lainnya seperti pada sudut $40^\circ, 47^\circ$ adalah berfasa γ -AgI.

Setelah pendeposisian 30 menit puncak tertinggi terdapat pada sudut $23,5^\circ$ dengan intensitas 5770 cacahan (Tabel 3) yang merupakan fasa gabungan dari γ -AgI dan β -AgI. Sedangkan pada posisi sudut $22,15^\circ$ mulai tampak puncak baru dari β -AgI. Begitu pula fasa Ag sudah tampak muncul pada sudut $37,9^\circ$ dengan intensitas 470 cacahan dan fraksi berat $\pm 17\%$.

Perubahan drastis terjadi pada waktu pendeposisian 45 menit, dimana pada sudut $23,5^\circ$ fasa campuran γ -AgI dan β -AgI menurun digantikan posisi β -AgI pada sudut $22,15^\circ$ dan $24,5^\circ$, dimana pada pendeposisian sebelumnya belum tampak jelas. Fraksi berat β -AgI pada saat ini meningkat menjadi 58%. Perubahan lain adalah kenaikan fasa Ag sangat tajam, pada sudut $37,9^\circ$ sebagai puncak tertinggi dengan intensitas 1763 cacahan dan fraksi berat $\pm 38\%$, sehingga hal ini mendominasi struktur AgI-Cu *Sputtering* 452.

Dari hasil *Rietan* (Gambar 3) juga dapat dijelaskan bahwa semakin lama waktu deposisi Cu pada substrat AgI, jumlah atom Cu semakin bertambah namun memiliki fraksi berat yang sangat kecil ($<5\%$) sehingga tidak tampak pada pola difraksi disamping itu secara perlahan-lahan terjadi perubahan fasa dari γ -AgI ke β -AgI. Sementara itu fraksi Ag semakin bertambah seiring dengan lamanya waktu deposisi. Hal ini bisa dianalisis bahwa distorsi atau tumbukan Cu pada AgI



Gambar 3. Profil pola difraksi hasil penghalusan *Rietan* AgI (a), AgI-Cu *sputtering* 30 menit (b) dan AgI-Cu *sputtering* 45 menit (c)

dengan disertai kondisi panas selama proses *sputtering*, membuat sebagian atom Cu masuk dan sebagian lagi melepaskan Ag dari AgI sehingga fraksi Ag bertambah, γ -AgI menurun dan β -AgI bertambah. Hal ini pula yang menyebabkan adanya perubahan konfigurasi atom pada γ -AgI (FCC) menuju posisi yang lebih stabil yaitu β -AgI (heksagonal) [7].

Tabel 3. Data posisi sudut dan intensitas untuk puncak-puncak tajam hasil penghalusan Rietan.

Fasa	AgI-Cu 0'			AgI-Cu 30'			AgI-Cu 45'		
	2θ	int	FB	2θ	int	FB	2θ	int	FB
γ-AgI	23,5	8000	0,9	23,5	5770	0,798	23,4	454	0,001
β-AgI	-	-	0,1	22,15	329	0,001	22,1	400	0,584
Ag	-	-	0	37,9	470	0,174	37,8	1763	0,377
Cu	-	-	0	-	-	0,028	-	-	0,038

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya dapat dihasilkan perubahan struktur AgI dari γ-AgI menjadi β-AgI terjadi pada suhu pemanasan sekitar 90°C, sedangkan dalam percobaan ini faktor distorsi Cu pada AgI secara tidak langsung memberikan efek pemanasan selama proses pendeposisian. Analisis lebih lanjut mengenai hal ini sedang dilakukan [5].

Keterangan :

FB = Fraksi Berat dari sampel

Int = Intensitas

Konduktivis Ionik

Telah dilakukan pengukuran konduktivitas pada sampel AgI dan AgI-Cu 30 menit dan 45 menit sebagai fungsi dari frekuensi 0,1 Hz sampai dengan 100 kHz dengan variasi tegangan 0,1 Volt, 1 Volt dan 2 Volt pada suhu ruang (Gambar 3c). Pada Gambar 3c dapat diamati bahwa konduktivitas pada sampel kristal AgI dan AgI-Cu menunjukkan pola yang hampir sama, juga perubahannya terhadap variabel frekuensi dan tegangan. Selama adanya pendeposisian Cu ke dalam AgI mengakibatkan konduktivitas bahan meningkat dari ~10⁻⁶ menjadi ~10⁻⁴ S/cm, dimana konduktivitas maksimum diperoleh dalam waktu deposisi 45 menit kemudian disusul 30 menit. Hal ini disebabkan karena distorsi Cu pada AgI-Cu 452 mengakibatkan terlepasnya ion-ion Ag⁺ sehingga intensitas Ag dalam bahan mencapai maksimum sedangkan atom Cu yang masuk ke bahan minimum (Tabel 2 dan Tabel 3). Hal ini juga disertai penambahan fasa β-AgI dan berkurangnya fasa γ-AgI yang mengakibatkan Ag⁺ dapat bergerak bebas untuk melaksanakan aliran ionik tanpa terhambat adanya kepadatan Cu sehingga mengakibatkan nilai konduktivitas AgI-Cu 452 meningkat (~10⁻⁴ S/cm).

Kebergantungan konduktivitas terhadap frekuensi yang dikenal dengan *Universal frequency Response* yang dikembangkan oleh *Jonscher* dapat dijelaskan dengan model :

$$[\sigma] \gg f^s \quad \dots \dots \dots (1)$$

dengan σ adalah konduktivitas dan s adalah eksponen power, s << 1. Harga s ini mempunyai limit 1, didekati dengan persamaan :

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

dimana pangkat s mencapai harga limit 1 dipengaruhi oleh suhu.

Gambar 3c difitting dengan membagi daerah frekuensi menjadi dua atau tiga bagian yaitu pada log f rendah, log f medium dan log f tinggi karena ketiga daerah tersebut menunjukkan pola dan juga arti fisis yang berbeda. Pada daerah frekuensi rendah terjadi loncatan ion (*ionic hopping*), kemudian pada daerah medium (*plateau*) dimana konduktivitas umumnya tidak tergantung pada frekuensi (DC konduktivitas),

Tabel 4. Fitting AgI-Cu Sputtering 30 menit dan 45 menit

• V = 0,1 Volt

Waktu Pendeposisian Sputtering	Fitting 1		Fitting 2	
	Log f (-1) Hz - log f (2) Hz		Log f (2) Hz - log f (5) Hz	
	S ₁	Log σ ₀₁	S ₂	Log σ ₀₂
AgI murni	0,205	-6,03	0,099	-5,87
30 menit	0,126	-5,56	0,074	-5,49
45 menit	0,034	-4,77	-0,008	-4,57

• V = 1 Volt

Waktu deposisi Sputtering	Fitting 1		Fitting 2		Fitting 3	
	Log f (-1) - log f (1) Hz		Log f (1) - log f (3) Hz		Log f (3) - log f (5) Hz	
	S ₁	Log σ ₀₁	S ₂	Log σ ₀₂	S ₃	Log σ ₀₃
30 menit	0,104	-5,46	0,042	-5,35	0,084	-5,52
45 menit	0,097	-4,94	-0,017	-4,84	-0,008	-4,89

• V = 2 Volt

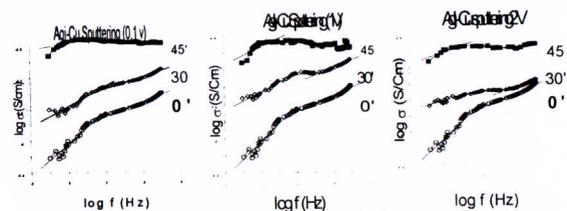
Waktu deposisi Sputtering	Fitting 1		Fitting 2		Fitting 3	
	Log f (-1) - log f (1) Hz		Log f (1) - log f (3) Hz		Log f (3) - log f (5) Hz	
	S ₁	Log σ ₀₁	S ₂	Log σ ₀₂	S ₃	Log σ ₀₃
30 menit	0,058	-5,59	0,023	-5,54	0,076	-5,73
45 menit	0,014	-4,91	-0,014	-4,91	0,033	-5,08

sedangkan pada daerah frekuensi tinggi terjadi getaran ion-ion (*ionic vibration*). Hasil fitting tersebut dapat dilihat pada Table 4. Selanjutnya persamaan fitting yang digunakan adalah persamaan linier dari persamaan (2) yaitu :

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

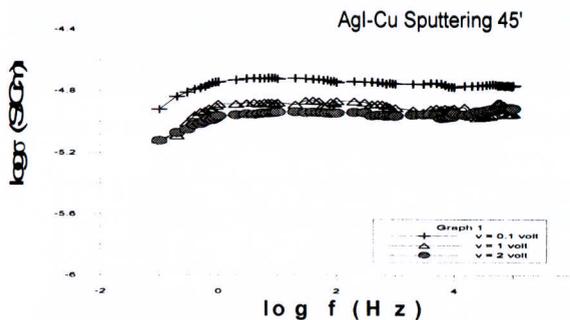
dengan log σ₀ adalah konduktivitas pada frekuensi 1 Hz dan s adalah pangkat [8].

Untuk konduktivitas AgI-Cu sputtering 30 menit dan 45 menit pada variasi tegangan yang diberikan (Gambar 4) tampak memiliki pola hampir sama yaitu menunjukkan kenaikan agak tajam pada daerah log f (-1) sampai log f (1), kemudian konduktivitas mencapai daerah datar (*plateau*) pada log f (1) sampai log f (3), diteruskan kenaikan yang hampir linier pada log f (3) sampai log f (5). Hal ini dapat dianalisis pada



Gambar 4. AC-Konduktivitas pada AgI-Cu sputtering dengan variasi tegangan 0,1 Volt, 1 Volt dan 2 Volt.

AgI-Cu 452 sebagai sampel yang memiliki konduktivitas maksimum, bahwa untuk ketiga tegangan yang diberikan (Gambar 5) dan dari hasil *fitting* pada Tabel 4, menunjukkan nilai s yang berbeda. Nilai s yang tinggi



Gambar 5. AC-Konduktivitas pada AgI-Cu 45 menit dengan tegangan 0,1 Volt, 1 Volt dan 2 Volt.

menunjukkan adanya kebergantungan konduktivitas pada frekuensi sangat tinggi. Sedangkan untuk menentukan konduktivitas DC (*Direct Current*) dapat diperoleh dengan melihat harga s mendekati nol, yang berarti kebergantungan pada frekuensi sangat kecil (pada daerah *plateau*) yaitu diperoleh harga konduktivitas AgI-Cu 452 pada frekuensi 1 Hz dengan σ (0,1 Volt) = $1,9 \times 10^{-4}$ S/cm, σ (1 Volt) = $1,3 \times 10^{-4}$ S/cm dan σ (2 Volt) = $1,2 \times 10^{-4}$ S/cm.

KESIMPULAN

1. Dari hasil pengukuran konduktivitas dengan menggunakan LCR pada suhu ruang, terhadap hasil pendeposisian Cu ke dalam AgI dengan teknik *sputtering* menghasilkan nilai konduktivitas bahan meningkat dari $\sim 10^{-6}$ menjadi $\sim 10^{-4}$ S/cm.
2. Konduktivitas maksimum terdapat di waktu deposisi 45 menit dengan harga konduktivitas $1,9 \times 10^{-4}$ S/cm pada tegangan 0,1 Volt kemudian disusul dengan 30 menit.
3. Semakin lama waktu deposisi terjadi peningkatan densitas pada AgI-Cu sedangkan kekerasan mengalami penurunan.
4. Akibat pendeposisian Cu pada AgI, Ag^+ terlepas dari AgI sehingga terjadi penambahan fraksi Ag^+ sedangkan fraksi γ -AgI berkurang dan β -AgI bertambah. Sementara itu Cu bertambah dengan fraksi berat $< 5\%$ sehingga tidak tampak dalam pola difraksi.
5. Dari hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa pendeposisian Cu terhadap AgI dengan teknik *sputtering* dapat dihasilkan bahan superionik baru yaitu AgI-Cu dengan kualitas yang lebih baik dari segi struktur maupun konduktivitas ioniknya. Selain dari itu pemanfaatan teknik ini untuk menunjukkan kualitas bahan superionik yang dilakukan baru pertama kali.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada Kepala P3IB-BATAN, Kepala BBI, Kepala BK2I dan Kepala BBM atas kesempatan penelitian dan penggunaan fasilitas di P3IB.. Terimakasih juga kepada Ari Handayani (*sputtering* dan SEM/EDS), Bambang Sugeng (XRD), Eko Yudha Pramono (MHT) dan Tria Madesa (Piknometer) atas bantuan pengukuran karakterisasi. Penelitian ini merupakan hasil kerjasama P3IB-BATAN dengan Pascasarjana Material Science Universitas Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. E.KARTINI, PRIYANTO. S, YUSUF. N, INDAYANINGSIH, and M.F COLLINS, *Canadian Association of Physicist Congress*, Waterloo, Canada, (1998)
- [2]. E. KARTINI and M.F. COLLINS, *Physic B213*, (2000) 276-278
- [3]. A.F. Wright and B.E.F. FENDER, The Structure of Superionic Compounds by Powder Neutron Diffraction, Cation Distribution in a AgI, *J.Phys., C:Solid State Phys.*, **10** (1997)
- [4]. M.Z.A. MUNSHI, *Handbook of Solid Sstate Batteries and Capacitor*, Word Scientific, Singapore, (1995).
- [5]. J.KAWAMURA, S.HIYAMA, New Superionik Glasses Based on Silver Iodide with Organic Monomer Ions, *Solid State Ionic*, **53-56** (1992) 1227-1231
- [6]. WASA, K, HAYAKAWA. S., *Handbook of Sputter Deposition Technology, Principle, and Aplications*, Noyes Publication, New Jersey, (1992)
- [7]. VAN VLACK, LH, *Ilmu dan Tekhnologi Bahan*, Edisi 5, Alih Bahasa Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, (1991)
- [8]. A.K. JONSCHER, *Nature*, **261** (1977) 673