

## STRUCTURAL, CHEMICAL COMPOSITION, ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Sn (Se<sub>0,4</sub> S<sub>0,6</sub>) THIN FILMS PREPARED USING THERMAL EVAPORATION FOR SOLAR CELLS APPLICATIONS

Ariswan\*

\*Jurdik. Fisika, Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

E-mail : [ariswan@uny.ac.id](mailto:ariswan@uny.ac.id)

### ABSTRACT

This research aimed to determine the crystal structure, chemical composition, optical and electrical properties of Sn (Se<sub>0,4</sub> S<sub>0,6</sub>) thin films prepared by thermal evaporation technique with the orde of vakum about  $4,0 \times 10^{-5}$  mbar, and deposition time of 8 minutes. Characterization carried out by X-ray diffraction (XRD) to determine the crystal structure and the chemical composition was determined by energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS), electrical properties determined by four point probe (FPP) and UV-VIS spectrocopy was used to determine response of transmittance a function of photon energy. The XRD results showed that Sn (Se<sub>0,4</sub> S<sub>0,6</sub>) has orthorhombic crystal structure, with lattice constants  $a = 4.1186 \text{ \AA}$ ;  $b = 11.4830 \text{ \AA}$ ;  $c = 4.3192 \text{ \AA}$ . While the EDS results show the chemical composition of the material of Sn: Se: S = 1: 0.47: 0.53. The material has a p-type and a resistivity of  $85.4 \text{ \Omega cm}$ . The UV -VIS spectroscopy showed that large absorption at about of 400 nm correlated with the band gap of 1,38 eV.

*Keywords: Four Point Probe, Orthorhombic, Evaporation*

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis, komposisi kimia, morfologi permukaan, sifat- sifat optik dan listrik lapisan tipis Sn(Se<sub>0,4</sub> S<sub>0,6</sub>) . Preparasi bahan menggunakan teknik evaporasi termal, dengan jarak spacer 15 cm, tekanan vakum pada  $4,0 \times 10^{-5}$  mbar, waktu deposisi selama 8 menit. Karakterisasi dalam penelitian ini menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) untuk mengetahui struktur Kristal, komposisi kimia bahan semikonduktor diketahui dengan menggunakan EDS (*energy dispersive X-ray spectroscopy*), sifat listrik diketahui dengan *four point probe (FPP)* dan untuk mengetahui sifat optik digunakan spektrofotometer UV-VIS. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa Sn(Se<sub>0,4</sub> S<sub>0,6</sub>) memiliki struktur kristal orthorombik, dengan konstanta kisi  $a = 4.1186 \text{ \AA}$ ;  $b = 11.4830 \text{ \AA}$ ;  $c = 4.3192 \text{ \AA}$ . Hasil EDS menunjukkan bahwa perbandingan komposisi kimiab Sn: Se: S = 1: 0.47: 0.53. Bahan memiliki tipe-p dengan resistivitas sebesar  $85,4 \text{ \Omega cm}$ . Pada pengukuran Spektrofotometer UV-VIS bahan mulai menyerap energi foton pada panjang gelombang 400 nm, bersesuaian dengan *band gap* sebesar 1,38 eV.

*Kata kunci : Four Point Probe, Orthorhombic, Evaporasi*

## PENDAHULUAN

Riset bidang Fisika Material maju pesat pada dekade terakhir ini, karena tuntutan kemajuan temuan material baru yang aplikasinya sangat diperlukan dalam kehidupan modern ini. Sel surya merupakan salah satu terapan material yang sangat prospek mengingat kebutuhan energy kehidupan modern secara terus- menerus meningkat. Surya adalah sumber energy terbesar yang menjadi sumber kehidupan umat manusia, sehingga merupakan energy terbarukan dengan spektrum panjang gelombang dari sekitar 200 nm hingga 2400 nm [1] dapat diubah langsung menjadi energi listrik. Piranti yang dapat mengubah energi surya langsung menjadi energi listrik tersebut dinamakan sel surya. Sel surya bekerja atas dasar efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik ini pertama kali ditemukan oleh Edmon Becquerel (1839), kemudian tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori tentang mekanisme fenomena tersebut dan masih sebatas eksperimen di laboratorium, kemudian tahun 1950 sel surya ini direalisasikan untuk yang pertama kalinya, menggunakan bahan kristal Silikon. Tahun 1970 penelitian sel surya dilakukan secara intensif ketika dihadapkan dengan krisis energi. Sebagai tindak lanjut, maka pada tahun 1979 dibangun listrik tenaga surya hingga mencapai 1 Mwatt, dewasa ini seluruh negara telah menggunakan sel surya sebagai sumber energy alternatifnya.

Sampai saat ini, sel surya berkembang sangat pesat dari berbagai bahan baik bahan organik maupun bahan non organik. Sel surya terus tumbuh dari generasi pertama sampai saat ini generasi ke tiga. Dari semula berbentuk wafer, kemudian lapisan tipis dengan lapisan terbatas, sekarang telah diproduksi lapisan tipis dengan system tandem sehingga efisiensinya dapat ditingkatkan lebih tinggi lagi. Jika semula bahan sel surya hanya silicon, kemudian pada perkembangan riset bidang material banyak bahan yang memiliki sifat dapat diaplikasikan sebagai sel surya. Bahan- bahan tersebut seperti GaAs dengan efisiensi 28%,  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  dapat mencapai efisiensi 20% dan bahkan dalam system multi sambungan  $\text{InGaP/GaAs/InGaAs}$  bisa mencapai efisiensi sampai 37,9 % [2]

Pada sekala riset laboratorium, para peneliti telah mengembangkan sel surya berbasis  $\text{Sn(Se,S)}$ . Bahan semikonduktor ini merupakan paduan dari Sn, Se dan S. Bahan semikonduktor  $\text{SnSe}$  banyak digunakan sebagai bahan sel surya, disebabkan karena  $\text{SnSe}$  memiliki bang gap pada rentang spektrum energy surya yaitu pada suhu kamar sebesar 1,92 eV [3]. Sedangkan, bahan Tin Sulfida ( $\text{SnS}$ ) memiliki band gap langsung antara 1,1 eV sampai 1,25 eV [4]. Penelitian ini mencoba melakukan doping selen pada semikonduktor  $\text{SnS}$ . Oleh karena bahan  $\text{Sn(Se}_{0,4}\text{S}_{0,6})$  dapat diharapkan memiliki band gap antara kedua nilai di atas sehingga sangat memungkinkan bahan ini dapat diterapkan dalam optimalisasi terapan material pada sel surya.

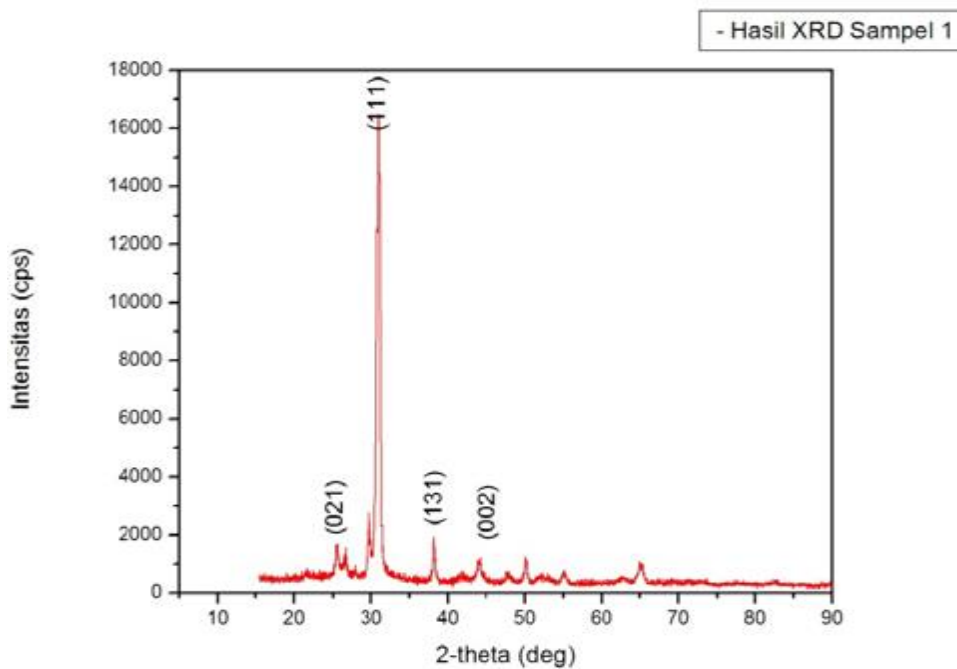
## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini diawali menyiapkan paduan masif  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$  dengan metode Bridgman. Metode ini didasarkan pada perbandingan molaritas masing-masing bahan. Jika ditimbang massa Sn adalah  $a$  gram, maka dapat ditentukan massa selen (Se) adalah  $\frac{a}{\text{Berat Atom Sn}} \times 0,4 \times \text{Berat Atom Se}$ , kemudian massa atom sulfur (S) dengan massa sebesar  $\frac{a}{\text{Berat Atom Sn}} \times 0,6 \times \text{Berat Atom S}$ . Ketiga bahan tersebut dimasukkan dalam tabung pyrex dengan diameter dalam 12 mm dan diameter luar 16 mm yang ditempatkan pada vakum dan pada ujung tabung dilas, sehingga diperoleh kapsul berisi ketiga bahan tersebut. Selanjutnya kapsul di panaskan menggunakan furnace yang suhunya dapat diatur dengan pemanasan menggunakan alur pemanasan disesuaikan dengan titik lebur ketiga bahan tersebut. Paduan masif yang dihasilkan selanjutnya dibuat serbuk kemudian diletakkan pada cawan pemanas yang terbuat dari bahan tungsten dalam vakum pada orde  $10^{-5}$  m.Bar dan dipanaskan sampai di atas  $1000^{\circ}\text{C}$ . Bahan akan menjadi uap dan terdeposisi pada substrat terletak 15 cm di atas cawan. Substrat tersebut dipanaskan pada suhu  $550^{\circ}\text{C}$ .

EDS digunakan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis. Selanjutnya *scanning electron microscop (SEM)* digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis. Sedangkan XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis. Karakterisasi sifat listrik bahan menggunakan FPP dimana menghasilkan data yaitu nilai resistansi dan tipe konduktivitas. Karakterisasi sifat optik dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis menghasilkan nilai absorbansi dan nilai transmitansi bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$  sebagai fungsi dari panjang gelombang. Akhirnya dengan melakukan ekstrapolasi fungsi yang diturunkan dari koefisien absorpsi dan transmitansi tersebut dapat ditentukan besarnya energi band gap bahan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Difraktogram hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada gambar 1. Difraktogram menunjukkan besarnya intensitas sebagai fungsi  $2\theta$ . Hasil pada gambar 1 tersebut menunjukkan bahwa bahan merupakan polikristal. Selanjutnya data difraktogram dibandingkan dengan data base pada *Joint Committee on Powder Diffraction – International Centre for Diffraction Data (JCPDS- ICDD)* dapat diketahui bahwa  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}, \text{S}_{0,6})$  memiliki struktur orthorombik. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak-puncak spektrum karakteristik dengan intensitas pada puncak-puncak tertentu seperti bidang (021), (131), (002) dan puncak paling dominan pada bidang (111).



Gambar 1. Difraktogram XRD Bahan Semikonduktor Sn( $Se_{0,4}, S_{0,6}$ ) dengan Jarak *Spacer* 15 cm.

Difraktogram yang memberikan puncak- puncak intensitas dikaitkan dengan sudut difraksi selanjutnya dicocokkan dengan data pada *JCPDS- IDDS* seperti telah disebutkan diatas, akan diperoleh bidang- bidang hkl pada sudut difraksi tertentu. Selanjutnya dengan perhitungan yang mengkaitkan hukum Brag:

$$2 d \sin \theta = \lambda \tag{1}$$

$d$  adalah jarak antar bidang kristal dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar- X yang digunakan. Telah diketahui pada sistem kristal orthorombik jarak antar bidang kisi kristal  $d$  dinyatakan dalam  $h, k, l$  (indeks miller) seperti pada persamaan berikut ini.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \tag{2}$$

Ketika digunakan teknik analitik yaitu melakukan substitusi persamaan (1) dan (2) diperoleh rumus berikut ini.

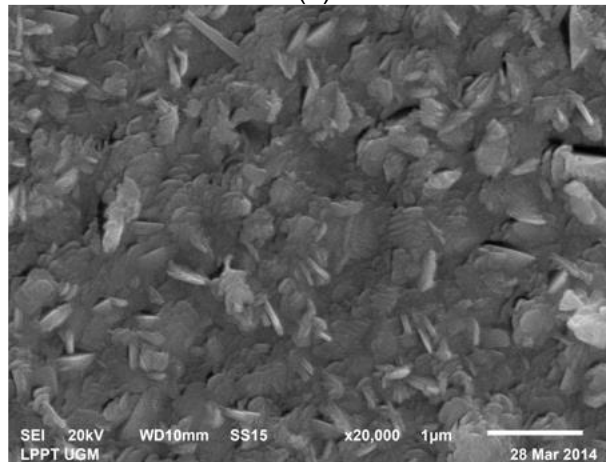
$$\sin^2(\theta) = \frac{\lambda^2}{4} \left( \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \tag{3}$$

Parameter kisi kristal dengan konstanta kisi  $a, b, c$  dapat dihitung dan nilainya berturut- turut 4,1186 Å ; 11,4830 Å ; dan 4,3192 Å. Hasil ini menunjukkan kesesuaian dengan literature [5]

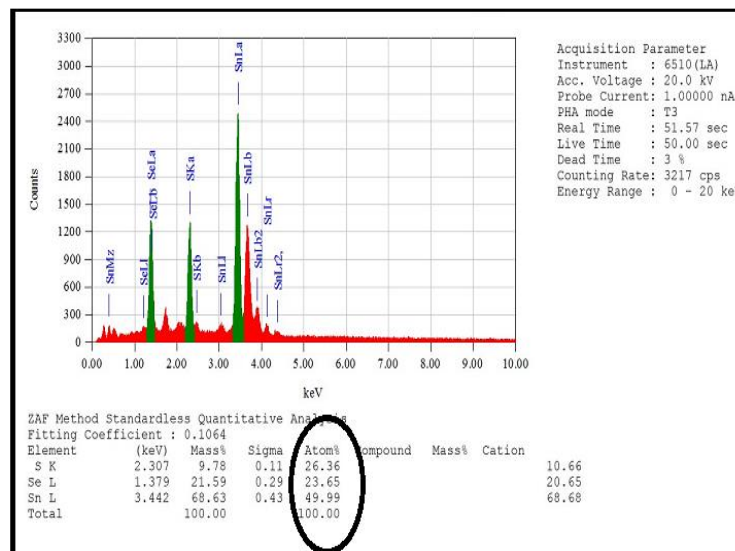
Untuk mengetahui morfologi permukaan digunakan *SEM* dengan perbesaran hingga 40.000 kali dihasilkan seperti pada gambar 2.a. Prinsip kerja dari *SEM* adalah sebuah penembak elektron memproduksi sinar berkas elektron dan dipercepat oleh anoda.

Selanjutnya, lensa magnetik berfungsi untuk memfokuskan elektron menuju sampel. Sinar berkas elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel yang diarahkan oleh koil pemindai saat elektron mengenai sampel, maka sampel tersebut mengeluarkan elektron baru (electron sekunder) yang akan diterima oleh detektor lalu dikirim ke monitor untuk dicetak hasilnya. Hasil foto tersebut tampak bahwa telah terbentuk butiran (grain) yang menunjukkan bahwa bahan lapisan tipis adalah dalam bentuk polikristal. Sedangkan warna yang homogen dari morfologi menunjukkan bahwa sampel adalah homogen yang mengindikasikan telah terbentuknya satu paduan bahan dengan komposisi kimia tertentu.

(a)



(b)



Gambar 2. Hasil karakterisasi : (a). SEM berupa morfologi permukaan dan (b). EDAX berupa komposisi Kimia

Hasil karakterisasi EDS berupa difraktogram merupakan hubungan antara intensitas sinar-x yang diradiasikan oleh sampel sebagai fungsi dari energi. Sinar -x

karakteristik yang dipancarkan oleh sampel ketika berkas electron mengenai sampel umumnya pada atom yang lebih dalam. Oleh karena itu akan muncul puncak-puncak (*peak*) yang merepresentasikan suatu atom tertentu yang terkandung pada sampel. Sedangkan intensitas menggambarkan seberapa banyak atom tersebut terdapat pada sampel. Pada gambar 2.b menunjukkan perbandingan komposisi kimia bahan semikonduktor Sn( $Se_{0,4}$ ,  $S_{0,6}$ ) yang terbentuk dalam atom Sn; Se; S berturut-turut 49,99 %; 23,63%; 26,37% sehingga paduan yang terbentuk dengan komposisi kimia Sn ( $Se_{0,47}$   $S_{0,53}$ ). Hasil ini non stoichiometri karena sedikit menyimpang dari paduan harapannya yaitu komposisi teoritik Sn( $Se_{0,4}$ ,  $S_{0,6}$ ) .

Karakterisasi sifat- sifat listrik digunakan metode *FPP* dan hasilnya seperti tampak pada table 2 di bawah ini

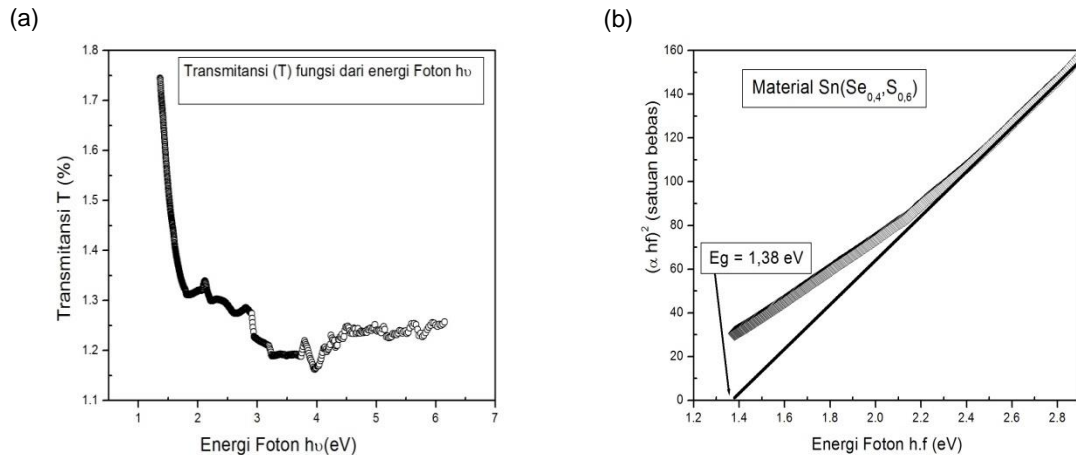
Tabel 2. Hasil pengukuran metode *FPP* pada sampel Sn( $Se_{0,4}$ ,  $S_{0,6}$ )

Posisi tegak				
V/I (ohm)	Sheet (ohm) <sup>-2</sup>	Slice (ohm.cm)	Thick (cm)	Type
$0,645 \times 10^4$	$0,292 \times 10^5$	$0,742 \times 10^2$	$0,342 \times 10^{-4}$	P
$0,652 \times 10^4$	$0,296 \times 10^5$	$0,751 \times 10^2$	$0,338 \times 10^{-4}$	P
$0,944 \times 10^4$	$0,428 \times 10^5$	$1,086 \times 10^2$	$0,234 \times 10^{-4}$	p
Posisi melintang				
V/I (ohm)	Sheet (ohm) <sup>-2</sup>	Slice (ohm.cm)	Thick (cm)	Type
$0,849 \times 10^4$	$0,385 \times 10^5$	$0,977 \times 10^2$	$0,260 \times 10^{-4}$	P
$0,668 \times 10^4$	$0,303 \times 10^5$	$0,769 \times 10^2$	$0,330 \times 10^{-4}$	P
$0,694 \times 10^4$	$0,315 \times 10^5$	$0,799 \times 10^2$	$0,318 \times 10^{-4}$	p

Berdasarkan pengukuran metode Four Point Probe diperoleh bahwa lapisan tipis yang dipreparasi dengan teknik evaporasi ini memiliki tipe konuktivitas jenis p, dengan resistivitas 85,4  $\Omega$  cm. Hasil ini bersesuaian dengan literatur [6].

Selanjutnya pada pengukuran dengan *UV- VIS spectroscopy* prinsipnya adalah bagaimana respon sampel ketika foton dengan panjang gelombang dari 200 nm sampai 900 nm dikenakan pada sampel tersebut. Interaksi foton dengan sampel sangat ditentukan berapa besar band gap sampel. Bila energy foton lebih besar dari band gap tentu hanya sedikit

energy yang ditransmisikan. Sedangkan apabila energy foton sama dengan band gap sebagian besar foton diserap dan apabila energy foton lebih kecil dari band gap sampel tentu sebagian besar foton akan ditransmisikan. Kondisi respon sampel terhadap foton yang dipaparkan pada sampel seperti ditampilkan pada gambar 3.a.



Gambar 3. (a). Respon bahan dalam bentuk transmittansi sebagai fungsi dari energy foton.  
 (b). Metode ekstrapolasi  $(\alpha \cdot hf)^2$  sebagai fungsi energy foton hf.

Cara penentuan band gap dapat dilakukan dengan metode ekstrapolasi pada grafik yang menghubungkan bentuk  $(\alpha \cdot hf)^2$  sebagai fungsi energy foton hf.

Perhitungannya dimulai dari persamaan berikut ini.

$$I(t) = I(o) \exp (- \alpha d). \tag{2}$$

$I(t)$  intensitas yang ditransmisikan,  $I(o)$  intensitas foton yang datang,  $\alpha$  adalah koefisien serapan dan  $d$  adalah ketebalan lapisan tipis. Apabila diambil logaritmiknya , kemudian  $I(t)/I(o)$  adalah transmittansi (T), maka dapat dinyatakan bahwa

$$\alpha = \frac{1}{d} \text{Ln} \left( \frac{1}{T} \right). \tag{3}$$

Sedangkan untuk semikonduktor *direct band gap* berlaku: [7]

$$(\alpha \cdot hf)^2 = B^2 (h f - E_g) \tag{4}$$

$B$  adalah konstanta. Bila data yang ditampilkan oleh piranti UV-VIS adalah T sebagai fungsi panjang gelombang  $\lambda$ , maka tentu dengan substitusi kedua persamaan diatas dapat dinyatakan

$$\{[\text{Ln}(1/T)] hf\}^2 = K (hf - E_g) \tag{5}$$

$K$  adalah konstanta, dengan  $K = B^2 \cdot d$ . Jika persamaan (5) dinyatakan dalam grafik tentu akan memiliki bentuk yang identik dengan persamaan (6), sehingga dapat diambil ketika

ruas kiri persamaan (6) sama dengan nol, maka diperoleh nilai energy foton  $hf$  itulah sebagai nilai dari energi band gap sampel.(gambar 3.b). Teknik ini memberikan energi band gap sebesar 1,38 eV.

### **Kesimpulan**

Setelah melakukan penelitian terhadap bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$  ini dapat disimpulkan seperti berikut ini.

1. Telah dihasilkan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$  berbentuk polikristal mengikuti struktur orthorombik dengan parameter kisi berturut- turut  $a= 4,1186 \text{ \AA}$  ;  $b= 11,4830 \text{ \AA}$  ; dan  $c= 4,3192 \text{ \AA}$ .
2. Bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$  memiliki tipe konduktivitas p dengan resistivitasnya sebesar  $85,4 \Omega \text{ cm}$
3. Bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4} \text{S}_{0,6})$  memiliki celah energi sebesar 1,38 eV, sehingga bahan ini sangat sesuai bila diaplikasikan pada sel surya.



## PUSTAKA

- [1]. G. Thullier, M. Herse, D. Labs, T. Foujol, W. Petterman, G. Bilouty, P.C Sem0m, H.Mendel, *Solar Physics* 2003 **214**: 1–22.
- [2]. Martin A. Green, Keith Emery, Yoshihiro Hishikawa, Wilhelm Warta and Ewan D. Dunlop. *Progress in Photovoltaic Research*. 2014 22: 701-710.
- [3]. Solanki, G.K, Gosai N.N. and Patel K.D., *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol 5(3), March 2015, p.1-5
- [4]. R. Marriapan, M. Ragavendar, V. Ponnuswamy. *Optica Application*, Vol XLI, No. 4. 2011, p. 989-997.
- [5]. C. Cifuentes, m. Botero, E. Romero, C. Calderon, and G. Gordillo, *Brazzilian Journal of Physics*, Vol.36 No.3B, 2006, p.1046-1049.
- [6]. N. Kumar, V. Sharma, U.Parihar, R. Sachdewa, N.Padha, C.J. Panchal.j. of Nano Electron. Physics 3 (2011) p. 117-126
- [7]. H. Sakata, and H. Ogawa, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 63, 2000. P.259