

Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) Hasil Preparasi Teknik Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya

Determination Crystal Structure and Chemical Composition of Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) Thin Film from Preparation's Result of Evaporation Method for Solar Cell Application

Tito Wahyu Purnomo^{1*}

ABSTRAK

Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) Hasil Preparasi Teknik Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya. Penelitian ini bertujuan menumbuhkan lapisan tipis Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) dengan teknik vakum evaporasi untuk mempelajari karakter lapisan tipis Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) dengan karakterisasi struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia. Preparasi dilakukan pada tekanan $\sim 10^{-5}$ mbar dan memvariasi jarak sumber dengan substrat menggunakan *spacer*. *Spacer* divariasi sebanyak 3 kali, yaitu 10 cm, 15 cm, dan 25 cm. Sampel dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) untuk mengetahui komposisi kimia. Hasil menunjukkan ketiga sampel memiliki struktur kristal orthorhombik dengan parameter kisi sampel 1: $a=11,347 \text{ \AA}$; $b=4,074 \text{ \AA}$; $c=4,371 \text{ \AA}$, sampel 2: $a=11,431 \text{ \AA}$; $b=4,088 \text{ \AA}$; $c=4,355 \text{ \AA}$, sampel 3: $a=11,301 \text{ \AA}$; $b=4,067 \text{ \AA}$; $c=4,293 \text{ \AA}$. Permukaan lapisan tipis homogen terdiri atas butiran berukuran $\sim 0,5 \mu\text{m}$. Lapisan tipis mengandung unsur Sn, Se, dan S dengan persentase komposisi kimia Sn=51,75 %, Se=23,84 %, S=24,42 % dan perbandingan molaritas Sn:Se:S adalah 1:0,46:0,47.

Kata Kunci: Lapisan Tipis, Semikonduktor Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$), Metode Evaporasi, Sel Surya

ABSTRACT

Determination Crystal Structure and Chemical Composition of Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) Thin Film from Preparation's Result of Evaporation Method for Solar Cell Application. This research aims to grow a thin film Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) by vacuum evaporation technic to study character of thin film Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$) by the chracterization of crystal structure, surface morphology, and chemical composition. Preparation process is performed on pressure $\sim 10^{-5}$ mbar and vary the distance between the source and the substrate by spacer. Spacer is varied for 3 times, i.e 10 cm, 15 cm, and 25 cm. Samples is characterized by XRD (*X-Ray Diffraction*) to determine crystal structure, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) to determine surface morphology, and EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) to determine chemical composition. The results shows that all samples has orthorhombic crystal structure with the value of lattice parameter is: sample 1: $a=11,347 \text{ \AA}$; $b=4,074 \text{ \AA}$; $c=4,371 \text{ \AA}$, sample 2: $a=11,431 \text{ \AA}$; $b=4,088 \text{ \AA}$; $c=4,355 \text{ \AA}$, sample 3: $a=11,301 \text{ \AA}$; $b=4,067 \text{ \AA}$; $c=4,293 \text{ \AA}$. The surface of sample is homogenous and consists of grains with a size $\sim 0,5 \mu\text{m}$. Thin film contain elements of Sn, Se, dan S with the chemical composition percentage is Sn=51.75%, Se=23.84%, S=24.42% and the molarity comparison of Sn:Se:S is 1:0,46:0,47.

Keywords: Thin Film, Semiconductor Sn($Se_{0,5}S_{0,5}$), Evaporation Method, Solar Cell

* email: titowp.dai@gmail.com

¹ Pusdiklat – BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Jakarta 12240

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di seluruh dunia mencapai 10 Terra Watt (setara dengan 3×10^{20} Joule/tahun) dan diprediksi jumlah ini akan terus meningkat hingga mencapai 30 Terra Watt pada tahun 2030 [1]. Hal ini menyebabkan manusia berusaha membuat sumber energi terbarukan yang bebas polusi demi mengatasi terjadinya krisis energi akibat penggunaan energi konvensional. Sumber-sumber energi terbarukan tersebut seperti energi matahari, energi air, energi angin, dan lain-lain [2].

Energi matahari adalah salah satu sumber energi terbarukan yang melimpah, bebas polusi, dan dapat dieksplorasi secara optimal. Dalam pemanfaatan energi surya, perlu dikembangkan suatu teknologi yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi ini dikenal dengan istilah sel surya atau *solar cell*. Selama ini semikonduktor yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya adalah jenis silikon wafer. Selain sel surya tipe silikon wafer, terdapat sel surya jenis lain yang disebut sel surya lapisan tipis (*thin film*). Jenis sel surya lapisan tipis ini dapat mengurangi mahalanya biaya pembuatan sel surya jenis wafer, mengingat jenis lapisan tipis hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk jenis silikon wafer [1].

Salah satu bahan semikonduktor yang dikembangkan adalah *Tin Sulfide* (SnS) dan *Tin Selenide* (SnSe). Hasil penelitian Yuliane [3] menunjukkan SnS memiliki *energy gap* 1,3 - 2,4 eV dan penelitian Kumar et al [4] menunjukkan SnSe memiliki *energy gap* 1,3 eV. Material SnSeS (*Tin Selenide Sulfide*) merupakan perpaduan dari 3 unsur (*ternary*), yaitu Sn dari golongan IV dengan Se dan S dari golongan VI. Dengan melihat besarnya *energy gap* SnS dan SnSe, maka material perpaduan SnSeS yang berbentuk lapisan tipis cocok digunakan sebagai bahan semikonduktor untuk

aplikasi sel surya. Untuk mendapatkan lapisan tipis SnSeS yang baik perlu adanya proses penumbuhan/preparasi yang disebut teknologi fabrikasi lapisan tipis [5].

Salah satu metode penumbuhan lapisan tipis adalah metode vakum evaporasi. Metode ini memiliki kelebihan antara lain hasil preparasi yang dihasilkan lebih baik dan merata pada permukaan substrat. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan lapisan tipis Sn(Se_{0,5}S_{0,5}). Parameter yang divariasi adalah jarak antara sumber/bahan dengan substrat menggunakan penyangga (*spacer*). Setelah lapisan tipis terbentuk dilakukan karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), morfologi permukaan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan komposisi kimia menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*). Dari hasil karakterisasi dapat diketahui pengaruh variasi penyangga (*spacer*) terhadap lapisan tipis yang terbentuk.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari sampai April 2014 di Laboratorium Fisika Material UNY, Laboratorium Kimia Organik UNY, dan Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) UGM.

Langkah Penelitian

Penelitian ini meliputi 2 tahap, yaitu tahap preparasi dan tahap karakterisasi. Tahap preparasi merupakan tahap penumbuhan lapisan tipis Sn(Se_{0,5}S_{0,5}) menggunakan teknik vakum evaporasi yang bekerja pada tekanan $\sim 10^{-5}$ mbar dan dilakukan variasi jarak antara sumber dengan substrat sebanyak 3 kali, yaitu 10 cm, 15 cm, dan 25 cm. Bahan pada cawan (*crucible*) dipanaskan sehingga terdeposisi pada substrat kaca dan membentuk lapisan tipis. Tahap karakterisasi dilakukan untuk mengetahui

struktur kristal dengan XRD, morfologi permukaan dengan SEM, dan komposisi kimia dengan EDAX.

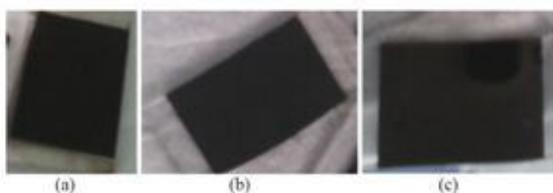
Teknik Analisis Data

Hasil XRD berupa difraktogram. Lalu dilakukan pencocokan data penelitian dengan data standar (JCPDS) sehingga diperoleh struktur kristal. Parameter kisi kristal ditentukan dengan metode Le Bail melalui software LPHM-Rietica. Hasil SEM berupa foto yang memuat informasi ukuran butiran (*grain*) dan homogenitas permukaan. Hasil EDAX berupa spektrum intensitas terhadap energi yang memuat informasi komposisi kimia sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Preparasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$

Penelitian ini menghasilkan tiga buah sampel lapisan tipis dengan *spacer* 10 cm, 15 cm, dan 25 cm.



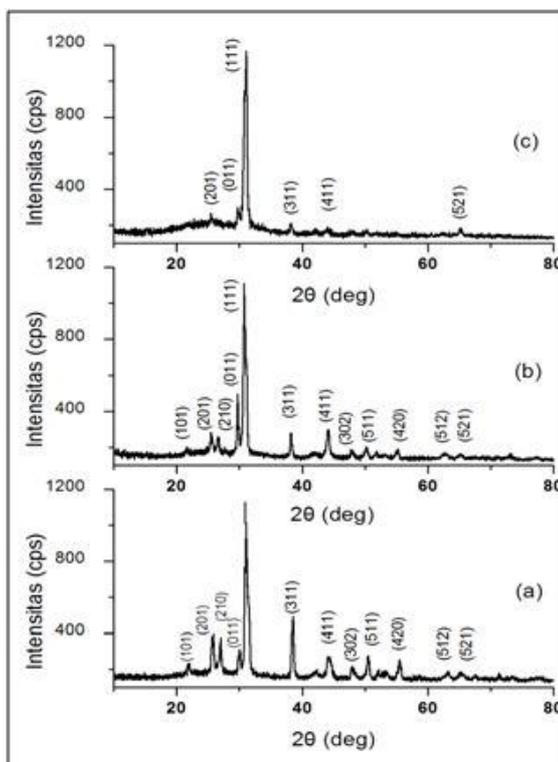
Gambar 1. Hasil Preparasi Lapisan Tipis (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3

Struktur Kristal dan Parameter Kisi Hasil XRD

Data yang diperoleh dari hasil XRD berupa spektrum yang menyatakan intensitas sebagai fungsi dari 2θ sebagai sudut difraksi dan d_{hkl} sebagai jarak antar bidang.

Difraktogram XRD hasil eksperimen dicocokkan dengan difraktogram data standar. Data standar diperoleh dari *database* JCPDS. Setelah dilakukan pencocokan diperoleh data yang paling cocok dengan sampel yaitu JCPDS nomor 48-1225. Data menunjukkan bahwa sampel $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ berada pada grup ruang

(*space group*) PNMA (62) dan mempunyai struktur orthorhombik.

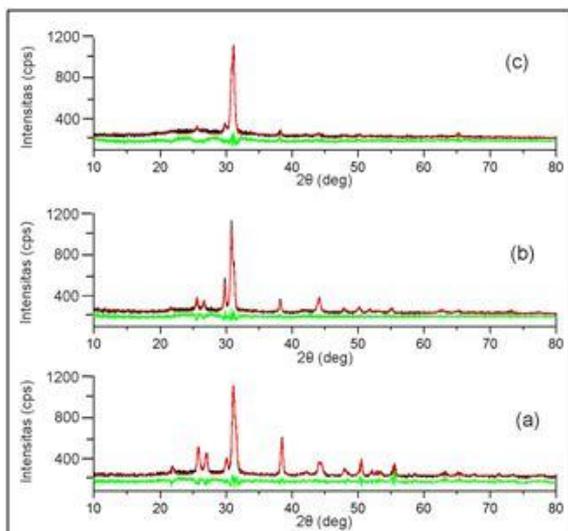


Gambar 2. Difraktogram Lapisan Tipis (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3.

Analisis Parameter Kisi

Penentuan parameter kisi $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ dilakukan dengan metode Le Bail dengan menggunakan program komputer LPHM-Rietica. Metode ini digunakan untuk *refinement* atau penghalusan data difraktogram hasil XRD. Cara kerja program ini adalah menjadikan data difraktogram hasil XRD sebagai data input pada program komputer LPHM-Rietica. Penghalusan dilakukan dengan melakukan pergeseran nilai-nilai parameter kisi dan parameter yang lain (misalnya *peak shape*/bentuk puncak) sehingga dihasilkan kemiripan struktur yang maksimal antara difraksi sinar-X hasil penelitian dengan struktur model acuan yang digunakan. Kemiripan antara difraksi sinar-X hasil penelitian dengan model acuan ditandai dengan adanya grafik residu (selisih antara intensitas puncak difraksi hasil penelitian

dengan kalkulasi) yang tergambar mendekati garis lurus.



Gambar 3. Hasil Refinement Metode Le Bail (a) Sampel 1, (b) Sampel 2, (c) Sampel 3.

Hasil *refinement* memberikan nilai parameter kisi untuk masing-masing sampel, kemudian nilai parameter kisi tersebut dibandingkan dengan data standar JCPDS.

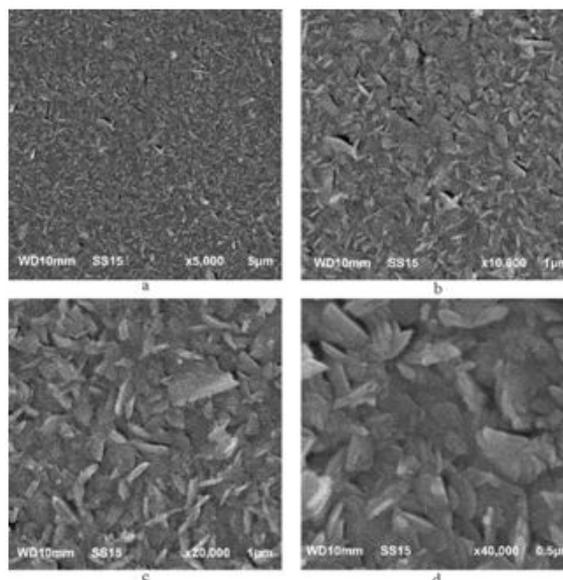
Tabel 1. Parameter Kisi Hasil Analisis Metode Le Bail pada Ketiga Sampel

Parameter Kisi	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	JCPDS
a (Å)	11.347	11.431	11.301	11.330
b (Å)	4.074	4.088	4.067	4.047
c (Å)	4.371	4.355	4.293	4.376

Berdasarkan data pada Tabel 1, variasi *spacer* tidak berpengaruh terhadap struktur kristal dan parameter kisi, tetapi menyebabkan perbedaan kualitas sampel yang ditunjukkan intensitas relatif pada difraktogram sampel dengan *spacer* 10 cm lebih tinggi daripada sampel dengan *spacer* 15 cm dan 25 cm. Intensitas yang tinggi menunjukkan keteraturan atom penyusun lapisan tipis juga tinggi.

Morfologi Permukaan Hasil SEM

Hasil karakterisasi SEM menghasilkan foto/citra yang menunjukkan morfologi permukaan lapisan tipis yang terbentuk.



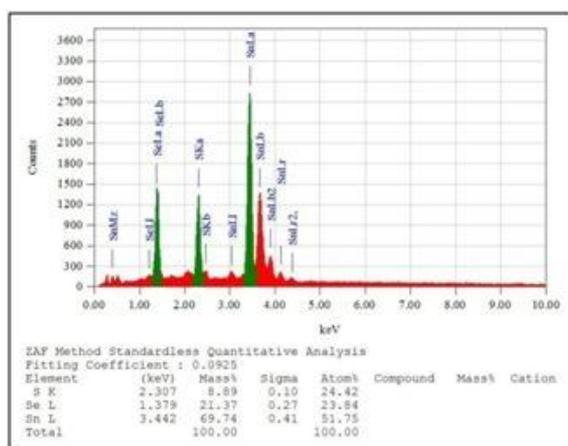
Gambar 4. Morfologi Permukaan Lapisan Tipis dengan Perbesaran (a) 5000x, (b) 10000x, (c) 20000x, (d) 40000x.

Foto permukaan lapisan tipis pada Gambar 4 menunjukkan bentuk partikel yang terlihat seperti kepingan berbentuk lonjong merupakan salah satu ciri kristal yang berstruktur orthorhombik dimana $a \neq b \neq c$. Ukuran butir (*grain*) $\sim 0,5 \mu\text{m}$ dan permukaannya homogen.

Komposisi Kimia Hasil EDAX

Hasil pengujian EDAX menampilkan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Analisis kualitatif digunakan untuk menentukan jenis unsur yang ada pada sampel. Pada analisis ini akan muncul puncak-puncak energi pada kurva yang telah dianalisis. Sedangkan analisis kuantitatif digunakan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur penyusun material yang telah dianalisis. Dari analisis kuantitatif ini ditampilkan unsur-unsur yang teridentifikasi lengkap dengan persentase massa dan

persentase atomik. Berikut adalah tampilan hasil karakterisasi EDAX lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ sampel 2 (*spacer* 15 cm) pada perbesaran 3.000x.



Gambar 5. Hasil Karakterisasi EDAX pada Perbesaran 3000x.

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ mengandung unsur Sn (Stannum/Tin), Se (Selenium), dan S (Sulfur). Adapun perbandingan persentase komposisi kimia unsur penyusunnya, yaitu Sn = 51,75 %, Se = 23,84 %, dan S = 24,42 %. Perbandingan molaritas unsur Sn, Se, dan S terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Molaritas Unsur Sn, Se, dan S pada Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$

Unsur	Konsentrasi (%)	Perbandingan Mol
Sn	51.75	1
Se	23.84	0.46
S	24.42	0.47

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa komposisi unsur lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ memiliki perbandingan molaritas 1:0,46:0,47. Sedangkan perbandingan molaritas secara teori adalah 1:0,5:0,5. Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa komposisi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ yang terbentuk hasilnya hampir sama dengan teoritis.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, dapat diambil kesimpulan bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ mempunyai struktur kristal orthorhombik dengan nilai parameter kisi: Sampel 1 (*spacer* 10 cm): $a = 11,347 \text{ \AA}$, $b = 4,074 \text{ \AA}$, $c = 4,371 \text{ \AA}$, Sampel 2 (*spacer* 15 cm): $a = 11,431 \text{ \AA}$, $b = 4,088 \text{ \AA}$, $c = 4,355 \text{ \AA}$, dan Sampel 3 (*spacer* 25 cm): $a = 11,301 \text{ \AA}$, $b = 4,067 \text{ \AA}$, $c = 4,293 \text{ \AA}$. Variasi *spacer* berpengaruh terhadap hasil preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ dimana semakin jauh jarak antara sumber dengan substrat akan dihasilkan lapisan tipis yang semakin buruk. Hasil SEM menunjukkan homogenitas warna pada lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ yang berarti bahan bersifat homogen dengan ukuran butir $\sim 0,5 \mu\text{m}$ dan berbentuk keping lonjong mengarah pada bentuk kristal orthorhombik. Lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$ mengandung unsur Sn, Se, dan S dengan perbandingan molaritas 1:0,46:0,47 yang hampir sama dengan teori, yaitu 1:0,5:0,5.

SARAN

Pemvakuman dilakukan sampai tekanan lebih rendah lagi untuk meminimalisasi adanya oksidasi pada saat preparasi. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sifat-sifat fotokonduktivitas, efek Hall, penentuan *energy gap*, resistivitas, mobilitas dan lain-lain. Penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan sel surya berbasis lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{S}_{0,5})$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brian Yulianto. (2011) Solar Cell, Sumber Energi Terbarukan Masa Depan. [Online]. <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/4034-solar-cell-sumber-energi-terbarukan-masa-depan-.html>

- [2] Ariswan, *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*. Yogyakarta: FMIPA UNY, 2010.
- [3] Yuliane Nau, "Efek Fotovoltaik pada Sel Fotoelektronika Berbasis Fotoelektroda Timah Sulfida dan Elektrolit Polimer Padat Kitosan," FMIPA IPB, Bogor, Skripsi 2012.
- [4] Kumar et.al., *Effects of Film Thickness on Optial Properties of Tin Selenide Thin Films Prepared by Thermal Evaporation for Photovoltaic Applications.*, 2012.
- [5] Milton Ohring, *Materials Science of Thin Films Deposition and Structure*. San Diego: Academic Press, 2002.
- [6] Parno, *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM, 2006.
- [7] Rolan Rusli, *Petunjuk Refinement Analisis Pola Difraksi Sinar-X Serbuk Menggunakan Metode Le Bail pada Program Rietica*. Bandung: ITB, 2011.
- [8] J. H. Poehl and Mary Anne, *XRD Refinement using Rietica*. Halifax: Dalhousie University, 2013.
- [9] Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics.*: John Wiley & Sons, 2005.
- [10] S. R. Rio and M. Ida, *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1982.
- [11] R. E. Smallman and R. J. Bishop, *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering (Science, Process, and Application)*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1999.