

STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA LAPIS TIPIS BAHAN SEMIKONDUKTOR Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) HASIL PREPARASI TEKNIK VAKUM EVAPORASI UNTUK APLIKASI SEL SURYA

THE STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF SEMICONDUCTOR MATERIAL Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) THIN FILM PREPARED USING EVAPORATION METHOD FOR SOLAR CELL APPLICATION

Joko Utomo dan Ariswan*

Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta

*email: ariswan@uny.ac.id

diterima 8 September 2015, disetujui 18 September 2015

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menumbuhkan lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan metode evaporasi. Peneliti dapat mengetahui pengaruh variasi *spacer* terhadap struktur, parameter kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}). Proses preparasi lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dilakukan menggunakan metode evaporasi yang bekerja pada tekanan sekitar 2×10^{-5} mbar. Proses pendeposisian lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dilakukan dengan memberikan *spacer* antara substrat dengan sumber yaitu 25 cm, 15 cm, dan 10 cm. Proses karakterisasi dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan struktur dan parameter kisi lapisan tipis, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk menentukan morfologi permukaan lapisan tipis dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) untuk menentukan komposisi lapisan tipis. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) merupakan polikristal dan memiliki struktur kristal *orthorombik* dengan nilai parameter kisi sampel 1 (*spacer* 25 cm): $a = 4,306 \text{ \AA}$, $b = 11,30 \text{ \AA}$, $c = 4,139 \text{ \AA}$; sampel 2 (*spacer* 15 cm): $a = 4,286 \text{ \AA}$, $b = 11,18 \text{ \AA}$, $c = 4,123 \text{ \AA}$; sampel 3 (*spacer* 10 cm): $a = 4,301 \text{ \AA}$, $b = 11,30 \text{ \AA}$, $c = 4,143 \text{ \AA}$. Hasil karakterisasi SEM pada Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) sampel 2 menunjukkan bahwa morfologi permukaan sampel terdiri atas butiran atau grain berbentuk keping lonjong dengan ukuran diameter butiran pada permukaan kristal sekitar 0,3 μm - 0,5 μm dan homogen. Hasil analisis EDAX, kristal Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) menunjukkan perbandingan persentase komposisi kimia lapisan tipis yaitu 1 : 0,11 : 0,79.

Kata kunci: metode evaporasi, semikonduktor Sn(Se_{0,2}S_{0,8}), sel surya, karakteristik bahan

Abstract

This research aims to grow a thin film Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) by evaporation method. The researcher can understand the effect of spacer variations towards the crystal structure, lattice parameter, surface morphology, and chemical composition of Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) thin film. The process of Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) thin film preparation was done by using the evaporation method with pressure about 2×10^{-5} mbar. The process of Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) thin film deposition was performed by giving some space between the substrate and the source i.e. 25 cm, 15 cm, and 10 cm. Characterization process was performed by using *X-ray Diffraction* (XRD) to determine the structure and parameter of thin film, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) to determine the thin film of surface morphology, and *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) to determine the chemical composition of the thin film. The result of XRD characterization show that the Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) thin film was polycrystalline and it has an *orthorombic* crystal structure, with the lattice parameter were sample 1 (*spacer* 25 cm): $a = 4.306 \text{ \AA}$, $b = 11.30 \text{ \AA}$, $c = 4.139 \text{ \AA}$; sample 2 (*spacer* 15 cm): $a = 4.286 \text{ \AA}$, $b = 11.18 \text{ \AA}$, $c = 4.123 \text{ \AA}$; sample 3 (*spacer* 10 cm): $a = 4.301 \text{ \AA}$, $b = 11.30 \text{ \AA}$, $c = 4.143 \text{ \AA}$. The result of SEM characterization in the sample 2 of Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) showed that the surface morphology of the sample consisted of homogeneous oval shaped grains, with the diameter size of crystal grains on the surface about 0.3 μm - 0.5 μm . The result of EDAX analysis showed that comparison of percentage of chemical composition thin film Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) was 1 : 0.11 : 0.79.

Keywords: evaporation method, semiconductor Sn(Se_{0,2}S_{0,8}), solar cell, material characteristics

Pendahuluan

Dari tahun ke tahun, pesatnya kemajuan teknologi membuat kebutuhan sumber energi meningkat pula. Salah satu energi yang digunakan dalam teknologi ini adalah energi listrik. Pemanfaatan energi listrik tidak diimbangi dengan jumlah bahan bakar fosil sebagai bahan utama energi listrik (terutama di Indonesia). Hal ini membuat sumber energi terus berkurang dari waktu ke waktu. Indonesia merupakan sebuah kepulauan yang berada pada garis khatulistiwa yang menjadikan Indonesia kaya akan radiasi matahari. Indonesia menerima energi surya yang radiasi energi rata-rata persatuan luas waktu kira-kira sebesar $4,8 \text{ kW/m}^2$ [1].

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat melimpah, tidak bersifat polutif, dan tidak membeli. Ada sebuah teknologi menggunakan piranti semikonduktor yang mampu mengubah energi radiasi matahari langsung menjadi energi listrik. Teknologi ini dinamakan dengan sel surya, sering juga disebut dengan *solar cell* atau *photovoltaic*. Kemajuan teknologi sel surya tidak terlepas juga dengan kemajuan teknologi semikonduktor [2]. Tetapi terdapat kendala penggunaan sel surya di Indonesia yakni efisiensi energi yang masih rendah dan masih mahal harganya harga piranti semikonduktor untuk kebanyakan lapisan masyarakat.

Penelitian oleh Triyo Haryanto [3] dengan bahan paduan PbSe menggunakan metode evaporasi belum mendapatkan hasil yang optimal karena pada *spacer* 15 cm yang terbentuk adalah *amorf*. Oleh sebab itu, rekayasa bahan semikonduktor selalu dikembangkan untuk mendapatkan efisiensi energi yang lebih besar dan tentunya lebih terjangkau. Bahan semikonduktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$ untuk mendapatkan kristal dari bahan semikonduktor.

Kristal dari bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$ merupakan hasil paduan tiga unsur (*ternary*), yaitu Sn (golongan IVA), Se (golongan VIA), dan S (golongan VIA). Pita energi (*energy band*) bahan semikonduktor SnSe memiliki energi gap sebesar 1 eV dan bahan semikonduktor SnS memiliki energi gap sebesar 1,3 - 1,83 eV.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan dalam penumbuhan kristal lapisan tipis [4] adalah metode evaporasi. Metode evaporasi adalah salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Metode evaporasi [5] dibedakan menjadi dua yakni metode evaporasi klasik dan metode

evaporasi *splash*. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah evaporasi klasik. Pada metode evaporasi untuk mendapatkan kualitas lapisan tipis yang baik, perlu diperhatikan jarak penempatan antara sumber atau bahan pada filamen dengan substrat (*spacer*). Oleh sebab itu, perlu diteliti pengaruh *spacer* terhadap hasil akhir lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$ untuk mendapatkan kualitas lapisan tipis yang paling baik.

Untuk mengetahui karakteristik lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$, perlu dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX). XRD digunakan untuk mengetahui struktur dari kristal dan parameter kisi. SEM untuk mengetahui struktur morfologi permukaan bahan. EDAX untuk mengetahui komposisi kimia bahan secara kuantitatif.

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dari bulan Januari 2014 – April 2014 dan dilakukan di Laboratorium Fisika Material UNY, Laboratorium Kimia Organik UNY, dan Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu UGM

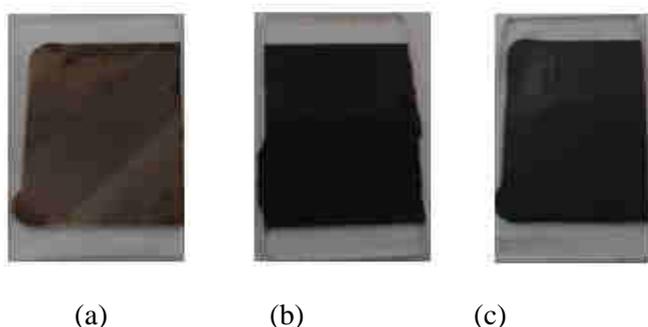
Penelitian ini secara garis besar meliputi 3 tahap, yaitu tahap persiapan bahan, preparasi, dan karakterisasi. Tahap persiapan bahan yang dilakukan dengan menyiapkan paduan bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$ dan kaca substrat untuk proses evaporasi. Tahap preparasi bahan adalah tahap penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$ menggunakan teknik evaporasi yang bekerja pada tekanan sekitar 2×10^{-5} mbar, yaitu dengan memanaskan bahan pada *crucible* dengan suhu yang tinggi sehingga akan terdeposisi pada substrat kaca dan membentuk lapisan tipis. Tahap karakterisasi dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi dari lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{S}_{0,8})$ menggunakan XRD, morfologi permukaan menggunakan SEM, dan komposisi kimia menggunakan EDAX.

Teknik Analisis Data. Data yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan XRD merupakan hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi 2θ . Hasil yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan data Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS) sehingga akan diperoleh bidang-bidang hkl sampel. Parameter kisi (a, b, c) dapat diperoleh dengan metode analitik kemudian dapat dibandingkan dengan data standar JCPDS. Struktur

morfologi sampel diketahui dengan pengujian SEM. Komposisi kimia yang terkandung dalam sampel dapat diketahui dengan pengujian EDAX.

Hasil dan Pembahasan

Preparasi dengan teknik vakum evaporasi menggunakan 3 variasi spacer yaitu spacer 25 cm untuk sampel 1, 15 cm untuk sampel 2, dan 10 cm untuk sampel 3. Gambar 1 menunjukkan sampel yang diperoleh dalam penelitian.



Gambar 1. Hasil preparasi lapisan tipis (a) sampel 1, (b) sampel 2, dan (c) sampel 3.

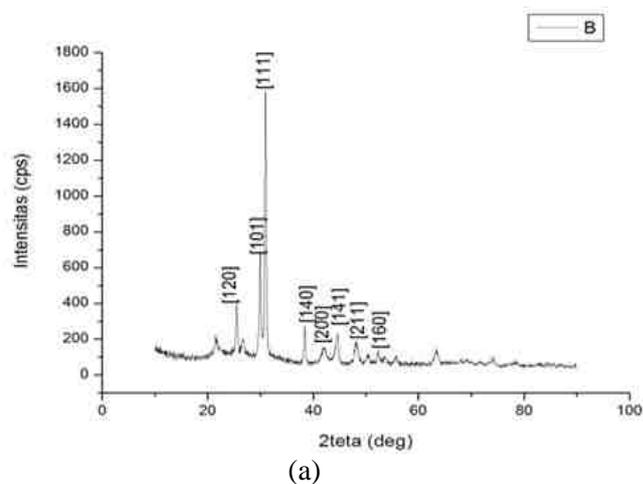
Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Hasil X-Ray Diffraction (XRD)

Data yang diperoleh dari XRD adalah grafik hubungan antara 2θ dengan intensitas, dengan 2θ berada di sumbu horisontal sebagai variabel bebas, sedangkan intensitas di sumbu vertikal sebagai variabel terikat. Pola difraksi lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan jarak spacer 25 cm, 15 cm, dan 10 cm yang ditampilkan dalam bentuk difraktogram dari hasil karakterisasi XRD ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

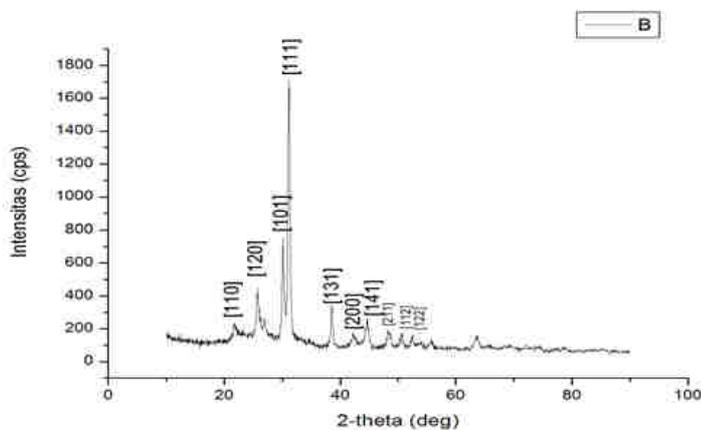
Difraktogram XRD hasil penelitian dicocokkan dengan difraktogram data standar. Informasi dari JCPDS memberikan informasi tentang indeks Miller. Informasi berupa sistem kristal yang terbentuk yaitu *orthorombik*. Parameter kisi kristal (*a*, *b*, dan *c*), yang dapat dibandingkan dengan secara analitik menggunakan persamaan:

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

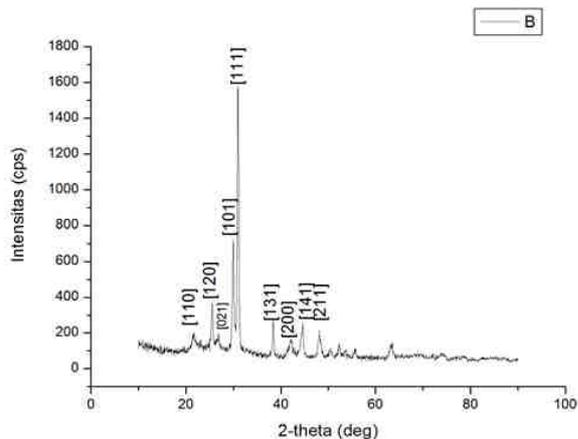
Hasil perbandingan parameter kisi secara analitik dari sampel Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) yang diperoleh dari data penelitian dengan data JCPDS ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Difraktogram XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan spacer 25 cm



Gambar 3. Difraktogram XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan spacer 15 cm.



Gambar 4. Difraktogram XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan *spacer* 10 cm.

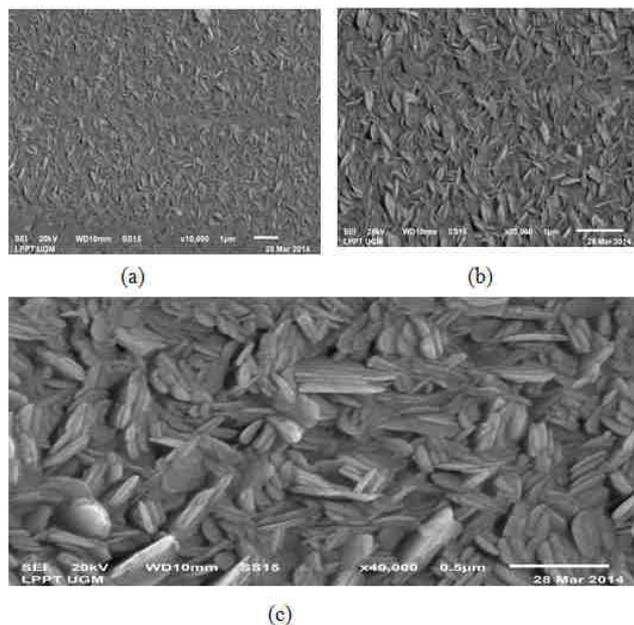
Tabel 1. Parameter kisi kristal paduan Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) untuk sampel 1, sampel 2, dan sampel 3 dengan data JCPDS.

Parameter kisi	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	JCPDS SnS
<i>a</i> (Å)	4,306	4,286	4,301	4,334
<i>b</i> (Å)	11,30	11,18	11,30	11,20
<i>c</i> (Å)	4,139	4,123	4,143	3,98

Pada Gambar 2, 3, dan 4, yang memiliki intensitas puncak tertinggi yaitu sampel 2 (*spacer* 15 cm) dengan intensitas puncak tertinggi yaitu 1728 (cps deg), yang artinya keteraturan atom dalam permukaan lapisan tipis paling bagus daripada dua *spacer* yang lainnya. Pada Tabel 1, data yang diperoleh saat penelitian hampir sama dengan data JCPDS. Data yang paling mendekati dengan data JCPDS adalah sampel 2 yang memiliki jarak *spacer* 15 cm. Jadi *spacer* 15 cm memiliki kualitas paling bagus daripada *spacer* 25 cm dan 10 cm ditinjau dari intensitas tertinggi dan kedekatan dengan nilai parameter kisi pada JCPDS.

Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pada karakterisasi dengan SEM ini, lapisan tipis yang diuji adalah bahan lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) sampel 2 yang memiliki jarak *spacer* 15 cm. Hasil dari SEM berupa foto permukaan dari kristal yang terbentuk, yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Morfologi permukaan lapisan tipis dengan perbesaran (a) 10.000x, (b) 20.000x, dan (c) 40.000x.

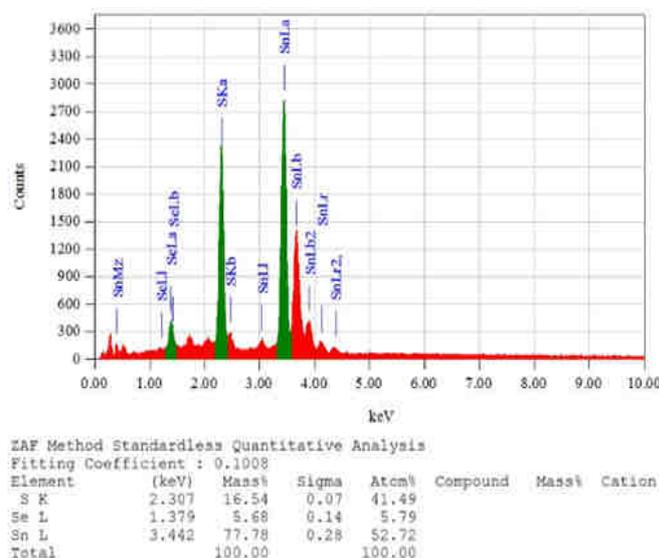
Foto yang dihasilkan terlihat butiran (*grain*) yang berbentuk lonjong. Sesuai dengan struktur kristal *orthorombik* karena memiliki salah satu parameter kisi yang panjang. Terlihat juga homogenitas dari kristal yang terbentuk. Kehomogenan ini ditunjukkan dari bentuk dan warna kristal yang hampir seragam.

Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)

Hasil dari EDAX berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara energi dan intensitas yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-X karakteristik dari bahan yang dikarakterisasi. Hasil EDAX yang dilakukan pada bahan lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) sampel 2 dapat dilihat pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX untuk lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dapat diketahui bahwa preparasi kristal semikonduktor lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Sulfur* (S). Preparasi kristal bahan paduan lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan metode evaporasi untuk sampel 2 dapat diketahui perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasarnya, yaitu unsur Sn = 52,72% ; Se = 5,79% ; Sn = 41,49%. Perbandingan komposisi unsur

kristal semikonduktor Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan hasil karakterisasi EDAX dengan teori, dapat dilihat pada Tabel 2



Gambar 6. Grafik antara intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dengan teknik evaporasi.

Tabel 2. Perbandingan molaritas unsur Sn : Se : S pada kristal semikonduktor Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) dari hasil karakterisasi EDAX untuk sampel 2 dengan secara teori.

Perbandingan	mol unsur		
	Sn	Se	S
Pencocokan data			
Secara penelitian (EDAX)	1	0,11	0,79
Secara teori	1	0,2	0,8

Berdasarkan Tabel 2, hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa hasil komposisi kimia dari analisis EDAX dibandingkan dengan teori hasilnya hampir sama. Tetapi ada perbedaan perbandingan molaritas pada unsur Se yang hanya 0,11 sedangkan secara teori yakni 0,2. Hal ini menunjukkan bahwa bahan sangat *non stoichiometry*, yang artinya tidak menempel dengan sempurna uap pada substrat. Ini disebabkan

diantaranya uap yang bergerak ke atas tidak sampai menempel ke substrat, atau uap memiliki kecepatan yang tinggi dan akhirnya terpental dari substrat dan tidak menempel pada substrat, serta bahan paduan lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) miskin bahan *selenium* (Se). Unsur-unsur lain pada saat proses karakterisasi, diantaranya ada unsur C yang muncul pada saat dilakukan karakterisasi EDAX, maka perlu karbonisasi di karakterisasi EDAX. Selain C ada unsur lain yaitu unsur Si yang muncul karena pada substrat kaca mengandung unsur Si, dan unsur O karena adanya oksidasi atau terikatnya oksigen pada sampel akibat interaksi sampel dengan udara luar. Pada hasil karakterisasi EDAX, diketahui proses bahan yang dilakukan sudah berhasil, yaitu dengan terbentuknya unsur Sn, Se, dan S.

Simpulan

Hasil analisis data XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) memiliki karakteristik struktur kristal *orthorombik* dengan nilai parameter kisi secara berturut-turut a = 4,306 Å, b = 11,30 Å, dan c = 4,139 Å untuk sampel 1; a = 4,286 Å, b = 11,18 Å, dan c = 4,123 Å untuk sampel 2; dan a = 4,301 Å, b = 11,20 Å, dan c = 3,98 Å untuk sampel 3. Berdasarkan data SEM lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) menunjukkan butiran-butiran yang berwarna sama dan berbentuk homogen, dengan ukuran *grain* berorde (0,3 - 0,5) µm. Lapisan tipis Sn(Se_{0,2}S_{0,8}) mengandung unsur Sn, Se, dan S dengan perbandingan molaritas 1 : 0,11 : 0,79 sedangkan pada teori, yaitu 1 : 0,2 : 0,8. Pada sampel 2 dengan *spacer* 15 cm memiliki kualitas lapisan tipis paling baik, ditinjau dari parameter kisi yang sesuai dengan data JCPDS dan intensitas puncak yang tertinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan dana dan fasilitas laboratorium untuk pelaksanaan penelitian ini serta mahasiswa-mahasiswa yang tergabung dalam penelitian payung ini.

Pustaka

- [1] Ariswan (2010) *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- [2] R. Rio dan L. Masamori (1982) *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta
- [3] T. Haryanto (2013) *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Pbse Dengan Teknik Evaporasi*, *Skripsi*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta
- [4] M. Ohring (2002) *The Materials Science of Thin Films*, Second Edition, Academic Press, London
- [5] R. E. Smallman, dan R. J. Bishop (1999) *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering Science, Process, Applications*, Sixth Edition, Butterworth-Heinemann, New York