

PENGARUH SUHU SUBSTRAT TERHADAP KUALITAS KRISTAL LAPISAN TIPIS $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI VAKUM

THE EFFECT OF SUBSTRATE TEMPERATURE ON $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ THIN FILMS CRYSTAL QUALITY PREPARED BY VACUUM EVAPORATION TECHNIQUES

Oleh :

Vina Henri Tunita Ningrum¹⁾, Dr. Ariswan²⁾

vhentri@gmail.com¹⁾, ariswan@uny.ac.id²⁾

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu substrat terhadap kualitas, struktur, parameter kisi kristal, morfologi permukaan dan komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$. Proses preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan teknik evaporasi vakum dengan massa bahan 0,2 gram, tekanan vakum 4×10^{-5} mbar, dan *spacer* 15 cm. Variasi suhu substrat yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis, yaitu 250°C, 300°C, dan 350°C. Hasil preparasi dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan kristal, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) untuk mengetahui komposisi kimia. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk memiliki struktur kristal kubik. Nilai parameter kisi (suhu substrat 250°C) : $a = 6,157 \text{ \AA}$, (suhu substrat 300°C): $a = 6,157 \text{ \AA}$, dan (suhu substrat 350°C): $a = 6,167 \text{ \AA}$. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan morfologi permukaan dari lapisan tipis yang terbentuk tersusun atas butiran (*grain*) yang berbentuk bulat. Sifat homogen kristal dapat dilihat dari bentuk, struktur, dan warna yang seragam dengan diameter rata-rata *grain* $0,1005 \mu\text{m}$. Hasil karakterisasi EDAX diperoleh perbandingan molaritas unsur Sn:Se:Te yaitu 1:0,44:0,51.

Kata kunci: semikonduktor, lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$, teknik evaporasi vakum

Abstract

This research aimed to determine the effect of substrate temperature variation on the quality, structure, crystal lattice parameter, surface morphology and chemical composition of the $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ thin film. Preparation process of $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ thin film using vacuum evaporation technique with 0,2 gram mass of material, vacuum pressure of 4×10^{-5} mbar, and 15 cm spacer. A substrate temperature variations which were 250°C, 300°C, and 350°C. The result of preparation, then were characterized by XRD (X-Ray Diffraction) to determine the crystal structure, SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine the crystal surface morphology, and EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray) to determine chemical composition. The result of XRD characterization showed that crystal form have cubic crystal structure. The values of lattice parameter on (substrate temperature of 250°C) were $a = 6,157 \text{ \AA}$, sample 2 (substrate temperature of 300°C) were $a = 6,157 \text{ \AA}$, and sample 3 (substrate temperature of 350°C) were $a = 6,167 \text{ \AA}$. The result of SEM characterization showed that the surface morphology of thin film consisted of round grains. Homogeneous structure marked by the uniformity of shape, structure, and colour, with about $0,1005 \text{ \mu m}$ particle size. The result of EDAX characterization obtained comparison molarity elements of Sn:Se:Te was 1:0,44:0,51.

Key words : semiconductor, $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ thin film, vacuum evaporation techniques

PENDAHULUAN

Jenis-jenis piranti elektronik dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan daya hantar listriknya yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. Konduktor merupakan bahan yang memiliki sifat konduktivitas tinggi. Sedangkan bahan isolator merupakan bahan yang memiliki sifat konduktivitas rendah. Bahan yang memiliki sifat konduktivitas seperti konduktor dan juga bisa memiliki sifat isolator disebut dengan bahan semikonduktor. Sifat-sifat listrik yang unik dari komponen semikonduktor dapat memecahkan sebagian persoalan elektronika, sehingga dikembangkan piranti elektronika yang terbuat dari bahan semikonduktor yang memiliki efisiensi tinggi (Reka Rio, 1982: 51). Contoh bahan semikonduktor yang sering digunakan dalam penelitian antara lain: silikon (Si), germanium (Ge), dan kadmium sulfida (CdS). Sekarang ini, Silikon (Si) biasa digunakan pada devais elektronik, seperti dioda, transistor, IC (integrated circuit) namun untuk masa mendatang, penggunaan GaAs memiliki potensi besar sebagai pengganti Si dalam devais elektronik (Sastra Kusuma Wijaya, 1992: 119).

Silikon dan germanium adalah material yang cukup banyak dipelajari dan diteliti karena harganya yang relatif murah

dan mudah didapatkan. Selain kedua material tersebut, terdapat berbagai macam material paduan dari golongan II-VI atau III-V baik yang *binary* (paduan 2 unsur), maupun *ternary* (paduan 3 unsur) untuk bahan penelitian (Agus Setiawan, dkk, 2007: 2-3). Contoh lain bahan semikonduktor yang terdiri paduan 2 unsur (*binary*) adalah SnSe dan SnTe. SnSe dengan nama ilmiah *Stannum Selenium* merupakan unsur yang berasal dari golongan (IVA dan VIA) dengan energi gap sebesar 1,9 eV, sedangkan SnTe (*Stannum Tellurium*) juga berasal dari golongan yang sama yakni (IVA dan VIA) dengan energi gap sebesar 0,4 eV (Qian Zhang, 2013: 1). SnTe dapat diaplikasikan dalam deteksi inframerah karena memiliki panjang gelombang (3-14) μm , detektor foto, dan pembuatan lapisan tipis fotovoltaiik (Saini, 2010). Sedangkan SnSe dapat digunakan untuk aplikasi sel surya. Dalam pembuatan sel surya bahan semikonduktor yang dihasilkan harus memiliki panjang gelombang pada rentang (350-700) nm (Hidayat, 2016).

Pada penelitian kali ini dibuatlah bahan semikonduktor dengan paduan 3 unsur (*ternary*) yaitu $\text{Sn}(\text{Se}_x\text{Te}_{1-x})$. Bahan semikonduktor yang dipilih adalah $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan perbandingan molaritas Sn : Se : Te yaitu 1 : 0,4 : 0,6.

Dopping Se pada SnTe dilakukan karena unsur Se dan Te berada dalam kolom periodik yang sama dan diharapkan unsur Se dapat menaikkan energi gap dari paduan SnTe. Sehingga diharapkan paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ mampu menghasilkan energi gap diantara paduan SnTe dan SnSe yaitu (0,4–1,9) eV. Rentang pada energi gap tersebut dianggap cocok untuk aplikasi optoelektronika seperti detektor inframerah, karena energi gap yang cocok untuk inframerah sekitar 0,4 eV sampai 1,1 eV. Celah energi atau energi gap yang kecil mendekati 1 eV ($E_g \sim 1,1$ eV) akan mencerminkan kemudahan dalam proses eksitasi elektron sehingga sifat kepekaan bahan terhadap cahaya (fotosensitivitas) cenderung lebih kuat (Swaztyant Saputra, dkk, 2014). Oleh karena itu, bahan semikonduktor bisa dimanfaatkan sebagai lapisan aktif pada komponen-komponen elektronik maupun komponen optoelektronika, salah satunya berupa lapisan tipis.

Teknik pembuatan lapisan tipis dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan teknik evaporasi vakum. Teknik evaporasi vakum ialah teknik deposisi lapisan tipis bahan semikonduktor dimana untuk menempelkan bahan pada substratnya dilakukan pada keadaan vakum. Alat yang digunakan dalam proses evaporasi disebut evaporator. Evaporasi vakum bekerja

dengan menguapkan bahan didalam ruang hampa dengan melakukan pemanasan dan memberi tekanan pada bahan lapisan tipis. Menurut Triyo Haryanto (2013: 4) tekanan juga berpengaruh terhadap kualitas kristal yang terbentuk. Semakin rendah tekanan yang diberikan, maka kualitas lapisan tipis yang diperoleh akan semakin baik.

Saat proses evaporasi ada parameter yang akan divariasi yakni suhu substrat. Suhu substrat memiliki peran untuk merenggangkan susunan atom hingga timbul celah, dan menyebabkan atom-atom yang menguap dari target lebih mudah masuk menempati posisi intersisi atau kekosongan pada batas butir untuk membentuk lapisan lapisan (Van Vlack, 2004).

Lapisan tipis yang sudah terbentuk kemudian dilakukan pengujian agar dapat diketahui karakteristiknya. Uji XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan guna mengetahui struktur kristal yang terbentuk. Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan yang berupa butiran kristalnya. Uji EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan secara kuantitatif dengan memanfaatkan interaksi tumbukan berkas elektron dengan material.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2017 sampai dengan Juni 2017 di Laboratorium Fisika Material UNY, Laboratorium Kimia Organik FMIPA UNY, dan Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

Langkah Penelitian

Penelitian ini meliputi 2 tahapan, tahap I meliputi persiapan, preparasi bahan, dan pengambilan hasil preparasi. Penelitian tahap II meliputi karakterisasi bahan. Tahap 1 merupakan tahap penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan teknik evaporasi vakum yang bekerja pada tekanan $\sim 10^{-5}$ mbar dan dilakukan variasi suhu substrat sebanyak 3 kali, yaitu suhu 250°C , 300°C , dan 350°C . Bahan pada cawan dipanaskan sehingga terdeposisi pada substrat kaca dan terbentuklah lapisan tipis. Tahap II merupakan tahap karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal menggunakan XRD, morfologi permukaan menggunakan SEM, dan komposisi kimia menggunakan EDAX.

Teknik Analisis Data

Hasil XRD berupa difraktogram. Kemudian dilakukan pencocokan data penelitian dengan data standar (JCPDS)

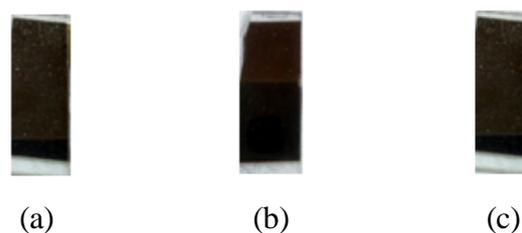
sehingga diperoleh struktur kristal. Parameter kisi kristal ditentukan dengan metode analitik. Hasil SEM berupa foto yang memuat informasi ukuran butiran (*grain*) dan homogenitas permukaan. Hasil EDAX berupa spektrum intensitas terhadap energi yang memuat informasi komposisi kimia sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Preparasi Lapisan Tipis

$\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$

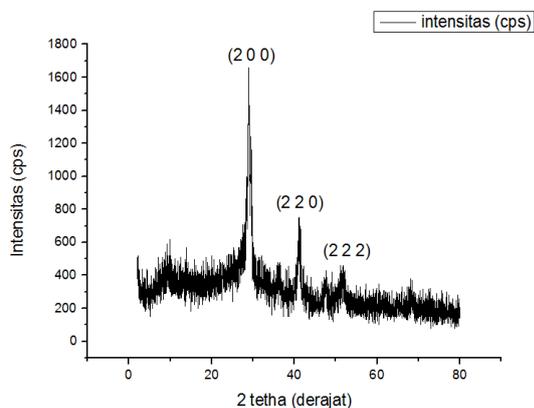
Pada penelitian ini dihasilkan 3 sampel lapisan tipis dengan suhu substrat 250°C , 300°C , dan 350°C yang dapat ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



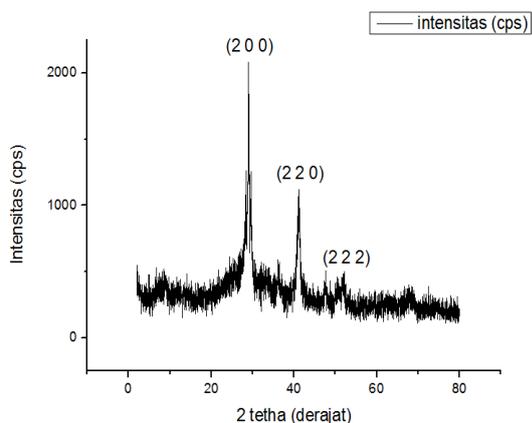
Gambar 1. Hasil Preparasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ (a) sampel 1 suhu 250°C , (b) sampel 2 suhu 300°C , (c) sampel 3 350°C .

Data yang diperoleh dari XRD berupa difraktogram, yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2, 3, dan 4 yang menyatakan grafik hubungan antara intensitas (I) puncak spektrum kristal dan sudut hamburan (2θ). Difraktogram XRD hasil penelitian kemudian dicocokkan

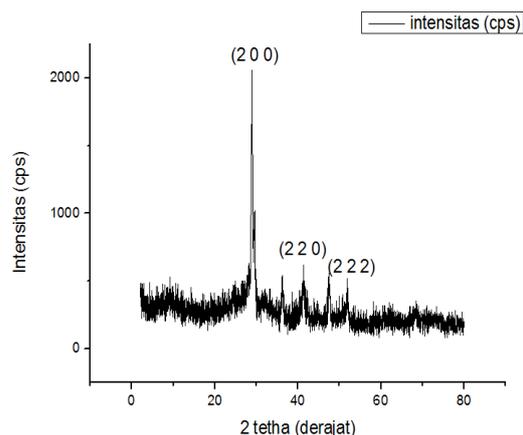
dengan difraktogram data standar. Data standar diperoleh dari *database* JCPDS menunjukkan bahwa sampel $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ mempunyai struktur kristal kubik.



Gambar 2. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 250 °C



Gambar 3. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 300 °C



Gambar 4. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 350°C

Berdasarkan Gambar 2,3, dan 4, variasi suhu substrat tidak berpengaruh terhadap struktur kristal tetapi menyebabkan perbedaan intensitas pada difraktogram sampel 3 dengan suhu substrat 350°C lebih tinggi dari pada sampel lainnya. Intensitas pada difraktogram menggambarkan keteraturan atom-atom pada kristal lapisan tipis, semakin tinggi intensitas maka semakin teratur susunan atom-atom pada lapisan tipis tersebut.

Pencocokan difraktogram hasil penelitian dengan JCPDS juga berguna untuk mengetahui nilai *hkl* yang dapat digunakan dalam penentuan parameter kisi. Hasil perbandingan data difraktogram tiap sampel dengan JCPDS disajikan dalam tabel 1,2, dan 3.

Tabel 1. Perbandingan Hasil XRD Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) sampel 1 dengan JCPDS

Peak	Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) sampel 1		SnTe JCPDS		hkl
	2θ (°)	I(%)	2θ (°)	I(%)	
1	28,98	100	28,19	100	200
2	41,13	33	40,28	50	220
3	51,8	9	49,88	14	222

Tabel 2. Perbandingan Hasil XRD Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) sampel 2 dengan JCPDS

Peak	Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) sampel 2		SnTe JCPDS		hkl
	2θ (°)	I(%)	2θ (°)	I(%)	
1	28,39	44	28,19	100	200
2	28,974	100	28,19	100	200
3	41,13	48	49,88	14	222

Tabel 3. Perbandingan Hasil XRD Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) sampel 3 dengan JCPDS

Peak	Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) sampel 3		SnTe JCPDS		hkl
	2θ (°)	I(%)	2θ (°)	I(%)	
1	28,913	100	28,19	100	200
2	41,39	11	40,283	50	220
3	51,91	15	49,88	14	222

Penentuan parameter kisi Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) dilakukan dengan metode analitik. Kemudian parameter kisi hasil penelitian dibandingkan dengan data JCPDS seperti pada Tabel 4.

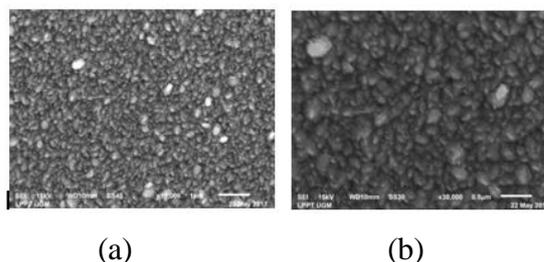
Tabel 4. Parameter Kisi Hasil Penelitian terhadap JCPDS

parameter kisi	Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$)			
	sampel 1	sampel 2	sampel 3	JCPDS
a (Å)	6,157	6,157	6,167	6,303
Struktur	Kubik	Kubik	Kubik	Kubik

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui parameter kisi a hasil penelitian lapisan tipis Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) dan data JCPDS. Dari ketiga sampel tidak memiliki perbedaan yang besar terhadap parameter kisi. Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi suhu substrat tidak mempengaruhi parameter kisi dan juga struktur kristal, namun berpengaruh terhadap intensitasnya.

Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) dengan SEM

Karakterisasi SEM menghasilkan foto yang menunjukkan morfologi permukaan lapisan tipis yang terbentuk, sebagai berikut:



Gambar 5. Morfologi Permukaan Lapisan Tipis dengan Perbesaran (a) 30.000 kali (b) 60.000 kali

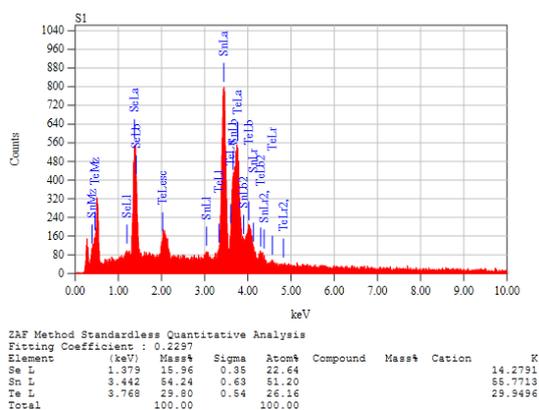
pada Gambar 5 (a) dengan perbesaran 15.000 kali, (b) perbesaran 30.000 kali memperlihatkan bahwa butiran grain sudah terlihat pada hasil analisis SEM untuk lapisan tipis Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$).

Hasil analisis SEM untuk lapisan tipis Sn($Se_{0,4}Te_{0,6}$) memperlihatkan adanya keseragaman bentuk, struktur, dan warna butir kecil-kecil (grain) yang berukuran

0,1 μm sehingga morfologi permukaan cukup merata dan terdistribusi secara homogen.

Komposisi Kimia Hasil EDAX

Hasil pengujian EDS menampilkan analisis kualitatif dan 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. Gambar 6 adalah tampilan hasil karakterisasi EDAX lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$.



Gambar 6. Karakterisasi EDAX lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$.

Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX diketahui bahwa preparasi kristal semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ mengandung unsur *Stannum* (Sn),

Selenium (Se), dan *Tellurium* (Te), serta dapat diketahui perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasarnya, yaitu unsur Sn = 52,20 %, Se = 22,64 % , dan Te = 26,16 %. Perbandingan persentase konsentrasi unsur dan perbandingan mol unsur dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Persentase Konsentrasi Unsur dan Perbandingan Mol Unsur

Konsentrasi Unsur (%)			Perbandingan Mol Unsur		
Sn	Se	Te	Sn	Se	Te
51,20	22,64	26,16	1	0,44	0,51

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa komposisi kimia unsur lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ memiliki perbandingan mol unsur Sn, Se, dan Te adalah 1 : 0,44 : 0,51 dengan perbandingan mol unsur secara teori yaitu 1 : 0,4 : 0,6.

Dari hasil tersebut terdapat ketidaksesuaian perbandingan mol secara eksperimen dan teori karena perubahan komposisi Se dan Te. Ketidaksesuaian tersebut menandakan bahwa kristal mengalami peristiwa *non-stoichiometry*. Peristiwa itu dapat terjadi saat proses pendeposisian lapisan tipis, bahan yang berada di dalam *crucible* belum sepenuhnya menguap, sehingga masih ada bahan yang tertinggal dan tidak menempel secara sempurna pada substrat.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan bahwa karakterisasi XRD menunjukkan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum mempunyai struktur kristal kubik dengan parameter kisi sampel 1 dengan suhu substrat 250°C $a=b=c= 6,157\text{\AA}$. sampel 2, dengan suhu substrat 300°C $a=b=c= 6,157\text{\AA}$, sampel 3, dengan suhu substrat 350°C $a=b=c= 6,167\text{\AA}$. Dari hasil tersebut terlihat bahwa suhu substrat tidak berpengaruh terhadap parameter kisi dan juga struktur kristalnya. Semakin tinggi temperatur substrat akan menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas kristal yang semakin baik. Hal ini ditunjukkan oleh difraktogram sampel 3 (temperatur substrat 350°C) yang mempunyai intensitas lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya. Intensitas yang tinggi juga menentukan keteraturan atom-atom pada kristal lapisan tipis yang terbentuk.

Hasil karakterisasi dengan SEM dapat diketahui bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ memiliki morfologi permukaan yang tersusun atas butiran (*grain*) yang menunjukkan adanya keseragaman bentuk, struktur, dan warna kristal sehingga morfologi cukup merata dan terdistribusi secara homogen dengan

diameter rata-rata partikel sebesar $0,1005\ \mu\text{m}$. Sedangkan karakterisasi dengan EDAX dapat diketahui bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ mempunyai komposisi kimia *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te) dengan persentase komposisi kimia Sn=51,20%, Se=22,64%, dan Te=26,16%. Perbandingan molaritas dari Sn:Se:Te=1:0,44:0,51. Sedangkan perbandingan secara teori sebesar 1:0,4:0,6. Perbandingan molaritas unsur Se dan Te yang berbeda menunjukkan bahan tersebut mengalami peristiwa *non-stoichiometry*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setiawan, dkk. (2007). *Semikonduktor, Modul*. Universitas Pendidikan Indonesia: FMIPA dan IPA UPI.
- Haryanto, Triyo. (2013). Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis PbSe Dengan Teknik Evaporasi. *Skripsi*. UNY: FMIPA.
- Hidayat, Nuril. (2016). Studi Pengaruh Massa Bahan terhadap Kualitas Kristal Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum. *Jurnal*. UNY: FMIPA UNY.
- Qian Zhang, dkk. (2013). High Thermoelectric Performance by Resonant Dopant Indium in

- Nanostructured SnTe. *Jurnal*.
Houston: University of Houston.
- Rio, S.R., & Iida, M. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Saini, R. et. Al. (2010). *Structural and Electrical Characterization of Sinters SnTe Films*. *Jurnal*, Department of Physics.
- Swaztyant Saputra, dkk. (2014). *Kajian Teoritis untuk Menentukan Celah Energi Kompleks 8-hidroksiquinolin Terkonjugasi Logam Besi dengan Menggunakan Teori Kerapatan Fungsional*. *Jurnal*. Universitas Negeri Surabaya. Vol.3 No.2
- Vlack, Van. (2004). *Elemen-Elemen & ilmu Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Wijaya, Sastra Kusuma. (1992). *Semikonduktor, Diktat kuliah elektronika 1*. Jakarta: FMIPA UI.