

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

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Oleh  
Vina Hentri Tunita Ningrum  
13306141032

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2017**

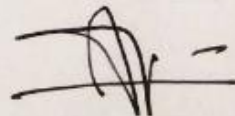
## PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Studi tentang Pengaruh Suhu Substrat terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum” yang disusun oleh Vina Hentri Tunita Ningrum, NIM 13306141032 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 20 Juni 2017

Dosen Pembimbing



Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Studi tentang Pengaruh Suhu Substrat terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum” yang disusun oleh Vina Hneteri Tunita Ningrum, NIM 13306141032 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 11 Juli 2017 dan dinyatakan lulus.

### DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Ariswan</u> NIP 19590914 198803 1 003	Ketua Penguji		15-07-2017
<u>Denny Darmawan, M.Sc.</u> NIP 19791202 200312 1 002	Sekretaris Penguji		13-07-2017
<u>Dr. Heru Kuswanto</u> NIP 19611112 198702 1 001	Penguji Utama		13-07-2017

Yogyakarta, 17 Juli 2017

Fakultas MIPA



Dr. Hartono

NIP 19620329 198702 1 002

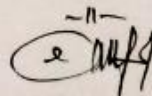
## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan dosen penguji yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi ditunda yudisium pada periode berikutnya.

Yogyakarta, 15 Juni 2017

Yang menyatakan,



Vina Hentri Tunita Ningrum

NIM 13306141032

## **MOTTO**

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah 94: 5-6)

“Man jadda wajada”

(barang siapa bersungguh-sungguh pasti akan membuahkan hasil)

“Hasil tidak pernah mengkhianati usaha jika kita mau berjuang keras dalam menggapainya ”

“Jangan takut akan kegagalan, karena kegagalan merupakan kunci awal meraih kesuksesan”

## **PERSEMBAHAN**

Karya tulis sederhana ini saya persembahkan sebagai ungkapan rasa syukur, dan terima kasih kepada:

1. Bapak dan ibu tercinta (Sarni dan Jamilatun Fitkah) terima kasih telah memberikan cinta, kasih sayang, doa, dukungan, pembelajaran, dan pengorbanan yang telah diberikan kepada saya selama ini dengan tulus ikhlas.
2. Kakakku (Indah Puspitawati) yang selalu memberikan nasihat, semangat, kasih sayang kepada adiknya dalam menjalani kehidupan.
3. Dosen Pembimbing (Bapak Dr. Ariswan) yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, arahan dan masukan hingga terselesainya skripsi ini.
4. Teman penelitian Skripsi Lapisan Tipis dan bimbingan Dr. Ariswan (Zainal, Fani, Wida, Aulia, In, Desi, dan Lala) yang selalu menemani, berbagi ilmu, memberi bantuan dan semangat selama penelitian skripsi.
5. Sahabat terbaikku (Fitri dan Rinda) yang selalu setia menemani dikala suka duka, senantiasa memberi nasihat, semangat, dan bantuannya.
6. Teman-teman Fisika B 2013 yang tak terasa menemani perkuliahan selama 4 tahun ini, yang telah memberi inspirasi dan motivasi.
7. Teman terdekatku (Zainal Arifin) terima kasih telah memberi semangat, nasihat, inspirasi, dan motivasi selama ini.
8. Teman-teman kontrakanku (Wilud dan Dije) terima kasih telah menjadi sahabat, teman dan keluarga keduaku selama di jogja.

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

Oleh :

Vina Hentri Tunita Ningrum

13306141032

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu substrat terhadap kualitas kristal, struktur kristal, dan parameter kisi kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

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  $4 \times 10^{-5}$  mbar, dan *spacer* 15 cm dilakukan dengan memberikan variasi suhu substrat yaitu 250°C, 300°C, dan 350°C. Hasil preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan kristal, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis.

Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram menunjukkan bahwa kristal pada lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang terbentuk memiliki struktur kristal kubik. Nilai parameter kisi sampel 1 (suhu substrat 250°C)  $a = 6,157 \text{ \AA}$ , sampel 2 (suhu substrat 300°C)  $a = 6,157 \text{ \AA}$ , dan sampel 3 (suhu substrat 350°C)  $a = 6,167 \text{ \AA}$ . Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan dari lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  terusun atas butiran (*grain*) yang berbentuk bulat dan memiliki permukaan homogen terlihat dari bentuk, struktur, dan warna yang seragam, serta memiliki diameter rata-rata *grain*  $0,1005 \mu\text{m}$ . Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa pada lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  mengandung unsur Sn (*Stannum*), Se (*Selenium*), dan Te (*Tellurium*) dengan perbandingan persentase komposisi kimia yaitu Sn=51,20%, Se=22,64%, dan Te=26,16%, dengan 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

**STUDY ABOUT THE EFFECT OF SUBSTRATE TEMPERATURE ON  
Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) THIN FILMS CRYSTAL QUALITY PREPARED BY  
VACUUM EVAPORATION TECHNIQUES**

**By:**

**Vina Hentri Tunita Ningrum**

**13306141032**

**ABSTRACT**

*This research aimed to determine the effect of substrate temperature variation on the crystal quality, crystal structure, and crystal lattice parameter of the Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film prepared by vacuum evaporation technique. This research also aimed to determine the surface morphology and chemical composition of the Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film prepared by vacuum evaporation technique.*

*Preparation process of Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film using vacuum evaporation technique with 0,2 gram mass of material, vacuum pressure of  $4 \times 10^{-5}$  mbar, and 15 cm spacer was done by providing a substrate temperature variations which were 250°C, 300°C, and 350°C. The result of Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film preparation, then were characterized by XRD (X-Ray Diffraction) to determine the crystal structure of thin film, SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine the crystal surface morphology, and EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray) to determine chemical composition of thin film.*

*The result of XRD characterization showed that diffractogram form of the Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film have cubic crystal structure. The values of lattice parameter on sample 1 (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 Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film consisted of round grains and had homogeneous structure marked by the uniformity of shape, structure, and colour, with about 0,1005  $\mu\text{m}$  particle size. The result of EDAX showed that Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film contained elements of Sn (Stannum), Se (Selenium), and Te (Tellurium) where chemical composition percentage were Sn=51,20%, Se=22,64%, dan Te=26,16%, with comparison molarity elements of Sn:Se:Te was 1:0,44:0,51.*

*Key words :semiconductor, Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) thin film, vacuum evaporation techniques*

## KATA PENGANTAR

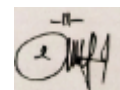
Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, karena-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi yang berjudul “ **Studi tentang Pengaruh Suhu Substrat terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum**” ini dengan baik.

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tentunya tidak lepas dari bantuan, bimbingan, arahan, dukungan dan kerjasama dengan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan naungan kepada seluruh civitas akademik termasuk penulis.
2. Bapak Dr. Hartono, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin penelitian ini.

1. Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
  2. Bapak Dr. Ariswan, selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberi masukan, semangat, dorongan dan bimbingan secara intensif selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
  3. Bapak Hartono, selaku teknisi Laboratorium Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang selalu mendampingi selamaproses penelitian ini.
  4. Seluruh dosen Program Studi Fisika beserta jajaran staf Laboratorium Fisika yang telah membantu selama kuliah, praktikum dan penelitian.
  5. Kedua orang tua dan kakak saya yang telah memberikan semangat, doa dan kasih sayang tiada hentinya.
  6. Keluarga besar Fisika B 2013 yang saling mendukung dan menyemangati selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir Skripsi ini.
  7. Semua pihak yang telah banyak membantudalam penyusunan skripsi ini.
- Akhir kata, semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapat balasan dari Allah SWT.

Yogyakarta, 15 Juni 2017  
Penulis



Vina Hentri Tunita Ningrum  
NIM . 13306141032

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
 <b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	 <b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	5
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah .....	7
E. Tujuan Penelitian.....	7
F. Manfaat Penelitian.....	8
 <b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	 <b>9</b>
A. Zat Padat.....	9
1. Struktur Kristal .....	10
2. Indeks Miller .....	13
3. Jarak Antar Bidang-Bidang Kristal ( <i>hkl</i> ) .....	14
4. Parameter Kisi Kubik .....	15
5. Faktor Struktur .....	16
6. Ketidakteraturan Kristal .....	17
B. Semikonduktor .....	20
1. Semikonduktor Intrinsik.....	23
2. Semikonduktor Ekstrinsik .....	24
3. Arus Pada Semikonduktor.....	29
C. Bahan Semikonduktor Sn(Se <sub>0,4</sub> Te <sub>0,6</sub> ) .....	32

1. SnSe ( <i>Stannum Selenium</i> ) .....	32
2. SnTe ( <i>Stannum Tellurium</i> ) .....	33
3. Sn( $\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$ ) .....	34
D. Lapisan Tipis .....	34
E. Teknik Evaporasi Vakum .....	35
F. Detektor Inframerah .....	40
G. Karakteristik Lapisan Tipis .....	41
1. XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	41
2. SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	46
3. EDAX ( <i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i> ) .....	47
H. Kerangka Berfikir .....	49
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	51
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	51
B. Alat dan Bahan .....	52
C. Variabel Penelitian .....	53
D. Langkah Penelitian .....	54
E. Teknik Analisis Data .....	60
F. Diagram Alir Tahap Penelitian .....	61
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	62
A. Hasil Penelitian .....	62
1. Hasil Karakterisasi XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	64
B. Pembahasan Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn( $\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$ ) .....	66
1. Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Lapisan Tipis Sn( $\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$ ) dengan XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	66
2. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Sn( $\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$ ) dengan SEM ( <i>Scanning Electron Microscopy</i> ) .....	70
3. Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn( $\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$ ) dengan EDAX ( <i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i> ) .....	73
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	76
A. Kesimpulan .....	76
B. Saran .....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	78
<b>LAMPIRAN</b> .....	81

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tujuh sistem dan empat belas kisi Bravais .....	11
Tabel 2. Hasil Preparasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .....	62
Tabel 3. Perbandingan Hasil XRD $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampel 1 dengan JCPDS .....	68
Tabel 4. Perbandingan Hasil XRD $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampel 2 dengan JCPDS .....	69
Tabel 5. Perbandingan Hasil XRD $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampel 3 dengan JCPDS .....	69
Tabel 6. Parameter Kisi Hasil Metode Analitik Sampel 1, 2 dan 3 terhadap JCPDS .....	69
Tabel 7. Perbandingan Persentase Konsentrasi Unsur dan perbandingan Mol unsur .....	74

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Susunan Atom (a) Monokristal, (b) Polikristal dan (c) <i>Amorf</i> .....	9
Gambar 2. Sumbu dan Sudut antar Sumbu Kristal .....	10
Gambar 3. Tujuh Sistem Kristal dengan Empat Belas Kisi Bravais .....	12
Gambar 4. Perpotongan bidang dan sumbu. ....	13
Gambar 5. Slip yang ditimbulkan oleh dislokasi sisi. ....	19
Gambar 6. Slip yang ditimbulkan oleh pergerakan dislokasi. ....	19
Gambar 7. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator .....	21
Gambar 8. Ikatan kovalen pada semikonduktor ekstrinsik tipe-p. ....	26
Gambar 9. Tingkat energi semikonduktor tipe-p .....	26
Gambar 10. Elektron dalam Atom Ketidakmurnian Bervalensi 5 Tidak Memberikan Ikatan .....	27
Gambar 11. Tingkat energi semikonduktor tipe-n .....	29
Gambar 12. Daerah Kerja Pompa Vakum. ....	38
Gambar 13. Sistem Evaporasi Vakum .....	40
Gambar 14. Diagram sinar-X .....	42
Gambar 15. Spektrum radiasi sinar-X Kontinu dan Diskret .....	43
Gambar 16. Sinar-X Karakteristik .....	44
Gambar 17. Difraksi Bragg .....	45
Gambar 18. Skema Dasar SEM .....	47
Gambar 19. Hamburan dari elektron yang jatuh pada lembar tipis .....	48
Gambar 20. Diagram Alir Tahap Penelitian .....	61
Gambar 21. 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 .....	63
Gambar 22. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 250 °C .....	64
Gambar 23. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 300°C .....	65
Gambar 24. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 350 °C .....	65

Gambar 25 Gabungan Difrakogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Suhu Substrat 250 °C, 300 °C, dan 350 °C .....	66
Gambar 26. Foto Morfologi Permukaan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Sampel 1 Hasil Karakterisasi SEM dengan perbesaran (a) 15.000 kali dan (b) 30.000 kali.....	71
Gambar 27. Morfologi Permukaan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang telah Diberi Tanda menggunakan Program Paint .....	72
Gambar 28. Grafik Hubungan antar JumlahPartikel dan Ukuran Partikel.....	72
Gambar 29. Grafik antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .....	74

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Perhitungan Parameter Kisi (a) Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Metode Analitik .....	80
B. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan XRD .....	90
C. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan SEM .....	93
D. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan EDAX .....	95
E. Data JCPDS $\text{SnTe}$ .....	96
F. Mengukur Diameter Rata-Rata Ukuran Partikel .....	96
G. Dokumentasi Penelitian .....	98

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Seiring dengan perkembangan zaman, manusia selalu menuntut kemudahan dalam melakukan berbagai macam hal, baik pekerjaan, pemenuhan kebutuhan hidup, sarana dan prasarana, dsb. Keinginan seperti itulah yang mendorong manusia untuk menciptakan suatu gagasan yang berkaitan dengan teknologi agar permasalahan tersebut dapat teratasi. Teknologi muncul sebagai alat untuk meningkatkan kesejahteraan hidup manusia melalui pola pikir yang kreatif dalam menciptakan suatu karya yang inovatif. Perkembangan teknologi menjadi tolak ukur penting bagi kemajuan suatu negara dengan hadirnya peralatan canggih di negara tersebut. Elektronik merupakan bentuk kecanggihan teknologi yang dapat dilihat secara langsung peran dan manfaatnya contohnya yaitu handphone, televisi, lampu, radio, komputer, dll. Saat ini, hampir sebagian peralatan yang digunakan oleh masyarakat modern berkaitan dengan elektronik. Oleh karena itu, berbagai perusahaan industri bersaing untuk membuat dan mengembangkan piranti elektronik sebagai alat untuk memudahkan pekerjaan manusia.

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).

Pada penelitian kali ini dibuatlah bahan semikonduktor dengan paduan 3 unsur (*ternary*) yaitu  $\text{Sn}(\text{Se}_x\text{Te}_{1-x})$ . Bahan tersebut merupakan semikonduktor tipe-p paduan dari SnSe dan SnTe. 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 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). Hal demikian yang menjadi latar belakang dilakukannya penelitian terhadap bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ . 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. Dalam pembuatan lapisan tipis dengan teknik evaporasi diharapkan bahan yang diperoleh selama proses pemvakuman mampu menghasilkan lapisan tipis yang menempel pada substrat dengan baik. Sebenarnya proses pembuatan lapisan tipis dapat dilakukan dengan berbagai cara dengan tujuan yang sama yakni untuk memperoleh lapisan tipis yang berkualitas baik dengan biaya yang rendah. Atas dasar ini dipilih menggunakan teknik evaporasi vakum karena teknik ini memiliki kelebihan dapat menghasilkan preparasi yang lebih baik, tipis, merata di permukaan dan juga dapat menghasilkan bentuk stabilisasi struktur bahan yang tetap.

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 (Van Vlack, 2004). Jadi, atas dasar keterangan tersebut maka perlu dilakukan penelitian

mengenai pengaruh suhu substrat terhadap struktur kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang terbentuk.

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.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan dalam latar belakang, maka dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Dibutuhkan bahan semikonduktor lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  sebagai bahan dasar pembuatan detektor inframerah.
2. Belum diketahui pengaruh suhu substrat terhadap pembentukan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  menggunakan teknik evaporasi vakum.
3. Belum diketahui pengaruh tekanan terhadap pembentukan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  menggunakan teknik evaporasi vakum.
4. Belum diketahui struktur kristal dan parameter kisi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

5. Belum diketahui morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
6. Belum diketahui komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

### C. Batasan Masalah

Untuk lebih fokus arah penelitian ini maka dibuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan teknik evaporasi vakum dengan melakukan variasi suhu substrat yaitu  $250^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ , dan  $350^{\circ}\text{C}$ .
2. Karakterisasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan merk mesin Miniflex 600 Rigaku.
3. Karakterisasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  untuk mengetahui morfologi permukaan kristal menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dengan merk mesin Jeol JSM-6510LA.
4. Karakteristik lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  untuk mengetahui komposisi kimia bahan menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) dengan merk mesin Jeol JSM-6510LA.
5. Kualitas kristal ditentukan oleh intensitas pada difraktogram hasil karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan merk mesin Miniflex 600 Rigaku.

#### **D. Rumusan Masalah**

Masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh suhu substrat terhadap kualitas kristal lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu substrat terhadap struktur kristal dan parameter kisi kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
3. Bagaimana morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
4. Bagaimana komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh suhu substrat terhadap kualitas kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Mengetahui pengaruh variasi suhu substrat terhadap struktur kristal dan parameter kisi kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
3. Mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
4. Mengetahui komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum

## **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

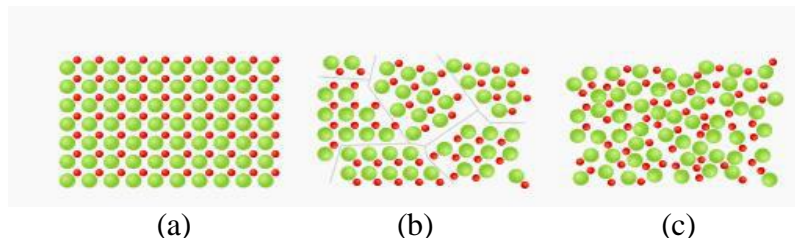
1. Memperoleh lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  menggunakan teknik evaporasi vakum.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi suhu substrat terhadap kualitas, struktur, dan parameter kisi kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .
3. Memberikan informasi mengenai morfologi permukaan dan komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Zat Padat

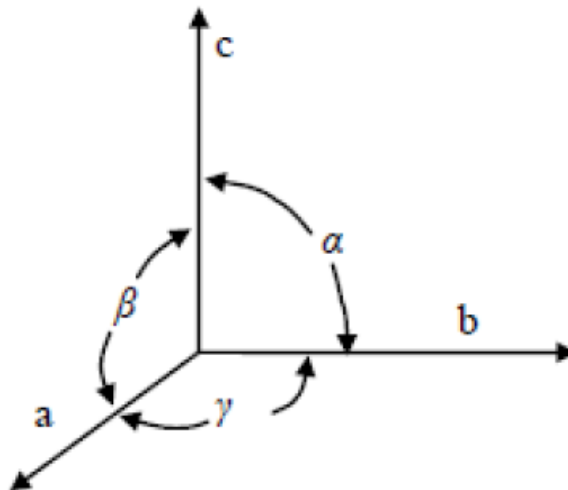
Zat padat merupakan padatan yang tersusun atas atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul dengan posisi saling berdekatan dan relatif tetap yang mempunyai bentuk struktur tertentu. Ditinjau dari struktur atom penyusunnya, zat padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), *polycrystal*, dan *amorf* (Smallman, 2000: 13). Kristal tunggal (*monocrystal*) tersusun atas atom-atom atau molekul-molekul yang mempunyai struktur tetap dan teratur secara periodik dalam pola tiga dimensi. Pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak terhingga. *Polycrystal* merupakan kumpulan dari kristal-kristal tunggal berukuran sangat kecil dan saling menumpuk membentuk padatan. Sedangkan *amorf* mempunyai struktur pola atom-atom atau molekul-molekul yang acak tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atomnya tidak dapat menempati lokasi kisinya dengan tepat (Utomo, 2014: 8). Berikut ini gambar perbedaan susunan atom antara *monocrystal*, *polycrystal*, dan *amorf*.



Gambar 1. Skema Susunan Atom (a) Monokristal, (b) Polikristal dan (c) *Amorf* (Wegener: 2015).

## 1. Struktur Kristal

Struktur kristal terbentuk oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara periodik dalam bidang tiga dimensi suatu kisi kristal (*crystal lattice*). Sel satuan merupakan bagian terkecil dari suatu unit struktur yang dapat menjelaskan struktur kristal. Struktur kristal dapat digambarkan atau dijelaskan dalam bentuk kisi dan basis, dimana setiap kisi akan ditempati oleh atom atau sekumpulan atom. Kisi sendiri merupakan sekumpulan titik-titik yang tersusun secara periodik dalam ruang. Kemudian titik-titik tersebut akan ditempati oleh atom atau sekumpulan atom yang disebut dengan basis. Sehingga apabila sekumpulan atom-atom tersebut menempati titik-titik dalam kisi maka akan terbentuklah struktur kristal. Struktur kristal dapat dinyatakan dengan sumbu-sumbu kristal yang berkaitan dengan parameter kisi.



Gambar 2. Sumbu dan Sudut antar Sumbu Kristal.  
(Suwitra, 1989: 13)

Sumbu-sumbu a, b, c, adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal dan untuk  $\alpha, \beta$ , dan  $\gamma$  adalah sudut antar sumbu-sumbu referensi kristal. Menurut Bravais (1848), kisi bidang dan kisi ruang kristal mempunyai 14 kisi bravais. Berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dan hubungan sudut satu dengan sudut yang lain, kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

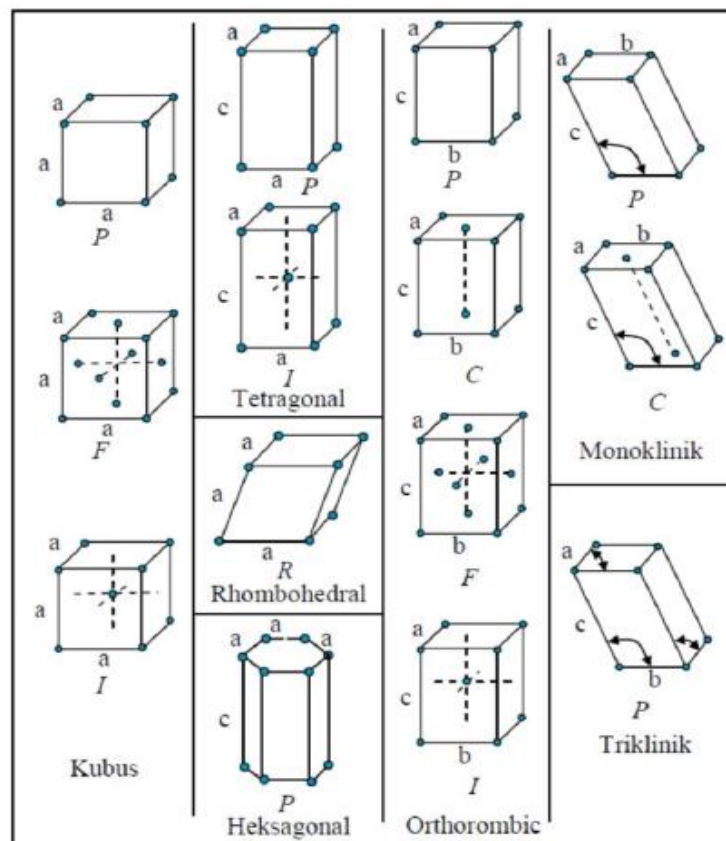
Tabel 1. Tujuh sistem dan empat belas kisi Bravais (Van Vlack, 2004: 62)

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple	P
		Pusat Badan	I
		Pusat Muka	F
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Simpel Pusat Dasar	P C
Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ $\neq 90^\circ$	Simpel	P
Tetragonal	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat Badan	P I
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel Pusat Dasar Pusat Badan Pusat Muka	P C I F
Trigonal/Rhombohedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Simpel	P
Hexagonal/ Rombus	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Simpel	P

Dari Tabel 1, simbol huruf P menunjukkan (*primitif*), kemudian untuk simbol huruf C (*center*) menunjukkan simpul kisi yang terletak pada pusat dua bidang sisi yang paralel, simbol huruf F (*face*) yang berarti sel

dengan simpul kisi dipusat setiap bidang kisi, dan sel dengan simpul kisi dipusat bagian dalam sel unit ditandai dengan huruf I (*inti*).

Sebuah kisi dapat dibentuk oleh 14 susunan atom-atom yang berbeda, ini yang disebut dengan kisi-kisi bravais. Kisi-kisi bravais merupakan atom-atom yang tersusun di dalam kristal dan membentuk susunan teratur yang berulang. Seorang kristalografer dari Perancis yaitu Auguste Bravais (1811-1863) telah berhasil mengklarifikasi kisi kristal berdasarkan simetrinya dan menemukan bahwa terdapat 14 jenis kristal, yaitu sebagai berikut:

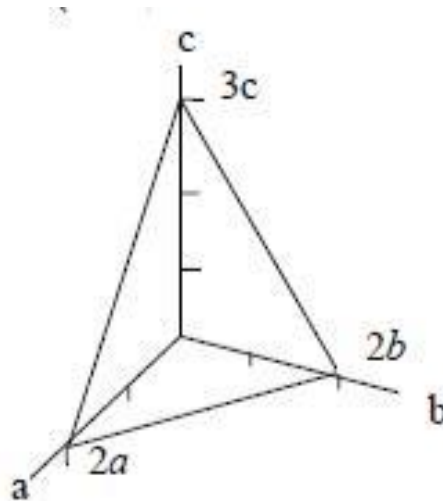


Gambar 3. Tujuh Sistem Kristal dengan Empat Belas Kisi Bravais.  
(Van Vlack, 2004: 63)

## 2. Indeks Miller

Di dalam sebuah kristal terdapat bidang-bidang kisi yang mempengaruhi sifat dan perilaku bahan. Dua bidang atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama. Bidang tersebut diberi lambang ( $hkl$ ) biasa disebut indeks miller. Indeks miller adalah kebalikan dari perpotongan suatu bidang dengan ketiga sumbu yang dinyatakan dalam bilangan utuh bukan pecahan atau kelipatan bersama (Smallman dan Bishop, 2000: 16). Berikut ini adalah langkah-langkah penentuan indeks miller :

- Menentukan titik potong bidang dengan sumbu koordinat sel satuan.
- Menentukan kebalikan (*reciprocal*) dari bilangan-bilangan tersebut, dan kemudian menentukan tiga bilangan bulat terkecil yang mempunyai perbandingan yang sama.



Gambar 4. Perpotongan bidang dan sumbu.  
(Suwitra, 1989: 48)

Sebagai contoh pada Gambar 4, perpotongan bidang dengan sumbu dinyatakan dengan  $2a$ ,  $2b$ , dan  $3c$  sehingga parameter numeriknya adalah 2, 2, 3 dan Indeks Miller dari bidang adalah:

$$(hkl) = h : k : l = \frac{1}{2} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$$

Bilangan bulat terkecil dari kebalikan perpotongan bidang adalah 3 3 2, maka indeks millernya (3 3 2).

### 3. Jarak Antar Bidang-Bidang Kristal ( $hkl$ )

Jarak antar bidang-bidang dalam himpunan ( $hkl$ ) pada 7 sistem kristal antara lain (Cullity, 1959: 459)

1. Kubik :  $\frac{1}{d^2} = \left( \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right)$
2. Monoklinik :  $\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \left( \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2 \beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos \beta}{ac} \right)$
3. Triklinik :  $\frac{1}{d^2} = \frac{1}{v^2} (S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl)$

Dimana  $v$  merupakan volume sel satuan

$$S_{11} = b^2 c^2 \sin^2 \alpha, \quad S_{12} = abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma)$$

$$S_{22} = a^2 c^2 \sin^2 \beta, \quad S_{23} = a^2 bc (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha)$$

$$S_{33} = a^2 b^2 \sin^2 \gamma, \quad S_{31} = ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta)$$

4. Tetragonal :  $\frac{1}{d^2} = \left( \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \right)$
5. Orthorombik :  $\frac{1}{d^2} = \left( \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right)$
6. Rhombohedral :  $\frac{1}{d^2} = \left( \frac{(h^2 + k^2 + l^2) \sin^2 \alpha + 2(hk + kl + hl) (\cos^2 \alpha)}{a^2 (1 - 3 \cos^2 \alpha + 2 \cos^3 \alpha)} \right)$

$$7. \text{ Hexagonal} \quad : \frac{1}{d^2} = \frac{3}{4} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

#### 4. Parameter Kisi Kubik

Pada struktur kristal yang berbentuk kubik, arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang bergantung pada orientasi dan jarak bidang kristal. Kristal simetri kubik memiliki (  $a = b = c$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ) dengan konstanta kisi  $a$ , maka parameter kisi dapat dihitung dari sudut berkas yang didifraksikan pada bidang kristal ( $hkl$ ) dengan menggunakan hubungan jarak antar bidang dan persamaan hukum *Bragg*, yaitu:

Jarak antar bidang untuk struktur kristal kubik adalah:

$$\frac{1}{d^2} = \left( \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad (1)$$

Persamaan hukum Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2)$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan hukum Bragg, didapat persamaan :

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

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2) ; A = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (5)$$

$$\sin^2 \theta = A (h^2 + k^2 + l^2) \quad (6)$$

$$A = \frac{\sin^2 \theta}{(h^2 + k^2 + l^2)} = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (7)$$

Dari persamaan 7, maka nilai  $a$  bisa di dapat sebagai berikut:

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} \quad (8)$$

## 5. Faktor Struktur

Faktor struktur ( $F$ ) adalah pengaruh struktur kristal terhadap intensitas berkas yang didifraksikan. Faktor struktur merupakan penentu intensitas yang muncul pada difraktogram. Hubungan antara intensitas dengan faktor struktur bisa dituliskan dalam rumus :

$I \propto |F_{hkl}|^2$ . Dari rumus tersebut bisa dijelaskan bahwa besarnya intensitas sebanding dengan faktor struktur kuadrat. Intensitas akan bernilai maksimum ketika faktor struktur bernilai maksimum. Begitupun sebaliknya ketika faktor struktur bernilai minimum maka intensitas akan bernilai minimum juga. Dan ketika faktor struktur bernilai 0 maka, intensitas juga akan bernilai 0. Besarnya faktor struktur berpengaruh pada arah difraksi. Besarnya faktor struktur kristal adalah:

$$F_{hkl} = \sum_n^N f_n e^{2\pi i(hx_n + ky_n + lz_n)} \quad (9)$$

Dengan  $f_n$  adalah faktor hamburan atom ( $x_x, y_x, z_x$ ) yang merupakan koordinat suatu atom, dan  $(hkl)$  merupakan indeks miller, dan  $n$  adalah banyaknya atom dalam sel. Faktor struktur kristal kubik dapat ditentukan sebagai berikut:

### a. Faktor struktur kubik sederhana (simpler kubik)

Simpler kubik merupakan sebuah bagian sel satuan yang hanya berisi satu atom saja dan mempunyai koordinat 0 0 0, sehingga faktor strukturnya,

$$F = f e^{2\pi i(0)} = f \quad (10)$$

Setiap atom dalam kubik sederhana dapat berperan dalam gejala difraksi. Sehingga faktor struktur untuk semua bidang  $hkl$  memberikan nilai sama dengan nol (Cullity, 1959:118).

- b. Faktor struktur kubik pusat badan (*body centered cubic*). Kubik pusat badan mempunyai dua atom yang sejenis, koordinat di  $0\ 0\ 0$  dan  $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ .

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{l}{2})} \quad (11)$$

$$F = f (1 + e^{\pi i(h+k+l)}) \quad (12)$$

Intensitas muncul apabila nilai  $h+k+l$  genap ( $F \neq 0$ ), dan intensitas tidak akan muncul ketika nilai  $h+k+l$  ganjil ( $F=0$ ).

- c. Faktor struktur kubik pusat muka (*face centered cubic*). Kubik pusat muka mempunyai 4 atom pada  $0\ 0\ 0$ ,  $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$ ,  $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$ , dan  $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ .

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2})} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{l}{2})} + f e^{2\pi i(\frac{k}{2} + \frac{l}{2})} \quad (13)$$

$$F = f (1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}) \quad (14)$$

Intensitas muncul jika  $h,k,l$  semua ganjil atau semua genap ( $F \neq 0$ ), dan intensitas tidak akan muncul ketika  $h,k,l$  bernilai ganjil atau genap ( $F=0$ ).

## 6. Ketidaksempurnaan Kristal

Berdasarkan struktur kristal, atom dalam setiap material tersusun secara teratur. Akan tetapi pada kenyataan dalam kristal terdapat atom-atom yang letaknya tidak sesuai posisi, karena hilang ataupun tersisipi oleh atom asing. Keadaan seperti itu yang dinamakan ketidaksempurnaan

atau disebut cacat kristal. Ketidaksempurnaan kristal biasa terjadi pada kisi-kisi kristalnya. Kisi-kisi kristal merupakan suatu konsep geometris, maka ketidaksempurnaan kristal atau cacat kristal juga diklarifikasikan secara geometris. Cacat kristal dapat mempengaruhi sifat fisis bahan secara keseluruhan. Cacat kristal dapat dikelompokkan dalam beberapa jenis, diantaranya:

**a. Cacat titik**

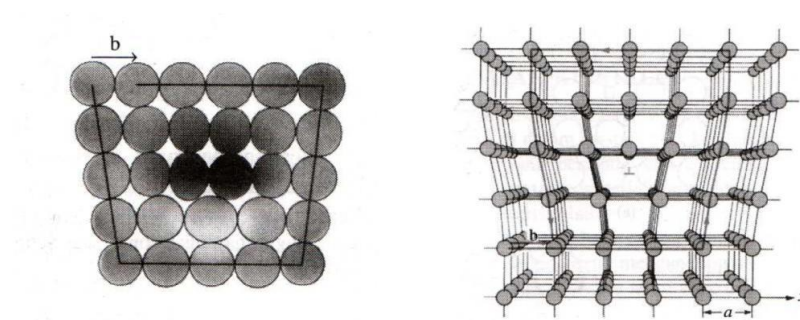
Cacat titik berupa ketidaksempurnaan kristal yang disebabkan oleh kekosongan atom (*vacancy*). Kekosongan atom adalah hilangnya sebuah atom atau beberapa atom dari kristal yang disebabkan oleh berpindahnya kedudukan atom dari lokasi kisi ke lokasi atomik terdekatnya. Perpindahan ini dikarenakan kenaikan energi *thermal* yang terlalu tinggi sehingga membuat terjadinya penumpukan atom sewaktu proses kristalisasi. Bila energi *thermal* tinggi, kemungkinan bagi atom-atom untuk melompat meninggalkan tempatnya akan naik pula.

Selain itu, diketahui pula jenis cacat titik yang lainnya yaitu cacat Schottky dan cacat Frenkel. Cacat Schottky atau cacat ion terjadi pada senyawa yang harus mempunyai keseimbangan muatan. Cacat ini mencakup kekosongan pasangan ion dengan muatan yang berlawanan. Sedangkan cacat Frenkel terjadi jika ion berpindah dari kisinya ke tempat sisipan (Van Vlack, 2004: 123-124).

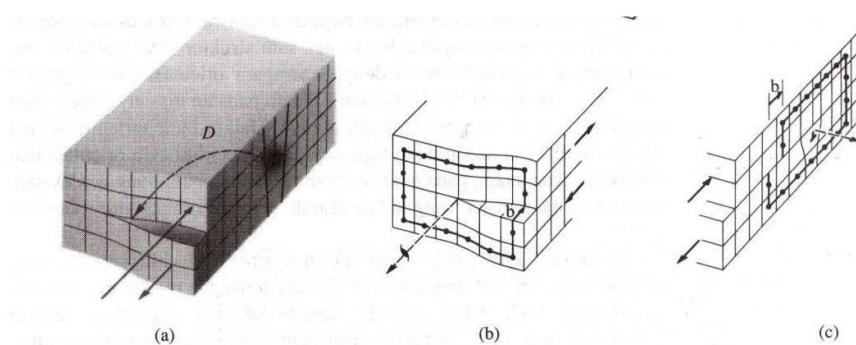
**b. Cacat garis**

Cacat garis terjadi karena adanya diskontinuitas struktural sepanjang lintasan kristal (dislokasi) atau cacat akibat salah susunan atom

pada struktur kristal. Macam-macam dislokasi ada dua yaitu dislokasi tepi/sisi dan dislokasi sekrup/ulir. Dislokasi tepi terjadi karena adanya gesekan antar kristal dengan arah sejajar. Dislokasi sekrup terjadi karena pergeseran atom dalam kristal secara spiral. Kedua macam dislokasi terjadi karena adanya ketidakseimbangan bagian-bagian yang berdekatan dalam kristal yang tumbuh sehingga ada deretan atom tambahan atau deretan atom yang kurang.



Gambar 5. Slip yang ditimbulkan oleh dislokasi sisi.  
(Van Vlack, 2004: 108)



Gambar 6. Slip yang ditimbulkan oleh pergerakan dislokasi ulir. (Van Vlack, 2004: 109)

### c. Cacat bidang

Pada bahan polikristal, zat padat tersusun oleh kristal-kristal kecil yang disebut butir (*grain*). Pada setiap butir atom tersusun pada arah

tertentu. Pada daerah antar butir terjadi perbedaan arah keteraturan atom dan ini menimbulkan cacat pada daerah batas butir, sehingga disebut cacat batas butir.

#### **d. Cacat volume**

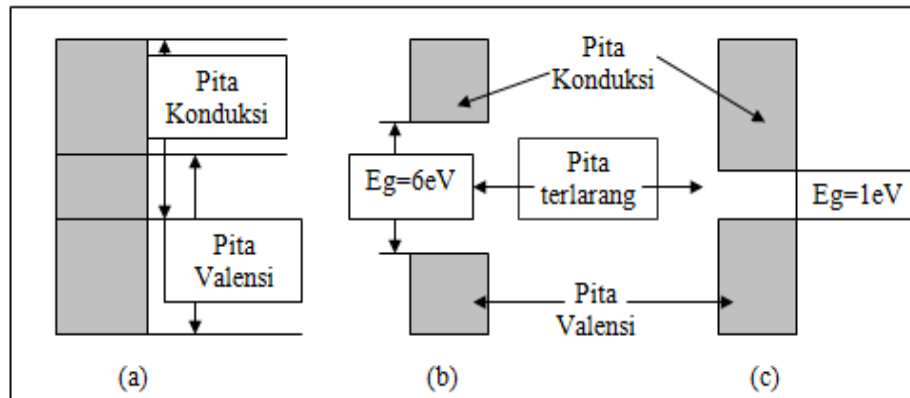
Cacat volume berbentuk *void*, gelembung gas dan rongga. Cacat ini dapat terjadi akibat perlakuan pemanasan, iradiasi atau deformasi, dan sebagian energinya berasal dari energi permukaan ( $1 \text{ sampai } 3 \text{ J/m}^3$ ) (Arthur Beiser, 1992: 361).

Ada dua faktor penting yang menunjang pembentukan *void*, yaitu:

- a. Derajat bias kerapatan dislokasi (hasil penumbuhan loop dislokasi) terhadap penarikan intersisi, yang mengurangi kandungan intersisi dibandingkan kekosongan.
- b. Peran penting gas pada nukleasi *void*, baik gas permukaan aktif seperti oksigen, nitrogen, dan hidrogen yang sering kali hadir sebagai pengotor residual, dan gas *inert* seperti helium yang terbentuk secara kontinu selama iradiasi.

### **B. Semikondutor**

Suatu zat padat apabila dikaitkan dengan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik, maka bahan zat padat dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Perbedaan ketiga bahan tersebut dapat dilihat dari struktur pita energinya.



Gambar 7. Struktur pita energi pada (a) konduktor, (b) isolator dan (c) semikonduktor, (Ariswan, 2013: 2).

Ketiga bahan tersebut memiliki sifat yang berbeda dalam menghantarkan arus listrik. Bahan yang dikenal memiliki sifat mudah menghantarkan arus listrik dinamakan konduktor. Nilai resistansi listrik pada konduktor yaitu sekitar  $10^{-5} \Omega\text{m}$  (Kittel, 2005: 187). Konduktor dikatakan penghantar arus listrik yang baik karena memiliki energi gap yang sangat kecil, bahkan antara pita valensi dan pita konduksinya seperti tumpang tindih. Konduktor tersusun oleh atom-atom yang memiliki elektron terluar yang tidak berpasangan dengan elektron lain. Elektron-elektron ini hampir bebas sehingga sangat mudah menghantarkan arus listrik. Oleh karena dalam penggambaran pita energi logam memiliki struktur pita yang hanya sebagian saja yang berisi elektron. Pengaruh medan listrik eksternal yang dikenakan pada logam akan mempengaruhi elektron hampir bebas tersebut, kemudian elektron-elektron memperoleh energi tambahan dan memasuki tingkat energi yang lebih tinggi meskipun pada pita energi yang sama. Elektron tersebut seperti elektron bebas yang lincah dan gerakannya

menghasilkan arus. Pita energi yang terisi elektron hampir bebas tersebut dan hanya menempati sebagian pita energi disebut pita konduksi (Ariswan, 2014: 5).

Selain konduktor, bahan yang dikenal memiliki sifat yang buruk dalam menghantarkan arus listrik ialah isolator. Nilai resistivitas isolator sekitar  $(10^{14}-10^{22}) \Omega\text{m}$  (Kittel, 2005: 187). Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Isolator tersusun oleh atom-atom yang seluruh elektronnya pada tingkatan-tingkatan energi atom yang telah berpasangan. Energi gap ( $E_g$ ) pada isolator sangat besar yakni sekitar 6 eV, sehingga energi yang diperoleh dari medan listrik eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati energi tersebut dan menyebabkan listrik tidak dapat menghantar secara langsung. Secara umum isolator memiliki dua sifat yaitu (Nyoman Suwitra, 1989: 186) :

1. Mempunyai celah energi yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi.
2. Tingkat energi fermi terletak pada celah energinya.

Semikonduktor adalah zat padat kristalin yang memiliki nilai konduktivitas listrik diantara konduktor dan isolator yaitu sekitar  $(10^{-2}-10^9) \Omega\text{m}$  (Kittel, 2005: 187). Lebar pita terlarang atau Energi gap ( $E_g$ ) pada semikonduktor berkisar 1 eV. Semikonduktor yang sangat banyak dipakai adalah silikon dan germanium yang memiliki  $E_g$  berturut-turut 1,21 eV dan 0,785 eV pada suhu 0 K. Energi sebesar itu biasanya tak dapat diperoleh dari

medan yang diterapkan. Pada temperatur nol kelvin, bahan semikonduktor bersifat isolator karena pita valensi tetap penuh dan pita konduksi kosong. Apabila temperatur dinaikkan sebagian elektron valensi memperoleh energi panas yang lebih besar dari  $E_g$ , sehingga elektron-elektron itu memasuki pita konduksi sebagai elektron hampir bebas dan meninggalkan *hole* di pita valensi. Elektron-elektron tersebut meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut dengan (*hole*). *Hole* dan elektron tersebut yang berperan sebagai penghantar arus listrik semikonduktor (Suwitra, 1989: 187). Berdasarkan atom-atom penyusunnya semikonduktor dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

### 1. Semikonduktor intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dengan sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri (Suwitra, 1989: 202). Dalam semikonduktor intrinsik, banyaknya *hole* di pita valensi sama dengan banyaknya elektron di pita konduksi. Gerakan *thermal* terus menerus menghasilkan pasangan elektron-*hole* yang baru, sedangkan elektron-*hole* yang lain menghilang sebagai akibat proses rekombinasi. Konsentrasi (rapat) *hole-p* harus sama dengan konsentrasi (rapat) elektron  $n$ , sehingga:

$$n = p = n_i \quad (15)$$

dengan  $n_i$  disebut konsentrasi atau rapat intrinsik. Besarnya energi fermi

( $E_F$ ) pada semikonduktor intrinsik yang terletak antara pita konduksi dan pita valensi adalah:

$$E_F = \frac{E_c + E_v}{2} \quad (16)$$

Dengan  $E_c$  adalah energi pada pita konduksi dan  $E_v$  adalah energi pada pita valensi.

Berikut ini ciri-ciri yang terdapat pada semikonduktor intrinsik antara lain (Suwitra, 1989: 222-227):

- a. Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
- b. Energi fermi terletak ditengah-tengah energi gap.
- c. Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, tetapi hole juga berperan penting.
- d. Ada 1 atom di antara  $10^9$  atom yang memberikan sumbangan terhadap hantaran listrik.

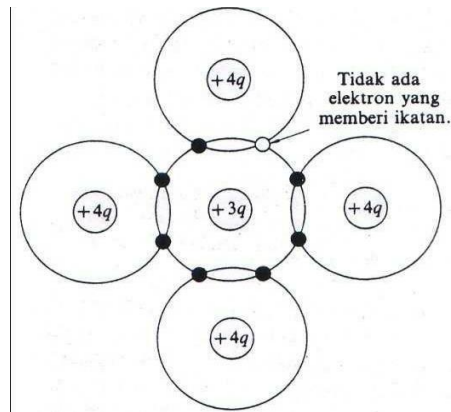
## 2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor murni yang terbentuk akibat pemberian ketidakmurnian (pengotor) pada bahan. Proses pemberian atom pengotor ini dinamakan *dopping*, dengan cara memasukkan elektron atau *hole* yang berlebih. Tujuan pemberian pengotor yaitu untuk menambah jumlah elektron bebas atau lubang (*hole*). Jumlah atom pengotor yang ditambahkan ke dalam bahan semikonduktor berperan

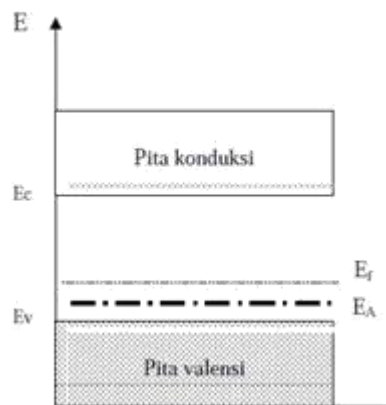
sebagai penentu sifat kelistrikan dari semikonduktor ekstrinsik tersebut. Pada semikonduktor ekstrinsik terdapat dua tipe semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n.

**a. Semikonduktor tipe-p**

Semikonduktor tipe-p merupakan semikonduktor murni yang dikotori dengan atom asing yang bervalensi 3 (*trivalen*). Atom-atom pengotor ini mempunyai tiga elektron valensi sehingga secara efektif hanya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Saat sebuah atom *trivalen* menempati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan yang disebut lubang (*hole*). Material yang dihasilkan dari proses pengotoran tersebut menghasilkan pembawa muatan positif pada kristal yang netral. Atom pengotor menerima elektron dari pita valensi, maka atom pengotor tersebut disebut akseptor. Dalam proses pengotoran diperoleh muatan positif yang berlebih menyebabkan jumlah *hole* meningkat, dengan begitu bisa dikatakan bahwa *hole* sebagai pembawa muatan mayoritas dan pembawa muatan minoritasnya yaitu elektron. Oleh karena mayoritas pembawa muatan pada semikonduktor ini adalah *hole* dan muatan *hole* itu positif, maka disebutlah semikonduktor tipe-p.



Gambar 8. Ikatan kovalen pada semikonduktor ekstrinsik tipe-p (Reka Rio, 1982: 13).



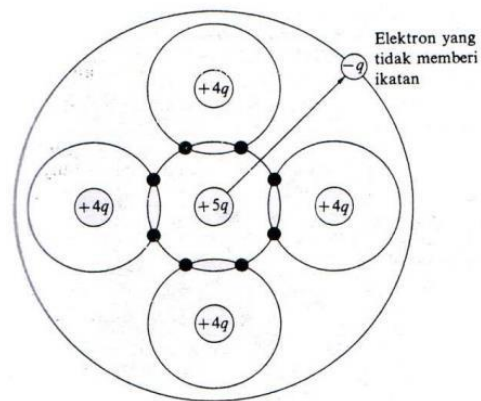
Gambar 9. Tingkat energi semikonduktor tipe-p (Ariswan, 2014: 9).

Di dalam semikonduktor tipe-p akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan dengan letak sedikit di atas pita valensi seperti yang ditunjuk pada Gambar 9. Karena energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali, maka *hole-hole* yang dibentuk oleh elektron-elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron pembawa minoritas di dalam pita valensi.

Penambahan unsur-unsur dari golongan III (B, Al, Ga, dan In) pada unsur-unsur golongan IV menghasilkan semikonduktor tipe-p.

**b. Semikonduktor tipe-n**

Semikonduktor tipe-n adalah semikonduktor yang dibuat dengan menambahkan sejumlah atom pengotor bervalensi 5. Atom-atom pengotor ini memiliki 5 elektron valensi, empat diantaranya telah berpasangan dan berikatan kovalen, kemudian tersisa satu atom yang tidak berpasangan dan terikat lemah. Kelebihan satu elektron ini yang menyebabkan ia akan mudah lepas karena adanya energi *thermal* yang mempengaruhinya, sehingga ia dapat bergerak bebas dan menjadi pembawa muatan bebas. Peristiwa tersebut dapat digambarkan pada Gambar 10 berikut.

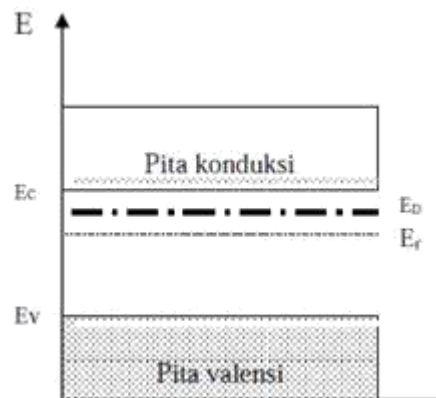


Gambar 10. Elektron dalam Atom Ketidakmurnian Bervalensi 5 tidak Memberikan Ikatan (Reka Rio, 1982: 12)

Dari Gambar 10, kelebihan elektron menyebabkan atom pengotor tersebut memiliki kecenderungan untuk memberikan elektron yang dimilikinya dan disebutlah sebagai atom donor (Reka Rio, 1982: 12).

Pada diagram tingkat energi semikonduktor tipe-n, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam energi gap tepat di bawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan elektron ini untuk bergerak menuju pita konduksi menjadi sangat kecil. Dengan demikian, akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi elektron ini dinamakan arus donor. Pengotor donor ini disebut sebagai semikonduktor tipe-n (negatif) karena telah didopping oleh elektron yang bergerak dari pita valensi ke pita konduksi.

Apabila suatu semikonduktor intrinsik diberi ketidakmurnian tipe-n, maka jumlah elektron akan bertambah dan jumlah *hole* berkurang. Jumlah *hole* yang berkurang ini disebabkan oleh bertambah banyaknya elektron sehingga kecepatan rekombinasi elektron dengan *hole* meningkat (Kittel, 2005: 210). Dikarenakan semikonduktor tipe-n ini terdapat lebih banyak elektron daripada *hole*, maka disebutkan bahwa mayoritas pembawa muatan pada semikonduktor tipe-n adalah elektron dan minoritas pembawa muatannya adalah *hole*. Berikut ini pada Gambar 11 ditunjukkan tingkat energi semikonduktor tipe-n.



Gambar 11. Tingkat energi semikonduktor tipe-n (Ariswan, 2014: 8).

### 3. Arus pada Semikonduktor

Pada semikonduktor ada 2 mekanisme yang dapat menyebabkan arus listrik mengalir, yaitu adanya medan listrik atau arus hanyut (arus *drift*) dan adanya perbedaan konsentrasi pembawa muatan (arus difusi) (Reka Rio, 1982: 38-41).

#### a. Arus *drift*

Arus hanyut atau arus *drift* adalah arus yang disebabkan oleh berjalannya partikel bermuatan akibat adanya medan listrik. Besarnya medan listrik yang diberikan pada partikel akan sebanding dengan kecepatan pembawa muatannya. Kecepatan untuk sebuah elektron bermuatan  $-q$  dan *hole* bermuatan  $+q$  adalah:

$$V_n = -\mu_n \mathcal{E} \quad (17)$$

$$V_p = -\mu_p \mathcal{E} \quad (18)$$

Dengan  $V_n$  dan  $V_p$  adalah laju hanyut atau kecepatan *drift* pada elektron dan *hole* (m/s),  $\mu_n$  dan  $\mu_p$  adalah mobilitas dari elektron dan *hole* ( $\text{m}^2/\text{V.s}$ ). Sedangkan  $\varepsilon$  adalah medan listrik (V/m), dengan tanda negatif pada persamaan (18) menandakan bahwa kecepatan *drift* elektron berlawanan arah dengan medan listrik ( $\varepsilon$ ) yang diberikan.

Kecepatan *drift* ini akan menghasilkan kerapatan arus *drift* untuk elektron dan *hole* yang besarnya adalah

$$J_n = (-q)nv = qn\mu_n\varepsilon \quad (19)$$

$$J_p = (+q)pv = qp\mu_p\varepsilon \quad (20)$$

Dengan  $J$  adalah rapat arus ( $\text{A}/\text{m}^2$ ),  $q$  adalah besar (*magnitude*) muatan listriknya,  $\mu$  adalah mobilitas pembawa muatan ( $\text{m}^2/\text{V.s}$ ),  $n$  adalah konsentrasi elektron ( $\text{m}^{-3}$ ), dan  $p$  adalah konsentrasi *hole* ( $\text{m}^{-3}$ ). Arus *drift* memiliki arah yang berlawanan dengan aliran muatan negatif, sehingga arus *drift* pada semikonduktor tipe-n akan memiliki arah yang sama dengan medan listrik ( $\varepsilon$ ) yang diberikan.

Kerapatan arus *drift* total dapat ditentukan dengan menjumlahkan semikonduktor yang mengandung dua komponen yaitu elektron dan *hole*, maka dapat dituliskan untuk persamaan rapat arusnya sebagai berikut:

$$J = qn\mu_n\varepsilon + qp\mu_p\varepsilon = \sigma\varepsilon = \frac{1}{\rho}\varepsilon \quad (21)$$

Dengan  $\sigma$  adalah konduktivitas dari semikonduktor ( $\frac{1}{\Omega.cm}$ ) dan

$\rho = \frac{1}{\sigma}$  adalah resistivitas dari semikonduktor ( $\Omega.cm$ ). konduktivitas

berhubungan erat dengan konsentrasi elektron dan *hole*.

#### **b. Arus difusi**

Arus difusi merupakan arus yang disebabkan adanya perbedaan konsentrasi pembawa muatan dari satu titik ke titik yang lain. Arus difusi akan mengalir dari daerah yang konsentrasinya tinggi ke konsentrasi rendah. Arus yang mengalir ini tidak dipengaruhi medan listrik internal dan gerakannya akan berhenti ketika konsentrasi partikel telah merata. Arus difusi yang dihasilkan sebanding dengan gradien konsentrasi pembawa muatan (Ariswan, 2013: 5).

Persamaan arus difusi dari komponen elektron dan *hole* adalah sebagai berikut:

$$J_n = qD_n \frac{dn}{dx} \quad (22)$$

$$J_p = -qD_p \frac{dp}{dx} \quad (23)$$

Dengan  $J_n$  dan  $J_p$  adalah rapat arus ( $A/m^2$ ),  $q$  adalah besar (*magnitude*) muatan elektron, dengan  $D_n$  dan  $D_p$  adalah koefisien difusi dari elektron dan *hole* ( $m^2/s$ ) dan  $x$  adalah posisi (m). Kemudian rapat arus total pada semikonduktor bisa dihitung dengan menjumlahkan komponen arus hanyut dan arus difusi yaitu:

$$J_n = qn\mu_n \mathcal{E} + qD_n \frac{dn}{dx} \quad (24)$$

$$J_p = qp\mu_p \varepsilon - qD_p \frac{dp}{dx} \quad (25)$$

### C. Bahan Semikonduktor Sn(Se<sub>0,4</sub> Te<sub>0,6</sub>)

#### 1. SnSe (*Stannum Selenium*)

Bahan semikonduktor SnSe merupakan bahan yang terdiri dari 2 unsur yakni Sn (*Stannum*) dan Se (*Selenium*). Sn (*Stannum*) dalam bahasa Indonesia dikenal dengan sebutan timah. Sn merupakan logam putih keperakan lunak yang termasuk golongan IVA pada tabel periodik dengan nomor atom 50, massa atom relatif (Ar) 118,71 gram/mol, titik lebur 505,08 K, titik didih 2875 K dan struktur kristalnya adalah tetragonal (Mark Winter, 2015). Sn masuk dalam kategori logam yang mudah ditempa, bersifat fleksibel dan tahan korosi disebabkan lapisan oksidasi Sn mampu menghambat proses oksidasi lebih jauh. Sedangkan Se (*Selenium*) terletak pada golongan VIA yang mempunyai nomor atom 34, massa atom relatif (Ar) 78,96 gram/mol, titik leburnya 494 K, titik didihnya 958 K. *Selenium* biasanya digunakan untuk aplikasi sel surya karena memiliki konduktivitas yang baik.

Senyawa paduan antara *stannum* dan *selenium* disimbolkan dengan SnSe (*Stannum Selenium*). SnSe merupakan bahan semikonduktor yang berasal dari golongan IVA dan VIA dengan massa molar 197,67 gram/mol, kerapatannya 6179 gram/cm<sup>3</sup>, titik didihnya 1134 K. SnSe merupakan semikonduktor tipe-p yang

mempunyai struktur kristal orthorombik dengan energi gap secara tidak langsung (*indirect*) sekitar 0,9 eV dan secara langsung (*direct*) sekitar 1,3 eV, tetapi untuk lapisan tipis dan *nanocrystal* energi gap sebesar 1,9 eV (Alvan, 2015: 1).

## 2. SnTe (*Stannum Tellurium*)

Bahan semikonduktor SnTe (*Stannum Tellurium*) adalah bahan yang terdiri dari 2 unsur yakni Sn (*Stannum*) dan Te (*Tellurium*). *Tellurium* merupakan semi-logam berwarna abu-abu keperakan yang termasuk golongan VIA dalam tabel periodik dengan nomor atom 52. Massa atom relatif (Ar) dari Te 127,6 gram/mol, titik leburnya 722,66 K, titik didihnya 1261 K dan struktur kristal yang dibentuk oleh Te adalah trigonal. Peranan *tellurium* dalam dunia industri, digunakan untuk meningkatkan kualitas logam agar dapat dikerjakan dengan mesin, serta juga dimanfaatkan dalam pembuatan piranti termolistrik semikonduktor.

Senyawa perpaduan antara *Stannum* dan *Tellurium* disimbolkan dengan SnTe (*Stannum Tellurium*). SnTe merupakan bahan semikonduktor yang berasal dari golongan IVA dan VIA. Senyawa SnTe mempunyai titik didih 790°C (1063 K), dengan massa molar 246,31 gram/mol, kerapatan 6445 gram/cm<sup>3</sup>, serta memiliki struktur kristal berbentuk kubik. SnTe adalah material termoelektrik yang memiliki energi gap sebesar 0,4 eV (A.R. West, 1999). Bahan semikonduktor dari kelompok ini memiliki kelebihan yaitu sensitivitas

tinggi dan respon yang cepat, sehingga baik digunakan untuk detektor inframerah, photodetektor, laser inframerah, mikroelektronik, dan perangkat termoelektrik (Saini, 2010: 1).

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

Bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  merupakan material paduan tiga unsur (*ternary*) yaitu unsur Sn (*Stannum*), Se (*Selenium*), dan Te (*Tellurium*).  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  adalah bahan semikonduktor yang terbentuk dari komponen senyawa dan atom-atom Sn, Se, dan Te. Pada bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  perbandingan molaritas bahan Sn : Se : Te yang dipakai adalah 1 : 0,4 : 0,6. Struktur kristal paduan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  belum diketahui dan akan diketahui dalam penelitian ini.

## D. Lapisan Tipis

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang terbuat dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik yang memiliki sifat konduktor, isolator, semikonduktor, maupun superkonduktor. Bahan-bahan lapisan tipis menunjukkan sifat khusus yang diakibatkan proses penumbuhan lapisan tipis. Proses penumbuhan lapisan tipis ada tiga tahapan yang dilewati yaitu:

1. Pembentukan jenis atom, molekul, atau ion.
2. *Transport* jenis atom, molekul, atau ion.

3. Kondensasi pada permukaan substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia atau elektrokimia untuk membentuk suatu deposisi padatan (Utomo, 2014).

Saat proses penumbuhan lapisan tipis, suhu substrat ikut berpengaruh pada hasil lapisan yang terbentuk mengingat sifat atom tidak bergerak saat suhu 0 K. Ketika suhu dinaikkan, energi atom akan meningkat dan menyebabkan atom-atom dapat bergerak dan jarak atomnya akan berubah lebar. Suhu substrat yang sesuai memungkinkan atom-atom lain dapat menyusup ke dalam celah-celah atom (Vlack, 2004).

Aplikasi lapisan tipis telah menjangkau bidang industri meliputi piranti-piranti elektronik yaitu kapasitor, transistor, fotodetektor, sel surya, rangkaian hibrid, dan teknologi mikroelektronika, bidang optik dalam pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kacamata pelindung cahaya, transmisi daya tinggi dan pada bidang mekanika seperti dalam pembuatan lapisan keras sebagai bahan pelindung korosi.

#### **E. Teknik Evaporasi Vakum**

Teknik evaporasi vakum merupakan salah satu teknik penumbuhan lapisan tipis yang dilakukan dalam ruang vakum (hampa). Pada sistem evaporasi terdapat sumber pemanas yang digunakan untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Sumber pemanas tersebut dilewatkan arus yang cukup tinggi untuk membawa material bahan dari sumber ke suhu

evaporasinya dengan cara memberi tekanan uap yang cukup untuk mendesak uap keluar dari bahan sumber. Bahan yang digunakan pada proses ini harus berbentuk padatan agar bahan mudah menempel pada substrat tanpa bereaksi dengan elemen pemanas seperti bahan cair. Bahan yang telah dievaporasi akan bergerak meninggalkan sumber panas dalam bentuk gas ke segala arah. Proses pelapisan yang terbentuk mengalami kondensasi pada setiap permukaan substrat yang ditimpa atom-atom (Mahmudi, 2000).

Kualitas lapisan tipis yang dihasilkan selama preparasi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

1. Kemurnian bahan yang akan dipreparasi.
2. Tekanan pada saat proses pemvakuman.
3. Massa bahan.
4. Temperatur substrat saat evaporasi.
5. Jarak material sumber dengan substrat.

Dalam proses pemvakuman, ada dua pompa yang dibutuhkan untuk mendapatkan keadaan vakum (hampa) yang tinggi yaitu pompa difusi dan pompa rotari.

#### 1. Pompa Difusi

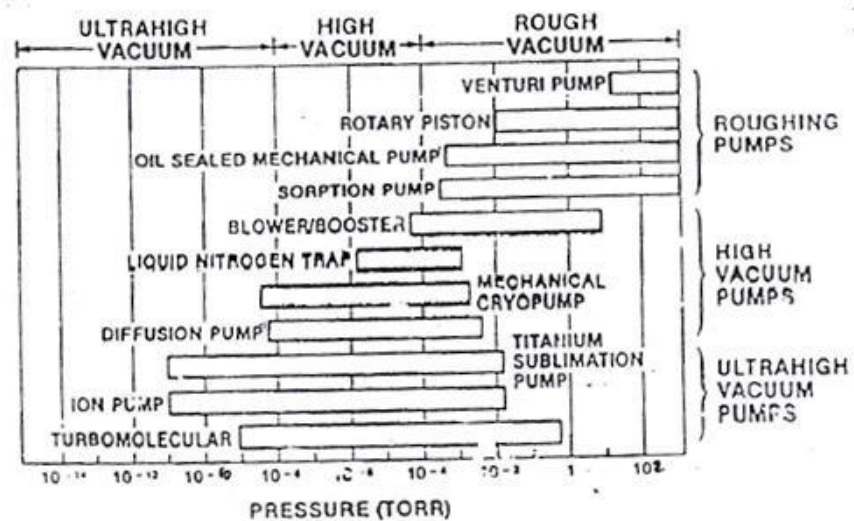
Pompa difusi terdiri dari ketel yang berisi oli difusi, pemanas dan satu atap. Oli dalam ketel dipanasi hingga uap oli naik ke atas melalui penyempitan pipa dengan kecepatan tinggi menumbuk atap. Selanjutnya dipantulkan kebawah ke segala arah dan menumbuk

dinding pompa yang didinginkan sehingga oli mengembun kembali dan masuk ketel lagi dan dipanasi begitupun seterusnya (Ariswan, 2004: 23). Molekul oli yang bergerak ke bawah akan menekan molekul gas keluar sistem.

## 2. Pompa Rotari

Pompa rotari digunakan untuk memacu kerja pompa difusi. Pompa rotari menggunakan prinsip destilasi (pemisahan). Sebelum menggunakan pompa rotari untuk memvakumkan alat destilasi, harus mengetahui zat-zat volatil yang ada dalam sistem dalam jumlah kecil, kemudian dihubungkan dengan respirator air untuk mengeluarkan zat-zat volatil tersebut. Selanjutnya setelah zat-zat volatil dikeluarkan dari sistem, dilanjutkan pemvakuman dengan pompa rotari (Firdaus, 2011: 11).

Suatu pompa dapat bekerja dengan baik jika bekerja sesuai dengan daerah kerjanya. Daerah kerja suatu pompa pada preparasi dengan metode evaporasi ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Daerah Kerja Pompa Vakum  
(Na Peng Bo dan Ariswan, 2004: 18)

Menurut Milton Ohring (2002: 81), berdasarkan daerah kerja vakumnya pompa vakum dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu:

1. *Roughing pumps*, yaitu pompa yang dapat bekerja pada tekanan rendah yang berada pada tekanan  $10^3$  torr sampai  $10^{-3}$  torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini yaitu *rotary vane pump*, *root pump*, *sorption pump*, dan lain-lain.
2. *High vacuum pumps*, yaitu pompa yang bekerja pada vakum tinggi range yang berada pada tekanan udara dari  $10^{-3}$  torr sampai  $10^{-8}$  torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *oil diffusion pump*, *turbomolecular*, *cryopump* dan lain-lain.
3. *Ultrahigh pums*, yaitu pompa yang mampu bekerja untuk vakum ultra tinggi yaitu pada tekanan udara lebih kecil dari  $10^{-8}$  torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *titanium sublimation* dan *ion pump*.

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan evaporasi vakum ialah :

Pertama menghidupkan pompa rotari (pompa primer) dan membuka katup pertama pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit. Kemudian hidupkan pompa difusi (pompa sekunder) dengan mengatur *slide regulator* pada tegangan 210 volt dan menunggu selama 30 menit. Setelah itu Membuka atau memutar katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve system* selama 10 menit. Membuka katup ketiga atau *bypass valve system* dari F ke O selama 10 menit. Setelah itu katup digeser ke posisi semula, yaitu *rough valve system* dan 10 menit sebelum membuka *bypass valve system* kembali ke posisi *back valve system*. Lalu hidupkan *manometer penning* dan amati tekanannya. Berikutnya memanaskan pemanas substrat dengan cara menghidupkan dan mengatur tegangan dengan memutar *slide regulator* 1 untuk memperoleh suhu substrat. Setelah memperoleh tekanan yang stabil, maka evaporasi telah siap untuk dilaksanakan. Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* 2 untuk pemanasan sehingga bahan yang berada di dalam *crucible* menguap habis. Menutup katup ketiga atau *bypass valve system* ke posisi F dari posisi O. Kemudian memutar *slide regulator* 1 ke posisi nol lalu mematikannya. Matikan *manometer penning* dan menunggu selama 45 menit sampai pompa difusi mendingin. Setelah pompa difusi dingin, lalu mengatur katup pada posisi stop. Matikan

pompa rotari sekat dan pompa air. Sistem evaporasi vakum tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 13. Sistem Evaporasi Vakum

#### **F. Detektor Inframerah**

Detektor inframerah adalah detektor yang bereaksi terhadap radiasi inframerah. Inframerah merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang yang lebih panjang dari cahaya tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio yaitu antara 700 nm sampai 1 mm. Karakteristik dari inframerah adalah sebagai berikut:

- a. Tidak dapat dilihat oleh manusia.
- b. Timbulnya diakibatkan oleh komponen-komponen pendukung seperti panas.

- c. Tidak dapat menembus materi yang tidak tembus pandang.
- d. Panjang gelombang inframerah memiliki hubungan yang berlawanan atau berbanding terbalik dengan suhu. Ketika suhu meningkat, maka panjang gelombang akan menurun.

Berdasarkan panjang gelombangnya, jenis-jenis inframerah dapat dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. *Near Infrared* dengan panjang gelombang  $(0,75 - 1,5)\mu m$ .
2. *Mid Infrared* dengan panjang gelombang  $(1,5-10)\mu m$ .
3. *Far Infrared* dengan panjang gelombang  $(10 - 100)\mu m$ .

Prinsip kerja inframerah yaitu jika inframerah ditembakkan ke suatu media material, maka sebagian sinar tersebut akan diserap (*absorb*) oleh media tersebut. Intensitas inframerah yang diserap bergantung pada jumlah kuantitas material tersebut.

Sinar inframerah mengandung energi panas, sehingga jika ditembakkan ke suatu material maka temperatur material tersebut akan meningkat. Semakin besar intensitas inframerah, semakin besar pula energi panas yang terkandung.

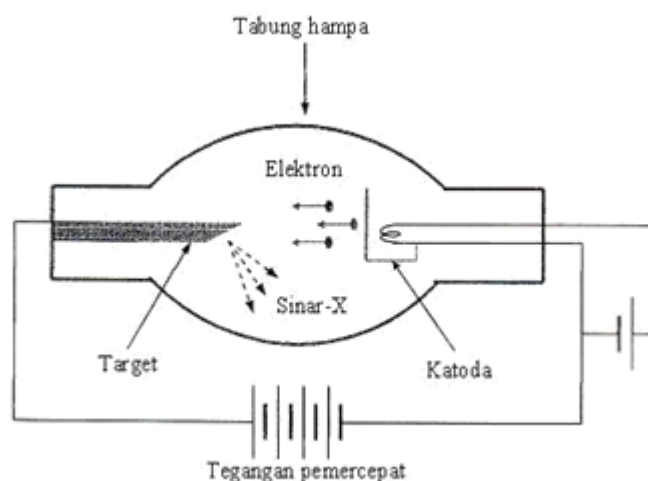
## **G. Karakteristik Lapisan Tipis**

Pada penelitian ini, karakterisasi lapisan tipis dilakukan dengan tiga teknik, yaitu XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*).

### **1. XRD (*X-Ray Diffraction*)**

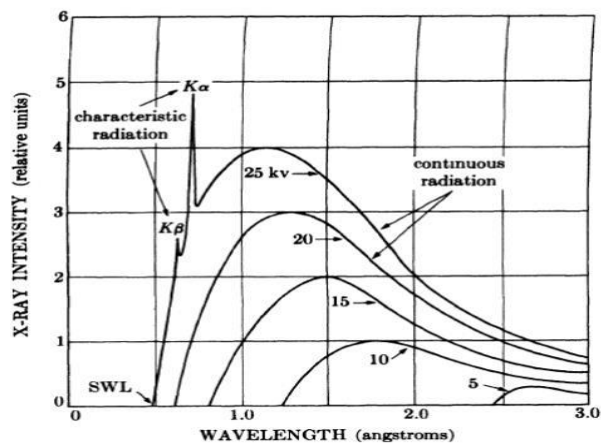
Metode analisis XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk karakterisasi suatu bahan yang mana dapat diketahui struktur bahan berupa kristalin atau *amorf*, parameter kisi dan tipe struktur. Selain itu dapat dimanfaatkan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal (Smallman, 2000: 145). Hasil dari XRD berupa difraktogram yang menunjukkan ciri dari kristal yang dikarakterisasi.

Dalam metode ini, menggunakan sinar-X sebagai komponen yang berperan dalam proses difraksi atom-atom kristal dari suatu material. Sinar-X berupa radiasi elektromagnetik yang ditembakkan pada logam dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang sekitar 100 pm. Saat elektron masuk ke dalam logam mengalami perlambatan dan menghasilkan radiasi dengan jarak panjang gelombang kontinu yang disebut *Bremsstrahlung* yang berasal dari bahasa jerman (*Bremsse* artinya rem dan *strahlung* yang berarti sinar).



Gambar 14. Diagram sinar-X (Arthur Beiser, 1992: 62).

Pada Gambar 14, dijelaskan ketika pancaran elektron melaju dari katoda menuju target, sebagian elektron ada yang berinteraksi dengan medan energi pada inti atom target dan sebagian ada yang berinteraksi dengan elektron pada tiap-tiap kulit atom target sehingga membentuk sinar-X kontinyu dan sinar-X karakteristik (Percharsky, 2009: 7).

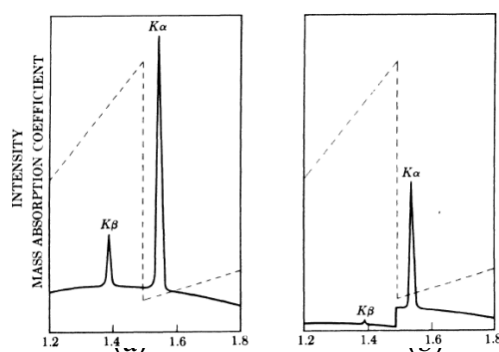


Gambar 15. Spektrum radiasi sinar-X Kontinyu dan Diskret (Cullity, 1959: 5).

Berdasarkan Gambar 15, radiasi yang dipancarkan oleh sinar-X terbagi menjadi dua komponen yaitu spektrum kontinyu dan spektrum diskrit (garis). Spektrum kontinyu memiliki rentang panjang gelombang yang lebar, sedangkan spektrum garis adalah karakteristik dari logam yang ditembak (Smallman, 2000: 145). Sinar-X kontinyu yang terjadi ketika elektron menumbuk logam, elektron dari katoda menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Saat mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif. Oleh karena itu lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang (melambat).

Melambatnya gerak elektron akan menyebabkan elektron kehilangan energi dan berubah arah. Energi yang hilang dari elektron ini dikenal dengan sinar-X *bremsstrahlung* (Nayiroh, 2015: 3).

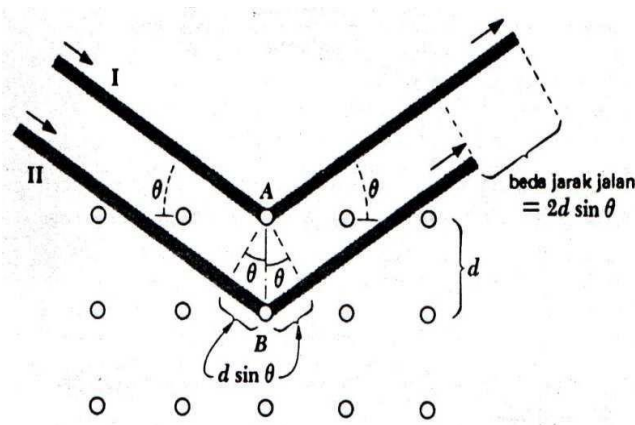
Sedangkan spektrum karakteristik (garis) terjadi apabila elektron yang terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam kulitnya. Kemudian akan diisi dengan elektron lain yang berasal dari level energi yang lebih tinggi. Pada Gambar 15, terlihat bahwa spektrum radiasi sinar-X terdapat lebih dari satu sinar-X karakteristik. Hal ini bisa terjadi karena adanya transisi tingkat energi yang berbeda. Oleh karena itu, dibutuhkan filter untuk mengabsorpsi radiasi  $K_{\beta}$  agar hasil keluaran sinar-X monokromatik. Sinar-X monokromatik sangat dibutuhkan untuk analisis struktur kristal dari bahan paduan maka perlu proses penyaringan (*filter*) yang sesuai dengan menggunakan logam bernomor atom lebih kecil dari target (Leng, 2013: 48). Gambar 16 (a) menunjukkan sinar-X yang masih bersifat polikromatik tanpa *filter* dan Gambar 16 (b) merupakan sinar-X monokromatik setelah melalui tahap penyaringan menggunakan *filter*.



Gambar 16. Sinar-X Karakteristik (a) Tanpa Filter  
(b) Dengan Filter (Leng, 2013: 51)

Apabila suatu berkas sinar-X monokromatik dilewatkan pada bahan maka akan terjadi penyerapan (*absorpsi*) dan penghamburan (*scattering*) berkas sinar-X oleh atom-atom bahan tersebut. Berkas sinar-X yang terjatuh akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah-arang tertentu gelombang hambur itu akan mengalami interferensi konstruktif (penguatan), dan yang lain akan mengalami interferensi destruktif (penghilangan) (Beisser, 2003: 65). Interferensi konstruktif ini yang menimbulkan puncak-puncak dengan nilai intensitas beragam pada difraktogram.

Berkas difraksi diperoleh dari berkas sinar-X yang mengalami interferensi konstruktif. Bragg menyatakan bahwa interferensi konstruktif hanya terjadi jika antar sinar terhambur dengan beda jarak lintasan tepat  $\lambda$ ,  $2\lambda$ ,  $3\lambda$  dan sebagainya (Edi Istiyono, 2000: 156).



Gambar 17. Difraksi Bragg (Beiser, 1992: 68)

Gambar 17 menunjukkan bahwa sinar-X datang sejajar satu sama lain membentuk sudut sebesar  $\theta$  dan dipantulkan kembali. Kemudian

jarak antar sinar-X yang datang jatuh pada bidang kristal dengan jarak  $d$  yang memiliki panjang gelombang sebesar  $\lambda$ . Besar sudut Bragg mempunyai harga berbeda untuk tiap-tiap bidang. Agar mengalami interferensi konstruktif (penguatan) kedua jarak harus memiliki beda jarak sebesar  $n\lambda$  dan memiliki fase yang sama. Sedangkan beda jarak berkas sinar datang adalah  $2d \sin \theta$ . Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan Bragg sebagai berikut:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (26)$$

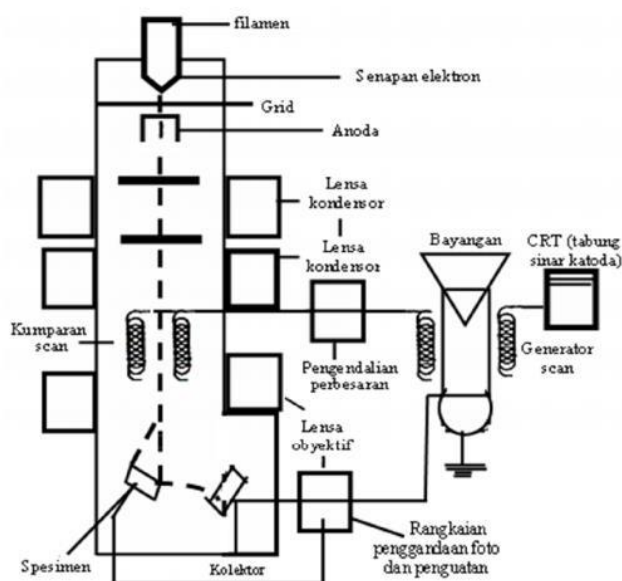
Geometri kisi kristal bergantung pada orientasi dan jarak bidang merupakan penentu dari arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal. Penentu orientasi kristal dilakukan dengan cara mengamati pola berkas difraksi sinar-X. Pada teknik XRD, pola difraksi diamati dari sudut  $2\theta$  dan intensitas difraksi. Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) sebagai data standar.

## 2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah mikroskopik elektron dengan resolusi atau ketelitian tinggi yang mampu melihat struktur berukuran nano meter dari suatu gambar. SEM dapat digunakan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Hasil karakterisasi

SEM dapat dilihat secara langsung dalam bentuk tiga dimensi berupa gambar dengan menggunakan perbesaran antara 1.000-40.000 kali.

Prinsip kerja SEM bermula sumber elektron dari filamen yang terbuat dari *tungsten* memancarkan berkas elektron. Jika elektron berinteraksi dengan bahan (*specimen*), maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan bahan ditangkap oleh detektor, lalu diubah menjadi sinyal listrik. sinyal listrik ini diperkuat oleh (*amplifier*) kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (*CRT*) (Smallman dan Bishop, 2000:144). Berikut Gambar dari skema pada SEM.



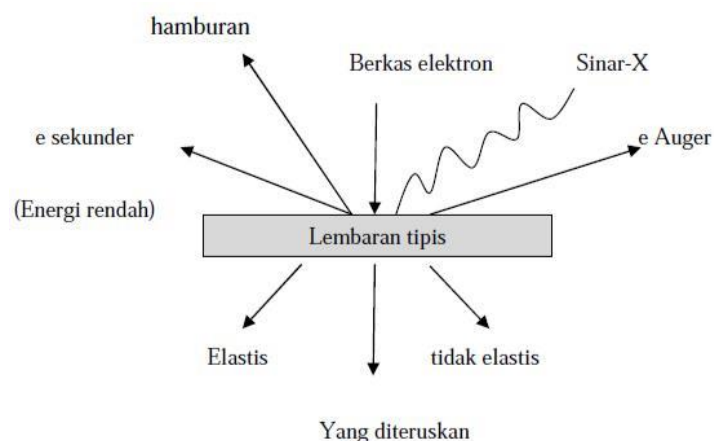
Gambar 18. Skema Dasar SEM (Smallman dan Bishop, 1999: 144)

### 3. EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*)

EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) merupakan teknik analisis yang berguna untuk menentukan komposisi kimia dari suatu

bahan. EDAX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja sendiri tanpa SEM. Prinsip kerja dari EDAX yakni dengan menangkap dan mengolah sinyal *fluoresensi* sinar-X yang keluar akibat berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (*specimen*). Sinar-X tersebut dapat dideteksi menggunakan detektor zat padat yang dapat menghasilkan pulsa intensitas yang sebanding panjang gelombang sinar-X.

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan menembus *specimen* dan diserap. Apabila *specimennya* cukup tipis, sebagian besar akan ditransmisikan dan beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi, sementara sebagian yang lain akan dihamburkan secara tidak elastis. Untuk mengetahui peristiwa hamburan tersebut dapat dilihat pada Gambar 19 berikut.



Gambar 19. Hamburan dari elektron yang jatuh pada lembar tipis (Smallman, 2000: 155)

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material (Smallman, 2000: 156). Elektron auger adalah elektron dari kulit orbit terluar yang berasal dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah.

Hasil analisis EDAX berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara puncak tingkat energi dari sinar-X yang diterima. Semakin tinggi spektrum pada puncak energi, maka akan semakin tinggi konsentrasi elemen tersebut pada sampel.

#### **H. Kerangka Berfikir**

Metode penumbuhan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dilakukan dengan teknik evaporasi vakum. Teknik evaporasi vakum adalah teknik penguapan bahan di dalam ruang vakum (hampa) guna memperoleh suatu lapisan tipis yang baik. Karakteristik bahan semikonduktor lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain tekanan pada saat pemvakuman, suhu substrat, *spacer* (jarak material sumber dengan substrat) dan massa bahan.

Pada proses preparasi lapisan tipis, temperatur substrat memiliki andil besar dalam tingkat kristalinitas  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang berhubungan dengan struktur kristal. Kristal tidak dapat tumbuh saat temperatur 0 K, karena pada suhu tersebut atom-atomnya tidak bergerak. Sedangkan

kristal dapat tumbuh dengan cepat pada temperatur yang sangat tinggi. Meskipun begitu, temperatur yang sangat tinggi menimbulkan cacat kristal yang terbentuk juga akan banyak. Peningkatan temperatur berdampak pada peningkatan energi atom untuk bergetar. Atom-atom yang bergetar mengakibatkan jarak antar atom yang terbentuk semakin besar. Jarak yang semakin besar, memungkinkan atom-atom dengan energi tinggi atau berada diatas energi ikatnya akan bergerak melepas ikatan dan melompat ke posisi yang baru. Sehingga perpindahan posisi inilah yang membuat jumlah kekosongan meningkat dengan cepat. Temperatur yang tinggi juga memungkinkan adanya atom-atom asing menyusup lebih dalam di antara celah-celah atom. Peristiwa ini menyebabkan atom-atom asing terikat dan semakin kuat menempel pada bahan, sehingga kristal yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang baik (Vlack, 2004).

Oleh karena itu, variasi temperatur substrat diperlukan agar karakteristik bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  mampu memberikan informasi yang sesuai dengan harapan. Informasi tersebut bisa diperoleh melalui uji XRD untuk mengetahui struktur dan parameter kisi kristal, SEM untuk mengetahui morfologi permukaan kristal, dan EDAX untuk mengetahui komposisi kimia kristal.

### **BAB III**

#### **METODE PENELITIAN**

##### **A. Waktu dan Tempat Penelitian**

###### **1. Waktu penelitian**

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2017 hingga Juni 2017

###### **2. Tempat Penelitian**

- a. Pembuatan preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan teknik evaporasi vakum dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta .
- b. Karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan menggunakan mesin XRD (*X-Ray Diffraction*) bermerk Miniflex 600 Rigaku dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi untuk mengetahui morfologi permukaan menggunakan mesin SEM (*Scanning Electron Microscopy*) bermerk JEOL JSM-6510LA dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gajah Mada.
- d. Karakterisasi untuk mengetahui komposisi kimia menggunakan mesin EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) bermerk JEOL JSM-6510LA dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gajah Mada.

## B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi kristal bahan semikonduktor lapisan tipis yang terdiri dari:

- a. Perangkat preparasi bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan teknik evaporasi vakum.
  1. *Furnace* (oven) digunakan untuk memanaskan kaca substrat.
  2. Penggerus digunakan untuk menggerus bahan yang masih berbentuk padatan (masif).
  3. Neraca digital digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan dipreparasi.
  4. Pompa vakum, terdiri dari pompa rotari sekat yang berfungsi sebagai pemvakum suatu ruangan dan pompa difusi untuk pemvakuman pada tekanan yang sangat rendah.
  5. Sistem evaporator merupakan alat utama yang digunakan dalam proses preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .
  6. *Mannometer penning* digunakan untuk mengetahui tekanan pada ruang vakum saat proses evaporasi.
  7. Pembaca suhu digunakan untuk menunjukkan suhu substrat yang dipasang pada pemanas substrat.
  8. Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan pada saat pemanasan substrat.

9. *Stopwatch*, digunakan untuk mencatat waktu yang dikehendaki dalam pembacaan suhu saat evaporasi berlangsung.
- b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ 
  1. *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .
  2. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang terbentuk.
  3. *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) untuk mengetahui komposisi bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang terbentuk.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Paduan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  hasil preparasi dari teknik Bridgman (Desi Indah Anjarkusuma, 2017)
2. Substrat kaca dengan ketebalan 1 mm.

### C. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Variabel bebas
  - a. Suhu substrat.
2. Variabel Terikat
  - a. Struktur kristal.
  - b. Parameter kisi kristal.

- c. Morfologi permukaan.
  - d. Komposisi kimia.
3. Variabel Kontrol
- a. Massa bahan.
  - b. Tekanan vakum.
  - c. Jarak antara material sumber dengan substrat (*spacer*).
  - d. Bahan cawan atau *Crucible*.

#### **D. Langkah Penelitian**

Penelitian yang dilakukan dibagi menjadi 2 tahapan yakni tahap I meliputi persiapan, preparasi, dan pengambilan hasil preparasi dan tahap II meliputi karakterisasi lapisan tipis untuk mengetahui struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia bahan.

##### **1. Penelitian Tahap I**

Penelitian tahap ini meliputi persiapan, preparasi lapisan tipis, dan pengambilan hasil preparasi lapisan tipis.

##### **a. Tahap Persiapan**

1. Mempersiapkan bahan yang akan dipreparasi yaitu  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$
2. Menghaluskan bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang masih berbentuk butiran-butiran kasar menggunakan alat penggerus
3. Menyiapkan kaca prepatat dan membersihkan kaca prepatat dengan menggunakan detergen dan mengeringkannya
4. Membersihkan lagi kaca prepatat tersebut dengan menggunakan alkohol dengan tujuan sterilisasi kaca prepatat lalu dikeringkan

5. Memanaskan kaca preparat yang telah dibersihkan tersebut beserta di dalam *furnace* pada suhu 100°C selama 30 menit
  6. Menimbang bahan yang akan dipreparasi dengan menggunakan neraca digital bermassa 0,2 gram.
  7. Membuka *chamber* pada sistem evaporator kemudian memasukkan bahan yang akan dipreparasi ke dalam *crucible* yang telah dipasang
  8. Memasang spacer dengan jarak 15 cm
  9. Menempelkan kaca preparat pada *holder* pertama, kemudian menempatkan kaca preparat yang sudah terpasang pada *holder* pertama dan *holder* kedua
  10. Memasang pemanas substrat
  11. Menghubungkan kabel dari *slide regulator* ke pemanas substrat
  12. Menutup kembali *chamber* serapat mungkin
- b. Tahap Preparasi Bahan
1. Menghidupkan pompa rotari (pompa primer) dan membuka katup pertama pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit
  2. Menghidupkan pompa difusi (pompa sekunder) dengan mengatur *slide regulator* pada tegangan 210 volt dan menunggu selama 30 menit
  3. Membuka atau memutar katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve system* selama 10 menit

4. Membuka katup ketiga atau *bypass valve system* dari F ke O selama 10 menit. Setelah itu katup digeser ke posisi semula, yaitu *rough valve system* dan 10 menit sebelum membuka *bypass valve system* kembali ke posisi *back valve system*
5. Menghidupkan *manometer penning* dan mengamati tekanannya
6. Memanaskan pemanas substrat dengan cara menghidupkan dan mengatur tegangan dengan memutar *slide regulator* 1 untuk memperoleh suhu substrat. Pemanasan substrat dilakukan dilakukan untuk mendapatkan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang baik. Variasi suhu substrat dilakukan sebanyak 3 kali yaitu suhu substrat 250 °C, suhu substrat 300 °C, dan suhu substrat 350°C
7. Setelah memperoleh tekanan yang stabil, maka evaporasi telah siap untuk dilaksanakan
8. Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* 2 untuk pemanasan sehingga bahan yang berada di dalam di dalam *crucible* menguap habis. Dalam penelitian ini, besar tegangan diatur secara bertahap yaitu dimulai dari 60 Volt selama 2 menit, 70 Volt selama 2 menit, 80 Volt selama 2 menit, 90 Volt selama 1 menit, dan 100 Volt selama 1 menit.
9. Setelah proses evaporasi selesai atau bahan menguap habis, *slide regulator* 2 diatur ke posisi nol lalu dimatikan. Pembaca suhu juga dimatikan.

10. Menutup katup ketiga atau *bypass valve system* ke posisi F dari posisi O. Kemudian memutar *slide regulator* 1 ke posisi nol lalu mematakannya.
  11. Mematikan *manometer penning* dan menunggu selama 45 menit sampai pompa difusi mendingin.
  12. Setelah pompa difusi dingin, lalu mengatur katup pada posisi stop.
  13. Mematikan pompa rotari sekat dan pompa air.
  14. Menunggu selama minimal 1 x 24 jam untuk melihat hasil preparasi.
- c. Tahap Pengambilan Hasil Preparasi
1. Membuka dan mengendorkan katup sehingga tekanan udara di dalam *chamber* menjadi normal.
  2. Membuka penutup *chamber* dan melepas *chamber* dari dudukannya.
  3. Melepas kabel yang terhubung pada pemanas substrat.
  4. Melepaskan pemanas substrat.
  5. Melepaskan *holder* 1 ke *holder* 2
  6. Mengambil hasil preparasi lapisan tipis dan memasukkannya ke dalam wadah yang tertutup rapat agar tidak terjadi oksidasi pada hasil preparasi lapisan tipis tersebut.
  7. Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan katupnya.

## 2. Penelitian Tahap II

Penelitian tahap ini meliputi karakterisasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang terbentuk dengan menggunakan XRD, SEM, dan EDAX.

### a. Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

Langkah-langkah pelaksanaan karakterisasi dengan menggunakan XRD adalah:

1. Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi.
2. Membersihkan tempat sampel dari debu dan memasang sampel yang akan dikarakterisasi pada *specimen chamber* mesin XRD dan mencetak hasil analisis.
3. Menganalisis data yang diperoleh dari hasil XRD.

### b. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ . Pada karakteristik SEM diperoleh hasil data yang berupa foto. Langkah-langkah pelaksanaan karakterisasi dengan menggunakan mesin SEM sebagai berikut.

1. Memotong sampel hasil preparasi dengan ukuran (0,5x0,5) cm, kemudian menempelkan sampel yang sudah dipotong tersebut pada tempat sampel dan mengelemnya dengan menggunakan lem konduktif.

2. Memanaskan sampel dengan menggunakan *water heater* untuk mengeringkan lem tersebut .
  3. Membersihkan sampel dari debu yang menempel dengan menggunakan *hand blower*.
  4. Melapisi sampel dengan *gold paladium* (Au = 80% dan Pd = 20%) dengan menggunakan ion sputter JFC 1100.
  5. Meletakkan sampel pada *specimen chamber* mesin SEM untuk dilakukan pemotretan.
  6. Melakukan pengamatan dan pemotretan pada titik yang diinginkan, kemudian menyimpan data dalam bentuk file.
- c. Karakteristik EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*)

Pada karakteristik EDAX diperoleh data berupa spektrum. Langkah-langkah pelaksanaan karakterisasi dengan menggunakan mesin EDAX adalah sebagai berikut.

1. Memotong sampel hasil preparasi, kemudian menempelkan sampel yang sudah dipotong tersebut pada tempat sampel dan mengelemya dengan menggunakan lem konduktif.
2. Memanaskan sampel dengan menggunakan *water heater* untuk mengeringkan lem tersebut.
3. Membersihkan sampel dari debu yang menempel dengan menggunakan *hand blower*.
4. Melapisi sampel dengan *gold paladium* (Au = 80% dan Pd = 20%) dengan menggunakan ion sputter JFC 1100.

5. Meletakkan sampel pada *specimen chamber* mesin EDAX untuk dikarakterisasi.
6. Melakukan pengamatan dan penyimpanan data ke dalam sebuah file.

### 3. Teknik Analisis Data

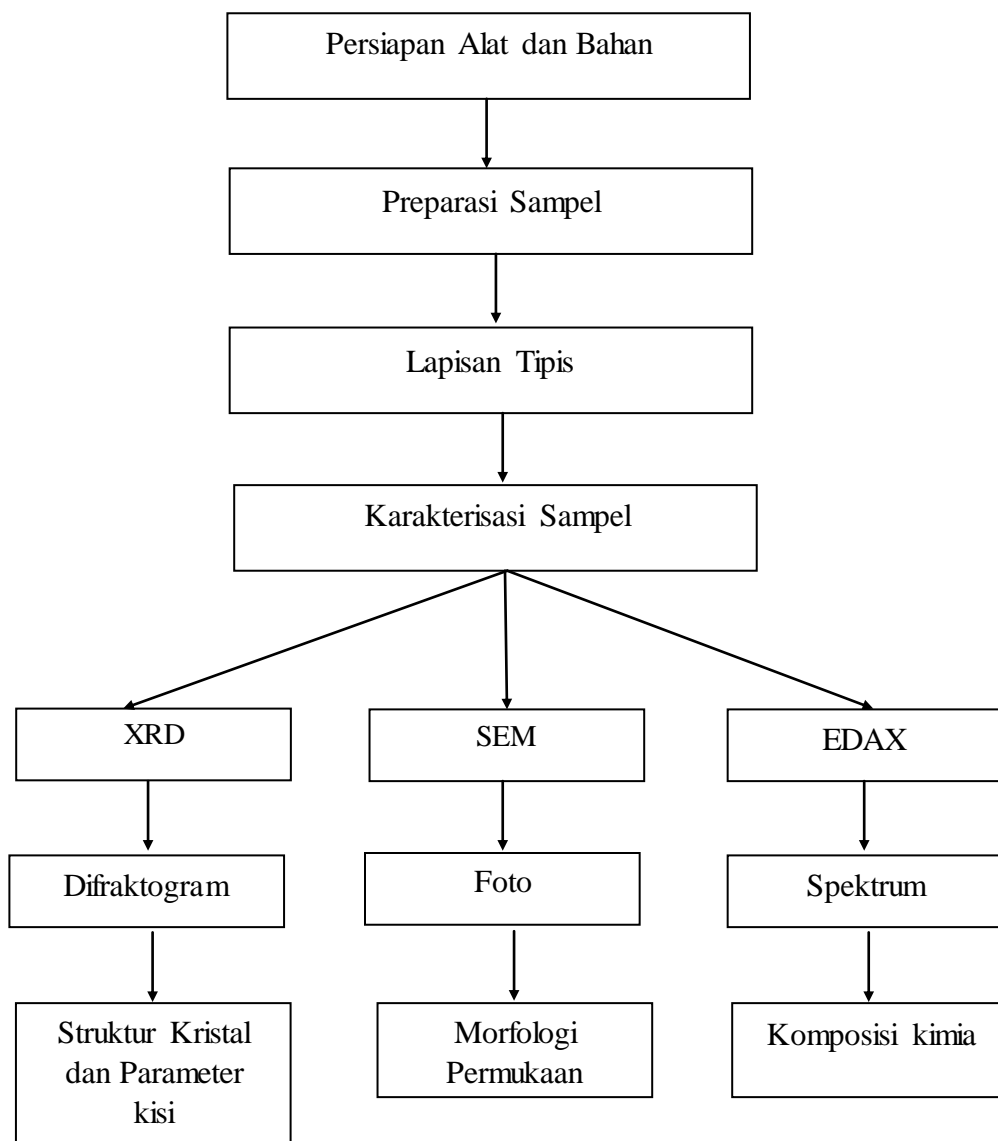
Data yang telah diperoleh dari hasil karakterisasi XRD adalah berupa difraktogram yang menunjukkan intensitas sebagai fungsi sudut difraksi  $2\theta$ . Difraktogram tersebut kemudian dicocokkan dengan data standar yang berasal dari database JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*) melalui teknik *search match analysis* pada program komputer PCPDFWIN, sehingga diperoleh bidang-bidang *hkl* dari sampel. Nilai parameter kisi  $a, b$ , dan  $c$  ditentukan dengan metode analitik. Difraktogram dan parameter kisi antara ketiga sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dibandingkan untuk mengetahui pengaruh perbedaan suhu substrat yang divariasikan.

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi SEM adalah foto morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang terbentuk. Dari foto tersebut kemudian diamati bentuk dan ukuran butiran-butiran melalui berbagai perbesaran. Homogenitas permukaan sampel juga bisa diamati pada foto tersebut. Berikutnya data yang diperoleh dari hasil karakterisasi EDAX adalah berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas terhadap energi. Dari spektrum tersebut dilakukan analisis kualitatif untuk mengetahui jenis unsur yang

terkandung dalam sampel dan analisis kuantitatif untuk mengetahui komposisi atom unsur-unsur yang terkandung dalam sampel.

#### 4. Diagram Alir Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat ditunjukkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut.



Gambar 20. Diagram Alir Tahap Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

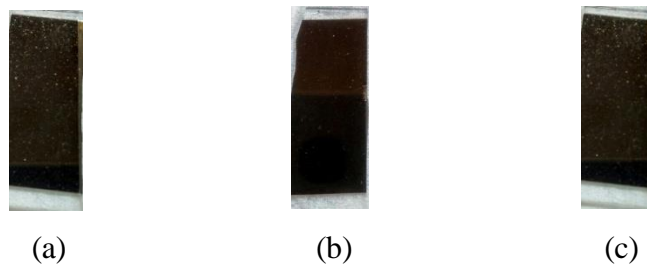
Pada penelitian ini, hasil dari penumbuhan lapisan tipis bahan semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  menggunakan metode evaporasi vakum diperoleh tiga sampel dengan variasi suhu substrat sebanyak tiga kali yaitu  $250^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ , dan  $350^{\circ}\text{C}$ . Tahap pendeposisian lapisan tipis diawali dengan mencuci substrat kaca menggunakan detergen lalu dibersihkan lagi dengan alkohol. Substrat kaca yang sudah dibersihkan kemudian dimasukkan dalam mesin *furnace* hingga suhunya mencapai  $100^{\circ}\text{C}$  agar bersih dan steril dari kotoran yang menempel. Setelah itu substrat kaca diletakkan pada *holder* dengan jarak 15 cm dari *crucible*. Dalam proses evaporasi ini tekanan yang dibutuhkan sekitar  $10^{-5}$  mbar. Data yang diperoleh saat penelitian dapat disajikan dalam bentuk tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Hasil Preparasi Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$

Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Suhu Substrat	$250^{\circ}\text{C}$	$300^{\circ}\text{C}$	$350^{\circ}\text{C}$
Massa Bahan	0,2 gram	0,2 gram	0,2 gram
Tekanan Vakum	$4 \times 10^{-5}$ mbar	$4 \times 10^{-5}$ mbar	$4 \times 10^{-5}$ mbar
<i>Spacer</i>	15 cm	15 cm	15 cm

Tahap selanjutnya yaitu menimbang bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang sudah dihaluskan dalam bentuk serbuk sebesar 0,2 gram lalu dimasukkan

dalam cawan/*crucible*. Kemudian bahan dipanaskan dalam suhu tinggi hingga melebur dan berubah menjadi uap. Uap yang terbentuk ini akan bergerak ke segala arah, sehingga sebagian akan terdeposisi pada permukaan substrat kaca. Pemanasan dilakukan secara bertahap dengan mengatur *slide regulator* dalam waktu yang sudah ditentukan. Hasil lapisan tipis yang terbentuk dari proses evaporasi vakum bisa dilihat dalam Gambar 21.



Gambar 21. Hasil Preparasi Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .  
(a) sampel 1 suhu  $250^{\circ}\text{C}$ , (b) sampel 2 suhu  $300^{\circ}\text{C}$ , (c) sampel 3  $350^{\circ}\text{C}$ .

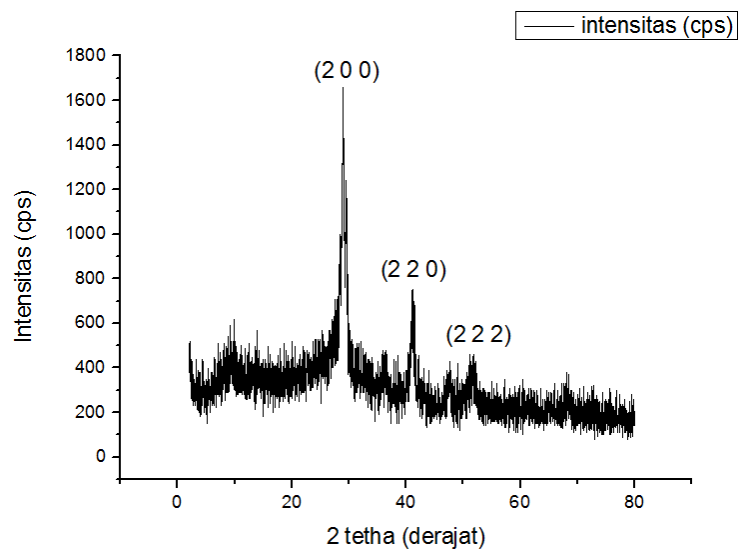
Pada Gambar 21, terlihat bahwa ketiga hasil preparasi lapisan tipis memiliki ciri fisik yang hampir sama mulai dari bentuk maupun warna. Ketiga lapisan tipis mempunyai warna yang mirip yaitu coklat kehitam-hitaman. Oleh karena itu untuk mengetahui pengaruh variasi suhu substrat yang dipakai dalam proses preparasi, maka ketiga sampel tersebut perlu dilakukan karakterisasi lapisan tipis dalam bentuk uji laboratorium yaitu XRD yang berguna untuk menentukan struktur kristal yang terbentuk serta parameter kisi. Hasil dari karakteristik XRD dalam bentuk difraktogram. Kemudian dari ketiga sampel tersebut dipilih sampel 1 yaitu pada suhu  $250^{\circ}\text{C}$  untuk dilakukan SEM-EDAX. SEM-EDAX berguna untuk

mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia dari bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .

### 1. Hasil Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

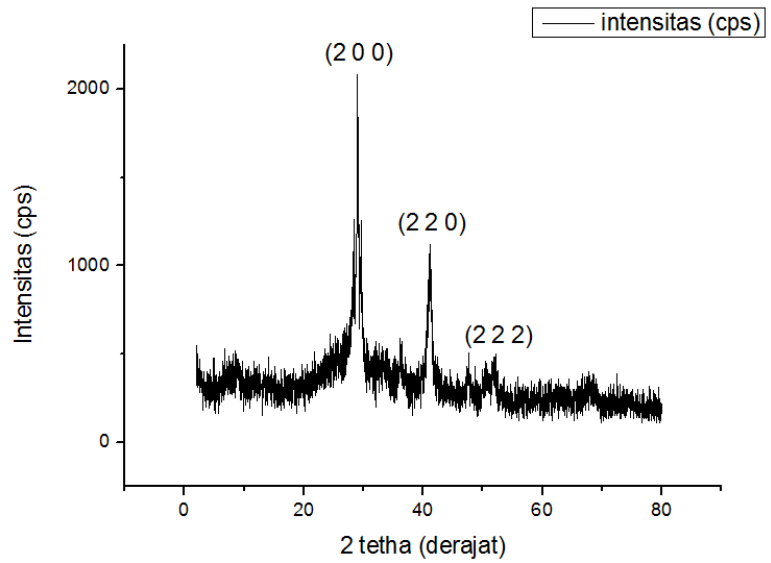
Hasil karakterisasi ketiga sampel tersebut berupa difraktogram yang merupakan grafik hubungan antara sudut hamburan ( $2\theta$ ) dan intensitas spektrum (I). Berikut difraktogram-difraktogram yang terbentuk dari hasil XRD.

#### 1. Difraktogram Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Sampel 1 Suhu $250^\circ\text{C}$



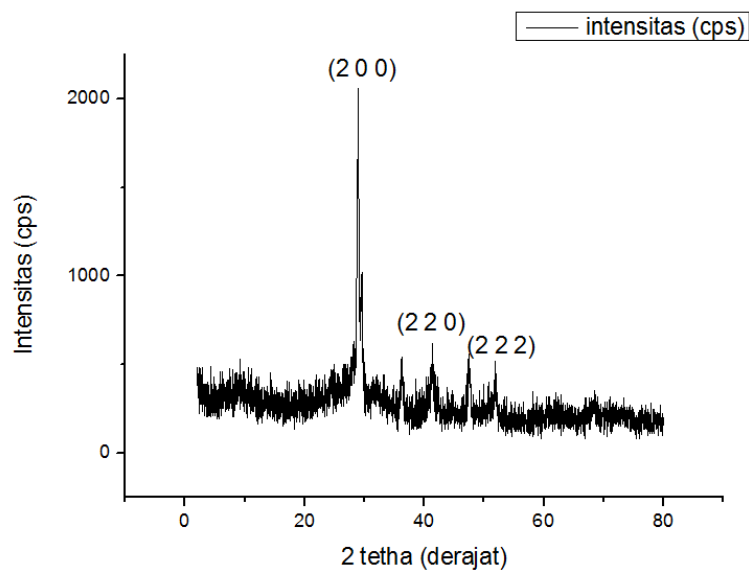
Gambar 22. Difraktogram XRD Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan Suhu Substrat  $250^\circ\text{C}$

2. Difraktogram Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  Sampel 2 Suhu  $300^\circ\text{C}$



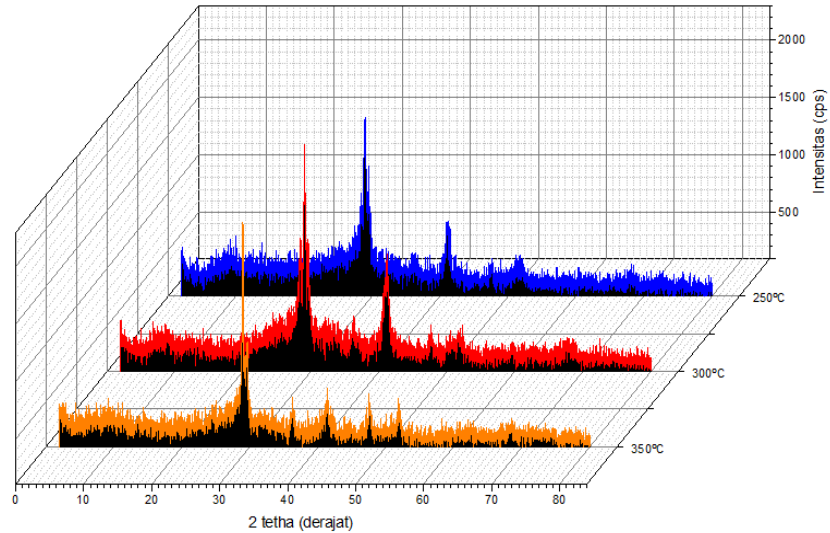
Gambar 23. Difraktogram XRD Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan Suhu Substrat  $300^\circ\text{C}$

3. Difraktogram Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  Sampel 3 Suhu  $350^\circ\text{C}$



Gambar 24. Difraktogram XRD Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan Suhu Substrat  $350^\circ\text{C}$

4. Difraktogram Gabungan Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  Pemanasan Suhu Substrat  $250^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ , dan  $350^{\circ}\text{C}$



Gambar 25. Gabungan Difraktogram XRD Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan Suhu Substrat  $250^{\circ}\text{C}$ ,  $300^{\circ}\text{C}$ , dan  $350^{\circ}\text{C}$ .

## B. Pembahasan Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$

### 1. Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter kisi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi lapisan tipis menggunakan XRD dilakukan dengan tujuan dapat mengetahui struktur kristal dan parameter kisi dari lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang telah terbentuk. Karakterisasi ini diberlakukan untuk ketiga sampel lapisan tipis tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yaitu pada sampel pertama dengan pemanasan suhu substrat  $250^{\circ}\text{C}$ , sampel kedua dengan pemanasan suhu substrat  $300^{\circ}\text{C}$ , dan sampel ketiga dengan pemanasan suhu substrat  $350^{\circ}\text{C}$ .

Berdasarkan hasil plot difraktogram lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  menggunakan *software origin* diatas terlihat bahwa sampel 1 suhu  $250^{\circ}\text{C}$ , sampel 2 suhu  $300^{\circ}\text{C}$ , dan sampel 3 suhu  $350^{\circ}\text{C}$  memiliki sudut hamburan ( $2\theta$ ) yang hampir sama semua. Perbedaan ketiga difraktogram pada masing-masing sampel terletak pada intensitas tiap-tiap puncaknya. Intensitas tertinggi ketiga sampel jatuh pada sudut sekitar  $28^{\circ}$ . Pada sampel 2 dan 3 terlihat jelas bahwa kedua sampel memiliki intensitas yang hampir sama tingginya. Hal ini bisa terjadi karena pada saat penelitian variasi suhu substrat yang digunakan pada masing-masing bahan hanya selisih  $50^{\circ}\text{C}$ . Variasi suhu substrat tersebut memang relatif kecil, sehingga memberikan dampak pada ketinggian intensitas difraktogram yang tidak begitu signifikan.

Kemudian untuk membandingkan difraktogram dari ketiga sampel yakni dengan cara menggabungkannya menjadi satu difraktogram. Dari difraktogram yang terbaca menunjukan intensitas tertinggi terdapat pada suhu  $350^{\circ}\text{C}$  dengan sudut hamburan  $28,913^{\circ}$ . Intensitas puncak yang tinggi pada difraktogram menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terbentuk memiliki keteraturan atom-atom kristal yang juga semakin tinggi (Ohring, 2002: 114). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa lapisan tipis yang terbentuk dari sampel 3 dengan variasi suhu  $350^{\circ}\text{C}$  memiliki susunan atom-atom kristal yang lebih teratur daripada sampel 1 dan 2.

Setelah diketahui besar sudut hamburan ( $2\theta$ ) dan nilai intensitas dari difraktogram, kemudian dilakukan analisis data untuk mencari parameter kisi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ . Sebelum parameter kisi bisa diketahui terlebih dahulu menentukan indeks miller ( $hkl$ ). Indeks miller ( $hkl$ ) diperoleh dengan mencocokkan sudut hamburan ( $2\theta$ ) pada difraktogram sampel 1, 2 dan 3 dengan data JCPDS .

Teknik pencocokan data hasil XRD lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan data JCPDS menggunakan program yang bernama PCPDFWIN. Pencocokan data yang dilakukan ini hanya melihat 2 unsur paduan saja yakni SnTe sebab kecenderungan komposisi Te lebih besar daripada Se. Berdasarkan data JCPDS, SnTe memiliki struktur kristal berbentuk kubik. Oleh karena itu parameter kisi pada SnTe adalah  $a=b=c$ . Data JCPDS dibandingkan dengan data dari sampel 1,2 dan 3 hasil XRD lalu dibuat tabel sebagai berikut.

Tabel 3. Perbandingan Hasil XRD  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  sampel 1 dengan JCPDS

<i>Peak</i>	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampel 1		SnTe JCPDS		<i>hkl</i>
	$2\theta$ (°)	I(%)	$2\theta$ (°)	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 4. Perbandingan Hasil XRD  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  sampel 2 dengan JCPDS

Peak	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampel 2		SnTe JCPDS		hkl
	$2\theta$ (°)	I(%)	$2\theta$ (°)	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 5. Perbandingan Hasil XRD  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  sampel 3 dengan JCPDS

Peak	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampel 3		SnTe JCPDS		hkl
	$2\theta$ (°)	I(%)	$2\theta$ (°)	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

Pada tabel diatas, masing-masing puncak sampel terletak pada  $2\theta$  yang hampir sama dengan data JCPDS. Sehingga indeks miller ( $hkl$ ) dari hasil XRD bisa diketahui dengan melihat ( $hkl$ ) dari JCPDS. Nilai  $hkl$  diketahui, maka parameter kisi bisa ditentukan. Penentuan parameter kisi  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dilakukan dengan menggunakan metode analitik dan hasil perhitungannya dapat dilihat dalam tabel 6 berikut.

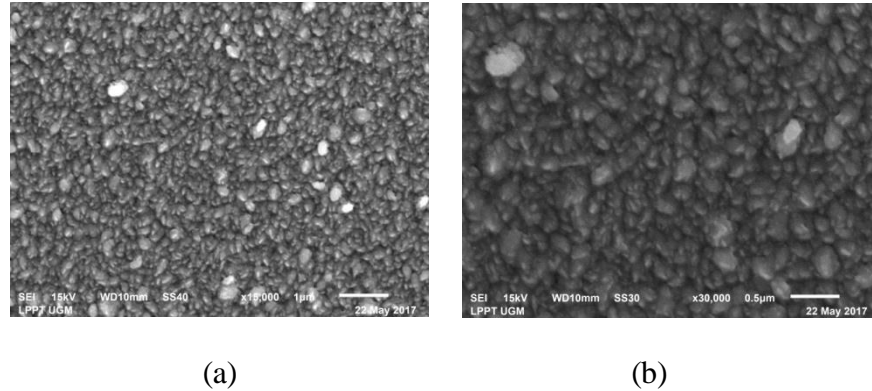
Tabel 6. Parameter Kisi Hasil Metode Analitik Sampel 1,2 dan 3 terhadap JCPDS

parameter kisi	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$			
	sampel 1	sampel 2	sampel 3	JCPDS
$a$ (Å)	6,157	6,157	6,167	6,303
Struktur	Kubik	Kubik	Kubik	Kubik

Berdasarkan Tabel 6, hasil perhitungan nilai parameter kisi untuk sampel 1,2 dan 3 secara analitik terdapat perbedaan dengan data JCPDS. Pada hasil penelitian terlihat, terjadi penurunan nilai parameter kisi terhadap data JCPDS. Hal tersebut disebabkan adanya perbedaan intensitas puncak difraktogram pada ketiga sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang mempengaruhi susunan atom-atomnya. Intensitas yang semakin tinggi mengakibatkan keteraturan atom-atom kristalnya semakin baik. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa variasi suhu substrat tidak berdampak pada nilai parameter kisi dan juga struktur kristalnya.

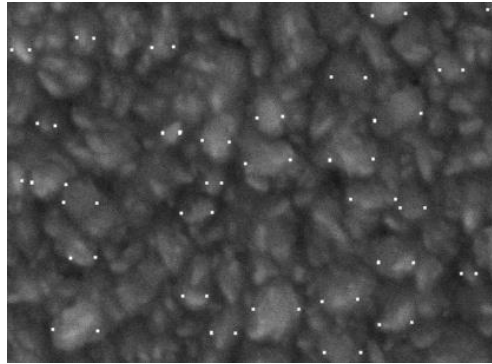
## **2. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)**

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan suatu material. Hasil karakterisasi SEM berupa foto permukaan dari kristal yang terbentuk. Berdasarkan hasil foto yang diperoleh dapat diketahui tingkat homogenitas kristal yang terbentuk. Pada penelitian ini peneliti menggunakan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  sampel 1 dengan temperatur substrat  $250^{\circ}\text{C}$ . Berikut ini ditunjukkan hasil karakterisasi SEM lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan perbesaran 15.000 kali dan 30.000 kali.



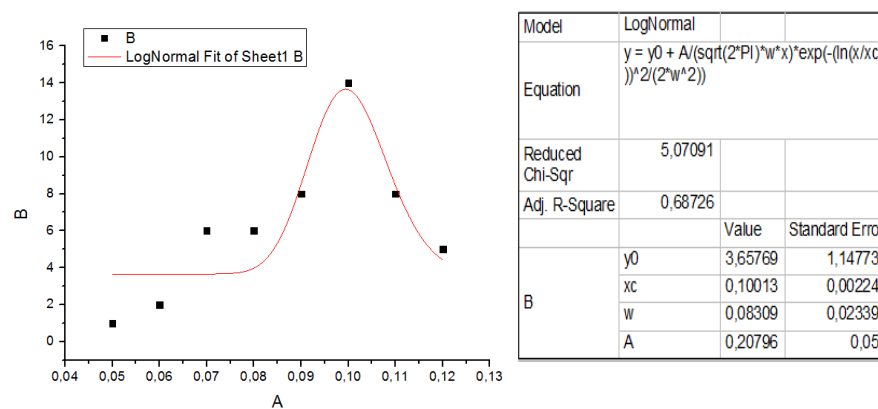
Gambar 26. Foto Morfologi Permukaan Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  Sampel 1 Hasil Karakterisasi SEM dengan perbesaran (a) 15.000 kali dan (b) 30.000 kali

Berdasarkan Gambar 26 terlihat pada perbesaran 30.000 kali sudah nampak butiran-butiran (*grain*) yang terbentuk. Penentuan homogenitas kristal dapat dilihat dari bentuk, struktur, dan warna kristal yang hampir seragam. Dari gambar diketahui butiran partikel memiliki variasi ukuran yang berbeda ada yang sangat kecil hingga besar dengan diameter yang beragam. Pengukuran partikel dapat dilakukan menggunakan aplikasi seperti *Paint*, *Excel*, dan *Origin Lab*. Tahap awal yang dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel yakni dengan membuka aplikasi *paint*, setelah itu buka foto SEM yang mengandung partikel-partikel. Kemudian gunakan item penghapus pada *paint* untuk memberi tanda tepi partikel. Lihat koordinat yang terbaca pada tepi kiri dan tepi kanan partikel, lalu cari selisihnya. Koordinat tersebut dinyatakan dalam arah horizontal (sumbu x) dan vertikal (sumbu y). Pilih koordinat dengan arah sumbu x saja. Proses tersebut berulang hingga didapat sejumlah data tertentu.



Gambar 27. Morfologi Permukaan Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  yang telah Diberi Tanda menggunakan Program Paint

Setelah diameter setiap partikel diperoleh, lalu mencari diameter rata-rata partikel dengan cara memplot data yang diperoleh dalam bentuk grafik dengan fitting Log normal menggunakan aplikasi Origin Lab.



Gambar 28. Grafik Hubungan antar JumlahPartikel dan Ukuran Partikel

Dari data grafik tersebut bisa diperoleh diameter rata-rata partikel dengan persamaan sebagai berikut:

$$f(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D\sigma}} \exp\left\{-\frac{\ln^2 \frac{D}{D_p}}{2\sigma^2}\right\} \quad (26)$$

$$\bar{D} = D_p \exp\left\{\frac{\sigma^2}{2}\right\} \quad (27)$$

Dimana  $D_p = x_c$ ,  $\sigma = w$

$$\bar{D} = 0,10013 \exp\left\{\frac{0,08309^2}{2}\right\}$$

$$\bar{D} = 0,10013 \exp\left\{\frac{0,0069039}{2}\right\}$$

$$\bar{D} = 0,10013 \exp\{0,00345195\}$$

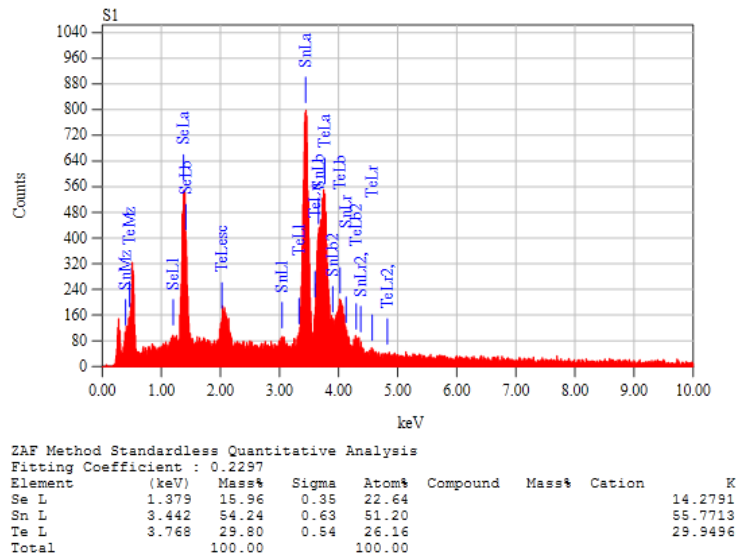
$$\bar{D} = 0,10013 (1,0034579)$$

$$\bar{D} = 0,100476 \mu\text{m}$$

Dari analisis di atas diperoleh diameter rata-rata partikel sebesar 0,1005  $\mu\text{m}$ .

### 3. Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan EDAX (*Energy Dispersive Analisis X-Ray*)

EDAX (*Energy Dispersive Analisis X-Ray*) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia suatu bahan. Prinsip dasar EDAX dengan menangkap dan mengolah sinyal *fluoresensi* sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan. Hasil karakterisasi dari EDAX berupa spektrum, yang ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara energi dan intensitas dari bahan yang dikarakterisasi. Pada karakterisasi EDAX lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dipilih sampel 1, sebab yang digunakan dalam karakterisasi SEM juga sampel 1. Hasil karakterisasi EDAX dapat ditunjukkan pada gambar 29 berikut.



Gambar 29. Grafik antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$

Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX, diketahui bahwa preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te). Dari ketiga unsur tersebut dapat dilihat perbandingan konsentrasi unsur (%) dan perbandingan mol pada sampel 1 dalam tabel 7 berikut:

Tabel 7. 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

Pada Tabel 7 terlihat bahwa komposisi kimia unsur lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  memiliki perbandingan molaritas dari masing-masing unsur Sn:Se:Te adalah 1:0,44:0,51, sedangkan secara teori

perbandingan unsur-unsurnya adalah 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.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan karakterisasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Proses penumbuhan kristal lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  menggunakan teknik evaporasi vakum dengan perbedaan temperatur substrat yang dikarakterisasi menggunakan XRD mempengaruhi kualitas kristal yang ditunjukkan dengan perbedaan intensitas yang diperoleh dari masing-masing temperatur. Semakin tinggi temperatur substrat maka intensitas yang dihasilkan dari difraktogram hasil XRD akan semakin tinggi, sehingga kualitas kristal yang terbentuk akan semakin baik. Hal ini ditunjukkan oleh difraktogram sampel 3 (suhu substrat  $350^{\circ}\text{C}$ ) yang mempunyai intensitas lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya.
2. Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  menggunakan teknik evaporasi vakum mempunyai struktur kristal kubik pusat badan, dengan nilai parameter kisi sebagai berikut:

Sampel 1, dengan suhu substrat  $250^{\circ}\text{C}$  :  $a=b=c=6,157\text{\AA}$

Sampel 2, dengan suhu substrat  $300^{\circ}\text{C}$  :  $a=b=c=6,157\text{\AA}$

Sampel 3, dengan suhu substrat  $350^{\circ}\text{C}$  :  $a=b=c=6,167\text{\AA}$

Dari hasil tersebut terlihat bahwa suhu substrat tidak berpengaruh terhadap parameter kisi dan juga struktur kristalnya.

3. Berdasarkan 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  $0,1005\ \mu\text{m}$ .
4. Hasil 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*.

## B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan agar dihasilkan kristal dengan kualitas yang baik adalah:

1. Sebaiknya semua sampel lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dilakukan karakterisasi menggunakan SEM dan EDAX agar diketahui sampel mana yang memiliki perbandingan sesuai dengan teori.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai penentuan energi gap dan konduktivitas agar diperoleh informasi yang lebih banyak mengenai lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setiawan, dkk. (2007). *Semikonduktor, Modul*. Universitas Pendidikan Indonesia: FMIPA dan IPA UPI.
- Alvan, Ariswan & Sujitno T.(2015). Pengaruh Suhu Substrat terhadap Sifat Listrik dan Optik Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis *SnSe* Hasil Preparasi Teknik Evaporasi Hampa. *Jurnal MIPA*.Vol.17.Hlm 117.
- Anjarkusuma, Desi Indah. (2017). Struktur, Komposisi Kimia, dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor Paduan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan Variasi Lama Pemanasan Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman. *Skripsi*. Universitas Negeri Yogyakarta: FMIPA UNY
- Ariswan. (2014). *Kristalografi, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan. (2013). *Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan, & Na Peng Bo. (2004). *Teknologi Vakum, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Beiser, Arthur. (2003). *Concepts of Modern Physics*. 6th. ed. New York: The McGraw-HillCompanies, Inc.
- Beiser, Arthur. (1992). *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Cullity, B.D. (1959). *Elements of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company.
- Firdaus, M. S. (2011). *Teknik Dalam Laboratorium Kimia Organik*. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Haryanto, Triyo.(2013). Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis  $\text{PbSe}$  Dengan Teknik Evaporasi. *Skripsi*. UNY: FMIPA UNY.
- Istiyono, Edi. (2000). *Fisika Zat Padat 1, Handout Kuliah*. Yogyakarta:Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kittel, Charles. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. 8th. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, Inc.
- Leng, Yang. (2013). *Material Characterization Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*. 2th. ed. Weinheim: Wiley-VCH.

- Mahmudi. (2000). *Studi Tentang Uniformitas Lapisan Tipis Alumunium pada Substrat Kaca Terhadap Jarak Deposit Menggunakan Metode Evaporasi Termal Tipe Ladd Research*. Surakarta: FMIPA UNS.
- Nayiroh, Nurun. (2015). *Pembentukan dan Pendeteksian Sinar-X*. Modul Kuliah. Malang: UIN Malang
- Pecharsky, V. K., & Zavalij, P.Y. (2009). *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*. Springer Science+Business Media LLC. DOI: 10.1007/978-0-387-09579-0 6. Hlm. 1-95.
- 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., Pallavi, Singh, M., Kumar, R., & Jain, G (2010). *Structural and Electrical Characterization of Sintered SnTe Films*. *Chalcogenide Letters*. Vol. 7, No. 3P. 197 -202. Hlm. 1 -6.
- Smallman, R. E., & Bishop, R.J. (2000). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering (Science, Process, and Application)*. 6<sup>th</sup>.ed.Oxford: Butter Heinemann.
- Suwitra, Nyoman. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Swaztyant Saputra, dkk. (2014). Kajian Teoritis untuk Menentukan Celah Energi Kompleks 8-hidroksi quinolin Terkonjugasi Logam Besi dengan Menggunakan Teori Kerapatan Fungsional. *Jurnal*. Universitas Negeri Surabaya. Vol.3 No.2
- Utomo, Joko. (2014). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Sn(S<sub>0.2</sub>Te<sub>0.8</sub>) Lapisan Tipis Hasil Preparasi Teknik Vakum Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vlack, Van. (2004). *Elemen-Elemen & ilmu Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Wegener, Tobias. (2015). *Classification of Solid*. Diakses dari <http://www.physicsin-a-nutshell.com/article/1#classification-of-solids> pada tanggal 20 Maret 2017 pukul 15.10 WIB.
- West, A.R. (1999). *Basic Solid State Chemistry*. New York: John Wiley and Sons.

Wijaya, Sastra Kusuma. (1992). *Semikonduktor, Diktat kuliah elektronika 1*. Jakarta: FMIPA UI.

Winter, Mark. (2015). *Tin Telluride*. Diakses dari [https://www.webelements.com/compounds/tin/tin\\_telluride.html](https://www.webelements.com/compounds/tin/tin_telluride.html) pada tanggal 20 April 2017, Jam 10.30 WIB.

## LAMPIRAN

### A. Perhitungan Parameter Kisi (a) Lapisan Tipis Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) dengan Metode Analitik

Lapisan tipis Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) memiliki struktur kristal yang berbentuk kubik. Struktur kristal kubik memiliki nilai parameter kisi  $a=b=c$ . Nilai parameter kisi bisa dicari melalui jarak antar bidang struktur kubik menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \left( \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \right) \quad (1)$$

Persamaan hukum Bragg:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (2)$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan hukum Bragg, didapat persamaan :

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

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2); A=B=C= \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (5)$$

Sehingga dapat ditulis:

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2 \quad (6)$$

$$A = \frac{\sin^2 \theta}{h^2 + k^2 + l^2} \quad (7)$$

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (8)$$

Maka parameter kisi  $a$  bisa diperoleh sebagai berikut:

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} \quad (9)$$

Dari nilai  $h, k$  dan  $l$  pada JCPDS SnTe, struktur kristal lapisan tipis Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) termasuk jenis kristal kubik pusat badan (*body center cubic*) yang jika nilai  $(h+k+l)$  adalah genap, maka didapatkan:

$$A = \frac{\sin^2 \theta}{4}, \frac{\sin^2 \theta}{8}, \frac{\sin^2 \theta}{12}, \frac{\sin^2 \theta}{16}, \frac{\sin^2 \theta}{20} \dots$$

1. Sampel 1 Lapisan tipis Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) dengan suhu 250°C

Material: Sn(Se<sub>0,4</sub>Te<sub>0,6</sub>) radiasi: CuK<sub>α</sub>  $\lambda_{ka} = 1,54056 \text{ \AA}$

peak	$2\theta$	$\lambda$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	hkl
1	28,98	1,54056	0,01565	0,00783	0,00522	200
2	29,56	1,54056	0,01627	0,00814	0,00542	-
3	41,13	1,54056	0,03085	0,01542	0,01028	220
4	51,80	1,54056	0,0477	0,02385	0,0159	222

$$A = 0,01565$$

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01565}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,125099)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,250199}$$

$$a = 6,15733$$

pembuktian

1. Untuk  $2\theta = 28,98$  dan  $hkl = 200$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,0626 = A \cdot 2^2 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0^2$$

$$0,0626 = 4A$$

$$A = 0,01565$$

Maka,

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01565}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,12509)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,25019}$$

$$a = 6,15756$$

2. Untuk  $2\theta = 41,13$  dan  $hkl = 220$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,12339 = A \cdot 2^2 + B \cdot 2^2 + C \cdot 0^2$$

$$0,12339 = 4A + 4B$$

$$0,03085 = A + B$$

$$B = 0,03085 - 0,01565$$

$$B = 0,0152$$

Maka,

$$b = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0152}}$$

$$b = \frac{1,54056}{2(0,1233)}$$

$$b = \frac{1,54056}{0,2466}$$

$$b = 6,24720$$

3. Untuk  $2\theta = 51,80$  dan  $hkl = 222$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,190795 = A \cdot 2^2 + B \cdot 2^2 + C \cdot 2^2$$

$$0,190795 = 4A + 4B + 4C$$

$$0,047699 = A + B + C$$

$$C = 0,047699 - 0,01565 - 0,0152$$

$$C = 0,01685$$

Maka,

$$C = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01685}}$$

$$C = \frac{1,54056}{2(0,12980)}$$

$$C = \frac{1,54056}{0,25962}$$

$$C = 5,93390$$

2. Sampel 2 lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan suhu  $300^\circ\text{C}$

peak	$2\theta$	$\lambda$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	hkl
1	28,390	1,54056	0,01503	0,00752	0,00501	200
2	28,974	1,54056	0,01565	0,00782	0,00522	200
3	29,480	1,54056	0,01618	0,00809	0,00539	-
4	41,130	1,54056	0,03085	0,01542	0,01028	220

$$A = 0,01565$$

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01565}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,125099)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,250199}$$

$$a = 6,15733$$

pembuktian

1. Untuk  $2\theta = 28,390$  dan  $hkl = 200$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,06013 = A \cdot 2^2 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0^2$$

$$0,06013 = 4A$$

$$A = 0,015033$$

Maka,

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,015033}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,12261)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,24522}$$

$$a = 6,28235$$

2. Untuk  $2\theta = 28,974$  dan  $hkl = 200$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,06258 = A. 2^2 + B. 0^2 + C. 0^2$$

$$0,06258 = 4A$$

$$0,01565 = A$$

Maka,

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01565}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,12508)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,25016}$$

$$a = 6,15830$$

3. Untuk  $2\theta = 41,130$  dan  $hkl = 220$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,12339 = A. 2^2 + B. 2^2 + C. 0^2$$

$$0,12339 = 4A + 4B$$

$$0,03085 = A+B$$

$$B=0,03085 - 0,01565$$

$$B= 0,0152$$

Maka,

$$b = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0152}}$$

$$b = \frac{1,54056}{2(0,1233)}$$

$$b = \frac{1,54056}{0,2466}$$

$$b = 6,24720$$

3. Sampel 3 lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$  dengan suhu  $350^\circ\text{C}$

peak	$2\theta$	$\lambda$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	Hkl
1	28,913	1,54056	0,01558	0,00779	0,00519	200
2	29,530	1,54056	0,01624	0,00812	0,00541	-
3	36,210	1,54056	0,02414	0,01207	0,00805	-
4	41,390	1,54056	0,03122	0,01561	0,01041	220
5	51,910	1,54056	0,04789	0,02394	0,01596	222

$$A=0,0156$$

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0156}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,12489)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,24979}$$

$$a = 6,16742$$

pembuktian

1. Untuk  $2\theta = 28,913$  dan  $hkl = 200$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,06232 = A \cdot 2^2 + B \cdot 0^2 + C \cdot 0^2$$

$$0,06232 = 4A$$

$$A = 0,01558$$

Maka,

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01558}}$$

$$a = \frac{1,54056}{2(0,12482)}$$

$$a = \frac{1,54056}{0,24964}$$

$$a = 6,17113$$

2. Untuk  $2\theta = 41,39$  dan  $hkl = 220$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,12488 = A. 2^2 + B. 2^2 + C. 0^2$$

$$0,12488 = 4A + 4B$$

$$0,03122 = A + B$$

$$B = 0,03122 - 0,01558$$

$$B = 0,01564$$

Maka,

$$b = \frac{\lambda}{2\sqrt{B}}$$

$$b = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01564}}$$

$$b = \frac{1,54056}{2(0,12509)}$$

$$b = \frac{1,54056}{0,250119}$$

$$b = 6,15930$$

3. Untuk  $2\theta = 51,91$  dan  $hkl = 222$

$$\sin^2 \theta = A h^2 + B k^2 + C l^2$$

$$0,19155 = A. 2^2 + B. 2^2 + C. 2^2$$

$$0,19155 = 4A + 4B + 4C$$

$$0,04788 = A + B + C$$

$$C = 0,04788 - 0,01558 - 0,01564$$

$$C = 0,01666$$

Maka,

$$c = \frac{\lambda}{2\sqrt{C}}$$

$$c = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,01666}}$$

$$c = \frac{1,54056}{2(0,12907)}$$

$$c = \frac{1,54056}{0,25815}$$

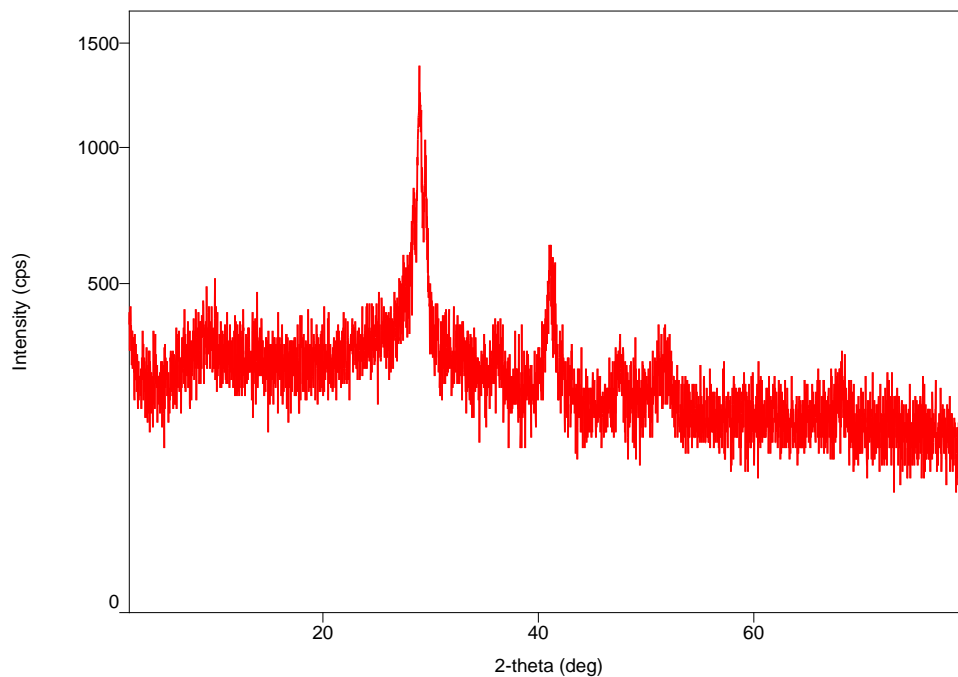
$$c = 5,96746$$

## B. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan XRD

### 1. XRD sampel 1

## Peak List

### Measurement profile



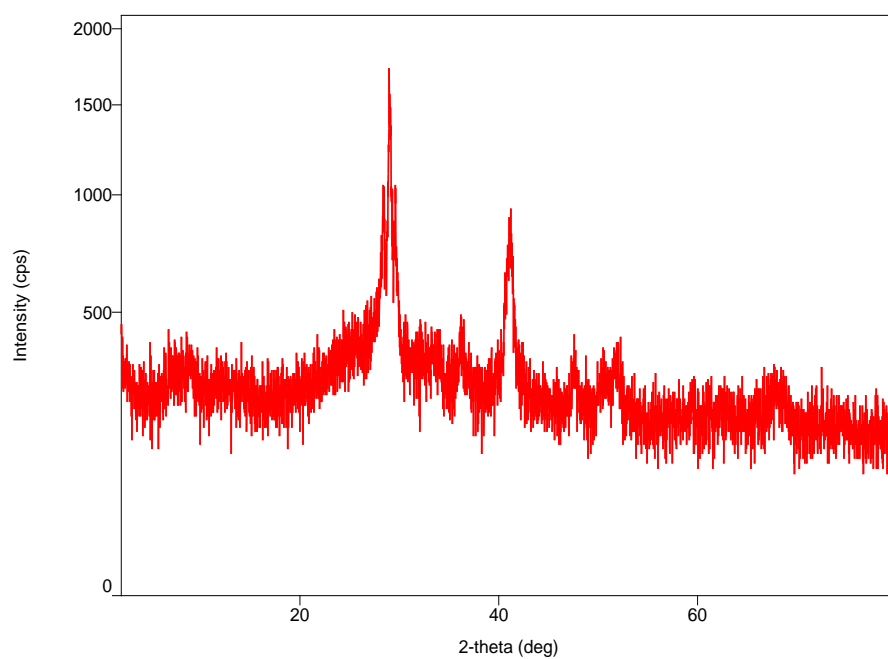
### Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.98(2)	3.079(2)	533(67)	0.70(4)	787(55)	1.5(3)	1.57(19)
2	29.56(2)	3.020(2)	204(41)	0.31(12)	136(50)	0.7(4)	4(4)
3	41.13(7)	2.193(4)	178(39)	0.94(7)	198(14)	1.1(3)	1.2(4)
4	51.8(2)	1.763(7)	49(20)	1.4(2)	76(15)	1.5(9)	1.9(14)

## 2. XRD sampel 2

# Peak List

### Measurement profile



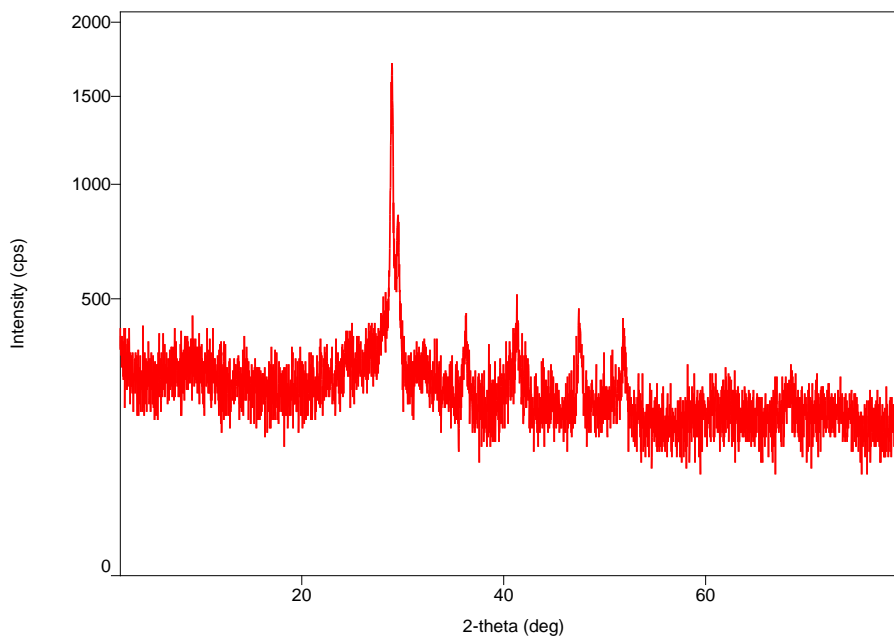
### Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.39(2)	3.142(2)	343(53)	0.17(4)	112(21)	0.33(11)	2.2(11)
2	28.974(1)	3.0792(1)	775(80)	0.21(3)	313(31)	0.40(8)	0.58(18)
3	29.48(12)	3.028(12)	217(42)	2.4(3)	1015(46)	4.7(11)	3.5(10)
4	41.13(5)	2.193(3)	372(56)	0.85(5)	428(16)	1.2(2)	1.5(5)

### 3. XRD sampel 3

## Peak List

#### Measurement profile

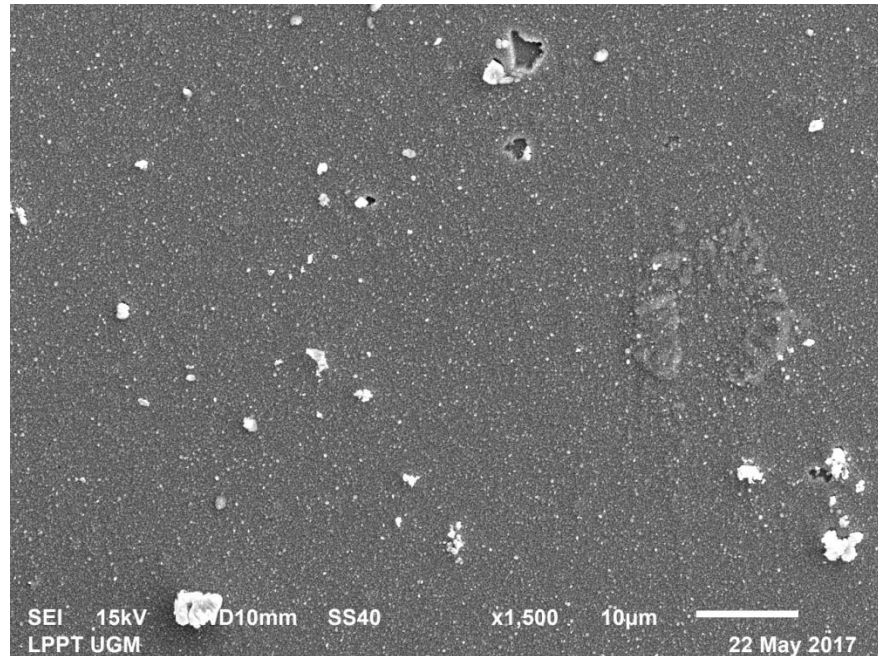


#### Peak list

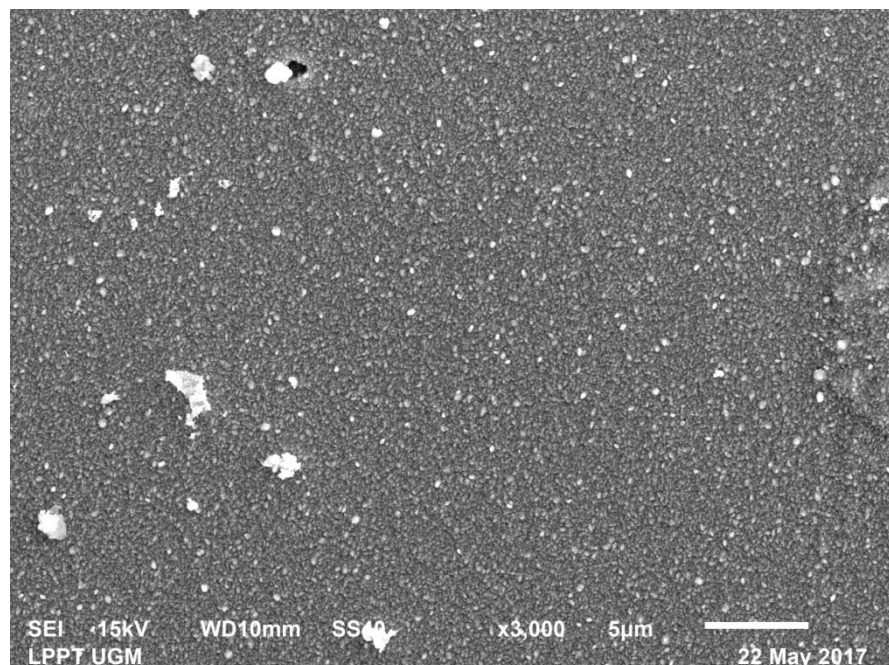
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.913(1)	3.0855(1)	799(82)	0.227(14)	226(36)	0.28(7)	1.3(4)
2	29.53(5)	3.022(5)	267(47)	0.88(19)	309(33)	1.2(3)	3.6(15)
3	36.21(8)	2.479(5)	101(29)	0.56(7)	62(9)	0.6(3)	1.0(6)
4	41.39(11)	2.180(6)	91(27)	1.07(15)	122(15)	1.3(6)	4(3)
5	51.91(2)	1.7601(7)	118(31)	0.43(10)	76(8)	0.6(2)	1.6(18)

### C. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan SEM

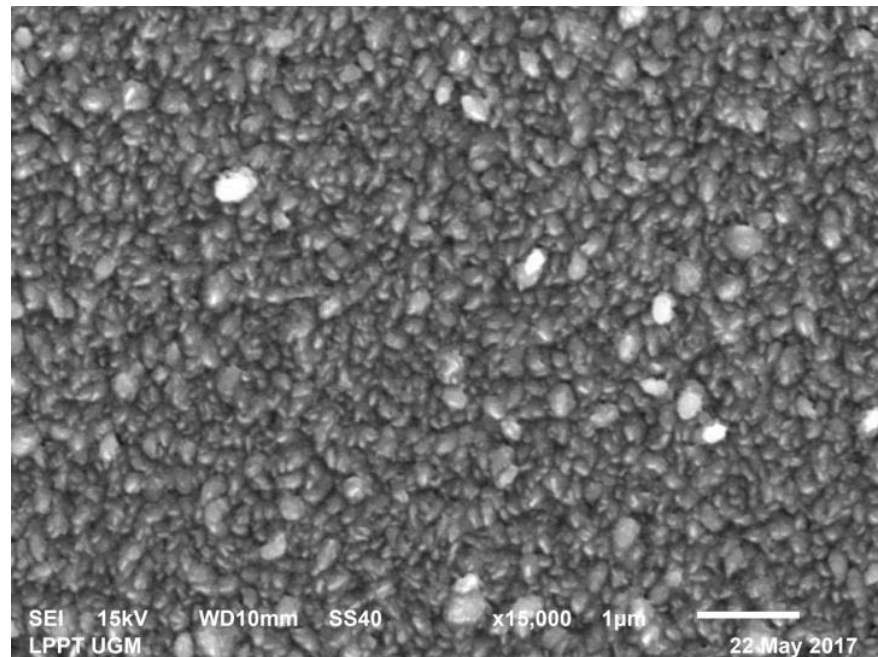
#### 1. Hasil SEM dengan Perbesaran 1.500 kali



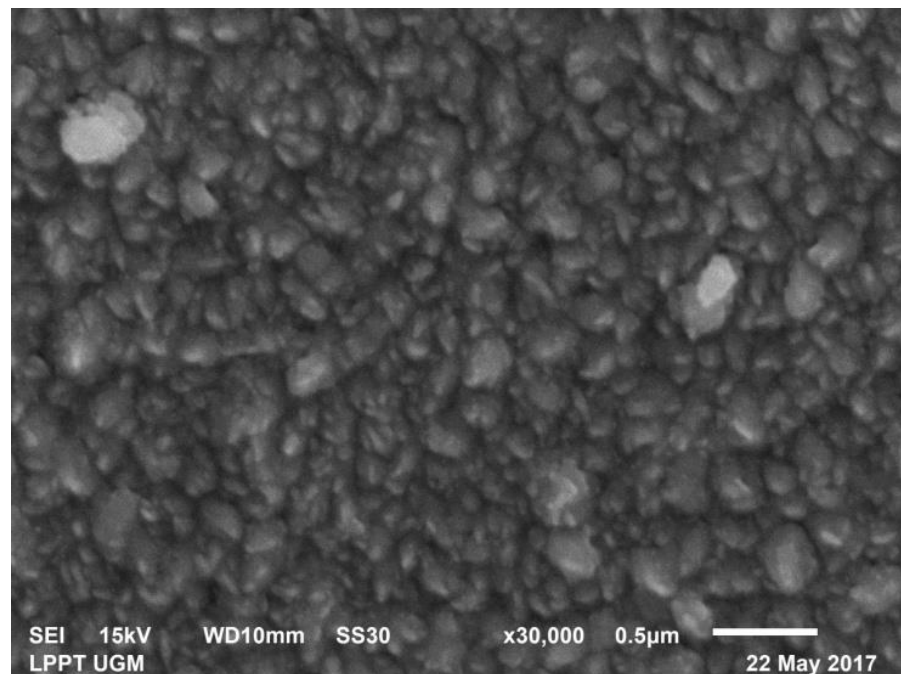
#### 2. Hasil SEM dengan Perbesaran 3.000 kali



**3. Hasil SEM dengan Perbesaran 15.000 kali**

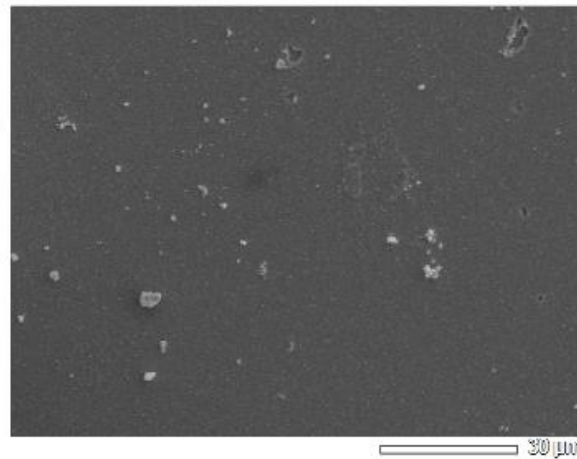


**4. Hasil SEM dengan Perbesaran 30.000 kali**



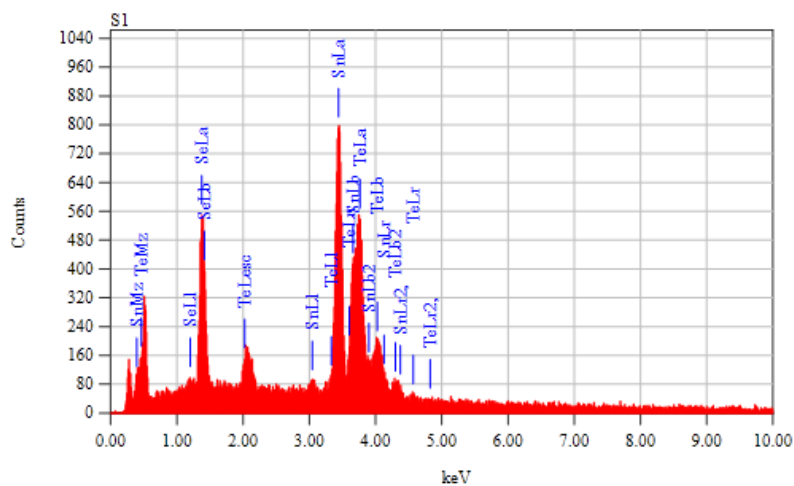
#### D. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray)

S1



JEOL 1/1

Title	: IMG1
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 15.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2017/05/22
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter

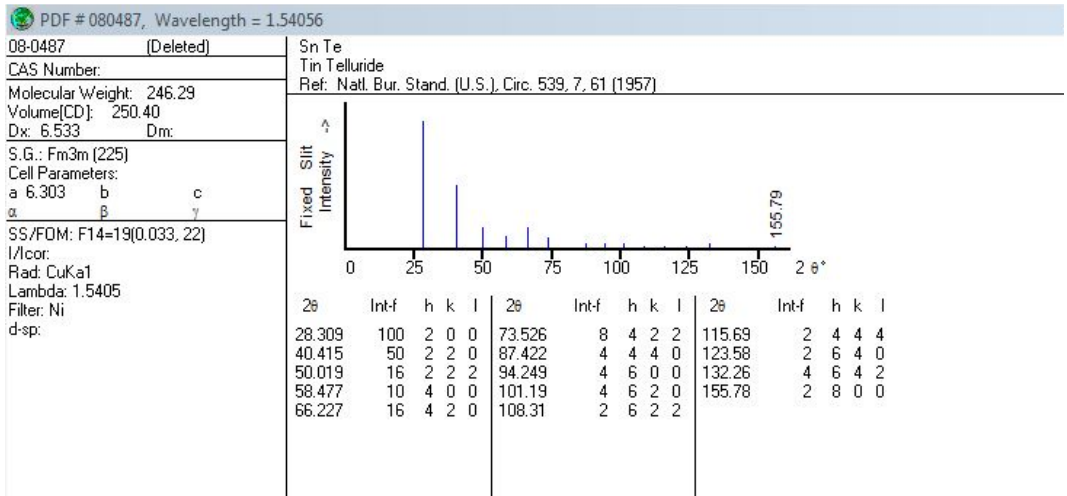
Instrument	: 6510 (LA)
Acc. Voltage	: 15.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T3
Real Time	: 51.06 sec
Live Time	: 50.00 sec
Dead Time	: 2 %
Counting Rate	: 3320 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

##### ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2297

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
Se L	1.379	15.96	0.35	22.64				14.2791
Sn L	3.442	54.24	0.63	51.20				55.7713
Te L	3.768	29.80	0.54	26.16				29.9496
Total		100.00		100.00				

## E. Data JCPDS SnTe



## F. Mengukur Diameter Rata-Rata Ukuran Partikel

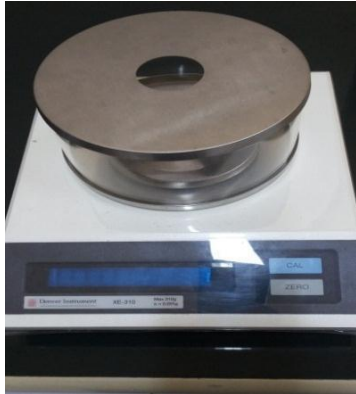
Koordinat		ukuran partikel	
X kiri	X kanan	(pixel)	(mikron)
173	205	32	0,052631579
1193	1231	38	0,0625
1851	1889	38	0,0625
1299	1339	40	0,065789474
2201	2241	40	0,065789474
371	415	44	0,072368421
857	901	44	0,072368421
249	293	44	0,072368421
1078	1123	45	0,074013158
199	245	46	0,075657895
689	735	46	0,075657895
777	823	46	0,075657895
1015	1061	46	0,075657895
669	715	46	0,075657895
2480	2527	47	0,077302632
1112	1165	53	0,087171053
15	69	54	0,088815789
1122	1177	55	0,090460526
1263	1319	56	0,092105263
1827	1883	56	0,092105263
1051	1107	56	0,092105263
1973	2029	56	0,092105263
89	145	56	0,092105263

303	361	58	0,095394737
2415	2473	58	0,095394737
561	619	58	0,095394737
1191	1251	60	0,098684211
1811	1871	60	0,098684211
7	67	60	0,098684211
2283	2343	60	0,098684211
1429	1489	60	0,098684211
2157	2217	60	0,098684211
25	87	62	0,101973684
2171	2233	62	0,101973684
329	391	62	0,101973684
1205	1267	62	0,101973684
1131	1193	62	0,101973684
1693	1757	64	0,105263158
2215	2279	64	0,105263158
1619	1683	64	0,105263158
841	905	64	0,105263158
581	647	66	0,108552632
1323	1389	66	0,108552632
1965	2033	68	0,111842105
2115	2183	68	0,111842105
159	229	70	0,115131579
1785	1855	70	0,115131579
1181	1251	70	0,115131579
395	465	70	0,115131579
2311	2381	70	0,115131579

Intensitas angka yang paling sering muncul

x	y
0,05	1
0,06	2
0,07	6
0,08	6
0,09	8
0,1	14
0,11	8
0,12	5

## G. Dokumentasi Penelitian



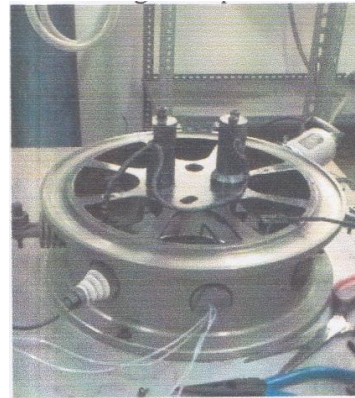
Timbangan Digital



*furnace*



Perangkat Evaporasi



Dudukan *Crusible*



Multimeter Digital



Penggerus



Bahan Sn (*Stannum*)



Bahan Te (*Tellurium*)



Bahan Se (*Selenium*)



*Manometer Penning*



Mesin XRD



Alat pemanas



Mesin SEM-EDAX