

**PENGARUH VARIASI TEKNIK PREPARASI PADA KOMPOSISI KIMIA  
DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN SEMIKONDUKTOR**

**$\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$**

**SKRIPSI**

**Diajukan Kepada Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Guna  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



**Disusun Oleh**

**Arief Rachman Hakim**

**10306141005**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2017**

## PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Teknik Preparasi Pada Komposisi Kimia Dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ ” yang disusun oleh Arief Rachman Hakim, NIM 10306141005 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 14 Mei 2017

Dosen Pembimbing

Dr. Ariswan  
NIP. 19590914 198803 1 003

## 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 sudah 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, 14 Mei 2017

Yang menyatakan,



Arief Rachman Hakim

NIM. 10306141005

PENGESAHAN


Skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Teknik Preparasi Pada Komposisi Kimia Dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ ” yang disusun oleh Arief Rachman Hakim, NIM 10306141005 ini telah dipertahankan didepan dewan penguji pada tanggal 31 Mei 2017 dan dinyatakan lulus.

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 19590914 198803 1 003	Dosen Pembimbing		14-06-2017
<u>Sumarna, M.Si., M.Eng.</u> NIP. 19610308 199101 1 001	Sekretaris Penguji		12-06-2017
<u>Nur Kadarisman, M.Si.</u> NIP. 19640205 199101 1 001	Penguji Utama		12-06-2017

Yogyakarta, 24-7-2017

Fakultas MIPA

Dekan

  
Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

## MOTTO

*“Tuhan Tahu, Tapi Dia Menunggu.....”*

*(Andrea Hirata)*

## **PERSEMBAHAN**

*Waktu adalah obat bagi segala rasa sakit, penderitaan, rasa lelah dan segala jenis perjuangan dalam hidup, Allah tidak pernah mengkhianati perjuangan hamba-Nya. Itulah segelintir ilmu yang bisa kuterima dari sosok sederhana yang bisa kupanggil bapak....Asmuni bapak terbaik selamanya*

*Tidak perlu banyak bicara dalam menjalani hidup, Tuhan memberikan kita satu mulut agar kita bisa berhemat kata dan boros dalam bertindak.*

*Petuah yang sudah mendarahdaging dari sosok pendiam, pemarah, keras kepala, dan penyuplai utama curahan rasa kasih sayang yang tidak pernah putus bagi kami anak-anaknya*

*Untuk mamah.....Subaechah ibu yang tiada duanya*

*Untuk kakak ku Rynal Asyaridiki beserta istrinya serta adik-adik ku Neneng Chumairoh dan Ayunil fajriyah curahan rasa kangen untuk kalian setelah setahun lebih tidak bisa mendampingi kalian*

*Untuk Om Suaefi Latief beserta keluarga, terima kasih atas kesabarannya dalam mengurusku selama 3 tahun*

*Untuk rekan-rekan seperjuangan di kelas Fisika B 2010, tidak sedetikpun waktu yang terbuang percuma ketika bersama kalian kawan*

*Untuk rekan kerja Primanet angkatan 2015 dan Primanet 2016, kesempatan bersama kalian adalah pengalaman berharga bagiku untuk menatap dunia lebih jauh lagi*

*Untuk adik-adik ku di kos mbak Ning,*

*Dony, Aan, Wisnu, Andang, Novi, Krisna, dan Mas Destroy*

*Hmmm....yalah...yalah....kalian memang yang terbaik lah*

*Untuk Galih Jalu Prawitro*

*Mimpi diciptakan Tuhan untuk dikejar didunia nyata, bukan diatas kasur*

*Bangun lah segera*

*Dan.....*

*Untuk Fatmawati, ini bukan puncak bagi mas. Bagi mas...puncaknya itu kamu de.*

*Tunggulah sebentar lagi*

*Dan untuk semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu*

*Karya sederhana ini kupersembahkan dengan ikhlas untuk kalian semua yang masuk satu per satu dalam hidupku*

*Terima Kasih*

**PENGARUH VARIASI TEKNIK PREPARASI PADA KOMPOSISI KIMIA DAN  
MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN SEMIKONDUKTOR Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>)**

**Oleh:**

**Arief Rachman Hakim**

**10306141005**

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh teknik preparasi terhadap kualitas lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) dengan menggunakan teknik Bridgman dan teknik evaporasi vakum. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan serta komposisi kimia yang terbentuk dari teknik Bridgman dan teknik evaporasi vakum.

Teknik Bridgman dilakukan untuk memperoleh sampel dalam bentuk masif, dengan perbandingan molaritas 1:0,5:0,5. Proses penumbuhan kristal lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) menggunakan teknik evaporasi vakum dilakukan dengan memanaskan sampel massif Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) pada evaporator sehingga menghasilkan sampel berbentuk lapisan tipis.

Sampel dalam bentuk masif dan lapisan tipis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menentukan struktur Kristal dan parameter kisi, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan Kristal, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) untuk mengetahui komposisi kimia pada kristal.

Variasi teknik preparasi menyebabkan perbedaan kualitas lapisan tipis, yang ditandai dengan perbedaan puncak intensitas, semakin tinggi puncak intensitas maka keteraturan atom pada permukaan semakin baik. Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram menunjukkan hasil bahwa kristal pada sampel masif dan sampel lapisan tipis dari bahan Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) yang terbentuk berstruktur *Orthorombic*, dengan nilai parameter kisi dari sampel masif secara analitik :  $a = 5,921 \text{ \AA}$ ;  $b = 5,983 \text{ \AA}$ ;  $c = 12,991 \text{ \AA}$ . Sementara untuk sampel lapisan tipis parameter kisi yang dihasilkan secara analitik yaitu :  $a = 6,047 \text{ \AA}$ ;  $b = 6,047 \text{ \AA}$ ;  $c = 12,28 \text{ \AA}$ . Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa Kristal pada lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) yang terbentuk memiliki keseragaman bentuk dan butiran kecil-kecil serta sudah terbentuk *grain* dengan diameter berada pada kisaran 10 nm sampai dengan 11 nm. Serta hasil karakterisasi EDAX diperoleh perbandingan molaritas unsur Sn:Se:Te yaitu 1:0,5:0,5.

**Kata kunci:** struktur kristal, komposisi kimia, morfologi permukaan, lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) , teknik Bridgman, teknik evaporasi vakum, preparasi.

**THE INFLUENCE OF A PREPARATION TECHNIQUE VARIATION IN A  
CHEMICAL COMPOSITION AND MORPHOLOGY OF SEMICONDUCTOR  
MATERIAL SURFACE Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>)**

**By:**

**Arief Rachman Hakim**

**10306141005**

**ABSTRACT**

This research was aimed to know the influence of preparation technique towards a thin layer quality Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) using a Bridgman technique and vacuum evaporation technique. This research also aimed to know crystal structure, lattice parameter, surface morphology and also a chemical composition formed from a Bridgman technique and vacuum evaporation technique.

The Bridgman technique was conducted to obtain a sample in massive form by molar ratio comparison of 1:0,5:0,5. The process of thin layer crystal growing Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) using a vacuum evaporation technique was conducted by heating a massive sample Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) in the evaporator so that it yields a thin layer form sample. The sample in massive form and thin layer was then characterized using XRD (*X-Ray Diffraction*) to determine a crystal structure and lattice parameter, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) to know crystal surface morphology and EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) to know crystal chemical composition.

A preparation technique variation caused a thin layer quality difference marked by an intensity peak difference, the higher the intensity peak the better the atomic order on the surface. The XRD characterization result in the form of diffractogram showed results that crystal in massive sample and thin layer sample from Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) material formed Orthorombic structure with lattice parameter from massive sample analytically :  $a = 5,921 \text{ \AA}$ ;  $b = 5,983 \text{ \AA}$ ;  $c = 12,991 \text{ \AA}$ . Meanwhile, for sample of lattice parameter thin layer yielded analytically includes :  $a = 6,047 \text{ \AA}$ ;  $b = 6,047 \text{ \AA}$ ;  $c = 12,28 \text{ \AA}$ . The result of SEM characterization showed that crystal in thin layer Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) formed has a shape uniform and small grain and has also formed grain with diameter ranges from 10 – 11 nm and EDAX characterization result obtained a substance molar ratio comparison Sn:Se:Te includes 1:0,5:0,5.

**Keywords:** crystal structure, chemical composition, surface morphology, thin layer Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>), Bridgman technique, vacuum evaporation technique.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan akhir skripsi dengan judul **“Pengaruh Variasi Teknik Preparasi Pada Komposisi Kimia Dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>)”**.

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar sarjana strata satu (S-1) pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penyelesaian penulisan tugas akhir skripsi ini tidak terlepas dari adanya dukungan dan bimbingan dari pihak-pihak lain. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan naungan kepada seluruh civitas akademika termasuk penulis.
2. Bapak Dr. Hartono, M.Si selaku Dekan Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staff atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
5. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, kesabarannya dari awal sampai akhir penyusunan tugas akhir skripsi ini.
6. Bapak Hartono selaku Asisten Laboratorium Material yang dengan ikhlas membantu dalam proses penelitian.

7. Dosen-dosen jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
8. Teman-teman Fisika B 2010 atas perjuangan dan pengalaman bersama selama menimba ilmu.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dalam penyelesaian penulisan tugas akhir skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 14 Mei 2017

Penulis,

Arief Rachman Hakim

NIM. 10306141005

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</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>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	6
C. Batasan Masalah .....	6
D. Rumusan Masalah .....	7
E. Tujuan Penelitian .....	8
F. Manfaat Penelitian .....	8

<b>BAB 2 KAJIAN TEORI .....</b>	<b>9</b>
A. Kristal.....	9
1. Pengertian Kristal.....	10
2. Sistem Kristal dan Kisi Bravais .....	10
3. Indeks Miller .....	10
4. Faktor Struktur .....	12
5. Penumbuhan Kristal.....	16
B. Bahan Semikonduktor.....	19
1. Pengertian Semikonduktor .....	19
2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik .....	20
C. Lapisan Tipis.....	23
1. Pengertian Lapisan Tipis.....	23
2. Bahan Semikonduktor Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) .....	26
D. Preparasi Lapisan Tipis .....	28
E. Sel Surya .....	30
F. Karakterisasi Lapisan Tipis.....	33
1. Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	33
2. <i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i> (EDAX).....	36
3. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	37
G. Teknik Evaporasi Vakum.....	38
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	42

B. Variabel dalam Penelitian .....	42
C. Bahan dan Alat Penelitian.....	43
D. Langkah Penelitian.....	44
E. Analisis Data .....	51
F. Diagram Alir Tahap Penelitian .....	52
<b>BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>53</b>
A. Hasil Penelitian .....	53
B. Pembahasan.....	61
1. Analisis Hasil XRD.....	63
2. Analisis Komposisi Kimia Hasil EDAX.....	64
3. Analisis Morfologi Permukaan Hasil SEM.....	65
<b>BAB 5 PENUTUP.....</b>	<b>66</b>
A. Kesimpulan .....	66
B. Saran.....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>68</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Tujuh sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais .....	11
Tabel 2. Massa Sampel Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) Secara Teoritis.....	45
Tabel 3. Massa Sampel Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) Secara Terukur .....	46
Tabel 4. Preparasi Sampel Masif dengan Teknik Evaporasi.....	49
Tabel 5. Preparasi Sampel Lapisan Tipis dengan Teknik Evaporasi .....	50
Tabel 6. Penentuan Massa Sampel Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) .....	52
Tabel 7. Preparasi Sampel Masif dan Lapisan Tipis dengan Teknik Evaporasi .....	53
Tabel 8. Perbandingan Data XRD Sampel Masif dengan JCPDS .....	56
Tabel 9. Perbandingan Data XRD Sampel Lapisan Tipis dengan JCPDS.....	56
Tabel 10. Komposisi Kimia Dihasilkan EDAX Untuk Masif dan Lapisan Tipis .....	59
Tabel 11. Perbandingan Parameter Kisi Hasil Analisis dengan JCPDS .....	62
Tabel 12. Perbandingan Konsentrasi Unsur dengan Mol Sampel Masif .....	63
Tabel 13. Perbandingan Konsentrasi Unsur dengan Mol Sampel Lapisan Tipis.....	64

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Susunan Atom Dalam Kristal.....	9
Gambar 2. Skema Pembentukan Kristal Tunggal Metode CVD .....	16
Gambar 3. Skema Pembentukan Kristal Tunggal Metode Vakum .....	17
Gambar 4. Skema Pembentukan Kristal Tunggal Metode <i>Sputtering</i> .....	18
Gambar 5. Skema Pembentukan Kristal Tunggal Metode Ion Plating .....	18
Gambar 6. Struktur Pita Energi Pada Konduktor, Semikonduktor, Isolator .....	19
Gambar 7. Keadaan Pita Energi Semikonduktor .....	20
Gambar 8. Diagram Pita Energi Semikonduktor Tipe-N.....	22
Gambar 9. Diagram Pita Energi Semikonduktor Tipe-P .....	22
Gambar 10. Persambungan P-N.....	31
Gambar 11. Realisasi Sel Surya.....	32
Gambar 12. Difraksi Bragg .....	34
Gambar 13. Skema Proses Evaporasi Vakum.....	38
Gambar 14. Skema Pompa Rotari.....	40
Gambar 15. Skema Sistem Evaporasi .....	40
Gambar 16. Hasil Potret Permukaan Sampel Masif Perbesaran 3000 Kali .....	59
Gambar 17. Hasil Potret Sampel Lapisan Tipis Perbesaran 3000 Kali.....	60

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Memasuki abad ke-21 seperti saat ini, kebutuhan manusia akan energi semakin mendesak. Hampir setiap lini kehidupan tanpa memandang usia membutuhkan energi untuk memenuhi kebutuhannya sehari-hari. Peningkatan permintaan energi yang dialami dunia saat ini disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk serta menipisnya sumber cadangan minyak dunia serta permasalahan emisi dari bahan bakar fosil memberikan tekanan pada setiap negara untuk dapat memproduksi dan memanfaatkan sumber energi yang terbarukan. Penelitian dan pengembangan dalam penyediaan energi alternatif yang terbarukan terus berkesinambungan, terutama pemanfaatan energi matahari yang melimpah dalam bentuk sel surya.

Dalam dunia internasional, sel surya lebih dikenal sebagai *solar cell* atau *photovoltaic cell*. Prinsip dasar dalam pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltaiik. Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada umumnya sel surya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm. Pesatnya perkembangan teknologi sel surya tidak terlepas dari pesatnya penelitian yang dilakukan para peneliti di dunia mengenai teknologi semikonduktor. Pada prinsipnya sel surya merupakan suatu piranti yang menggabungkan antara semikonduktor tipe-*p* dan semikonduktor tipe-*n*. Bahan sel surya yang pertama kali dikembangkan oleh para peneliti dunia adalah silikon (Si), karena bahan ini mempunyai konduktivitas dan daya serap cahaya yang tinggi. Perkembangan

teknologi semikonduktor berbasis silikon (Si) sudah mencapai titik jenuh, untuk itu para peneliti terus mencoba mengembangkan teknologi semikonduktor dengan bahan non silikon yang diharapkan dapat menekan harga produksi.

Beberapa jenis sel surya yang dikembangkan oleh para peneliti adalah sel surya yang terbuat dari lapisan tipis (*Thin Film Solar Cell*) dengan bahan semikonduktor lain, sehingga akan didapat sel surya yang mempunyai tingkat efisiensi konversi yang lebih besar dari semikonduktor berbasis silikon. Lapisan tipis semakin banyak diteliti karena penerapannya sangat menarik untuk menggantikan piranti konvensional. Lapisan tipis merupakan suatu piranti yang memiliki ketebalan dalam orde  $\mu\text{m}$  sampai nm, yang dapat diciptakan dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik (*Organometallic*) yang bisa memiliki salah satu sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator. Keempat sifat tersebut masing-masing memiliki perbedaan tergantung pada fungsi dalam pemakaiannya. Konduktor dapat menghantarkan listrik dengan baik, karenanya sifat konduktor dari suatu bahan biasa dimanfaatkan pada instalasi listrik. Semikonduktor adalah suatu bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor, bahan semikonduktor bersifat isolator pada temperature yang sangat rendah namun pada suhu ruangan bersifat sebagai konduktor. Superkonduktor adalah suatu material yang tidak memiliki hambatan dibawah nilai suhu tertentu, superkonduktor dapat saja berupa konduktor, semikonduktor ataupun isolator pada suhu ruang hanya saja untuk membangkitkan sifat konduktivitas nya sebagai superkonduktor hanya dapat dicapai ketika mencapai suhu kritis ( $T_c$ ). Isolator

merupakan bahan dengan kemampuan menghantarkan listrik yang buruk, sehingga lazim digunakan sebagai pelapis dari bahan yang memiliki konduktivitas yang baik.

Saat ini, bahan semikonduktor yang sedang menjadi perhatian utama adalah semikonduktor berbasis SnSe dan SnTe. Kedua unsur tersebut memiliki persamaan yaitu merupakan bahan semikonduktor tipe-*p* yang terbuat dari perpaduan antara golongan IV (Sn) dengan golongan VI (S dan Te). Unsur SnSe memiliki rentang celah energi atau energi gap sekitar 1,9 eV. Sedangkan SnTe memiliki energi gap sebesar 0,35 eV. Semikonduktor dengan bahan SnTe telah berhasil diaplikasikan dalam pembuatan detektor infra merah dengan panjang gelombang (3 - 14)  $\mu\text{m}$ , detektor foto, dan bahan pembuat lapisan tipis fotovoltaik.

Salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis adalah Evaporasi. Proses penumbuhan lapisan pada metode ini dilakukan dalam ruang vakum. Lapisan tipis pada substrat diperoleh dengan kondensasi-kondensasi dari uap-uap logam yang berasal dari sumber evaporasi. Sumber evaporasinya menggunakan bahan tertentu dimana kemudian tekanan uapnya cukup untuk mendesak uap-uap sumber ke dalam suatu ruang vakum yang mengelilinginya. Dalam bidang elektronika saat ini, perkembangan penelitian tentang penumbuhan lapisan tipis semakin maju. Pada umumnya lapisan tipis mempunyai ketebalan antara orde  $10^{-6}$  sampai orde  $10^{-9}$  meter sehingga untuk mengamatinya dibutuhkan bantuan alat seperti mikroskop elektron. Proses pengamatan tingkat ketebalan pada lapisan tipis berguna pada proses karakterisasi dengan menggunakan SEM.

Metode evaporasi merupakan salah satu metode yang tertua dalam pendeposisian lapisan tipis logam, dimana prosesnya dilakukan dalam ruang vakum. Dalam proses ini menggunakan pompa vakum.

Penumbuhan kristal tunggal dilakukan dengan metode Bridgman. Metode Bridgman digunakan untuk penumbuhan kristal dalam semikonduktor masif atau *ingot* dengan cara memanaskan bahan yang mempunyai tingkat kemurnian tinggi sampai mencapai titik leleh dari masing-masing bahan. Metode Bridgman dipilih karena dalam pengaturan suhu yang dipakai dan tekanan mekanis dalam bahan lebih mudah dikontrol. Prinsip kerja metode Bridgman adalah dengan memanaskan bahan dasar yang memiliki kemurnian tinggi (99,9 %) menggunakan tabung *pyrex* yang telah divakumkan dan dipanaskan di dalam *furnace*, dengan massa masing-masing bahan yang sesuai dengan material yang akan dibuat. Informasi titik leleh bahan sangat diperlukan untuk menentukan alur pemanasan. Setelah mendapat hasil dari proses penumbuhan kristal tersebut maka selanjutnya dilakukan karakterisasi untuk menyatakan kualitas hasil penumbuhan kristal tersebut. Pada teknik Bridgman pengaturan temperatur pemanasan sangat diperhatikan karena dimungkinkan mempengaruhi kualitas dari kristal yang terbentuk. Pada temperatur yang sangat tinggi, kristal dapat tumbuh dengan cepat, namun cacat kristal yang terbentuk juga akan lebih banyak. Jika temperatur sangat rendah, maka proses penumbuhan kristal yang akan terjadi sangat lambat. Proses penumbuhan kristal dengan metode Bridgman kemudian dilanjutkan dengan pendinginan perlahan-lahan yang disebut

dengan *annealing* (Adi Kurniawan, 2008: 3). *Annealing* bertujuan untuk merekristalisasi atau menata kembali struktur kristal.

Menurut Ohring (2001 : 96) secara garis besar teknik dalam pembuatan lapisan tipis dapat dibedakan menjadi dua teknik. Pertama adalah teknik *Physical Vapor Deposition* (PVD). Contohnya adalah *Vacuum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition* (CSVD), *Sputtering*, dan teknik yang kedua adalah *Chemical Vapor Deposition* (CVD) yang terdiri dari *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD) dan *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD). Pada penelitian ini dilakukan variasi pada teknik preparasi yaitu evaporasi vakum dan metode Bridgman. Metode Bridgman dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbandingan molaritas dari sampel, sementara metode evaporasi vakum bertujuan agar tidak terjadi oksidasi dan memperbesar ruang bebas molekul gas pada saat proses penumbuhan kristal tunggal.

Beberapa kelebihan dari metode evaporasi vakum antara lain: hasil evaporasi lebih baik dan merata pada permukaan substrat serta permukaan lapisannya lebih tipis. Selain itu, teknik ini mampu menstabilisasi struktur bahan yang tetap, tekanan penguapan bahan tidak terlalu rendah sehingga dapat terjangkau dalam skala laboratorium (Mukti, 2013).

Suhu substrat pada saat evaporasi berlangsung, berfungsi untuk merenggangkan susunan atom-atom, sehingga atom-atom yang menguap dari target akan lebih mudah masuk dan mendapati posisi kekosongan pada batas butir untuk membentuk lapisan. Suhu evaporasi yang semakin tinggi, maka susunan atom-atom

akan semakin lebar yang menyebabkan atom-atom menguap dan mengisi diantara atom kristal makin dalam. Sehingga daya adhesi antar lapisan dan substrat lebih tinggi.

Lapisan tipis banyak digunakan dalam pabrik-pabrik yang membuat komponen elektronika. Untuk membuat lapisan tipis ini suatu bahan pelapis dilapiskan pada suatu bahan yang disebut substrat yang berbentuk keping. Beberapa metode yang dipakai dalam penumbuhan lapisan tipis adalah evaporasi, *Sputtering*, *Chemical Vapor Deposition*. Pemakaian metode-metode tersebut mempunyai tujuan yang sama yaitu untuk menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas yang baik dengan biaya produksi yang rendah. Metode evaporasi dapat menutupi kelemahan yang ada pada metode *Sputtering* yang dapat menimbulkan kerusakan lapisan, yaitu terjadinya bombardier ion. Hal ini tidak terjadi pada metode evaporasi karena pendeposisian nya tidak dibantu oleh ionisasi.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian yang dikemukakan pada latar belakang masalah, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Belum diketahui kristal tunggal  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dengan metode Bridgman.
2. Belum diketahui struktur kristal, parameter kisi, komposisi kimia dan morfologi permukaan pada sampel dalam bentuk masif dan lapisan tipis.
3. Belum diketahui pengaruh alur suhu pada struktur kimia dan morfologi permukaan pada sampel dalam bentuk masif dan lapisan tipis.

4. Belum diketahui pengaruh alur suhu pada substrat yang digunakan.
5. Belum diketahui pengaruh alur suhu pada spacer yang digunakan.

### C. Batasan Masalah

Penelitian ini terbatas pada permasalahan sebagai berikut :

1. Proses preparasi sampel masif menggunakan teknik Bridgman dengan alur pemanasan berlangsung selama 13 menit untuk meningkatkan suhu  $27^{\circ}\text{C}$  sampai mencapai suhu  $350^{\circ}\text{C}$ , dan 5 jam untuk suhu  $350^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $650^{\circ}\text{C}$ .
2. Teknik evaporasi berlangsung selama 3 jam dengan suhu sebesar  $350^{\circ}\text{C}$ , tekanan mekanis sebesar  $5 \times 10^{-5}$  mbar, tegangan keluaran sebesar 3 V, serta arus keluaran sebesar 60 A.
3. Teknik preparasi dilakukan dengan menggunakan metode Bridgman.
4. Teknik karakterisasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  diamati dengan menggunakan :
  - a. *X-Ray Diffraction* (XRD), yaitu untuk mengetahui struktur lapisan tipis yang terbentuk.
  - b. *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX), yaitu untuk mengetahui komposisi kimia yang terdeposisi pada substrat.
  - c. *Scanning Electron Microscopy* (SEM), yaitu untuk mengetahui gambar struktur mikro dari butiran yang membentuk lapisan.

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

Seperti yang ditulis pada uraian latar belakang dan batasan masalah, pada penelitian ini dilakukan preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dengan teknik evaporasi.

Berdasarkan hal tersebut dalam penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan:

1. Bagaimana pengaruh variasi teknik preparasi terhadap lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  yang terbentuk?
2. Bagaimana struktur kristal dan parameter kisi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  hasil preparasi dengan teknik Bridgman dan teknik evaporasi?
3. Bagaimana komposisi kimia dan morfologi permukaan yang terbentuk dari lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ ?

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

Sesuai dengan judul diatas, penelitian ini bertujuan :

1. Untuk mendapatkan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  yang stabil setelah dipreparasi dengan metode Bridgman dan teknik evaporasi.
2. Untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi dari sampel massif dan sampel lapisan tipis yang dihasilkan.
3. Untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ .

## **F. Manfaat Penelitian**

Dari beberapa informasi yang diperoleh dari penelitian ini, semoga memberikan beberapa manfaat diantaranya :

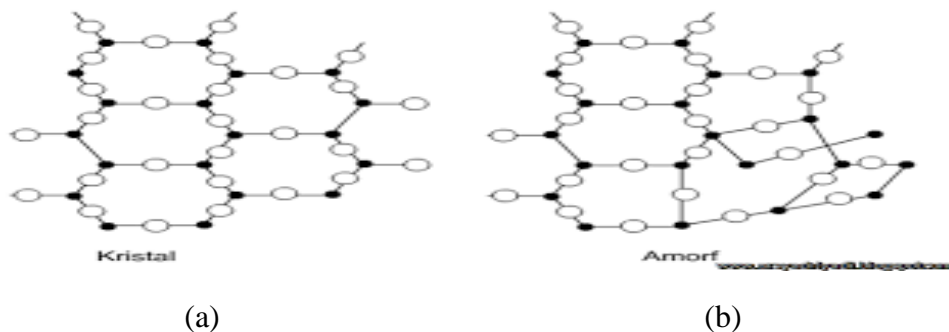
1. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian sejenis yang lebih mendalam.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemilihan bahan dalam pembuatan sel surya.
3. Dapat mengetahui parameter kisi dari bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dalam bentuk masif dan lapisan tipis.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### A. Kristal

Kristal merupakan komposisi atom-atom zat padat yang mempunyai susunan periodik dalam tiga dimensi. Ditinjau dari struktur atom-atom penyusunnya, bahan padat dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu kristal tunggal (*Monocrystal*), *polycrystal*, dan *amorf* (Ariswan, 2008: 1). Kristal yang atomnya tersusun berulang secara teratur (*periodik*) dan memiliki periodisitas yang tidak berhingga ke segala arah disebut kristal tunggal (*Monocrystal*). Sedangkan *polycrystal* adalah kumpulan kristalik yang saling menumpuk dan membentuk benda padat. Berbeda dengan *monocrystal* dan *polycrystal*, *amorf* memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginannya yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya. Gambar (1) menunjukkan susunan dua dimensional simetris dua jenis atom yang berbeda.



Gambar 1. Susunan Atom dalam Kristal, (a).Susunan Atom Kristal, (b).Susunan Atom pada Struktur *Amorf*.  
(Kingery, Bowen Uhlmann, 1999 dalam Smallman)

## 1. Pengertian Kristal

Kristal adalah suatu padatan yang atom, molekul atau ion penyusunnya terkemas secara teratur dan polanya berulang melebar secara tiga dimensi. Kristal dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan strukturnya, yaitu Kristal tunggal (*monocrystal*) dan *polycrystal*.

Susunan khas atom-atom dalam Kristal struktur Kristal. Struktur Kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara khusus dan periodic berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi Kristal.

## 2. Sistem Kristal dan Kisi Bravais

Pada suatu unit sel, tiga buah sumbu merupakan sumbu Kristal teratur yang berhubungan dengan atom atau ion yang sama. Dimensi suatu unit sel ditentukan oleh perpotongan konstanta sumbu  $a$ ,  $b$ , dan  $c$ . Zat padat yang berstruktur Kristal memiliki atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul pembangun yang tersusun menjadi pola tiga dimensi yang teratur dan berulang (periodic).

Berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu Kristal dan hubungan antara sudut dengan sudut lain ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), maka diperoleh tujuh sistem Kristal dan empat belas kisi Bravais.

## 3. Indeks Miller

Sistem indeks Miller digunakan untuk menyatakan bidang kristal (indeks bidang). Berikut langkah-langkah untuk menentukan bidang kristal:

- Menentukan titik potong pada sumbu koordinat sel satuan ( $x_1, y_1, z_1$ ).
- Membandingkan nilai titik potong tersebut dengan konstanta kisi  $\left(\frac{x_1}{a}\right), \left(\frac{y_1}{b}\right), \left(\frac{z_1}{c}\right)$ .
- Mengambil kebalikan nilai dari  $\left(\frac{x_1}{a}\right), \left(\frac{y_1}{b}\right), \left(\frac{z_1}{c}\right)$ .
- Mendefinisikan  $h = \left(\frac{a}{x_1}\right), k = \left(\frac{b}{y_1}\right), l = \left(\frac{c}{z_1}\right)$  dan mengalikannya dengan angka KPK.

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais  
(Sumber : Kittel, 1976 : 15)

Sistem Kristal	Kisi Bravais	Geometri Sel
Triclinic	P (primitive)	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$
Monoclinic	P (primitive)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$
Orthorhombic	I (body centered)	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
	P (primitive)	
	C (base centered)	
Tetragonal	I (body centered)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
	P (primitive)	
	F (face centered)	
Cubic	P (primitive)	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
	I (body-centered)	
	F (face-centered)	
Trigonal	R (rhombohedral primitive)	$a = b = c$ $90^\circ \neq \alpha = \beta = \gamma < 120^\circ$
Hexagonal	P (primitive)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$

#### 4. Faktor Struktur

Faktor struktur ( $F$ ) adalah pengaruh dari struktur Kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan. Besarnya faktor struktur ( $F$ ) adalah

$$F = \sum_n^N f_n e^{2\pi i(hx_n + ky_n + lz_n)} \quad (1)$$

- a. Dari persamaan (1) didapatkan kasus sederhana bahwa unit sel hanya berisi satu atom dan mempunyai fraksi koordinat (0, 0, 0), sehingga faktor strukturnya:

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

$$(1.1)$$

Dan

$$F^2 = f^2$$

- b. Pusat dasar sel mempunyai dua atom pada beberapa macam per unit sel kubik yang berlokasi pada (0, 0, 0) dan ( $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 0)

$$\begin{aligned} F &= f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2})} \\ &= f(1 + e^{\pi i(h+k)}) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Pernyataan ini dapat dievaluasi tanpa perkalian dengan *conjugate* kompleks. ( $h + k$ ) selalu integral dan  $F$  adalah real, tidak kompleks. Jika  $h$  dan  $k$ , semuanya genap atau ganjil, tidak bercampur, jumlah ini selalu genap dan  $e^{\pi i(h+k)}$  mempunyai harga 1. Jika  $h$  dan  $k$  adalah satu genap dan satu ganjil maka jumlah ( $h + k$ ) adalah ganjil dan  $e^{\pi i(h+k)}$  mempunyai harga -1.

$$F = \begin{cases} 2f & ; h \text{ dan } k, \text{ semua genap atau ganjil. Maka } F^2 = 4f^2 \\ 0 & ; h \text{ dan } k, \text{ genap dan ganjil (campur). Maka } F^2 = 0 \end{cases}$$

Dalam tiap kasus, harga pada indeks  $p$  tidak mempunyai pengaruh pada faktor struktur. Contoh refleksi (111), (112), (113), dan (021), (022), (023) semua mempunyai harga yang samapada  $F$ , yaitu  $2f$ . Dengan cara yang sama, refleksi (111), (112), (113) dan (101), (102), (103) semua mempunyai faktor struktur 0.

c. Faktor struktur pada pusat badan sel kubik (bcc) mempunyai dua atom yang berjenis sama berlokasi pada (0 0 0) dan ( $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$ )

$$\begin{aligned} F &= f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(h/2 + k/2 + l/2)} \\ &= f [1 + e^{\pi i(h+k+l)}] \end{aligned} \quad (1.3)$$

$$F = \begin{cases} 2f ; \text{jika } (h+k+l) \text{ adalah genap. Maka } F^2 = 4f^2 \\ 0 ; \text{jika } (h+k+l) \text{ adalah ganjil. Maka } F^2 = 0 \end{cases}$$

Kesimpulan dari perbandingan geometrikan bahwa pusat dasar sel akan memproduksi refleksi 0 0 1. Hal ini sebagai akibat adanya faktor struktur untuk dua sel.

d. Permukaan pusat sel kubik (fcc), diasumsikan untuk mengisi 4 atom pada lokasi 0 0 0,  $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$  0,  $\frac{1}{2}$  0  $\frac{1}{2}$ , dan 0  $\frac{1}{2}$   $\frac{1}{2}$ .

$$\begin{aligned} F &= f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(h/2 + k/2)} + f e^{2\pi i(h/2 + l/2)} + f e^{2\pi i(k/2 + l/2)} \\ &= f [1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}] \end{aligned} \quad (1.4)$$

Jika  $h$ ,  $k$  dan  $l$  tidak bercampur, lalu ketiga penjumlahan  $(h+k)$ ,  $(h+l)$ , dan  $(k+l)$  adalah bilangan bulat dan setiap keadaan dalam persamaan diatas mempunyai harga 1. Jika  $h$ ,  $k$  dan  $l$  bercampur kemudian dijumlahkan dengan tiga eksponensial hasilnya -1. Tetapi dua indeks adalah ganjil dan satu genap atau dua genap dan satu ganjil. Sebagai contoh  $h$  dan  $l$  genap sementara  $k$  adalah ganjil,  $0\ 1\ 2$ . Kemudian  $F = f(1-1+1-1) = 0$ , tidak terjadi refleksi.

$$F_{hkl} = \begin{cases} 4f; & \text{untuk indeks yang tidak bercampur. Maka } F^2 = 16f \\ 0; & \text{untuk indeks bercampur. Maka } F^2 = 0 \end{cases}$$

Refleksi akan terjadi untuk bidang seperti  $(1\ 1\ 1)$ ,  $(2\ 0\ 0)$ , dan  $(2\ 2\ 0)$ , tetapi tidak untuk bidang  $(1\ 0\ 0)$ ,  $(2\ 1\ 0)$ ,  $(1\ 1\ 2)$  dan sebagainya (Suhartanto, 2009).

Basis bcc mengacu pada sel kubik yang memiliki atom-atom identic pada  $x_1 = y_1 = z_1 = 0$  dan pada  $x_2 = y_2 = z_2 = 1/2$ , maka faktor struktur pada kisi ini adalah:

$$\begin{aligned} F_{hkl} &= f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(h/2+k/2+l/2)} \\ &= f [1 + e^{\pi i(h+k+l)}] \end{aligned} \tag{1.5}$$

$$F_{hkl} = \begin{cases} 2f; & \text{jika } h+k+l = \text{genap} \\ 0; & \text{jika } h+k+l = \text{ganjil} \end{cases}$$

Sebagai contoh, pada Kristal yang memiliki struktur bcc. Difraksi tidak terjadi pada bidang (1 0 0), (3 0 0), (1 1 1) atau (2 2 1), tetapi pada bidang (2 0 0), (1 0 0) dan (2 2 2) intensitas muncul.

Jika beda fase gelombang terpantul oleh bidang adalah  $\pi$ , maka amplitude terpantul dari dua bidang terpasang adalah  $A + Ae^{(-i\pi)} = A - A = 0$ . (Edi Istiyono, 2000).

Posisi atom pada Kristal dengan struktur kisi pusat badan ( $I$ ) adalah  $(x_j, y_j, z_j)$  dan  $(\frac{1}{2} + x, \frac{1}{2} + y, \frac{1}{2} + z)$ . Faktor struktur dinyatakan oleh persamaan:

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f_j \{ e^{2\pi i (hx_j + ky_j + lz_j)} + e^{2\pi i (hx_j + ky_j + lz_j)} \cdot e^{\pi i (h + k + l)} \}$$

$$= \sum f_j e^{2\pi i (hx_j + ky_j + lz_j)} (1 + e^{\pi i (h+k+l)}) \quad (1.6)$$

$$F_{hkl} = \begin{cases} \sum f_j 2\pi i (hx_j + ky_j + lz_j) & ; \text{jika } h + k + l = \text{genap} \\ 0 & \end{cases}$$

(Ariswan, 2005)

e. *Hexagonal close-packed* (hcp), mempunyai dua atom yang berlokasi pada

(0 0 0) dan (2/3 1/3 1/2)

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(2h/3 + k/3 + l/2)}$$

$$= f [1 + e^{\pi i(4h/3 + 2k/3 + l)}] \quad (1.7)$$

$$F = \begin{cases} 2f; & \text{h dan k sama, l genap. Maka } F^2 = 4f^2 \\ 0; & \text{h dan k sama, l ganjil. Maka } F^2 = 0 \end{cases}$$

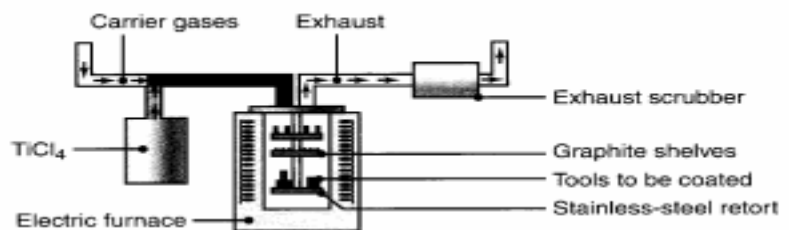
(Suhartanto, 2009)

## 5. Penumbuhan Kristal

Dalam teknologi penumbuhan suatu kristal, ada dua metode yang lazim digunakan yaitu:

### a. Penumbuhan kristal tunggal secara kimia (CVD)

*Chemical Vapour Deposition* (CVD) merupakan sebuah proses termokimia. Aplikasinya pada pelapisan *Titanium Nitride*, peralatan yang ditempatkan pada grafit. CVD biasanya lebih tebal dibandingkan dengan proses secara fisika. Pembentukan kristal tunggal dengan menggunakan metode *Chemical Vapour Deposition* berlangsung selama 3 jam untuk proses pemanasan, 4 jam untuk proses pelapisan, dan 6-8 jam untuk proses pendinginan. Ketebalan pelapisan tergantung pada jumlah gas yang digunakan, waktu, dan temperatur.



Gambar 2. Skema Pembentukan Kristal Tunggal dengan Metode CVD

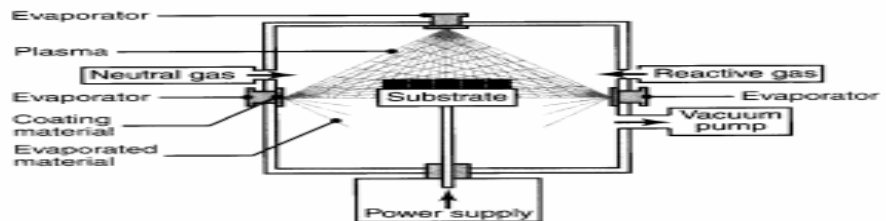
### b. Penumbuhan Kristal Tunggal Secara Fisika (PVD)

*Physical vapour Deposition* (PVD) terdiri dari tiga tipe yaitu metode vakum, *Sputtering*, dan *Ion Plating*. Temperatur kerjanya

berkisar antara 2000<sup>0</sup>C sampai 5000<sup>0</sup>C. Berikut penjelasan dari ketiga metode penumbuhan kristal secara fisika :

### 1) Metode Vakum

Prinsip kerja dari metode vakum yaitu logam diuapkan pada temperatur tinggi dalam vakum dan diendapkan dalam sebuah substrat yang bertemperatur kamar. Pelapisan ini bersifat *uniform* meskipun bentuknya kompleks. Dalam endapan oleh busur listrik, pelapisan material (katode) diuapkan dengan penguap busur listrik, kemudian uap akan terkondensasi. Aplikasi metode ini terdapat pada perangkat keras, perhiasan, dan alat-alat rumah tangga.

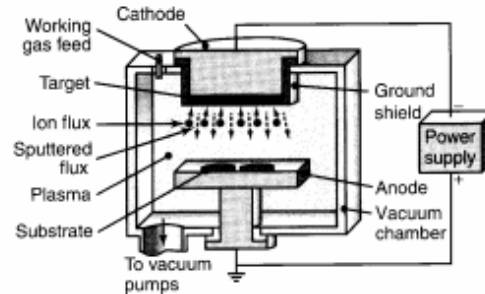


Gambar 3. Skema Pembentukan Kristal Tunggal dengan Metode Vakum

### 2) Sputtering

Medan listrik di ionisasi dengan gas inert. Ion positif menyerang benda kerja yang akan dilapisi (katode) dan menyebabkan terjadinya *Sputtering* (percikan) pada atom. Atom kemudian terkondensasi pada benda kerja sehingga meningkatkan kekuatan ikatan. Dalam *reactive sputtering*, gas inert digantikan dengan gas reaktif yang menyebabkan teroksidasi dan oksida

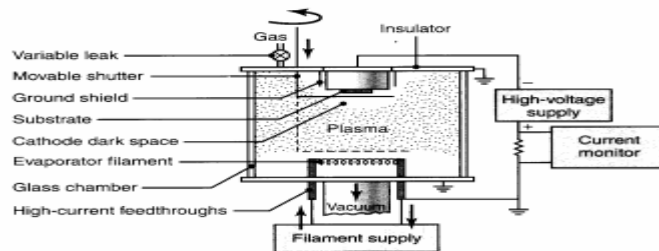
diendapkan. Karbida dan nitride juga diendapkan dengan *reactive sputtering*.



Gambar 4. Skema Pembentukan Kristal Tunggal dengan Metode *Sputtering*

### 3) *Ion Plating*

Metode pembentukan kristal tunggal dengan *Ion plating* merupakan perpaduan antara metode vakum dan metode *Sputtering*. Prinsip kerja dari metode ini yaitu, medan listrik yang menyebabkan timbulnya asap dan plasma. Atom yang teruapkan terionisasi sebagian. *Ion beam enhanced deposition* cocok untuk menghasilkan lapisan tipis saat pelapisan semikonduktor, aplikasi optik, dan *tribological*.

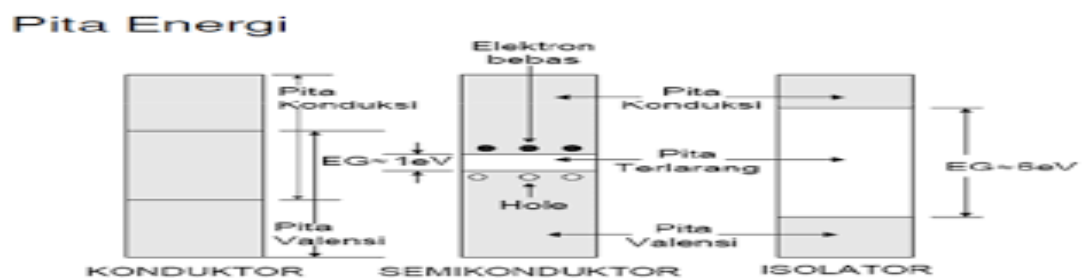


Gambar 5. Skema Pembentukan Kristal Tunggal dengan Metode *Ion Plating*

## B. Bahan Semikonduktor

### 1. Pengertian Semikonduktor

Berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik, bahan dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Perbedaan ketiga bahan tersebut dapat dilihat dari struktur pita energinya seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



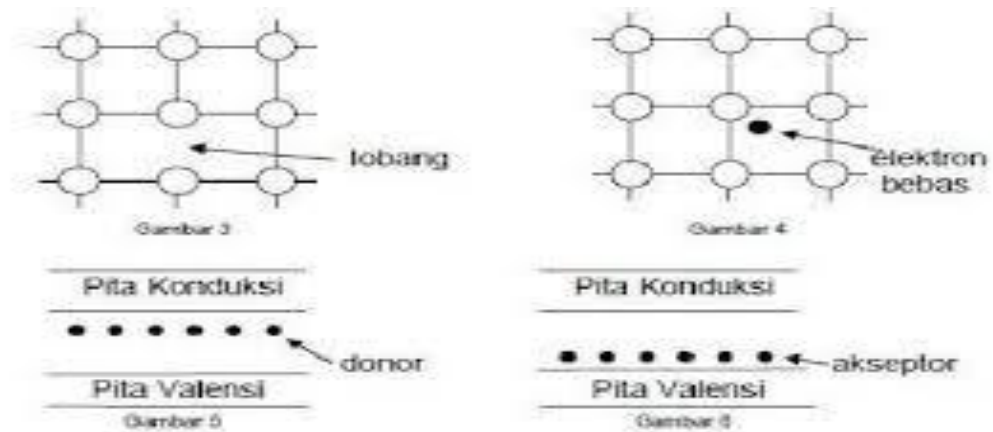
Gambar 6. Struktur Pita Energi pada Konduktor, Semikonduktor, dan Isolator ([Http://Muchlas.Ee.Uad.Ac.Id](http://Muchlas.Ee.Uad.Ac.Id))

Semikonduktor mempunyai struktur pita energi yang sama dengan isolator, hanya saja celah energi terlarang (*energy gap*) pada semikonduktor jauh lebih kecil daripada isolator yaitu hanya  $\pm 1$  eV. Celah energi yang tidak terlalu lebar tersebut menyebabkan semikonduktor mempunyai perilaku yang berbeda dari bahan isolator.

Pada suhu  $0^0\text{K}$ , bahan semikonduktor akan berlaku sebagai isolator, dengan pita valensinya terisi penuh dan pita konduksi kosong. Namun pada suhu kamar, bahan semikonduktor akan memiliki sifat konduktor. Energi termal diterima oleh elektron-elektron pada pita valensi. Jika energi termal

lebih besar atau sama dengan energi gap-nya akan membuat elektron-elektron tersebut mampu melewati celah energi terlarang dan berpindah ke pita konduksi sebagai elektron hampir bebas.

Elektron-elektron tersebut meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut sebagai lubang atau *hole*. Lubang pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi itulah yang berperan sebagai penghantar arus pada semikonduktor, dimana elektron merupakan pembawa muatan negatif dan *hole* merupakan pembawa muatan positif seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 7. Keadaan Pita Energi Semikonduktor pada Suhu  $> 0^0$  K (Kiri) dan pada Suhu  $0^0$  K (Kanan) (<http://blog.umy.ac.id>)

## 2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik

Terdapat dua jenis semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Berikut penjelasan dari kedua jenis semikonduktor tersebut:

a. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dimana sifat-sifat kelistrikan ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri. Contohnya Silikon dan Germanium.

Ciri-ciri yang menonjol dari semikonduktor intrinsik adalah :

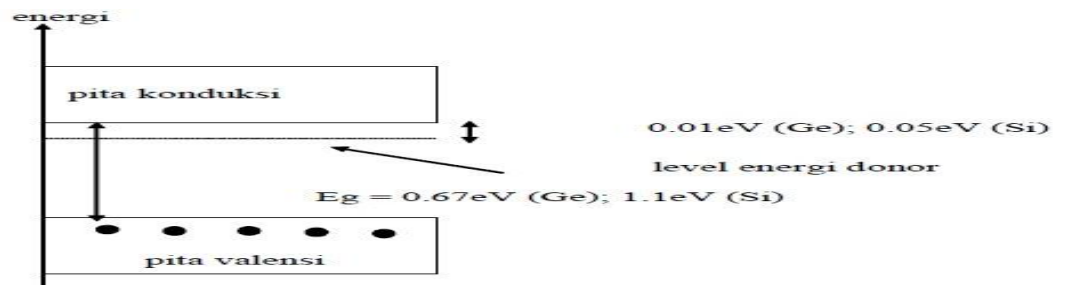
1. Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
2. Energi Fermi terletak di tengah-tengah energi gap.
3. Elektron memberikan sumbangan terbesar pada arus, tetapi sumbangan *hole* juga berperan penting.

b. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik lebih dikenal sebagai semikonduktor tak murni. Semikonduktor ekstrinsik terdiri dari dua macam tipe yaitu :

1. Semikonduktor Tipe-N

Pada semikonduktor tipe-N, banyak elektron akan bertambah tanpa disertai bertambahnya jumlah *hole*, sehingga jumlah elektron akan lebih banyak daripada jumlah *hole*. Oleh sebab itu, dalam semikonduktor tipe-N pembawa muatan mayoritasnya adalah electron, dan *hole* merupakan pembawa muatan minoritas seperti ditunjukkan pada gambar 7.

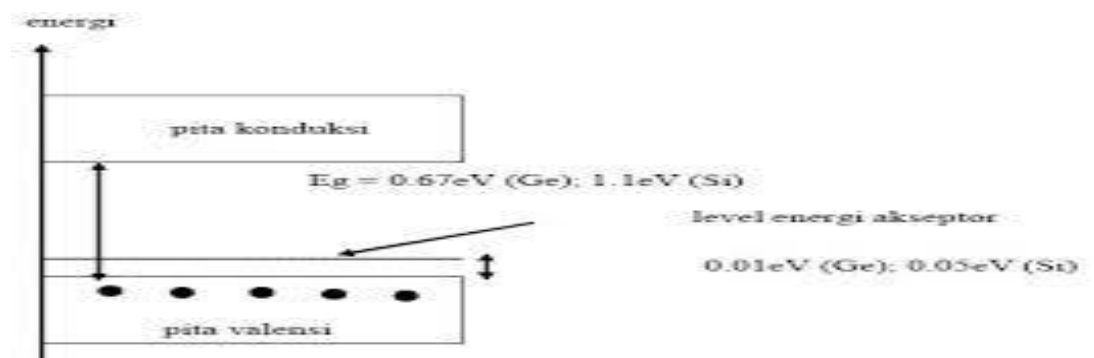


Gambar 8. Pita Energi Semikonduktor Tipe-N  
(Edi Istiyono, 2000: 148)

Keadaan aras donor yang sangat dekat dengan pita konduksi menyebabkan elektron akan dengan mudah berpindah ke pita konduksi hanya dengan pemberian sedikit energi. Elektron tersebut berubah menjadi elektron bebas dan siap menjadi pembawa muatan dalam proses hambatan listrik.

## 2. Semikonduktor Tipe-P

Pada diagram tingkat energi, lubang-lubang (*holes*) membentuk suatu tingkat energi yang terletak diatas pita valensi. Tingkat energi tersebut disebut sebagai aras akseptor.



Gambar 9. Pita Energi Semikonduktor Tipe-P  
(Edi Istiyono, 2000: 148)

Selisih energi yang dibutuhkan oleh elektron untuk berpindah dari pita valensi ke aras akseptor, jauh lebih kecil dibandingkan celah energi gap. Dengan menambah sedikit tenaga, elektron-elektron akan lebih mudah berpindah ke tempat-tempat akseptor daripada kedalam pita konduksi.

Dengan doping atom akseptor maka akan dihasilkan lubang tanpa disertai dengan pertumbuhan jumlah elektron bebas. Oleh sebab itu, jumlah lubang akan lebih banyak daripada jumlah electron, sehingga pada semikonduktor tipe-P lubang merupakan pembawa muatan mayoritas sedangkan elektron adalah pembawa muatan minoritas.

### **C. Lapisan tipis**

#### **1. Pengertian Lapisan Tipis**

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang terbuat dari bahan organik, anorganik metal, maupun campuran metal-organik (*organometalic*) yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun isolator dan memiliki ketebalan dalam orde nm (nano meter) hingga  $\mu\text{m}$  (mikro meter). Bahan-bahan lapisan tipis akan memperlihatkan sifat-sifat khusus yaitu, mempunyai sifat-sifat bahan unik yang diakibatkan oleh pertumbuhan lapisan tipis. Ciri-ciri lapisan tipis adalah memiliki permukaan seragam, yaitu melapisi permukaan substrat secara merata dengan cacat yang minim, memiliki suhu permukaan yang stabil dan memiliki ketelitian yang tinggi. Aplikasi lapisan tipis saat ini semakin banyak digunakan. Hampir

semua bidang industri dalam pembuatan piranti elektronik seperti kapasitor, fotodetektor, sel surya, rangkaian hibrid serta teknologi mikrokontroler. Dalam bidang optik antara lain pembuatan lapisan tipis anti refleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kaca mata pelindung cahaya dan transmisi daya tinggi. Sedangkan dalam bidang mekanik dalam pembuatan lapisan keras sebagai bahan pelindung terhadap kausana dan anti korosi.

Proses pertumbuhan lapisan tipis melewati tiga tahapan utama 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/elektrokimia untuk membentuk suatu deposisi padatan.

Pertumbuhan lapisan tipis terjadi melalui proses nukleasi dan pertumbuhan, secara umum dijelaskan sebagai berikut (Sudjatmoko, 2003: 3-4) :

1. Jenis atom, molekul atau ion ter-sputter pada saat menumbuk substrat kehilangan kecepatan tegak lurus substrat dan secara fisis terserap pada permukaan substrat..
2. Atom-atom yang terserap tidak dalam keadaan setimbang termal tetapi bergerak pada permukaan substrat dan berinteraksi satu dengan lainnya membentuk kelompok-kelompok (*clusters*) yang lebih besar.
3. Kelompok ini secara termodinamika tidak stabil dan cenderung untuk lepas (*desorb*), tergantung pada waktu yang merupakan salah satu parameter deposisi. Jika suatu kelompok bertumbukan dengan

kelompok lainnya sebelum terlepas, maka inti mulai tumbuh. Setelah tercapai ukuran kritis maka terjadi kestabilan secara termodinamika yang disebut dengan tingkat nukleasi.

4. Inti-inti berukuran kritis akan terbentuk dan tumbuh mencapai rapat nukleasi jenuh, yang tergantung pada energi atom yang menumbuk, laju tumbukan, energi aktivasi adsorbs, desorpsi, difusi termal, suhu, topografi, dan sifat kimia substrat. Suatu inti dapat tumbuh secara parallel terhadap substrat maupun tegak lurus substrat yang disebut sebagai pulau-pulau.
5. Tingkat penggabungan (*coalescence stage*) yaitu pulau-pulau kecil bergabung satu dengan lainnya cenderung membentuk pulau yang lebih besar yang disebut dengan *aglomerasi*.
6. Pulau-pulau besar tumbuh bersama-sama membuat lubang dan anal pada substrat. Struktur lapisan berubah dari jenis yang terputus-putus (*discontinuos*) menjadi jaringan yang berlubang-lubang (*porous*). Lapisan kontinyu akan terbentuk dengan terisinya lubang dan anal pada permukaan substrat.

Pada dasarnya proses pembuatan lapisan tipis melalui tiga tahapan, yaitu:

- a. Pembentukan jenis atom, molekul, atau ion.
- b. *Transport* jenis atom, molekul, atau ion.
- c. Kondensasi pada permukaan substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia atau elektronika untuk membentuk suatu deposisi padatan.

## 2. Bahan Semikonduktor Sn(Se<sub>0,5</sub> Te<sub>0,5</sub>)

Bahan lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub> Te<sub>0,5</sub>) merupakan gabungan dari tiga unsur atom, yaitu *Stannum* (Sn) dari golongan IV, *Selenium* (Se) dari golongan VI dan *Telurium* (Te) dari golongan VI. Bahan ini identik dengan SnSe dan SnTe. Pada masing-masing atom ini mempunyai karakteristik dan fungsi yang berbeda-beda yaitu:

- a. *Stannum* merupakan logam perak yang berwarna keputih-putihan dan bersifat lunak, mempunyai struktur kristal tetragonal. Sn merupakan logam yang dapat ditempa dan tidak mudah teroksidasi dalam udara sehingga tahan karat, Sn sangat baik digunakan sebagai pelindung logam lain dalam mencegah korosi. Tingkat resistansi dari *Stannum* dapat ditingkatkan dengan pencampuran logam lain, sehingga manfaatnya baik digunakan secara tunggal maupun sebagai panduan logam dengan logam yang lain. Sn memiliki sifat konduktor dibawah suhu 3,72 K dan termasuk golongan IV dengan:

Nomor atom = 50

Massa atom relatif (Ar) = 118,71 gram/mol

Titik lebur = 231,9<sup>0</sup>C

Titik didih = 2270<sup>0</sup>C

- b. *Selenium* merupakan unsur kimia non logam. Unsur ini terdapat dalam bentuk alotropik dengan yang paling populer adalah bubuk merah amorf, bentuk kristal merah, dan bentuk kristal abu-abu metalik. Bentuk yang

terakhir ini dapat menghantarkan listrik lebih baik dalam cahaya daripada dalam gelap dan biasa digunakan dalam *photocells*. *Selenium* terbakar diudara dan tidak bereaksi dengan air, tapi dapat larut dalam asam nitrat pekat dan basa kuat. Se termasuk golongan VI dengan:

Nomor atom = 34

Massa atom relatif (Ar) = 78,96 gram/mol

Titik lebur = 220,8<sup>0</sup>C

Titik didih = 684,8<sup>0</sup>C

c. *Telurium* merupakan logam berwarna abu-abu kehitaman, berbentuk pellet dengan diameter 1-3 mm. *Telurium* merupakan golongan VI dengan:

Nomor atom = 52

Massa atom relatif (Ar) = 127,6 gram/mol

Titik lebur = 449,51<sup>0</sup>C

Titik didih = 988<sup>0</sup>C

Dalam penelitian ini perbandingan molaritas antara SnSe dan SnTe sebesar 0,004 : 0,003. Dari perbandingan ini diketahui bahwa komposisi Se lebih besar dari Te, sehingga semikonduktor yang dihasilkan akan cenderung mengarah ke SnSe. Dalam perhitungan parameter kisi dan struktur kristalnya dapat dibandingkan dengan JCPDS dari SnSe.

*Tin Selenide* (SnSe) merupakan senyawa kimia yang berupa padatan Kristal berwarna abu-abu. SnSe merupakan perpaduan dari dua unsur kimia yaitu *Tin* (Sn) dan *Selenium* (Se) dengan presentase masing-masing unsur

adalah 60,05% Sn dan 39,95% Se. SnSe mempunyai struktur Kristal berbentuk *orthorhombic* dengan lebar pita terlarang (*band gap*) secara tidak langsung (*indirect*) sekitar 0,9 eV dan secara langsung (*direct*) sekitar 1,30 eV, tetapi untuk lapisan tipis *nanocrystals* dari SnSe mempunyai energi gap sebesar 1,9 eV, titik lebur sebesar 861<sup>0</sup>C, dan massa atom relatif sebesar 197,67 gram/mol, serta resistivitas listrik sebesar 1,79  $\Omega$ m. (Enue Barrios-Salgado dkk, 2014)

Dalam penelitian ini, pembuatan lapisan tipis Sn( $\text{Se}_{0,5}$   $\text{Te}_{0,5}$ ) dilakukan dengan mendeposisikan sampel pada sebuah substrat kaca. Proses ini menggunakan teknik Evaporasi. Kemudian lapisan tipis Sn( $\text{Se}_{0,5}$   $\text{Te}_{0,5}$ ) dikarakterisasi senyawa Kristal yang terbentuk menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD), morfologi permukaan menggunakan metode *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan untuk mengetahui komposisi kimia menggunakan metode *Energy Dispersive Analysis of X-ray* (EDAX).

Dalam pembuatan lapisan tipis Sn( $\text{Se}_{0,5}$   $\text{Te}_{0,5}$ ), jarak sumber ke substrat dibuat tetap sedangkan suhu substrat divariasikan, hal ini dimaksudkan agar diperoleh lapisan tipis Sn( $\text{Se}_{0,5}$   $\text{Te}_{0,5}$ ) yang optimal.

#### **D. Preparasi Lapisan Tipis**

Teknik Bridgman merupakan suatu teknik penumbuhan kristal tunggal. Teknik ini pada prinsipnya adalah melelehkan bahan-bahan yang telah dimurnikan dalam tabung *pyrex* atau kuarsa berbentuk kapsul yang divakumkan

(Anonim : 2007). Pemurnian bahan ini sangat penting dalam penumbuhan kristal, karena penambahan sedikit ketidakmurnian akan mempengaruhi pembawa muatan yang selanjutnya akan memiliki pengaruh besar pada karakteristik kristal yang terbentuk. Sebaliknya, jika semakin sempurna suatu kristal berarti kerusakan kristal yang terjadi semakin sedikit.

Bahan-bahan yang telah dimasukan dalam tabung *pyrex* atau kuarsa dilelehkan dalam *furnace* atau oven yang temperaturnya sangat tinggi, secara perlahan-lahan kemudian dimasukan kedalam daerah suhu rendah sampai bahan mengeras dan selanjutnya terbentuk kristal yang diinginkan. Berdasarkan peletakan kapsul tabung dalam *furnace*, teknik Bridgman ada dua macam, yakni: teknik Bridgman vertikal dan horizontal. Kristal yang terbentuk dengan teknik ini berupa ingot atau masif.

Pada temperatur yang terlalu tinggi, kristal tumbuh dengan cepat tetapi mempunyai cacat yang luas, tetapi pada temperatur yang terlalu rendahjuga tidak cocok karena proses penumbuhannya sangat lambat. Alur pemanasan dalam teknik ini didasarkan pada diagram fasa kristal campuran yang diinginkan. Pemilihan tinggi rendahnya temperatur didasarkan pada titik leleh bahan dasarnya. Dengan demikian, pemilihan alur pemanasan dalam teknik Bridgman ini didasarkan pada titik leleh bahan dasarnya dan diagram fasa kristal yang diinginkan.

## E. Sel Surya

Energi surya dalam dunia internasional lebih dikenal sebagai *solar cell* atau *photovoltaic cell*. Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang dibuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif.

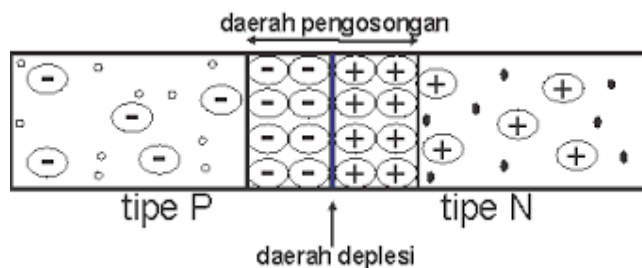
Sel surya merupakan piranti semikonduktor yang dapat menghasilkan listrik jika diberikan sejumlah energi cahaya. Proses penghasilan energi listrik itu diawali dengan proses pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam Kristal semikonduktor ketika diberikan sejumlah energi ( $h\nu$ ). apabila suatu cahaya jatuh pada permukaan sel surya, maka kedua kutubnya timbul perbedaan tegangan dan jika sel surya dirangkai seri atau parallel dapat menyalakan lampu, menggerakkan motor-motor listrik dan lain-lain. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar, sel surya dapat dihubungkan seri atau parallel, tergantung sifat penggunaannya.

Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotofoltaik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Alexandre-Edmun Bequerel, seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839 yang saat itu teorinya belum begitu berkembang.

Sel surya paling sederhana terdiri dari sambungan dua semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n* (p-n junction), yang jika dikenai sinar matahari terjadi aliran elektron

(aliran arus listrik). Ketika dua semikonduktor tipe- $p$  dan tipe- $n$  disambungkan, akan terjadi perpindahan pembawa muatan, elektron sebagai pembawa muatan mayoritas semikonduktor tipe- $n$  akan mengalir menuju semikonduktor tipe- $p$ , elektron akan mengisi hole yang berada pada daerah sambungan, sehingga daerah tersebut bebas dari pembawa muatan.

Pada saat terjadi difusi hole dari semikonduktor tipe- $p$  ke semikonduktor tipe- $n$ , hole akan menangkap elektron dari semikonduktor tipe- $n$  sehingga daerah sambungan menjadi daerah yang bebas dari pembawa muatan minoritas. Difusi elektron dan hole ini akan berhenti karena harus melawan listrik, yang ditimbulkan oleh muatan positif dan negatif di daerah sambungan yang biasa disebut sebagai daerah deplesi.



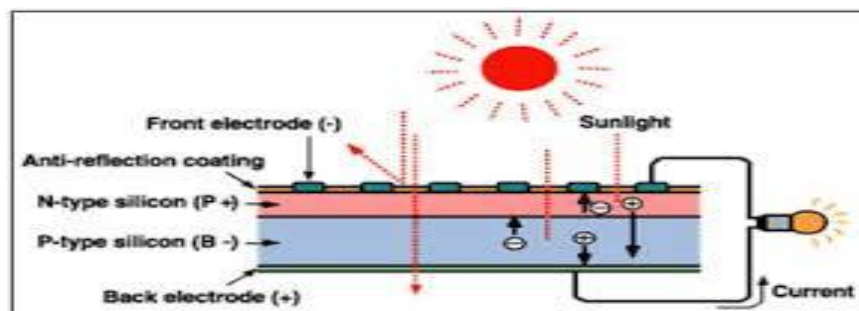
Gambar 10. Persambungan p-n  
([www.unej.ac.id/semikonduktor](http://www.unej.ac.id/semikonduktor) bab IV/pdf)

Bagian utama perubahan energi matahari menjadi energi listrik adalah penyerap (*absorber*), sinar matahari yang terdiri dari foton-foton jika mengenai permukaan penyerap (bahan sel surya) akan diserap ( $Ab$ ), dipantulkan ( $Re$ ) dan diteruskan ( $T$ ), hanya foton dengan level energi tertentu yang membebaskan

elektron dari ikatan atomnya sehingga berpindah dari pita valensi ke pita konduksi (mengalirkan energi listrik).

Untuk dapat membebaskan elektron dari ikatan kovalennya, energi foton harus sedikit lebih besar dari energi gap-nya. Agar didapatkan efisiensi sel surya yang besar, maka foton dari cahaya matahari harus diserap sebanyak-banyaknya, kemudian refleksi dan rekombinasi diperkecil serta dengan cara memperbesar konduktivitas bahan. Agar foton dapat diserap sebanyak-banyaknya, maka penyerap harus mempunyai energi gap dengan range yang lebar, sehingga memungkinkan untuk bias menyerap sinar matahari yang mempunyai energi bermacam-macam.

Gambar 8 merupakan gambar realisasi sel surya, yang mempergunakan bahan Sn(SeTe) sebagai lapisan tipe-*n*.



Gambar 11. Realisasi Sel Surya  
([www.wikipedia.com-sel](http://www.wikipedia.com-sel) surya)

## F. Karakterisasi Lapisan Tipis

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

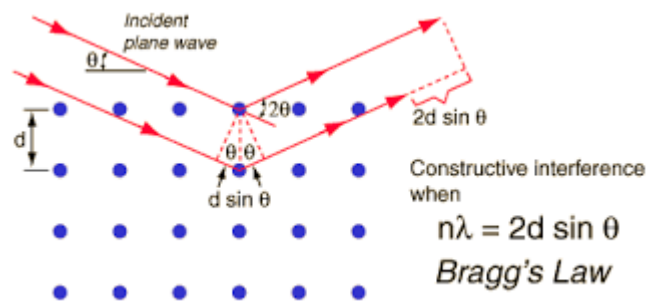
*X-Ray Diffraction* (XRD) adalah metode karakterisasi lapisan yang digunakan untuk mengetahui senyawa Kristal yang terbentuk. Difraksi merupakan penyebaran atau pembelokan gelombang pada saat gelombang tersebut melewati penghalang. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara  $0,5 \text{ \AA} - 2,5 \text{ \AA}$  dan memiliki energi foton antara  $1,2 \times 10^3 \text{ eV} - 2,4 \times 10^5 \text{ eV}$  (Arifianto Andy Sigit, 2009:14). Dengan karakterisasi tersebut sinar-X mampu menempus zat padat sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur dari suatu Kristal. Hamburan ini dihasilkan bila suatu elektron logam ditembak dengan elektron-elektron berkecepatan tinggi dalam tabung hampa udara.

Peristiwa pembentukan sinar-X dapat dijelaskan secara makroskopik yaitu pada saat menumbuk logam, elektron yang berasal dari katoda (elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Pada waktu mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif (lintasan elektron berbelok) sehingga kecepatan elektron berkurang (diperlambat). Karena perlambatan ini maka energy electron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X (proses ini terkenal sebagai proses *bremsstrahlung*).

Apabila suatu berkas sinar-X monokromatis dilewatkan pada suatu bahan maka akan terjadi penyerapan dan juga penghamburan berkas sinar

oleh atom-atom dalam bahan tersebut. Berkas sinar-X yang jatuh akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah-arah tertentu gelombang hambur itu akan berinterferensi konstruktif (mengalami penguatan), sedangkan yang lainnya akan mengalami interferensi destruktif (saling menghilangkan).

Berkas difraksi diperoleh dari berkas sinar-X yang mengalami interferensi konstruktif. Bragg menyatakan bahwa interferensi konstruktif hanya terjadi antara sinar terhambur yang sejajar beda jarak jalannya tepat  $\lambda$ ,  $2\lambda$ ,  $3\lambda$  dan sebagainya.



Gambar 12. Difraksi Bragg  
(Edi Istiyono, 2000:25)

Pada gambar 9 menunjukkan seberkas sinar mengenai atom A pada bidang pertama dan B pada bidang berikutnya. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang  $\lambda$ , dan jatuh pada bidang Kristal dengan jarak  $d$  dan sudut  $\theta$ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak  $n\lambda$ . Sedangkan beda jalan kedua berkas adalah  $2d$

$\sin\theta$ . Sehingga untuk menghasilkan suatu berkas difraksi, maka harus dipenuhi persamaan :

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

Persamaan ini dikenal dengan hukum Bragg, dengan  $n$  adalah bilangan bulat (1,2,3,...). Sedangkan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang jatuh pada Kristal,  $d$  adalah jarak antar bidang, sedangkan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam Kristal, ditentukan oleh geometri dari kisi Kristal yang bergantung pada orientasi dan jarak bidang Kristal. Suatu Kristal yang memiliki simetri heksagonal ( $a = b \neq c$ ,  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ,  $\gamma = 120^\circ$ ) memiliki konstanta kisi  $a$ , sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang Kristal ( $hkl$ ) dapat dihyung dengan rumus jarak antar bidang sebagai berikut :

$$\frac{1}{d^2 hkl} = \left[ \frac{4}{3} \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \right] \quad (3)$$

Dengan memasukan persamaan Bragg, didapatkan persamaan :

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{4}{3} \left[ \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (4)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4} \left[ \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (5)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} \left[ \frac{4}{3} (h^2 + hk + k^2) \right] + \frac{l^2}{\left(\frac{c^2}{a^2}\right)} \quad (6)$$

Untuk menghitung harga  $a$ , maka dicari indeks Miller ( $hkl$ ) yang mempunyai harga  $l$  sama dengan 0, maka diperoleh persamaan :

$$a = \frac{\ddot{e}}{\sin\epsilon} \sqrt{\left(\frac{h^2+hk+k^2}{3}\right)} \quad (7)$$

Untuk menghitung nilai  $c$  indeks Miller ( $hkl$ ) yang mempunyai harga  $h$  dan  $k$  sama dengan 0, diperoleh persamaan :

$$C = \frac{\ddot{e}}{2\sin\epsilon} l \quad (8)$$

Penentuan orientasi Kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh Kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut  $\theta$  ( $\theta$  adalah sudut datang sinar-X).

## 2. *Energy Dispersive Analysis X-ray (EDAX)*

Karakterisasi bahan semi konduktor salah satunya adalah *Energy Dispersive Analysis X-ray (EDAX)* untuk mengetahui komposisi kimia dari suatu padatan, dalam hal ini adalah Kristal. Prinsip kerja dari teknik ini adalah dengan menangkap elektron dan mengolah sinyal *flouresensi* sinar-X yang keluar dari permukaan bahan dengan volume kecil. Sinar-X tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat, yang dapat menghasilkan pulsa sebanding dengan panjang gelombang sinar-X. Teknik ini juga dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kuantitatif, hal ini karena masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang yang spesifik (Prakit Wiyantoko, 2009: 34).

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya bias digunakan untuk mengkarakterisasi material (Ariswan, 2009).

Apabila berkas elektron mengenai sampel padat, maka sebagian berkas yang jatuh tersebut akan dihamburkan kembali dan sebagian lagi akan menembus sampel. Untuk sampel yang tipis maka sebagian elektron akan diteruskan, beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis.

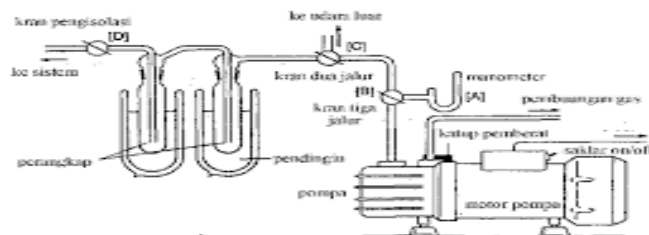
### 3. *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dari suatu padatan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Prinsip kerja dari SEM adalah sumber elektron dari filament tungsten memancarkan berkas elektron. Bila elektron tersebut berinteraksi dengan spesimen (bahan), maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada daerah-daerah spesimen yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning coils* dan *scanning generator*. Elektron dari spesimen (elektron sekunder) hasil interaksi elektron dengan spesimen ditangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi sinyal-sinyal listrik. Sinyal listrik ini diperkuat oleh *amplifier* kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT). Gambar hasil *scanning* dapat diperbesar karena pada alat ini dilengkapi mikroskop dengan perbesaran 1.000 – 40.000 kali.

## G. Teknik Evaporasi Vakum

Teknik pemvakuman merupakan suatu teknik yang cukup penting dalam bidang fisika. Karena beberapa proses pengukuran besaran-besaran maupun konstanta-konstanta dilakukan pada keadaan vakum. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi tumbukan molekular perdetik, sehingga akan memperkecil kontaminasi permukaan ruang yang divakumkan pada lapisan tipis (Syahrul Chaironi, dkk. 2012:2).

Pada penelitian ini dilakukan preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum yang merupakan bagian dari PVD (*Physical Vapor Deposition*). Metode evaporasi vakum ini merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang hampa. Preparasi bahan dibutuhkan suatu alat preparasi lengkap yang akan digunakan untuk menguapkan bahan yang kemudian akan menempel pada preparat (substrat kaca) yang sudah disediakan atau dalam penelitian ini berupa lapisan tipis. Pada sistem evaporasi ini disediakan pemanas yang berfungsi untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Pada pemanas dilewatkan arus yang cukup tinggi untuk membawa bahan sumber ke suhu evaporasi yaitu suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendesak keluar uap.



Gambar 13. Skema Proses Evaporasi Vakum

Pompa dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu:

1. *Rough pumps*: 1000 mbar. Contohnya: *Rotary-vane pump* (pompa rotari geser), *Root's pump*, *Sorption pump*.
2. *High vacuum pump*:  $10^{-3}$ - $10^{-8}$  mbar. Berikut merupakan beberapa contoh pompa yang termasuk kedalam kategori *high vacuum pump*: *Oil diffusion pump*, *Turbo molecular pump*, *Cryopump* dll.
3. *Ultrahigh vacuum pump*: yang memiliki tekanan lebih kecil dari  $10^{-8}$  mbar. *Titanium sublimation pump* dan *Ion pump* merupakan contoh dari vakum jenis ketiga ini (Ariswan, 2013: 17).

Upaya mengosongkan suatu ruangan, mulai dari tekanan atmosfer hingga mencapai  $10^{-6}$  mbar, maka dibutuhkan pompa yang bekerja sesuai dengan daerah kerjanya. Dalam pembuatan lapisan tipis inidibutuhkan minimal dua pompa untuk mendapatkan vakum tinggi. Yang pertama adalah pompa rotari dan yang kedua adalah pompa difusi.

#### 1. Pompa Rotari Sekat

Pompa rotari mampu bekerja hingga  $10^{-2}$  mbar. Sehingga pompa ini layak jika digunakan untuk pemvakuman, yang daerah kerjanya dalam *range*  $10^{-6}$  mbar. Pompa ini termasuk dalam jenis *roughing pump*. Pompa ini terdiri dari rotor yang berbentuk silinder dan suatu stator. Pada rotor terdapat sekat pegas, sehingga ketika rotor berputar sekat selalu mengenai dinding stator yang berbentuk silinder. Rotor berputar tidak pada sumbu rumah pompa. Sementara sekat (*vane*) bergerak dalam lubang rumah pompa dan tekanan pada stator,



2. Perpindahan uap antara sumber dan substrat.
3. Kondensasi uap dan gas yang diikuti nukleasi dan penumbuhan lapisan tipis (Herlambang: 2012).

Proses evaporasi berlangsung pada ruang hampa  $10^{-5} - 10^{-7}$  mbar, proses evaporasi dimulai uap selain material sumber hampir seluruhnya dihilangkan. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan partikel yang bersifat pengotor serta untuk memperbesar jarak rata-rata. Pada keadaan vakt tanpa bertabrakan dengan partikel gas lain (Ariswan, 2004).

Pada keadaan vakum tidak dapat dilihat oleh kasat mata, karena pengisian ruang berupa gas. Untuk itu dibutuhkan besaran fisis lain yang berkaitan dengan tingkat kevakuman agar dapat dilakukan pengukuran. Pada teknik evaporasi ini, pengukuran dilakukan dengan menggunakan *manometer penning* (alat untuk mengukur kevakuman udara), dimana jika tingkat kevakuman tinggi, maka tekanan udara didalamnya rendah, begitu juga sebaliknya.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

##### 1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai dari bulan Oktober 2016 sampai dengan Februari 2017.

##### 2. Tempat Penelitian

- a. Pembuatan sampel masif dengan metode Bridgman dilaksanakan di laboratorium material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Pembuatan sampel lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dengan metode evaporasi dilaksanakan di laboratorium material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi struktur Kristal lapisan tipis dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) yang dilaksanakan di laboratorium Kimia Dasar Universitas Negeri Yogyakarta.
- d. Karakterisasi struktur morfologi menggunakan SEM dan analisis komposisi kimia lapisan tipis menggunakan EDAX dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada.

## B. Variabel Dalam Penelitian

Untuk memperoleh lapisan tipis dengan metode evaporasi :

- a. Variabel Kontrol : waktu pemanasan (jam), tekanan (mbar), suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
- b. Variabel Bebas : teknik preparasi
- c. Variabel Terikat : komposisi kimia dan morfologi permukaan

## C. Bahan dan Alat Penelitian

### 1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Sn (*Stannum*) dengan massa 1 gram, Se (*Selenium*) dengan massa 0,336 gram, dan Te (*Telurium*) dengan massa 0,543 gram.
- b. Tabung *pyrex*
- c. Kaca Preparat (Substrat kaca) dengan ketebalan 1 mm
- d. Alcohol, air dan tissue

### 2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada pembuatan lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  :

- a. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,01 miligram.
- b. Tabung vertical reaktor terbuat dari bahan kaca kuarsa yang digunakan sebagai tempat untuk meletakkan sumber, substrat, *spacer*, dan sebagai tempat terjadinya pembentukan lapisan.
- c. Substrat yang berbentuk lingkaran sebagai tempat menempelnya lapisan tipis terbuat dari kaca biasa.

- d. *Spacer* yang terbuat dari bahan kaca kuarsa sebagai pemberi jarak antara sumber dengan substrat.
- e. Tutup dan katup untuk menutup lubang vertical reaktor dan penghubung dengan pompa vakum.
- f. Pendorong yang berfungsi untuk memasukan sumber dalam tabung vertikal reaktor.
- g. Sistem pemanas listrik digunakan untuk memanaskan sumber yang terbuat dari kawat nikelin.
- h. Termokopel yang berfungsi untuk mengukur temperature tabung vertikal reaktor.
- i. Pompa vakum (*rotary pump*) untuk memvakumkan tabung vertical reaktor.
- j. Manometer untuk mengukur tekanan pompa vakum.
- k. Regulator tegangan yang dihubungkan dengan sistem pemanas listrik untuk menimbulkan panas.
- l. Alat-alat tambahan seperti pinset, penjepit dan statip.

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

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu :

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

Penelitian tahap 1 dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi mengenai massa dari sampel yang digunakan dalam penelitian

ini, yaitu Sn (*tin*), Se (*Selenium*), dan Te (*Telurium*). Penelitian tahap 1 ini meliputi penentuan massa sampel secara teoritis dan penentuan massa sampel dengan proses pengukuran.

a. Penentuan massa sampel secara teoritis

Bahan Sn (*tin*) yang digunakan dalam penelitian ini dijadikan sebagai bahan pembanding bagi bahan yang lain (Se dan Te). Ditentukan terlebih dahulu massa Sn sebesar 1 gram sebagai massa sampel secara teoritis.

Untuk menentukan massa Se (*Selenium*) secara teoritis menggunakan persamaan :

$$M_{\text{teori Se}} = \left( \frac{\text{massa Sn}}{(BA)Sn} \times (BA)Se \right) \times \frac{\text{koef Se}}{\text{koef Sn}}$$

Dimana :

$$BA \text{ Sn} = 118,710 \text{ gram}$$

$$BA \text{ Se} = 78,96 \text{ gram}$$

$$\text{Koef Se} = 1$$

$$\text{Koef Sn} = 2$$

Untuk menentukan massa Te (*Telurium*) secara teoritis menggunakan persamaan :

$$M_{\text{teori Te}} = \left( \frac{\text{massa Sn}}{(BA)Sn} \times (BA)Te \right) \times \frac{\text{koef Te}}{\text{koef Sn}}$$

Diamana :

$$BA \text{ Sn} = 118,710 \text{ gram}$$

$$BA \text{ Te} = 117,60$$

$$\text{Koef Te} = 1$$

$$\text{Koef Sn} = 2$$

Berdasarkan penguraian diatas, dihasilkan massa sampel secara teoritis seperti yang ditunjukkan tabel berikut:

Tabel 2. Massa Sampel Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) Secara Teoritis

Bahan	Massa (gram)
Sn	1
Se	0,334
Te	0,499

b. Penentuan Massa Sampel Secara Terukur

Pada tahap ini, ketika massa sampel sudah diketahui secara teoritis, sampel ditimbang menggunakan timbangan analitik dengan ketelitian 0,01 miligram. Diusahakan massa hasil penimbangan mendekati nilai dari massa teori agar data yang dihasilkan akurat dan presisi. Berikut adalah hasil dari pengukuran massa sampel Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) yang terukur:

Tabel 3. Massa Sampel Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) Secara Terukur

Bahan	Massa (gram)
Sn	1,007
Se	0,336
Te	0,543

2. Penelitian Tahap 2

Pada tahap 2 ini dilakukan agar sampel dalam kondisi vakum sebelum dipanaskan didalam mesin pemanas. Sampel dimasukan kedalam tabung *pyrex* untuk kemudian diperlakukan sedemikian rupa agar sampel dalam

keadaan vakum. Proses pemvakuman sampel dilakukan selama 2 jam dengan tekanan yang diberikan kepada sampel sebesar  $3,5 \times 10^{-5}$  mbar. Setelah sampel selesai melalui proses pemvakuman, tabung *pyrex* dilepas untuk kemudian dibentuk untuk menjadi sebuah kapsul. Proses pembuatan kapsul melalui tahap pengelasan pada tabung *pyrex*. Tujuan pembuatan kapsul ini agar sampel terlindung dari proses oksidasi, sehingga perlu ketelitian agar kapsul yang dihasilkan tidak memiliki celah sama sekali.

### 3. Penelitian Tahap 3

Pada tahap ini sampel dipanaskan didalam mesin pemanas. Terdapat dua variabel yang di variasi pada tahap ini yaitu waktu pemanasan (jam) dan suhu ( $^{\circ}$  C). Tahap pertama dari proses pemanasan sampel adalah memasukan tabung *pyrex* berisi sampel kedalam mesin pemanas. Suhu dinaikan dari  $27^{\circ}$  C sampai mencapai  $350^{\circ}$  C, tahap ini berlangsung selama 13 menit. Selanjutnya sampel didiamkan didalam mesin pemanas dengan suhu tetap selama 5 jam. Setelah dipanaskan selama 5 jam mesin dimatikan dan sampel didinginkan kembali. Berikut ini adalah diagram yang menunjukkan proses *furnace* 1 yang diberikan pada sampel

*Furnace* sampel 1: T1= $28^{\circ}$ C –  $350^{\circ}$ C (07.30 – 07.42) dan T2 =  $350^{\circ}$ C (07.42 – 02.42)

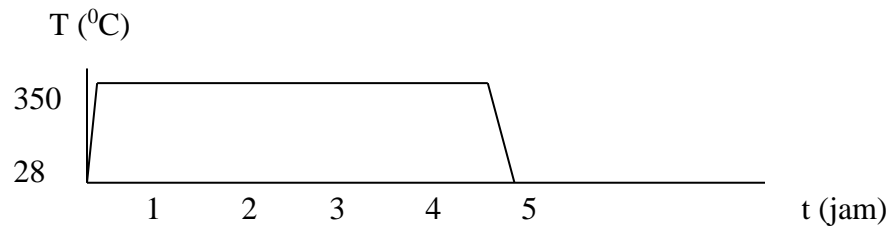


Diagram 1. Skema Kenaikan Suhu Proses *furnace* 1

Tahap selanjutnya dilakukan pada hari selanjutnya. Pada tahap ini perlakuan pada sampel hamper sama seperti hari sebelumnya, suhu dinaikan dari suhu ruang hingga mencapai suhu 350<sup>0</sup> C, proses ini berlangsung selama 3 jam. Setelah mencapai suhu yang dikehendaki, suhu kembali dinaikan hingga mencapai suhu 650<sup>0</sup> C. Tahap ini berlangsung selama 15 menit. Setelah suhu mencapai pada titik yang dikehendaki, sampel didiamkan didalam mesin pemanas dengan suhu tetap selama 4 jam. Setelah dipanaskan selama 4 jam, mesin pemanas dimatikan dan sampel ditiriskan. Hasil dari proses *furnace* 2 ditunjukkan oleh diagram berikut:

*Furnace* sampel 2:

$$T1 = 28^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C} (08.30 - 11.30)$$

$$T2 = 350^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C} (11.30 - 15.30)$$

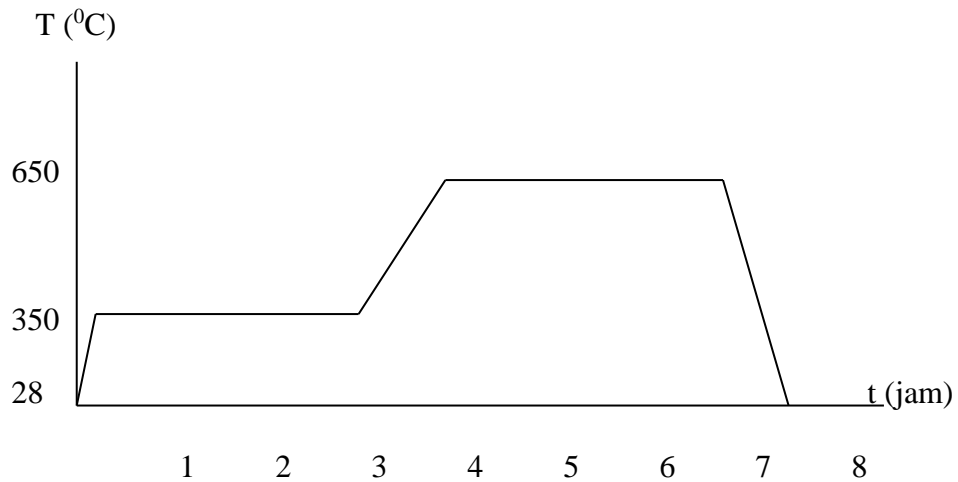


Diagram 2. Skema Kenaikan Suhu Pada Proses *furnace* 2

#### 4. Penelitian Tahap 4

Pada tahap ini sampel dikeluarkan dari mesin pemanas untuk dihaluskan sehingga berbentuk masif. Setelah berbentuk massif sampel dibawa ke laboratorium kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta untuk mengamati struktur Kristal yang terdapat pada sampel dalam bentuk massif dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD). Berikut adalah data yang dihasilkan preparasi sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dalam bentuk masif:

#### 5. Penelitian Tahap 5

Pada tahap ini sampel dipersiapkan untuk diproses menjadi bentuk lapisan tipis menggunakan metode evaporasi. Ada beberapa tahapan yang dilakukan pada proses ini, yaitu :

- a. Menyiapkan substrat yang akan digunakan pada proses deposisi. Substrat yang akan digunakan sebelumnya di steril kan terlebih dahulu dengan menggunakan alcohol dan air.
- b. Sampel dimasukan kedalam filamen yang telah dipotong dengan ukuran tertentu untuk dimasukan kedalam mesin evaporasi. Sampel yang telah berada didalam filament diletakan dibawah substrat yang telah dimasukan kedalam mesin evaporasi. Proses evaporasi berlangsung selama 3 jam.
- c. Setelah sampel mengalami deposisi pada substrat, substrat tersebut dikeluarkan dari mesin evaporator untuk kemudian dipotong.

Berikut adalah hasil dari proses preparasi sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dalam bentuk lapisan tipis:

Tabel 4. Preparasi Sampel Lapisan Tipis dengan Teknik Evaporasi

Tegangan input (V)	Waktu (menit)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )
60	2	424
70	2	390
80	2	372
90	1	363
100	1	358

## 6. Penelitian Tahap 6

Pada tahap ini sampel sudah dalam bentuk lapisan tipis. Sampel tersebut kembali dibawa ke laboratorium kimia Universitas Negeri Yogyakarta untuk kembali diamati struktur Kristal yang terdapat pada

sampel dalam bentuk lapisan tipis dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

#### 7. Penelitian Tahap 7

Tahap ini merupakan akhir dari proses pengambilan data pada penelitian ini. Sampel lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) sudah dalam bentuk lapisan tipis dan masif. Sampel tersebut kembali dikarakterisasi untuk mengamati struktur kimia dan morfologi permukaan dengan menggunakan metode *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX). Karakterisasi ini dilakukan di Lembaga Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gadjah Mada (LPPT UGM).

#### **E. Analisis Data**

Data yang diperoleh merupakan data hasil dari karakterisasi menggunakan XRD adalah berupa difraktogram sebagai fungsi antara intensitas dengan sudut difraksi ( $2\theta$ ). Hasil XRD dari sampel berbentuk massif dibandingkan dengan hasil XRD dari sampel berbentuk lapisan tipis, sehingga akan diperoleh bidang-bidang hkl dari sampel. Dan harga konstantakisi ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) akan diperoleh dengan metode analitik.

Untuk mengetahui jenis atom atau unsur yang terkandung dari sampel maka dilakukan pengujian EDAX. Untuk mengetahui struktur morfologi dari sampel yang telah terdeposisi maka dilakukan pengujian SEM.

## F. Diagram Alir Tahap Penelitian

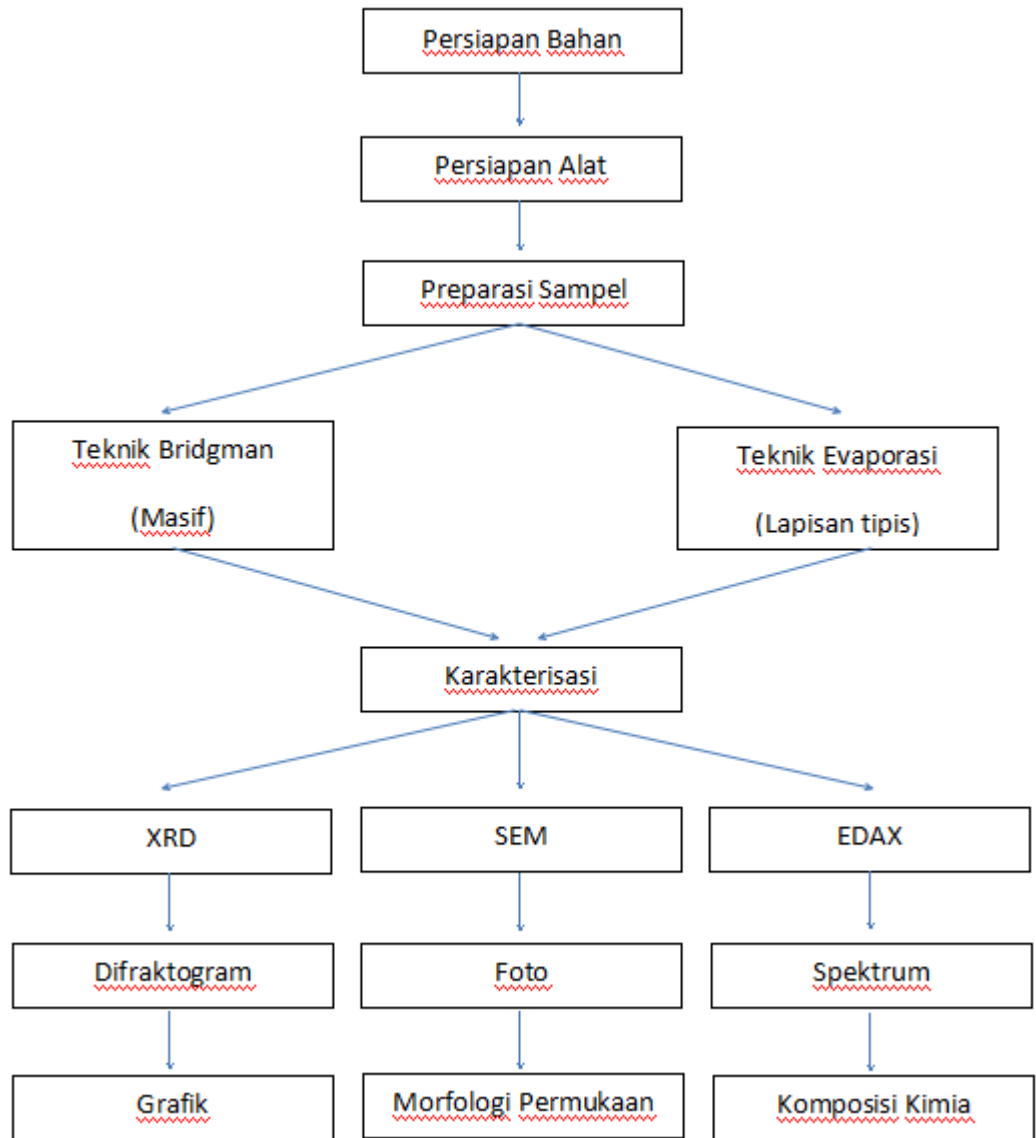


Diagram 3. Diagram Alir Tahap Penelitian

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

##### 1. Pengukuran Massa Sampel

Pengukuran dilakukan untuk memperoleh data awal dalam proses preparasi. Berikut ini data hasil pengukuran massa sampel baik teoritis maupun terukur. Berikut diagramnya:

Tabel 5. Penentuan Massa Sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$

Massa (gram)		
Bahan	Teori	Terukur
Sn	1	1,007
Se	0,334	0,336
Te	0,499	0,543

##### 2. Preparasi Sampel $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ Dengan Teknik Bridgman

Pada tahap ini, penulis telah memperoleh informasi mengenai massa dari bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  baik secara teori (analisis dengan perhitungan matematis) maupun terukur dengan menggunakan timbangan analitik. Sampel diperlakukan sedemikian rupa dengan menggunakan metode Bridgman. Metode ini memungkinkan untuk penulis memperoleh informasi mengenai titik lebur dari masing-masing bahan yang digunakan, sehingga penulis dapat memperkirakan waktu yang digunakan untuk memanaskan sampel tersebut. Data yang diperoleh dengan metode

Bridgman kemudian dikarakterisasi dengan XRD untuk dapat menentukan parameter kisi yang dihasilkan sampel masif.

Tabel 6. Preparasi Sampel Masif dengan Metode Bridgman

hari	T ( °C)	t (jam)
1	28-350	12 menit (0,2 jam)
	350	5 jam
2	28-350	15 menit (0,25 jam)
	350	3 jam
	350-650	4 jam

### 3. Preparasi Sampel Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) Dengan Teknik Evaporasi

Pada penelitian ini telah dihasilkan lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) melalui preparasi dengan menggunakan teknik evaporasi. Sampel yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui struktur Kristal. Berikut data yang dihasilkan baik untuk sampel masif maupun sampel lapisan tipis:

Tabel 7. Preparasi Sampel Lapisan Tipis Dengan Teknik Evaporasi

Lapisan tipis		
Tegangan (V)	Waktu (menit)	Suhu (°C)
60	2	424
70	2	390
80	2	372
90	1	363
100	1	358

#### 4. Struktur Kristal Hasil Analisis XRD, Komposisi Kimia Hasil EDAX, dan Morfologi Permukaan hasil SEM

##### a. Analisis XRD

XRD (*X-Ray Diffraction*) dipergunakan untuk mengetahui struktur Kristal yang terbentuk pada substrat berupa lapisan tipis hasil preparasi dengan teknik evaporasi. Data yang dihasilkan metode XRD berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara sudut hamburan ( $2\theta$ ) dan intensitas (I) puncak spektrum. Difraktogram menunjukkan puncak-puncak yang muncul pada sampel.

Cara penggunaan XRD diawali dengan menempatkan sampel pada pemegang stasioner, kemudian sinar-X dikenakan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu. Setelah sinar-X dikenakan pada sampel maka akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang yang berjarak  $d$  dan sudut  $2\theta$  yang memenuhi hukum difraksi Bragg. Analisis dilakukan dengan menggunakan sumber Cu dan panjang gelombang  $1,54 \text{ \AA}$ . Parameter yang digunakan pada XRD adalah tegangan operasi 40 kV, arus 30 mA dan pada rentang sudut  $2\theta = 0^\circ - 90^\circ$ .

Preparasi lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  pada penelitian ini menggunakan tabung vertikal reaktor. Untuk mendapatkan lapisan tipis yang sempurna dari bahan paduan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  harus dilakukan variasi waktu pemanasan, suhu substrat, massa sampel, dan *spacer*.

Analisis menggunakan XRD dilakukan pada sampel dalam bentuk lapisan tipis dan masif. Berikut ditampilkan hasil difraksi sinar-X :

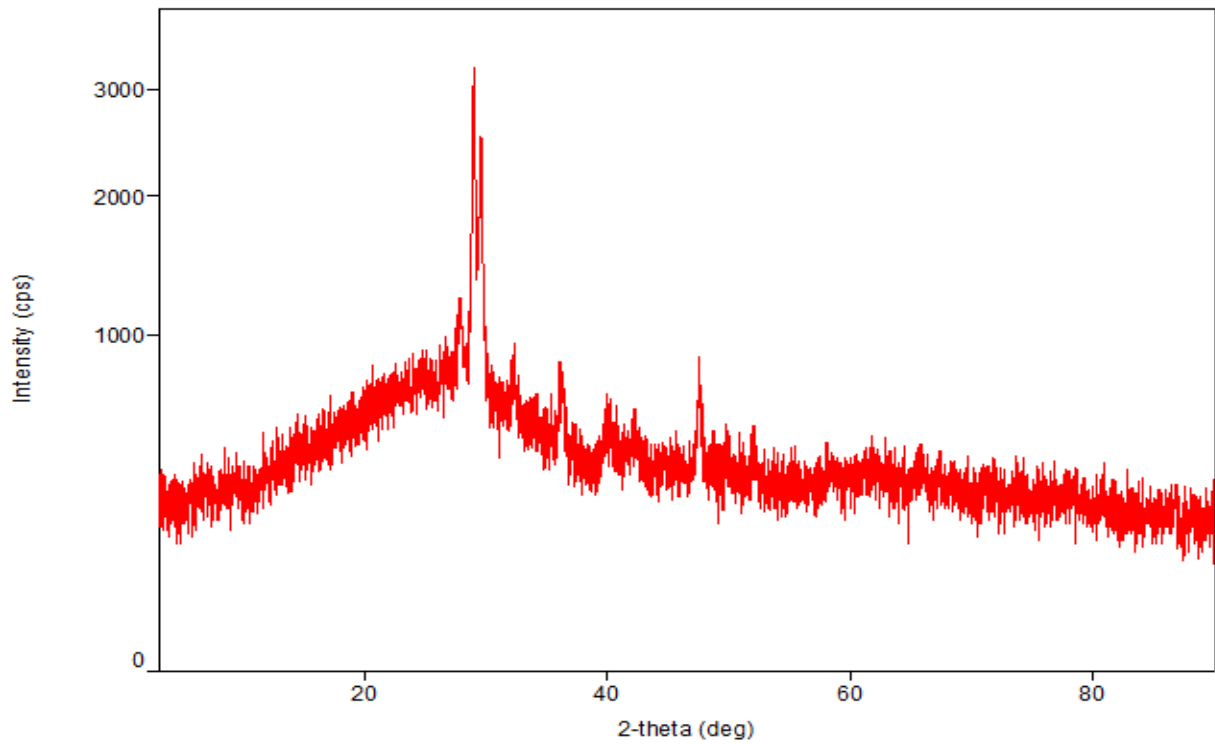


Diagram 4. Difraktogram Sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  Dalam Bentuk Lapisan Tipis

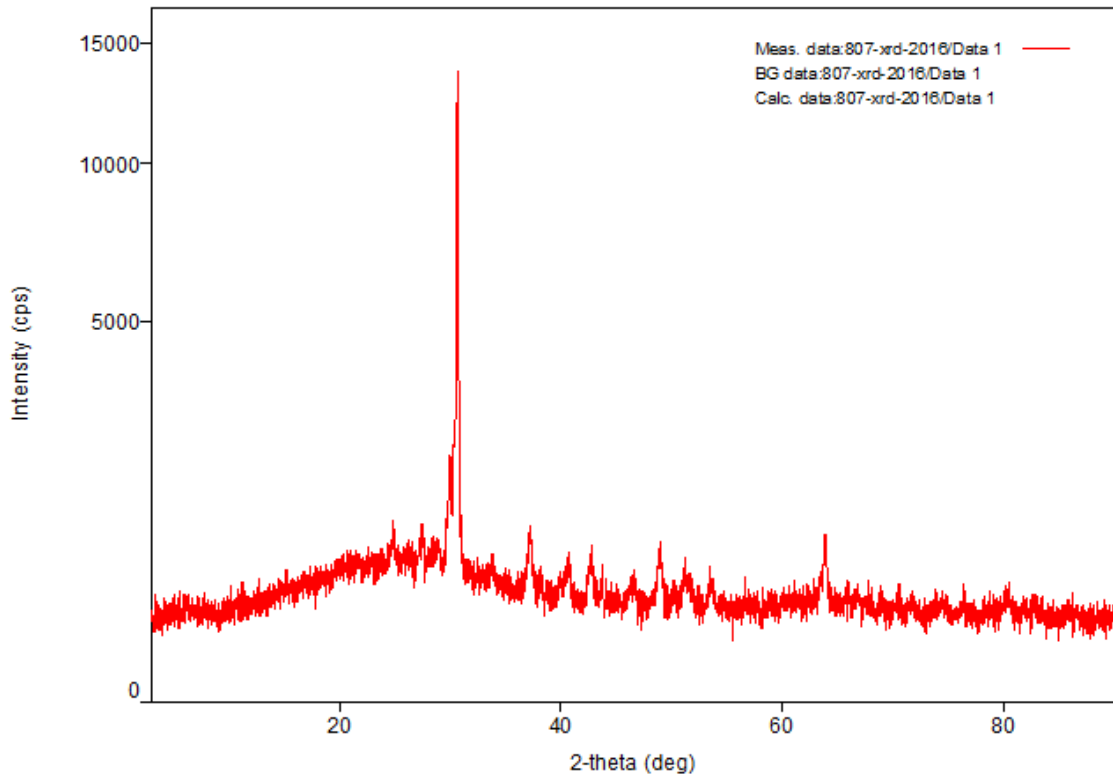


Diagram 5. Difraktogram Sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dalam Bentuk Masif

Pada analisis dengan XRD ini, akan diketahui struktur Kristal yang terbentuk setelah melalui tahap preparasi pada suhu  $650^{\circ}\text{C}$ . Percobaan ini baru beberapa kali dilakukan di laboratorium karena pada percobaan sebelumnya menggunakan teknik *Sputtering* dan CSVT untuk lapisan tipis.

Dari hasil XRD, diketahui bahwa lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  yang terbentuk merupakan Kristal dengan struktur *polycrystal* dan sistem heksagonal. Dengan membandingkan data hasil XRD dengan *Join*

Committe on Powder Diffraction Standart (JCPDS) dari Sn(Se,Te), maka dapat diketahui indeks Miller (*hkl*) dari puncak difraksi yang terbentuk. Indeks Miller dari suatu Kristal sangat diperlukan untuk menentukan harga dari parameter kisi Kristal. Data XRD masing-masing sampel dapat dilihat pada tabel 8 dan tabel 9 seperti yang ditunjukkan dibawah ini:

Tabel 8. Perbandingan Data XRD Sampel Masif Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) dengan Data JCPDS Sn(Se,Te)

Peak	Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) masif		JCPDS Sn(Se,Te)		
	2θ(derajat)	I <sub>relatif</sub>	2θ(derajat)	I <sub>relatif</sub>	hkl
1	29,84	63	29,91	49	020
2	30,636	72	30,80	50	021
3	37,16	14	37,25	14	023
4	40,67	12	-	-	-
5	42,69	13	42,59	25	115
6	48,98	14	49,48	10	116
7	51,18	16	50,85	3	312
8	63,82	11	-	-	-

Tabel 9. Perbandingan Data XRD Sampel Lapisan Tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) dengan Data JCPDS Sn(Se,Te)

Peak	Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) lapisan tipis		JCPDS Sn(Se,Te)		
	2θ(derajat)	I <sub>relatif</sub>	2θ(derajat)	I <sub>relatif</sub>	hkl
1	28,94	38	29,06	38	004
2	29,52	38	30,13	49	200
3	47,54	9	47,92	12	025

Dari hasil XRD seperti yang ditunjukkan oleh tabel diatas, dapat diketahui bahwa sudut difraksi ( $2\theta$ ), Intensitas ( $I$ ) dan jarak antar bidang ( $d_{hkl}$ ). setelah data hasil XRD dibandingkan dengan data JCPDS maka

akan diketahui nilai-nilai indeks Miller (*hkl*) pada puncak-puncak difraksi yang terbentuk. Berdasarkan data-data tersebut harga konstanta kisi dari kristal yang terbentuk dapat dicari dengan metode analitik yang tertera pada lampiran 1. Berikut adalah parameter kisi yang dihasilkan oleh sampel masif maupun lapisan tipis.

Tabel 10 . Parameter Kisi yang Dihasilkan Sampel Masif dan Lapisan Tipis Dibandingkan dengan Parameter Kisi Dari JCPDS

Parameter Kisi	Hasil Preparasi Teknik Bridgman (Å)	Hasil Preparasi Teknik Evaporasi (Å)	JCPDS No. 81-0013 (Å)
<i>a</i>	5,921	6,047	5,928
<i>b</i>	5,983	6,047	5,970
<i>c</i>	12,991	12,331	12,28

b. Analisis EDAX

EDAX digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari sampel dan juga akan diperoleh spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas dengan energi. Spektrum yang dihasilkan oleh EDAX berasal dari penembakan berkas elektron pada target. Hal ini akan menyebabkan atom-atom bahan mengalami ionisasi. Proses ini akan menyebabkan atom-atom bahan akan berada pada kondisi yang stabil dengan jumlah proton sama dengan elektron, elektron pada bahan akan mengalami eksitasi. Elektron yang memiliki tingkat energi lebih tinggi akan mengalami transisi ke tingkat energi yang lebih rendah. Saat

terjadi transisi, maka akan dilepaskan sejumlah energi yang antara lain berupa sinar-X yang akan ditangkap oleh detektor dan ditampilkan dalam bentuk spektrum. Diagram 6 dan diagram 7 merupakan grafik hubungan antara intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX untuk sampel masif dan sampel lapisan tipis.

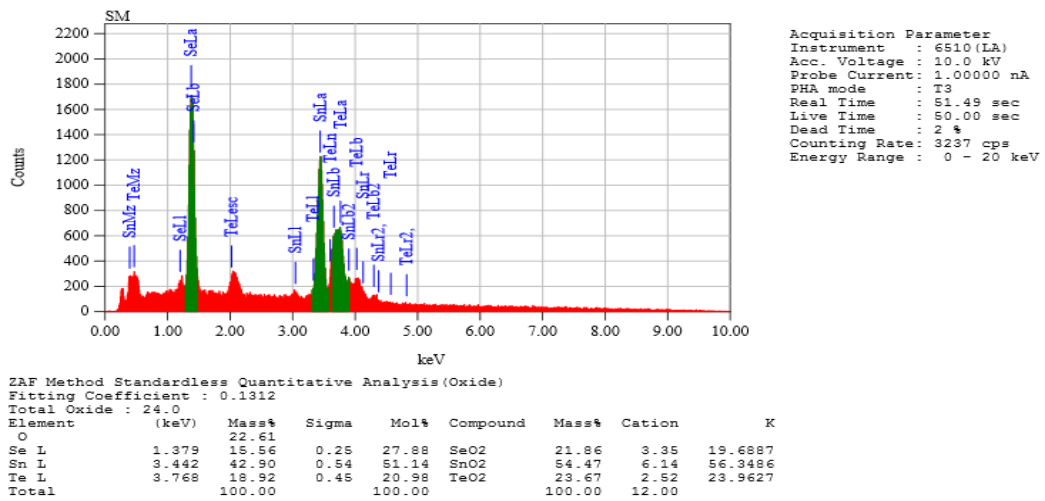


Diagram 6. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi sampel masif Sn( $Se_{0,5}Te_{0,5}$ )

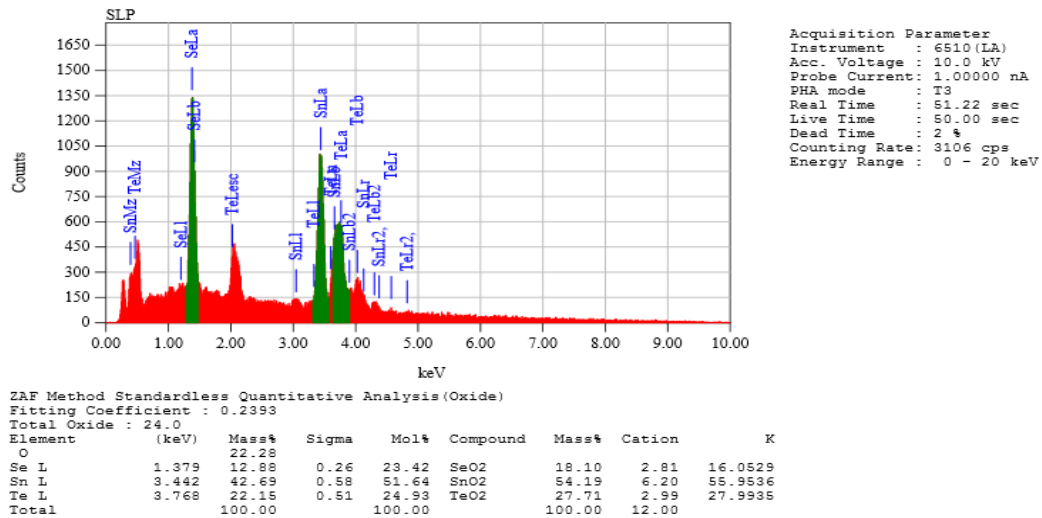


Diagram 7. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi sampel Lapisan Tipis Sn( $Se_{0,5}Te_{0,5}$ )

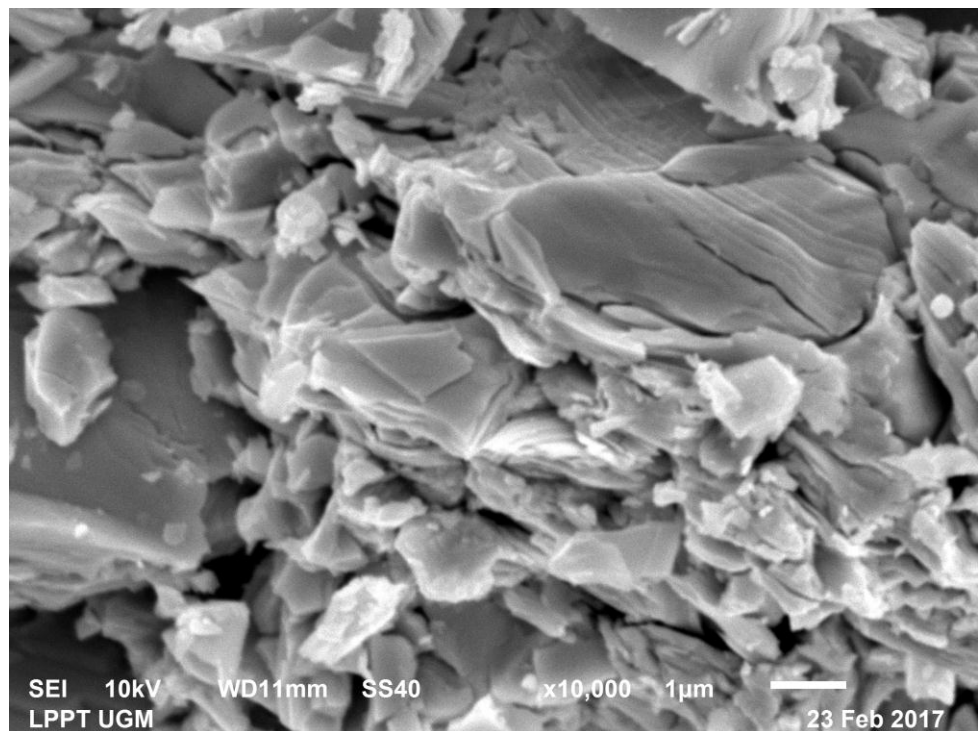
Hasil karakterisasi EDAX untuk lapisan tipis Sn( $Se_{0,5}Te_{0,5}$ ) yang telah dipreparasi dengan teknik evaporasi memberikan hasil presentase komposisi kimia yang terbentuk yaitu :

Tabel 11. Komposisi Kimia yang Dihasilkan Analisis EDAX untuk Sampel Masif dan Sampel Lapisan Tipis

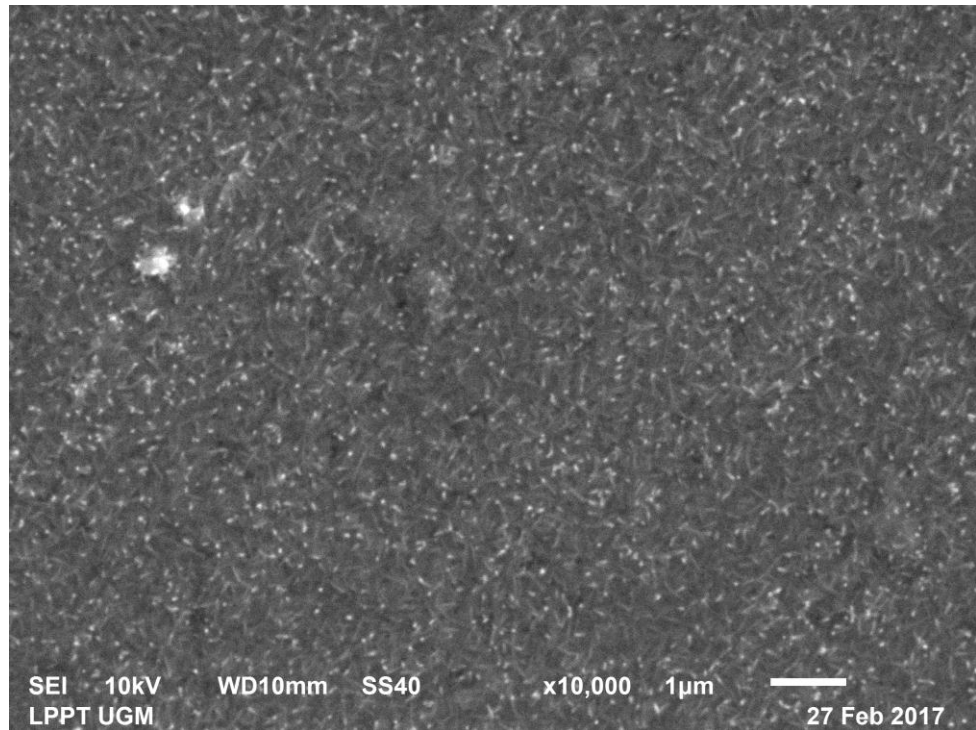
Sampel Masif			Sampel Lapisan Tipis		
Bahan	Presentase (%)	Mol	Bahan	Presentase (%)	Mol
Sn	42,90	51,14	Sn	42,69	51,64
Se	15,56	27,88	Se	12,88	23,42
Te	18,92	20,98	Te	22,15	24,93
O	22,61	-	O	22,28	-

c. Analisis SEM

Struktur morfologi permukaan suatu bahan dapat dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy*. Hasil dari SEM ini berupa foto permukaan dari sampel masif yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 13. Sedangkan untuk sampel lapisan tipis dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 16. Hasil Pemotretan Permukaan Sampel Masif dengan Perbesaran 10000 Kali



Gambar 17. Hasil Pemotretan Permukaan Sampel Lapisan Tipis dengan Perbesaran 10000 Kali

Dari hasil foto SEM dengan perbesaran 10000 kali, tampak bahwa lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$  yang dipreparasi dengan teknik evaporasi terbentuk dari kristal yang tersebar secara homogen pada permukaan sampel. Kehomogenan ini ditunjukkan dari warna kristal yang hampir seragam.

## **B. Pembahasan**

### **1. Pengaruh variasi teknik analisis terhadap kualitas lapisan tipis**

#### **$\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ yang terbentuk**

Teknik evaporasi yang diberikan pada sampel masif dan lapisan tipis pada bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  mampu memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode karakterisasi sebelumnya. Kecenderungan sampel mengalami kerusakan pada saat pendeposisian dapat diminimalisir dengan teknik evaporasi. Teknik ini dilakukan dengan cara meletakkan bahan dasar  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  baik yang berbentuk masif maupun lapisan tipis di bawah sebuah substrat. Substrat yang sebelumnya sudah diletakkan pada evaporator berbentuk tabung.

Dengan suhu yang mencapai  $650^{\circ}\text{C}$ , sumber yang dipanaskan dengan memvariasi tegangan yang dihubungkan pada evaporator akan terdeposisi pada substrat yang kemudian akan terbentuk lapisan tipis. Selama proses pendeposisian, diusahakan tabung evaporator dalam keadaan vakum, setelah terbentuk lapisan tipis maka sumber arus dihentikan dan ditunggu hingga suhu menurun kemudian tabung dilepas dan substrat yang sudah terlapisi dikeluarkan. Untuk dapat melihat parameter yang akan menghasilkan kualitas sampel masif dan sampel lapisan tipis yang paling baik, maka proses pendeposisian bahan dilakukan dengan memvariasi tegangan 60 V, 70 V dan 100 V untuk sampel masif. Sedangkan untuk

sampel lapisan tipis, tegangan divariasikan dengan nilai 60 V, 70 V, 80 V, 90 V dan 100 V.

Kualitas lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  yang dihasilkan dapat dilihat dari konsistensi yang ditunjukkan dari ketiga metode karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini, yaitu metode *X-ray Diffraction*, metode *Scanning Electron Microscopy*, dan metode *Energy Dispersive Analysis X-Ray*. Presentase komposisi kimia pada sampel masif dan sampel lapisan tipis dengan menggunakan metode EDAX menunjukkan tingkat presisi yang cukup tinggi seperti yang ditunjukkan pada tabel 7. Analisis dengan menggunakan metode SEM menunjukkan homogenitas untuk sampel masif dan sampel lapisan tipis, hal ini dapat dibuktikan dengan foto yang diperbesar sebanyak 3000 kali seperti pada gambar 13 dan gambar 14. Pada foto tersebut warna permukaan kristal seragam diseluruh permukaan baik sampel masif maupun sampel lapisan tipis. Meskipun begitu, terdapat variabel yang kurang sempurna pada metode XRD yaitu  $I_{\text{relatif}}$  yang dihasilkan tidak sesuai dengan JCPDS seperti yang ditunjukkan tabel 5 dan tabel 6.

Kristalinitas dapat juga ditentukan dengan XRD melalui perbandingan intensitas atau luasan *peak* sampel dengan intensitas atau luasan *peak* standar (JCPDS).

## 2. Struktur kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman dan teknik evaporasi

Tabel 12. Perbandingan Hasil Perhitungan Parameter Kisi dengan Data JCPDS

Parameter Kisi	Hasil Preparasi Teknik Bridgman (Å)	Hasil Preparasi Teknik Evaporasi (Å)	JCPDS No. 81-0013 (Å)
<i>a</i>	5,921	6,047	5,928
<i>b</i>	5,983	6,047	5,970
<i>c</i>	12,991	12,331	12,28

Dari hasil perhitungan parameter kisi semikonduktor lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  baik secara analitik maupun data yang ditunjukkan JCPDS tercantum pada tabel 11. Secara keseluruhan parameter kisi yang dihasilkan dengan menggunakan metode analitik hampir mendekati data yang ada pada JCPDS. Dari kedua sampel tersebut, parameter kisi yang paling mendekati secara keseluruhan baik nilai *a*, *b* maupun *c* adalah sampel masif dengan teknik Bridgman.

## 3. Hasil analisis komposisi kimia dengan EDAX

Karakterisasi EDAX dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  hasil preparasi. Prinsip kerja EDAX adalah dengan menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan. Hasil karakterisasi EDAX dapat dilihat pada tabel 12 dan tabel 13 yang menunjukkan bahwa

pada bahan  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  yang terbentuk dari unsur Sn, Se dan Te dengan perbandingan molaritas seperti tertera pada tabel 10. Konsentrasi unsur yang terbentuk pada sampel masif dan sampel lapisan tipis terdapat pergeseran nilai. Hal ini dikarenakan sampel tidak menempel sempurna pada substrat saat proses evaporasi.

Tabel 13. Perbandingan Konsentrasi Unsur dengan Molaritas pada Sampel Masif

Konsentrasi unsur (%)			Molaritas		
Sn	Se	Te	Sn	Se	Te
42,90	15,56	18,92	51,14	27,88	20,98

Tabel 14. Perbandingan Konsentrasi Unsur dengan Molaritas pada Sampel Lapisan Tipis

Konsentrasi unsur (%)			Molaritas		
Sn	Se	Te	Sn	Se	Te
42,69	12,88	22,15	51,64	23,42	24,93

#### 4. Hasil analisis morfologi permukaan kristal dengan SEM

Hasil karakterisasi SEM lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dapat dilihat pada gambar 13 dan gambar 14. Gambar tersebut menunjukkan bahwa Kristal tunggal dari sampel  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  sudah terbentuk, hal tersebut ditandai dengan warna kristal yang seragam dan bentuk lapisan tipis yang homogen disetiap bagiannya. Ukuran butiran (*grain*) pada sampel masif sebesar 5  $\mu\text{m}$  dengan ketebalan penampang lintang 11  $\mu\text{m}$ . untuk sampel lapisan tipis ukuran butiran sebesar 5  $\mu\text{m}$  dengan ketebalan penampang lintang 10  $\mu\text{m}$ .

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan karakterisasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  dengan teknik evaporasi dan teknik Bridgman telah berhasil dibuat dengan beberapa pergeseran nilai yang terdapat pada hasil XRD, hal ini ditunjukkan dengan terjadinya perbedaan tinggi intensitas puncak yang mempengaruhi parameter kisi yang dihasilkan.
2. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  hasil preparasi dengan teknik Bridgman dan teknik evaporasi mempunyai struktur kristal *orthorombic* dengan nilai parameter kisi sebagai berikut:
  - a. Sampel masif secara analitik :  $a = 5,921 \text{ \AA}$ ;  $b = 5,983 \text{ \AA}$ ;  $c = 12,991 \text{ \AA}$
  - b. Sampel lapisan tipis secara analitik :  $a = 6,0471 \text{ \AA}$ ;  $b = 6,0470 \text{ \AA}$ ;  $c = 12,331 \text{ \AA}$
3. Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX, dalam lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  hasil preparasi terdapat unsur Sn sebanyak 42,90 %, Se sebanyak 15,56 %, Te sebanyak 20,98 % dengan perbandingan molaritas Sn 51,14 mol, Se 27,88 mol, Te 20,98 mol untuk sampel

masif. Sedangkan untuk sampel lapisan tipis terdapat unsur Sn sebanyak 42,69 %, Se sebanyak 12,88 %, Te sebanyak 22,15 % dengan perbandingan molaritas Sn 51,64 mol, Se 23,42 mol dan Te 24,93 mol. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa permukaan dari lapisan tipis  $\text{Sn}(\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$  yang terbentuk mempunyai bentuk seragam dan ukuran butiran (*grain*) pada permukaan lapisan sebesar 5  $\mu\text{m}$  dan penampang lintang sebesar 11  $\mu\text{m}$  untuk sampel masif. Sedangkan untuk sampel lapisan tipis, ukuran butiran sebesar 5  $\mu\text{m}$  dengan penampang lintang sebesar 10  $\mu\text{m}$ .

## **B. Saran**

Perlu ketelitian yang lebih tinggi pada saat preparasi bahan untuk meminimalisir kemungkinan munculnya unsur lain pada saat karakterisasi. Kapsul sampel harus dipastikan dalam keadaan benar-benar terbebas dari cacat fisik selama proses preparasi dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2016). *Spesifikasi SEM EDAX*. Diakses dari [www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-6510series](http://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-6510series) pada tanggal 10 Januari 2017
- Arifianto, Andy Sigit. (2009). *Pertumbuhan Lapisan Tipis PbTe Dengan Metode Close Spaced Vapour Transport Menggunakan Substrat InP*. Bandung: Central Library Institute Technology Bandung.
- Ariswan, (2005). *Modul Kuliah Semikonduktor*. Handout Kuliah, Tidak diterbitkan, Yogyakarta: FMIPA UNY
- Ariswan, (2009). *Teknik Karakterisasi Semikonduktor*. Handout Kuliah, Tidak diterbitkan, Yogyakarta: FMIPA UNY
- Ariswan, (2008). *Kristalografi*. Handout Kuliah, Tidak diterbitkan, Yogyakarta: FMIPA UNY
- Beiser, Arthur. (1987). *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga
- Istiyono, Edi. (2000). *Fisika Zat Padat 1*. Diktat Kuliah, Yogyakarta. FMIPA UNY
- Ohring, Milton. (2001). *Material Science on Thin Deposition and Structure*. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: academia press
- Prafit Wiyantoko. (2009). *Studi Tentang Perubahan Struktur Kristal Bahan Semikonduktor Sel Surya Cadmium Sulfida (CdS) dengan Melakukan Variasi Kenaikan Suhu Bahan Pada Metode Bridgman*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Rio, Reka & Lida, M. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Smallman, R.E and Bishop, R.J. (1999). *Metalurgi Fisik Material & Rekayasa Material, Terjemahan Sriati Djaprie*. Erlangga: Jakarta
- Sudjatmoko. (2003). *Aplikasi Teknologi Sputtering Untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*. Yogyakarta: P3TM BATAN Yogyakarta
- Suhartanto. (2009). *Peningkatan Kualitas Kristalinitas Bahan Semikonduktor CdSe Dengan Variasi Suhu Furnace Menggunakan Teknik Bridgman*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta

(<http://muchlas.ee.uad.ac.id>). 13 Februari 2017

([www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)-Sel Surya). 14 Februari 2017

([www.unej.ac.id](http://www.unej.ac.id)-semikonduktor bab IV/pdf). 20 Februari 2017

# ***LAMPIRAN***

## A. Lampiran 1. Metode Analitik

Tabel perbandingan antara data XRD penelitian sampel masif Sn( $\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5}$ ) dengan data JCPDS bahan SnSe (JCPDS NO. 81-0013)

Peak	Sn( $\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5}$ ) masif		JCPDS Sn(Se,Te)		
	2 $\theta$ (derajat)	I <sub>relatif</sub>	2 $\theta$ (derajat)	I <sub>relatif</sub>	hkl
1	29,84	63	29,91	49	020
2	30,636	72	30,80	50	021
3	37,16	14	37,25	14	023
4	40,67	12	-	-	-
5	42,69	13	42,59	25	115
6	48,98	14	49,48	10	116
7	51,18	16	50,85	3	312
8	63,82	11	-	-	-

Perhitungan parameter kisi untuk sampel masif Sn( $\text{Se}_{0,5}\text{Te}_{0,5}$ ) dipilih sudut 29,84<sup>0</sup> (020); 30,64<sup>0</sup> (021); 30,16<sup>0</sup> (200).

a. Untuk sudut 2 $\theta$  = 29,84<sup>0</sup> (020)

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

$$\sin^2\left(\frac{29,84}{2}\right) = (Ax0^2) + (Bx2^2) + (Cx0^2)$$

$$0,066291 = 4B$$

$$B = 0,016573 \text{ \AA}$$

$$b = \sqrt{\frac{(1,54060)^2}{4B}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,3733348}{0,066291}}$$

$$b = 5,983481 \text{ \AA}$$

b. Untuk sudut  $2\theta = 30,64^{\circ}$  (021)

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

$$\sin^2\left(\frac{30,64}{2}\right) = (Ax0^2) + (0,016573x2^2) + (Cx1^2)$$

$$0,069807 = 0,066291 + C$$

$$C = 0,003516 \text{ \AA}$$

$$c = \sqrt{\frac{(1,54060)^2}{4C}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,3733348}{0,014064}}$$

$$c = \mathbf{12,990652 \text{ \AA}}$$

c. Untuk sudut  $2\theta = 30,16^{\circ}$  (200)

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

$$\sin^2\left(\frac{30,16}{2}\right) = (Ax2^2) + (0,016573x0^2) + (0,003516x0^2)$$

$$0,067687 = 4A$$

$$A = 0,016922 \text{ \AA}$$

$$a = \sqrt{\frac{(1,54060)^2}{4A}}$$

$$a = \mathbf{5,921445 \text{ \AA}}$$

Tabel perbandingan antara data XRD penelitian sampel lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) dengan data JCPDS bahan SnSe (JCPDS NO. 81-0013).

Peak	Sn(Se <sub>0,5</sub> Te <sub>0,5</sub> ) lapisan tipis		JCPDS Sn(Se,Te)		
	2θ(derajat)	I <sub>relatif</sub>	2θ(derajat)	I <sub>relatif</sub>	hkl
1	28,94	38	29,06	38	004
2	29,52	38	30,13	49	200
3	47,54	9	47,92	12	025

Perhitungan parameter kisi untuk sampel lapisan tipis Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) dipilih sudut 29,84<sup>0</sup> (020); 30,64<sup>0</sup> (021); 30,16<sup>0</sup> (200).

a. Untuk sudut 2θ = 28,94<sup>0</sup> (004)

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

$$\sin^2\left(\frac{28,94}{2}\right) = (Ax0^2) + (Bx0^2) + (Cx4^2)$$

$$0,0624436 = 16C$$

$$C = 0,003902 \text{ \AA}$$

$$c = \sqrt{\frac{(1,54060)^2}{4 \times 0,003902}}$$

$$c = \mathbf{12,331061 \text{ \AA}}$$

b. Untuk sudut 2θ = 29,52<sup>0</sup> (200)

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

$$\sin^2\left(\frac{29,52}{2}\right) = (Ax2^2) + (Bx0^2) + (C6x0^2)$$

$$0,064908 = 4A$$

$$A = 0,016227 \text{ \AA}$$

$$a = \sqrt{\frac{(1,54060)^2}{4A}}$$

$$a = 6,047005 \text{ \AA}$$

c. Untuk sudut  $2\theta = 47,54^\circ$  (025)

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

$$\sin^2\left(\frac{47,54}{2}\right) = (Ax0^2) + (Bx2^2) + (0,003902x5^2)$$

$$0,067687 = 4B + 0,097557$$

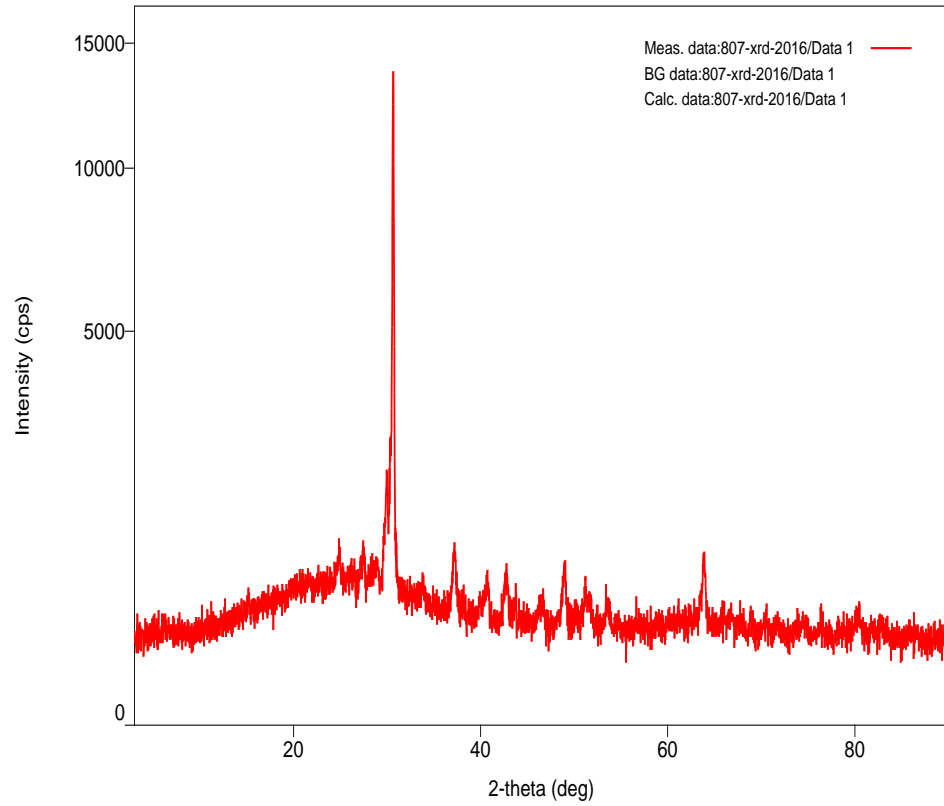
$$B = 0,016226 \text{ \AA}$$

$$a = \sqrt{\frac{(1,54060)^2}{4B}}$$

$$a = 6,047139 \text{ \AA}$$

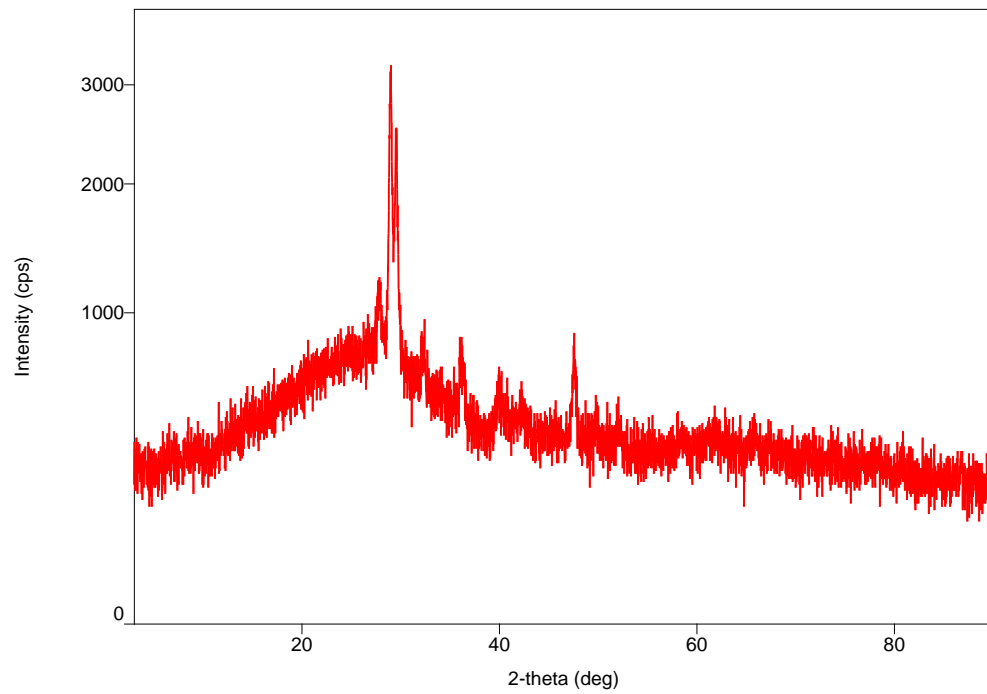
**B. Lampiran 2. Hasil karakterisasi semikonduktor Sn(Se<sub>0,5</sub>Te<sub>0,5</sub>) dengan XRD**

**1. Sampel Masif**



No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	29.84(3)	2.992(3)	582(70)	0.75(12)	529(63)	0.9(2)	0.20(6)
2	30.636(6)	2.9158(5)	10426(295)	0.140(6)	1968(72)	0.189(12)	0.91(16)
3	37.16(4)	2.418(2)	365(55)	0.42(3)	165(14)	0.45(11)	1.0(3)
4	40.67(4)	2.217(2)	197(41)	0.31(5)	96(12)	0.49(16)	0.9(3)
5	42.69(7)	2.116(3)	224(43)	0.44(6)	123(13)	0.55(16)	1.0(7)
6	48.98(6)	1.858(2)	305(50)	0.40(4)	134(14)	0.44(12)	2.3(16)
7	51.18(10)	1.783(3)	158(36)	0.68(8)	129(16)	0.8(3)	0.5(3)
8	63.82(2)	1.4574(5)	430(60)	0.29(4)	195(11)	0.45(9)	0.9(3)

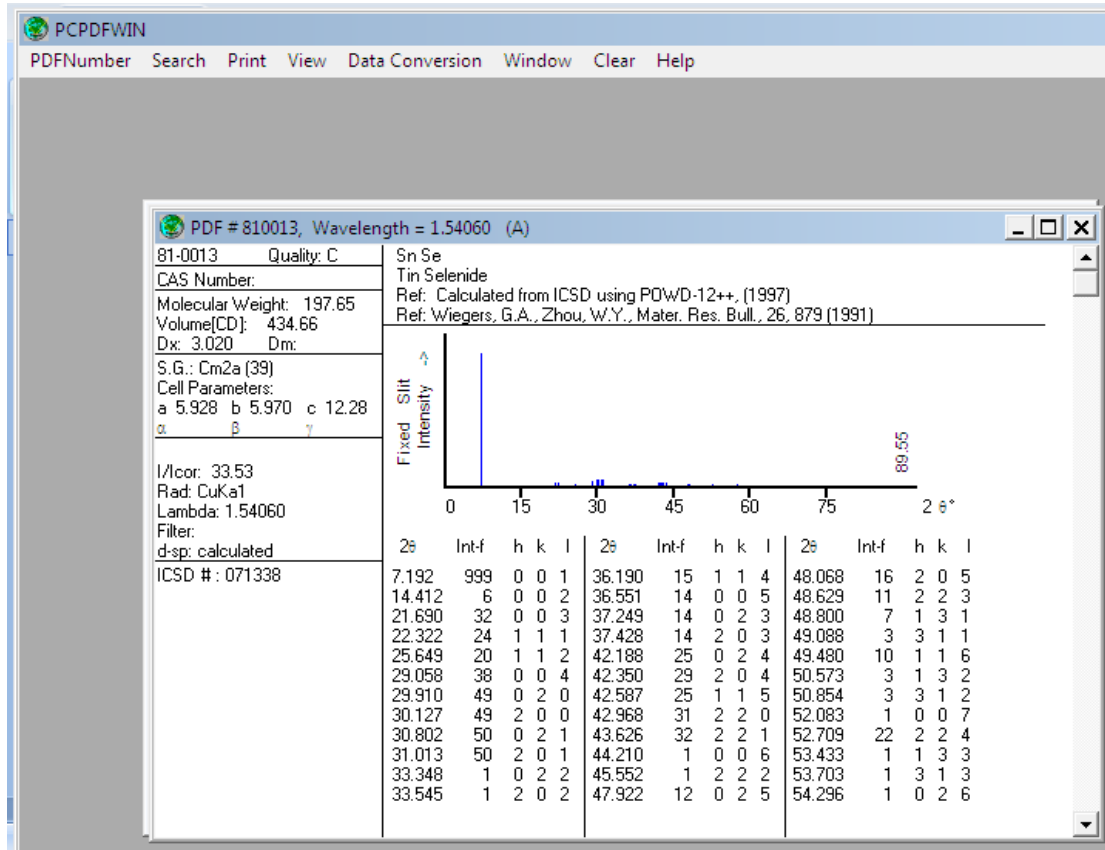
## 2. Sampel Lapisan Tipis



### Peak list

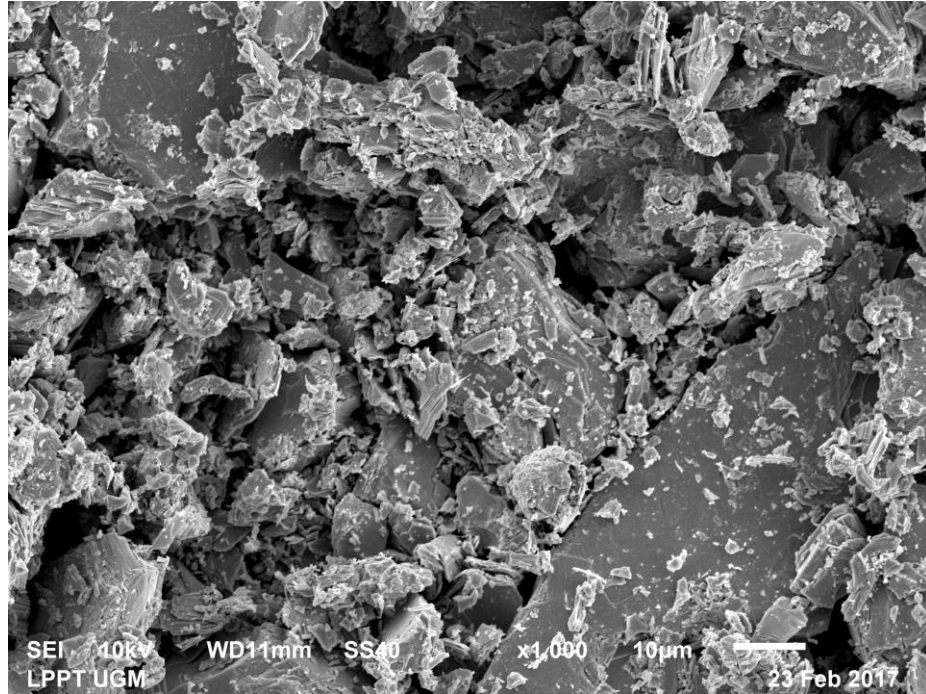
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.94(2)	3.083(2)	1574(115)	0.30(2)	614(38)	0.39(5)	0.9(3)
2	29.52(3)	3.024(3)	1091(95)	0.36(3)	524(38)	0.48(8)	1.1(4)
3	47.54(2)	1.9109(8)	269(47)	0.43(3)	129(9)	0.48(12)	1.3(3)

### C. Lampiran 3. JCPDS SnSe (NO.81-0013)



## D. Hasil karakterisasi SEM-EDAX

### 1. Hasil karakterisasi SEM untuk sampel masif



### 2. Hasil SEM sampel lapisan tipis

