

**PREPARASI DAN KARAKTERISASI PADUAN SEMIKONDUKTOR
Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) DENGAN METODE BRIDGMAN MELALUI VARIASI
LAMA WAKTU PEMANASAN**

SKRIPSI

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



Disusun Oleh :

IIN ASTARINUGRAHINI

13306141014

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

2017

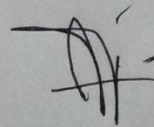
PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Preparasi dan Karakterisasi Paduan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan Metode Bridgman Melalui Variasi Lama Waktu Pemanasan” yang disusun oleh lin Astarinugrahini, NIM. 13306141014 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 18 Mei 2017

Dosen Pembimbing,



Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Preparasi dan Karakterisasi Paduan Semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) Dengan Metode Bridgman Melalui Variasi Waktu Pemanasan” yang disusun oleh Iin Astarinugrahini, NIM. 13306141014 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 09 Juni 2017 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

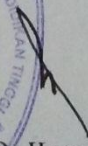
No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1	<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 19509141988031003	Ketua Penguji		15-7-2017
2	<u>Rita Prasetyowati, M.Si</u> NIP. 198007282006042001	Sekretaris Penguji		14-07-2017
3	<u>Agus Purwanto, M.Sc</u> NIP. 196508131995121001	Penguji Utama		14-7-2017

Yogyakarta, 17 Juli 2017

Fakultas MIPA

Dekan,




Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

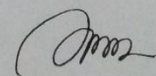
SURAT PERNYATAAN

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

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

Yogyakarta, 18 Mei 2017

Yang menyatakan,



Lin Astarinugrahini

NIM. 13306141014

MOTTO HIDUP

“Everyone is a genius. But if you judge a fish on its ability to climb a tree, it will live its whole life believing that’s it is stupid”

-Albert Einstein-

“Percaya pada diri sendiri bahwa kita pasti bisa dan mampu meraih mimpi dan cita-cita yang pernah kau katakan kepada orang tua, guru, dan sahabatmu, karena seorang pemimpi tidak akan putus asa dengan satu kegagalan saja”

-Iin Astarinugrahini-

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah berkali-kali ucapan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kenikmatan yang tiada bisa dihitung sehingga saya mampu untuk menyelesaikan satu langkah menuju cita-cita saya. Dan tidak lupa karya ini kupersembahkan kepada orang-orang yang sekiranya sebagai ucapan terima kasih dan cinta kepada:

Kedua orang tuaku tercinta, Ayah, Ibu, beserta adik-adikku tercinta. Keluarga besar Ayah dan keluarga besar Ibu yang setiap kali membuat saya terus untuk semangat mengerjakan karya ini demi kehidupan saya yang lebih baik, menimba ilmu di kota perantauan tanpa patah semangat, dan selalu menyalurkan energi positif terhadap saya.

Dosen Pembimbing, Bapak Ariswan yang sudah berkenan untuk menjadikan saya sebagai salah satu mahasiswa didikan beliau. Banyak sekali kalimat yang tidak bisa saya ucapkan untuk mewakili rasa terima kasih kepada beliau yang sudah meluangkan banyak waktu untuk bimbingan skripsi kepada saya sampai selesai dan kebaikan-kebaikan beliau yang secara langsung maupun tidak langsung saya terima.

Teman-teman kelompok masif yang selalu aku rindukan, Lala, Eci, dan Aulia.

Kita yang dipertemukan dalam satu tim penelitian.

Dan keluarga di kota ke-dua ku, Fisika B 2013. Bersama-sama untuk menggapai semua impian-impian kita.

PREPARASI DAN KARAKTERISASI PADUAN SEMIKONDUKTOR Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) DENGAN TEKNIK BRIDGMAN MELALUI VARIASI WAKTU PEMANASAN

Oleh

Iin Astarinugrahini
NIM. 13306141014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pemanasan terhadap struktur kristal, morfologi permukaan dan komposisi kimia bahan semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang terbentuk.

Teknik yang digunakan dalam proses penumbuhan kristal pada penelitian ini adalah teknik Bridgman. Adapun dalam penumbuhan kristal digunakan bahan Sn, Se, dan Te dengan perbandingan molaritasnya 1 : 0,6 : 0,4. Penumbuhan kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dilakukan dengan variasi waktu pemanasan. Untuk sampel I, pada temperatur 350⁰C adalah 480 menit (8 jam) dan pada temperatur 600⁰C adalah 360 menit (6 jam). Pada sampel II, pada temperatur 350⁰C adalah 1380 menit (23 jam) dan pada temperatur 600⁰C adalah 360 menit (6 jam), sedangkan pada sampel III, pada temperatur 350⁰C adalah 1500 menit (25 jam) dan pada temperatur 600⁰C adalah 720 menit (12 jam). Kristal yang terbentuk kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD untuk menentukan struktur kristal dan parameter kisi, SEM untuk mengetahui morfologi permukaan kristal, dan EDS untuk mengetahui komposisi kimia pada kristal.

Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram menunjukkan bahwa bahan Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang terbentuk merupakan polikristal dengan stuktur *orthorombic*, dengan parameter kisi untuk waktu pemanasan pada sampel I adalah $a = 11,17 \text{ \AA}$, $b = 4,306 \text{ \AA}$, dan $c = 4,444 \text{ \AA}$, pada sampel II adalah $a = 11,648 \text{ \AA}$, $b = 4,285 \text{ \AA}$, dan $c = 4,423 \text{ \AA}$, dan pada sampel III adalah $a = 11,49 \text{ \AA}$, $b = 4,010 \text{ \AA}$, dan $c = 4,50 \text{ \AA}$. Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa kristal pada bahan Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang terbentuk memiliki keseragaman bentuk serta sudah terbentuk *grain* dan hasil EDS pada sampel I diperoleh perbandingan unsur Sn: Se: Te yaitu 1: 0,82: 0,17, sedangkan pada sampel III diperoleh perbandingan unsur Sn: Se: Te yaitu 1: 0,14: 0,6.

Kata kunci: stuktur kristal, Semikonduktor, teknik Bridgman, waktu pemanasan.

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SEMICONDUCTOR ALLOYS Sn (Se_{0.6}Te_{0.4}) USING BRIDGMAN TECHNIQUE THROUGH VARIATION OF HEATING TIME

By

Iin Astarinugrahini
NIM. 13306141014

ABSTRACT

This study aimed to determine the effect of heating time variation on crystal structure, surface morphology and chemical composition of Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) formed.

The technique used in the crystal growing process in this study was the Bridgman technique. As for crystal growth, Sn, Se, and Te are used with molarity ratio of 1: 0.6: 0.4. The growth of crystalline Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) was done by varying the heating time. For sample I, at a temperature of 350°C was 480 minutes (8 hours) minutes and at a temperature of 600°C was 360 minutes (6 hours). In sample II, at temperature 350°C was 1380 minutes (23 hours) and at temperature 600°C was 360 minutes (6 hours), while in sample III, at temperature 350°C was 1500 minutes (25 hours) and at temperature 600°C was 720 minutes (12 hours). The crystals formed were then characterised using XRD to determine the crystal structure and lattice parameters, SEM to determine the morphology of the crystal surface, and EDS to determine the chemical composition of the crystals.

The result of XRD characterization in the form of a diffractogram showed that the Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) material formed was a polycrystalline with orthorombic structure, with lattice parameters for heating time in sample I were $a = 11.17 \text{ \AA}$, $b = 4.306 \text{ \AA}$, and $c = 4.444 \text{ \AA}$. In sample II were $a = 11.648 \text{ \AA}$, $b = 4.285 \text{ \AA}$, and $c = 4.423 \text{ \AA}$, and in sample III were $a = 11.49 \text{ \AA}$, $b = 4.010 \text{ \AA}$, and $c = 4.50 \text{ \AA}$. The SEM characterization result showed that crystal in Sn material that formed had uniformity of shape as well as grain. The result of EDS in the first sample showed that the element comparison of Sn: Se: Te was 1: 0.82: 0.17. Meanwhile, in the third sample the element comparison of Sn: Se:Te was 1: 0.14: 0.6.

Keywords: crystal structure, Semiconductor, Bridgman technique, heating time.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Preparasi dan Karakterisasi Paduan Semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan Teknik Bridgman melalui Variasi Waktu Pemanasan”**.

Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-I) pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Berhasilnya usaha penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas terselesaikannya penulisan skripsi ini kepada :

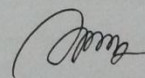
1. Bapak Dr. Hartono, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta beserta staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
4. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, solusi, dan kesabarannya dari awal sampai akhir tugas akhir skripsi ini.

5. Bapak Hartono, yang telah banyak membantu dalam pengambilan data di laboratorium material Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
6. Seluruh dosen Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
7. Teman-Teman Fisika B 2013, yang selalu memberikan motivasi dan dukungan.

Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, 18 Mei 2017

Penulis



Lin Astarinugrahini

NIM. 13306141014

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN	iError! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	iv
MOTTO HIDUP	vi
PERSEMBAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN TEORI	9
A. Kristal	9
1. Struktur Kristal	10
2. Indeks Miller	14
B. Semikonduktor	23
1. Semikonduktor Intrinsik	27
2. Semikonduktor Ekstrinsik	28
3. Tipe Arus Pada Semikonduktor	32
4. Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	35
5. Penumbuhan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan Metode Bridgman	37
C. Metode Bridgman	39

D. Sel Surya	41
E. Karakterisasi Kristal Hasil Preparasi.....	43
1. <i>Analysis X-Ray Diffraction (XRD)</i>	44
2. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	51
3. <i>Energy Dispersive Spectrometry (EDS)</i>	52
I. Kerangka Berfikir	54
BAB III METODE PENELITIAN	56
A. Waktu dan Tempat Penelitian	56
1. Waktu Penelitian.....	56
2. Tempat Penelitian	56
B. Variabel Penelitian.....	57
1. Variabel Bebas	57
2. Variabel Terikat	57
3. Variabel Terkontrol.....	57
C. Alat dan Bahan Penelitian.....	57
1. Bahan-bahan yang Digunakan dalam Penelitian.....	57
2. Peralatan Penelitian.....	59
D. Langkah Penelitian.....	61
1. Tahap Preparasi Penumbuhan Kristal	61
2. Tahap Karakterisasi Bahan Semikonduktor Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$)	68
E. Metode Analisis Data.....	69
F. Diagram Alir Tahap Penelitian	70
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	71
A. Hasil Penelitian	71
1. Karakterisasi Struktur Kristal Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dengan XRD	71
2. Karakterisasi Morfologi Permukaan Masif Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) Hasil SEM.....	75
3. Analisis Komposisi Kimia Masif Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) Hasil Analisis EDS (<i>Energy Dispersive Spectrometry</i>).....	77
B. Pembahasan.....	79
1. Proses Penumbuhan Kristal Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dengan Metode Bridgman	79
2. Pengaruh Variasi Waktu Pemanasan Terhadap Kualitas Kristal Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) Dilihat dari Intensitasnya.	81

3. Pengaruh Variasi Waktu Pemanasan terhadap Struktur dan Parameter Kisi Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	83
4. Morfologi Permukaan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan SEM	85
5. Komposisi Kimia Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	88
A. Kesimpulan	88
B. Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN.....	93
A. Hasil Karakterisasi dan Perhitungan	93
1. Lampiran I. Hasil XRD.....	93
2. Lampiran 2. Tabel JCPDS untuk SnSe	96
3. Lampiran 3. Perhitungan parameter kisi dengan metode analitik.....	97
4. Lampiran 4. Hasil Karakterisasi SEM dan EDS	107
B. Dokumentasi Penelitian	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a) Monokristal (b) Polikristal (c) Amorf.	10
Gambar 2. Empat Belas Kisi Bravais. (Cullity, 1956: 32)	13
Gambar 3. Perpotongan bidang dan sumbu. (Suwitra, 1989: 48)	14
Gambar 4. Gambaran dari kekosongan (vacancy) dan penyisipan. (Iqmal Tahir: 2013).....	22
Gambar 5. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator. (Ariswan, 2014: 16).....	24
Gambar 6. (a) Keadaan pita energi bahan Semikonduktor pada suhu 0 K dan (b) pada suhu diatas 0 K. (Thomas Sri Widodo, 2002: 45)	27
Gambar 7. Ikatan kovalen pada semikonduktor ekstrinsik tipe-n. (Reka Rio, 1982: 12).....	30
Gambar 8. Tingkat energi semikonduktor tipe-n (Ariswan, 2014: 8).	30
Gambar 9. Hole ditimbulkan dalam orbit dari ketidakmurnian valensi tiga. (Reka Rio, 1982: 13).....	31
Gambar 10. Tingkat energi semikonduktor tipe-p. (Ariswan, 2014: 9).	32
Gambar 11. Diagram Fasa.	40
Gambar 12. Bentuk sel surya konvensional. (http://www.solarproductsstore.com)	41
Gambar 13. Karakteristik suatu sel surya dan dioda (Sigalinnging, 1999: 10).....	43
Gambar 14. Diagram Sinar-X (Cullity, 1956: 5).....	45
Gambar 15. Sinar-X <i>bremsstrahlung</i>	46
Gambar 16. Spektrum sinar-X <i>bremsstrahlung</i> . (Cullity, 1956: 5)	47
Gambar 17. Spektrum sinar-X karakteristik . (Cullity, 1956: 8).....	47

Gambar 18. Berkas sinar-X pada kristal. (Ariswan, 2012)	49
Gambar 19. Spektrometer sinar-X. (Beisser, 1992: 66).	50
Gambar 20. Prinsip dasar SEM . (Smallman, 1999 : 157)	52
Gambar 21. Hamburan dari elektron yang jatuh pada lembaran tipis . (Smallman, 2000: 155).....	53
Gambar 22. Gambar alur pemanasan I $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	65
Gambar 23. Gambar alur pemanasan II $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	66
Gambar 24. Gambar alur pemanasan III $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	67
Gambar 25. Tahapan penelitian.....	70
Gambar 26. Difraktogram XRD (a) sampel 1, (b) sampel 2, dan (c) sampel 3.....	73
Gambar 27. Foto morfologi permukaan sampel I bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil SEM dengan (a) perbesaran 100x, (b) perbesaran 500x, (c) perbesaran 5000x, (d) perbesaran 10.000x.....	76
Gambar 28. Foto morfologi permukaan sampel III bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil SEM dengan (a) perbesaran 1000x, (b) perbesaran 3000x, (c) perbesaran 5000x, (d) perbesaran 10.000x.....	77
Gambar 29. Hasil karakterisasi EDS sampel I $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	78
Gambar 30. Hasil karakterisasi EDAX sampel III $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	79
Gambar 31. Grafik perbandingan difraktogram hasil XRD untuk sampel I, sampel II, dan sampel III masif bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	81

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais . (Charles Kittel, 2005 : 9).	12
Tabel 2. Perbandingan JCPDS dengan data penelitian sampel 1 hasil karakterisasi XRD.	74
Tabel 3. Perbandingan JCPDS dengan data penelitian sampel 2 hasil karakterisasi XRD.	74
Tabel 4. Perbandingan JCPDS dengan data penelitian sampel 3 hasil karakterisasi XRD	75
Tabel 5. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ pada sampel I hasil preparasi melalui variasi waktu pemanasan.....	84
Tabel 6. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ pada sampel II hasil preparasi melalui variasi waktu pemanasan.....	84
Tabel 7. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ pada sampel III hasil preparasi melalui variasi waktu pemanasan.....	85

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi adalah salah satu kebutuhan yang sangat berperan bagi kehidupan manusia. Semakin meningkatnya kebutuhan energi pada era kehidupan manusia, maka semakin diperlukan variasi dari sumber-sumber energi, misalnya minyak bumi yang lebih banyak dibutuhkan.

Sumber energi tanpa disadari akan semakin menipis karena setiap kegiatan manusia tidak bisa terlepas dari energi. Karena sumber energi semakin menipis dan kebutuhan energi semakin meningkat, maka diperlukan solusi sebagai upaya untuk menghasilkan energi alternatif, diantaranya energi terbarukan. Potensi energi terbarukan antara lain: biomassa, panas bumi, energi surya, dan energi air. Banyak peneliti sudah melakukan penelitian yang berkaitan dengan energi alternatif sebagai cadangan energi, salah satunya adalah sel surya. Sel surya merupakan sebuah divais semikonduktor yang mampu mengubah energi cahaya matahari langsung menjadi energi listrik atau sering disebut *photovoltaic cell*. Prinsip kerja dari sel surya adalah dengan memanfaatkan prinsip sambungan *p-n* atau *p-n junction*.

Efek fotovoltaiik ini pertama kali ditemukan oleh Edmon Becquerel (1839) (Aryuanto Soetedjo dkk,2014), kemudian tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori tentang mekanisme fenomena tersebut namun masih sebatas eksperimen di laboratorium (Ariswan, 2013). Pada tahun 1950 sel

surya ini direalisasikan untuk yang pertama kalinya dengan menggunakan bahan kristal silikon yang memiliki efisiensi konversi 4%. Pada tahun 1970 penelitian sel surya dilakukan secara intensif ketika terjadi krisis energi (Ariswan, 2013).

Seperti telah disebutkan di atas, teknologi fotovoltaik yang mengkonversi energi matahari langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor disebut dengan sel surya. Pada dasarnya sel surya merupakan persambungan antara semikonduktor tipe-*p* dan semikonduktor tipe-*n*. Sel surya yang saat ini sedang dikembangkan adalah sel surya lapisan tipis yang menggunakan berbagai bahan semikonduktor dan paduannya. Sel surya jenis lapisan tipis (*thin film*) bertujuan untuk mengurangi biaya pembuatan sel surya. Keunggulan lain sel surya jenis lapisan tipis adalah semikonduktor sebagai lapisan sel surya bisa dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan piranti sel surya yang fleksibel (Dwi, 2013: 2).

Konversi energi surya menjadi energi lain dibedakan menjadi tiga proses, yakni proses *heliocemical*, *heliothermal*, *helioelectrical*. Proses *heliocemical* terjadi pada proses fotosintesis. Proses ini merupakan sumber dari semua bahan fosil. Proses *heliothermal* adalah penyerapan (absorpsi) radiasi matahari dan secara langsung dikonversi menjadi energi termal. Sedangkan proses *helioelectrical* yang utama adalah produksi listrik oleh sel-sel surya dan disebut efek fotovoltaik (Ariswan, 2010: 3).

Bahan semikonduktor yang sangat menarik untuk diteliti adalah SnSe (*Stannum Selenium*) dan SnTe (*Stannum Telluride*). Ketiganya merupakan bahan semikonduktor tipe-*p* yang dibuat dari perpaduan antara golongan IVA(Sn) dan golongan VIA(Se,Te). Bahan paduan semikonduktor SnSeTe merupakan paduan dari SnSe dan SnTe. Paduan SnSe banyak digunakan misalnya untuk pembuatan sel surya. Menurut Sheng Liu (2011), paduan semikonduktor SnSe memiliki *band gap* tidak langsung 0,9 eV dan *band gap* langsung 1,3 eV. Sedangkan menurut O.E Ogah, *energy gap* untuk SnTe adalah 0,18 eV (2008 dalam Ariswan, 2013: 10).

Jenis bahan-bahan semikonduktor dari paduan golongan IV-VI sangat berguna dalam mengembangkan teknologi optoelektronika. Bahan semikonduktor golongan IVA yang ideal sebagai bahan dasar sel surya adalah *silicon* (Si) karena memiliki *energy gap* 1,1 eV sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap spektrum matahari lebih banyak. Komponen semikonduktor (zat padat) memberikan banyak sifat-sifat listrik yang unik, yang hampir dapat memecahkan semua persoalan elektronika sehingga dikembangkan piranti elektronika yang dibuat dari bahan semikonduktor yang memiliki efisiensi tinggi (Reka Rio, 1982: 51).

Pada penelitian ini akan ditumbuhkan kristal dari bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang merupakan gabungan dari SnSe dan SnTe. $\text{Sn}(\text{SeTe})$ merupakan perpaduan tiga unsur yaitu *stannum*(Sn) yang merupakan golongan IVA sedangkan *selenium*(Se), dan *tellurium*(Te) merupakan

golongan VIA. Dalam pembuatan bahan semikonduktor Sn(SeTe) harus memperhatikan perbandingan molaritas dari masing-masing bahan. Pada penelitian ini perbandingan molaritas bahan Sn : Se : Te yang digunakan adalah 1 : 0,6 : 0,4. Molaritas bahan ini sangat berpengaruh pada massa masing-masing bahan yang akan digunakan dalam penumbuhan kristal semikonduktor. Telah diketahui SnSe memiliki *band gap* tidak langsung 0,9 eV dan *band gap* langsung 1,3 eV maka dilakukan *doping*, dengan bahan SnTe, sehingga diharapkan *energy gap* dari SnSe turun mendekati 1,1 eV yang kemudian dapat diaplikasikan sebagai bahan dasar sel surya yang lebih efisien. Sedangkan menurut O.E Ogah, *energy gap* untuk SnTe adalah 0,18 eV. Karakterisasi bahan diarahkan untuk mengetahui pengaruh *doping* Te (*Telluride*) pada semikonduktor SnSe (*Tin Selenium*). Pengaruh tersebut yang akan berdampak pada parameter penting yang akan dihasilkan, adapun parameter tersebut adalah struktur kristal.

Penelitian ini menggunakan metode Bridgman dengan variasi lama waktu pemanasan. Metode Bridgman sering digunakan di laboratorium untuk penumbuhan kristal, karena prosesnya yang sederhana dan biayanya relatif murah. Penggunaan metode ini dipilih karena metode Bridgman memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan metode lainnya yaitu: (a) temperatur dapat dikontrol secara teliti, (b) kecepatan pembekuan bahan dapat diatur, (c) kecepatan penurunan temperatur pada saat berubah dari keadaan cair dapat dikontrol secara teliti, (d) tekanan mekanis di dalam bahan juga dapat dikurangi untuk menghindari terjadinya keretakan, dan (e)

kenaikan temperatur juga dapat diatur sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi timbulnya bahaya ledakan yang diakibatkan oleh unsur tertentu pada temperatur kritisnya (Dwi, 2013: 3).

Metode Bridgman dilakukan dengan memanaskan bahan dasar, sehingga bahan-bahan tersebut melebur dan mengalami kristalisasi pada saat proses pendinginan. Sebelum dipanaskan, bahan dasar tersebut harus divakumkan terlebih dahulu agar didalam tabung tersebut tidak terdapat gas-gas seperti: Nitrogen, Oksigen, dan Karbondioksida. Hal tersebut dimaksudkan agar pada saat proses penumbuhan kristal, gas-gas tersebut tidak ikut bereaksi, sehingga tidak menimbulkan pengotoran.

Pengaturan temperatur pemanasan pada metode Bridgman harus diperhatikan dan sesuai prosedur, karena proses tersebut akan mempengaruhi kualitas kristal yang terbentuk. Selain itu, temperatur juga berpengaruh terhadap struktur kristal yang terbentuk.

Untuk mengetahui kualitas kristal hasil preparasi yang terbentuk, maka dilakukan beberapa karakterisasi seperti *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)* atau EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*). Dari hasil *X-Ray Diffraction (XRD)* diperoleh informasi tentang struktur kristal, *Scanning Electron Microscopy (SEM)* untuk mengetahui struktur morfologi permukaan yaitu butiran kristalnya, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)* untuk

memperoleh informasi tentang komposisi kimia secara kuantitatif dengan memanfaatkan interaksi tumbukan elektron material.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang masalah, dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Belum diketahuinya pengaruh variasi lama waktu pemanasan pada penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan metode Bridgman terhadap kualitas kristal yang terbentuk.
2. Belum diketahuinya pengaruh tekanan pada penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan variasi lama waktu pemanasan terhadap kualitas kristal yang terbentuk.
3. Belum diketahuinya struktur kristal, parameter kisi, komposisi kimia dan morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil penumbuhan dengan metode Bridgman dengan variasi lama waktu pemanasan.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah dibatasi pada penumbuhan kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ menggunakan metode Bridgman, dengan melakukan variasi lama waktu pemanasan pada temperatur minimal 350°C dan temperatur maksimal 600°C pada tekanan 5×10^{-5} mbar. Karakterisasi bahan untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan, dan komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan menggunakan XRD (*X-Ray*

Diffraction), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*)

D. Rumusan Masalah

Seperti yang ditulis pada uraian latar belakang dan batasan masalah, pada penelitian ini akan dilakukan penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

Berdasarkan hal tersebut dapat dirumuskan permasalahan:

1. Bagaimana pengaruh variasi lama waktu pemanasan terhadap struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil penumbuhan dengan metode Bridgman?
2. Bagaimana morfologi permukaan dan komposisi bahan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil penumbuhan dengan metode Bridgman?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi lama waktu pemanasan terhadap parameter kisi bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil penumbuhan dengan metode Bridgman.
2. Mengetahui morfologi permukaan kristal dan komposisi bahan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil penumbuhan dengan metode Bridgman.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang berkualitas baik dengan metode Bridgman.
2. Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang diperoleh dapat dijadikan sebagai bahan dasar sel surya.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber informasi dan referensi untuk penelitian berikutnya.

BAB II

KAJIAN TEORI

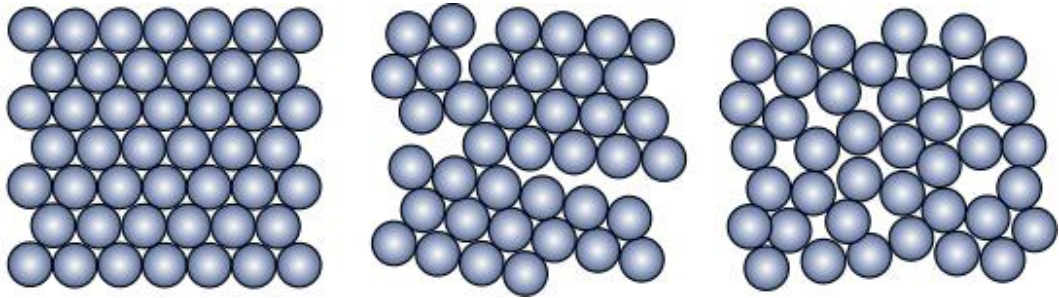
A. Kristal

Bahan padat dapat diklasifikasikan berdasarkan keteraturan susunan atom-atom, ion-ion atau molekul penyusunnya. Bahan yang tersusun oleh deretan atom-atom yang letaknya teratur dalam tiga dimensi dan berulang (periodik) disebut bahan kristal yang mempunyai keteraturan atom berjangkauan panjang dalam pola tiga dimensi sehingga menghasilkan rentang yang panjang sebagai karakteristik dan bentuk kristal tersebut. Sebaliknya, zat padat yang tidak memiliki keteraturan demikian disebut bahan *amorf* atau bukan kristal (Ariswan, 2015: 1).

Ditinjau dari struktur atom penyusunnya, bahan padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan *amorf*. Pada kristal tunggal (*monocrystal*), atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak terhingga. Polikristal (*polycrystal*) dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat.

Amorf merupakan suatu padatan yang memiliki pola struktur atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak mempunyai keteraturan dalam

jangka pendek. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat, sehingga atom-atomnya tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya.



(a) (b) (c)

Gambar 1. (a) Monokristal (b) Polikristal (c) Amorf.
(Smallman dan Bishop, 1999: 13)

1. Struktur Kristal

Sebuah kristal ideal disusun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan satuan-satuan struktur identik secara berulang-ulang yang tidak terhingga di dalam ruang. Semua struktur kristal dapat digambarkan atau dijelaskan dalam istilah *lattice* (kisi) yaitu sebuah susunan titik yang teratur dan periodik di dalam ruang dan sebuah basis atau sekumpulan atom-atom yang ditempelkan pada setiap titik *lattice* (kisi). Pada dasarnya struktur kristal disusun oleh kisi dan basis.

Pada suatu sel satuan, tiga buah sumbu merupakan sumbu kristal teratur yang berhubungan dengan atom atau ion yang sama. Dimensi suatu sel satuan ditentukan oleh perpotongan konstanta sumbu a , b , dan c yang disebut potongan karakteristik pada sumbu. Perpotongan karakteristik dan

sudut sumbu suatu kristal dinamakan konstanta geometri (Nyoman S,1989 : 13).

Periodisitas tiga dimensi, yang merupakan karakteristik kristal, dapat dipahami dengan menggunakan geometri (Vlack, 2004: 61). Struktur kristal dinyatakan dalam sumbu-sumbu kristal a , b , dan c yang dikaitkan dengan parameter kisi dan sudut-sudut aksial alpha (α), beta (β), dan gamma (γ) .

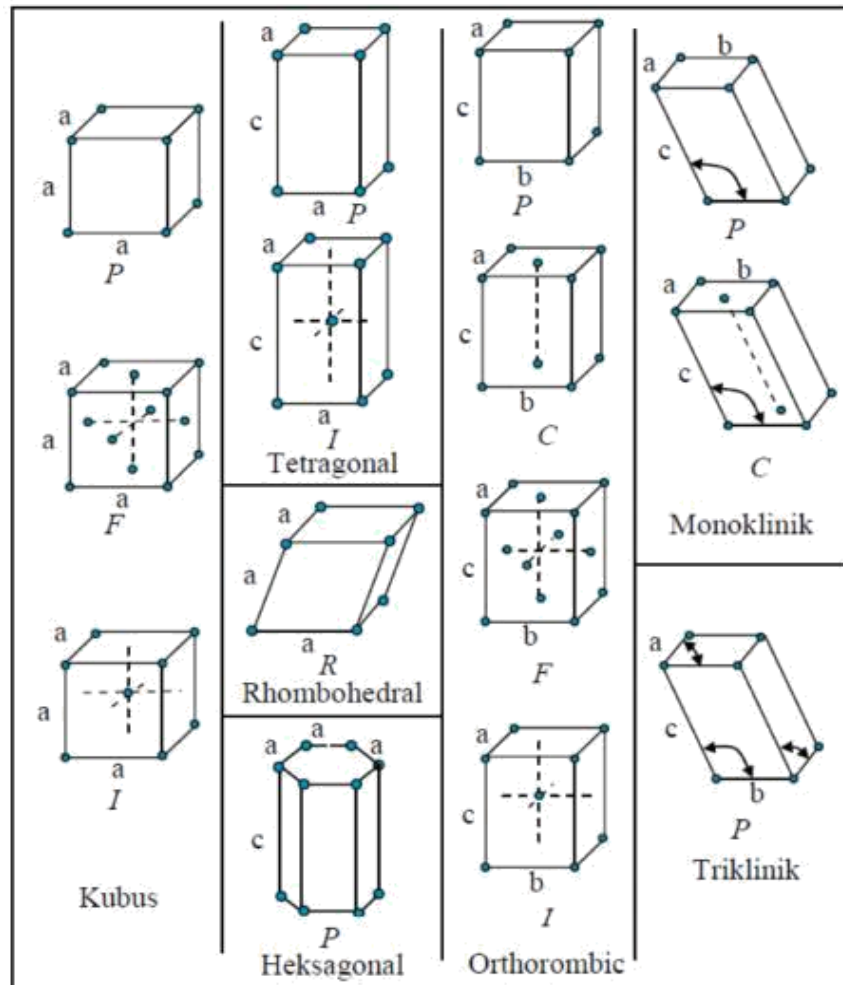
Sumbu-sumbu a , b , dan c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal. Berdasarkan sumbu-sumbu a , b , dan c (kisi bidang) dan sudut α , β , dan γ (kisi ruang), kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal (hubungan sudut satu dengan sudut yang lain) dengan 14 kisi Bravais (perbandingan antara sumbu-sumbu kristal). Adapun 7 sistem kristal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais (Charles Kittel, 2005 : 9).

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
Kubik	$a=b=c$	Simpel	P
		Pusat badan	I
Monoklinik	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Pusat muka	F
	$a \neq b \neq c$	Simpel	P
	$\alpha = \beta = 90 \neq \gamma$	Pusat dasar	C
Triklinik	$a \neq b \neq c$	Simpel	P
	$\alpha = \beta = 90 \neq \gamma$		
Tetragonal	$a = b \neq c$	Simpel	P
	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Pusat badan	I
Orthorombik	$a \neq b \neq c$	Simpel	P
		Pusat dasar	C
	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Pusat badan	I
		Pusat muka	F
Trigonal/Rombohedral	$a = b = c$	Simpel	P
	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ < 120^\circ$		
Hexagonal/Rombus	$a = b \neq c$	Simpel	P
	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$		

Kisi ruang (*space lattice*) adalah susunan titik-titik dalam ruang tiga dimensi dimana setiap titik memiliki lingkungan yang serupa. Setiap kisi bisa ditempati oleh lebih dari satu atom. Kisi dapat disusun dalam 14 susunan yang berbeda yang disebut dengan kisi-kisi Bravais (Wahyu :

2016). Kisi-kisi Bravais sendiri dikemukakan oleh ahli kristalografi asal Perancis yaitu Augusto Bravais (1811-1863), dan menemukan 14 kisi Bravais

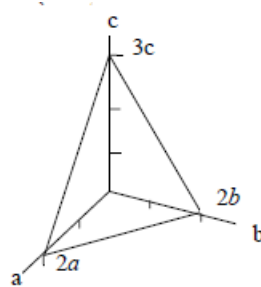


Gambar 2. Empat Belas Kisi Bravais.
(Cullity, 1956: 32)

2. Indeks Miller

Dalam sistem tiga dimensi, kristal akan membentuk pasangan bidang-bidang sejajar dan berjarak sama yang disebut bidang-bidang kisi. Bidang-bidang kisi inilah yang akan menentukan arah permukaan dari suatu kristal. Indeks Miller merupakan harga kebalikan dari parameter numerik yang dinyatakan dengan simbol (hkl) . Indeks Miller (hkl) dapat digunakan untuk menggambarkan semua bidang dalam kristal. Berikut langkah-langkah menentukan indeks Miller (Wahyu, 2016):

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



Gambar 3. Perpotongan bidang dan sumbu.
(Suwitra, 1989: 48)

Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 3; perpotongan bidang dengan sumbu dinyatakan dengan $2a$, $2b$, dan $3c$ sehingga parameter numeriknya adalah 2,2,3 dan indeks Miller dari bidang diperoleh hasil :

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

3. Jarak Antar Bidang Kristal (hkl)

Jarak antar bidang dalam himpunan (hkl) pada 7 sistem kristal adalah sebagai berikut:

a. Kubik : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2}$

b. Rombohedral : $\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2+k^2+l^2)\sin^2\alpha+2(hk+kl+hl)\cos^2\alpha}{a^2(1-3\cos^2\alpha+2\cos^3\alpha)}$

c. Tetragonal : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$

d. Orthorombik : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$

e. Monoklinik : $\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2\beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2\beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos\beta}{ac} \right)$

f. Heksagonal : $\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2+hk+k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$

g. Triklinik :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{V^2}(S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk^2 + 2S_{23}kl^2 + 2S_{13}hl^2)$$

dengan V = volume satuan sel

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

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

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

4. Parameter Kisi Kubik

Arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang tergantung pada orientasi dan jarak

bidang kristal (Wahyu, 2016). Suatu kristal yang memiliki simetri kubik ($a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) memiliki konstanta kisi a , b , dan c . Sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan persamaan jarak antar bidang sebagai berikut:

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

dan persamaan Hukum *Bragg*

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

Persamaan (2) dikenal sebagai Hukum *Bragg*, dengan n adalah orde difraksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, . . .). Karena pengamatan dilakukan hanya untuk orde 1 maka nilai n .

Dengan mensubstitusikan persamaan *Bragg*, maka diperoleh persamaan:

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

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

Maka didapatkan persamaan,

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

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

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (7)$$

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

5. Parameter Kisi *Orthorhombik*

Arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang tergantung pada orientasi dan jarak bidang kristal. Suatu kristal yang memiliki simetri orthorhombik ($a \neq b \neq c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) memiliki konstanta kisi a , b dan c . Sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan persamaan jarak antar bidang sebagai berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (9)$$

Persamaan hukum *Bragg*:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (10)$$

Persamaan (10) dikenal sebagai Hukum *Bragg*, dengan n adalah orde difraksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, . . .). Karena pengamatan dilakukan hanya untuk orde 1 maka nilai n adalah 1.

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4d^2} \quad (11)$$

Mensubstitusikan persamaan (9) ke persamaan (11) menghasilkan:

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad (12)$$

$$\text{Jika dimisalkan : } A = \frac{\lambda^2}{4a^2}; B = \frac{\lambda^2}{4b^2}; C = \frac{\lambda^2}{4c^2} \quad (13)$$

Maka persamaan (12) dapat ditulis:

$$\sin^2 \theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2 \quad (14)$$

Maka parameter kisi a , b , dan c dapat ditulis :

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}}; b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}; c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} \quad (15)$$

6. Faktor Struktur Kristal Orthorombik

Faktor struktur (F) mempengaruhi struktur kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan (faktor hamburan sel satuan). Faktor hamburan tergantung pada θ dan panjang gelombang sinar-x yang digunakan, karena perbedaan jarak tempuh bagi setiap gelombang individu yang dihamburkan oleh berbagai elektron dalam atom sama dengan nol apabila $\theta = 0$ dan meningkat dengan bertambah besarnya θ .

Jadi untuk menghitung intensitas hamburan struktur tertentu, gelombang yang berasal dari semua atom dalam sel satuan struktur tersebut perlu dijumlahkan, karena setiap gelombang mempunyai amplitudo dan sudut fase berbeda karena berasal dari bagian struktur yang berbeda pula. Kuadrat amplitudo resultan gelombang (F) menghasilkan intensitas dan dapat dihitung dengan nilai f dan koordinat atomik setiap atom dalam sel satuan. Rumus umum untuk intensitas yang nilainya setara dengan faktor struktur (F) kuadrat adalah:

$$I \propto |F_{hkl}|^2 = \left| \sum_n f_n e^{2\pi i(hx_n + ky_n + lz_n)} \right|^2 \quad (16)$$

Dengan f_n adalah faktor hamburan atom, (x_n, y_n, z_n) adalah koordinat suatu atom, dan (h,k,l) adalah nilai indeks Miller. Faktor struktur tergantung pada bentuk dan ukuran dari sel satuan ($F \rightarrow F^{hkl}$).

- a. Dari Persamaan (1), diperoleh kasus sederhana bahwa sel satuan hanya berisi satu atom saja dan mempunyai fraksi koordinat 0 0 0, karena letak atom berada di sudut-sudut atom dan berlaku untuk semua struktur atom, sehingga faktor struktur diperoleh:

$$F = f e^{2\pi i(0)} = f \quad (17)$$

Sehingga dari persamaan (2) dapat ditulis dengan persamaan :

$$F^2 = f^2 \quad (18)$$

dengan catatan bahwa: $e^{n\pi i} = -1^n$.

dari persamaan (3) diperoleh faktor struktur pada kristal orthorombik sederhana.

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f_j \exp 2\pi i (hx_j + ky_j + lz_j)$$

Intensitas selalu muncul pada sembarang nilai hkl .

- b. Faktor struktur pada pusat badan yang mempunyai dua atom yang berjenis sama, berlokasi pada 0 0 0 dan $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$.

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{l}{2})} \quad (19)$$

$$= f [1 + e^{\pi i(h+k+l)}] \quad (20)$$

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

dengan catatan bahwa: $e^{n\pi i} = -1^n$.

Dari persamaan (20) diperoleh faktor struktur kristal orthorombik pusat badan yang kemudian dapat ditulis persamaan:

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f_j (\exp(-\pi i (hx_j + ky_j + lz_j)) + 1)$$

Intensitas muncul jika nilai $h+k+l$ bilangan genap, dan intensitas tidak muncul ketika nilai $h+k+l$ bilangan ganjil.

- c. Permukaan struktur kristal pada pusat muka orthorombik yang di asumsikan untuk mengisi 4 atom pada lokasi $0\ 0\ 0$, $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$, $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$, dan $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$.

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

(8)

$$F = f [1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}] \quad (21)$$

$$F = \begin{cases} 4f ; & h, k, l \text{ tidak tercampur (genap semua atau ganjil semua)} \\ & F^2 = 16f^2 \\ 0 ; & h, k, l \text{ tercampur (genap dan ganjil tercampur)} \\ & F^2 = 0 \end{cases}$$

dengan catatan bahwa: $e^{n\pi i} = -1^n$.

Dari persamaan (21) untuk struktur kristal orthorombik pusat muka.

$$F = \sum_{j=1}^N f_j (1 + \exp(-\pi i (h + k)) + \exp(-\pi i (h + l)) + \exp(-\pi i (k + l)))$$

Intensitas muncul jika $h+k+l$ semua ganjil atau semua genap, dan intensitas tidak muncul ketika $h+k+l$ campuran antara ganjil dan genap.

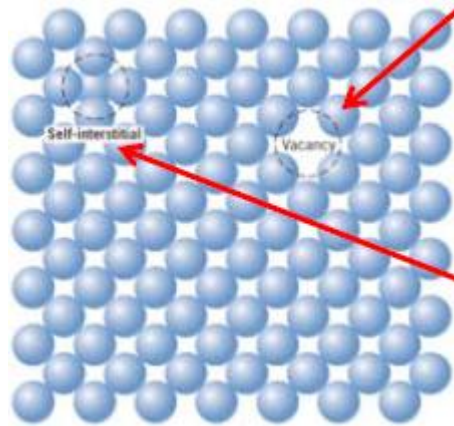
7. Cacat Kristal

Kristal ideal ialah kristal yang setiap atomnya memiliki tempat kesetimbangan tertentu pada kisi yang teratur (Beiser, 1992: 357). Dalam kenyataannya tidak ada kristal yang tidak cacat atau sempurna. Berdasarkan struktur kristal, atom dalam setiap material tersusun secara teratur, tetapi pada kenyataannya dalam kristal terdapat atom yang terletak tidak pada tempatnya, karena hilang atau disisipi oleh atom lain, peristiwa ini dinamakan ketidaksempurnaan kristal. Cacat kristal ini besar kemungkinannya terjadi selama proses penumbuhan kristal, proses pemurnian atau proses laku (*treatment*), dan tidak jarang juga cacat kristal memang dimunculkan untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu. Cacat yang terdapat pada kristal memiliki macam-macam bentuk di antaranya:

a. Cacat Titik

Cacat titik merupakan ketidaksempurnaan suatu kristal yang berupa kekosongan (*vacancy*), penyisipan (*self-interstitial*), dan ketidakmurnian (*impurity*). Kekosongan terjadi jika suatu atom berpindah dari lokasi kisinya ke lokasi atomik terdekat yang dapat

menampungnya, sehingga atom seakan-akan hilang. Sisipan adalah sebuah atom yang menempati bukan titik sisi atau terjadinya salah posisi. Sedangkan ketidakmurnian adalah hadirnya atom asing (atom yang berbeda dari atom mayoritas) yang menempati suatu titik kisi.



Gambar 4. Gambaran dari kekosongan (vacancy) dan penyisipan.
(Iqmal Tahir: 2013)

b. Cacat Garis

Cacat garis muncul karena adanya diskontinuitas struktural sepanjang lintasan kristal (*dislokasi*), atau cacat akibat salah susun struktur kristal. Terdapat dua bentuk dasar *dislokasi* yaitu: *dislokasi* tepi dan *dislokasi* sekrup.

c. Cacat Volume

Cacat volume dapat terjadi akibat pemanasan, *irradiasi*, deformasi sehingga terbentuk void, gelembung gas dan rongga kristal dimana sebagian berasal dari energi permukaan ($1-3 \text{ J/m}^3$) (Beiser, 1999: 361).

Iradiasi menghasilkan intersisi dan kekosongan melebihi konsentrasi kesetimbangan. Kedua cacat tersebut kemudian bergabung membentuk loop dislokasi, tetapi pada akhirnya loop intersisi membentuk struktur dislokasi.

Loop intersisi merupakan cacat intrinsik stabil, sedangkan loop kekosongan merupakan cacat tidak stabil. Loop yang terbentuk dengan penggabungan kekosongan dan intersisi, akan menimbulkan penyusutan ketika intersisi menghilang. Peningkatan temperatur iradiasi akan menghasilkan agregasi kekosongan dan terbentuk void (Ali Mukti, 2004: 14).

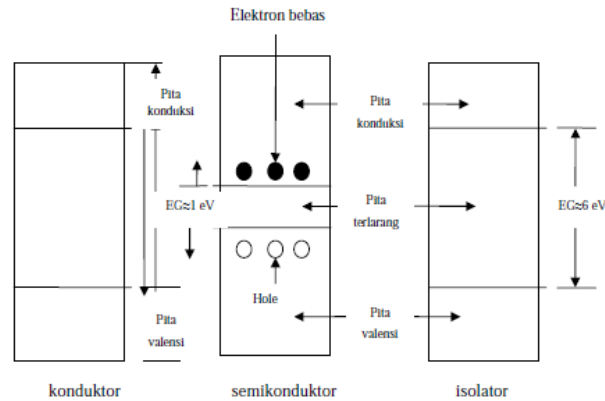
d. Cacat Bidang

Dalam cacat bidang terdapat batas butir, yaitu batas sudut kecil secara memadai dapat digunakan sebagai dinding vertikal terdiri dari *dislokasi*. Rotasi suatu kristal relatif terhadap kristal lainnya seperti batas puntir, dihasilkan oleh jaringan silang yang terdiri dari dua sel *dislokasi* ulir. Batas puntir ini adalah batas sederhana yang memisahkan dua kristal yang memiliki perbedaan orientasi kecil, sedangkan batas butir memisahkan kristal yang mempunyai perbedaan sudut orientasi besar (Ferry, 2015: 13).

B. Semikonduktor

Berdasarkan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik, bahan dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu konduktor, isolator, dan

semikonduktor. Perbedaan ketiga bahan tersebut data dilihat dari struktur pita energinya yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 5. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator.

(Ariswan, 2014: 16)

Konduktor merupakan bahan logam yang mudah menghantarkan arus listrik dan memiliki resistansi listrik yang sangat kecil yaitu $10^{-5} \Omega\text{m}$, hal ini disebabkan karena konduktor mempunyai *energy gap* yang sangat kecil. Konduktor memiliki pita valensi dan pita konduksi yang saling tumpang tindih (*overlap*), dimana pita energinya (pita konduksi) hanya terisi sebagian oleh elektron, sedangkan pada semikonduktor dan isolator, pita konduksi dan pita valensi tidak bertumpang, dan celah diantaranya menyatakan energi yang tidak boleh dimiliki elektron. Celah tersebut disebut pita terlarang (*banned gap*) (Wahyu, 2016: 18).

Sedikit saja medan listrik eksternal dikenakan pada bahan, akan menyebabkan elektron memperoleh tambahan energi sehingga elektron dapat berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi meskipun pada pita energi yang

sama sehingga dihasilkan arus listrik. Pita energi yang terisi sebagian tersebut disebut pita konduksi. Jika suhunya diperbesar hambatan listriknya bertambah. Hal ini disebabkan karena elektron-elektron yang bebas mendapatkan energi termal sehingga tidak lagi mudah untuk digerakkan (Ariswan, 2014: 5).

Sedangkan bahan yang mempunyai kemampuan menghantarkan listrik yang buruk disebut sebagai isolator. Pada isolator, pita valensi terisi penuh dengan elektron sedangkan pita konduksi kosong terhadap elektron, sehingga mengakibatkan terhambatnya serapan energi bagi elektron. Antara pita valensi dan pita konduksi dipisahkan oleh celah energi terlarang yang disebut *energy gap* yang mempunyai jarak sangat besar sekitar 6 eV. Hal ini menyebabkan energi dari medan listrik eksternal tidak mampu memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Karena tidak ada elektron yang berada di pita konduksi, maka aliran arus listrik tidak terjadi. Umumnya isolator memiliki dua sifat, yaitu (Nyoman Suwitra, 1989: 186):

- a) Mempunyai celah energi yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi,
- b) Tingkat energi Fermi terletak pada celah energinya.

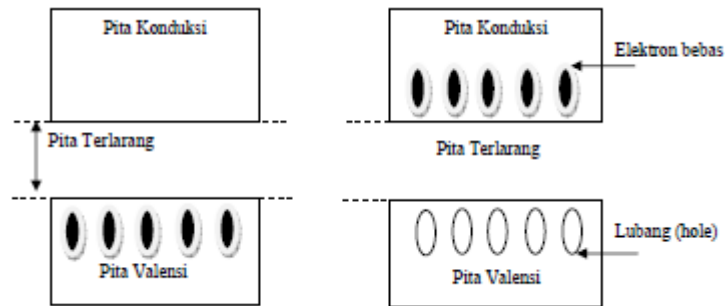
Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Semikonduktor umumnya diklasifikasikan berdasarkan harga resistivitas listriknya pada suhu kamar, yaitu dalam rentang 10^{-2} - 10^{-9} Ωcm , dan celah energinya lebih kecil dari 6 eV.

Sebuah semikonduktor akan bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruang akan bersifat sebagai konduktor (Suwitra,1989:187).

Struktur pita semikonduktor hampir sama dengan struktur pita isolator. Perbedaannya adalah *energy gap* pada semikonduktor lebih kecil dibandingkan dengan *energy gap* pada isolator yaitu hanya 1 Ev. Karena *energy gap* yang terlalu kecil, maka menyebabkan perilaku semikonduktor berbeda dari isolator.

Pada temperatur yang sangat rendah (0 K) elektron terikat kuat dengan ikatan kovalen dan tidak ada elektron yang bebas bergerak, sehingga keadaan pada pita valensi terisi penuh dan pita konduksi kosong sama sekali, bahan bersifat isolator. Jika suhu kristal dinaikkan maka kemungkinan terjadi eksitasi thermal sangat besar karena celah energi relatif kecil, sehingga memudahkan elektron-elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi melewati daerah terlarang (Ariswan, 2014: 14).

Elektron-elektron tersebut meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut dengan lubang atau *hole*. *Hole* pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi itulah yang berperan sebagai penghantar arus semikonduktor, dimana elektron merupakan pembawa muatan negatif dan *hole* merupakan pembawa muatan positif (Ali Mukti, 2009: 16).



Gambar 6. (a) Keadaan pita energi bahan Semikonduktor pada suhu 0 K dan (b) pada suhu diatas 0 K. (Thomas Sri Widodo, 2002: 45)

Berdasarkan sifat kelistrikannya, ada dua jenis bahan semikonduktor, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut :

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dengan sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri (Nyoman Suwitra, 1989: 222).

Pada semikonduktor intrinsik, jika terjadi kekosongan yang disebabkan karena ikatan kovalen terputus maka menyebabkan kelebihan muatan positif, dan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Sehingga banyaknya *hole* pada pita valensi sama dengan banyaknya elektron pada pita konduksi. Gerakan termal terus menerus menghasilkan pasangan elektron-*hole* yang lain menghilang sebagai akibat proses rekombinasi. Konsentrasi (rapat) *hole-p* harus sama dengan konsentrasi (rapat) elektron *n*, sehingga:

$$n = p = n_i \quad (22)$$

dengan n_i disebut konsentrasi atau rapat intrinsik.

Energi Fermi (E_f) pada semikonduktor intrinsik terletak antara pita konduksi dan pita valensi yang besarnya adalah:

$$E_f = \frac{E_c + E_v}{2} \quad (23)$$

dengan E_c adalah energi pada pita konduksi, dan E_v adalah energi pada pita valensi.

Semikonduktor intrinsik mempunyai beberapa ciri sebagai berikut (Suwitra, 1989: 222-227).

- 1) Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
- 2) Energi Fermi terletak di tengah-tengah *energy gap*.
- 3) Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, tetapi *hole* juga berperan penting.
- 4) Ada 1 atom diantara 10^9 atom yang memberikan sumbangan terhadap arus listrik.

2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor tidak murni, karena pada semikonduktor ekstrinsik telah diberi ketidakmurnian (pengotor). Proses pemberian atom pengotor tersebut dinamakan *doping*, yaitu dengan memasukkan atom bervalensi 5 atau 3 pada bahan

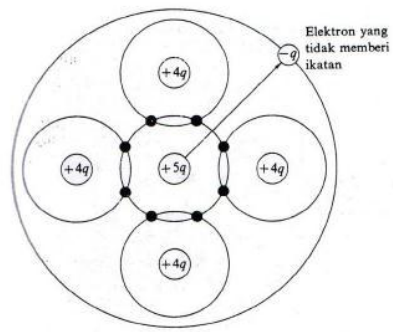
semikonduktor murni dengan tujuan untuk menambah jumlah elektron bebas maupun lubang (*hole*). Semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu tipe-*n* dan tipe-*p*.

a. Semikonduktor tipe-*n*

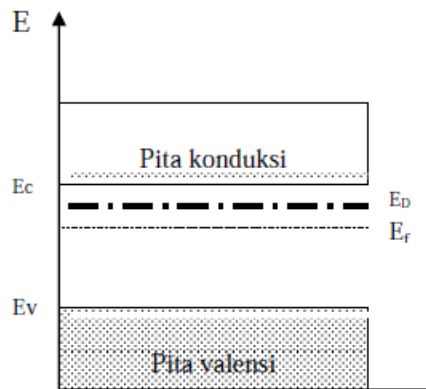
Pada semikonduktor tipe ini, bahwa intrinsik seperti silikon memerlukan ketidakmurnian atom yang mempunyai elektron valensi lebih dari empat. Ini dimaksudkan ada elektron sisa dalam membentuk ikatan dan dengan demikian elektron tersebut dapat berkonduksi (menjadi elektron bebas). Atom-atom pengotor dalam hal ini sering dipakai fosfor (P) atau arsen (Ar) yang bervalensi lima dalam konsentrasi berorde ppm (*part per million*).

Pada diagram tingkat energi semikonduktor tipe-*n*, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam *energy gap* tepat di bawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan elektron ini untuk bergerak menuju pita konduksi menjadi sangat kecil.

Dengan demikian, akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi elektron ini dinamakan aras donor dan elektron pengotor disebut donor karena elektron dengan mudah diberikan ke pita konduksi. Suatu semikonduktor yang telah di *doping* dengan pengotor donor dinamakan semikonduktor tipe-*n* atau negatif (Wahyu, 2016: 24).



Gambar 7. Ikatan kovalen pada semikonduktor ekstrinsik tipe-n.
(Reka Rio, 1982: 12)



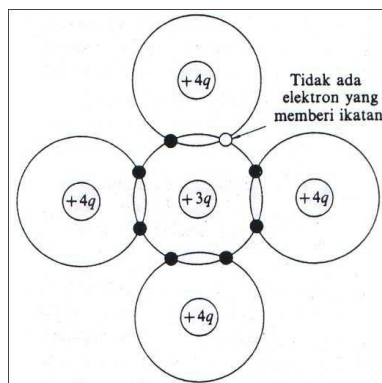
Gambar 8. Tingkat energi semikonduktor tipe-n
(Ariswan, 2014: 8).

b. Semikonduktor Tipe-p

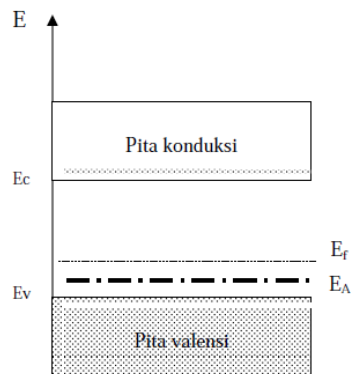
Kebalikan dari semikonduktor tipe-n, pada semikonduktor tipe-p atom-atom yang ditambahkan sebagai ketidakmurnian adalah atom dengan valensi yang lebih kecil dari empat. Apabila bahan semikonduktor murni (intrinsik) di-doping dengan bahan impuritas (ketidakmurnian) bervalensi tiga, maka akan diperoleh semikonduktor tipe-p. Bahan doping yang bervalensi tiga tersebut misalnya boron,

galium, dan *indium*. Saat sebuah atom *trivalen* menempati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan yang disebut lubang (*hole*). Bahan yang dihasilkan dari proses pengotoran ini menghasilkan pembawa muatan negatif pada kristal yang netral. Karena atom pengotor menerima elektron dari pita valensi, maka atom pengotor disebut sebagai atom akseptor (*acceptor*) (Wahyu, 2016: 22).

Semikonduktor yang di-*doping* dengan atom-atom *acceptor* dinamakan semikonduktor tipe-*p* dimana “*p*” adalah kependekan dari “positif” karena muatan positif jauh melebihi pembawa muatan negatif.



Gambar 9. Hole ditimbulkan dalam orbit dari ketidakmurnian valensi tiga. (Reka Rio, 1982: 13).



Gambar 10. Tingkat energi semikonduktor tipe-p.
(Ariswan, 2014: 9).

Di dalam semikonduktor tipe-*p* akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan yang letaknya sedikit di atas pita valensi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 10. Karena energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali, maka *hole-hole* yang dibentuk oleh elektron-elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron pembawa minoritas di dalam pita valensi. Penumbuhan unsur-unsur dan golongan III (B, Al, Ga, dan In) pada unsur-unsur golongan IV menghasilkan semikonduktor tipe-*p*.

3. Tipe Arus Pada Semikonduktor

Keberadaan elektron dan *hole* pada semikonduktor akan mempengaruhi karakteristik listrik pada bahan tersebut. Ada dua jenis arus listrik yang terjadi pada semikonduktor yaitu arus hanyut (*drift*) dan arus difusi (Reka Rio, 1982: 38-41).

a. Arus Hanyut (*drift*)

Ketika semikonduktor diberi medan listrik \vec{E} , maka partikel-partikel bermuatan dalam semikonduktor akan bergerak (hanyut) dengan laju yang berbanding lurus dengan medan listriknya.

$$v_n = -\mu_n \vec{E} \quad (24)$$

$$v_p = +\mu_p \vec{E} \quad (25)$$

dengan v_n , v_p adalah laju hanyut elektron dan *hole* (cm/s), μ_n dan μ_p adalah mobilitas dari elektron dan *hole* (cm²/V.m). Tanda negatif pada persamaan (24) merupakan kecepatan *drift* elektron berlawanan arah dengan medan listrik \vec{E} yang diberikan. Kecepatan *drift* ini akan menghasilkan kerapatan arus *drift* untuk elektron dan *hole* yang besarnya adalah:

$$J_n = (-q)nv = q_n \mu_n \vec{E} \quad (26)$$

$$J_p = (+q)nv = q_p \mu_p \vec{E} \quad (27)$$

dengan n adalah konsentrasi elektron, p adalah konsentrasi *hole*, dan J adalah rapat arus (A/m²).

b. Arus Difusi

Arus difusi adalah arus yang disebabkan adanya perbedaan konsentrasi pembawa muatan dari satu titik ke titik lainnya. Arus akan mengalir

tanpa adanya medan listrik internal dan gerakannya akan berhenti ketika konsentrasi partikel merata. Pada keadaan ini berlaku hukum difusi sebagai berikut:

$$J_p = -D \frac{d_p}{d_x} \quad (28)$$

Arus difusi yang dihasilkan akan sebanding dengan gradien konsentrasi pembawa muatan, sehingga persamaan difusi untuk elektron dan *hole* adalah sebagai berikut:

$$J_p = -qD_p \frac{d_p}{d_x} \quad (29)$$

$$J_n = -qD_n \frac{d_n}{d_x} \quad (30)$$

dengan J_p dan J_n adalah rapat arus (A/m^2), d_n dan d_p adalah konsentrasi pembawa muatan ($m^2/volts.s$), D_n dan D_p adalah koefisien difusi, x adalah posisi (m). Dengan demikian rapat arus total pada semikonduktor merupakan hasil penjumlahan dari arus hanyut dan arus difusi.

$$J_p = q_p \mu_p \vec{E} - qD_p \frac{d_p}{d_x} \quad (31)$$

$$J_n = q_n \mu_n \vec{E} - qD_n \frac{d_n}{d_x} \quad (32)$$

4. Bahan Semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})

a. SnSe (*Stannum Selenium*)

Stannum Selenium (SnSe) merupakan senyawa kimia yang berupa padatan kristal berwarna abu-abu yang mempunyai massa molar 197,67 g/mol, massa jenis 6,179 g/cm³, titik lebur 861 °C. SnSe merupakan semikonduktor tipe-*p* yang berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaik dan *memori-switching*. SnSe mempunyai stuktur kristal *orthorombic* dengan lebar pita terlarang (*E_g, band gap*) secara tidak langsung (*indirect*) sekitar 0,9 eV dan secara langsung (*direct*) sekitar 1,30 eV (ENUE Barrios-Salgado dkk, 2014).

b. SnTe (*Stannum Tellerium*)

SnTe (*Stannum Tellerium*) merupakan kristal berwarna abu-abu yang memiliki titik lebur 790 °C dan kerapatan 6500 kg m⁻³. SnTe memiliki parameter kisi $a = 6,3268\text{\AA}$ pada 300 K (www.webelements.com).

SnTe merupakan material termoelektrik yang memiliki *energy gap* sekitar 0,18 eV (Askerov, 1994). Bahan ini memiliki sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan untuk detektor inframerah. Aplikasi SnTe ditemukan dalam deteksi inframerah tengah (3-14) μm, photodetektor, laser inframerah, mikroelektrik dan perangkat termoelektrik.

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

Bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ merupakan material hasil perpaduan dari tiga unsur yaitu Sn (*Stannum/Tin*), Se (*Selenium*), Te(*Tellerium*). Sn merupakan logam putih keperakan, logam yang mudah ditempa dan bersifat fleksibel. *Stannum* termasuk logam golongan IV. *Stannum* tidak mudah dioksidasi dan tahan korosi disebabkan terbentuknya lapisan oksida Sn yang menghambat proses oksidasi lebih jauh. Timah memiliki nomer atom 50 dan massa atom relatif yaitu 118,7 gram/mol. Timah berbentuk padatan pada suhu kamar 298 K, serta memiliki titik lebur $231,93^{\circ}\text{C}$.

Selenium merupakan unsur kimia non logam dan merupakan golongan VI pada tabel periodik. Unsur ini terdapat dalam sejumlah bentuk alotropik seperti bubuk merah amorf, bentuk kristal amorf, dan bentuk kristal abu-abu metalik. Bentuk terakhir ini menghantarkan listrik lebih baik dalam cahaya daripada dalam gelap dan digunakan dalam *photocells*, serta memiliki titik lebur 217°C dan nomor atom 34.

Tellerium merupakan unsur semilogam putih keperakan yang memiliki nomer atom 52, dan termasuk golongan VI. Bahan ini akan meleleh pada suhu 450°C . Dalam industri, *tellerium* digunakan untuk meningkatkan kualitas logam agar dapat dikerjakan dengan

mesin, *tellurium* juga dimanfaatkan dalam pembuatan piranti termolistrik semikonduktor.

Terdapat senyawa perpaduan antara Sn dengan Se yang disimbolkan dengan SnSe (*Stannum Selenium*) dan Sn dengan Te yang disimbolkan dengan SnTe (*Stannum Tellenide*).

5. Penumbuhan Kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan Metode Bridgman

Kemurnian dan kesempurnaan merupakan syarat utama untuk memperoleh komponen semikonduktor yang berkualitas tinggi. Untuk mendapatkan kemurnian dan kesempurnaan kristal, peneliti harus menggunakan metode yang benar dalam proses penumbuhan kristal. Kemurnian dan kesempurnaan kristal akan sangat mempengaruhi karakteristik yang dihasilkan.

Metode yang sering digunakan dalam penumbuhan kristal semikonduktor adalah metode penarikan kristal atau Czochralski dan teknik Bridgman. Penumbuhan kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dilakukan dengan teknik Bridgman. Ada beberapa kelebihan teknik Bridgman, antara lain (E. Wahjuniati, 2002: 1-2):

- a. Temperatur dapat dikontrol secara teliti.
- b. Kecepatan pembekuan bahan dapat diatur.
- c. Kecepatan penurunan temperatur pada saat bahan berubah wujud dari cair ke padat dapat dikontrol secara teliti.

- d. Tekanan di dalam bahan juga dapat dikurangi untuk menghindari terjadinya keretakan pada polikristal atau pada ampul.
- e. Kenaikan suhu dapat diatur sedemikian rupa sehingga mengurangi timbulnya bahaya ledakan yang ditimbulkan unsur tertentu pada temperatur kritisnya.

Penumbuhan kristal dengan metode Bridgman dilakukan dengan cara melelehkan bahan-bahan di atas titik leburnya, kemudian didinginkan hingga mengeras membentuk kristal.

Ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pemanasan bahan, yaitu: penimbangan, pemvakuman, dan pengelasan. Bahan-bahan yang akan dipergunakan sebagai bahan dasar kristal, ditimbang dengan perbandingan tertentu kemudian dimasukkan ke dalam tabung *pyrex* yang telah berisi bahan kemudian divakumkan hingga mencapai tekanan 5×10^{-5} mbar dengan menggunakan pompa rotasi dan pompa difusi. Pemvakuman tersebut dilakukan agar kristal yang terbentuk tidak terdapat unsur lain yang tidak diharapkan.

Tabung yang berisi bahan yang telah divakumkan, kemudian dilas, dan selanjutnya dipanaskan di dalam *furnace* yang diset pada temperatur tertentu ditahan dalam waktu tertentu pula mengikutialur pemanasan didasarkan pada diagram *fasa* dan titik leleh bahan dasarnya. Dalam proses ini temperatur pemanasan sangat diperlukan, karena akan mempengaruhi kualitas kristal yang terbentuk. Pada temperatur yang

sangat tinggi, kristal dapat tumbuh dengan cepat, namun cacat kristal yang terbentuk juga akan lebih banyak. Akan tetapi jika temperaturnya sangat rendah, maka proses penumbuhan akan terjadi sangat lambat.

Bahan yang telah dipanaskan kemudian didinginkan secara perlahan agar atom-atom dalam bahan tersebut dapat tersusun secara teratur menempati kisi-kisinya membentuk suatu kristal. Kristal yang terbentuk dari hasil penumbuhan disebut ingot atau *masif*.

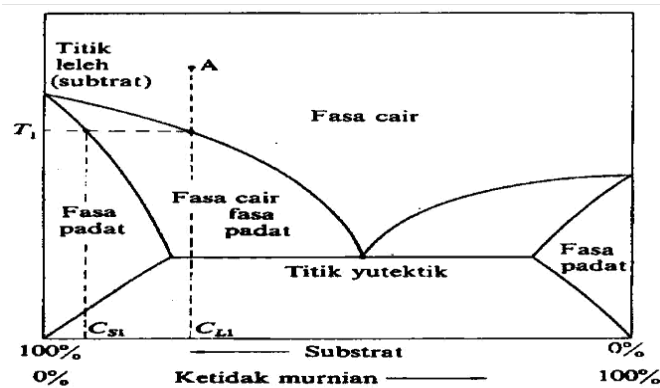
C. Metode Bridgman

Metode Bridgman merupakan suatu metode penumbuhan kristal tunggal. Teknik ini pada prinsipnya adalah melelehkan bahan-bahan yang telah dimurnikan dalam tabung pyrex atau kuarsa berbentuk kapsul yang divakumkan. 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 yang terjadi semakin sedikit (ER Nugraha, 2006).

Pada temperatur yang terlalu tinggi kristal tumbuh dengan cepat tetapi mempunyai cacat yang luas, tetapi pada temperatur yang terlalu rendah juga 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.

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



Gambar 11. Diagram Fasa.
(Reka Rio, 1982: 152)

Sebuah fasa dalam sistem biner menampilkan sebuah titik yutektik. Titik yutektik merupakan titik yang menunjukkan komposisi kimia dan suhu yang sesuai dengan titik leleh terendah dari campuran bahan. Gambar 19 menunjukkan diagram *fasa* yang menggambarkan berbagai tingkatan apabila ketidakmurnian ditambahkan ke dalam semikonduktor. Seperti terlihat pada gambar, ketika temperatur pada titik A diturunkan, maka cairan dengan komposisi C_{LI} mempunyai temperatur T_1 saat mengenai garis *fasa* cair. Dari

titik itu dimulai pepadatan. Komposisi *fasa* padat yang dihasilkan adalah C_{SI} dan bahan dengan komposisi C_{LI} tidak memadat. Bila jumlah cairan dengan komposisi C_{SI} sangat besar, kemurnian dari bahan yang memadat pada temperatur T_I adalah C_{SI} , dengan ketidakmurnian yang lebih rendah dari pada C_{LI} (Reka Rio, 1982: 152).

D. Sel Surya

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang dapat mengubah cahaya matahari langsung menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut diperoleh dari sel surya yang menerima cahaya langsung dari matahari dan memunculkan efek fotovoltaiik (Sri Yusmiati, 2014).

Sel surya merupakan suatu semikonduktor sambungan *p-n* dari silikon kristal tunggal. Gambar 12 menunjukkan bentuk sel surya konvensional. Dengan menggunakan efek fotoelektrik dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah.

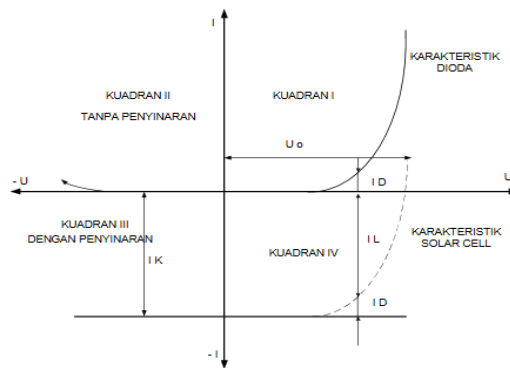


Gambar 12. Bentuk sel surya konvensional.
(<http://www.solarproductsstore.com>)

Pada umumnya, sel surya merupakan sebuah hamparan semikonduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan

dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “*p*” (positif) dan semikonduktor jenis “*n*” (negatif). Silikon jenis *p* merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung *junction*. Bagian *p* ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Di bawah bagian *p* terdapat bagian jenis *n* yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif (Sinamo, 2007).

Sel surya pada keadaan tanpa penyinaran memiliki kurva yang mirip dengan permukaan penyearah setengah gelombang dioda. Ketika sel surya datang sinar akan mengalir dengan arus konstan yang arahnya berlawanan dengan arus dioda. Karakteristik dioda dan sel surya dapat dijelaskan secara grafik seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Karakteristik suatu sel surya dan dioda (Sigalinnging, 1999: 10)

Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa grafik sel surya tidak tergantung dari sifat-sifat dioda. Jika diselidiki pada kuadran IV akan ditemukan tiga titik penting, yaitu:

1. Tegangan beban U_0 diukur tanpa dipengaruhi penyinaran.
2. Arus hubung singkat I_x diukur saat sel hubung singkat dan disini arus hubung singkat berbanding lurus dengan kuat penyinaran.
3. Titik daya maksimum dari sel surya didapatkan dari arus dan tegangan yang dibuat pada setiap titik.

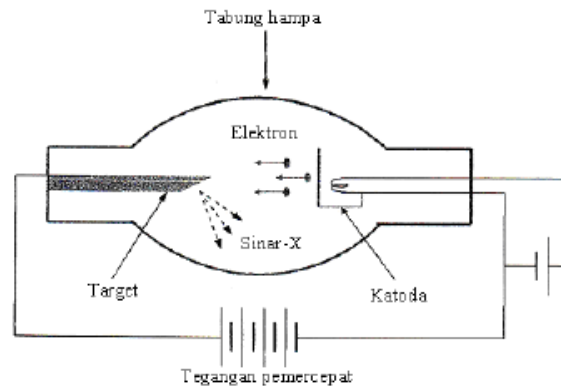
E. Karakaterisasi Kristal Hasil Preparasi

Penentuan karakter material, baik dalam bentuk pejal atau partikel, dan kristal, dalam penelitian ini menggunakan beberapa teknik, yaitu XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*).

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

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode untuk mengetahui struktur mikroskopis dari suatu bahan, yaitu stuktur kristal, susunan berbagai jenis atom dalam kristal, orientasi kristal dan cacat kristal. Dalam metode ini digunakan sinar-X karena panjang gelombang sinar-X seorde dengan tetapan kisi kristal.

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang $\lambda = 0,1$ nm yang lebih pendek dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya $\lambda = 400-800$ nm (Smallman, 2000: 145). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan, karena sinar-X mampu menembus zat padat sehingga dapat digunakan untuk menentukan stuktur kristal. Hamburan sinar-X dihasilkan apabila elektron-elektron berkecepatan tinggi menembak suatu bahan dalam tabung hampa udara.



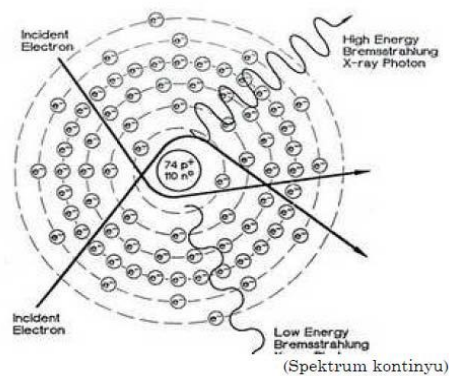
Gambar 14. Diagram Sinar-X (Cullity, 1956: 5).

Pada Gambar 14, berkas elektron dihasilkan oleh katoda yang dipanaskan dengan filamen, kemudian elektron bermuatan negatif tertarik menuju muatan positif anoda pada target, hal ini terjadi karena adanya beda potensial antara anoda dan katoda. Apabila beda potensial antara katoda dan anoda diberi lambang V_0 (volt), maka saat elektron mengenai permukaan anoda dapat dihitung besar energinya sebagai berikut:

$$E_k = eV_0 \tag{33}$$

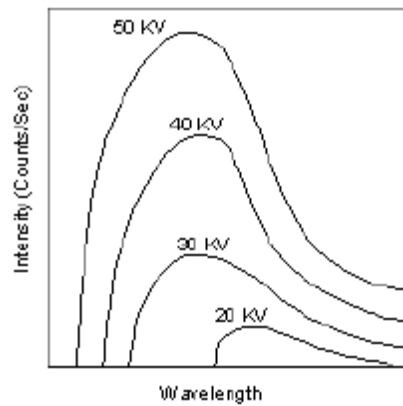
Karena adanya interaksi antara elektron berenergi E_k dengan logam anoda maka terjadilah pancaran sinar-X. Pancaran radiasi dari sinar-X yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi dua komponen, yaitu spektrum kontinyu dan spektrum garis atau karakteristik. Spektrum kontinyu mempunyai rentang panjang gelombang yang lebar sedangkan spektrum garis merupakan karakteristik dari logam yang ditembak (Smallman, 2000: 145). Spektrum sinar-X kontinyu dihasilkan dari peristiwa *bremstrahlung*. Pada saat elektron menumbuk logam, elektron dari katoda

(elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Pada saat mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Proses inilah yang dikenal dengan proses *bremstrahlung*. Energi radiasi pada spektrum kontinyu meningkat dengan bertambahnya nomor atomik target dan berbanding lurus dengan kuadrat tegangan. Proses dihasilkannya sinar-X *bremstrahlung* disajikan pada Gambar 15.



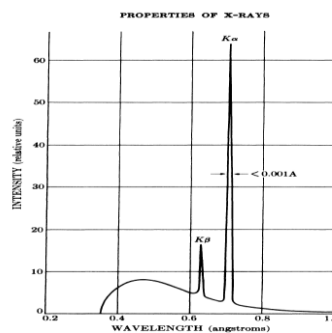
Gambar 15. Sinar-X *bremstrahlung* .

Proses *bremstrahlung* menghasilkan radiasi dengan spektrum kontinyu yang memiliki frekuensi atau panjang gelombang yang tergantung pada tegangan akselerasi. Spektrum dari sinar-X *bremstrahlung* dapat disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Spektrum sinar-X bremsstrahlung.
(Cullity, 1956: 5)

Sedangkan spektrum karakteristik terjadi apabila elektron terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam dari kulitnya. Peristiwa ini menyebabkan terjadinya transisi elektron dan pelepasan energi yang dikenal sebagai foton sinar-X karakteristik.



Gambar 17. Spektrum sinar-X karakteristik .
(Cullity, 1956: 8)

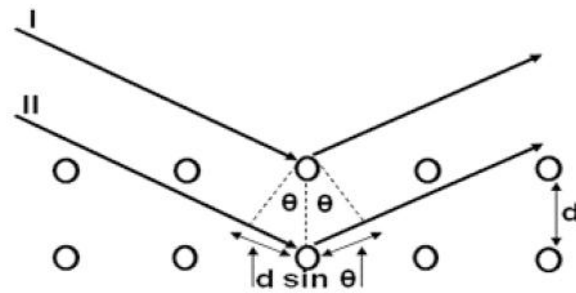
Pada Gambar 17 spektrum radiasi terlihat jelas bahwa terdapat lebih dari satu sinar-X karakteristik, berarti sinar-X masih bersifat polikromatik. Hal ini terjadi karena adanya transisi antara tingkat energi yang berbeda. Untuk menganalisis struktur kristal dari bahan paduan dibutuhkan sinar-X

yang monokromatik atau hanya memiliki satu panjang gelombang saja, maka dilakukan proses penyaringan menggunakan bahan penyaring (*filter*) yang sesuai, yaitu dengan menggunakan logam bernomor atom lebih kecil dari target.

Berkas sinar-X ekawarna (monokromatik) yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah tertentu gelombang hambur itu akan berinterferensi konstruktif sedangkan yang lain berinterferensi destruktif. Atom-atom dalam kristal dapat dipandang sebagai unsur pembentuk keluarga bidang datar dengan masing-masing keluarga mempunyai jarak karakteristik antara bidang-bidang komponen. Analisis ini dilakukan oleh W.L Bragg pada tahun 1913, sehingga bidang-bidang ini dinamakan bidang Bragg (Beisser, 1992: 65).

Bila sinar-X monokromatis dikenakan pada kristal, akan diperoleh pola difraksi. Pola difraksi ini tergantung pada jarak antar titik kisi yang menentukan gelombang akan saling menguatkan (interferensi konstruktif) atau saling meniadakan (interferensi destruktif). Difraksi cahaya terjadi dalam zat bila jarak antar partikel-partikelnya yang tersusun teratur dan panjang gelombang cahaya yang digunakan sebanding. Gelombang terdifraksi akan saling menguatkan bila gelombangnya sefasa, tetapi akan saling meniadakan bila tidak sefasa.

Jadi difraksi sinar-X berasal dari susunan atom-atom yang tersusun teratur secara periodik sesuai dengan posisi-posisi tertentu di dalam kristal. Atom-atom didalam kristal dapat dipandang berada pada bidang-bidang yang sejajar satu sama lain yang dipisahkan oleh jarak d , seperti ditunjukkan oleh Gambar 18.



Gambar 18. Berkas sinar-X pada kristal.
(Ariswan, 2012)

Bila selisih antara lintasan optik sinar-X yang direfleksikan oleh atom di lapisan pertama dan oleh atom yang ada di lapisan kedua adalah $2d \sin\theta$, gelombang-gelombang itu akan saling menguatkan atau melemahkan dan menghasilkan pola difraksi. Intensitas pola difraksi akan bernilai maksimum apabila:

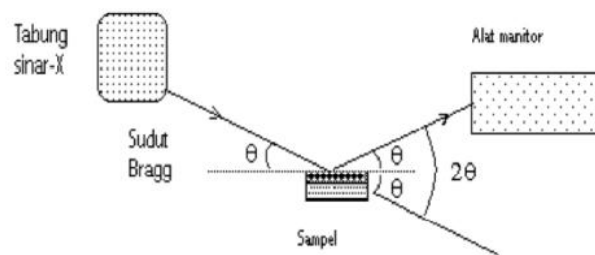
$$2d \sin\theta = n\lambda \quad (34)$$

dengan λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi

Persamaan ini disebut dengan kondisi *Bragg*. Menurut Bragg berkas yang terdifraksi oleh kristal terjadi jika pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interferensi konstruktif. Rancangan skematik spektrometer sinar-X yang didasarkan analisis *Bragg* dapat digambarkan pada Gambar 19 (Beisser, 1992: 66).



Gambar 19. Spektrometer sinar-X.
(Beisser, 1992: 66).

Berdasarkan Gambar 19, dapat dilihat bahwa seberkas sinar-X yang terarah jatuh pada kristal dengan sudut θ dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburnya juga θ . Setiap sinar-X yang sampai ke detektor memenuhi persyaratan pertama Bragg. Ketika sudut diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde yang dituliskan dalam persamaan (34). Jika jarak antar bidang *Bragg* yang berdekatan dalam kristal diketahui, maka panjang gelombang sinar-X akan diketahui (Beisser, 1992: 67).

Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. XRD bekerja dengan prinsip dasar mendifraksi sinar-x yang melalui celah kristal yaitu dengan asas hukum Bragg. Sampel yang akan dianalisis disinari oleh

sinar-X dan terjadi difraksi. Intensitas difraksi ditangkap oleh suatu sensor bergerak mengitari sampel dan diukur intensitas sinar-X pada titik-titik (sudut) yang dilewati. Besaran intensitas pada sudut-sudut tertentu menunjukkan sistem kristal dari sampel (Wahyu Lestari, 2016: 55).

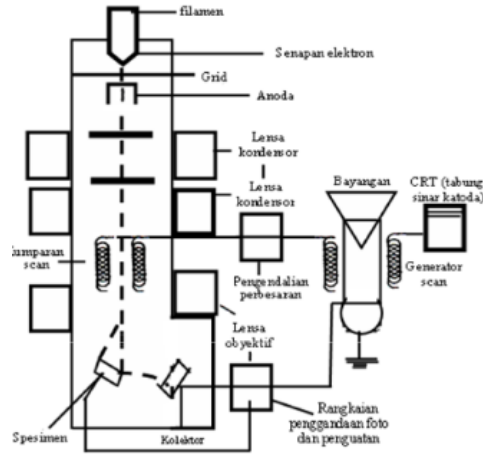
Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai data standar.

2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Untuk mengetahui struktur morfologi permukaan, ukuran butiran, dan cacat struktural suatu bahan, maka dilakukan karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil SEM yang berupa gambar morfologi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan lekukan dan tonjolan. Gambar ini dihasilkan dari pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan oleh bahan.

Prinsip kerja SEM adalah elektron sekunder yang dihasilkan oleh filamen, akan menyapu permukaan bahan titik demi titik dengan sapuan membentuk garis-garis (*scanning*). Sinyal sekunder yang dihasilkan dari titik permukaan bahan akan ditangkap dan diubah menjadi sinyal listrik oleh SE (*secondary electron*) detektor yang kemudian diolah dan ditampilkan pada monitor sinar katoda (CRT). Gambar hasil *scanning* dapat diperbesar karena pada alat ini dilengkapi mikroskop dengan

perbesaran (1.000 - 40.000) kali. Skema dasar dari SEM disajikan pada Gambar 20.

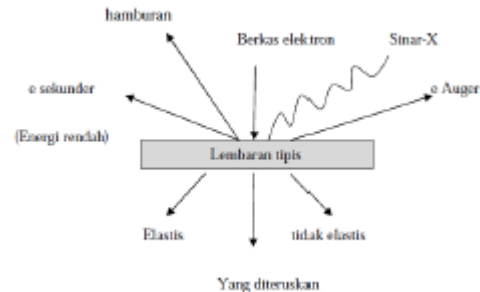


Gambar 20. Prinsip dasar SEM .
(Smallman, 1999: 157)

3. *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS)

Untuk mengetahui komposisi kimia dari suatu kristal zat padat, maka dilakukan karakterisasi dengan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS). Prinsip kerja dari teknik ini adalah dengan menangkap dan mengolah sinyal sinar-X *fluoresensi* yang keluar dari permukaan bahan dengan volume kecil. Prinsip kerja dari EDS adalah elektron sekunder yang ditembakkan oleh elektron gun akan menembak sampel, sehingga elektron pada sampel akan tereksitasi dan elektron pada kulit luar akan mengalami transisi sehingga menghasilkan sinar-X. Sinar-X yang dihasilkan inilah yang akan diolah untuk menghasilkan spektrum energi dari sampel yang dikarakterisasi. Teknik ini juga dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kualitatif dan semi

kuantitatif, hal ini karena masing-masing unsur mempunyai panjang gelombang yang spesifik (Nuri: 2016).



Gambar 21. Hamburan dari elektron yang jatuh pada lembaran tipis .
(Smallman, 2000: 155)

Gambar 21 memperlihatkan hamburan elektron-elektron apabila mengenai spesimen. Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X, dan elektron auger, yang kesemuanya bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material (Smallman, 2000: 156).

Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang dihasilkan dari interaksi berkas elektron jatuh dengan padatan sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron auger adalah elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah (Wahyu, 2016: 59).

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 besar elektron akan diteruskan, beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis (Smallman dan Bishop, 2000: 155-156).

I. Kerangka Berfikir

Suhu sangat berpengaruh pada proses preparasi karena atom-atom tidak bergerak pada suhu 0 K. Pada temperatur yang sangat tinggi, kristal dapat tumbuh dengan sangat cepat, namun cacat kristal yang terbentuk juga akan banyak. Bila suhu dinaikkan maka energinya akan meningkat sehingga akan menyebabkan atom-atom bergetar dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar. Jarak antar atom yang lebih besar akan memungkinkan atom-atom yang memiliki energi tinggi atau berada di atas energi ikatannya akan bergerak mendobrak ikatannya dan melompat ke posisi yang baru dan akan mengakibatkan jumlah kekosongan meningkat dengan cepat. Pada suhu tinggi memungkinkan atom-atom asing menyusup lebih dalam diantara celah-celah atom. Hal ini menyebabkan atom-atom asing terikat dan semakin kuat menempel pada bahan, sehingga kristal yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang baik (Van Vlack, 2004: 106). Karakteristik kristal semakin baik jika struktur kristalnya mendekati tidak cacat (parameter kisinya semakin kecil dan rapat).

Proses pemanasan bahan untuk menghasilkan kristal yang baik maka perlu diperhatikan dalam menaikkan suhu, yaitu dengan cara menaikkan suhu saat pemanasan secara bertahap hingga mencapai pada suhu optimal atau titik

lebur bahan itu. Hal ini dilakukan agar proses pengkristalan yang terjadi sempurna, sehingga akan menghasilkan suatu kristal yang sempurna.

Dengan variasi lama waktu pemanasan bahan, diharapkan dapat memberikan informasi tentang karakteristik kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Untuk mengetahui karakteristik kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk, maka perlu dilakukan karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan, dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui komposisi kimia bahan secara kuantitatif.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2016 sampai dengan bulan Februari 2017.

2. Tempat Penelitian

a. Tahap preparasi penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan metode Bridgman dilakukan di Laboratorium Fisika Material, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

b. Karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.

c. Karakterisasi untuk mengetahui morfologi permukaan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan karakterisasi komposisi kimia menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-Ray*) dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Unit I Universitas Gadjah Mada.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Variabel Bebas : Lama waktu pemanasan.
2. Variabel Terikat : Struktur kristal dan parameter kristal.
3. Variabel Terkontrol : Molaritas bahan, temperatur *furnace*, dan tekanan vakum

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Bahan-bahan yang Digunakan dalam Penelitian

- a. *Stannum*(Sn) berbentuk serbuk.

Sifat-sifat fisika dan kimia *Stannum*:

- 1) Fasa : Padatan
- 2) Titik lebur : 231,93⁰ C
- 3) Titik didih : 2602⁰C
- 4) Nomor atom : 50
- 5) Massa atom : 188,71
- 6) Warna : Abu-abu
- 7) Struktur Kristal : *Tetragonal*

[\(https://www.webelements.com/tin/\)](https://www.webelements.com/tin/)

- b. *Selenium*(Se) berbentuk granul.

Sifat-sifat fisika dan kimia *Selenium*:

- 1) Fasa : Padatan

- 2) Titik lebur : 217 °C
- 3) Titik didih : 688 °C
- 4) Nomor atom : 34
- 5) Massa atom : 47,9
- 6) Warna : Abu-abu
- 7) Struktur Kristal : *Hexagonal*

[\(https://www.webelements.com/selenium/\)](https://www.webelements.com/selenium/)

c. *Tellerium*(Te) berbentuk granul.

Sifat-sifat fisika dan kimia *Tellerium*:

- 1) Fasa : Padatan
- 2) Titik lebur : 449,51 °C
- 3) Titik didih : 988 °C
- 4) Nomor atom : 52
- 5) Massa atom : 127,60
- 6) Warna : Abu-abu kehitaman
- 7) Struktur Kristal : *Trigonal*

[\(https://www.webelements.com/telluride/\)](https://www.webelements.com/telluride/)

d. Tabung pyrex dengan diameter luar 16 mm dan diameter dalam 12 mm yang digunakan untuk meletakkan bahan selama proses vakum dan *furnace*.

- e. Pembersih tabung pyrex sebelum digunakan untuk pemvakuman bahan (alkohol 75%, air, detergen, dan tisu).
- f. Bahan pengelas, gas esitelin , dan oksigen.

2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dijelaskan sebagai berikut :

- a. Peralatan untuk Preparasi Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan Metode Bridgman

1) Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian mencapai 0,001 gram.

2) Penumbuk Bahan

Penumbuk bahan digunakan untuk memecah kristal sehingga kristal terbagi menjadi 2, yaitu untuk diuji XRD dan diuji SEM EDS.

3) Pompa Vakum

Pompa ini digunakan untuk memvakumkan tabung pyrex yang telah berisi bahan yang akan dibentuk semikonduktor sehingga gas di dalam tabung keluar hingga tekanannya mencapai 5×10^{-5} mbar. Sistem ini menggunakan pompa rotary dan pompa difusi. Pompa rotari bekerja hingga keadaan vakum 10^{-2} mbar,

sedangkan pompa difusi bekerja dari keadaan vakum 10^{-2} mbar hingga 10^{-8} mbar.

4) Alat Pengelas

Pengelasan dilakukan untuk mengelas tabung pyrex yang berisi bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hingga menjadi bahan yang berbentuk kapsul. Pengelasan ini menggunakan las yang sudah ada di laboratorium, dengan pemanasan menggunakan busur api yang pembakarannya merupakan campuran gas asetalin dan oksigen. Temperatur pemanasan ini sangat tinggi, sehingga mampu meleburkan tabung pyrex.

5) Alat Pemanas

Alat pemanas ini digunakan untuk menumbuhkan kristal yaitu dengan dasar Sn, Se dan Te. Alat pemanas yang digunakan adalah *furnace* dengan merk Brandstead Termolyne seri 47900, yang mampu memanaskan bahan hingga temperatur 1100°C .

b. Perangkat Karakterasi Bahan Semikonduktor

1) XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Mesin XRD yang digunakan bermerk Miniflex 600 Rigaku.

2) SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk. Elektron sekunder akan menggambarkan morfologi permukaan sampel dengan perbesaran mencapai ribuan kali.

3) EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*)

EDS digunakan untuk mengetahui komposisi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk.

D. Langkah Penelitian

Penelitian yang dilakukan dibagi dalam dua tahap. Tahap pertama adalah tahap preparasi penumbuhan kristal, yang meliputi tahap persiapan dan pelaksanaan preparasi. Tahap kedua adalah tahap karakterisasi masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

1. Tahap Preparasi Penumbuhan Kristal

a. Pembersihan Tabung Pyrex

Kebersihan tabung pyrex sangat penting untuk menghindari terkontaminasiya masif hasil preparasi dengan unsur lain. Pembersihan tabung pyrex dilakukan dengan mencuci tabung dengan detergen, kemudian dibilas menggunakan air. Setelah dibersihkan dengan air kemudian tabung dilap menggunakan tisu yang

selanjutnya dibersihkan lagi dengan menggunakan alkohol dan dikeringkan dengan menggunakan pemanas (*furnace*).

b. Penimbangan Bahan

Proses penimbangan bahan dilakukan untuk masing-masing bahan dasar kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$, yaitu Sn : Se : Te dengan perbandingan mol 1 : 0,6 : 0,4. Pada proses penimbangan diperlukan massa dari salah satu bahan untuk digunakan sebagai acuan penimbangan massa bahan-bahan yang lain. Massa bahan yang dipilih sebagai acuan dalam penelitian ini yaitu massa dari unsur Sn.

Langkah awal untuk tahap penimbangan bahan adalah menimbang unsur Sn sebesar 1 gram yang sudah ditentukan terlebih dahulu. Selanjutnya massa unsur Se dan Te dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Massa Se} = \left(\left[\frac{\text{massa Sn}}{(\text{BA})\text{Sn}} \times (\text{BA})\text{Se} \right] \times \frac{\text{koef Se}}{\text{koef Sn}} \right) \text{gram}$$

$$\text{Massa Te} = \left(\left[\frac{\text{massa Sn}}{(\text{BA})\text{Sn}} \times (\text{BA})\text{Te} \right] \times \frac{\text{koef Te}}{\text{koef Sn}} \right) \text{gram}$$

Massa unsur bahan Sn yang ditimbang sebagai acuan untuk mencari massa Se dan Te adalah 1 gram, maka massa unsur Se dan Te sebesar:

$$\text{Massa Se} = \left(\left[\frac{1}{118,710} \times 78,97 \right] \times \frac{\text{koef } 0,6}{\text{koef } 1} \right) \text{gram}$$

$$\text{Massa Se} = 0,39878 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Te} = \left(\left[\frac{1}{118,710} \times 127,60 \right] \times \frac{\text{koef } 0,4}{\text{koef } 1} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Te} = 0,4299 \text{ gram}$$

Penimbangan tersebut dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan dengan langkah dan massa yang sama, sehingga didapatkan 3 sampel sebagai bahan preparasi penumbuhan kristal yaitu sampel I, sampel II, dan sampel III.

c. Pevakuman

Setelah bahan ditimbang kemudian masing-masing bahan tersebut dimasukkan dalam tabung pyrex untuk divakum. Pevakuman bertujuan agar gas-gas yang berada di dalam tabung dapat dikeluarkan, sehingga saat proses penumbuhan kristal gas-gas tersebut tidak ikut bereaksi dengan bahan.

Bahan-bahan dalam tabung pyrex divakumkan hingga mencapai tekanan 5×10^{-5} mbar. Untuk mencapai keadaan vakum tersebut, diperlukan pompa vakum yaitu pompa rotary dan difusi.

d. Pengelasan

Proses pengelasan dilakukan setelah proses vakum selesai, tabung pyrex kemudian dilas menggunakan las asitelin sehingga membentuk kapsul. Dibentuknya kapsul agar muat ketika

dimasukkan dalam mesin *furnace* dalam keadaan tabung yang tertutup di kedua sisinya. Sehingga ketika dilakukan pemanasan menggunakan mesin *furnace*, bahan yang telah divakum tidak bereaksi dengan oksigen, nitrogen dan gas lainnya yang tidak dikehendaki.

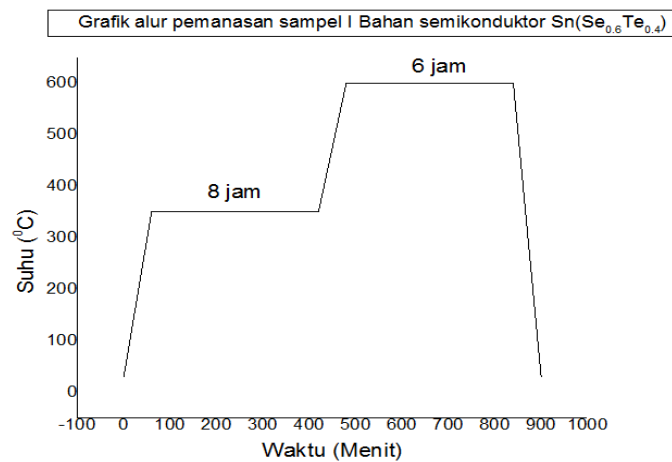
e. Pelelehan Bahan

Pada tahap ini, bahan dipanaskan pada temperatur yang berbeda-beda untuk setiap sampel yang didapatkan. Untuk pemanasan sampel I, II, dan III menggunakan temperatur tertinggi 600 °C dan temperatur terendah 350 °C .Adapun langkah-langkah dalam tahap ini adalah:

- 1) Memasukkan sampel berisi bahan paduan Sn, Se, dan Te ke dalam *furnace*.
- 2) Mengaktifkan *furnace* dengan menekan saklar hingga posisi ON.
- 3) Mengatur temperaturnya sesuai dengan pemanasan yang dikehendaki.
- 4) Mencatat waktu pemanasan dari temperatur kamar hingga mencapai temperatur yang dikehendaki.

Pada hari pertama sampel I dipanasi dengan temperatur awal 29 °C. Dari temperatur kamar dinaikkan sampai 350 °C kemudian setelah mencapai temperatur 350 °C dibiarkan konstan selama 6 jam.

Pada hari kedua sampel I dipanasi dengan temperatur awal 29 °C, kemudian dinaikkan sampai 350 °C selama 2 jam, hal ini dilakukan untuk adaptasi temperatur sampel I yang hari pertama sudah dipanaskan pada temperatur tersebut. Kemudian, temperatur dinaikkan sampai temperatur 600 °C dan dibiarkan selama 6 jam. Selanjutnya penurunan temperatur dari 600 °C menjadi temperatur kamar dilakukan selama 1 jam 30 menit.



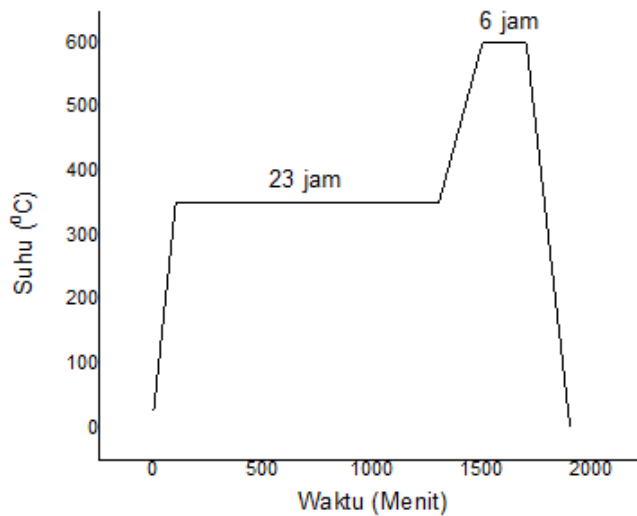
Gambar 22. Gambar alur pemanasan I Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}).

Sedangkan, pada sampel II pada hari pertama, kedua, dan ketiga diberikan perlakuan dengan dipanasi pada temperatur awal 29 °C. Dari temperatur kamar tersebut dinaikkan sampai 350 °C kemudian setelah mencapai temperatur 350 °C dibiarkan konstan selama 7 jam.

Pada hari keempat sampel II dipanasi dengan temperatur awal 29 °C, kemudian dinaikkan sampai 350 °C selama 2 jam, hal ini

dilakukan untuk adaptasi temperatur sampel II yang hari pertama, kedua, dan ketiga sudah dipanaskan pada temperatur tersebut. Kemudian, temperatur dinaikkan sampai temperatur 600 °C dan dibiarkan selama 6 jam. Selanjutnya penurunan temperatur dari 600 °C menjadi temperatur kamar dilakukan selama 1 jam 30 menit.

Grafik alur pemanasan sampel II bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$



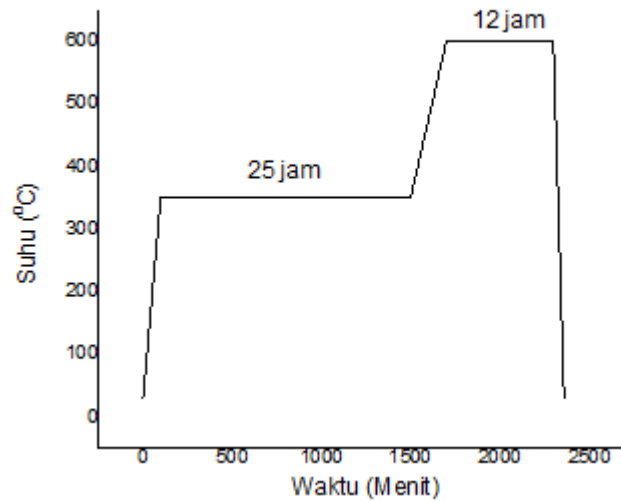
Gambar 23. Gambar alur pemanasan II $\text{Sn}(\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$.

Sedangkan untuk sampel terakhir yaitu sampel III pada hari pertama, kedua, dan ketiga diberikan perlakuan dengan dipanasi pada temperatur awal 29 °C. Dari temperatur kamar tersebut dinaikkan sampai 350 °C kemudian setelah mencapai temperatur 350 °C dibiarkan konstan selama 7 jam.

Pada hari keempat dan kelima sampel III dipanasi dengan temperatur awal 29 °C, kemudian dinaikkan sampai 350 °C selama 2 jam, hal ini dilakukan untuk adaptasi temperatur sampel III yang hari

pertama, kedua, dan ketiga sudah dipanaskan pada temperatur tersebut. Kemudian, temperatur dinaikkan sampai temperatur 600 °C dan dibiarkan selama 6 jam. Selanjutnya penurunan temperatur dari 600 °C menjadi temperatur kamar dilakukan selama 1 jam 30 menit.

Grafik alur pemanasan sampel III bahan semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})



Gambar 24. Gambar alur pemanasan III Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}).

2. Tahap Karakterisasi Bahan Semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})

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

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) hasil preparasi dengan metode Bridgman. Tahap pelaksanaan karakterisasi menggunakan XRD adalah:

- 1) Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi. Masif digerus pada alat penggerus yang sudah disediakan sampai berbentuk serbuk halus.
- 2) Membersihkan tempat sampel dari kotoran dan debu.
- 3) Memasukkan sampel yang akan dikarakterisasi pada *specimen chamber* mesin XRD.
- 4) Mencetak hasil XRD dan menganalisis data yang diperoleh dari hasil XRD tersebut.

b. Karakterisasi Menggunakan SEM dan EDS

SEM dan EDS digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia masif Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}). Pada karakterisasi SEM diperoleh hasil data yang berupa gambar atau foto. Sedangkan dari karakterisasi EDS diperoleh data komposisi kimia berupa spektrum.

E. Metode Analisis Data

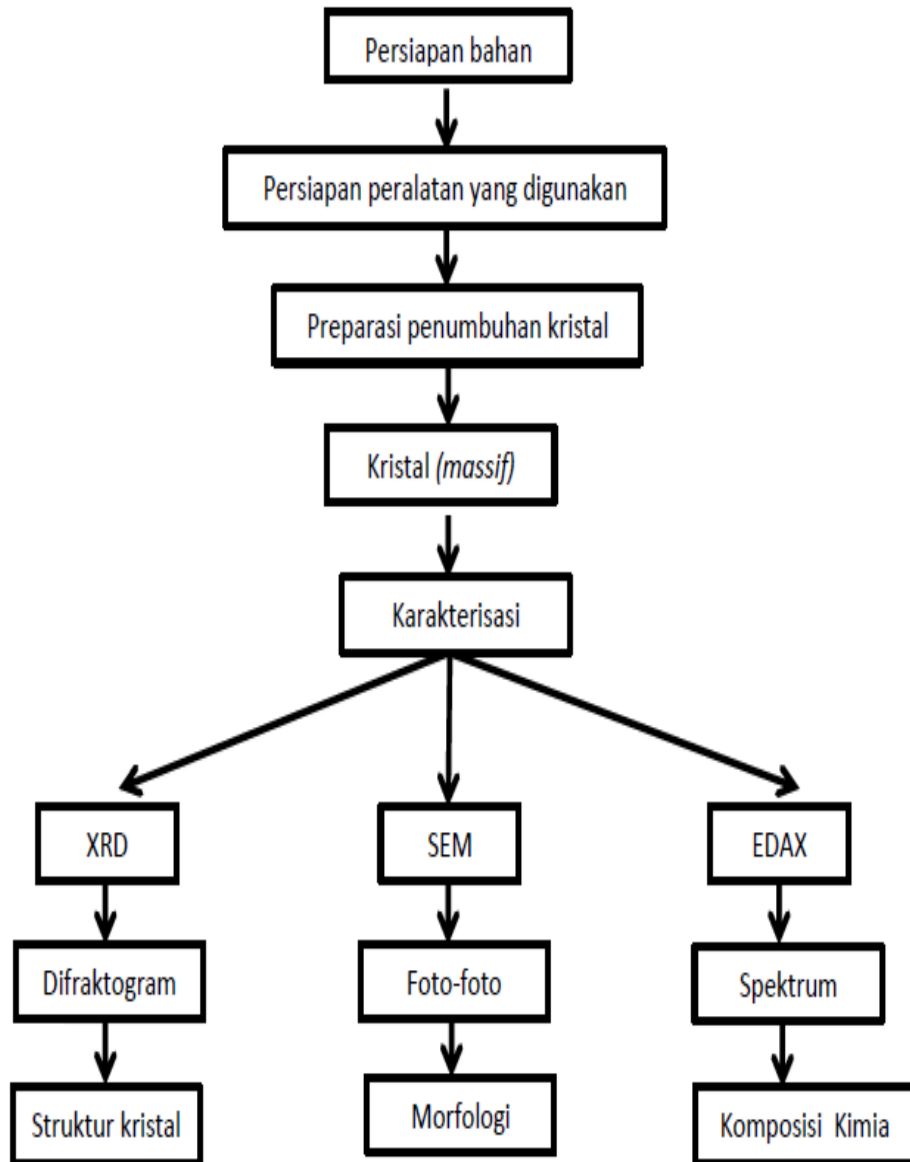
Data yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan XRD adalah berupa difraktogram sebagai fungsi intensitas dan sudut difraksi (2θ). Dari hasil XRD selanjutnya dibandingkan dengan data JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standard*), sehingga diperoleh bidang *hkl* dari sampel. Nilai parameter kisi (*a*, *b*, dan *c*) dapat ditentukan dengan metode analitik.

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi SEM adalah foto atau gambar morfologi permukaan *masif* kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk. Dari foto tersebut dapat diamati bentuk dan ukuran butiran-butiran (*grain*) melalui berbagai perbesaran.

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi EDS berupa *spectrum* yang menunjukkan intensitas terhadap energi. Dari *spectrum* tersebut dapat dilakukan analisis kuantitatif dan kualitatif. Analisis kuantitatif untuk mengetahui komposisi atom unsur-unsur yang terkandung dalam sampel, sedangkan analisis kualitatif untuk mengetahui jenis unsur yang terkandung dalam sampel.

F. Diagram Alir Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat ditunjukkan melalui diagram alir tahapan penelitian pada Gambar 25:



Gambar 25. Tahapan penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menumbuhkan kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dalam bentuk masif atau *ingot* dengan teknik Bridgman. Dalam penelitian ini telah dihasilkan tiga kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan melakukan pemanasan bahan Sn, Se, dan Te. Masing-masing bahan dengan perbandingan mol 1 : 0,6 : 0,4.

Hasil masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sebanyak tiga kristal yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction*, *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray*.

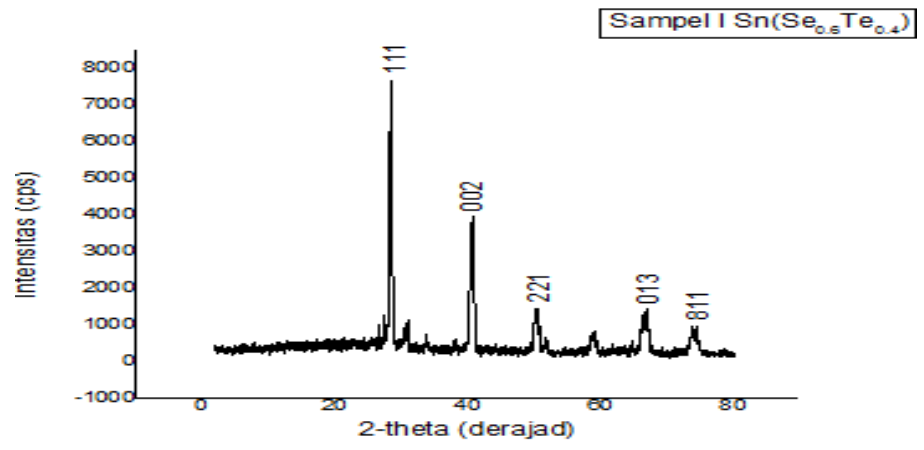
1. Karakterisasi Struktur Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan XRD

Data yang dihasilkan dari karakterisasi XRD berupa *difraktogram*, yaitu grafik hubungan antara intensitas (I) puncak spektrum (kristal) dan sudut hamburan (2θ). *Difraktogram* menunjukkan puncak-puncak spektrum yang muncul pada sampel. Dari hasil analisis ini dapat diketahui jarak antar bidang (hkl).

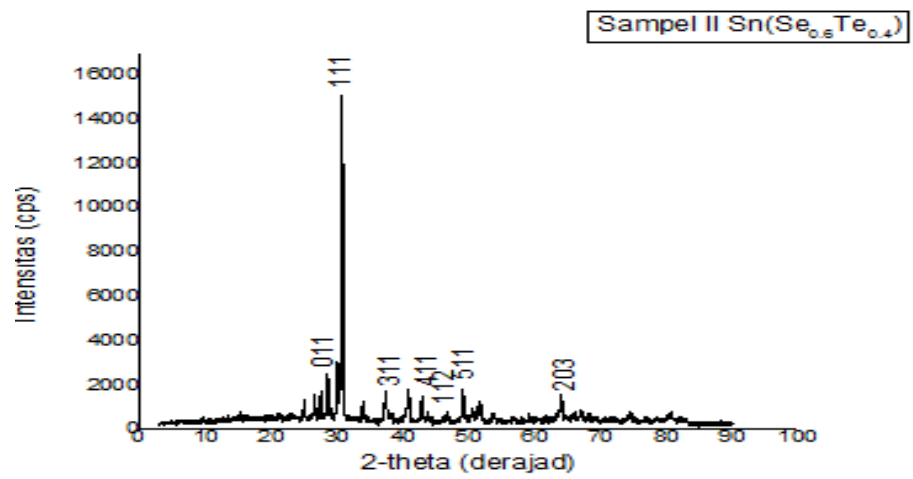
Dari hasil karakterisasi XRD, diketahui bahwa ketiga kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk dari hasil preparasi dengan menggunakan teknik Bridgman merupakan polikristal yang mempunyai struktur *orthorhombic*. Data hasil XRD yang diperoleh dari sampel penelitian terlampir pada Lampiran I. Dengan membandingkan data hasil karakterisasi XRD dari kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan data standar JCPDS

dari SnSe, maka dapat diketahui indeks Miller (*hkl*) pada puncak-puncak difraksi yang terbentuk. Indeks Miller dari suatu kristal sangat diperlukan untuk menentukan harga dari parameter kisi kristal.

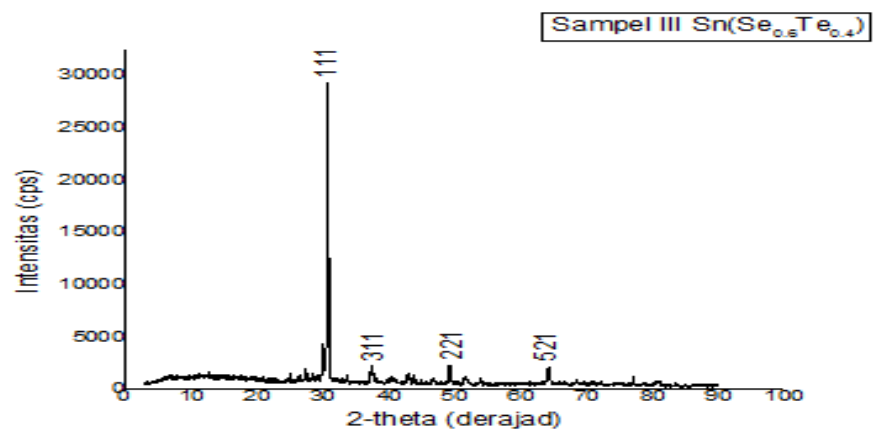
Data hasil karakterisasi dengan XRD yang diperoleh ketiga sampel berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara intensitas puncak spektrum dan sudut hamburan (2θ). Adapun hasil yang diperoleh terlampir pada Lampiran 1, 2, dan 3 yang ditunjukkan pada Gambar 26.



(a)



(b)



(c)

Gambar 26. Difraktogram XRD (a) sampel 1, (b) sampel 2, dan (c) sampel 3.

Dari ketiga gambar *difraktogram* sampel yang dihasilkan dari karakterisasi XRD pada Gambar 26 maka dapat dilihat bahwa sampel 3 memiliki intensitas relatif lebih tinggi dibandingkan dengan sampel 1 dan 2. Perbandingan antara hasil XRD dengan JCPDS disajikan dalam Tabel 2 sampai Tabel 4.

Tabel 2. Perbandingan JCPDS dengan data penelitian sampel 1 hasil karakterisasi XRD.

No	Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) sampel I	I_{relatif}	SnSe JCPDS	I_{relatif}	<i>hkl</i>
	2θ	%	2θ	%	
1	30,957	7	30,309	100	111
2	40,602	100	40,47	9	002
3	50,34	30	50,725	4	221
4	66,70	27	66,783	4	013
5	73,92	15	73,189	1	811

Tabel 3. Perbandingan JCPDS dengan data penelitian sampel 2 hasil karakterisasi XRD.

No	Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) sampel II	I_{relatif}	SnSe JCPDS	I_{relatif}	<i>hkl</i>
	2θ	%	2θ	%	
1	30,742	100	30,309	100	111
2	37,28	7	37,768	33	311
3	40,800	8	40,470	9	002
4	43,379	2	43,379	13	411
5	49,03	6	49,86	22	511
6	50,60	2	50,725	4	221
7	63,694	8	63,800	2	521
8	66,93	1	66,381	1	620

Tabel 4. Perbandingan JCPDS dengan data penelitian sampel 3 hasil karakterisasi XRD

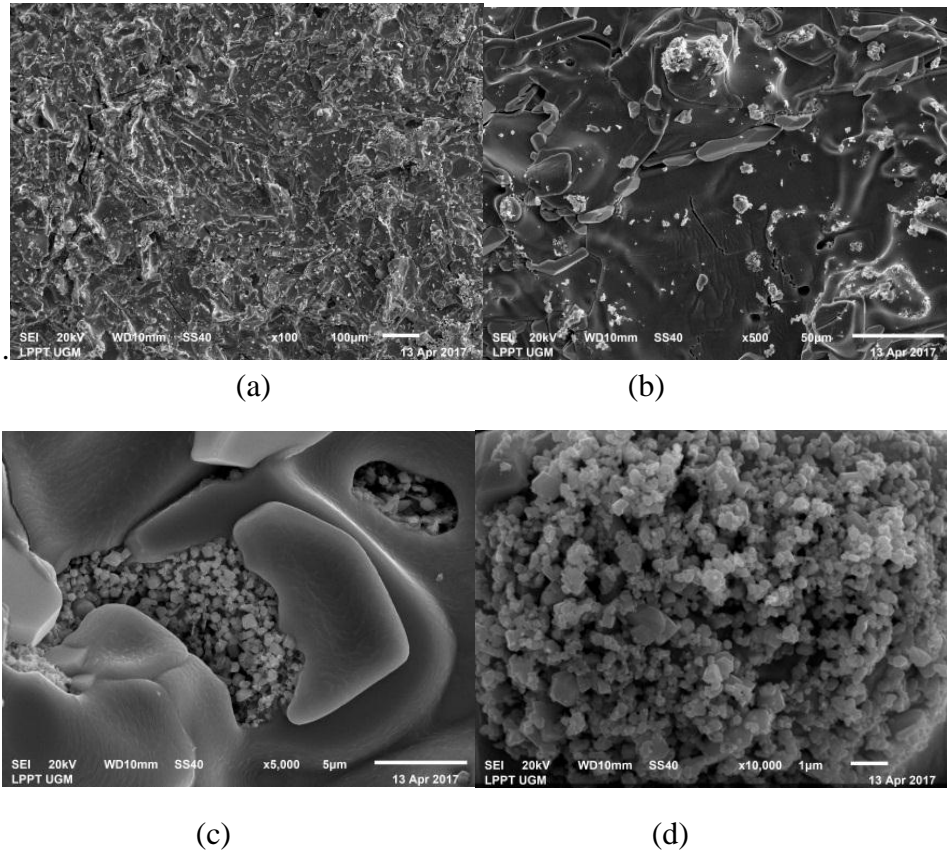
No	Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) sampel III	I_{relatif}	SnSe JCPDS	I_{relatif}	<i>hkl</i>
	2θ	%	2θ	%	
1	29,986	10	29,243	17	011
2	30,694	100	30,309	100	111
3	37,32	5	37,768	33	311
4	43,82	1	43,379	13	411
5	46,53	1	46,83	112	112
6	49,16	5	49,86	22	511
7	64,12	5	64,799	4	203

2. Karakterisasi Morfologi Permukaan Masif Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) Hasil SEM

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan pada kristal semikonduktor masif Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$). Hasil karakterisasi bahan Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dengan SEM ditunjukkan oleh Gambar 27 dan Gambar 28.

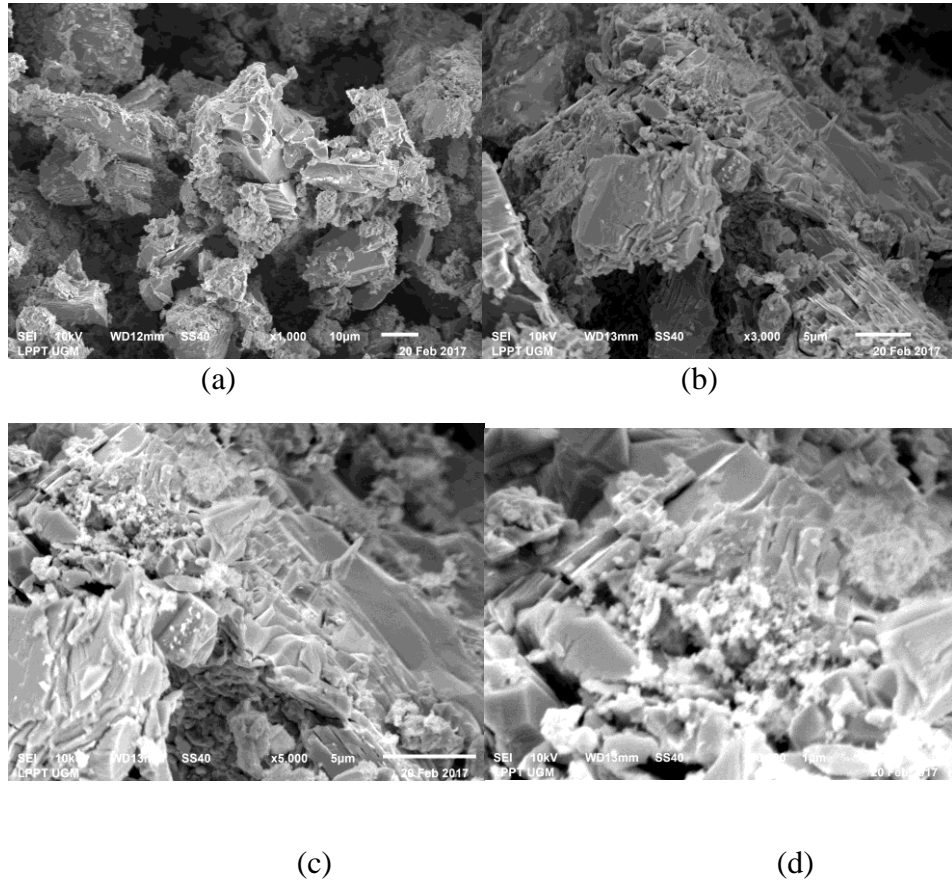
Dalam penelitian ini bahan yang dikarakterisasi menggunakan SEM EDS adalah sampel I dan sampel III. Hal ini dilakukan karena pada karakterisasi hasil XRD yang sudah dibandingkan dengan JCPDS, sampel I mempunyai jumlah puncak yang banyak dari kedua sampel yang ada dan waktu pemanasan lebih singkat dibandingkan kedua sampel lainnya. Sedangkan sampel III mempunyai nilai intensitas tertinggi dari kedua sampel lainnya dan memiliki waktu pemanasan yang lebih lama dibandingkan kedua sampel lainnya.

Hasil karakterisasi permukaan masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel I dengan perbesaran 100x, 500x, 5000x, dan 10.000x ditunjukkan oleh Gambar 27.



Gambar 27. Foto morfologi permukaan sampel I bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil SEM dengan (a) perbesaran 100x, (b) perbesaran 500x, (c) perbesaran 5000x, (d) perbesaran 10.000x.

Adapun untuk hasil karakterisasi permukaan masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel III dengan perbesaran 1000x, 3000x, 5000x, dan 10.000x ditunjukkan oleh Gambar 28.

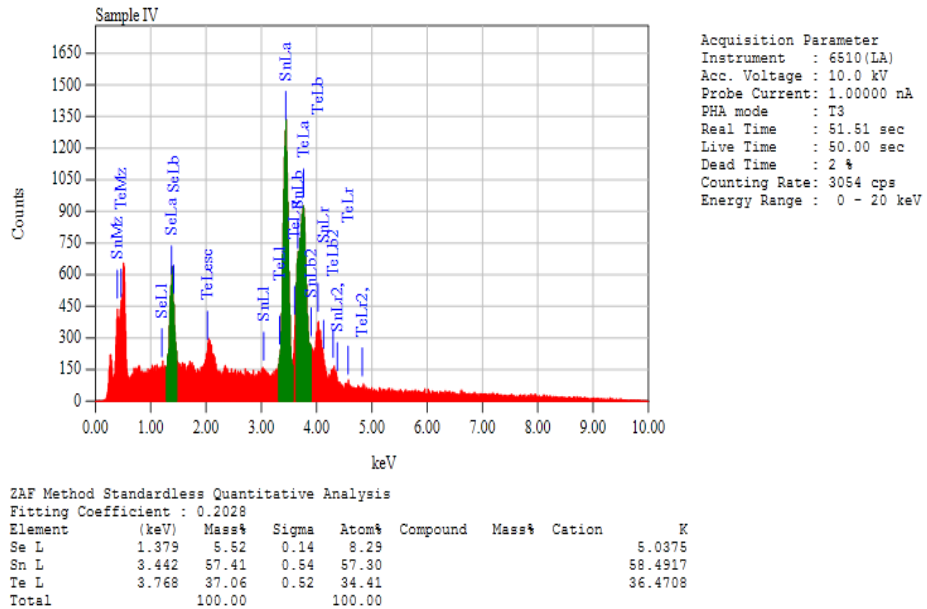


Gambar 28. Foto morfologi permukaan sampel III bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil SEM dengan (a) perbesaran 1000x, (b) perbesaran 3000x, (c) perbesaran 5000x, (d) perbesaran 10.000x.

3. Analisis Komposisi Kimia Masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Hasil Analisis EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*)

Setelah melakukan karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) maka karakterisasi selanjutnya adalah karakterisasi EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*). Karakterisasi EDS dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan perbandingan unsur yang membentuk

50,03 %, Se = 41,24 %, dan Te= 8,72%. Sehingga memiliki perbandingan molaritas dari masing-masing unsur Sn: Se: Te = 1: 0,82 : 0,17.



Gambar 30. Hasil karakterisasi EDAX sampel III Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}).

Berdasarkan karakterisasi EDS, dapat diketahui bahwa preparasi masif Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) sampel III mengandung unsur penyusunnya yaitu *Stannum* (Sn), *Sulfur* (S), dan *Tellerium* (Te), dengan memperoleh persentase komposisi kimia bahan dasarnya yaitu, Sn= 57,41%, Se= 8,29%, dan Te= 34,41% %. Sehingga memiliki perbandingan molaritas dari masing-masing unsur Sn: Se: Te = 1: 0,14: 0,6.

B. Pembahasan

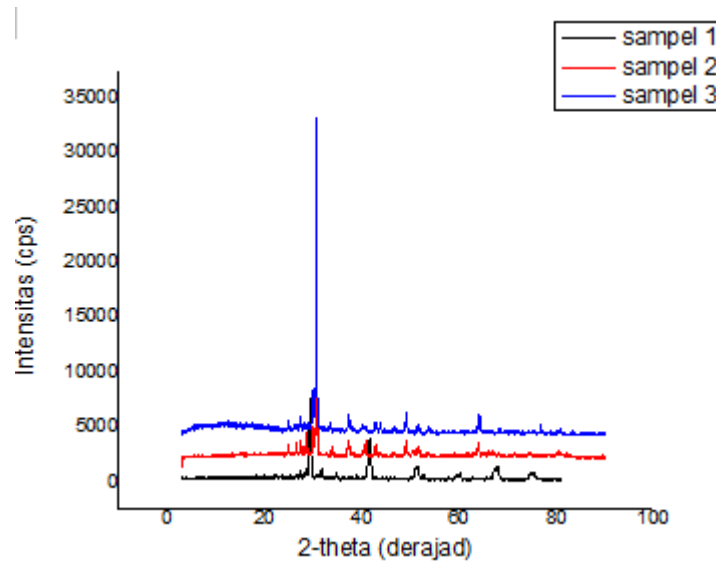
1. Proses Penumbuhan Kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan Metode Bridgman

Proses penumbuhan kristal ini bertujuan untuk mendapatkan bentuk kristal dari hasil paduan Sn, Se, dan Te. Penumbuhan kristal bahan

$\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dilakukan dengan melalui dua tahapan, yaitu tahapan yang pertama adalah persiapan preparasi dan yang kedua tahapan preparasi bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Untuk tahapan persiapan preparasi seperti membersihkan tabung, penimbangan bahan, pemvakuman, dan pengelasan untuk dijadikan kapsul. Sedangkan untuk tahapan preparasi dilakukan dengan pemanasan kapsul bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang diperoleh dengan temperatur awal $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan temperatur tertinggi $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pada penelitian ini, untuk menumbuhkan kristal dilakukan dengan cara metode Bridgman, selanjutnya dilakukan pemanasan sehingga mengalami pelelehan bahan Sn, Se, dan Te dengan massa bahan yang sama. Dalam penumbuhan kristal ini, diberikan perlakuan dengan memvariasi lama waktu pemanasan dengan massa bahan dan temperatur yang sama untuk ketiga sampel yang dihasilkan.

2. Pengaruh Variasi Waktu Pemanasan Terhadap Kualitas Kristal Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) Dilihat dari Intensitasnya.



Gambar 31. Grafik perbandingan difraktogram hasil XRD untuk sampel I, sampel II, dan sampel III masif bahan Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$).

Data yang dihasilkan dari karakterisasi XRD berupa *difraktogram* dan jarak antar bidang d_{hkl} . Data hasil XRD tersebut kemudian dibandingkan dengan JCPDS sehingga diketahui indeks Miller dari setiap puncak difraksi. Indeks Miller sangat berguna untuk mengetahui arah bidang-bidang kristal serta dapat berguna untuk menghitung parameter kisi dari kristal.

Gambar 31 merupakan grafik perbandingan *difraktogram* hasil XRD untuk sampel I, sampel II, dan sampel III masif bahan Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$). Dari grafik tersebut terlihat bahwa lama waktu pemanasan sangat berpengaruh terhadap hamburan sinar-X. Setelah dilakukan variasi waktu pemanasan pada sampel I, sampel II, dan sampel III dengan cara semakin lama waktu

pemanasannya untuk setiap sampel maka terjadi kenaikan intensitas. Pemanasan yang dilakukan menyebabkan getaran panas dari atom-atom yang berada dalam kristal sehingga terjadi proses pemulihan selama pemanasan berlangsung yaitu adanya perbaikan struktur kristal dengan mengurangi adanya kekosongan, cacat kristal dan penyusunnya kembali dislokasi yang dimungkinkan terdapat pada masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk. Pemulihan struktur kristal yang terjadi juga diikuti oleh penajaman garis difraksi sehingga intensitas sinar-X yang terhambur meningkat (Smallman, 1999).

Pada sampel I dengan variasi waktu pemanasan yaitu pada temperatur 350°C adalah 480 menit (8 jam) dan pada temperatur 600°C adalah 360 menit (6 jam) menghasilkan puncak tertingginya pada sudut $28,409^{\circ}$ dengan intensitasnya 4076 cps. Untuk sampel II dengan variasi waktu pemanasan yaitu pada temperatur 350°C adalah 1380 menit (23 jam) dan pada temperatur 600°C adalah 360 menit (6 jam) menghasilkan puncak tertinggi pada sudut $30,742^{\circ}$ dengan intensitasnya 8975 cps. Sedangkan untuk sampel III dengan variasi waktu pemanasan yaitu pada temperatur 350°C adalah 1500 menit (25 jam) dan pada temperatur 600°C adalah 720 menit (12 jam) menghasilkan puncak tertingginya pada sudut $30,694^{\circ}$ dengan intensitasnya 17499 cps.

Intensitas yang muncul pada *difraktogram* ditentukan oleh tingkat keteraturan atom-atom dalam kristal. Keteraturan atom berperan penting dalam difraksi sinar-X. Sampel III mempunyai intensitas tinggi, hal ini

menunjukkan kualitas kristal pada variasi waktu pemanasan sampel III lebih baik dibandingkan dengan kualitas kristal pada sampel I dan II. Intensitas berpengaruh pada tingkat keteraturan atom dalam bahan. Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa atom yang berada dalam bahan dapat menempati posisinya dengan baik. Semakin teratur atom dalam bahan maka kualitas kristalnya semakin baik. Kualitas kristal juga dipengaruhi oleh perlakuan selama pendinginan.

3. Pengaruh Variasi Waktu Pemanasan terhadap Struktur dan Parameter Kisi Kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})

Sampel yang terbentuk dari bahan semikonduktor Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}), kemudian dikarakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*). Data yang dihasilkan dari karakterisasi XRD berupa *difraktogram* dan jarak bidang d_{hkl} . Data hasil XRD kemudian dibandingkan dengan JCPDS sehingga dapat diketahui indeks Miller dari setiap puncak difraksi. Indeks Miller sangat berguna untuk mengetahui arah bidang-bidang kristal serta dapat berguna untuk menghitung parameter kisi dari kristal. Difraktogram dari masif hasil preparasi bahan Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) pada sampel I, II, dan III dapat dilihat pada Gambar 34.

Dari hasil XRD maka masif Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) lebih condong pada SnSe, hal ini ditunjukkan dari sudut difraksi dan puncak intensitas yang diperoleh. Jika puncak-puncak dari Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) hasil penelitian dibandingkan dengan data standar JCPDS bahan SnSe, maka terlihat bahwa terjadi pergeseran sudut difraksi. Menurut hukum *Bragg*,

pergeseran sudut yang terjadi juga menunjukkan pergeseran jarak antar bidang d_{hkl} dari kristal. Pergeseran tersebut juga akan mempengaruhi harga parameter kisi (a, b, c) yang terbentuk. Dari difraktogram serta hasil perbandingan data XRD dan JCPDS, dapat diketahui bahwa bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk dengan menggunakan variasi lama waktu pemanasan merupakan polikristal dan mempunyai struktur *simple orthorhombic* yang dapat diketahui dari parameter kisi yang dicari dengan metode *analitik* (Lampiran 3). Perbandingan nilai parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi untuk variasi waktu lama pemanasan tercantum pada tabel 5, 6, dan 7 berikut:

Tabel 5. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ pada sampel I hasil preparasi melalui variasi waktu pemanasan.

Parameter kisi	Variasi waktu pemanasan sampel I	JCPDS (SnSe)
a	11,17 Å	11,42 Å
b	4,306 Å	4,19 Å
c	4,444 Å	4,46 Å
Struktur	<i>Orthorhombic</i>	<i>Orthorhombic</i>

Tabel 6. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ pada sampel II hasil preparasi melalui variasi waktu pemanasan.

Parameter kisi	Variasi waktu pemanasan sampel II	JCPDS (SnSe)
a	11,648 Å	11,42 Å
b	4,285 Å	4,19 Å
c	4,423 Å	4,46 Å
Struktur	<i>Orthorhombic</i>	<i>Orthorhombic</i>

Tabel 7. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ pada sampel III hasil preparasi melalui variasi waktu pemanasan.

Parameter kisi	Variasi waktu pemanasan Sampel III	JCPDS (SnSe)
a	11,49 Å	11,42 Å
b	4,010 Å	4,19 Å
c	4,50 Å	4,46 Å
Struktur	<i>Orthorhombic</i>	<i>Orthorhombic</i>

Dari Tabel 5, 6, dan 7 diketahui bahwa harga parameter kisi a , b , dan c dari ketiga sampel nilainya sedikit berbeda, hal ini menunjukkan bahwa perbedaan variasi waktu pemanasan tidak terlalu mempengaruhi parameter kisi kristal. Perbedaan nilai parameter kisi pada $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ terhadap parameter kisi SnSe pada data standar JCPDS disebabkan karena terdapat bahan Te pada kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

4. Morfologi Permukaan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan SEM

Untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dari suatu bahan, dilakukan karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Hasil dari karakterisasi SEM diperoleh dari elektron yang berinteraksi dengan atom yang menyusun sampel dan kemudian menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, ukuran butiran, cacat struktural dan komposisi pencemaran suatu bahan.

Morfologi permukaan dari masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel I dapat dilihat pada Gambar 27 dan morfologi permukaan dari masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel III dapat dilihat pada Gambar 28. Gambar-gambar tersebut menunjukkan bahwa kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sudah terbentuk, hal tersebut

ditandai dengan homogenitas warna dari morfologi permukaan sampel. Dari hasil SEM tersebut tampak juga bahwa dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk terdapat butir-butir kristal (*grain*).

5. Komposisi Kimia Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

Untuk mengetahui komposisi kimia dari kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dilakukan dengan karakterisasi EDS (*Energy Dispersive Spectrometry*). Adapun karakterisasi EDS dilakukan pada sampel I dan sampel III. Sampel I memiliki puncak lebih banyak dan mempunyai variasi waktu pemanasan lebih pendek dibanding dengan kedua sampel lainnya, sedangkan sampel III memiliki nilai intensitas lebih tinggi dan mempunyai variasi waktu lebih lama dibandingkan dengan kedua sampel lainnya. Prinsip kerja dari EDS adalah dengan menangkap dan mengolah sinyal sinar-X *fluoresensi* yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan.

Hasil karakterisasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 29 dan Gambar 30. Grafik yang dihasilkan merupakan grafik hubungan antara energi dengan intensitas, yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-X karakteristik dari bahan yang dikarakterisasi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pada kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel I terdapat unsur Sn = 50,03%, Se = 41,24%, Te = 8,72% dengan perbandingan mol Sn : Se : Te adalah 1 : 0,82 : 0,17. Sedangkan untuk perbandingan secara teori kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel I adalah 1 : 0,6 : 0,4. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa terdapat tidak sedikit selisih perbandingan mol Sn, Se, dan Te antara

hasil penelitian dengan teori. Hal ini menunjukkan bahwa bahan tersebut mengalami *non stoichiometry*.

Sedangkan hasil karakterisasi EDS untuk sampel III menunjukkan bahwa pada kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ terdapat unsur Sn = 57,30 %, Se = 8,29, Te = 34,41% dengan perbandingan mol Sn : Se : Te adalah 1 : 0,14 : 0,6. Sedangkan untuk perbandingan secara teori kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel III adalah 1 : 0,6 : 0,4. Ketidakesesuaian perbandingan mol unsur Sn, Se, Te antara teori dengan penelitian dapat disebabkan karena beberapa faktor, diantaranya untuk sampel III memiliki lama variasi waktu pemanasan yang sangat lama dan temperatur yang sangat tinggi dibandingkan dengan sampel lainnya menyebabkan sedikit hilangnya unsur Se pada sampel tersebut. Hal tersebut memperlihatkan bahwa dalam melakukan pemanasan yang sangat lama sangat mempengaruhi sampel yang akan dikarakterisasi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis hasil karakterisasi dari preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan menggunakan metode Bridgman dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk dari ketiga sampel dengan metode Bridgman mempunyai struktur *simple orthorombic*, dengan parameter kisi sampel I adalah $a = 11,17 \text{ \AA}$, $b = 4,306 \text{ \AA}$, dan $c = 4,444 \text{ \AA}$. Untuk sampel II parameter kisinya adalah $a = 11,64 \text{ \AA}$, $b = 4,285 \text{ \AA}$, dan $c = 4,423 \text{ \AA}$. Sedangkan pada sampel III parameter kisi yang diperoleh adalah $a = 11,49 \text{ \AA}$, $b = 4,00 \text{ \AA}$, dan $c = 4,5 \text{ \AA}$. Hal ini menunjukkan variasi lama waktu pemanasan tidak terlalu mempengaruhi struktur dan parameter kisi kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi metode Bridgman.
2. Dari hasil karakterisasi SEM untuk mengetahui morfologi permukaan, didapatkan bahwa kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sudah terbentuk, kristal yang terbentuk merupakan polikristal, ditunjukkan dengan morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ pada sampel I dan III yang tersusun atas butiran-butiran yang menunjukkan keseragaman bentuk, struktur, dan warna butiran. Berdasarkan hasil karakterisasi EDS didapatkan komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi variasi waktu pemanasan sampel I terdapat unsur Sn = 50,03%, Se = 41,24 %, dan Te = 8,72 %.

Sedangkan untuk sampel III terdapat unsur Sn = 57,30 %, Se = 8,29%, dan Te = 34,41 %.

B. Saran

Untuk meningkatkan kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dalam proses preparasi bahan untuk aplikasi sel surya disarankan beberapa hal diantaranya yaitu:

1. Untuk mendapatkan komposisi kimia yang sesuai dengan perbandingan molnya, pemvakuman harus dikontrol dengan teliti, sehingga terhindar dari adanya pencampuran dengan unsur-unsur lain.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ terutama pada variasi lama waktu pemanasan, karena pada penelitian ini hasil dari EDS masih kurang begitu baik. Perlu dilakukan penelitian tentang konduktivitas, daya serap terhadap cahaya, maupun *energy gap* sehingga diperoleh informasi yang lebih banyak tentang bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2016). *Selenium*. Diakses dari <https://www.webelements.com/selenium/> pada tanggal 20 Desember 2016, pukul 14.57 WIB.
- Anonim. (2016). *Stannum*. Diakses dari http://www.webelements.com/tin/tin_telluride.html pada tanggal 20 Desember 2016, pukul 15.00 WIB.
- Anonim. (2016). *Tin Tellurium*. Diakses dari <https://www.webelements.com/tin/> pada tanggal 20 Desember 2016, pukul 15.00 WIB.
- Ariswan. (2014). *Fisika Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2015). *Semikonduktor. Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Beiser, Arthur. (1992). *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Willey Publishing Company Inc.
- Hardjono. (2012). *Kristal, Publikasi Ilmiah*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kittel, Charles. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. 8th.ed. New York: John Willey and Sons, Inc.

- Muhammad Hidayat. (2012). *Sistem Kristal Orthorhombic*. Diakses dari <http://www.materialcerdas.wordpress.com/SistemKristalOrthorhombic.ht> pada tanggal 13 Februari 2017, jam 21.00 WIB.
- Muhammad Anshori. (2016). Pengaruh Temperatur Pemanasan pada Kualitas Kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$ Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Muhammad Ali Mukti. (2009). Studi Tentang Struktur Kristal Bahan Semikonduktor $\text{Cd}(\text{Se}_{0.2}\text{S}_{0.8})$ dan $\text{Cd}(\text{Se}_{0.5}\text{S}_{0.5})$ Dengan Variasi Suhu Furnace Pada Metode Bridgman. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nyoman Suwitro. (1989). *Pengantar Fisik Zat Padat*. Jakarta: Dekdikbud.
- O.E Ogah,G. Zoppi,I. Forbes, R.W. Milles.2008, *Properties of Thin Films of Tin Sulphide Produced Using The Termal Evaporation Method*. 3rd European Phovoltaic Solar Energy Conference, September 2008.
- Parno. (2006). *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM
- Reka Rio s. & Masamori Lida. (1982). *Fisika dan Teknologi Fisika*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Smallman, R. E. & Bishop, R. J. (1999). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering Science, process, applications Sixth Edition*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Thomas Sri Widodo. (2002). *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Vlack, Van. (2004). *Elemen-Elemen Ilmu dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.

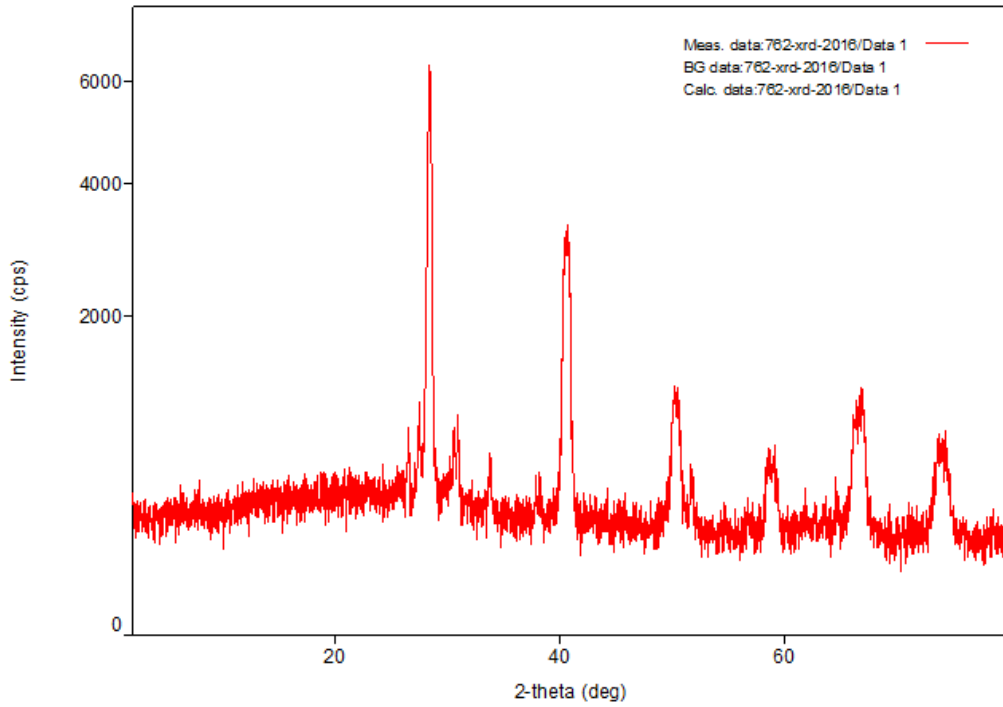
Wahyu Lestari. (2016). Preparasi dan Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S_{0,5}Te_{0,5})
dengan Teknik Evaporasi Vakum. *Skripsi*. Yogyakarta: UNY

LAMPIRAN

A. Hasil Karakterisasi dan Perhitungan

1. Lampiran I. Hasil XRD

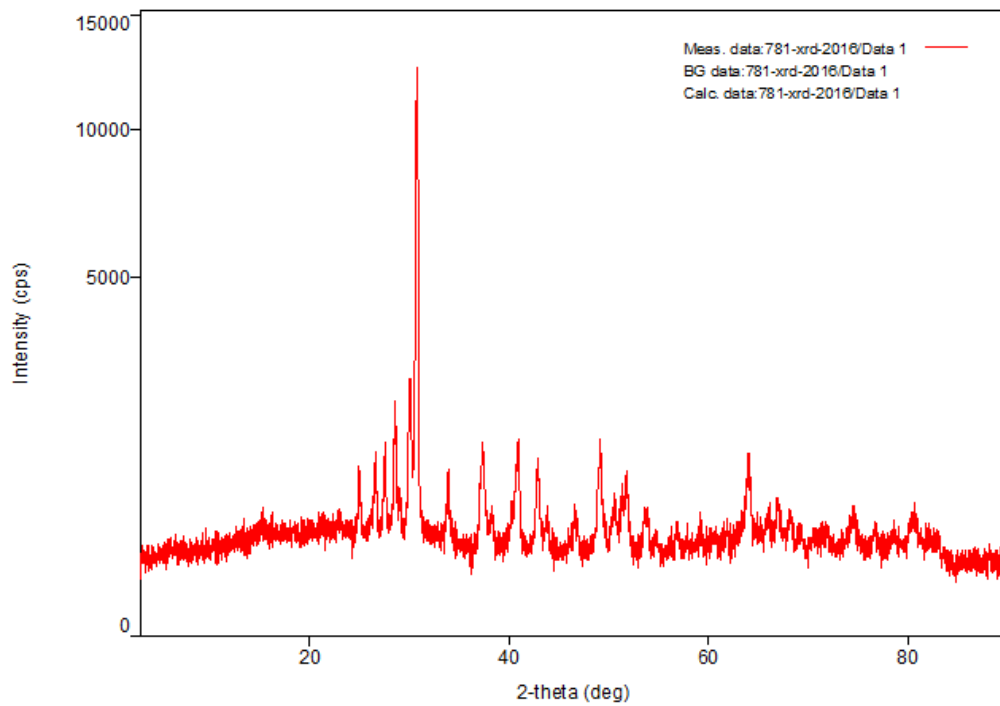
a. Hasil XRD Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) pada sampel I



Peak list

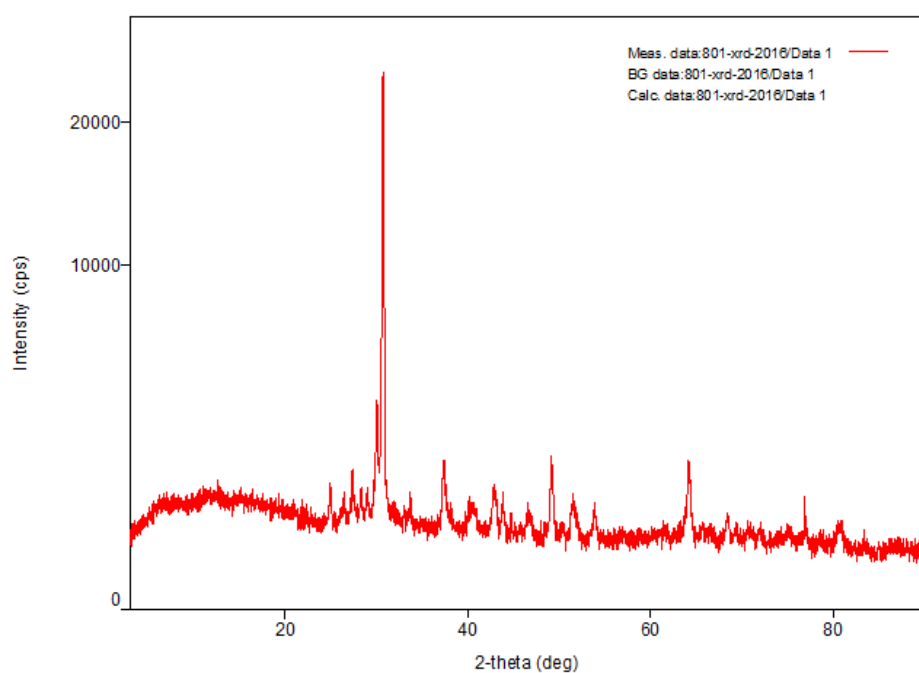
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	27.46(3)	3.246(4)	334(53)	0.23(3)	86(10)	0.26(7)	1.0(5)
2	28.409(8)	3.1392(9)	4076(184)	0.410(6)	1892(29)	0.46(3)	1.39(10)
3	30.957(10)	2.8864(9)	358(55)	0.28(3)	199(14)	0.56(12)	5(5)
4	40.602(12)	2.2202(7)	2101(132)	0.630(9)	1442(22)	0.69(5)	1.10(7)
5	50.34(4)	1.8111(13)	644(73)	0.77(4)	654(19)	1.01(14)	1.3(3)
6	58.82(5)	1.5686(13)	274(48)	0.86(4)	251(14)	0.9(2)	1.0(2)
7	66.70(4)	1.4011(7)	566(69)	1.08(3)	675(19)	1.19(18)	1.38(18)
8	73.92(3)	1.2811(4)	328(52)	1.24(3)	434(14)	1.3(3)	0.90(7)

b. Hasil XRD Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) pada sampel II



Peak list							
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym_factor
1	24.94(3)	3.568(4)	365(55)	0.25(2)	97(10)	0.27(7)	0.7(3)
2	26.593(6)	3.3492(8)	553(68)	0.21(2)	169(9)	0.31(5)	3(2)
3	27.52(3)	3.238(3)	594(70)	0.23(2)	184(9)	0.31(5)	1.3(7)
4	28.52(3)	3.127(3)	1149(98)	0.23(3)	404(14)	0.35(4)	0.8(5)
5	30.029(12)	2.9734(12)	1317(105)	0.300(14)	483(18)	0.37(4)	1.03(15)
6	30.742(5)	2.9060(5)	8975(273)	0.222(4)	2431(29)	0.271(12)	1.64(15)
7	33.85(3)	2.646(2)	503(65)	0.20(5)	167(9)	0.33(6)	1.1(9)
8	37.28(2)	2.4100(15)	636(73)	0.46(2)	308(12)	0.49(7)	0.81(16)
9	38.27(2)	2.3502(12)	162(37)	0.43(7)	74(9)	0.45(16)	3(3)
10	40.800(18)	2.2099(9)	726(78)	0.38(3)	420(14)	0.58(8)	0.9(2)
11	42.86(3)	2.1084(13)	584(70)	0.32(3)	237(10)	0.41(7)	1.7(8)
12	43.797(17)	2.0654(8)	170(38)	0.23(4)	49(6)	0.29(10)	2.5(19)
13	46.55(8)	1.949(3)	152(36)	0.49(6)	87(11)	0.6(2)	0.8(5)
14	49.03(3)	1.8566(9)	614(72)	0.44(2)	299(15)	0.49(8)	0.71(16)
15	50.60(4)	1.8025(15)	213(42)	0.40(5)	96(9)	0.45(13)	4(3)
16	51.78(4)	1.7640(13)	347(54)	0.78(4)	307(17)	0.88(19)	4.6(16)
17	63.964(17)	1.4543(3)	723(78)	0.27(3)	343(12)	0.47(7)	1.1(4)
18	66.93(5)	1.3968(9)	144(35)	0.8(2)	255(22)	1.8(6)	1.2(9)
19	80.30(15)	1.1946(19)	126(32)	0.81(19)	158(16)	1.3(4)	0.4(4)

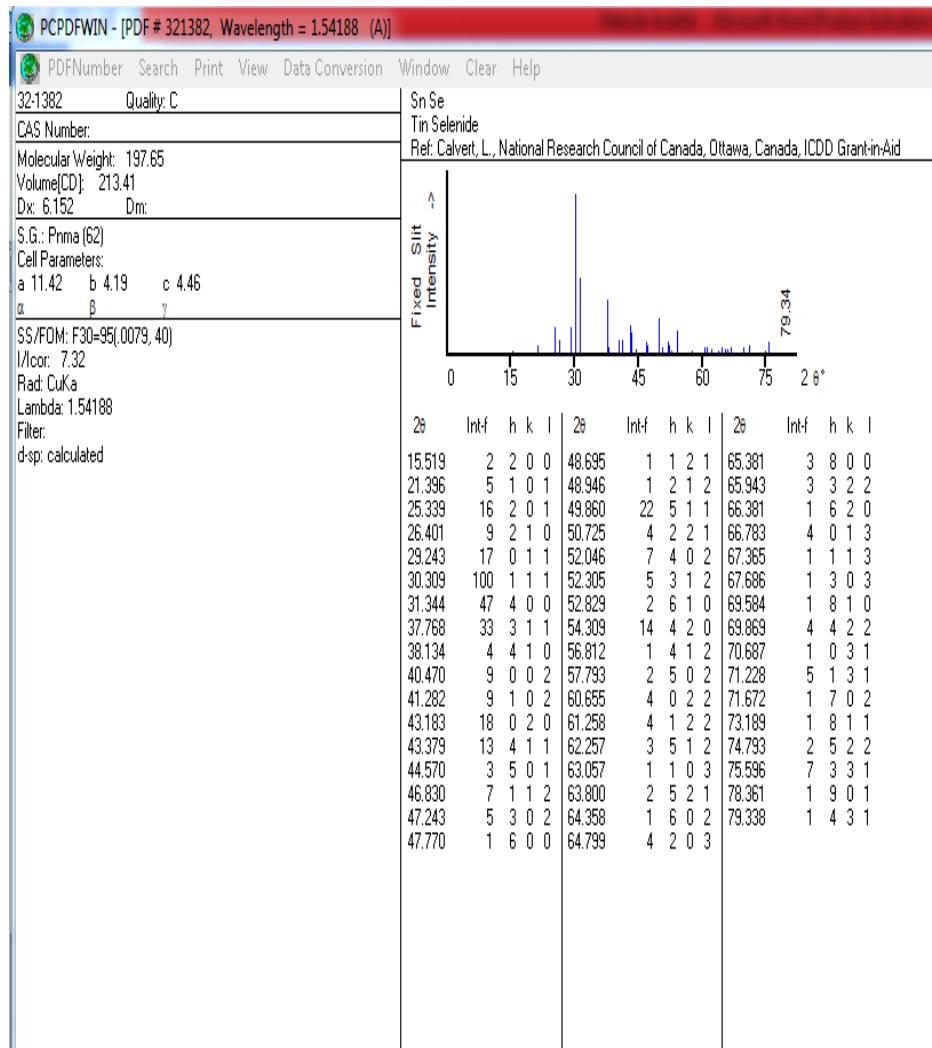
c. Hasil XRD Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) pada sampel III



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.92(4)	3.570(5)	346(54)	0.24(3)	90(13)	0.26(8)	1.4(8)
2	27.38(3)	3.255(3)	606(71)	0.19(4)	152(17)	0.25(6)	3(2)
3	29.986(11)	2.9775(11)	1818(123)	0.217(11)	492(17)	0.27(3)	0.94(17)
4	30.694(4)	2.9105(4)	17499(382)	0.185(3)	4065(35)	0.232(7)	1.43(12)
5	37.32(2)	2.4075(13)	862(85)	0.31(3)	396(17)	0.46(6)	1.3(4)
6	42.84(4)	2.1092(18)	443(61)	0.46(3)	215(17)	0.49(10)	0.9(3)
7	43.82(5)	2.064(2)	292(49)	0.26(4)	81(10)	0.28(8)	1.7(13)
8	46.53(8)	1.950(3)	186(39)	0.51(6)	101(15)	0.5(2)	0.5(3)
9	49.16(3)	1.8519(9)	937(88)	0.31(2)	360(14)	0.38(5)	1.7(6)
10	51.359(19)	1.7776(6)	317(51)	0.56(5)	189(22)	0.60(17)	0.4(2)
11	64.12(2)	1.4511(4)	994(91)	0.31(3)	426(16)	0.43(6)	0.8(2)
12	76.880(12)	1.23903(16)	311(51)	0.16(3)	68(9)	0.22(7)	0.7(8)
13	80.45(3)	1.1928(4)	172(38)	0.61(7)	127(13)	0.7(2)	0.2(2)

2. Lampiran 2. Tabel JCPDS untuk SnSe



3. Lampiran 3. Perhitungan parameter kisi dengan metode analitik

Perhitungan parameter kisi sampel $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan menggunakan metode analitik. Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ identik dengan kristal SnSe dan SnTe . Kristal SnS mempunyai struktur *orthorhombic* dan kristal SnTe mempunyai stuktur *cubic* . Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ lebih condong kepada kristal SnSe . Jarak antar bidang struktur *orthorhombic* dihitung dengan persamaan :

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

Persamaan hukum *Bragg*:

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

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4d^2} \quad (3)$$

Mensubstitusikan persamaan (1) kepersamaan (3) menjadi:

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

$$\text{Dimisalkan : } A = \frac{\lambda^2}{4a^2}; B = \frac{\lambda^2}{4b^2}; C = \frac{\lambda^2}{4c^2}$$

Sehingga dapat ditulis:

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

Maka parameter kisi a , b , dan c dapat ditulis :

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}}; b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}; c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}}$$

1. Sampel pertama kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})

Table 1. perbandingan antara XRD penelitian material Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) sampel pertama dengan data JCPDS bahan SnSe

Material: Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) Radiasi : CuK_α λ_{Kα} : 1.54188 Å

Peak	Sn(Se _{0,6} Te _{0,4}) sampel 1	JCPDS SnSe	hkl
	2θ	2θ	
1	30,957	30,309	111
2	40,602	40,47	002
3	50,34	50,725	221
4	66,70	66,783	013
5	73,92	73,189	811

Perhitungan parameter kisi untuk sampel pertama dipilih pada sudut 40,602 (002), 50,34 (221), dan 66,70 (013).

a. Untuk 2θ = 40,602 (002)

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

$$\sin^2 \frac{40,602}{2} = A \times 0 + B \times 0 + C \times 4$$

$$\sin^2(20,301) = C \times 4$$

$$0,1203 = 4C$$

$$C = 0,030$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}}$$

$$c = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,030}}$$

$$c = \sqrt{\frac{2,3773}{0,1203}}$$

$$c = \sqrt{19,749}$$

$$c = 4,44\text{\AA}$$

b. Untuk $2\theta = 66,381$ (013)

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

$$\sin^2 \frac{66,70}{2} = A \times 0 + B \times 1 + C \times 9$$

$$\sin^2(33,35) = B + 9C$$

$$\sin^2(33,35) = B + 9(0,030)$$

$$0.3022 = B + 9(0,030)$$

$$B = 0,031$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}$$

$$b = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,031}}$$

$$b = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,030}}$$

$$b = \sqrt{\frac{2,3773}{0,1255}}$$

$$b = \sqrt{18,93} = 4,35 \text{ \AA}$$

c. Untuk $2\theta = 50,34$ (221)

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

$$\sin^2 \frac{50,34}{2} = A \times 4 + B \times 4 + C \times 1$$

$$\sin^2(33,35) = 4A + 4B + C$$

$$0,18084 = 4A + 4(0,031) + 0,030$$

$$0,180 = 4A + 0,125 + 0,030$$

$$4A = 0,025$$

$$A = 0,006$$

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

$$a = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,006}}$$

$$a = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,030}} ; a = 11,17$$

Tabel 2. Hasil perbandingan parameter kisi perhitungan dengan JCPDS

parameter kisi	alur pemanasan sampel I	JCPDS SnSe
<i>a</i>	11,17 Å	11,42 Å
<i>b</i>	4,306 Å	4,19 Å
<i>c</i>	4,444 Å	4,46 Å
Struktur	<i>Orthorhombic</i>	<i>Orthorhombic</i>

2. Sampel kedua kristal Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})

Tabel 3. Perbandingan antara XRD penelitian material Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) sampel kedua dengan data JCPDS bahan SnSe.

Material: Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) Radiasi : CuK_α λ_{Kα}: 1,54188 Å

Peak	Sn(Se _{0,6} Te _{0,4})s sampel II	SnSe JCPDS	hkl
	2θ	2θ	
1	30,029	30,309	111
2	37,28	37,768	311
3	40,800	40,470	002
4	43,797	43,379	411
5	49,03	49,860	511
6	50,60	50,725	221
7	63,694	63,800	521
8	66,93	66,381	620

Perhitungan parameter kisi untuk sampel kedua, dipilih pada sudut 30,029 (111), 37,28 (311), dan 40,800 (002).

a. Untuk 2θ = 30,029 (111)

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

$$\sin^2 \frac{30,029}{2} = A \times 1 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2(15,0145) = A + B + C$$

$$0,06711 = A + B + C$$

b. Untuk $2\theta = 37,28$ (311)

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

$$\sin^2 \frac{37,28}{2} = A \times 9 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2(18,64) = 9A + B + C$$

$$0,10215 = 9A + B + C$$

Mengeliminasi untuk persamaan pada poin (a) dan poin (b)

$$\begin{array}{r} 9A+B+C=0,10215 \\ A+B+C=0,06711 \\ \hline 8A=0,0350 \\ A=0,0043 \end{array}$$

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

$$a = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0043}}; a = 11,648 \text{ \AA}$$

c. Untuk $2\theta = 40,800$ (002)

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

$$\sin^2 \frac{40,800}{2} = A \times 0 + B \times 0 + C \times 4$$

$$\sin^2(20,400) = C \times 4$$

$$0,12150 = 4C$$

$$C = 0,03075 \text{ \AA}$$

Mensubsitusikan nilai A dan nilai C pada persamaan poin (a), sehingga didapatkan sebagai berikut:

$$0,06711 = A + B + C$$

$$0,06711 = 0,00438 + B + 0,03033$$

$$B = 0,03235$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}$$

$$b = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,03235}}$$

$$b = \sqrt{18,368} ; c = 4,285 \text{ \AA}$$

Tabel 4. Hasil perbandingan parameter kisi perhitungan dengan JCPDS

parameter kisi	alur pemanasan sampel I	JCPDS SnSe
<i>a</i>	11,648 \AA	11.42 \AA
<i>b</i>	4,285 \AA	4,19 \AA
<i>c</i>	4,423 \AA	4,46 \AA
Struktur	<i>Orthorhombic</i>	<i>Orthorhombic</i>

3. Sampel ketiga Sn(Se_{0,6}Te_{0,4})

Tabel 5. perbandingan antara XRD penelitian material Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) sampel ketiga dengan data JCPDS bahan SnSe.

Material: Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) Radiasi : CuK_α λ_{kα}: 1.54188 Å

Peak	Sn(Se _{0,6} Te _{0,4})sampel III	JCPDS SnSe	hkl
	2θ	2θ	
1	29,986	29,243	011
2	30,694	30,309	111
3	37,32	37,768	311
4	43,82	43,379	411
5	46,53	46,83	112
6	49,16	49,86	511
7	64,12	64,799	203

Perhitungan parameter kisi untuk sampel ketiga, dipilih pada sudut 29,986 (011), 43,82 (411), dan 64,12 (203).

a. Untuk 2θ = 29,986 (011)

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

$$\sin^2 \frac{29,986}{2} = A \times 0 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2(14,993) = B + C$$

$$0,06692 = B + C$$

b. Untuk $2\theta = 43,82$ (411)

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

$$\sin^2 \frac{43,82}{2} = A \times 16 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2(21,91) = 16A + B + C$$

$$0,1392 = 16A + B + C$$

Mengeliminasi untuk persamaan pada point (a) dan point (b)

$$\begin{array}{r} 16A+B+C=0,1392 \\ B+C=0,06699 \\ \hline 16A=0,0723 \\ A=0,00451 \end{array}$$

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

$$a = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,00451}}; a = 11,49 \text{ \AA}$$

c. Untuk $2\theta = 64,12$ (203)

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

$$\sin^2 \frac{64,12}{2} = A \times 4 + C \times 9$$

$$\sin^2(32,06) = 4A + 9C$$

$$0,2817 = 16(0,0045) + 9C$$

$$C = 0,0293$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}}$$

$$c = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0293}}$$

$$c = \sqrt{20,284}; c = 4,50\text{\AA}$$

Mensubsitusikan nilai C pada poin (a) untuk mencari nilai B . Maka akan terlihat seperti berikut:

$$0,06711 = B + 0,0293$$

$$B = 0,0369$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}$$

$$b = \sqrt{\frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0369}}; b = 4,0100\text{\AA}$$

Tabel 6. Hasil perbandingan parameter kisi perhitungan dengan JCPDS

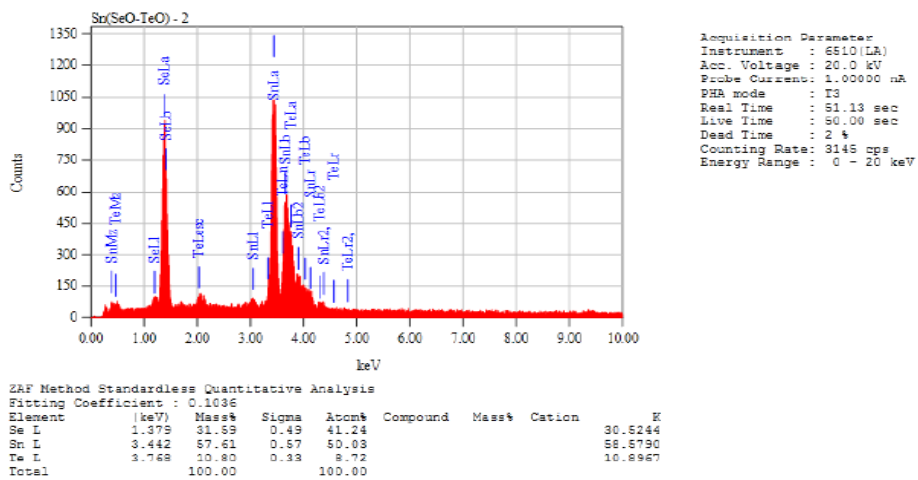
parameter kisi	alur pemanasan sampel I	JCPDS SnSe
a	11.49Å	11.42 Å
b	4.010Å	4.19 Å
c	4.50Å	4.46 Å
Struktur	<i>Orthorhombic</i>	<i>Orthorhombic</i>

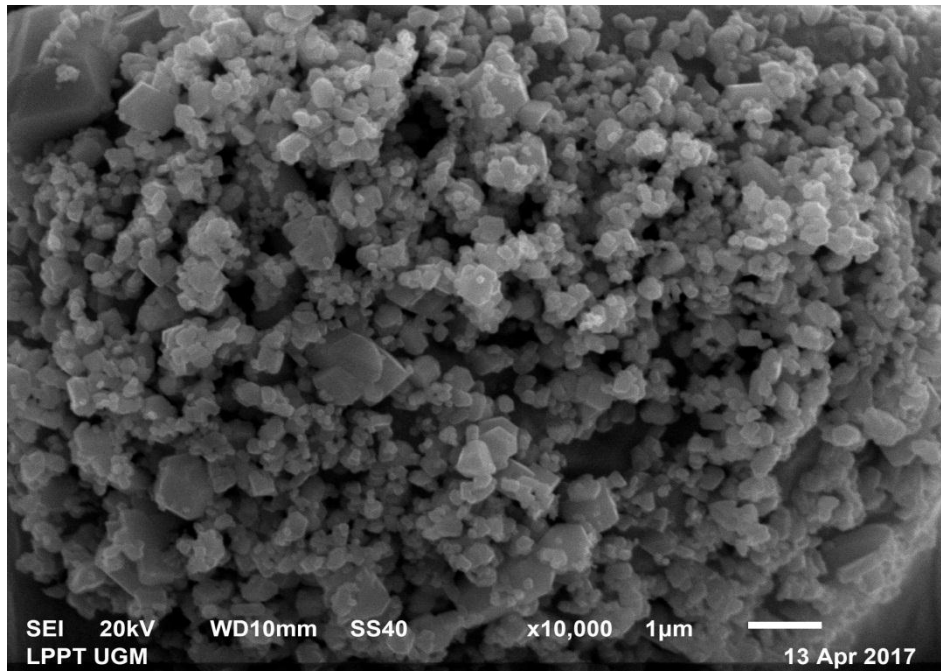
Table 7. nilai perbandingan parameter kisi kristal Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) hasil preparasi dengan metode Bridgman terhadap JCPDS SnSe

Parameter kisi	Sampel			JCPDS SnSe
	sampel I	sampel II	sampel III	
<i>a</i>	11,17 Å	11,64 Å	11,49 Å	11,42 Å
<i>b</i>	4,306 Å	4,285 Å	4,01 Å	4,19 Å
<i>c</i>	4,444 Å	4,423 Å	4,5 Å	4,46Å

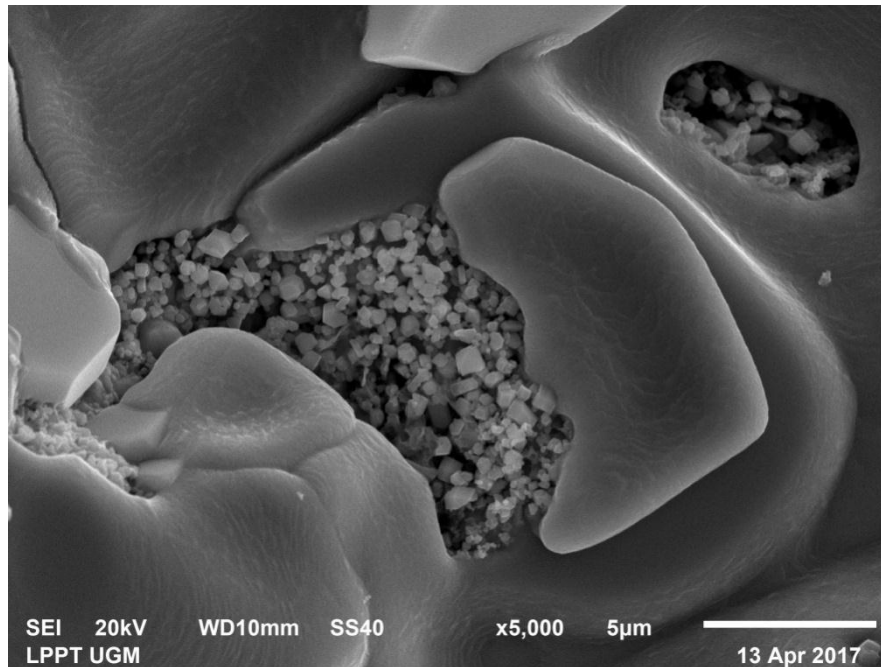
4. Lampiran 4. Hasil Karakterisasi SEM dan EDS

1. Hasil SEM EDS untuk sampel I kristal Sn(Se_{0.6}Te_{0.4})



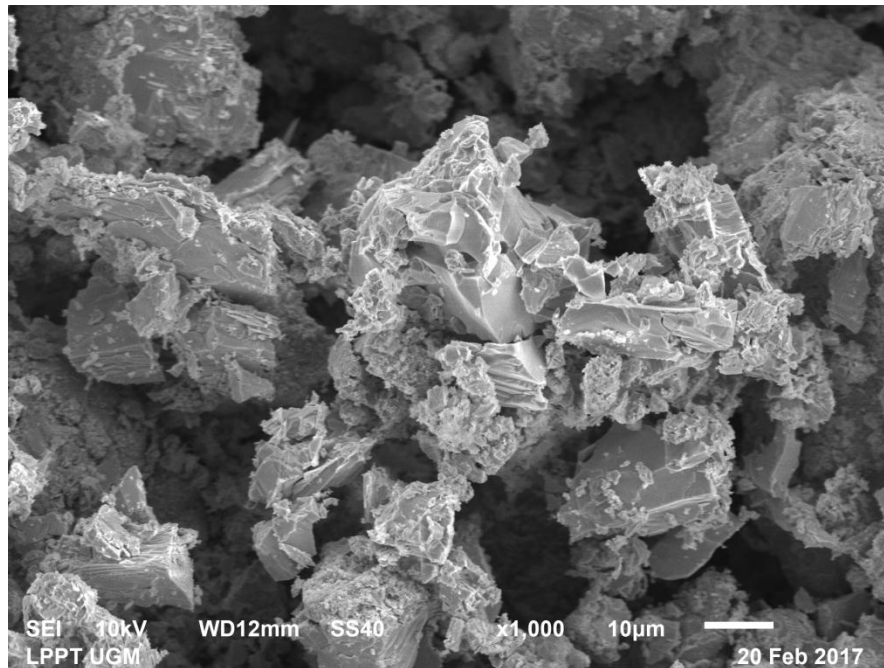
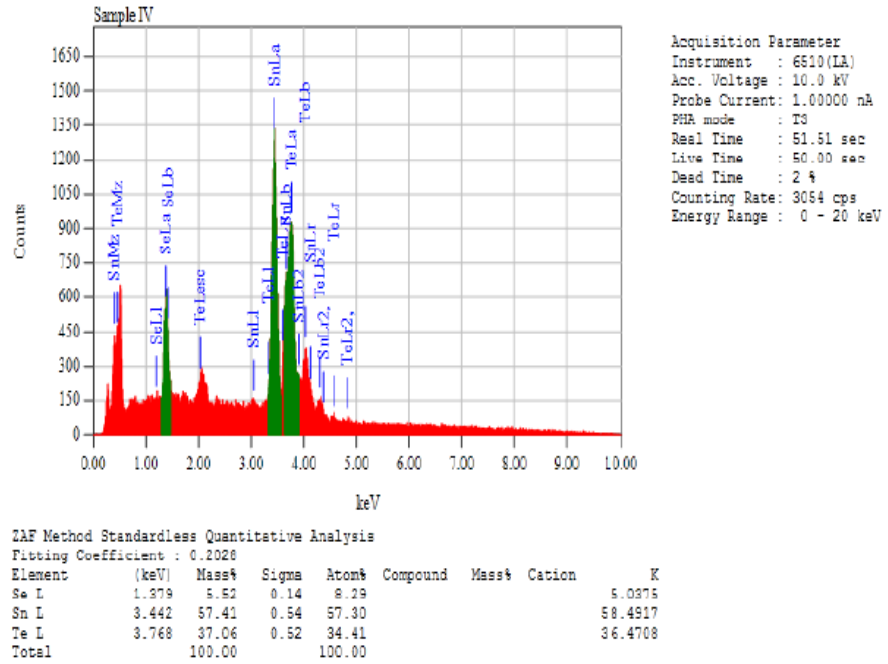


Gambar 1. Foto morfologi permukaan kristal Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) sampel I hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 10.000 kali.

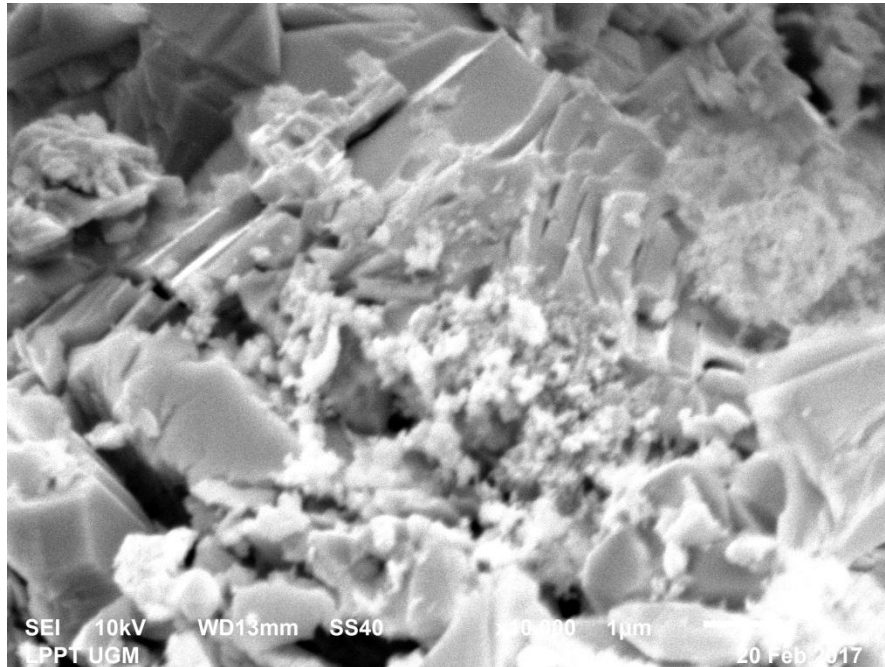


Gambar 2. Foto morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel I hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 5.000 kali.

2. Hasil SEM untuk sampel III kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$



Gambar 3. Foto morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel III hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 1000 kali.



Gambar 4. Foto morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel III hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 10.000 kali.

B. Dokumentasi Penelitian



Timbangan Bahan



Furnace

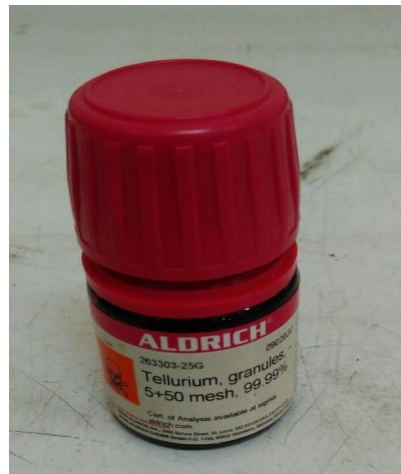


Alat vakum

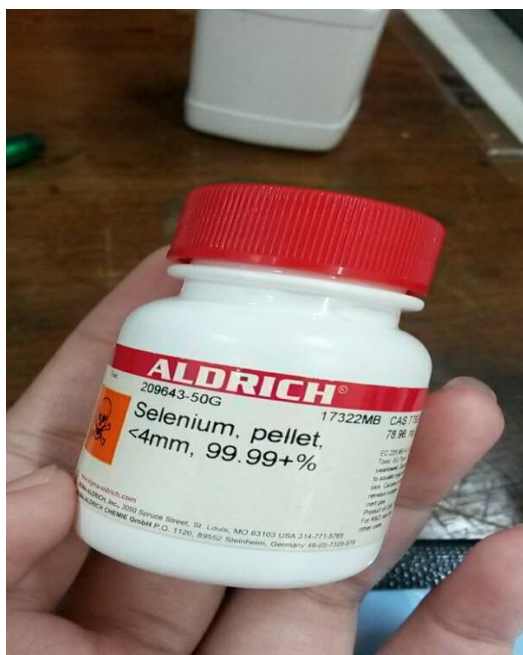


Bahan (Sn)

Mortar



Bahan (Te)



Bahan (Se)