

**STRUKTUR, KOMPOSISI KIMIA, DAN MORFOLOGI PERMUKAAN
BAHAN SEMIKONDUKTOR PADUAN $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ DENGAN VARIASI
LAMA PEMANASAN HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK
BRIDGMAN**

SKRIPSI

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



Disusun oleh :

DESI INDAH ANJARKUSUMA

NIM. 13306144001

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

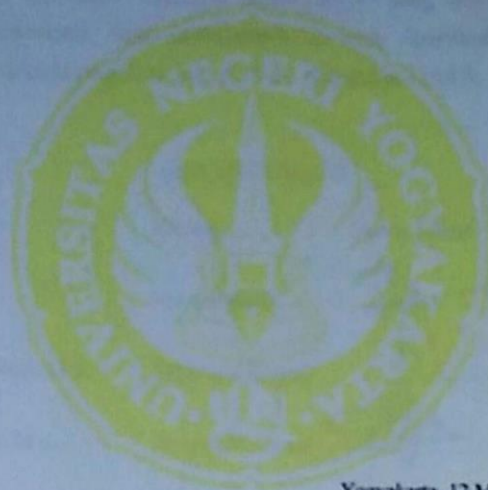
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2017

PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul "Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{1-x}\text{Te}_x)_2$ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman" yang disusun oleh Desi Indah Anjarkusuma, NIM 13306144001 telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 12 Mei 2017

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



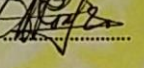
Dr. Ariawan, M.Si, DEA

NIP. 19590914 198803 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "STRUKTUR, KOMPOSISI KIMIA DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN SEMIKONDUKTOR PADUAN $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ DENGAN VARIASI LAMA PEMANASAN HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK BRIDGMAN" yang disusun oleh Desi Indah Anjarkusuma, NIM 13306144001 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 12 Juni 2017 dan dinyatakan LULUS.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Ariswan	Ketua Penguji		20-06-2017
Nur Kadarisman, M.Si	Sekretaris Penguji		20-06-2017
Dr. Warsono, M.Si	Penguji (I) Utama		19-06-2017

Yogyakarta, 21 Juni 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

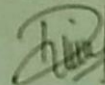
SURAT PERNYATAAN

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, 17 Mei 2017

Yang menyatakan,



Desi Indah Anjarkusuma

NIM. 13306144001

MOTTO

"Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan" (QS.

Al-Insyirah : 5-6)

*"Mengeluh bukanlah jalan keluar yang dapat membawa kita menuju
pintu kesuksesan"*

*"Manusia bisa berencana, tapi Allah-lah penentu semua rencana
kita, maka berdoa dan memohonlah pada-Nya, karena Dia-lah
maha segalanya. Dan kekuatan dari segala kekuatan adalah Doa"*

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

- ✚ Allah SWT yang selalu menjadi tempat saya meminta, memohon, berdoa, berkeluh kesah, dan bersyukur atas segala kemudahan yang diberikan sehingga saya bisa mengerjakan skripsi ini dengan lancar.
- ✚ Bapak dan Ibu saya yang selalu mendoakan, mendukung, dan menyemangati saya terus-menerus. Terimakasih untuk semua pengorbanan kalian.. I LOVE YOU ☺
- ✚ Untuk pembimbing skripsi saya, bapak Ariswan dan bapak Hartono selaku teknisi. Terimakasih bapak sudah mau mengarahkan dan membimbing skripsi saya dengan sangat sabar.
- ✚ Buat semua keluarga dan saudara-saudara yang juga terus mendoakan dan mendukung saya untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
- ✚ Buat teman-teman massif dan lapisan tipis : lala, iin, aulia, zainal, fani, vina, dan wida. Terimakasih sudah mau berjuang bersama.
- ✚ Buat sahabat-sahabatku widya, ifah, fadil, geng “UNEG-UNEG”, dan Brass MB CDB UNY yang selalu menyemangati, membantu selama ini proses skripsiku, menghiburku, dan selalu mengingatkan untuk segera menyelesaikan skripsinya. :*
- ✚ Buat temen-temen di MB CDB UNY, kelompok KKN, dan arin (remaja di tempat KKN) terimakasih untuk semangatnya dan terimakasih sudah selalu mengingatkan untuk segera menyelesaikan skripsinya.
- ✚ Buat semua anak-anak FISIKA E 2013, terimakasih sudah menemani selama kurang lebih 4 tahun ini. Sukses selalu untuk kita semua. Semoga selalu terjaga silaturahmi dan komunikasinya ☺

**STRUKTUR, KOMPOSISI KIMIA DAN MORFOLOGI PERMUKAAN
BAHAN SEMIKONDUKTOR PADUAN Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) DENGAN VARIASI
LAMA PEMANASAN HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK
BRIDGMAN**

Oleh
Desi Indah Anjarkusuma
NIM. 13306144001

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur kristal dan komposisi kimia dari bahan semikonduktor Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}). Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah lama waktu pemanasannya, agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}).

Metode yang digunakan dalam proses penumbuhan kristal pada penelitian ini adalah metode Bridgman. Pada penelitian ini, proses penumbuhan kristal dilakukan dengan memanaskan bahan Sn, Se, dan Te dengan perbandingan molaritasnya adalah 1 : 0,4 : 0,6. Pemanasan bahan semikonduktor Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) dilakukan dengan lama waktu pemanasan untuk sampel 1 selama 15 jam, untuk sampel 2 selama 17 jam, untuk sampel 3 selama 21 jam, dan untuk sampel 4 selama 23 jam. Pemanasan kristal dilakukan dengan dua suhu yaitu 300°C dan 600°C. Kristal hasil preparasi kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction*, *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray*.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa kristal bahan semikonduktor Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) yang terbentuk memiliki struktur *cubic*, dengan parameter kisi untuk alur pemanasan sampel I adalah $a = 6,3104 \text{ \AA}$, alur pemanasan sampel II diperoleh parameter kisi $a = 6,2892 \text{ \AA}$, alur pemanasan sampel III diperoleh parameter kisi $a = 6,2684 \text{ \AA}$, dan alur pemanasan untuk sampel IV diperoleh parameter kisi $a = 6,2684 \text{ \AA}$. Berdasarkan hasil XRD, sampel III menunjukkan intensitas yang paling tinggi dapat dilihat dari hasil *difraktogram* dan nilai parameter kisi yang lebih dekat dengan JCPDS SnTe. Hasil EDAX diperoleh perbandingan mol Sn, Se, dan Te adalah 1 : 0,4 : 0,6.

Kata kunci: Struktur Kristal, Morfologi dan Komposisi Kimia, Metode Bridgman, Karakterisasi (XRD, SEM, EDAX), dan Kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}).

**STRUCTURE, COMPOSITION OF CHEMICAL AND MORPHOLOGY
SURFACE SEMICONDUCTOR MATERIALS Sn (Se_{0,4}Te_{0,6}) WITH LONG
VARIATION OF PREPARATION RESULTS WITH BRIDGMAN
TECHNIQUES**

By

Desi Indah Anjarkusuma

NIM 13306144001

ABSTRACT

The purpose of this research is to know the crystal structure and chemical composition of semiconductor material Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}). The variation used in this research is the length of heating time, in order to know the effect on the crystalline Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}).

The method used in the crystal growing process in this study is the Bridgman method. In this study, the crystalline process was carried out by heating the Sn, Se, and Te materials with a molarity ratio of 1: 0.4: 0.6. The heating of the semiconducting material Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) was carried out with the heating time for sample 1 for 15 hours, for sample 2 for 17 hours, for sample 3 for 21 hours, and for sample 4 for 23 hours. Heating the crystals is done with two temperatures of 300°C and 600°C. The resultant crystals were then characterized using X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Analysis of X-Ray.

The result of XRD characterization showed that the crystallized semiconductor material Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) formed with cubic structure, with lattice parameter for sample heating flow I is $a = 6,3104 \text{ \AA}$, sample heating grid II obtained lattice parameter $a = 6,2892 \text{ \AA}$, the sample heating flow III obtained lattice parameters $a = 6,2684 \text{ \AA}$, and the heating flow for sample IV obtained lattice parameter $a = 6,2684 \text{ \AA}$. Based on XRD results, sample III shows the highest intensity can be seen from the results of diffractogram and grid parameter values Which is closer to JCPDS SnTe. The results of EDAX obtained by the mole ratio Sn, Se, and Te are 1: 0.4: 0.6.

Keywords: Crystal Structure, Morphology and Chemical Composition, Bridgman Method, Characterization (XRD, SEM, EDAX), and Sn Crystal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}).

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Struktur, Komposisi Kimia, dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor Paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Variasi Lama Pemanasan Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman”**. Shalawat serta salam juga tidak lupa selalu tercurahkan kepada Nabi Agung kita, Nabi Muhammad SAW.

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada program studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

Penulisan skripsi ini dapat terselesaikan atas dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulisan mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberi izin penelitian.
3. Nur Kadarisman, M.Si selaku Kaprodi Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah menyetujui penelitian ini.

4. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan dan mengarahkan dalam penulisan skripsi hingga terselesaikannya karya ini.
5. Bapak Hartono yang selalu sabar mendampingi selama mengambil data penelitian.
6. Dosen-dosen penguji yang telah mau meluangkan waktunya untuk memberikan masukan pada skripsi ini.
7. Bapak dan Ibu saya yang sudah memberikan doa dan dukungannya selalu.
8. Teman-teman seperjuangan (Lala, Iin, Aulia, Zainal, Fani, Vina, Wida) terimakasih atas bantuannya.
9. Teman-teman kelas Fisika E 2013 dan MB CDB UNY terimakasih untuk dukungannya selama ini.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam proses skripsi ini yang tidak bisa saya tuliskan satu persatu.

Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan, untuk itu penulis tidak menutup adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 12 Mei 2017
Penulis,

Desi Indah Anjarkusuma
NIM. 13306144001

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
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.Zat Padat.....	9
1. Struktur Kristal	11
2. Indeks Miller	14
3. Sistem Kristal Kubik	15
4. Ketidaktepatan pada Kristal.....	17
B.Semikonduktor	19
1. Semikonduktor Intrinsik.....	22

2. Semikonduktor Ekstrinsik	24
C. Bahan Semikonduktor Sn(Se _{0,4} Te _{0,6})	28
1. Sn (<i>Stannum</i>)	28
2. Se (<i>Selenium</i>).....	29
3. Te (<i>Tellurium</i>)	29
4. Campuran SnTe (<i>Stannum Tellurium</i>).....	30
5. Campuran SnSe (<i>Tin Selenium</i>)	31
6. Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6})	32
D. Metode Bridgman.....	32
E. Karakterisasi Kristal.....	35
1. Analisis X – Ray Diffraction (XRD)	35
2. Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM).....	40
3. Analisis Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX).....	41
BAB III	44
METODE PENELITIAN	44
A. Waktu dan Tempat Penelitian	44
1. Waktu Penelitian	44
2. Tempat Penelitian	44
B. Variabel Penelitian	45
1. Variabel Bebas.....	45
2. Variabel Terikat.....	45
3. Variabel Kontrol.....	45
C. Bahan dan Alat Penelitian	45
1. Bahan Penelitian	45
2. Alat–Alat Penelitian	47
D. Langkah Penelitian.....	49
1. Tahap Persiapan Preparasi.....	49
2. Tahap Preparasi	52
3. Karakterisasi Bahan Semikonduktor (Se _{0,4} Te _{0,6}).....	57
E. Teknik Analisis Data.....	58
F. Tahap Pelaksanaan Penelitian	59

BAB IV	60
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	60
Hasil Penelitian	60
1. Analisis Struktur Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) dengan XRD	61
2. Pengaruh Lama Waktu Pemanasan terhadap Struktur dan Parameter Kisi Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}).....	69
3. Karakterisasi Morfologi Permukaan Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) dengan SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	72
4. Analisis Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)	75
BAB V	79
KESIMPULAN DAN SARAN	79
A. Kesimpulan	79
B. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Susunan Atom Kristal, Polikristal, dan Amorf	10
Gambar 2. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal	11
Gambar 3. Empat Belas Kisi Bravais	13
Gambar 4. Penentuan Suatu Bidang dengan Indeks Miller	14
Gambar 5. Kubus Sederhana, <i>Body Centered Cubic</i> , dan <i>Face Centered Cubic</i>	16
Gambar 6. Cacat Titik pada Kristal	18
Gambar 7. Cacat Garis pada Kristal	18
Gambar 8. Struktur Pita Energi pada Konduktor, Isolator, dan Semikonduktor	20
Gambar 9. Struktur Pita Energi pada Semikonduktor	22
Gambar 10. Semikonduktor Intrinsik, Skema Diagram Pita, Rapat Keadaan, Fungsi Distribusi Fermi, dan Konsentrasi Pembawa	24
Gambar 11. Semikonduktor ekstrinsik, skema diagram pita, rapat keadaan, Fungsi distribusi Fermi, dan konsentrasi pembawa	25
Gambar 12. Unsur <i>Stannum</i> (Sn)	28
Gambar 13. Unsur <i>Selenium</i> (Se)	29
Gambar 14. Unsur <i>Tellurium</i> (Te)	30
Gambar 15. Kristal SnTe	31
Gambar 16. Struktur <i>Tin Selenide</i>	32
Gambar 17. Diagram sinar-X	36
Gambar 18. Spektrum radiasi sinar-X kontinyu dan diskret	37

Gambar 19. Diffraksi Bragg	38
Gambar 20. Skema dasar SEM	41
Gambar 21. Grafik Alur Pemanasan Bahan Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) dengan Waktu Pemanasan Total 21 jam	53
Gambar 22. Grafik Alur Pemanasan Bahan Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) dengan Waktu Pemanasan Total 17 jam	54
Gambar 23. Grafik Alur Pemanasan Bahan Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) dengan Waktu Pemanasan Total 15 jam	55
Gambar 24. Grafik Alur Pemanasan Bahan Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) dengan Waktu Pemanasan Total 23 jam	56
Gambar 25. Diagram Alir Tahapan Penelitian	59
Gambar 26. <i>Difraktogram Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Massif Sampel 1</i>	62
Gambar 27. <i>Difraktogram Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Massif Sampel 2</i>	62
Gambar 28. <i>Difraktogram Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Massif Sampel 3</i>	63
Gambar 29. <i>Difraktogram Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Massif Sampel 4</i>	63
Gambar 30. Perbandingan <i>Difraktogram Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Massif</i> Sampel 1, Sampel 2, Sampel 3, dan Sampel 4	64
Gambar 31. Foto Morfologi Permukaan Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Sampel 1	73
Gambar 32. Foto Morfologi Permukaan Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Sampel 3	74
Gambar 33. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) pada Sampel 1	76
Gambar 34. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) pada Sampel 3	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais	12
Tabel 2. Perbandingan Hasil XRD Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Sampel 1 dengan JCPDS SnTe	66
Tabel 3. Perbandingan Hasil XRD Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Sampel 2 dengan JCPDS SnTe	67
Tabel 4. Perbandingan Hasil XRD Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Sampel 3 dengan JCPDS SnTe	67
Tabel 5. Perbandingan Hasil XRD Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Sampel 4 dengan JCPDS SnTe	68
Tabel 6. Parameter Kisi Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) pada Sampel 1, 2, 3, dan 4 Dibandingkan dengan JCPDS SnTe	70
Tabel 7. Parameter Kisi Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) pada Sampel 1, 2, 3, dan 4 Dibandingkan dengan JCPDS SnTe	77
Tabel 8. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 1 terhadap JCPDS SnTe	84
Tabel 9. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 2 terhadap JCPDS SnTe	85
Tabel 10. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 3 terhadap JCPDS SnTe	86
Tabel 11. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 4 terhadap JCPDS SnTe	87

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Parameter Kisi Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$	83
Lampiran 2. Data Hasil Karakterisasi dengan Menggunakan XRD	88
Lampiran 3. JCPDS SnTe	96
Lampiran 4. Gambar Alat dan Bahan	97

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Industri elektronik merupakan industri yang paling pesat kemajuannya. Perkembangan teknologi pembuatan alat-alat elektronik juga semakin meningkat. Salah satu teknologi yang berkembang secara pesat yaitu optoelektronika. Semua alat elektronik membutuhkan semikonduktor sebagai komponen dasar. Penerapan Optoelektronika dapat ditemukan sehari-hari untuk berbagai *remote control*, piranti penampil LED dan LCD, *optocoupler*, hingga sistem transmisi serat optik. Bahan dasar pembuatan peralatan elektronik maupun optoelektronik adalah silikon dan germanium, karena kedua bahan tersebut mudah didapatkan dan harga relatif murah. Temuan beberapa komponen semikonduktor memecahkan persoalan elektronika, sehingga berkembang piranti elektronika. Dalam perkembangan teknologi yang berbasis elektronika, dibutuhkan material dasar berkualitas tinggi sesuai tujuan aplikasi.

Bahan semikonduktor yang pertama kali dieksplorasi adalah germanium, namun saat ini yang banyak diteliti untuk bahan pembuatan piranti optoelektronika adalah silikon dikarenakan bahannya yang cukup melimpah di alam. Silikon dan germanium merupakan bahan yang berasal dari golongan IV. Jenis bahan semikonduktor paduan dari golongan IV-VI berguna untuk mengembangkan teknologi optoelektronika karena dapat

membentuk kristal yang berkualitas tinggi. Ciri khas dan keunikan yang ada misalnya pada sifat kelistrikannya dan sifat optiknya dapat disesuaikan dengan karakteristik fisisnya masing-masing.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan peningkatan kebutuhan hidup, berbagai alat elektronika juga terus dikembangkan. Mengingat manfaat dalam dunia teknologi, material ini menarik banyak perhatian, salah satu yang sangat bermanfaat adalah SnTe (*Stannum Tellurium*), bahan ini memiliki sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan untuk detektor inframerah. Aplikasi SnTe ditemukan dalam deteksi inframerah, photodetektor, laser infrared, mikroelektronik, dan perangkat termoelektrik (Saini, 2010:1).

Guna mengembangkan teknologi optoelektronika, maka dilakukan penelitian dengan jenis material semikonduktor seperti *Stannum Tellurium* (Sn Te) dan *Stannum Selenium* (Sn Se). Bahan semikonduktor Sn, Se, dan Te merupakan bahan semikonduktor tipe-p yang dibuat dari perpaduan antara golongan IVA (Sn) dan golongan VIA (Se dan Te). Bahan semikonduktor (Sn Se) memiliki band gap sekitar 1,2 eV, sedangkan bahan semikonduktor (Sn Te) memiliki band gap sekitar 0,18 eV, sehingga kemungkinan bahan semikonduktor yang dikembangkan yaitu $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang merupakan material termoelektrik memiliki energi gap antara 0,18 eV-1,2 eV. Struktur kristal yang mungkin dihasilkan adalah kubik dengan nilai parameter kisi mendekati JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standard*) SnTe karena konsentrasi unsur Te lebih banyak dibandingkan dengan konsentrasi

unsur Se. (Askerov,1994:12)

Jenis bahan-bahan semikonduktor dari paduan golongan IV-VI sangat berguna dalam mengembangkan teknologi optoelektronika. Semikonduktor elemental terdiri atas unsur-unsur pada sistem periodik golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Karbon semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan. Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas yang tinggi sehingga dapat digunakan dengan efektif untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser, sedangkan pada semikonduktor gabungan (kompon) terdiri atas senyawa yang dibentuk dari logam unsur periodik golongan IIB dan IIIA (valensi 2 dan 3) dengan non logam pada golongan VA dan VIA (valensi 5 dan 6) sehingga membentuk ikatan yang stabil (valensi 8). Semikonduktor gabungan III dan V misalnya GaAs dan InP, sedangkan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS.

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).

Para peneliti mencoba untuk menggabungkan beberapa unsur dalam pembuatan bahan semikonduktor. Telah dihasilkan berbagai macam bahan paduan semikonduktor seperti, GaAs, Cu(Ga In)Se, CuInSe, CdS, CdSe, maupun Cd(Se S) dan dapat memvariasi molaritas dari masing-masing unsur tersebut (Lilik Susanti, 2013). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh

Moh. Anshori (2012) diketahui bahwa SnTe memiliki energy gap sebesar 0,18 eV. Oleh karena itu, hal ini semakin menunjukkan bahwa paduan SnTe cocok digunakan sebagai bahan semikonduktor untuk bahan optoelektronika.

Pada penelitian ini akan dilakukan penumbuhan kristal bahan Sn(Se Te) dengan menitikberatkan pada alur pemanasan yang difokuskan pada pengaruh lama waktu pemanasan. Karena energi gap ini termasuk kecil, maka dilakukan peningkatan energi dengan melakukan *doping* Selenium (Se) pada kristal SnTe. Kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) dapat dikembangkan menjadi lapisan tipis yang digunakan sebagai material dasar dalam pembuatan piranti elektronika dan optoelektronika yang sesuai dengan tujuan aplikasinya. Dalam bidang elektronika, lapisan tipis digunakan untuk membuat kapasitor dan sensor. Hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronik seperti kapasitor, transistor, fotodetektor, sel surya, rangkaian hidrid, dan teknologi mikroelektronika menggunakan lapisan tipis. (Saini, 2010:1)

Metode penumbuhan kristal terdiri dari tiga macam yaitu penumbuhan dari pelelehan, penumbuhan dari larutan, dan penumbuhan dari fase uap. Penumbuhan kristal yang dilakukan dalam penelitian ini dengan teknik Bridgman. Teknik Bridgman biasanya digunakan untuk penelitian di laboratorium. Teknik Bridgman digunakan karena lebih sederhana dan 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 Ratna Sari Dewi, 2013: 3).

Temperatur pada teknik Bridgman sangat diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas dari kristal yang terbentuk. Pada temperatur yang sangat tinggi, kristal dapat tumbuh dengan cepat namun cacat kristal yang terbentuk juga akan lebih banyak. Pada temperatur yang sangat rendah, kristal tidak dapat tumbuh secara cepat, tetapi untuk cacat kristal akan lebih sedikit. Setelah terjadi penumbuhan kristal, kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)*. *X-Ray Diffraction (XRD)* digunakan untuk mengetahui struktur kristal, sedangkan SEM dan EDAX digunakan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan komposisi kimia.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Terdapat beberapa teknik untuk menumbuhkan kristal dan yang biasa digunakan adalah teknik Bridgman.
2. Pengaruh lama waktu pemanasan terhadap kualitas kristal yang dihasilkan oleh bahan semikonduktor Sn(Se Te) hasil preparasi dengan teknik Bridgman.
3. Pengaruh lama waktu pemanasan terhadap struktur dan parameter kispada bahan semikonduktor Sn(Se Te) hasil preparasi dengan teknik Bridgman.
4. Mengetahui komposisi kimia dan morfologi permukaan kristal Sn(Se Te) hasil preparasi dengan teknik Bridgman.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah dibatasi pada penumbuhan kristal semikonduktor Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) menggunakan teknik Bridgman dengan melakukan variasi lama waktu pemanasan dengan temperatur tertentu. Untuk mengetahui struktur kristal dilakukan menggunakan karakterisasi dengan metode XRD, sedangkan untuk mengetahui morfologi permukaan kristal dan komposisi kimia dilakukan menggunakan karakterisasi dengan metode SEM dan EDAX.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut :

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

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh lama waktu pemanasan terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang terbentuk dari hasil preparasi dengan metode Bridgman.
2. Untuk memperoleh struktur, komposisi kimia, dan morfologi permukaan pada penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ hasil preparasi dengan menggunakan metode Bridgman.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil preparasi dari kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dapat dijadikan sebagai bahan dasar optoelektronika.
2. Memperoleh kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang berkualitas baik dengan metode Bridgman.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai sumber referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II KAJIAN TEORI

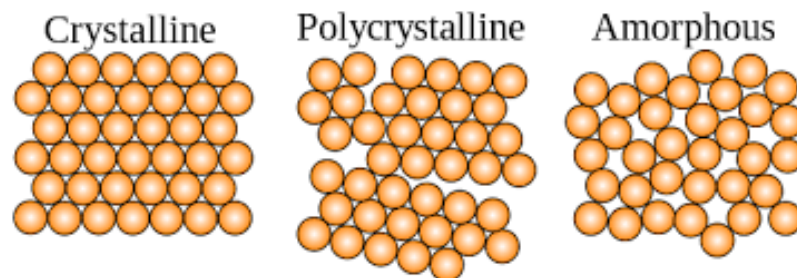
A. Zat Padat

Zat padat merupakan zat yang tersusun atas sejumlah besar atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang sangat berdekatan atau rapat dan berbentuk utuh (padat). Berdasarkan struktur penyusunnya, zat padat dibedakan menjadi dua yaitu kristal dan amorf (Smallman, 1999:13). Kristal adalah zat padat yang mempunyai susunan atom atau ion, dimana jaraknya tersusun teratur, ikatan atom yang berarah, susunannya rapat, dan periodik dalam ruang tiga dimensi. Panjang jarak susunan atom-atom atau ion zat padat suatu kristal memiliki rentang yang panjang dan akan menghasilkan karakteristik dari bentuk kristal tersebut. Susunan atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal tersusun dari gabungan sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun khusus dan periodik berulang dalam ruang tiga dimensi suatu kisi kristal. Kumpulan atom penyusun kristal disebut basis dan kedudukan atom-atom dalam ruang disebut kisi. (Edi Istiyono, 2000 : 1)

Kristal merupakan padatan yang partikel-partikel penyusunnya (atom) tersusun secara teratur membentuk pola tiga dimensi dan keteraturannya berjangka panjang, sedangkan amorf merupakan padatan yang partikel-partikelnya tersusun secara acak dan tidak mempunyai keteraturan jangka panjang. Amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat menempati lokasi

kisinya. Gelas, plastik, dan aspal adalah beberapa benda padat yang memiliki struktur identik amorf. Berdasarkan keteraturan jarak panjang susunan atom–atomnya, zat padat kristal dibagi menjadi kristal tunggal (*monocrystal*) dan polikristal (*polycrystal*). (Smallman, 1999:13)

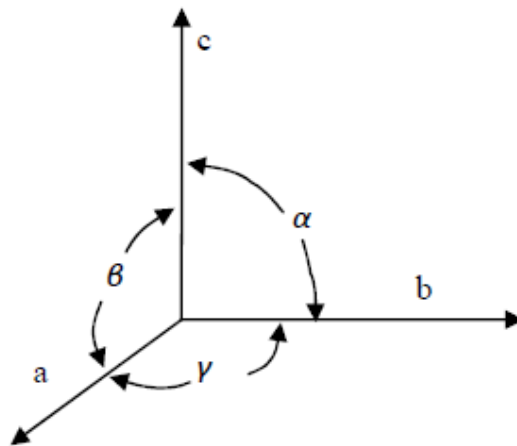
Kristal tunggal (*monocrystal*) merupakan atom atau penyusunnya yang memiliki struktur tetap karena atom–atom atau molekul–molekul penyusunnya tersusun teratur dalam pola tiga dimensi dan berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak terhingga. Sedangkan polikristal (*polycrystal*) merupakan kumpulan dari kristal–kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk zat padat. Panjang (jarak) dari polikristal hanya terbatas pada daerah–daerah tertentu dalam kristal zat padat. Daerah pada keteraturan atom–atom ini disebut butiran (*grain*). (Charles Kittel, 2005 : 3)



Gambar 1. (a). Susunan atom kristal, (b). Susunan atom polikristal,(c). Susunan atom amorf (Smallman dan Bishop, 1999: 13)

1. Struktur Kristal

Susunan khas atom–atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara khusus, periodik berulang dalam ruang tiga dimensi dari suatu kisi kristal. Pada satu sel satuan, terdapat tiga sumbu yang merupakan sumbu kristal teratur yang berhubungan dengan atom atau ion yang sama. Dimensi suatu sel satuan ditentukan oleh perpotongan konstanta sumbu–sumbu a, b, dan c. Suatu kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas masing–masing kristal. Struktur kristal dinyatakan dalam sumbu–sumbu kristal yang dikaitkan dengan parameter kisi dan sudut referensi. Parameter kisi adalah spasi antar sel satuan dalam segala arah.

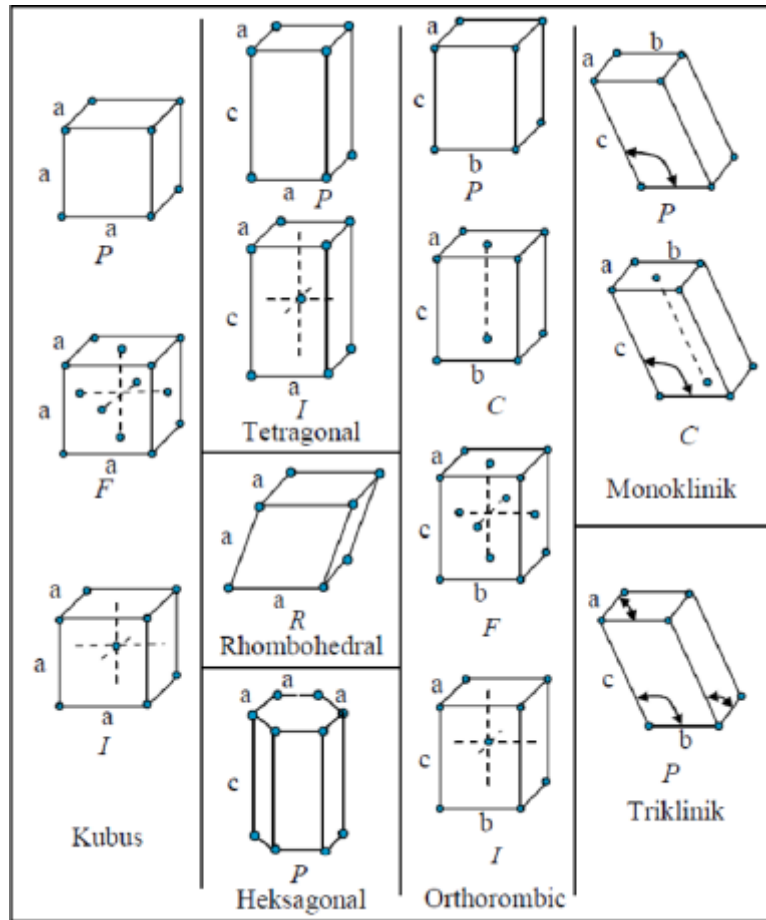


Gambar 2. Sumbu-sumbu dan sudut-sudut antar sumbu kristal
(Edi Istiyono, 2000 : 6)

Sumbu a, b, dan c dikaitkan dengan parameter kisi kristal. Sedangkan α , β , dan γ merupakan sudut antara sumbu–sumbu referensi kristal. Berdasarkan sumbu–sumbu a, b, dan c (kisi bidang) dan sudut α , β , dan γ (kisi ruang) kristal dikelompokkan menjadi tujuh sistem kristal (hubungan sudut satu dengan sudut yang lain) dengan 14 kisi Bravais (perbandingan antara sumbu–sumbu kristal). (Edi Istiyono, 2000)

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	simpel pusat badan pusat muka	P I F
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel pusat dasar	P C
Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel	P
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel pusat badan	P I
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel pusat dasar pusat badan pusat muka	P C I F
trigonal / rhombohedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ < 120^\circ$	Simpel	P
hexagonal / rombus	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simpel	P

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais (Kittel, 1976: 15)

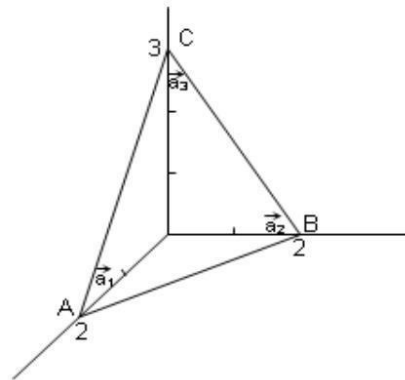


Gambar 3. Empat belas kisi Bravais (Cullity, 1956: 32).

Sel primitif diberi tanda huruf P (*primitif*) ; sel dengan simpul kisi terletak di pusat dua bidang sisi paralel diberi tanda huruf C (*center*) ; sel dengan simpul kisi di pusat setiap bidang kisi diberi tanda huruf F (*face*) ; sel dengan simpul kisi di pusat bagian dalam sel unit diberi tanda huruf I (*inti*) ; huruf R menunjukkan sel primitif rhombohedral.

2. Indeks Miller

Kisi kristal akan membentuk pasangan bidang–bidang sejajar dan berjarak sama yang disebut dengan bidang–bidang kisi. Bidang–bidang kisi menentukan arah permukaan suatu kristal. Bidang–bidang kisi sangat mempengaruhi perilaku dan sifat dari bahan. Arah suatu bidang dinyatakan dengan parameter numerik, kemudian dibuat menjadi bilangan bulat terkecil. Bilangan ini disebut dengan indeks Miller yang biasanya dinyatakan dengan simbol (hkl) . Untuk arah bidang digunakan simbol atau lambang $[hkl]$ dan untuk bidang kristal menggunakan lambang (hkl) . Contoh penentuan suatu bidang dengan indeks Miller $(3\ 3\ 2)$ (Wiendartun, 2012 : 7)



Gambar 4. Penentuan suatu bidang dengan indeks Miller $(3\ 3\ 2)$ (Wiendartun, 2012 : 7)

- a. Menentukan titik potong antara bidang yang bersangkutan dengan sumbu–sumbu (\vec{a}_1 , \vec{a}_2 , \vec{a}_3) atau sumbu–sumbu primitif atau konvensional dalam satuan konstanta Lattice (a_1 a_2 a_3)
- b. Menentukan kebalikan (reciprocal) dari bilangan–bilangan tersebut, kemudian menentukan indeks (hkl). Bidang ABC memotong sumbu–sumbu \vec{a}_1 di $2a_1$, \vec{a}_2 di $2a_2$, dan \vec{a}_3 di $3a_3$. Kebalikannya diperoleh $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$, dan $\frac{1}{3}$, kemudian ketiga bilangan tersebut dikalikan dengan bilangan 6 (KPK dari penyebut bilangan) dan diperoleh 3 3 2. Jadi, indeks Miller bidang ABC adalah (3 3 2).

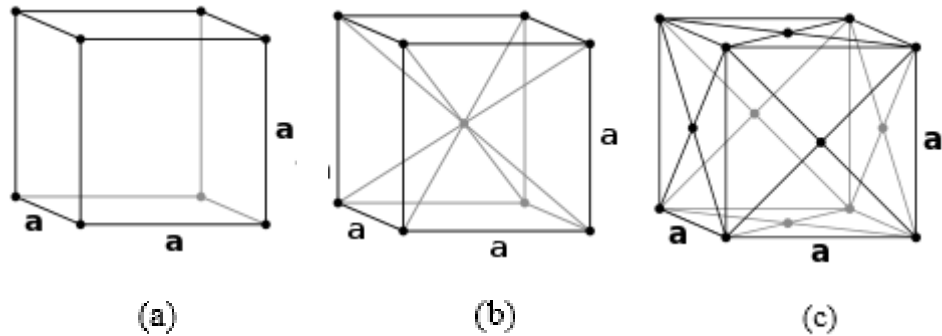
3. Sistem Kristal Kubik

a. Pengertian Kristal Kubik

Sistem kubik merupakan sistem kristal regular yang memiliki jumlah sumbu kristalnya ada 3 dan saling tegak lurus satu dengan yang lainnya. Dengan perbandingan panjang yang sama untuk masing-masing sumbunya. Pada kondisi sebenarnya, sistem Kristal kubik memiliki rasio (perbandingan sumbu $a = b = c$, yang artinya panjang sumbu a sama dengan sumbu b dan sama dengan sumbu c), dan juga memiliki sudut kristalografi $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Hal ini berarti, pada sistem ini, semua sudut kristalnya (α , β , dan γ) tegak lurus satu sama lain (90°).

b. Kisi Bravais Kristal Kubik

Sistem kristal kubik terdiri atas 3 bentuk, yaitu: Kubus sederhana, *Body-centered cubic* (terpusat badan), dan *Face-centered cubic* (terpusat muka).



Gambar 5. (a) Kubus sederhana. (b) *Body Centered Cubic*. (c) *Face Centered Cubic*.

c. Parameter Kristal Kubik

Arah berkas yang dipantulkan oleh geometri kisi, yang bergantung pada orientasi jarak bidang kristal. Jika kristal simetri kubik ($\alpha = \beta = \gamma$) dengan parameter kisi ($a = b = c$), maka sudut difraksi berkas dari bidang kristal (hkl) dapat dihitung dari hubungan jarak antar bidang.

$$\text{Hukum Bragg} \quad n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (1)$$

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

Substitusi ke persamaan Bragg

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \quad (3)$$

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

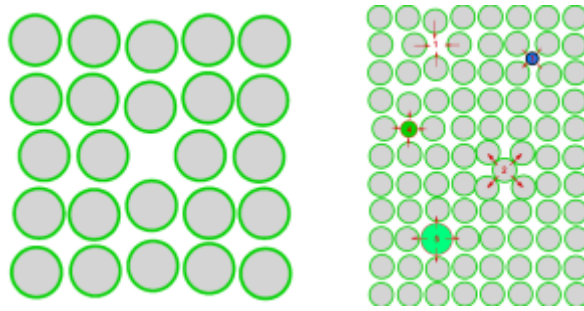
Harga parameter kisi a, b, dan c

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

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

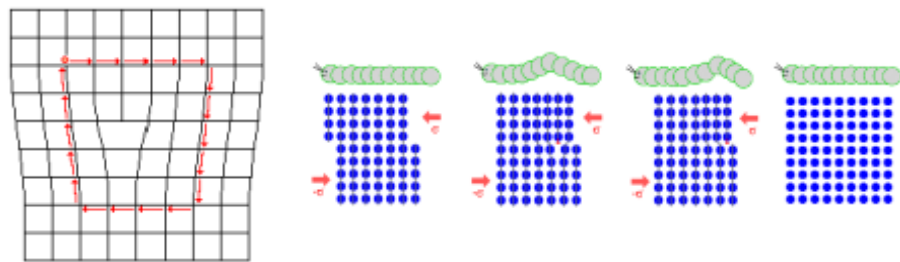
4. Ketidaksempurnaan pada Kristal

Kristal ideal adalah kristal yang setiap atomnya memiliki tempat kesetimbangan tertentu pada kisi yang teratur. Jika pada kristal terdapat atom yang terletak tidak pada tempatnya, hilang, ataupun tersisipi oleh atom asing, keadaan tersebut dinamakan ketidaksempurnaan kristal atau cacat kristal. Diantaranya adalah cacat titik atau cacat garis. Cacat titik dikarenakan adanya penyimpangan susunan periodik kisi beberapa atom, sehingga terjadi kekosongan atom, sisipan, dan perpindahan kedudukan atom tak murni di sela kisi. Kekosongan ini terjadi ketika kristal kehilangan sebuah atom karena adanya penumpukan yang salah ketika proses kristalisasi, yaitu pada saat temperatur sangat tinggi. Pada keadaan temperatur yang sangat tinggi, energi thermal akan meningkat sehingga atom-atom akan melompat meninggalkan letak kisinya kelokasi atomik terdekat. Sisipan terjadi jika terdapat atom tambahan dalam struktur kristal, sedangkan untuk kedudukan atom tak murni di sela kisi terjadi jika perpindahan ion dari kisi menuju tempat sisipan.



Gambar 6. Cacat titik pada kristal
 (Ciripo.wordpress.com/2011/11/11/cacat-kristal/)

Cacat garis (linear) terjadi karena adanya diskontinuitas struktural sepanjang lintasan kristal (dislokasi) atau cacat akibat salah dalam menyusun struktur kristal. Dislokasi terdapat dua bentuk dasar yaitu: dislokasi tepi dan dislokasi sekrup. Dislokasi tepi terjadi akibat gesekan kristal dengan arah slip secara sejajar sedangkan dislokasi sekrup terjadi karena pergeseran atom dalam kristal secara spiral. (Marwanto, 2013 : 19-20)



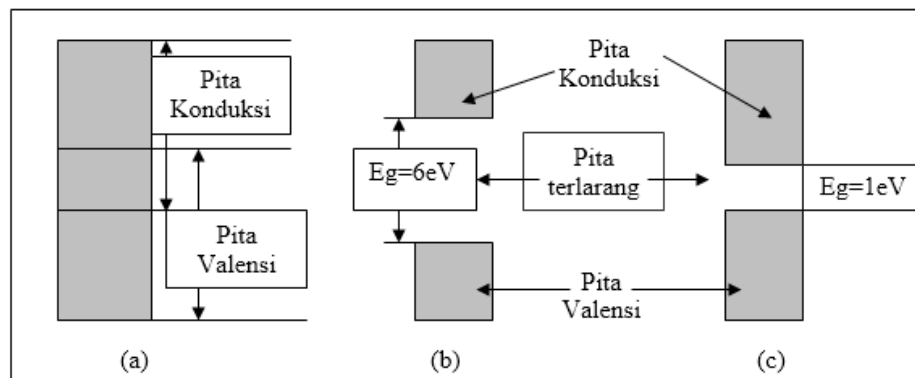
Gambar 7. Cacat garis pada kristal
 (Ciripo.wordpress.com/2011/11/11/cacat-kristal/)

B. Semikonduktor

Berdasarkan kemampuan menghantarkan arus listrik, suatu bahan dibedakan menjadi tiga macam yaitu bahan konduktor, bahan isolator, dan bahan semikonduktor. Konduktor adalah penghantar listrik yang baik, memiliki resistansi listrik yang kecil, dan konduktivitas listriknya sebesar $10^7 (\Omega\text{m})^{-1}$. Dalam bahan konduktor terdapat sejumlah besar elektron bebas. Struktur pita energi pada bahan konduktor hanya sebagian yang berisi elektron sedangkan pita energi yang sebagian lagi merupakan pita konduksi. Medan listrik eksternal yang dikenakan pada bahan konduktor akan mempengaruhi elektron, sehingga memperoleh tambahan energi dan tingkat energinya lebih tinggi. Elektron kemudian bergerak bebas dan menghasilkan arus listrik. (Parno, 2006 : 114)

Bahan isolator merupakan bahan yang tidak memungkinkan arus listrik melewatinya atau merupakan penghantar arus listrik yang buruk. Resistivitas pada bahan isolator antara 10^{14} – $10^{22} \Omega\text{m}$ dan memiliki konduktivitas listrik antara 10^{-10} – $10^{-20} (\Omega\text{m})$. Pita valensi penuh terisi dengan elektron, sedangkan pita konduksi kosong. Energi gap yang dimiliki oleh bahan isolator sangat besar sekitar 6 eV, sedangkan energi dari medan listrik eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati energi gap, sehingga penghantaran arus listrik tidak berlangsung. (Parno, 2006 : 113)

Bahan semikonduktor merupakan bahan yang konduktivitasnya antara bahan konduktor dan bahan isolator. Bahan semikonduktor memiliki resistivitas antara $10^{-4} - 10^{-7} \Omega\text{m}$. Semikonduktor mempunyai pita konduksi dan pita valensi yang tidak bertumpangan dan selang diantaranya menyatakan energi gap yang tidak boleh dimiliki elektron.



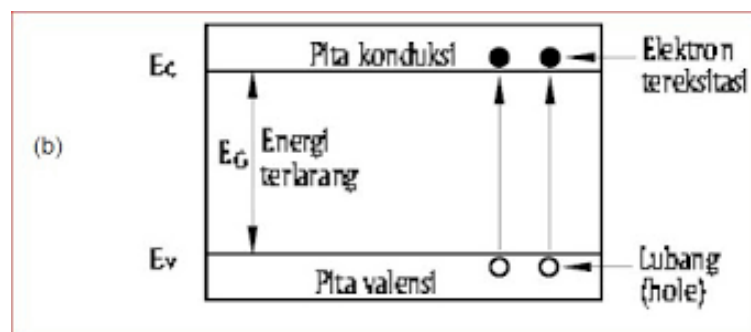
Gambar 8. Struktur pita energi pada konduktor, isolator, dan semikonduktor (Ariswan, 2011 : 3)

Setiap atom penyusun kristal semikonduktor memiliki sejumlah eV pada kulit terluarnya yang menempati keadaan valensi, keadaan elektron valensi ini memiliki tingkat energi. Elektron valensi berkontribusi pada pembentukan ikatan kovalen antar atom-atom penyusun kristal semikonduktor. Keadaan elektron terbebas dari ikatan kovalen disebut dengan keadaan konduksi dengan tingkat energi E_c . Jika kristal semikonduktor temperaturnya dinaikkan, maka akan ada penambahan energi termal yang menyebabkan terputusnya ikatan kovalen yang terbentuk. Pemutusan ikatan kovalen ini akan menghasilkan elektron bebas yang sudah dalam keadaan konduksi dengan tingkat energi E_c . Elektron valensi pada tingkat energi E_v akan berpindah ke keadaan konduksi dengan tingkat

energi valensi dinamakan dengan energi celah pita (energi gap) yang merupakan energi minimum yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan kovalen pada kristal semikonduktor. (Marwanto, 2013 : 24)

Bahan semikonduktor memiliki struktur pita energi sama dengan isolator, tetapi celah energi terlarang atau energi gap (E_g) jauh lebih kecil dibandingkan dengan bahan isolator. Berdasarkan konsep pita energi, semikonduktor merupakan bahan yang pita valensinya hampir penuh dan pita konduksi hampir kosong dengan lebar pita terlarang (E_g) sangat kecil sekitar 1–2 eV. Kelebihan dari bahan semikonduktor adalah bisa berlaku sebagai bahan isolator ketika pita valensi penuh sedangkan pita konduksi kosong. Pada suhu kamar, semikonduktor akan memiliki sifat konduktor. Semikonduktor bersifat konduktor jika dalam temperatur tinggi, karena pada temperatur yang tinggi akan ada ikatan-ikatan yang pecah sehingga menyebabkan adanya elektron-elektron bebas. Elektron tersebut dapat bebas bergerak atau berpindah-pindah dari satu inti atom ke inti atom lainnya. Jika diberi tegangan potensial listrik, elektron-elektron tersebut dengan mudah berpindah ke arah potensial yang sama. Fenomena ini yang dinamakan sebagai arus listrik. Energi termal diterima oleh elektron–elektron pada pita valensi. Jika energi termal lebih besar atau sama dengan energi gap (E_g), maka elektron-elektron dapat melewati celah energi terlarang dan berpindah ke pita konduksi sebagai elektron hampir bebas. (Nyoman Suwitra, 1989 : 186)

Elektron–elektron yang meninggalkan kekosongan pada pita valensi disebut dengan lubang (*hole*). Lubang pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi, yang berperan sebagai penghantar arus pada semikonduktor. Dimana elektron merupakan pembawa muatan negatif sedangkan *hole* merupakan pemabawa muatan positif. (Marwanto, 2013 : 23) Contoh dari bahan semikonduktor adalah germaninum, silikon, karbon, dan selenium.



Gambar 9. Struktur pita energi pada semikonduktor (Ariswan, 2010: 3).

Berdasarkan kemurnian bahannya, semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor dalam bentuk murni, sifat kelistrikannya ditentukan pada sifat asli yang melekat pada unsur tersebut atau semikonduktor yang belum disisipi atom akseptor atau atom donor. Semikonduktor intrinsik terdiri dari atom–atom golongan IV seperti silikon (Si) dan germanium (Ge). Banyaknya *hole* di pita valensi sama dengan banyaknya elektron di pita konduksi. Gerakan termal terus

menghasilkan pasangan elektron *hole* baru, sedangkan elektron dan *hole* yang lain menghilang akibat adanya proses rekombinasi. Konsentrasi *hole* “p” harus sama dengan konsentrasi elektron “n”, sehingga

$$n = p = n_i \quad (1)$$

dengan n_i = konsentrasi intrinsik

Energi Fermi (E_F) terletak antara pita konduksi dan pita valensi yang besarnya

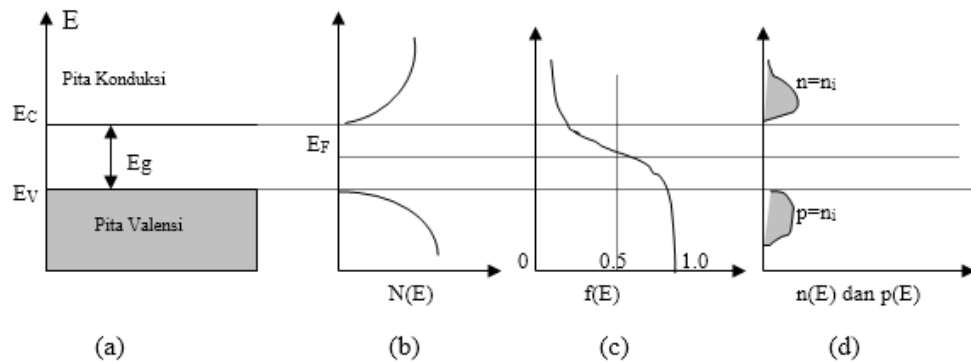
$$E_F = (E_C + E_V) / 2 \quad (2)$$

E_C = energi pada pita konduksi

E_V = energi pada pita valensi

Ciri-ciri semikonduktor intrinsik adalah :

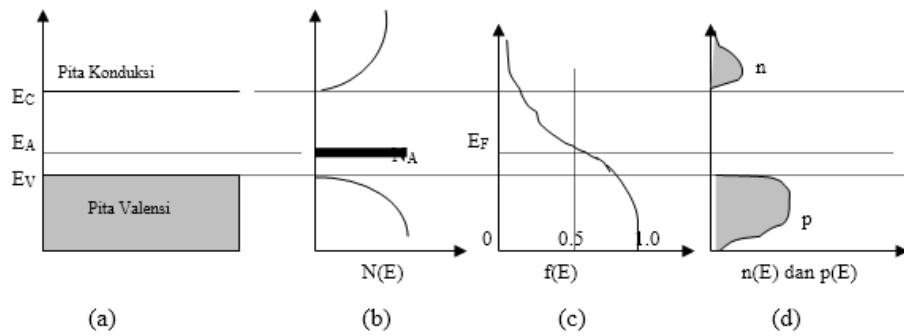
- a. Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah elektron pada pita valensi
- b. Energi Fermi berada di tengah-tengah energi gap
- c. Elektron memberi sumbangan besar terhadap arus, tetapi sumbangan dari *hole* juga berperan penting.
- d. Sekitar satu atom diantara 10^9 atom yang memberi sumbangan terhadap hantaran listrik. (Nyoman Suwitra, 1989 : 222 – 227)



Gambar 10. Semikonduktor intrinsik. (a). Skema diagram pita. (b). Rapat keadaan (c). Fungsi distribusi Fermi (d).Konsentrasi pembawa (Ariswan, 2008)

2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor tidak murni yang sifat kelistrikannya atau dengan kata lain kemampuan konduksi arusnya kecil karena dikendalikan oleh sifat dan jumlah pengotor yang diberikan pada bahan itu (doping). Pada semikonduktor ekstrinsik, jenis pembawa muatannya hanya salah satu yaitu elektron atau *hole*. Semikonduktor ekstrinsik terdiri dari 2 tipe yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n.



Gambar 11. Semikonduktor ekstrinsik.

(a). Skema diagram pita. (b). Rapat keadaan. (c). Fungsi distribusi Fermi. (d). Konsentrasi pembawa (Ariswan, 2008)

a. Semikonduktor tipe-p

Semikonduktor tipe-p dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor trivalen pada semikonduktor murni. Atom-atom pengotor (dopan) ini memiliki 3 elektron valensi sehingga dapat membentuk 3 ikatan kovalen. Saat sebuah atom trivalen menempati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk 3 ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan yang disebut lubang (*hole*). Material yang dihasilkan dari proses pengotoran ini menghasilkan pembawa muatan negatif pada kristal netral. Karena atom pengotor (dopan) menerima elektron dari pita valensi, atom pengotor ini disebut atom akseptor (*acceptor*). Semikonduktor yang didoping dengan atom-atom akseptor ini dinamakan semikonduktor tipe-p karena pembawa muatan positif lebih banyak dari pembawa muatan negatif. Dalam semikonduktor tipe-p terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan, letaknya sedikit di

atas pitavalensi. Banyak 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 dalam pita valensi, sedangkan untuk elektron pembawa minoritas terdapat dalam pita valensi. Penambahan dari unsur–unsur golongan III B (B, Al, Ga, dan In) pada unsur–unsur golongan IV menghasilkan semikonduktor tipe-p.

b. Semikonduktor tipe-n

Semikonduktor tipe-n dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor bervalensi lima. Atom–atom pengotor (dopan) ini mempunyai lima elektron valensi sehingga memiliki muatan sebesar $+5q$. Saat sebuah atom pentavalen menempati posisi atom dalam kristal, hanya empat elektron valensi yang dapat membentuk ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah elektron yang tidak berpasangan. Dengan adanya energi thermal kecil saja, sisa elektron ini akan menjadi elektron bebas dan siap menjadi pembawa muatan dalam proses hantaran listrik. Material yang dihasilkan dari proses pengotoran ini disebut semikonduktor tipe-n karena menghasilkan pembawa muatan negatif dari kristal yang netral. Karena atom pengotor memberika elektron, maka atom pengotor ini disebut atom donor. Semikonduktor ini terbentuk dengan menambahkan unsur–unsur

golongan V (N, P, As, dan Sb) dan golongan IV (Si, Ge, Sn, dan Pb).

Perbedaan semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik adalah pada semikonduktor intrinsik terbentuk elektron bebas disertai lubang yang dapat bergerak sebagai pembawa muatan, sedangkan pada semikonduktor tipe-n terbentuknya elektron bebas tidak disertai lubang tetapi terbentuk ion positif yang tidak dapat bergerak. Pada diagram tingkat energi semikonduktor tipe-n, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam energi gap dibawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan elektron ini untuk bergerak menuju pita konduksi menjadi sangat kecil. Akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi elektron ini disebut aras donor dan elektron pengotornya disebut donor karena dengan mudah diberikan ke pita konduksi. Semikonduktor yang sudah didoping dengan pengotor donor dinamakan dengan semikonduktor tipe-n. Jika bahan semikonduktor intrinsik diisi dengan ketidakmurnian tipe-n, maka banyaknya elektron akan bertambah dan jumlah *hole* akan berkurang daripada yang terdapat dalam semikonduktor intrinsik. Tipe ini mayoritas pembawa muatannya adalah elektron, sedangkan *hole* merupakan pembawa muatan yang minoritas. Berkurangnya *hole* disebabkan karena bertambah banyaknya

elektron, maka kecepatan rekombinasi elektron dengan *hole* meningkat.

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

Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ merupakan bahan semikonduktor gabungan dari Sn (*Stannum*) golongan IV, Se (*Selenium*) golongan VI, dan Te (*Tellurium*) golongan VI. Setiap bahan semikonduktor memiliki karakter masing-masing.

1. Sn (*Stannum*)

Stannum atau timah ini memiliki warna abu-abu berkilau keperakan. Timah memiliki nomor atom yaitu 50 dan massa atom relatif yaitu 118,71 gram/mol. Timah berbentuk padatan pada suhu kamar 298K, serta memiliki titik lebur 231,93 °C. Struktur kristal dari Sn adalah tetragonal.

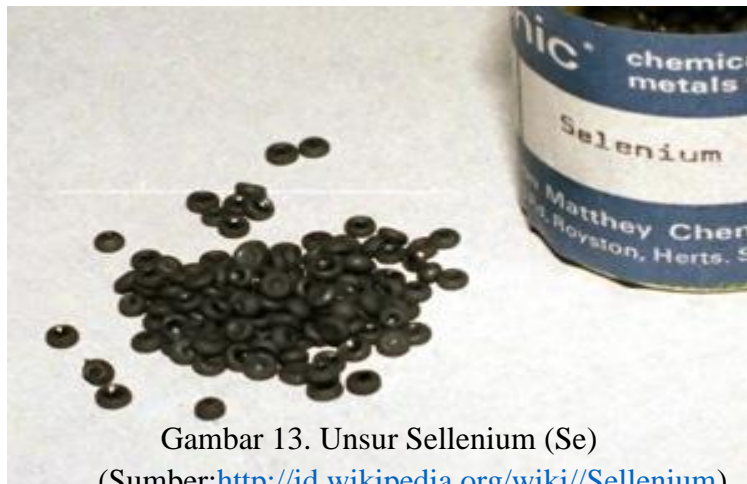


Gambar 12. Unsur *Stannum* (Sn)

(Sumber : <http://id.wikipedia.org/wiki/Timah>)

2. Se (*Selenium*)

Selenium memiliki warna abu-abu berkilap logam. *Selenium* memiliki nomor atom yaitu 34 dan massa atom relatif yaitu 78,96 gram/mol. *Selenium* berbentuk padatan pada suhu kamar 298K, serta memiliki titik lebur 217 °C. Struktur kristal dari Se adalah hexagonal.



Gambar 13. Unsur Sellenium (Se)
(Sumber: <http://id.wikipedia.org/wiki/Selenium>)

3. Te (*Tellurium*)

Tellurium memiliki warna abu-abu berkilau keperakan. *Tellurium* memiliki nomor atom yaitu 52 dan massa atom relatif yaitu 127,6 gram/mol. *Tellurium* berbentuk padatan pada suhu kamar 298K, serta memiliki titik lebur 449,51 °C. Struktur kristal dari Te adalah hexagonal.

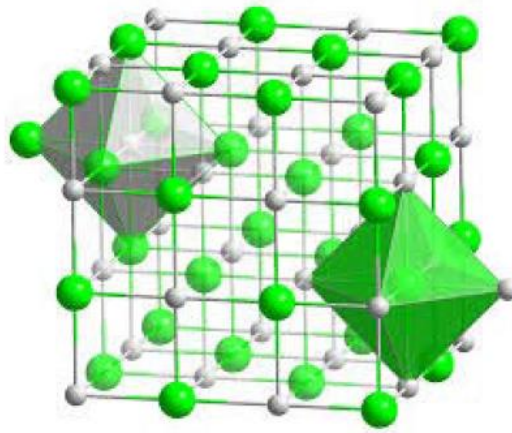


Gambar 14. Unsur *Tellurium* (Te)

(Sumber :<http://id.wikipedia.org/wiki/Tellurium>)

4. Campuran SnTe (*Stannum Tellurium*)

Semikonduktor SnTe merupakan semikonduktor dengan komposisi atom yang terdiri atas atom Sn yang didoping oleh atom Te. Semikonduktor ini memiliki persentase element 50% Sn dan 50% Te. SnTe diketahui memiliki berat atom sebesar 246,31 dan termasuk dalam kelas Tellurium. *Stannum Tellurium* berbentuk padatan dan berwarna abu-abu. SnTe memiliki titik lebur 790 °C dan kerapatannya 6500 kg/m³. Struktur dari SnTe adalah kubik, dengan nilai parameter kisi $a = 6,327 \text{ \AA}$. (http://en.wikipedia.org/wiki/Tin_telluride). *Stannum Tellurium* (SnTe) merupakan material termoelektrik yang memiliki energi gap sekitar 0,18 eV (Askerov, 1994). Bahan ini memiliki sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan untuk detektor inframerah.

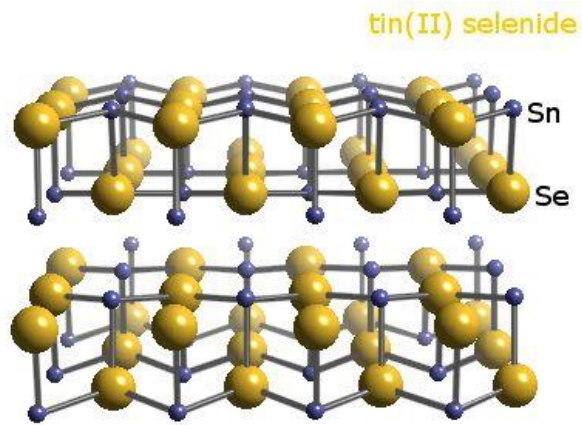


Gambar 15. Kristal SnTe

(Sumber: http://webelements.com/compounds/tin/tin_telluride.html)

5. Campuran SnSe (*Tin Selenium*)

Tin Selenide merupakan senyawa kimia berupa padatan kristal dengan warna abu-abu. SnSe merupakan paduan dari dua unsur golongan IV-VI yaitu *tin* (Sn) dan *selenium* (Se) dengan prosentase molaritas masing-masing secara berurutan yaitu 50% dan 50%. SnSe memiliki struktur kristal *orthorombik* dengan lebar pita terlarang (*band gap*) sekitar 1,3 eV, titik lebur sebesar 861°C, dan massa atom relatif 197,67 gram/mol (Mark Winter, 2015). SnSe merupakan semikonduktor tipe-p yang berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaik.



Gambar 16. Struktur Tin Selenide (Mark Winter, 2015)

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

$\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ merupakan material semikonduktor hasil perpaduan dari tiga unsur yaitu Sn (golongan IV), Se dan Te (golongan VI). Bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ identik dengan bahan timah selenida (*Stannum Sellenium*) dan bahan timah tellurium (*Stannum Tellurium*). Struktur kristal yang mungkin dihasilkan adalah kubik dengan nilai parameter kisi mendekati JCPDS SnTe karena konsentrasi unsur Te lebih banyak dibandingkan dengan konsentrasi unsur Se.

D. Metode Bridgman

Pertumbuhan kristal terjadi dari penambahan sejumlah atom, ion atau rangkaian polimer yang baru ke dalam susunan yang telah mempunyai karakteristik dari ion atau atom dalam suatu kristal. Untuk mendapatkan semikonduktor berkualitas tinggi diperlukan kemurnian yang tinggi dan kesempurnaan kristal tunggal yang akan dijadikan sebagai bahan dasar piranti tersebut. Pada kristal semikonduktor, penambahan sedikit ketidakmurnian

mempengaruhi pembawa muatan yang mempunyai pengaruh besar pada karakteristik komponen yang dibuat. (Reka Rio, 1982 : 151)

Metode penumbuhan kristal terdiri dari tiga macam yaitu penumbuhan dari pelelehan, penumbuhan dari larutan, dan penumbuhan dari fase uap. Penumbuhan dari pelelehan dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satunya adalah teknik Bridgman. Metode ini dilakukan dengan cara melelehkan bahan yang telah dimurnikan di dalam tabung yang telah divakumkan. Hal ini dilakukan karena pemurnian bahan sangat mempengaruhi hasil karakteristik kristal yang terbentuk. Bahan-bahan yang sudah dimurnikan lalu dimasukkan dan dilelehkan ke dalam alat yang disebut *furnace*. Prinsip dasar teknik Bridgman adalah pemanasan bahan dasar dengan kemurnian tinggi yaitu 99,99% menggunakan tabung *pyrex* yang telah divakumkan dan dipanaskan dalam *furnace*, dengan massa masing-masing bahan yang sesuai dengan material yang akan dibuat. Setelah mendapatkan hasil dari proses penumbuhan kristal dalam bentuk *massif* atau ingot, kemudian dilakukan karakterisasi untuk menyatakan kualitas hasil penumbuhan kristal.

Terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pemanasan bahan yaitu menimbang, memvakum, dan mengelas. Bahan-bahan yang akan digunakan sebagai bahan dasar kristal, ditimbang dengan perbandingan tertentu, lalu dimasukkan ke dalam tabung *pyrex*. Tabung *pyrex* kemudian divakumkan dengan menggunakan pompa rotari dan pompa difusi. Pemvakuman dilakukan untuk memperkecil keberadaan gas-gas seperti oksigen, nitrogen, dan gas-gas lainnya yang ada dalam tabung *pyrex*. Agar

unsur–unsur tersebut tidak ikut bereaksi ketika terjadi proses penumbuhan, karena akan mempengaruhi karakteristik dari kristal yang terbentuk.

Tabung yang terisi bahan dan sudah divakumkan, kemudian dilas, lalu dipanaskan ke dalam *furnace*. Temperatur pemanasan sangat diperhatikan, karena akan mempengaruhi kualitas kristal yang terbentuk. Ketika temperatur sangat tinggi kristal dapat tumbuh dengan cepat tetapi cacat kristal juga akan lebih banyak. Ketika temperatur sangat rendah, proses penumbuhan kristal akan terjadi sangat lambat. Kelebihan dari teknik Bridgman antara lain :

Temperatur dapat dikontrol secara teliti

- a. Kecepatan pembekuan bahan dapat diatur
- b. Kecepatan penurunan temperatur pada saat bahan berubah wujud dari cair ke padat dapat dikontrol secara teliti
- c. Tekanan mekanisme dalam bahan dapat dikurangi untuk menghindari adanya keretakan pada polikristal dengan tabung kuarsa
- d. Kenaikan tempatur dapat diatur, sehingga mengurangi timbul bahaya ledakan yang ditimbulkan unsur tertentu pada temperatur kritisnya. (E.

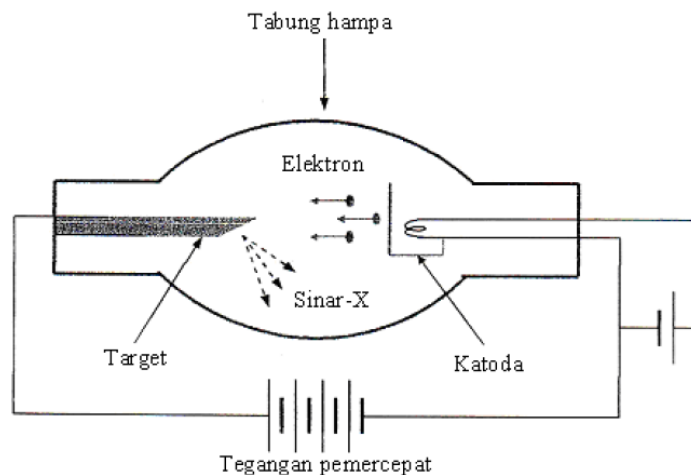
Wahjuniati dan Harsono Soepardjo, 2000 : 1 – 2)

E. Karakterisasi Kristal

Penentuan karakter struktur material dalam bentuk pejal atau partikel, kristalin atau mirip gelas adalah salah satu kegiatan inti dari ilmu material. (Smallman, 2000 : 136). Pada penelitian ini, karakterisasi kristal dilakukan dengan tiga teknik yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX).

1. Analisis *X – Ray Diffraction* (XRD)

Teknik *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan suatu metode karakterisasi untuk mengetahui struktur suatu kristal yang terbentuk (karena setiap unsur atau senyawa memiliki struktur tertentu). Sinar-X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara $0,5 \text{ \AA}$ – $2,5 \text{ \AA}$, berfrekuensi 1.017 – 1.020 Hz , dan memiliki energi foton antara $1,2 \times 10^3 \text{ eV}$ – $2,4 \times 10^5 \text{ eV}$ dari penembakan logam dengan elektron energi tinggi. (Arifianto A.S, 2009 : 14). Sinar-X mampu menembus zat padat, sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal. Hamburan sinar-X dihasilkan apabila elektron–elektron berkecepatan tinggi menembak suatu bahan dalam tabung dengan hampa udara.



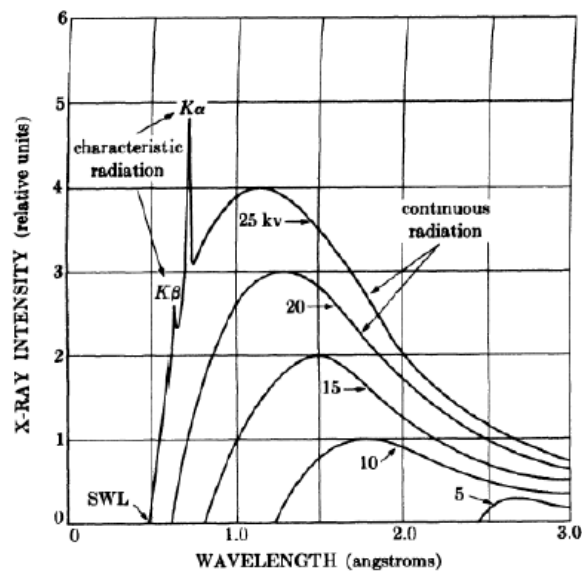
Gambar 17. Diagram sinar – X (Arthur Beiser, 1992 : 62)

Berkas elektron dihasilkan oleh katoda yang dipanaskan dengan filamen, kemudian elektron bermuatan negatif tertarik menuju muatan positif anoda pada target yang mempunyai temperatur tinggi, 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 $E_k = eV_0$

Karena adanya interaksi antara elektron berenergi E_k dengan logam anoda maka terjadilah pancaran sinar-X. 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 *bremsstrahlung*. Sinar-X terbentuk dengan proses karakteristik atom dari tingkat energi yang tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Tingkat energi ini digunakan untuk menjelaskan terjadinya spektrum sinar-X suatu atom. Setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang berbeda-beda, maka sinar-X yang terbentuk dengan proses tingkatan energi ini disebut sinar-X karakteristik.

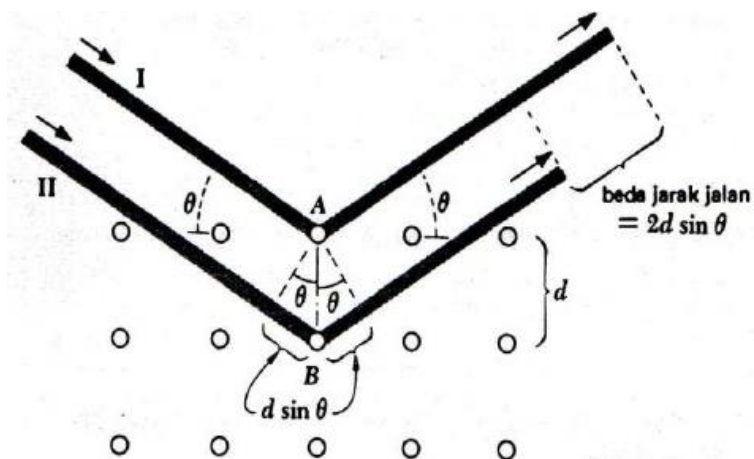
Karakteristik sinar-X terjadi karena elektron pada kulit K terionisasi sehingga terpelempar keluar dan atom menjadi tidak stabil. Jika kekosongan pada kulit K diisi oleh elektron dari kulit L, maka kulit K akan menjadi stabil dan akan dipancarkan karakteristik sinar-X $K\alpha$. Jika kekosongan pada kulit L diisi oleh elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan sinar-X $K\beta$ dan seterusnya. (Jammaludin, 2010)



Gambar 18. Spektrum radiasi sinar-X kontinyu dan diskret (Cullity, 1956: 5)

Pada gambar tersebut terlihat ada beberapa sinar-X karakteristik. Hal ini karena adanya transisi antar tingkat energi yang berbeda. Sinar-X monokromatis sangat diperlukan untuk menganalisis struktur kristal dari bahan paduan. Perlu adanya penyaringan yang sesuai dengan logam yang nomor atomnya lebih kecil dari target. Apabila sinar-X monokromatis dilewatkan pada suatu bahan, akan terjadi penghamburan (*scattering*) dan penyerapan (absorpsi) berkas sinar oleh atom-atom dalam bahan. Berkas sinar-X akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena adanya keteraturan letak atom-atom, pada arah tertentu gelombang akan mengalami interferensi konstruktif (penguatan), sedangkan yang lainnya akan mengalami destruktif (penghilangan). (Arthur Beisser, 1992 : 65)

Berkas sinar yang saling menguatkan disebut berkas difraksi. Berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi disebut Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X merupakan kelipatan panjang gelombang.



Gambar 19. Difraksi Bragg (Arthur Beiser, 1992: 68)

Berkas sinar-X yang datang pada bahan, sejajar satu sama lain yang mempunyai panjang gelombang (λ) dengan sudut datang yang dinyatakan dengan θ terhadap bidang difraksi (sudut Bragg) dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak d . Besar sudut Bragg tentunya mempunyai harga berbeda untuk tiap-tiap bidang. Agar mengalami interferensi yang konstruktif maka kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak $n\lambda$. Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah $2d \sin \theta$. Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang λ . Secara matematis dirumuskan :

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

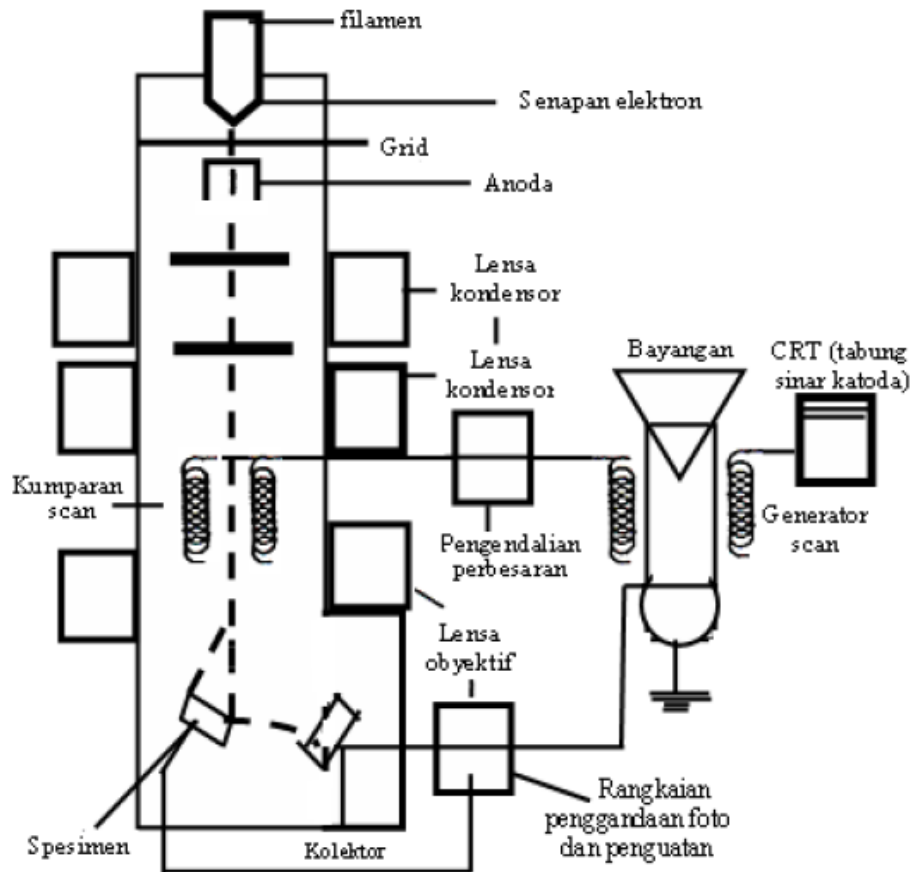
Pemantulan Bragg dapat terjadi jika $\lambda \leq 2d$, karena itu tidak dapat menggunakan cahaya kasat mata, dengan n adalah bilangan bulat = 1,2,3, ... (Arthur Beiser, 1992:66).

Mendifraksi cahaya 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. 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. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Hasil yang diperoleh dari SEM berupa *scanning electron micrograph* dalam tiga dimensi dengan bentuk gambar atau foto. Karakterisasi bahan dengan teknik SEM ini dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan.

Prinsip kerja dari SEM adalah elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Permukaan bahan yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder kesegala arah. Kemudian elektron akan menyapu permukaan bahan titik demi titik dengan sapuan membentuk garis demi garis seperti gerakan mata saat membaca atau dikenal dengan *scanning*. Hasil *scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh *amplifier* dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (*CRT*).



Gambar 20. Skema dasar SEM (Smallman, 2000:157)

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

Ada beberapa sinyal yang penting yang dihasilkan oleh SEM. Dari pantulan inelastik didapatkan sinyal elektron sekunder dan karakterisasi sinar-X sedangkan dari pantulan elastis didapatkan sinyal *backscattered elektron* (auger). Elektron sekunder yaitu 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. Elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa. Sedangkan *backscattered elektron* memberikan perbedaan berat molekul dari atom-atom yang menyusun permukaan.

Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX) digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari suatu bahan. EDAX dihasilkan dari sinar-X karekteristik, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang akan kita ketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang sudah ditentukan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Hasil dari EDAX adalah spektrum yang menunjukkan tingkat energi dari setiap unsur pada sampel. Jika teknik SEM dan EDAX digabungkan, maka keduanya dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang dimiliki fasa yang terlihat pada struktur mikro. (Prafit Wiyantoko, 2009:34)

Prinsip kerja dari EDAX adalah menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (spesimen). Sinar-X tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat, yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X. 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).

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. Teknik ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kualitatif dan semi kuantitatif. Hal ini karena masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang spesifik. (Prafit Wiyantoko, 2009:34)

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan September 2016 sampai dengan bulan Februari 2017.

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini terdiri dari 3 tempat.

- a. Tahap prepsi penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan metode Bridgman hingga terbentuk *massif* dilakukan di Laboratorium Material Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Tahap karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Tahap karakterisasi untuk mengetahui morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan untuk menganalisis komposisi unsur menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-Ray*) dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gajah Mada.

B. Variabel Penelitian

Variabel–variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah lama waktu pemanasan.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah struktur kristal dan parameter kisi.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- a. Molaritas bahan
- b. Temperatur *furnace*
- c. Tekanan vakum
- d. Massa Sn, Se, dan Te

C. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan–bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

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

Sifat – sifat fisika dan kimia dari *Stannum* :

Simbol : Sn

Nomor atom : 50

Relatif massa atom (Ar) : 118,710

Fasa : padat pada suhu kamar 298 K

Warna : abu - abu berkilau keperakan
Titik lebur : 231,93 °C
Struktur kristal : kubik

b. *Selenium* (Se) berbentuk granul.

Sifat – sifat fisika dan kimia dari *Selenium* :

Simbol : Se
Nomor atom : 34
Relatif massa atom (Ar) : 78,96
Fasa : padat pada 298 K
Warna : abu-abu, kilap logam
Titik lebur : 217 °C
Struktur kristal : hexagonal

c. *Tellurium* (Te) berbentuk granul.

Sifat – sifat fisika dan kimia dari *Tellurium* :

Simbol : Te
Nomor atom : 52
Relatif massa atom (Ar) : 127,60
Fasa : padat pada 298 K
Warna : abu - abu berkilau keperakan
Titik lebur : 449,51 °C
Struktur kristal : hexagonal

d. Bahan pengelas, oksigen dan gas esitelin.

- e. Tabung *Pyrex* dengan diameter luar 16 mm dan diameter dalam 12 mm dengan panjang sekitar 15 cm untuk proses vakum dan *furnace*.
- f. Alkohol 75%, detergen, air dan tisu yang digunakan untuk membersihkan tabung *Pyrex*.

2. Alat–Alat Penelitian

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

a. Peralatan untuk preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan metode Bridgman.

1) Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gram. Timbangan digital merk Denver Instrument XE-310 ini digunakan untuk menimbang massa dari tiap–tiap bahan yang kemudian bahan tersebut akan dimasukkan ke dalam tabung *pyrex*.

2) Pompa vakum

Pompa vakum ini digunakan untuk menghampakan udara pada tabung yang telah berisi bahan–bahan yang akan dibentuk semikonduktor. Pompa vakum ini terdiri dari 2 pompa yaitu pompa rotari dan pompa difusi. Pompa rotari

adalah pompa vakum dengan sistem kerja berdasarkan penampatan udara dalam ruang hampa yang terdiri dari rotari dan rotor. Pompa difusi adalah pompa yang sistem kerjanya berdasarkan pengembunan uap. Tekanan maksimum pada pompa rotari adalah 10^{-3} mbar, sedangkan tekanan maksimum pada pompa difusi adalah 10^{-5} mbar.

3) Alat pengelas

Alat pengelas digunakan untuk mengelas tabung *pyrex* yang berisi bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sampai bahan menjadi bentuk kapsul. Alat pengelas ini menggunakan gas asetalin. Proses pembakaran tabung *pyrex* ini menggunakan suhu yang sangat tinggi sehingga mampu memecahkan tabung dan proses pembakaran ini menggunakan campuran antara oksigen dan gas asetelin.

4) Alat pemanas (*Furnace*)

Alat pemanas (*furnace*) ini digunakan untuk memanaskan tabung *pyrex* berisi bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang sebelumnya sudah divakum. Alat pemanas dengan merk Brandstead Thermolyne seri 47900 ini bisa mencapai suhu maksimal hingga 1.200°C . Untuk penelitian ini, suhu maksimum dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.

b. Perangkat Karakterisasi Bahan Semikonduktor

1) XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD dalam penelitian ini digunakan sebagai alat untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi dari hasil preparasi bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$. Tipe XRD ini adalah MiniFlex 600.

2) SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-Ray*)

SEM dan EDAX dalam penelitian ini digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dengan perbesaran hingga ribuan kali dan untuk mengetahui komposisi kimia dari bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$. SEM dan EDAX yang digunakan adalah merk Jeol JSM-6510LA.

D. Langkah Penelitian

Langkah–langkah dalam penelitian ini terdiri dari 2 tahap yaitu tahap pertama adalah tahap preparasi penumbuhan kristal yang meliputi tahap persiapan dan pelaksanaan preparasi. Tahap kedua adalah tahap karakterisasi *massif* $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$.

1. Tahap Persiapan Preparasi

a) Pembersihan Tabung *Pyrex*

Pembersihan tabung pyrex ini dilakukan agar masif hasil preparasi tidak terkontaminasi dengan unsur lain. Pembersihan tabung ini menggunakan detergen sedikit saja

dan menggunakan air untuk membilas tabung bagian dalam dan luar. Setelah selesai dicuci, tabung dibersihkan dengan tisu sampai kering, kemudian diberi alkohol lalu dikeringkan dengan alat pemanas (*furnace*).

b) Persiapkan Bahan *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te)

c) Penimbangan Bahan

Proses penimbangan bahan dilakukan untuk masing-masing bahan kristal Sn ($Se_{0,4}Te_{0,6}$), yaitu Sn : Se : Te dengan perbandingan molaritas 1 : 0,4 : 0,6. Unsur Sn digunakan sebagai bahan acuan untuk menimbang bahan-bahan yang lainnya. Langkah awal yang perlu dilakukan adalah menimbang massa unsur Sn yaitu 1 gram. Kemudian menentukan massa dari unsur Se dan unsur Te menggunakan persamaan :

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

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

Dengan unsur Sn sebesar 1 gram, maka massa unsur Se dan unsur Te adalah

$$\text{Massa Se} = \left(\left[\frac{1}{118,71} \times 78,96 \right] \times \frac{0,4}{1} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Se} = 0,266 \text{ gram}$$

$$\text{Massa Te} = \left(\left[\frac{1}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,6}{1} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Te} = 0,645 \text{ gram}$$

$$\text{Jumlah total} = (1 + 0,266 + 0,645) \text{ gram} = 1,871 \text{ gram}$$

d) Masukkan Bahan dalam Tabung *Pyrex*

e) Pemvakuman

Setelah bahan–bahan dimasukkan ke dalam tabung *pyrex*, kemudian tabung divakum. Tujuan dari pemvakuman ini adalah agar gas–gas yang berada dalam tabung dapat dikeluarkan, sehingga saat proses penumbuhan kristal, gas–gas tersebut tidak akan ikut bereaksi. Bahan–bahan tersebut divakumkan hingga mencapai tekanan $\pm 5 \times 10^{-5}$ mbar.

f) Pengelasan

Pengelasan dengan gas asitelin ini bertujuan untuk memotong tabung *pyrex* yang panjang, sehingga bisa dimasukkan dalam alat pemanas (*furnace*) dengan keadaan tabung sudah tertutup kedua bagiannya. Sehingga ketika dilakukan pemanasan menggunakan mesin *furnace*, bahan yang sudah divakum tidak akan bereaksi dengan oksigen, nitrogen, dan gas lainnya yang tidak diinginkan. Pengelasan ini juga dilakukan untuk mempertahankan tingkat udara vakum dalam tabung yang bentuknya sudah kapsul.

2. Tahap Preparasi

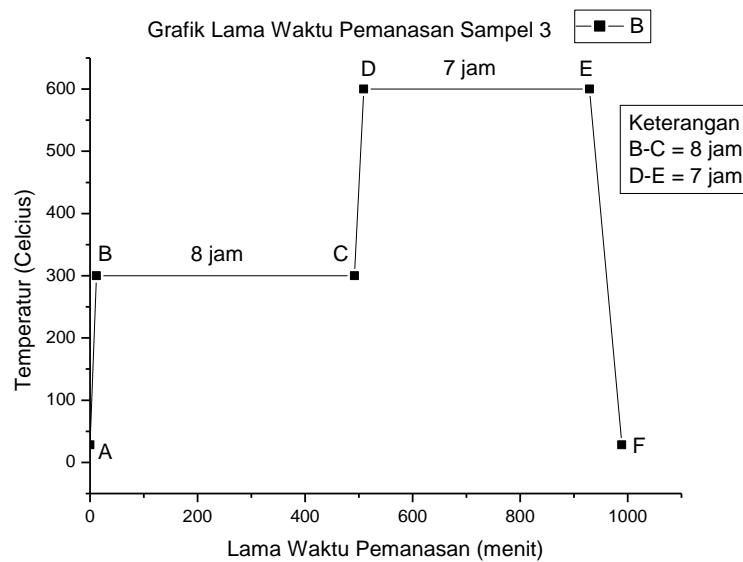
Tahap preparasi ini dengan cara memanaskan bahan dengan beberapa variasi lama waktu pemanasan. Waktu yang digunakan adalah waktu yang cukup untuk meleburkan bahan Sn, Se, dan Te. Sehingga bahan Sn, Se, dan Te ketika dipanaskan dapat meleleh dan bereaksi menyeluruh membentuk kristal tunggal. Tahap pemanasan (*furnace*) ini dilakukan kurang lebih 1 minggu untuk tiap sampelnya.

Langkah–langkah yang dilakukan dalam tahap preparasi adalah :

- 1) Memasukkan kapsul berisi bahan paduan Sn, Se, dan Te ke dalam mesin *furnace* dengan posisi horizontal.
- 2) Menghidupkan mesin *furnace* dengan menekan saklar pada posisi *ON*.
- 3) Mengatur temperatur pemanasan sesuai dengan yang dikehendaki.
- 4) Mematikan mesin *furnace* dengan menekan saklar pada posisi *OFF* jika pemanasan sudah selesai.

Pemanasan Sampel 1

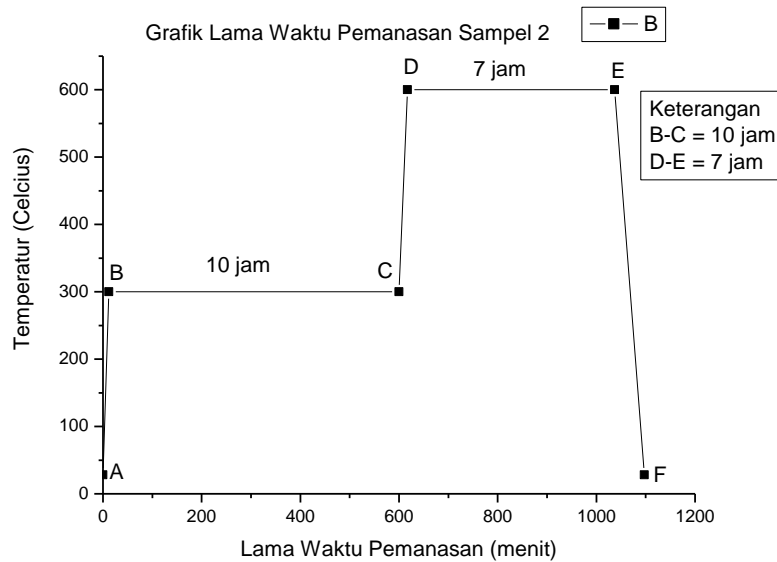
Pada sampel 1 hari pertama, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dipanaskan dari temperatur 28°C - 300°C , kemudian membiarkan pada temperatur 300°C selama 8 jam untuk adaptasi bahan dan temperaturnya. Pada pemanasan hari kedua, bahan dipanaskan sampai temperatur 600°C , kemudian dibiarkan konstan pada temperatur 600°C selama 7 jam.



Gambar 21. Grafik Alur Pemanasan Bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Waktu Pemanasan Total 15 jam

Pemanasan Sampel 2

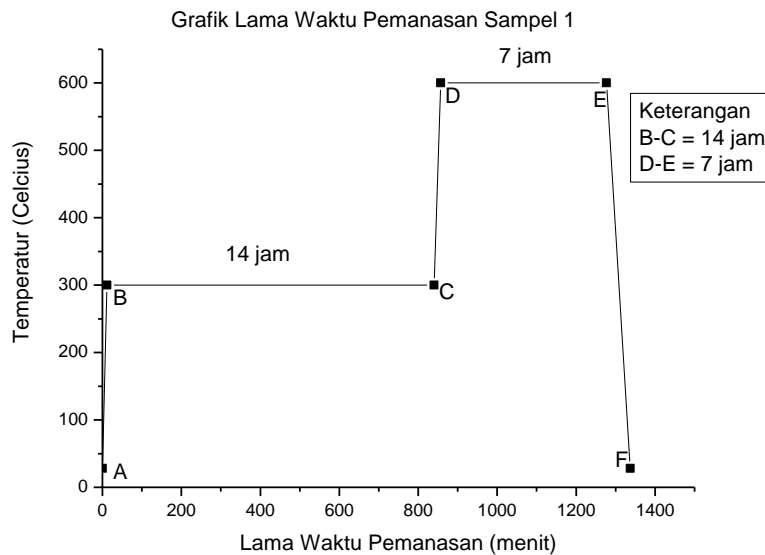
Pada sampel 2 hari pertama, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dipanaskan dari temperatur 28°C - 300°C , kemudian membiarkan pada temperatur 300°C selama 8 jam untuk adaptasi bahan dan temperaturnya. Pada pemanasan hari kedua, bahan dipanaskan lagi pada temperatur 300°C selama 2 jam, kemudian temperatur dinaikkan sampai 600°C , kemudian dibiarkan konstan pada temperatur 600°C selama 7 jam.



Gambar 22. Grafik Alur Pemanasan Bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Waktu Pemanasan Total 17 jam

Pemanasan Sampel 3

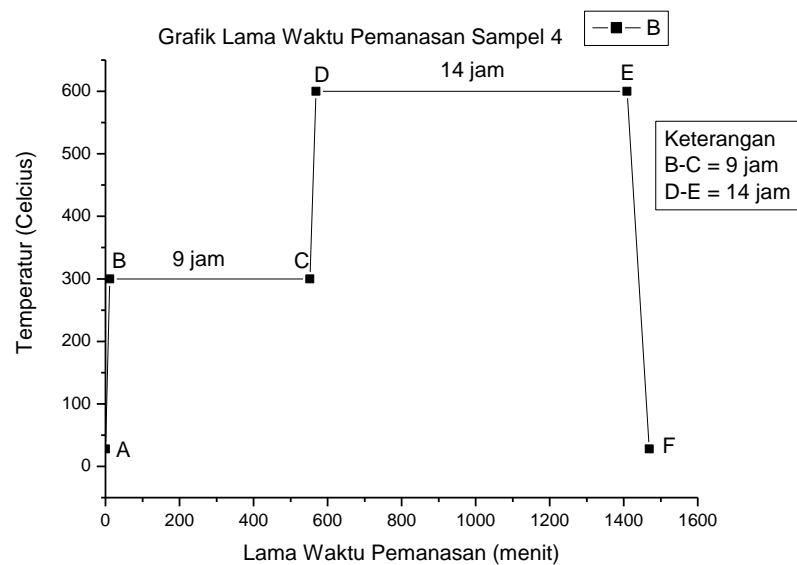
Pada sampel 3 hari pertama, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dipanaskan dari temperatur 28°C - 300°C , kemudian membiarkan pada temperatur 300°C selama 8 jam untuk adaptasi bahan dan temperaturnya. Pada pemanasan hari kedua, bahan dipanaskan lagi pada temperatur 300°C selama 6 jam, kemudian pada hari ketiga, bahan dipanaskan dengan temperatur dinaikkan sampai 600°C , kemudian dibiarkan konstan pada temperatur 600°C selama 7 jam.



Gambar 23. Grafik Alur Pemanasan Bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Waktu Pemanasan Total 21 jam

Pemanasan Sampel 4

Pada sampel 4 hari pertama, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dipanaskan dari temperatur 28°C - 300°C , kemudian membiarkan pada temperatur 300°C selama 8 jam untuk adaptasi bahan dan temperaturnya. Pada pemanasan hari kedua, bahan dipanaskan lagi pada temperatur 300°C selama 1 jam, kemudian dilanjutkan dengan menaikkan temperatur sampai 600°C selama 7 jam. Pada pemanasan hari ketiga, pemanasan dilakukan pada temperatur 600°C selama 7 jam.



Gambar 24. Grafik Alur Pemanasan Bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan Waktu Pemanasan Total 23 jam

3. Karakterisasi Bahan Semikonduktor ($\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$)

a. Karakterisasi XRD

Langkah–langkah yang dilakukan pada karakterisasi menggunakan XRD :

- 1) Menyiapkan sampel yang ingin dikarakterisasi XRD dalam bentuk serbuk.
- 2) Membersihkan tempat sampel dari debu dan kotoran, kemudian memasang sampel pada tempat sampel.
- 3) Memasang sampel pada *specimen chamber* mesin XRD lalu mencetak hasil analisis.

b. Karakterisasi SEM dan EDAX

Langkah–langkah yang dilakukan pada karakterisasi menggunakan SEM dan EDAX :

- 1) Memotong sampel hasil preparasi, kemudian menempelkan sampel yang sudah dipotong pada tempat sampel dan mengelemnya dengan lem konduktif (Dottite dan pasta perak).
- 2) Memanaskan sampel dengan *water heater* untuk mengeringkan lem konduktif.
- 3) Membersihkan sampel dari debu dan kotoran yang menempel menggunakan *hand blower*.
- 4) Meletakkan sampel yang sudah diberi lem ke dalam mesin SEM dan EDAX, kemudian mencetak hasil analisisnya.

E. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan menggunakan XRD berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara intensitas dan sudut difraksi 2θ , hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*), sehingga diperoleh bidang-bidang hkl dari sampel. Untuk mengetahui parameter kisi (a, b, dan c) yang terbentuk dapat dilakukan dengan metode analitik.

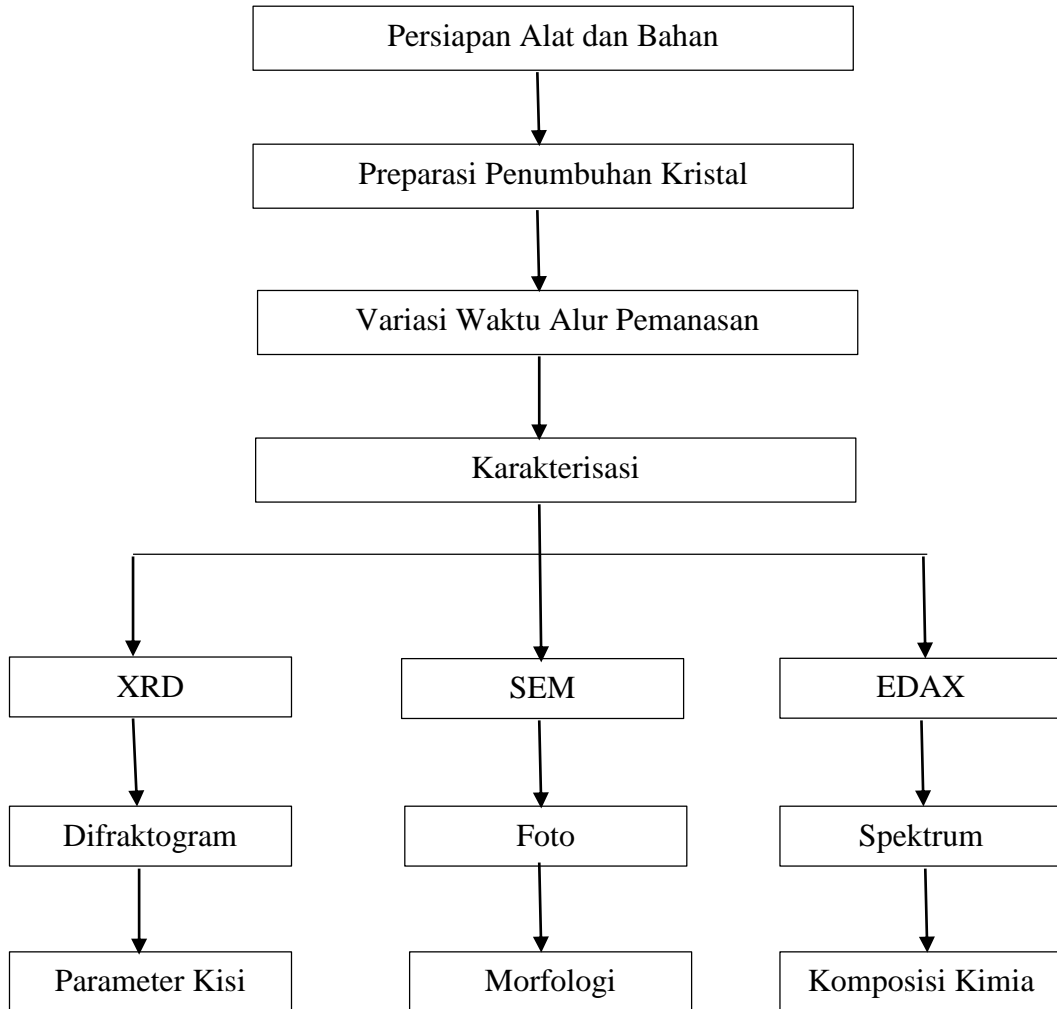
$$\sin^2 \theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2$$

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

Data yang diperoleh dari hasil karakterisasi SEM berupa foto morfologi permukaan. Dari foto hasil pengamatan menggunakan SEM dapat dilihat morfologi dari kristal yang dihasilkan secara tiga dimensi. Hasil pengamatan menggunakan EDAX dapat dimanfaatkan untuk mengetahui komposisi kimia yang dimiliki kristal lengkap dengan perbandingan komposisi kimia yang dimiliki kristal.

F. Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahapan seperti berikut:



Gambar 25. Diagram Alir Tahapan Penelitian

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menumbuhkan kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dalam bentuk *massif* (bongkahan) dengan teknik Bridgman. Dalam penelitian ini menggunakan empat sampel *massif* bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$. Proses penumbuhan kristal dilakukan dengan memanaskan bahan Sn, Se, dan Te dengan perbandingan mol 1 : 0,4 : 0,6 pada temperatur 300°C dan 600°C. Proses penumbuhan kristal dimulai dengan menimbang bahan Sn, Se, dan Te, kemudian dimasukkan ke dalam tabung *pyrex* dan divakumkan sampai tekanan $3,5 \times 10^{-5}$ mbar. Setelah itu, tabung dilas agar tetap vakum. Kemudian bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dipanaskan menggunakan *furnace*.

Penelitian ini menggunakan empat sampel dan dibuat variasi lama waktu pemanasan yang berbeda-beda. Pada sampel 1, lama waktu pemanasan untuk temperatur 300°C selama 8 jam, sedangkan untuk temperatur 600°C selama 7 jam (total waktu = 15 jam) dilakukan selama 2 hari. Pada sampel 2, lama waktu pemanasan untuk temperatur 300°C selama 10 jam, sedangkan untuk temperatur 600°C selama 7 jam (total waktu = 17 jam) dilakukan selama 2 hari. Pada sampel 3, lama waktu pemanasan untuk temperatur 300°C selama 14 jam, sedangkan untuk temperatur 600°C selama 7 jam (total waktu = 21 jam) dilakukan selama 3 hari. Pada sampel 4, lama waktu pemanasan untuk temperatur 300°C

selama 9 jam, sedangkan untuk temperatur 600°C selama 14 jam (total waktu = 23 jam) dilakukan selama 3 hari.

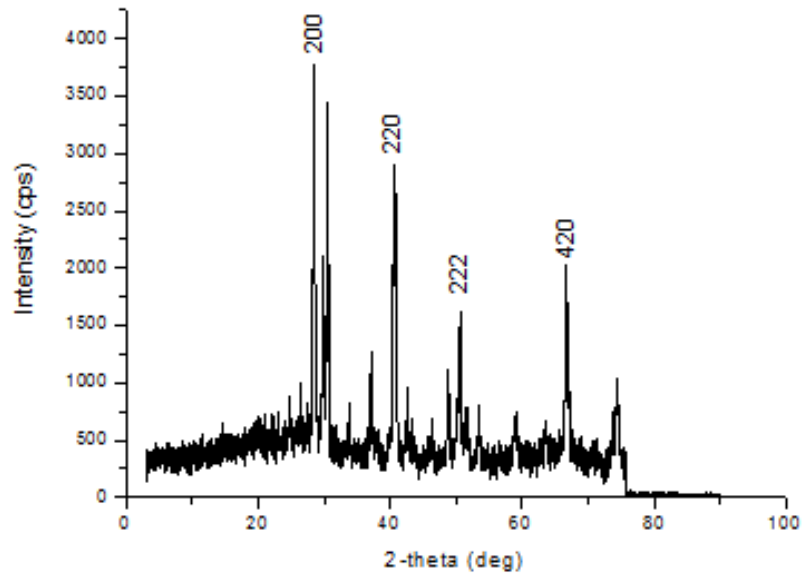
Bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ memiliki struktur kristal yang berbeda-beda. *Stannum* (Sn) memiliki struktur simpel kubik, *Selenium* (Se) memiliki struktur hexagonal, dan *Tellurium* (Te) memiliki struktur hexagonal. Hasil massif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction*, *Scanning Electron Microscopy* dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray*.

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

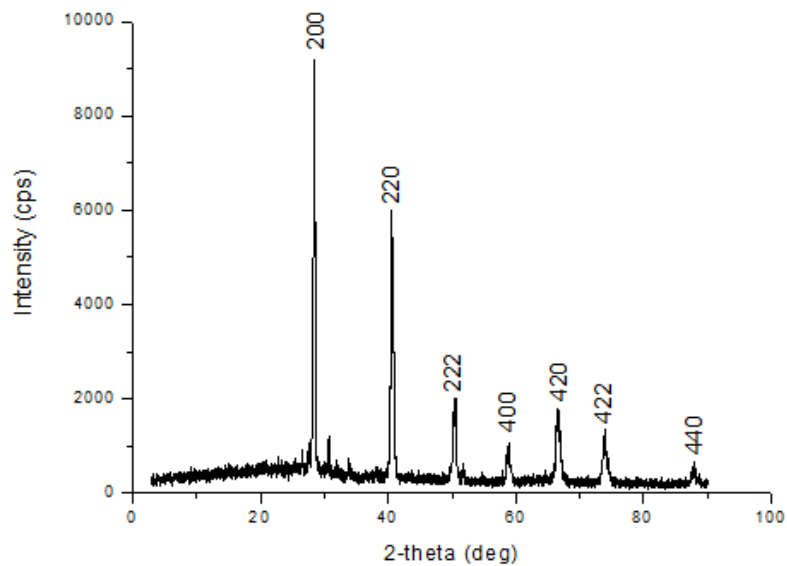
Karakterisasi dengan XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk pada hasil pemanasan bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ massif dengan teknik Bridgman. Data yang dihasilkan dari karakterisasi XRD berupa *difraktogram*, yaitu grafik hubungan antara intensitas (I) dengan sudut hamburan (2θ). *Difraktogram* menunjukkan puncak-puncak spectrum yang muncul pada sampel. Setelah dilakukan analisis dengan XRD, dapat diketahui jarak antar bidang (d_{hkl}).

Karakterisasi dengan XRD dimulai dengan menempatkan sampel pada pemegang stasioner, kemudian sinar-X ditembakkan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu. Setelah itu akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang d dan sudut 2θ yang memenuhi hukum Bragg. Analisis XRD menggunakan sumber *Cu* dengan panjang gelombang 1,54050 Å. Parameter yang digunakan

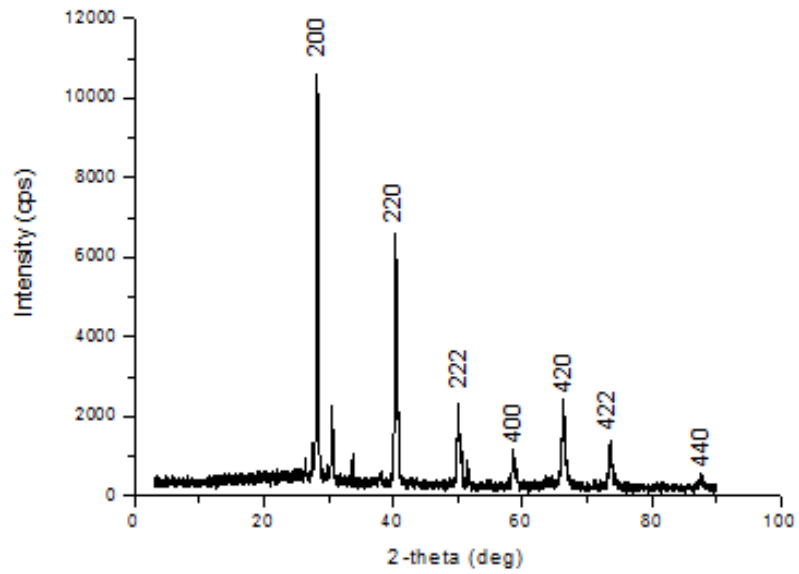
XRD di Laboratorium Kimia FMIPA UNY adalah tegangan operasi 40 kV, arus 15 mA, dan rentang sudut $2\theta = 2^\circ - 90^\circ$. Difraktogram hasil XRD sampel $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ massif ditunjukkan pada Gambar



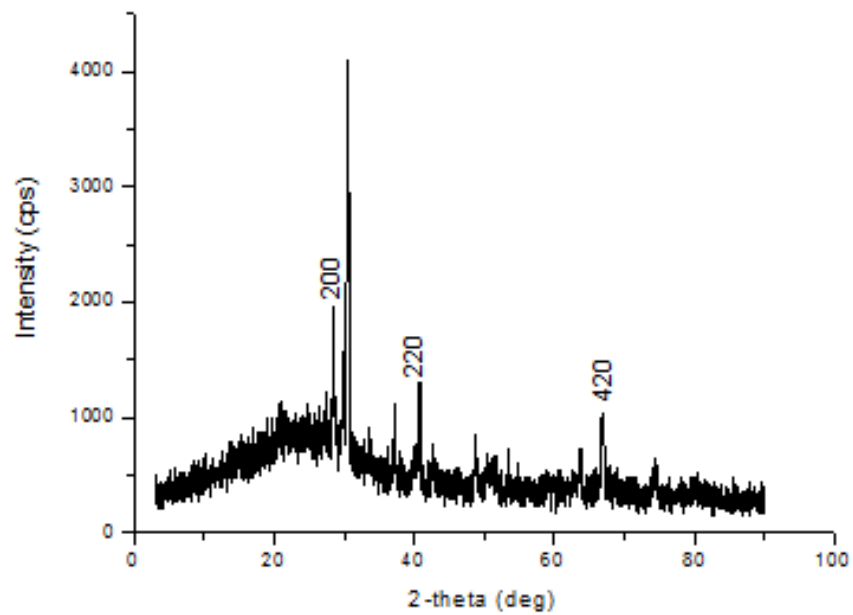
Gambar 26. Difraktogram $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Massif Sampel 1 dengan Lama Pemanasan pada 300°C Selama 8 Jam dan pada 600°C Selama 7 Jam.



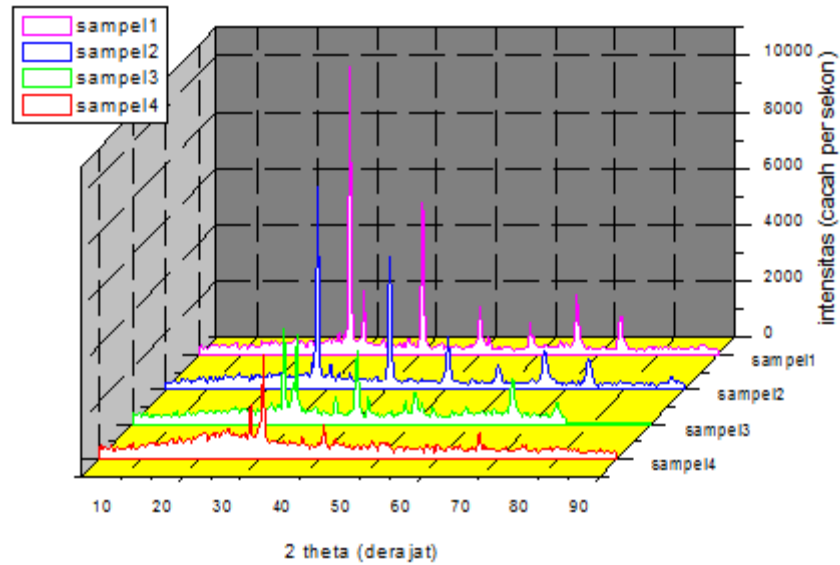
Gambar 27. Difraktogram $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Massif Sampel 2 dengan Lama Pemanasan pada 300°C Selama 10 Jam dan pada 600°C Selama 7 Jam.



Gambar 28. Difraktogram Sn(Se_{0.4}Te_{0.6}) Massif Sampel 3 dengan Lama Pemanasan pada 300°C Selama 14 Jam dan pada 600°C Selama 7 Jam.



Gambar 29. Difraktogram Sn(Se_{0.4}Te_{0.6}) Massif Sampel 4 dengan Lama Pemanasan pada 300°C Selama 9 Jam dan pada 600°C Selama 14 Jam.



Gambar 30. Perbandingan *Difraktogram Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Massif* Sampel 1, Sampel 2, Sampel 3, dan Sampel 4

Pada gambar di atas, perbedaan antara keempat difraktogram adalah pada nilai intensitas puncak-puncaknya. Difraktogram pada sampel 3 mempunyai lebih banyak intensitas (puncak) dibandingkan dengan sampel 1, 2, dan 4, sedangkan untuk dan sampel 1 mempunyai intensitas relatif yang lebih tinggi dibandingkan sampel 2, sampel 3, dan sampel 4, tetapi puncak-puncak dari keempat difraktogram terletak pada 2θ yang mendekati sama yaitu pada 2θ sekitar 28° .

Dari keempat difraktogram sampel, diketahui pola difraksi berupa deretan puncak-puncak dengan intensitas relatif yang bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besar intensitas relatif puncak dari deretan puncak bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada dan distribusinya dalam sel satuan material tersebut. Semakin banyak jumlah elektron, maka semakin besar intensitas sinar-X. Setiap puncak mewakili satu bidang

kristal dan setiap *peak* mempunyai tinggi intensitas yang berbeda. Puncak-puncak intensitas rendah merupakan intensitas Bremsstrahlung. Intensitas berbanding lurus dengan jumlah foton sinar-X yang terdeteksi detektor untuk tiap sudut dan 2θ merupakan sudut antara sinar datang dan sinar pantul.

Data penelitian kemudian dicocokkan dengan perbandingan data standar JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standard*) dari SnTe. Penelitian ini cenderung lebih ke komposisi Te karena konsentrasi Te lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi Se. Teknik yang digunakan untuk mencocokkan hasil XRD dengan JCPDS adalah program PCPDFWIN (*Program Computer Powder Diffraction Files Windows*).

Berdasarkan data tersebut, sampel SnTe berada pada grup ruang (*space group*) Fm3m (225) dan memiliki struktur kristal kubik pusat badan karena pada nilai $h + k + l$ menghasilkan bilangan genap (Scheer, M dan McCharty, 1994). Dari data JCPDS diperoleh nilai parameter kisi, struktur kristal, dan indeks Miller (hkl) dari tiap puncak difraksi, sehingga perhitungan parameter kisi manual dapat dilakukan ketika struktur kristal sudah diketahui.

Hasil dari *difraktogram* kristal Sn($\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$) pola alur pemanasan 1 terdapat 7 puncak yang nilainya mendekati JCPDS SnTe dan dapat diketahui nilai sudut difraksi (2θ), intensitas (I), dan jarak antar bidang (d_{hkl}). Pada pola alur pemanasan 2 terdapat 7 puncak, alur pemanasan 3

terdapat 4 puncak, dan alur pemanasan 4 terdapat 3 puncak yang nilainya mendekati JCPDS SnTe.

Hasil perbandingan data difraktogram sampel 1, 2, 3, dan 4 dengan data JCPDS disajikan dalam tabel 2, 3, 4, dan 5.

Tabel 2. Perbandingan Hasil XRD Sn($\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$) Sampel 1 dengan JCPDS SnTe

No	Sn($\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6}$) Hasil XRD		JCPDS SnTe		<i>hkl</i>
	2θ (°)	I Relatif	2θ (°)	I Relatif	
1	28,175	100	28,309	100	200
2	40,301	64	40,415	50	220
3	50,104	16	50,019	16	222
4	58,45	12	58,477	10	400
5	66,263	29	66,227	16	420
6	73,6	13	73,526	8	422
7	87,66	2	87,422	4	440

Tabel 3. Perbandingan Hasil XRD Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Sampel 2 dengan JCPDS SnTe

No	Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Hasil XRD		JCPDS SnTe		<i>hkl</i>
	2θ (°)	I Relatif	2θ (°)	I Relatif	
1	28,351	100	28,309	100	200
2	40,52	61	40,415	50	220
3	50,36	19	50,019	16	222
4	58,73	8	58,477	10	400
5	66,42	15	66,227	16	420
6	73,959	13	73,526	8	422
7	87,73	4	87,422	4	440

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

No	Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Hasil XRD		JCPDS SnTe		<i>hkl</i>
	2θ (°)	I Relatif	2θ (°)	I Relatif	
1	28,51	96	28,309	100	200
2	40,692	76	40,415	50	220

3	50,442	36	50,019	16	222
4	66,704	51	66,227	16	420

Tabel 5. Perbandingan Hasil XRD Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Sampel 4 dengan JCPDS SnTe

No	Sn(Se _{0,4} Te _{0,6}) Hasil XRD		JCPDS SnTe		<i>hkl</i>
	2θ (°)	I Relatif	2θ (°)	I Relatif	
1	28,45	37	28,309	100	200
2	40,69	24	40,415	50	220
3	66,227	18	66,227	16	420

Berdasarkan hasil XRD, diketahui bahwa puncak-puncak keempat sampel memiliki nilai 2θ yang tidak jauh berbeda dengan data JCPDS dan nilai *hkl* dari keempat sampel memiliki kesamaan dengan JCPDS. Intensitas *peak* atau puncak menunjukkan tingkat keteraturan atom pada kristal yang terbentuk. Semakin tinggi puncak, maka semakin baik kualitas kristal. Dari hasil XRD diperoleh nilai intensitas maksimum pada sampel 1 sebesar 5122 cps pada $2\theta = 30,510^\circ$, sampel 2 sebesar 4949 cps pada $2\theta = 28,351^\circ$, sampel 3 sebesar 1753 cps pada $2\theta = 28,175^\circ$, dan sampel 4 sebesar 1858 cps pada $2\theta = 30,577^\circ$. Dari keempat intensitas tersebut terlihat bahwa pada sampel 1 intensitasnya paling tinggi. Hal ini mungkin

disebabkan karena pola pemanasan dengan suhu 300 derajat selama 8 jam dan pada 600 derajat selama 7 jam (waktu paling sedikit dibandingkan sampel yang lain).

Adanya intensitas relatif yang berbeda dari hasil XRD menunjukkan banyaknya berkas sinar-x yang mengalami interferensi konstruktif. Dari keempat sampel tersebut dapat diketahui bahwa sampel pertama dengan lama waktu pemanasan 8 jam untuk temperatur 300 °C dan 7 jam untuk temperatur 600°C. Sampel pertama dapat dikatakan memiliki kualitas kristal yang baik dibandingkan dengan sampel 2, sampel 3, dan sampel 4.

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

Karakterisasi XRD juga dapat digunakan untuk menentukan parameter kisi. Penentuan parameter kisi dilakukan dengan metode analitik. Dari tabel dapat diketahui bahwa kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) yang terbentuk pada jangka waktu yang lama dan temperatur yang tinggi membentuk polikristal dengan struktur kubik. Kristal kubik memiliki sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ dan nilai parameter kisi $a = b = c$. Nilai parameter kisi hasil perhitungan lalu dibandingkan dengan JCPDS SnTe disajikan pada Tabel 6.

Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	JCPDS SnTe
Kisi	1	2	3	4	SnTe
a (Å)	6,3104	6,2892	6,2684	6,2684	6,3030
Struktur Kristal	Kubik Pusat Badan	Kubik Pusat Badan	Kubik Pusat Badan	Kubik Pusat Badan	Kubik Pusat Badan

Tabel 6. Parameter Kisi Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) pada Sampel 1, 2, 3, dan 4 Dibandingkan dengan JCPDS SnTe

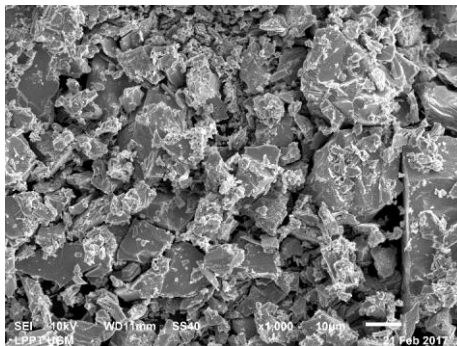
Dari tabel dapat diketahui bahwa parameter kisi a dari keempat sampel hasil kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) pada pola alur pemanasan 1 dan 2 menghasilkan kualitas lebih baik dibandingkan pola alur pemanasan 3 dan 4 ditinjau dari nilai parameter kisi, tetapi dari keempat sampel juga tidak memiliki perbedaan yang besar terhadap parameter kisi JCPDS SnTe. Hal tersebut membuktikan bahwa lama waktu pemanasan mempengaruhi puncak intensitas, tetapi tidak mempengaruhi nilai parameter kisi dan struktur kristal. Adanya perbedaan intensitas puncak antar difraktogram dari keempat sampel menyebabkan perbedaan keteraturan susunan atom. Pada sampel 1 memerlukan waktu total selama 15 jam, sampel 2 memerlukan waktu total selama 17 jam, sampel 3 memerlukan waktu total selama 21 jam, dan sampel 4 memerlukan waktu total selama 23 jam.

Karena pada sampel 1 dan sampel 2 memerlukan waktu pemanasan lebih sedikit dibandingkan sampel 3 dan 4, menyebabkan unsur Sn, Se, dan Te bereaksi lebih baik dan tidak banyak terjadi cacat kristal. Puncak-puncak intensitas pada sampel 1 lebih tinggi daripada sampel 2, 3, dan 4, sehingga dapat dikatakan bahwa sampel 1 memiliki keteraturan susunan atom yang baik. Intensitas relatif yang berbeda dari hasil XRD menunjukkan banyaknya berkas sinar-X yang mengalami interferensi konstruktif, berarti pada bahan tersebut atom-atomnya menempati posisi dengan teratur.

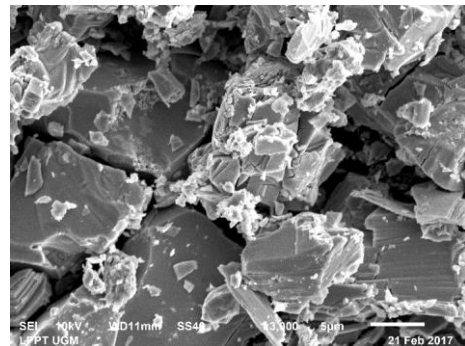
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Erda (2016) mengenai kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dimana alur pemanasan juga divariasikan tetapi waktunya lebih sedikit yaitu 6 jam pada sampel 1, kemudian 7 jam pada sampel 2, dan 8 jam pada sampel 3. Diketahui bahwa ternyata dengan lama pemanasan selama 8 jam menghasilkan kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan sampel yang dipanaskan selama 6 jam dan 7 jam, tetapi jika dibandingkan dengan nilai parameter kisi dan hasil EDAX untuk kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan lama waktu pemanasan selama 15 jam, lebih mirip dengan JCPDS SnTe dan untuk perbandingan komposisi kimianya pun lebih sesuai dengan teori.

3. Karakterisasi Morfologi Permukaan Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

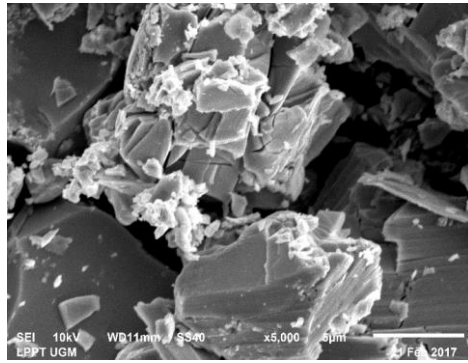
Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan dari kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}). Sampel yang diuji dengan SEM adalah sampel 1 dan sampel 3 dikarenakan pada sampel 1 memiliki puncak yang paling tinggi diantara sampel-sampel yang lainnya, sedangkan untuk sampel 3 memiliki banyak puncak yang terlihat. Hasil dari SEM berupa foto permukaan kristal. Dari hasil foto, dapat diketahui tingkat homogenitas kristal yang terbentuk. Karakterisasi SEM diperoleh dari pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan oleh bahan. Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari atom yang menduduki permukaan puncak dan kemudian menghasilkan gambaran yang akan menginterpretasikan permukaan. (Laras Ati, 2013 : 62) Berikut hasil foto dari kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) dengan perbesaran 1000X, 3000X, 5000X, dan 10000X yang pengujiannya dilakukan di LPPT UGM.



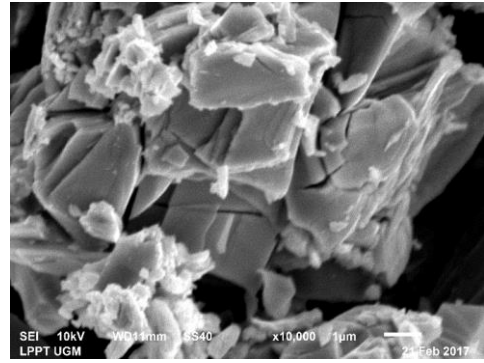
(a)



(b)

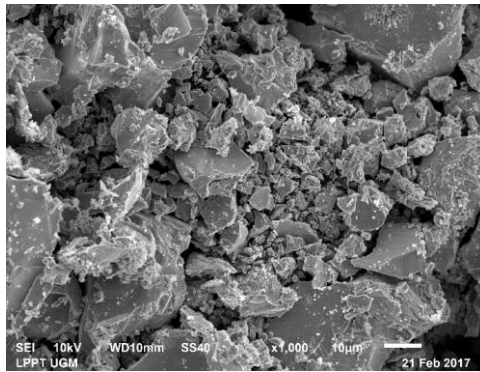


(c)

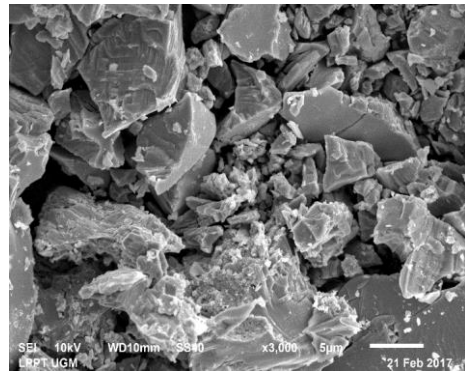


(d)

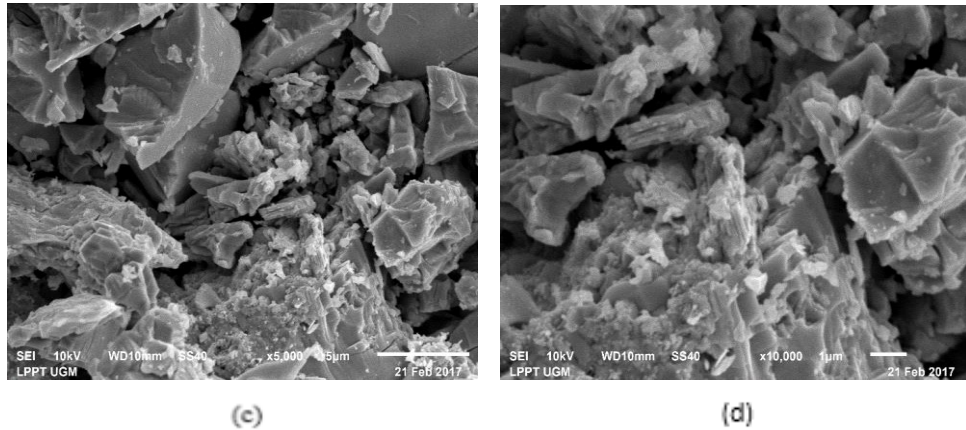
Gambar 31. Foto Morfologi Permukaan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Sampel 1 (a) Hasil SEM dengan Perbesaran 1.000X, (b) Hasil SEM dengan Perbesaran 3.000X, (c) Hasil SEM dengan Perbesaran 5.000X, (d) Hasil SEM dengan Perbesaran 10.000X



(a)



(b)



Gambar 32. Foto Morfologi Permukaan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Sampel 1 (a) Hasil SEM dengan Perbesaran 1.000X, (b) Hasil SEM dengan Perbesaran 3.000X, (c) Hasil SEM dengan Perbesaran 5.000X, (d) Hasil SEM dengan Perbesaran 10.000X

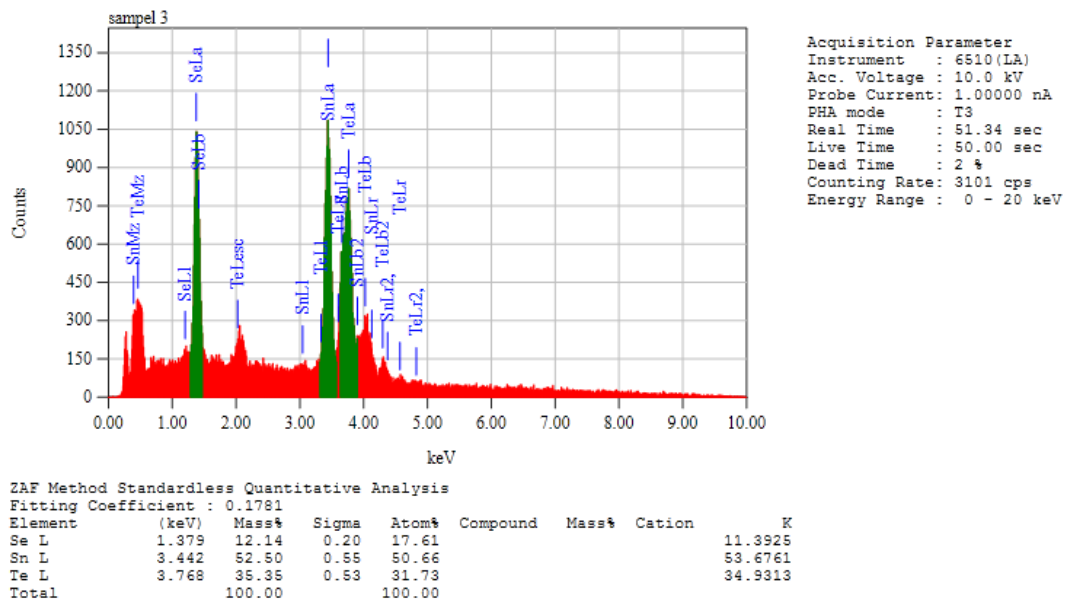
Gambar 31 dan gambar 32 adalah hasil karakterisasi SEM yang menunjukkan bahwa kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ sudah terbentuk. Kristal yang terbentuk ditandai dengan munculnya butiran-butiran (*grain*) berbentuk kotak. Meskipun demikian, dari gambar juga nampak terlihat bongkahan-bongkahan besar berbentuk runcing dan acak yang tersebar secara teratur dalam pola tataan tertentu. Bentuk *grain* pada permukaan kristal bervariasi dan memiliki ukuran antara $1\ \mu\text{m} - 10\ \mu\text{m}$ pada sampel 1 dan sampel 3 dengan tekstur permukaan cukup halus. Dari gambar juga nampak bongkahan-bongkahan besar berbentuk runcing dan acak yang diduga akibat kerusakan permukaan kristal dari tekanan luar saat proses pengiriman sampel. Kerusakan ini mengakibatkan berkas elektron berenergi tinggi yang ditembakkan saat karakterisasi tidak mengalami pemantulan, sehingga detektor di dalam SEM tidak dapat mendeteksi elektron yang dipantulkan.

Akibatnya tidak ada informasi mengenai profil permukaan benda pada permukaan kristal yang rusak.

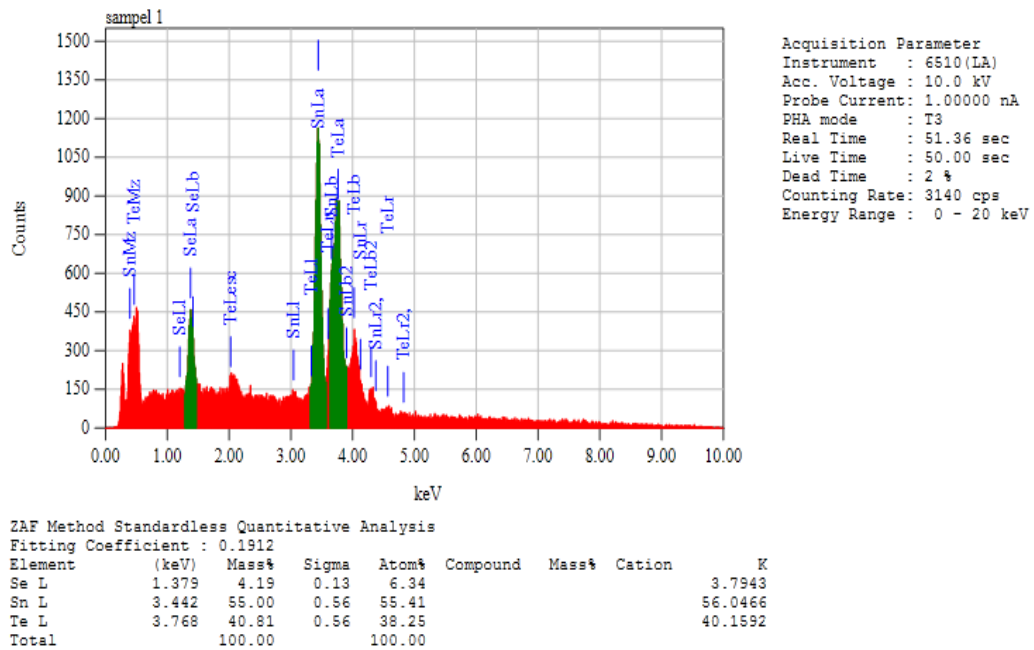
Pada perbesaran 10000x untuk sampel 1 terlihat *grain* (butiran) lebih besar daripada sampel 3, ini menunjukkan bahwa keteraturan atom pada sampel 1 lebih baik daripada sampel 3. Hal ini dapat dikarenakan, pada pemanasan selama 15 jam, bahan Sn, Se, dan Te sudah melebur lebih dahulu daripada waktu 17 jam, 21 jam, dan 23 jam. Ketika suatu kristal diberi pemanasan lebih lama, kemungkinan kristal akan lebih banyak cacat kristalnya dibandingkan dengan waktu yang lebih sedikit. Dengan demikian, diketahui pula bahwa lama waktu pemanasan juga memberikan pengaruh terhadap ukuran *grain* dan bentuk menyerupai kubik pada sampel.

4. Analisis Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)

Karakterisasi EDAX digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari hasil preparasi semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang terbentuk. Hasil analisis EDAX berupa grafik hubungan antara intensitas dengan energi yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-x karakteristik dari bahan sampel yang dikarakterisasi. Prinsip dasar EDAX adalah menangkap dan mengolah sinyal *fluorensasi* sinar-x yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan. Sinar-X dideteksi dengan detektor zat padat yang dapat menghasilkan grafik hubungan antara energi dan intensitas yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-X karakteristik dari bahan yang dikarakterisasi. (Laras Ati, 2013 : 65)



Gambar 33. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ pada Sampel 1



Gambar 34. Grafik Hubungan Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ pada Sampel 3

Berdasarkan hasil analisis EDAX, diketahui bahwa preparasi semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te). Adapun perbandingan persentase komposisi kimia pada sampel 1 dengan bahan dasarnya yaitu unsur Sn = 50,66% ; Se = 17,61%, dan Te = 31,73%. Hasil penelitian diperoleh perbandingan mol Sn : Se : Te = 1 : 0,4 : 0,6. Sedangkan perbandingan persentase komposisi kimia pada sampel 3 diperoleh bahan dasarnya yaitu unsur Sn = 55,41% ; Se = 6,34%, dan Te = 38,25%. Hasil penelitian diperoleh perbandingan mol Sn : Se : Te = 1 : 0,1 : 0,7. Secara teori perbandingan mol Sn : Se : Te adalah 1 : 0,4 : 0,6 dan sampel 1 memiliki hasil yang sesuai dengan teori.

Tabel 7. Perbandingan Molaritas Unsur Sn, Se, dan Te

Sampel	Konsentrasi Unsur			Perbandingan Unsur Mol		
	Sn	Se	Te	Sn	Se	Te
1	50,66 %	17,61 %	31,73 %	1	0,4	0,6
3	55,41 %	6,34 %	38,25 %	1	0,1	0,7

Pada sampel 1, hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa terjadi perubahan komposisi atom Se. Hal ini disebabkan oleh sifat tak jenuh dari ikatan logam yang menyatakan bahwa pencampuran berbagai atom logam berlainan tidak bergantung secara kritis pada perbandingan masing-masing jenis atom. Karakteristik suatu logam sering berubah terhadap perubahan komposisinya.

Sifat tak jenuh dari ikatan logam menyebabkan elektron valensi mempunyai kemampuan untuk mengembara secara bebas dari suatu atom ke atom yang lain. Elektron valensi atom yang membentuk logam menjadi milik seluruh gumpalan, sehingga sejenis gas elektron terbentuk. Gas elektron akan berinteraksi dengan ion logam. Interaksi ini yang berpengaruh terhadap komposisi atom penyusunnya. (Beisser, 1992 : 372-373)

Ketidaksesuaian ini juga kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

- a. Kurang telitinya peneliti saat proses penimbangan
- b. Kondisi saat pemvakuman, tabung belum vakum atau steril sepenuhnya
- c. Pada saat memasukkan bahan-bahan sampel ke dalam tabung *pyrex* terdapat bahan yang menempel pada dinding tabung
- d. Kurang meratanya peleburan paduan bahan dasar saat proses pemanasan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai hasil preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan menggunakan teknik Bridgman, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi waktu pemanasan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman mempengaruhi puncak intensitas, tetapi tidak mempengaruhi nilai parameter kisi dan struktur kristal. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi XRD adalah sampel 1 memiliki keteraturan dan kualitas kristal yang baik dibandingkan dengan sampel 2, sampel 3, dan sampel 4. Nilai parameter pada sampel 1 membuktikan bahwa lama waktu pemanasan 15 jam lebih baik karena paling mendekati nilai parameter kisi JCPDS SnTe yaitu $a = 6,3030 \text{ \AA}$ daripada waktu pemanasan 17 jam, 21 jam, dan 23 jam.
2. Struktur kristal yang terbentuk adalah kubik. Sampel 1 diperoleh nilai parameter kisi $a = 6,3104 \text{ \AA}$, sampel 2 diperoleh nilai parameter kisi $a = 6,2892 \text{ \AA}$, sampel 3 diperoleh nilai parameter kisi $a = 6,2684 \text{ \AA}$, dan sampel 4 diperoleh nilai parameter kisi $a = 6,2684 \text{ \AA}$. Dikarenakan hasil parameter kisi yang tidak terpaut jauh, maka lama waktu pemanasan tidak mempengaruhi nilai parameter kisi. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa bahan paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang terbentuk ditandai dengan adanya warna yang seragam dan terang pada permukaan bahan (kristal sudah

tercampur). Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa komposisi kimia bahan paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ pada sampel 1 yaitu $\text{Sn} = 50,66\%$; $\text{Se} = 17,61\%$, dan $\text{Te} = 31,73\%$ dengan perbandingan mol $\text{Sn} : \text{Se} : \text{Te}$ adalah $1 : 0,4 : 0,6$.

B. Saran

Agar penumbuhan kristal dengan teknik Bridgman semakin baik, maka saran yang dapat disampaikan oleh peneliti adalah :

1. Dalam proses preparasi bahan, sebaiknya menggunakan tabung yang mempunyai titik lebur lebih tinggi dari *pyrex* sehingga pemanasan dapat dilakukan pada suhu yang sangat tinggi dan waktu yang lama untuk menghindari ledakan pada tabung.
2. Dalam proses pemvakuman sebaiknya dilakukan pada tekanan yang lebih rendah agar unsur-unsur yang lain tidak ikut bereaksi.
3. Setelah kristal dikeluarkan dari tabung *pyrex*, sebaiknya langsung dimasukkan dalam tabung yang rapat agar mencegah dari kontaminasi udara dari luar.
4. Sebaiknya melakukan penelitian lebih lanjut tentang $\text{Sn}(\text{Se}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan variasi lama waktu pemanasan yang lebih bervariasi agar diperoleh informasi yang lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariswan.(2008). *Fisika Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan.(2011). *Teknik Karakterisasi Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan.(2013). *Kristalografi, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Beiser, Arthur.(1992). *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Cullity, B.D.(1956). *Element of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishig Company Inc.
- Dwi Ratna Sari Dewi. (2013). *Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Se}_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- E. Wahjuniati dan A. Harsono Soepardjo. 2002. *Karakterisasi Polikristal AgInSe_2 yang Ditumbuhkan Menggunakan Tungku Vertikal Temperatur Zona Tunggal dengan Difraksi Sinar-X*. Jurnal Himpunan Fisika Indonesia edisi 2002.
- Edi Istiyono. (2000). *Fisika Zat Padat I. Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Erda Harum S. (2016). *Pengaruh Waktu Alur Pemanasan terhadap Kualitas Kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Fajar Marwanto. (2012). *Pengaruh Perbedaan Temperatur Kristalisasi terhadap Karakteristik Bahan Semikonduktor $\text{Pb}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- K. Jamaluddin, 2010. *Makalah Fisika Material. Handout Kuliah*. Kendari : Universitas Haluoleo.
- Kittel, C. (1976). *Introduction to Solid State Physics*. New York, London, Sydney, Taronto: John Wiley & Sons, Inc.
- Kittel, Charles. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. 8th.Ed. Hoboken: John Willey and Sons. USA.

- Moh. Anshori. (2016). *Pengaruh Temperatur Pemanasan pada Kualitas Kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nyoman Suwitra. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: DepdikBud.
- Parno. (2006). *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM.
- Prafit Wiyantoko. (2009). *Studi tentang Perubahan Struktur Kristal Bahan Semikonduktor Sel Surya Cadmium Sulfida (CdS) dengan Teknik Close Spaced Vapor Transport (CSVST)*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rio, S.R., & Iida, M. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Saini, R., Pallavi., Singh, M., Kumar, R., Jain, G., et al. (2010). *Structural and Electrical Characterization of sintered SnTe Films*. *Jurnal*. College: Department of Physics.
- Smallman, R.E & Bishop, J.R. (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Wiendartun. (2012). *Diktat Fisika Zat Padat I*. Bandung: FMIPA UPI
- Winter, Mark. (2016). *Selenide*. Diakses dari http://www.webelements.com/coumpounds/tin/tin_selenide.html. (diakses pada tanggal 2 Februari 2017, pukul 13.14 WIB)
- <http://www.Ciripo.wordpress.com/2011/11/11/cacat-kristal/> (diakses pada tanggal 2 Februari 2017, pukul 13.17 WIB)
- <http://id.wikipedia.org/wiki//Timah> (diakses pada tanggal 2 Februari 2017, pukul 14.02 WIB)
- <http://id.wikipedia.org/wiki//Selenium> (diakses pada tanggal 2 Februari 2017, pukul 14.10 WIB)
- <http://id.wikipedia.org/wiki//Tellurium> (diakses pada tanggal 2 Februari 2017, pukul 14.15 WIB)
- http://webelements.com/compounds/tin/tin_telluride.html (diakses pada tanggal 5 Februari 2017, pukul 11.17 WIB)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Parameter Kisi Kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6})

Persamaan hukum Bragg adalah $n\lambda = 2d \sin \theta$ (1)

Kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) memiliki struktur kristal kubik dan parameter kisi dapat dihitung dengan rumus jarak antar bidang

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

Dengan persamaan hukum Bragg (1) dan mensubstitusi ke dalam persamaan (2), maka diperoleh persamaan :

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

Maka,

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

Untuk memperoleh nilai parameter kisi a , dari persamaan (4) :

$$\frac{\lambda^2}{4a^2} = A, \quad \frac{\lambda^2}{4a^2} = B, \quad \frac{\lambda^2}{4a^2} = C \quad (5)$$

Substitusi persamaan (5) ke persamaan (4), diperoleh :

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

Alur pemanasan 1 (Sampel 1)

Material : Sn(Se_{0,4}Te_{0,6})

Radiasi : CuK α

$\lambda_{K\alpha 1}$: 1,54056 Å

Peak	2θ (°)	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	$\frac{\sin^2 \theta}{24}$	$\frac{\sin^2 \theta}{32}$	<i>hkl</i>
1	28,175	0,0592	0,0148	0,0074	0,0049	0,0037	0,0030	0,0025	0,0025	200
2	40,301	0,1187	0,0297	0,0148	0,0099	0,0074	0,0059	0,0049	0,0037	220
3	50,104	0,1793	0,0448	0,0224	0,0149	0,0112	0,0090	0,0075	0,0056	222
4	58,45	0,2384	0,0596	0,0298	0,0199	0,0149	0,0119	0,0099	0,0075	400
5	66,263	0,2987	0,0747	0,0373	0,0249	0,0187	0,0149	0,0124	0,0093	420
6	73,6	0,3588	0,0897	0,0449	0,0299	0,0224	0,0179	0,0150	0,0112	422
7	87,66	0,4796	0,1199	0,0600	0,0400	0,0300	0,0240	0,0200	0,0150	440

$$A = 0,0149$$

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

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0149}} = \frac{1,54056}{0,24413}$$

$$a = 6,3104 \text{ \AA}$$

Tabel 8. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 1 terhadap JCPDS SnTe

Parameter Kisi	Alur Pemanasan 1	JCPDS SnTe
<i>a</i>	6,3104 Å	6,303 Å
Struktur	Kubik	Cubic

Alur pemanasan 2 (Sampel 2)

Material : Sn(Se_{0,4}Te_{0,6})

Radiasi : CuK α

$\lambda_{K\alpha 1}$: 1,54056 Å

Peak	2θ (°)	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	$\frac{\sin^2 \theta}{24}$	$\frac{\sin^2 \theta}{32}$	hkl
1	28,351	0,0599	0,0150	0,0075	0,0050	0,0037	0,0030	0,0025	0,0025	200
2	40,52	0,1199	0,0300	0,0150	0,0100	0,0075	0,0060	0,0050	0,0050	220
3	50,36	0,181	0,0453	0,0226	0,0151	0,0113	0,0091	0,0075	0,0057	222
4	58,73	0,2405	0,0601	0,0301	0,0200	0,0150	0,0120	0,0100	0,0075	400
5	66,42	0,2999	0,0750	0,0375	0,0250	0,0187	0,0150	0,0125	0,0094	420
6	73,959	0,3618	0,0905	0,0452	0,0302	0,0226	0,0181	0,0151	0,0113	422
7	87,73	0,4802	0,1201	0,0600	0,0400	0,0300	0,0240	0,0200	0,0150	440

$$A = 0,0150$$

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

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0150}} = \frac{1,54056}{0,24495}$$

$$a = 6,2892 \text{ \AA}$$

Tabel 9. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 2 terhadap JCPDS SnTe

Parameter Kisi	Alur Pemanasan 2	JCPDS SnTe
a	6,2892 Å	6,303 Å
Struktur	Kubik	Cubic

Alur pemanasan 3 (Sampel 3)

Material : Sn(Se_{0,4}Te_{0,6})

Radiasi : CuK α

$\lambda_{K\alpha 1}$: 1,54056 Å

Peak	2θ (°)	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	hkl
1	28,51	0,0606	0,0152	0,0076	0,0051	0,0030	200
2	40,692	0,1209	0,0302	0,0151	0,0101	0,0060	220
3	50,442	0,1816	0,0454	0,0227	0,0151	0,0091	222
4	66,704	0,3022	0,0756	0,0378	0,0252	0,0151	420

$$A = 0,0151$$

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

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0151}} = \frac{1,54056}{0,245764}$$

$$a = 6,2684 \text{ \AA}$$

Tabel 10. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 3 terhadap JCPDS SnTe

Parameter Kisi	Alur Pemanasan 3	JCPDS SnTe
a	6,2684 Å	6,303 Å
Struktur	Kubik	Cubic

Alur pemanasan 4 (Sampel 4)

Material : Sn(Se_{0,4}Te_{0,6})

Radiasi : CuK α

$\lambda_{K\alpha 1}$: 1,54056 Å

Peak	2θ (°)	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	hkl
1	28,45	0,0604	0,0151	0,0076	0,0030	200
2	40,69	0,1209	0,0302	0,0151	0,0060	220
3	66,227	0,2984	0,0746	0,0373	0,0149	420

$$A = 0,0151$$

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

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} = \frac{1,54056}{2\sqrt{0,0151}} = \frac{1,54056}{0,24576}$$

$$a = 6,2684 \text{ Å}$$

Tabel 11. Nilai parameter kisi kristal Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) hasil preparasi pada alur pemanasan 4 terhadap JCPDS SnTe

Parameter Kisi	Alur Pemanasan 1	JCPDS SnTe
a	6,2684 Å	6,303 Å
Struktur	Kubik	<i>Cubic</i>

Lampiran 2. Data Hasil Karakterisasi dengan Menggunakan XRD

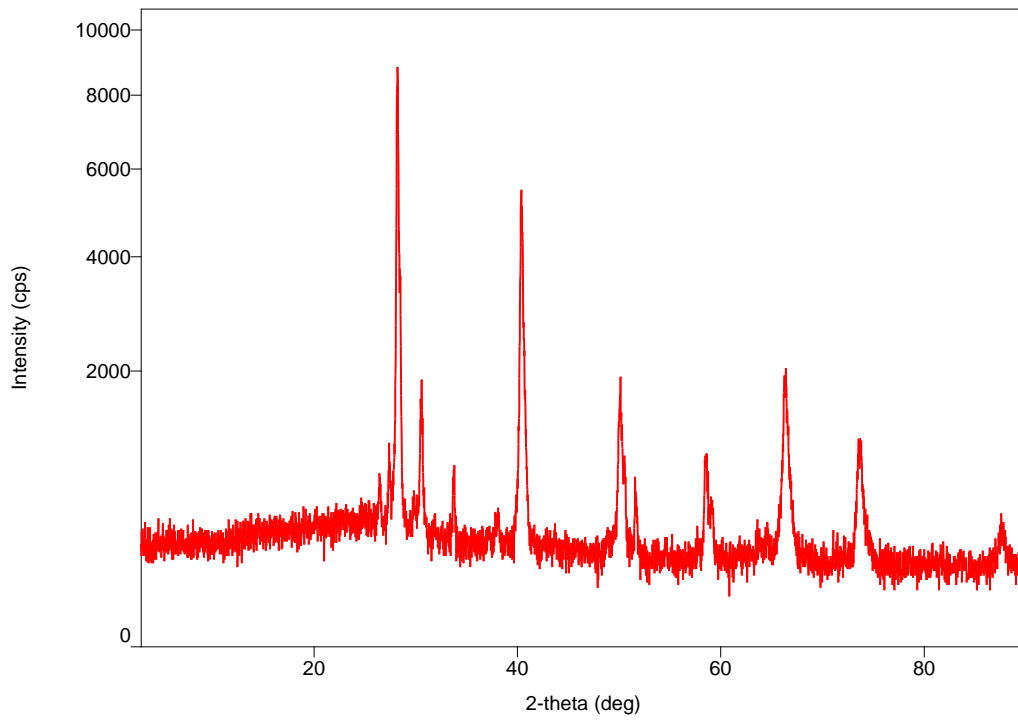
1. Hasil karakterisasi XRD sampel 1

Peak List

General information

Analysis date	2017/01/12 15:33:25		
Sample name	Sampel 1 Sn(Se _{0,4} Te _{0,6})	Measurement date	2017/01/12 15:22:18
File name	806-xrd-2017.ras	Operator	administrator
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2- theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.175(3)	3.1647(4)	5122(207)	0.318(9)	1985(39)	0.39(2)	0.49(9)
2	30.55(2)	2.924(2)	987(91)	0.23(2)	336(13)	0.34(4)	1.0(5)
3	33.715(9)	2.6563(7)	318(51)	0.19(3)	72(8)	0.23(6)	0.8(7)
4	40.301(3)	2.23605(17)	3259(165)	0.387(7)	1538(21)	0.47(3)	0.26(5)
5	50.104(8)	1.8191(3)	835(83)	0.56(2)	570(17)	0.68(9)	0.82(16)
6	51.579(8)	1.7705(3)	327(52)	0.15(3)	62(7)	0.19(5)	0.3(3)
7	58.45(2)	1.5776(5)	611(71)	0.25(3)	182(21)	0.30(7)	0.4(2)
8	59.09(6)	1.5620(13)	259(46)	0.35(9)	126(23)	0.49(18)	1.8(13)
9	66.263(8)	1.40935(14)	1495(112)	0.297(18)	914(14)	0.61(6)	0.74(11)
10	73.60(4)	1.2859(7)	664(74)	0.53(4)	515(14)	0.78(11)	0.9(3)
11	87.66(12)	1.1123(12)	121(32)	0.67(11)	98(10)	0.8(3)	1.9(18)

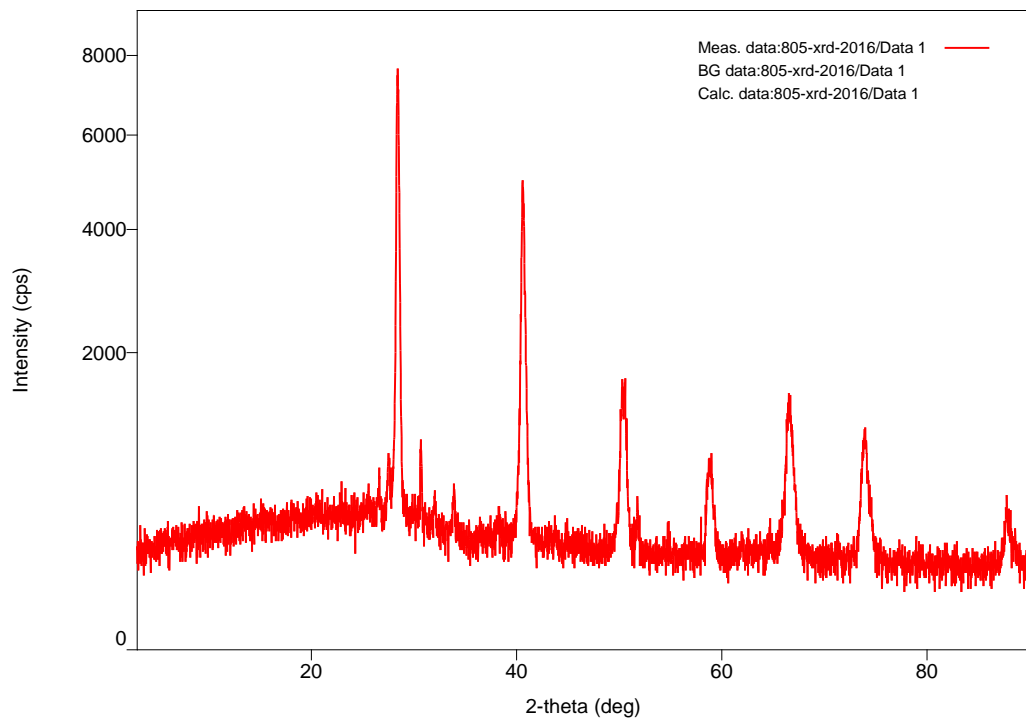
2. Hasil karakterisasi XRD sampel 2

Peak List

General information

Analysis date	2016/12/09 15:29:53		
Sample name	Sampel 2 Sn(Se _{0,4} Te _{0,6})	Measurement date	2016/12/09 13:54:48
File name	805-xrd-2016.ras	Operator	administrator
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. Factor
1	28.351(7)	3.1454(8)	4949(203)	0.318(6)	1876(24)	0.38(2)	0.58(6)
2	30.656(15)	2.9140(14)	544(67)	0.099(19)	65(7)	0.12(3)	0.9(6)
3	40.520(10)	2.2245(5)	3008(158)	0.439(8)	1569(19)	0.52(3)	0.48(5)
4	50.36(2)	1.8106(7)	924(88)	0.609(16)	657(16)	0.71(8)	0.96(13)
5	51.802(10)	1.7634(3)	182(39)	0.21(4)	47(6)	0.26(9)	5(4)
6	58.73(3)	1.5708(8)	404(58)	0.62(2)	266(12)	0.66(12)	0.67(14)
7	66.42(3)	1.4063(5)	757(79)	0.75(2)	659(15)	0.87(11)	0.51(9)
8	73.959(16)	1.2806(2)	635(73)	0.59(2)	527(13)	0.83(12)	2.4(2)
9	87.73(5)	1.1116(5)	180(39)	0.47(8)	128(10)	0.7(2)	1.3(6)

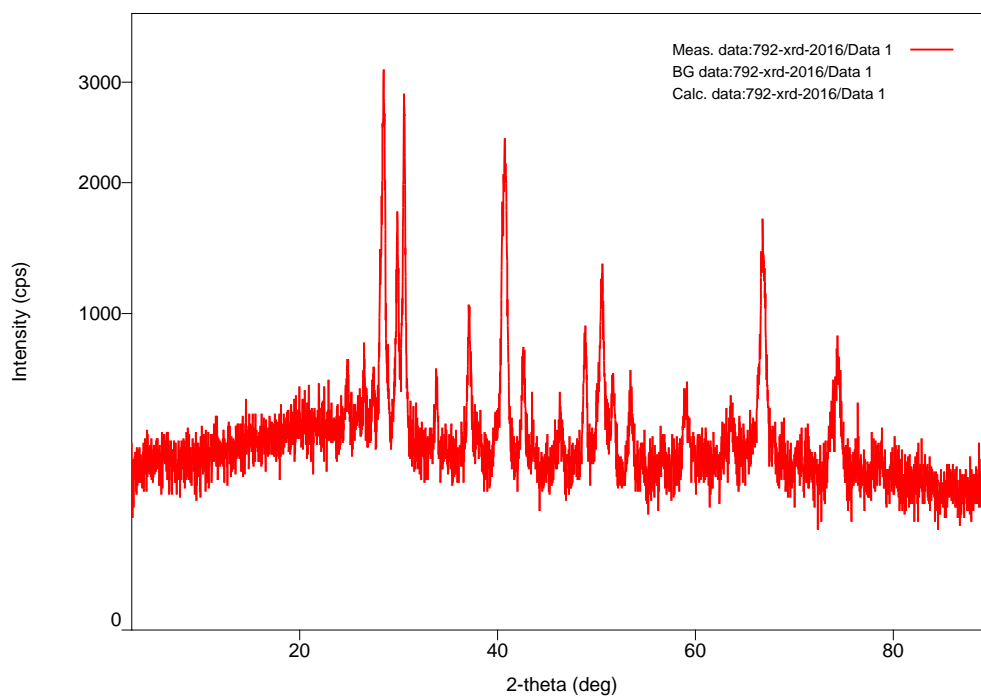
3. Hasil karakterisasi XRD sampel 3

Peak List

General information

Analysis date	2016/12/05 14:08:04		
Sample name	Sn(Se _{0,4} Te _{0,6})	Measurement date	2016/12/05 13:52:24
File name	792-xrd-2016.ras	Operator	administrator
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.51(2)	3.128(2)	1681(118)	0.37(2)	791(22)	0.47(5)	3.4(14)
2	29.819(13)	2.9938(13)	878(86)	0.205(16)	251(12)	0.29(4)	0.51(17)
3	30.510(13)	2.9276(12)	1753(121)	0.206(17)	519(15)	0.30(3)	0.7(2)
4	37.068(13)	2.4233(8)	607(71)	0.18(3)	224(10)	0.37(6)	0.6(3)
5	40.692(15)	2.2155(8)	1335(105)	0.523(12)	792(17)	0.59(6)	1.28(14)
6	42.62(5)	2.120(2)	301(50)	0.34(5)	126(11)	0.42(10)	2.1(17)
7	48.82(3)	1.8641(11)	397(58)	0.32(2)	134(9)	0.34(7)	1.3(5)
8	50.442(13)	1.8077(4)	630(72)	0.38(2)	344(15)	0.55(9)	0.51(5)
9	51.66(4)	1.7680(13)	223(43)	0.41(6)	158(18)	0.7(2)	1.7(5)
10	53.41(6)	1.7141(18)	190(40)	0.40(4)	81(10)	0.43(14)	0.9(5)
11	66.704(16)	1.4011(3)	901(87)	0.47(2)	634(15)	0.70(8)	0.62(7)
12	74.29(6)	1.2757(9)	262(47)	0.90(5)	252(16)	1.0(2)	1.5(4)

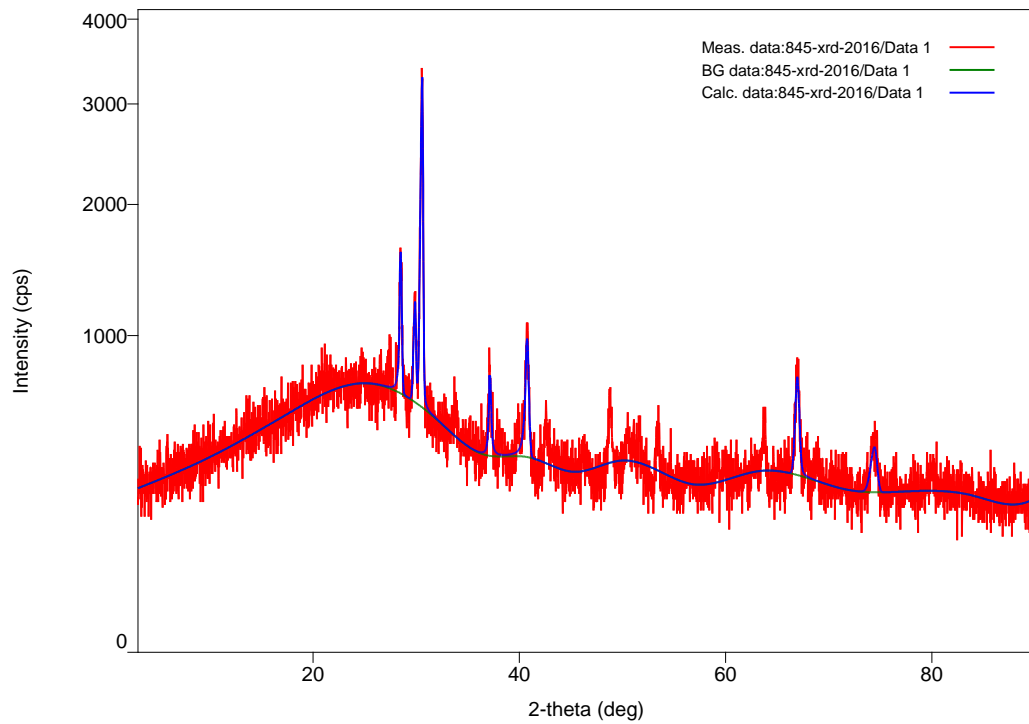
4. Hasil karakterisasi XRD sampel 4

Peak List

General information

Analysis date	2016/12/28 10:17:23	Measurement date	2016/12/28 10:06:36
Sample name	Spl4 Sn(Se _{0,4} Te _{0,6})	Operator	administrator
File name	845-xrd-2016.ras		
Comment			

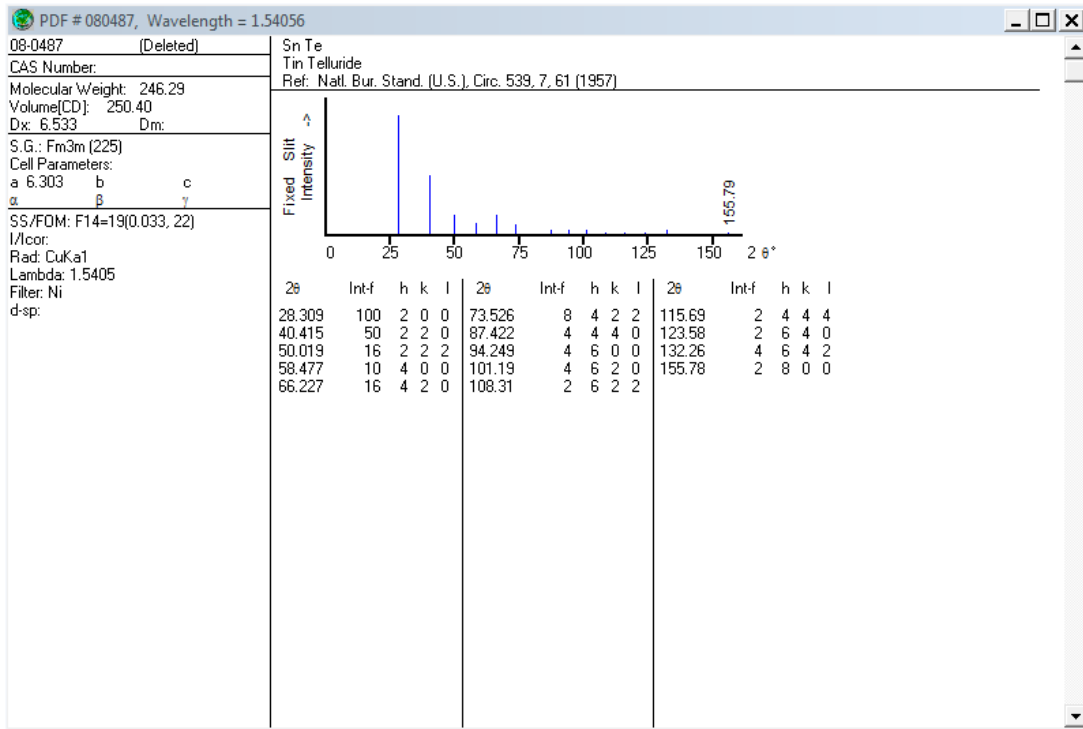
Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.45(3)	3.135(3)	682(75)	0.21(3)	191(13)	0.28(5)	0.7(4)
2	29.88(2)	2.988(2)	419(59)	0.258(19)	121(7)	0.29(6)	2.1(8)
3	30.577(9)	2.9213(9)	1858(124)	0.274(8)	561(10)	0.30(3)	3.0(6)
4	37.084(13)	2.4223(8)	318(51)	0.19(4)	95(9)	0.30(8)	0.4(3)
5	40.69(4)	2.216(2)	442(61)	0.31(6)	189(16)	0.43(9)	0.7(5)
6	66.92(6)	1.3971(11)	332(53)	0.40(5)	149(13)	0.45(11)	1.4(9)
7	74.41(3)	1.2739(4)	116(31)	0.67(9)	82(12)	0.7(3)	2.0(16)

Lampiran 3. JCPDS SnTe



Lampiran 4. Gambar Alat dan Bahan

