

**PENGARUH VARIASI MASSA BAHAN TERHADAP KUALITAS
KRISTAL SEMIKONDUKTOR $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ 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



Oleh

Annisa Dyah Auliasari

NIM. 13306141025

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2017**

PERSETUJUAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Massa Bahan terhadap Kualitas Kristal Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman” yang disusun oleh Annisa Dyah Auliasari, NIM 13306141025 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, 12 Mei 2017

Dosen Pembimbing,




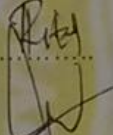

Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Massa Bahan terhadap Kualitas Kristal Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman” yang disusun oleh Annisa Dyah Auliasari, NIM 13306141025 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 02 Juni 2017 dan dinyatakan lulus.

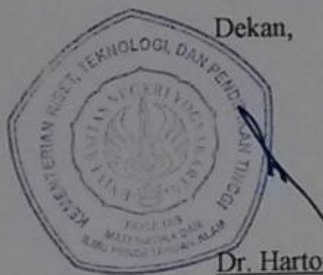
DEWAN PENGUJI

No	Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1	<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 195909141988031003	Ketua Penguji		8-6-17
2	<u>Rita Prasetyowati, M.Si</u> NIP. 198007282006042001	Sekretaris Penguji		8-6-17
3	<u>R. Yosi Aprian Sari, M.Si</u> NIP. 197304072006041001	Penguji Utama		8-6-17

Yogyakarta, 12 JUN 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

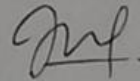
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil 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 selanjutnya.

Yogyakarta, 12 Mei 2017

Yang menyatakan,



Annisa Dyah Auliasari

NIM. 13306141025

MOTTO

“As I look back on my life, I realise that every time I thought I was being rejected from something good; I was actually being redirected to something better. You must convince your heart that whatever Allah has decreed is most appropriate and most beneficial to you.”

(Imam Al-Ghazali)

“I never dreamed about success, I worked for it”

(Estee Lauder)

PERSEMBAHAN

*Karya sederhana ini kupersembahkan untuk kedua orang
tuaku yang selalu memberikan seluruh do'a dan dukungan
terbaik.*

PENGARUH VARIASI MASSA BAHAN TERHADAP KUALITAS KRISTAL SEMIKONDUKTOR $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK BRIDGMAN

Oleh:

Annisa Dyah Auliasari

13306141025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan 1) mengetahui pengaruh massa bahan terhadap kualitas kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, 2) mengetahui pengaruh massa bahan terhadap struktur kristal dan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, dan 3) mengetahui morfologi permukaan serta komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

Teknik penumbuhan kristal yang digunakan adalah teknik Bridgman dengan melakukan variasi massa bahan. Untuk sampel pertama, massa Sn yang digunakan adalah 0,9 gram, sampel II massa Sn sebanyak 1 gram, sampel III massa Sn sebanyak 1,1 gram, dan untuk sampel IV massa Sn sebanyak 1,2 gram. Keempat sampel dipanaskan dengan alur pemanasan yang sama dan proses pemanasan untuk tiap sampel dilakukan selama 18 jam untuk suhu 350°C , dan 600°C selama 12 jam. Kristal hasil preparasi kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX).

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa variasi massa dapat mempengaruhi kualitas kristal dilihat dari tingkat keteraturan atom dalam kristal. Struktur kristal dari keempat sampel yang terbentuk adalah kubik. Hasil perhitungan analitik parameter kisi kristal yang dihasilkan yaitu, sampel I sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, sampel II sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, sampel III sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, dan sampel IV sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$. Dari hasil karakterisasi SEM dapat terlihat bahwa morfologi permukaan dari sampel I dan sampel II menunjukkan sudah terbentuk kristal. Sedangkan hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa kedua sampel mengandung unsur Sn, Se dan Te dengan perbandingan molar Sn : Se : Te untuk sampel I adalah 1 : 0,1 : 0,8 dan sampel II dengan perbandingan 1 : 0,01 : 0,6.

Kata kunci: Semikonduktor, Teknik Bridgman, Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$

**THE EFFECT OF MATERIAL MASS ON THE QUALITY OF
SEMICONDUCTOR CRYSTALS $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ PREPARATION RESULTS
USING BRIDGMAN METHOD**

By:
Annisa Dyah Auliasari
13306141025

ABSTRACT

This research aims 1) to know the effect of material mass on the quality of semiconductor crystals $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, 2) to know the effect of material mass on crystal structure and parameters of crystal lattice $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, and 3) to know surface morphology and chemical composition in $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

The crystal growing technique used in this study is the Bridgman technique by varying the mass of the material. For the first sample, the Sn mass used is 0.9 grams, Sn mass for the second sample was 1 gram, third sample was 1.1 grams, and the fourth sample was 1.2 grams. The four samples were heated with the same heating flow and the heating process for each sample was carried out for 18 hours for 350°C , then the temperature was increased to 600°C with a heating time of 12 hours. The result of the crystals were then characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX).

The result of characterization shows that the mass variation can affect the quality of the crystal seen from the atomic order level and the crystal structure of the four samples are cubic. The lattice parameters of the first sample were $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, the second sample were $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, the third sample were $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, and the fourth sample were $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$. From the result of SEM characterization it can be seen that the surface morphology from sample I and sample II indicates that crystal has been formed. While EDAX characterization results showed that both samples contained Sn, Se and Te with molar ratio Sn: Se: Te for the first sample was 1: 0,1: 0,8 and for the second sample was 1: 0,01: 0,6.

Keywords: Semiconductor, Bridgman Method, Crystal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur hanya bagi Allah SWT atas segala rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi dengan judul “Pengaruh Variasi Massa Bahan terhadap Kualitas Kristal Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman” dengan segala kekuatan, kemudahan, kelancaran, dan barokah.

Penulis menyadari sepenuhnya penelitian tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik atas dukungan serta bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta atas pemberian fasilitas dan bantuan untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian skripsi.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNY, yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ariswan, selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Bapak Hartono, selaku asisten Laboratorium Material yang selalu sabar mendampingi selama mengambil data penelitian.
6. Teman-teman kelompok skripsi Material 2013: Echy, Iin, dan Lala terimakasih atas bantuan dan dorongan semangatnya.
7. Irna, Gina, Andri, Putri, dan seluruh teman-teman Fisika B 2013 atas kebersamaannya selama ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sampaikan satu persatu.

Semoga kebaikan yang telah diberikan mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT, Aamiin.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan penulis dalam menyelesaikan penelitian seminar ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya semoga seminar ini dapat bermanfaat dan menjadi sumbangan dunia dan teknologi pada umumnya, serta rekan mahasiswa pada khususnya. Aamiin.

Yogyakarta, Mei 2017

Penulis,

Annisa Dyah Auliasari

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN	iii
MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan	5
F. Manfaat	6
BAB II.....	7
KAJIAN PUSTAKA.....	7
A. Kristal.....	7
1. Struktur Kristal	7
2. Indeks Miller	10
B. Semikonduktor	11
1. Semikonduktor Intrinsik.....	13
2. Semikonduktor Ekstrinsik	14

C. Bahan Semikonduktor Sn(SeTe).....	18
1. Semikonduktor SnSe	18
2. Semikonduktor SnTe	18
3. Semikonduktor Sn(Se _{0,2} Te _{0,8}).....	19
D. Teknik Penumbuhan Kristal Metode Bridgman	19
1. Langkah-langkah Teknik Bridgman	20
2. Kelebihan Teknik Bridgman	21
3. Kelemahan teknik Bridgman	22
E. Karakterisasi Kristal.....	22
1. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)	22
2. Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM).....	28
3. Analisis Energy Despersive Analysis of X-Ray (EDAX)	30
BAB III.....	31
METODE PENELITIAN.....	31
A. Waktu dan tempat penelitian.....	31
B. Variabel Penelitian	31
1. Variabel Bebas.....	32
2. Variabel Terikat.....	32
3. Variabel Kontrol.....	32
C. Bahan dan Alat Penelitian.....	32
1. Bahan Penelitian.....	32
2. Alat Penelitian	34
D. Langkah Penelitian.....	36
1. Penumbuhan Kristal	36
2. Tahap Karakterisasi Bahan Hasil Penumbuhan Kristal Sn dengan Teknik Bridgman	41
E. Teknik Analisis Data.....	43
F. Diagram Alir Penelitian	44
BAB IV	45
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
A. Hasil Penelitian	46

1. Hasil Penumbuhan Kristal Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$	46
2. Hasil Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	47
3. Hasil Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)	53
4. Hasil Karakterisasi Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX)	56
B. Pembahasan.....	58
1. Penumbuhan Kristal Masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan Teknik Bridgman	58
2. Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	59
3. Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM).....	63
4. Karakterisasi Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX).....	64
BAB V	67
KESIMPULAN DAN SARAN	67
A. Kesimpulan	67
B. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sumbu-sumbu dan sudut-sudut antar sumbu kristal	8
Gambar 2. Perpotongan bidang sumbu.	10
Gambar 3. Pita energi (a) Konduktor, (b) Isolator, (c) Semikonduktor.	12
Gambar 4. Keadaan pita energi semikonduktor intrinsik.....	13
Gambar 5. Semikonduktor intrinsik (a) normal (b) terstimulasi.....	14
Gambar 6. Semikonduktor tipe-n dan diagram pita energinya	16
Gambar 7. Semikonduktor tipe-p dan diagram pita energinya	17
Gambar 8. Skema instrumen pembentukan sinar-X	23
Gambar 9. Skema pembentukkan sinar-X <i>bremsstrahlung</i>	24
Gambar 10. Transisi elektron pada atom	25
Gambar 11. Spektrum sinar-X karakteristik	25
Gambar 12. Berkas difraksi sinar-X.....	26
Gambar 13. Diagram alur pemanasan.....	41
Gambar 14. Diagram alir penelitian.....	44
Gambar 15. Difraktogram masif Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$) sampel I.	48
Gambar 16. Difraktogram masif Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$) sampel II.	48
Gambar 17. Difraktogram masif Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$) sampel III.....	49
Gambar 18. Difraktogram masif Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$) sampel IV.....	49
Gambar 19. Foto hasil karakterisasi SEM. sampel I.....	54
Gambar 20. Foto hasil karakterisasi SEM. sampel II.....	55
Gambar 21. Hasil karakterisasi EDAX sampel I.	56
Gambar 22. Hasil karakterisasi EDAX sampel II.	57
Gambar 23. Difraktogram masif Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$)	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sistem Kristal dan Kisi Bravais.	9
Tabel 2. Massa bahan dasar.	47
Tabel 3. Perbandingan hasil XRD Sn(Se _{0,2} Te _{0,8}) sampel I dengan JCPDS.	51
Tabel 4. Perbandingan hasil XRD Sn(Se _{0,2} Te _{0,8}) sampel II dengan JCPDS.	51
Tabel 5. Perbandingan hasil XRD Sn(Se _{0,2} Te _{0,8}) sampel III dengan JCPDS.	52
Tabel 6. Perbandingan hasil XRD Sn(Se _{0,2} Te _{0,8}) sampel IV dengan JCPDS.	50
Tabel 7. Perbandingan intensitas tertinggi keempat sampel.	61
Tabel 8. Perbandingan parameter hasil perhitungan analitik dengan JCPDS.	63
Tabel 9. Perbandingan molaritas unsur penyusun kristal.	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. JCPDS SnTe.....	74
Lampiran 2. Perhitungan parameter kisi kristal.....	75
Lampiran 3. Hasil XRD.....	79
Lampiran 4. Hasil karakterisasi SEM.....	83
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi EDAX.....	87
Lampiran 6. Alat dan Bahan.....	88

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dunia elektronika mengalami perkembangan yang cukup pesat, hal ini terlihat dari berkembangnya teknologi bidang material semikonduktor yang merupakan bahan pembuatan devais elektronik, optoelektronik, dan piranti sel surya. Seiring dengan perkembangan kemajuan teknologi dan kebutuhan pasar terhadap devais elektronik dan optoelektronik, maka penelitian rekayasa bahan untuk pembuatan devais elektronik mulai dikembangkan. Penumbuhan bahan baku pembuatan devais elektronika, optoelektronika maupun piranti sel surya yang saat ini banyak dikembangkan adalah dengan pemanfaatan semikonduktor menggunakan bahan Silikon.

Silikon (Si) merupakan bahan semikonduktor golongan IVA yang ideal sebagai bahan dasar sel surya karena memiliki *energy gap* 1.2 eV sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap spektrum matahari lebih banyak. Selain Silikon, material lain yang banyak dipelajari dan diteliti adalah material paduan dari golongan II-IV atau III-VI baik *binary* (paduan 2 unsur) maupun *ternary* (paduan 3 unsur) (Setiawan, 2007). Jenis bahan-bahan semikonduktor paduan golongan IV-VI sangat berguna dalam mengembangkan teknologi optoelektronika.

Bahan semikonduktor lainnya yang merupakan paduan golongan IV-VI adalah SnSe (*Stannum Seleneide*), dan SnTe (*Stannum Telluride*). SnSe dan SnTe memiliki persamaan, yaitu merupakan bahan semikonduktor perpaduan antara golongan IVA (Sn) dan golongan VIA (Se, Te). *Stannum Seleneide* (SnSe) merupakan semikonduktor tipe-p yang mempunyai struktur kristal orthorombik dan berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaiik dan memori-switching. Menurut penelitian Kumar et al (2012), SnSe memiliki *energy gap* sekitar 1,30 eV.

Stannum Telluride (SnTe) memiliki *energy gap* sebesar 0,35 eV (Saini, 2010). Menurut Saini (2010), bahan SnTe dapat digunakan sebagai detektor inframerah (3-14 μ m), detektor foto, dan perangkat termoelektrik. Selain itu menurut Malaquias (2011), bahan SnTe merupakan bahan yang relatif murah dan bukan yang mengandung *toxic* serta bahan yang melimpah di alam.

Dari uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai preparasi dan karakterisasi kristal semikonduktor dengan bahan Sn(SeTe) yang merupakan gabungan dari SnSe dan SnTe. Material Sn(SeTe) (*Tin Seleneide Teluride*) merupakan perpaduan antara tiga unsur, yaitu Sn dari golongan IVA, dengan Se dan Te dari golongan VIA. Bahan semikonduktor Sn(SeTe) dapat dibuat dengan memperhatikan perbandingan molaritas dari masing-masing bahan. Pada penelitian ini perbandingan molaritas bahan Sn : Se : Te yang digunakan adalah 1 : 0,2 : 0,8. Molaritas bahan ini berpengaruh pada massa dari masing-masing bahan yang digunakan pada penumbuhan

kristal semikonduktor. Variasi masa bahan dengan komposisi molaritas yang sama diperlukan untuk meneliti kualitas bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui kualitas kristal dan pengaruh doping unsur Se (*Selenium*) pada kristal semikonduktor SnTe yang dihasilkan. Pemberian doping Se diperkirakan memberikan pengaruh pada parameter penting pada kualitas kristal semikonduktor yang dihasilkan. Pengaruh tersebut meliputi pengaruh pada struktur kristal, yaitu bagaimana pengaruh penambahan unsur Se pada struktur kristal semikonduktor SnTe yang dihasilkan, mengingat SnSe memiliki struktur kristal orthorombik sedangkan SnTe memiliki struktur kubik serta pengaruhnya terhadap parameter kisi kristal. Lalu pengaruh doping Se pada besarnya *energy gap* dari kristal yang dihasilkan, mengingat *energy gap* paduan SnTe adalah 0,35 eV menurut Saini (2010), dan *energy gap* SnSe menurut penelitian Kumar et al (2012) adalah 1,3 eV.

Penelitian ini hanya akan membahas pengaruh massa pada kualitas kristal dilihat dari hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) karena keterbatasan sistem peralatan yang ada. Bentuk morfologi dan komposisi kimia kristal semikonduktor yang dihasilkan juga perlu diketahui agar dapat menjadi acuan dalam pemanfaatan kristal semikonduktor yang dihasilkan, seperti terapan teknologi detektor inframerah, maupun piranti sel surya.

Pada penelitian ini akan ditumbuhkan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan menggunakan metode Bridgman. Teknik penumbuhan kristal Bridgman dipilih karena langkah kerja dan alat yang digunakan dalam teknik Bridgman

cukup sederhana. Kristal semikonduktor yang terbentuk dengan teknik Bridgman adalah berupa ingot atau masif, dimana selanjutnya dilakukan karakterisasi guna mengetahui kualitas dan informasi lebih lanjut dari hasil yang didapatkan. Karakterisasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX). Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal, SEM untuk mengetahui struktur morfologi permukaan, dan karakterisasi EDAX untuk mengetahui komposisi kimia secara kuantitatif dari bahan hasil preparasi.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Kemajuan teknologi yang berkembang pesat, mendesak manusia menciptakan rekayasa pembuatan bahan devais elektronik.
2. Belum diketahui pengaruh massa bahan terhadap kualitas kristal semikonduktor Sn(SeTe) hasil preparasi dengan teknik Bridgman.
3. Belum diketahui pengaruh massa bahan terhadap struktur kristal dan parameter kisi kristal Sn(SeTe) hasil peparasi dengan teknik Bridgman.
4. Belum diketahui morfologi permukaan dan komposisi kimia dari kristal Sn(SeTe) hasil preparasi dengan teknik Bridgman.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, dibatasi pada bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi menggunakan teknik penumbuhan kristal Bridgman dengan melakukan variasi massa bahan dasar. Karakterisasi menggunakan XRD, SEM, dan EDAX untuk mengetahui struktur, morfologi permukaan dan komposisi kimia dari kristal yang dihasilkan.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang dan batasan masalah, maka rumusan masalah dalam penelitian ini seperti berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh massa bahan terhadap kualitas kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman?
2. Bagaimanakah pengaruh massa bahan terhadap struktur dan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman?
3. Bagaimanakah morfologi permukaan dan komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman?

E. Tujuan

Berdasarkan identifikasi masalah dan rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh massa bahan terhadap kualitas kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman.
2. Mengetahui pengaruh massa bahan terhadap struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman.

3. Mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman.

F. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ berkualitas baik dengan menggunakan teknik Bridgman.
2. Dapat menambah wawasan keilmuan dan sebagai salah satu alternatif bahan kajian untuk penelitian berikutnya.
3. Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang dihasilkan dapat digunakan menjadi bahan devais elektronik, agar dapat diaplikasikan dan dimanfaatkan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kristal

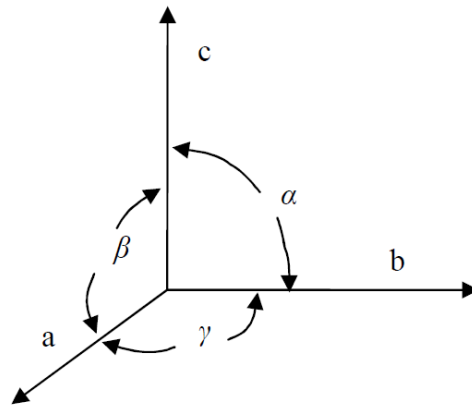
Kristal merupakan komposisi atom-atom zat padat yang mempunyai susunan periodik dalam tiga dimensi. Kristal bersifat zat padat, tetapi tidak semua zat padat berstruktur kristal. Zat padat merupakan zat yang tersusun dari sejumlah atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang sangat berdekatan atau sangat rapat dan memiliki bentuk yang utuh atau berbentuk padatan. Suatu benda padat berbentuk kristal apabila atom, ion, atau molekulnya (selanjutnya disebut atom saja) teratur dan periodik dalam rentang yang panjang dalam ruang (Parno, 2006). Berdasarkan strukturnya, zat padat dibagi menjadi tiga yaitu monokristal, polikristal dan amorf.

Monokristal atau kristal tunggal merupakan kristal yang atom-atom atau molekul-molekulnya tersusun secara teratur dan pola ini berulang secara periodik. Polikristal dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil yang saling menumpuk yang membentuk benda padat (Ariswan, 2015). Sedangkan amorf memiliki atom-atom atau molekul-molekul penyusun yang acak dan tidak teratur secara berulang.

1. Struktur Kristal

Struktur kristal dibangun oleh sel satuan yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara periodik dalam kisi ruang. Kisi

ruang merupakan pertemuan dari titik-titik sumbu dalam ruang tiga dimensi. Pada satu sel satuan terdapat tiga buah sumbu yang merupakan sumbu kristal teratur dan berhubungan dengan atom atau ion yang sama.



Gambar 1. Sumbu-sumbu dan sudut-sudut antar sumbu kristal
(Istiyono, 2000).

Berdasarkan sumbu-sumbu a , b , dan c (kisi bidang) dan sudut α , β , dan γ (kisi ruang), kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal dengan 14 kisi bravais. Kubik merupakan sistem kristal yang paling sederhana dimana semua rusuk dan sudut yang dimiliki sama besarnya, yaitu $a-a-a$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Sistem kristal kubik memiliki tiga jenis bentuk, yaitu kubus sederhana (*primitive*), *face centered cubic*, dan *body centered cubic*.

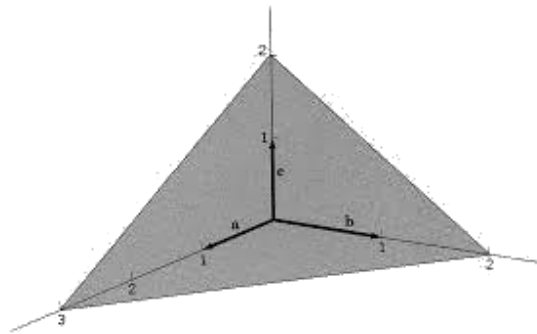
Tabel 1. Sistem Kristal dan Kisi Bravais.

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Bravais	Simbol	Maksimal Simetri
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana	P	9 bidang 13 sumbu
		Pusat Badan	I	
		Pusat Muka	F	
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Sederhana	P	1 bidang
		Pusat Dasar	C	1 sumbu
Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \gamma \neq \beta \neq 90^\circ$	Sederhana	P	-
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$	Sederhana	P	3 bidang
		Pusat badan	I	5 sumbu
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$	Sederhana	P	3 bidang 5 sumbu
		Pusat Dasar	C	
		Pusat Badan	I	
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = \beta = 90^\circ$	Pusat Muka	F	
Rhombohedral (Trigonal)	$a = b = c$ $\alpha = \gamma = \beta \neq 90^\circ$	Sederhana	P	-
				-
Rombus (Heksagonal)	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma \neq 120^\circ$	Sederhana	P	7 bidang
				7 sumbu

(Cullity, 1956)

2. Indeks Miller

Indeks Miller adalah kebalikan dari perpotongan suatu bidang dengan ketiga sumbu x , y , dan z yang kemudian dinyatakan dengan simbol (hkl) . Indeks Miller dinyatakan dalam bilangan utuh bukan pecahan. Indeks Miller dapat digunakan untuk menggambarkan semua bidang dalam kristal (Kittel, 2005).



Gambar 2. Perpotongan bidang sumbu.

(Kittel, 2005)

Langkah-langkah dalam menentukan indeks miller:

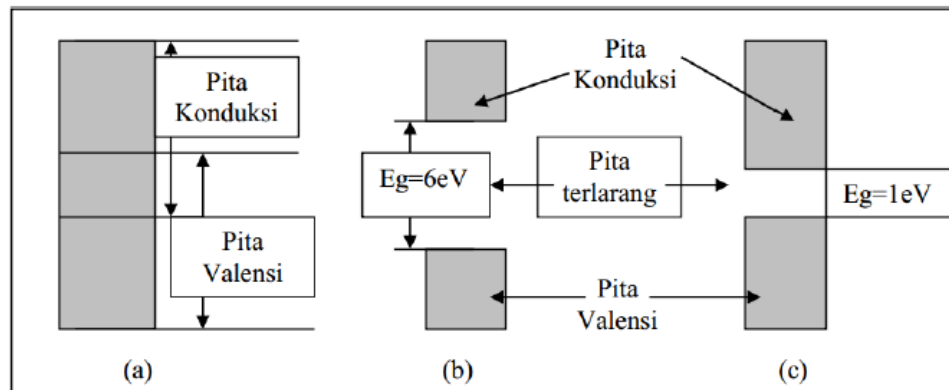
- Menentukan titik potong bidang kristal dengan dengan sumbu koordinat sel satuan (a, b, c) .
- Menentukan bilangan resiprok (bilangan yang berbanding terbalik dengan nilai titik potong bidang pada sumbu a , b , dan c).
- Buatlah bilangan resiprok tersebut menjadi bilangan bulat terkecil.

B. Semikonduktor

Bahan dapat dibedakan menjadi tiga jenis berdasarkan kemampuan menghantarkan arus listrik, yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Menurut Goetzberger et al., (1998), konduktor merupakan bahan yang memiliki konduktivitas lebih besar dari $10^4 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Seperti dapat dilihat pada Gambar 3, konduktor memiliki pita konduksi dan pita kovalen yang saling tumpang tindih (*over lap*) dan *energy gap* yang sangat kecil. Saat bahan dikenakan medan listrik, elektron akan memperoleh energi tambahan dan dapat bergerak menghasilkan arus listrik. Konduktor merupakan bahan yang sangat baik sebagai penghantar listrik, karena pada suhu 0 K pita konduksi terisi sebagian untuk bahan konduktor, sedangkan untuk isolator dan semikonduktor tidak ada elektron yang mengisi pita konduksi (Wijaya, 1992).

Isolator merupakan suatu penghantar listrik dengan harga konduktivitas lebih kecil dari $10^{-8} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, sehingga tidak memungkinkan arus listrik melewatinya. Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Di antara keduanya terdapat pita terlarang yang memisahkan dengan *energy gap* (E_g) sekitar 6 eV (Ariswan, 2005). Karena jarak yang terlalu lebar dan energi dari medan eksternal terlalu kecil menyebabkan elektron kesulitan berpindah melewati *energy gap* tersebut. Sehingga bahan isolator tidak mampu menghantarkan arus listrik. Pada umumnya isolator memiliki dua sifat yaitu: (1) mempunyai celah energi

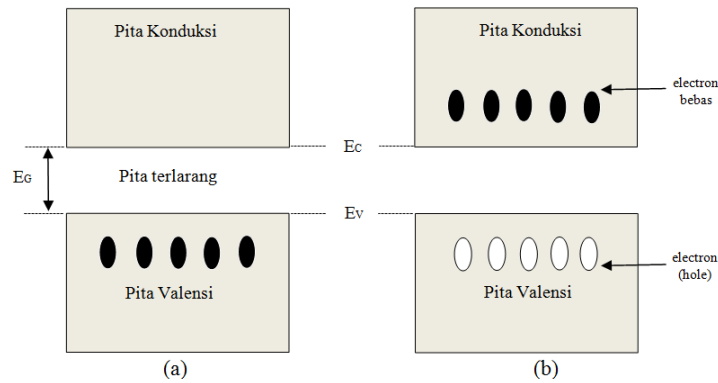
yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi, (2) tingkat energi fermi terletak pada celah energinya (Nyoman Suwitra, 1989).



Gambar 3. Pita energi (a) Konduktor, (b) Isolator, (c) Semikonduktor (Ariswan, 2015).

Semikonduktor merupakan bahan yang bersifat setengah konduktor karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih kecil dari celah energi bahan isolator tetapi lebih besar dari celah energi bahan konduktor. Hal ini memungkinkan elektron berpindah dengan perlakuan tertentu terhadap bahan tersebut seperti pemberian tegangan, perubahan suhu, dan sebagainya. Pada suhu kamar, semikonduktor akan memiliki sifat konduktor. Sedangkan pada suhu 0 K, bahan akan bersifat isolator dimana pita valensi terisi penuh dan pita konduksi kosong tanpa ada pembawa muatan. Jika elektron-elektron pada pita valensi menerima energi termal yang besar atau sama dengan *energy gap*, maka elektron-elektron tersebut dapat melewati celah energi terlarang dan berpindah ke pita konduksi. Semikonduktor merupakan bahan dengan *energy gap* antara 1-2 eV (Ariswan, 2005), dan memiliki konduktivitas $(10^4 - 10^{-8}) \Omega^{-1}.\text{cm}^{-1}$.

Elektron-elektron yang berpindah meninggalkan kekosongan pada pita valensi disebut dengan *hole*. *Hole* pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi berperan sebagai penghantar arus pada semikonduktor, dimana *hole* merupakan pembawa muatan positif dan elektron merupakan pembawa muatan negatif.

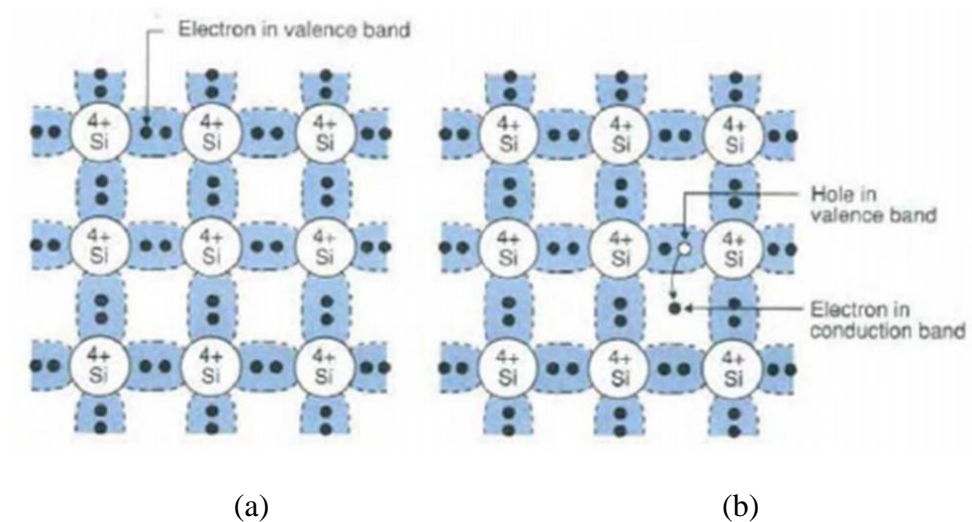


Gambar 4. Keadaan pita energi semikonduktor intrinsik (a) Pada suhu 0 K, dan (b) Diatas 0 K (Widodo, 2002).

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dengan sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri (Suwitra, 1989). Mekanisme terbentuknya semikonduktor intrinsik terlihat pada semikonduktor murni seperti Si (Silikon), yang pada saat kondisi normal atom-atom Si akan memiliki 4 ikatan kovalen dengan masing-masing memiliki 2 elektron valensi. Saat temperatur dinaikkan maka stimulasi panas akan mengganggu ikatan tersebut dan menyebabkan salah satu dari elektron valensi berpindah menuju pita konduksi. Elektron valensi berpindah dan meninggalkan lokasi yang kosong yang

selanjutnya disebut *hole*. Pasangan *hole* dan elektron ini menjadi pembawa muatan dalam semikonduktor intrinsik.



Gambar 5. Semikonduktor intrinsik (a) normal (b) terstimulasi (Yelfianhar, 2010).

Besar energi yang dibutuhkan untuk membentuk pasangan elektron dan *hole* pada semikonduktor intrinsik ditentukan oleh jarak *energy gap* antara pita valensi dan pita konduksi. Semakin jauh jarak antara pita valensi dan pita konduksi maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan untuk membentuk elektron-*hole* sebagai pembawa muatan. Semakin kecil *energy gap* maka jumlah pembawa muatan semakin meningkat. Konduktivitas ini merupakan sifat dasar dari bahan dan tidak ditimbulkan oleh kotoran (*doping*), oleh karena itu dinamakan semikonduktor intrinsik.

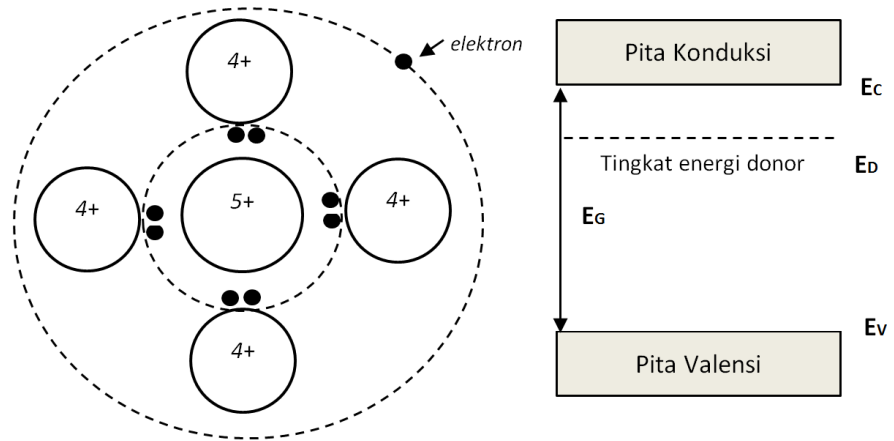
2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor tak murni setelah disisipi atom-atom pengotor. Pemberian pengotor (*doping*)

dilakukan dengan memberikan atom pengotor pada bahan semikonduktor murni sehingga diharapkan akan dapat menghantarkan listrik. Apabila atom pengotor yang diberikan memiliki kelebihan elektron valensi (valensi 5) maka akan terbentuk elektron bebas yang dapat berpindah, sedangkan jika *doping* yang diberikan memiliki valensi kurang (valensi 3) maka akan terbentuk area kosong (*hole*) yang menjadi pembawa muatan.

a. Semikonduktor tipe-N

Semikonduktor tipe-n terbentuk saat silikon diberi *doping pentavalen* yaitu bahan kristal dengan inti atom 5 elektron valensi. Setelah diberi *doping*, maka silikon akan memiliki kelebihan elektron dan tidak lagi murni (*impurity semiconductor*). Atom *pentavalen* yang ditambahkan akan membentuk suatu ikatan kovalen dengan 4 atom terdekat. Karena dalam suatu orbit valensi maksimal hanya dapat terisi 8 elektron, maka akan terdapat 1 kelebihan elektron. Elektron ini masih berada disekitar inti, namun terikat sangat lemah, sehingga akan mudah terlepas (Ariswan, 2005).



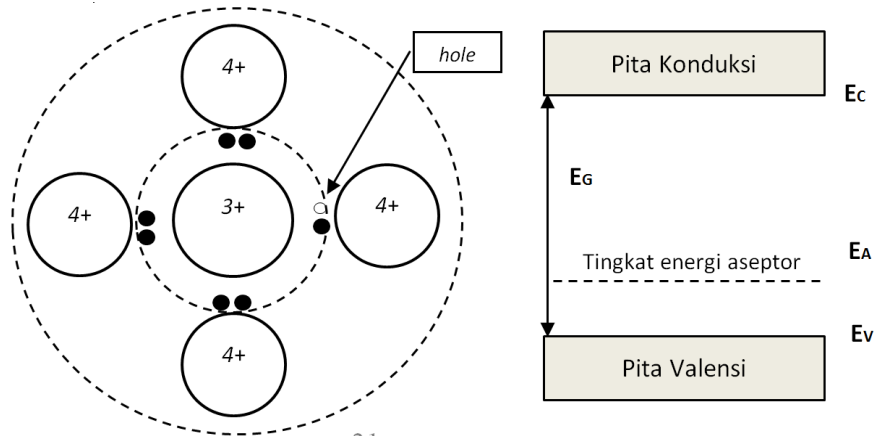
Gambar 6. Semikonduktor tipe-n dan diagram pita energinya (Ariswan, 2005).

Gambar 6 menunjukkan diagram pita energi untuk Silikon dimana menurut Sze (1985), tingkat energi donor untuk Silikon adalah 0,025 eV. Dapat dilihat bahwa jarak antara pita konduksi (E_C) dengan tingkat energi donor (E_D) sangat kecil sehingga hanya pada suhu ruangan saja semua elektron donor dapat mencapai pita konduksi dan menjadi elektron bebas. Banyaknya elektron pada semikonduktor tipe-n akan bertambah tanpa disertai dengan bertambahnya jumlah *hole*, sehingga menyebabkan jumlah elektron akan lebih banyak daripada jumlah *hole*. Oleh sebab itu, dalam semikonduktor tipe-n pembawa muatan mayoritas adalah elektron, dan *hole* merupakan pembawa muatan minoritas (Ariswan, 2005).

b. Semikonduktor tipe-P

Untuk mendapatkan silikon tipe-p, bahan pengotor (*doping*) yang digunakan adalah bahan *trivalen* yaitu unsur dengan ion yang memiliki 3 elektron valensi. Pada Gambar 7, karena atom pengotor

hanya memiliki 3 elektron valensi, maka dalam ikatan kovalen dengan 4 atom terdekatnya hanya akan terdapat 7 elektron dalam orbit valensinya, sehingga akan terbentuk lubang (*hole*). Ketidakmurnian ini disebut akseptor (penerima) karena bisa dan mudah menerima sebuah elektron (Ariswan, 2005).



Gambar 7. Semikonduktor tipe-p dan diagram pita energinya (Ariswan, 2005).

Pada diagram tingkat energi diatas dapat dilihat jarak antara tingkat energi akseptor (E_A) dengan pita valensi (E_v) untuk Silikon sangat kecil, yaitu sebesar 0,05 eV (Sze, 1985). Nilai tersebut merupakan nilai yang kecil sehingga hanya dibutuhkan energi yang sangat kecil pula bagi elektron valensi untuk menepati *hole* di level energi akseptor. Oleh karena itu pada temperatur ruang banyak sekali jumlah *hole* di pita valensi yang merupakan pembawa muatan. Dengan demikian, kekurangan elektron menyebabkan semikonduktor ini menjadi tipe-p. Sehingga pada semikonduktor tipe-p, lubang merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron adalah pembawa muatan minoritas (Ariswan, 2005).

C. Bahan Semikonduktor Sn(SeTe)

Kristal SnSeTe merupakan bahan semikonduktor hasil paduan dari tiga unsur, yaitu Sn (golongan IV), Se dan Te (golongan VI). Bahan Sn(SeTe) identik dengan bahan semikonduktor SnSe dan SnTe.

1. Semikonduktor SnSe

Stannum Selenide (SnSe) merupakan semikonduktor tipe-p yang berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaik dan memori-*switching*. SnSe berupa senyawa kimia padatan kristal berwarna abu-abu dengan massa molar 197,67 g/mol, dan massa jenis 6.179 g/cm³. Menurut penelitian Kumar et al (2012), SnSe mempunyai *energy gap* sebesar 1,30 eV.

2. Semikonduktor SnTe

Stannum Telluride (SnTe) merupakan kristal berwarna abu-abu dimana menurut Saini (2010), SnTe memiliki *energy gap* sekitar 0,35 eV. Material paduan SnTe memiliki sifat fisis yang menarik dan keunggulan yaitu memiliki sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat sehingga dikenal sebagai bahan untuk detektor inframerah. Aplikasi SnTe dapat ditemukan dalam deteksi inframerah, fotodetektor, laser inframerah, mikroelektrik, dan perangkat termoelektrik.

3. Semikonduktor Sn(Se_{0,2}Te_{0,8})

Kristal SnSeTe merupakan gabungan dari bahan Sn (timah), Se (selenium), dan Te (tellurium). Dalam penelitian ini perbandingan molaritas antara Se dan Te dapat diketahui bahwa komposisi Te lebih besar daripada Se. Sehingga semikonduktor yang dihasilkan cenderung dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan detektor inframerah karena memiliki sifat yang hampir sama dengan SnTe.

D. Teknik Penumbuhan Kristal Metode Bridgman

Dalam pembuatan semikonduktor terdapat beberapa teknik penumbuhan kristal yang biasa digunakan, seperti teknik Czochralski dan teknik Bridgman. Penumbuhan kristal dengan teknik Czochralski menggunakan benih kristal dan kristal cair yang saling menempel pada alat penarik, namun apabila temperatur dan kecepatan penarikan tidak sesuai maka kristal yang diperoleh tidak akan sempurna. Selain itu kekurangan dari teknik Czochralski adalah kesulitan dalam proses penumbuhan kristal yang sangat tinggi dan alat penarik yang digunakan pun sangat mahal, sehingga tidak terjangkau untuk penelitian laboratorium. Pada penelitian ini akan ditumbuhkan kristal dari bahan semikonduktor SnSeTe menggunakan teknik Bridgman. Teknik Bridgman dipilih karena prosesnya cukup sederhana dan biaya relatif murah.

Alur pemanasan dan pemilihan tinggi rendahnya temperatur dalam teknik Bridgman didasarkan pada diagram fasa kristal campuran yang diinginkan serta titik leleh bahan dasarnya. Pada temperatur yang terlalu tinggi kristal tumbuh dengan cepat tetapi mempunyai cacat yang luas, tetapi pada

temperatur yang terlalu rendah proses penumbuhannya akan sangat lambat sehingga tidak cocok pula. Pemilihan alur pemanasan dalam preparasi menggunakan teknik Bridgman didasarkan pada titik leleh bahan dasarnya dan diagram fasa dari kristal yang diinginkan.

1. Langkah-langkah Teknik Bridgman

Langkah-langkah dari teknik Bridgman terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah persiapan, lalu tahap penumbuhan kristal dengan kristal yang terbentuk berupa ingot atau masif.

a. Tahap Persiapan

1) Pembersihan tabung pyrex

2) Penimbangan bahan dasar

Untuk mendapatkan kristal yang diharapkan, maka perlu ketepatan dalam perbandingan molar dan perbandingan massa bahan dasarnya.

3) Pemvakuman

Tabung yang telah berisi bahan dasar kemudian divakum agar tidak terdapat unsur lain yang tidak diinginkan. Tabung pyrex di vakum sampai 10^{-5} mbar agar tidak ada gas-gas yang tidak diinginkan dalam tabung.

4) Pengelasan

Setelah tekanan pada tabung pyrex mencapai yang dikehendaki, kemudian tabung dilas hingga berbentuk menyerupai kapsul yang rapat. Tujuan dari pengelasan tabung

pyrex adalah untuk mencegah oksigen dan gas-gas lain yang tidak diharapkan ikut bereaksi selama penumbuhan kristal.

b. Tahap Penumbuhan Kristal

1) Pemasukkan Kapsul dalam Furnace

2) Perlakuan Panas dengan Alur Pemanasan Tertentu

Alat *furnace* yang digunakan kemudian diset pada temperatur tertentu dan dalam waktu tertentu pula mengikuti alur pemanasan yang telah dirancang. Alur pemanasan dirancang berdasarkan pada diagram fasa dan titik leleh bahan dasar yang digunakan.

3) Pengambilan Hasil Setelah Dingin

Setelah yakin bahwa kristal hasil preparasi telah dingin, maka kapsul atau tabung pyrex dikeluarkan dari *furnace*. Selanjutnya ingot dikeluarkan dari kapsul dengan cara memecah tabung pyrex.

2. Kelebihan Teknik Bridgman

- a. Temperatur dapat dikontrol secara teliti.
- b. Kecepatan pembekuan bahan dapat diatur.
- c. Kecepatan penurunan temperatur pada saat bahan berubah wujud dari cair ke padat dapat dikontrol secara teliti.
- d. Tekanan mekanisme didalam bahan juga dapat dikurangi untuk menghindari terjadinya keretakan pada polikristal atau pada ampul (menggunakan tabung *kuarsa*).

- e. Kenaikan suhu dapat diatur sedemikian rupa sehingga mengurangi timbulnya bahaya ledakan yang ditimbulkan unsur tertentu pada temperatur kritisnya (E. Wahjuniati, 2002).

3. Kelemahan teknik Bridgman

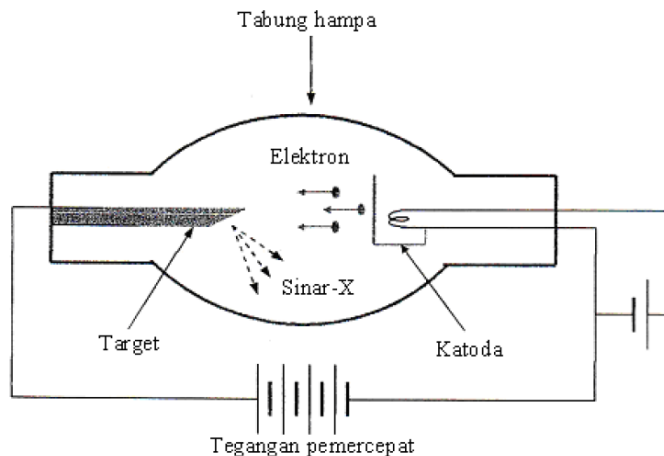
- a. Memerlukan ketelitian dalam menentukan perbandingan massa bahan dasar kristal.
- b. Memerlukan kevakuman yang cukup tinggi pada tabung pyrex.
- c. Memerlukan ketelitian pada saat pengelasan tabung pyrex.

E. Karakterisasi Kristal

Dalam penelitian kali ini, karakterisasi hasil penumbuhan kristal dilakukan dengan tiga teknik. Yaitu *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*.

1. Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffractometer merupakan suatu alat yang bekerja berdasarkan difraksi sinar-X oleh unsur atau senyawa dalam suatu padatan. Setiap unsur mempunyai intensitas pemantulan sinar-X yang berbeda jika disinari pada sudut tertentu. Sinar-X banyak digunakan sebagai sumber difraksi kristal untuk mempelajari sifat struktur material karena memiliki orde panjang gelombang yang sama dengan jarak antar bidang kristal (Culity, 1956).

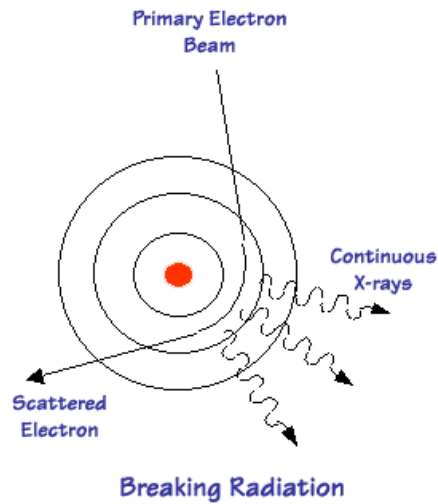


Gambar 8. Skema instrumen pembentukan sinar-X (Beiser, 1992).

Radiasi yang dipancarkan oleh sinar-X terbagi menjadi dua, yaitu spektrum kontinyu dan spektrum karakteristik.

a. Sinar-X Kontinyu / sinar-X *Bremsstrahlung*

Sinar-X kontinyu atau sinar-X *bremsstrahlung* terjadi saat elektron yang dihasilkan dari pemanasan filamen pada katoda (elektron datang) dengan energi kinetik berinteraksi dengan medan energi pada inti atom. Elektron yang mempunyai energi negatif akan mengalami tarik menarik dengan inti atom yang mempunyai energi. Karena inti atom memiliki medan energi yang cukup besar untuk ditembus elektron maka inti atom akan melambatkan gerak elektron saat elektron cukup dekat dengan inti atom. Melambatnya gerak elektron ini akan menyebabkan elektron kehilangan energi dan berubah arah, energi yang hilang dari elektron ini dikenal dengan sinar-X *bremsstrahlung* (Nayiroh, 2015).

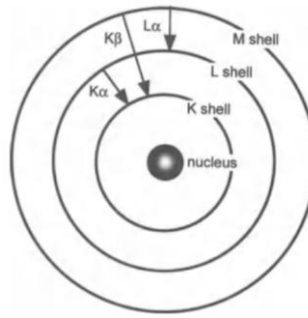


Gambar 9. Skema pembentukan sinar-X *bremsstrahlung*.

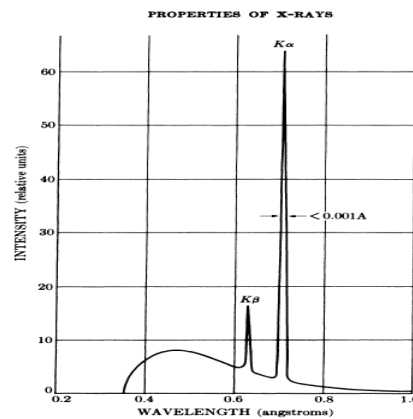
b. Sinar-X Karakteristik

Sinar-X karakteristik terjadi apabila elektron dengan energi kinetik yang tinggi berinteraksi dengan elektron dari tiap-tiap kulit atom pada anoda. Untuk melepaskan elektron pada kulit atom tertentu dari orbitnya, elektron perlu memiliki energi kinetik yang besar. Saat elektron dari kulit lain terlepas dari orbitnya maka akan terjadi transisi dari orbit luar ke orbit yang lebih dalam dan energi yang dilepaskan dalam transisi ini disebut dengan sinar-X karakteristik. Besarnya energi sinar-X karakteristik ini bergantung pada besarnya energi elektron yang digunakan untuk melepaskan elektron dari kulit atom tertentu (Nayiroh, 2015).

Apabila elektron mengalami transisi dari kulit yang berdekatan misalnya dari kulit L menuju kulit K maka radiasi emisi ini disebut radiasi K_{α} . Sedangkan bila elektron mengalami transisi dari kulit M menuju kulit K maka radiasi emisinya disebut K_{β} .



Gambar 10. Transisi elektron pada atom (Suryanarayana,1998).



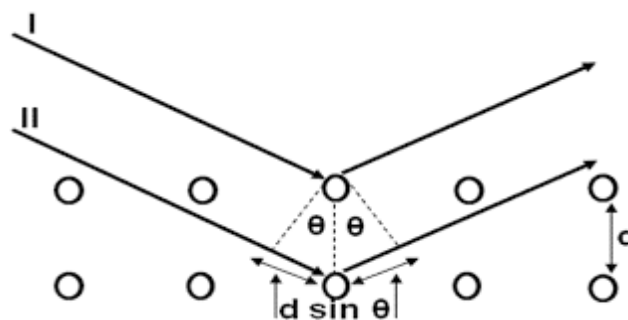
Gambar 11. Spektrum sinar-X karakteristik (Cullity, 1956).

Dari Gambar 11 dapat terlihat bahwa dalam spektrum sinar-X tidak hanya radiasi K_{α} yang kuat namun juga timbul radiasi K_{β} yang lemah. Hal ini berarti sinar-X masih bersifat polikromatik dan terjadi karena adanya transisi antara tingkat energi yang berbeda. Untuk menganalisis struktur kristal dari suatu bahan paduan dibutuhkan sinar-X monokromatik atau hanya memiliki satu panjang gelombang saja, sehingga dilakukan proses penyaringan menggunakan bahan penyaring (*filter*) yang sesuai. Dengan melewati sinar-X pada material filter maka radiasi K_{β} yang tidak diinginkan akan terabsorpsi sedangkan radiasi K_{α} yang cukup kuat akan diteruskan, sehingga diperoleh sinar-X monokromatik. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai *filter*

adalah material yang memiliki nomor atom lebih kecil dari nomor atom target.

Intensitas berkas sinar-X monokromatik yang mengenai kristal akan lebih rendah dibandingkan dengan intensitas sinar yang datang, karena terjadi penyerapan oleh bahan dan penghamburan atom-atom dalam bahan tersebut. Karena keteraturan letak atom, pada arah tertentu gelombang hambur tersebut akan berinterferensi konstruktif sedangkan yang lain berinterferensi destruktif. Karena memiliki fase yang sama berkas difraksi akan saling menguatkan (konstruktif), dan untuk berkas sinar-X yang memiliki fase berlawanan akan saling menghilangkan (destruktif).

Menurut Bragg, berkas yang terdifraksi oleh kristal terjadi apabila pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interferensi konstruktif. Bragg menunjukkan bahwa bidang yang berisi atom di dalam kristal yang disebut bidang Bragg, akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin (Gautreau, Ronald and Savin William, 2006) seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Berkas difraksi sinar-X (Ariswan, 2012).

Suatu berkas sinar-X yang panjang gelombangnya λ jatuh pada kristal dengan sudut θ dan jarak antar bidang kisinya d . Agar mengalami interferensi konstruktif maka kedua berkas harus memiliki beda jarak $n\lambda$, sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas (berkas I dan berkas II) adalah $2d \sin \theta$. Interferensi konstruktif dapat terjadi saat beda jalan kedua sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang λ , sehingga dapat dinyatakan:

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (1)$$

Persamaan ini dikenal dengan hukum Bragg, dimana pemantulan Bragg dapat terjadi saat $\lambda \leq 2d$, dengan n bilangan bulat yang menyatakan orde berkas yang dihambur. Geometri dari kisi kristal akan menentukan arah berkas yang dipantulkan oleh kristal. Sebagai contoh, kristal yang berstruktur kubik memiliki atom-atom penyusun dengan pola geometri semua sumbu sama panjang dan tegak lurus ($a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). Dengan ukuran parameter kisi a , maka sudut difraksi berkas dari bidang kristal (hkl) untuk kubik dapat dihitung dengan rumus jarak antar bidang sebagai berikut:

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

Dengan memasukkan persamaan bragg, didapatkan

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

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

Untuk mendapatkan nilai a ,

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

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} \quad (6)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 5 ke dalam persamaan 4, maka diperoleh:

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

$$A = \frac{\sin^2\theta}{(h^2 + k^2 + l^2)} \quad (8)$$

(Masitoh, 2016).

Sinar-sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka akan semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ dimana tiap puncak yang muncul mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan database JCPDS (*Joint Sommite on Powder Diffraction Standart*) sebagai data sumber yang bisa diperoleh melalui website atau program komputer JCPDFWIN.

2. Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel (Cahyana, dkk., 2014). *Scanning*

Electron Microscopy (SEM) dapat digunakan untuk melihat bentuk tiga dimensi dari suatu specimen dengan gambar yang diperoleh disebut *scanning electron micrograph*. Mikroskop jenis ini bermanfaat untuk mempelajari struktur permukaan, objek secara umum diperbesar 1.000 – 40.000 kali. SEM dapat digunakan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butir, komposisi pencemaran dan cacat struktural material (Rio, 1982).

Prinsip kerja dari SEM adalah elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten akan memancarkan elektron sekunder dan sinar-X. Berkas elektron yang jatuh akan dihamburkan, sedangkan sebagian lagi akan diserap dan menembus specimen. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan, yaitu pantulan elastis dan non elastis. Bila specimen cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi, sementara sebagian lagi dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam specimen menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger*, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material (Ariswan, 2009).

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 pada 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.

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

EDAX atau EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu bahan. Prinsip kerja dari EDAX adalah elektron sekunder yang dihasilkan oleh *electron gun* digunakan untuk menembak sampel, sehingga elektron pada sampel akan tereksitasi dan elektron pada kulit luar akan mengalami transisi sehingga akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung.

Output dari analisis EDS yaitu berupa spektrum menggambarkan seberapa sering sinar-X diterima untuk setiap level energinya. Normalnya, EDS spektrum menunjukkan hubungan puncak tingkat energi dari sinar-X yang diterima. Setiap puncak tingkat energi adalah untuk setiap atom sehingga menunjukkan elemen tertentu. Semakin tinggi spektrum pada suatu puncak energi, semakin tinggi konsentrasi elemen tersebut pada sampel (Rio, 1982).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Oktober 2016 sampai bulan Februari 2017, bertempat di:

1. Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, yakni untuk preparasi penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan menggunakan teknik Bridgman.
2. Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, yakni untuk mengetahui struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan menggunakan karakterisasi XRD.
3. Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, Universitas Gajah Mada, yakni untuk mengetahui morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan karakterisasi untuk mengetahui komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ menggunakan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX).

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang dapat divariasi selama eksperimen. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah massa bahan dasar.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi akibat adanya variabel lain (variabel bebas). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- a) Intensitas difraktogram XRD
- b) Struktur dan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.
- c) Morfologi permukaan dan komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dipertahankan tetap selama eksperimen. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- a) Alur pemanasan dalam *furnace*.
- b) Temperature *furnace*.
- c) Tekanan vakum.

C. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Stannum

Bahan stannum yang digunakan dalam penelitian ini merupakan serbuk berwarna abu-abu dengan massa jenis saat berbentuk padatan 7310 kg/m^3 . Stannum memiliki titik lebur $231,93^\circ\text{C}$ dan titik didih 2.602°C . Nomor atom dari Stannum adalah 50 dan massa atomnya 118,71.

b. Selenium

Bahan selenium yang digunakan dalam penelitian ini berbentuk pellet. Selenium memiliki titik lebur 217°C , dan titik didih 688°C . Nomor atom dari Selenium adalah 34 dan massa atomnya 78,96.

c. Tellurium

Bahan tellurium yang digunakan dalam penelitian ini memiliki bentuk serbuk kasar berwarna abu kehitaman, dengan massa jenis 6240 kg/m^3 . Tellurium memiliki titik lebur $449,51^\circ\text{C}$ dan titik didih 988°C . Nomor atom dari tellurium adalah 52, dan massa atom 127,60.

d. Tabung Pyrex

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

e. Pembersih Tabung

Pembersih tabung yang digunakan meliputi Alkohol 70%, detergen, air, dan tissu.

2. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, yang meliputi:

a. Peralatan preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan teknik Bridgman

1) Timbangan

Timbangan digunakan untuk menimbang massa bahan dasar yang merupakan timbangan digital merk Denver Instrument XE-31. Timbangan ini memiliki ketelitian mencapai 0,001 gram.

2) Pompa Vakum

Pompa vakum digunakan untuk memvakumkan tabung pyrex yang telah berisi bahan dasar hingga tekanannya mencapai $\pm 5 \times 10^{-5}$ mbar. Pemvakuman dilakukan agar udara yang tidak diinginkan dalam tabung dapat keluar.

3) Alat Pengelas

Pengelasan dilakukan untuk mengelas tabung pyrex berisi bahan dasar yang telah divakum hingga berbentuk menyerupai kapsul. Pengelasan dilakukan menggunakan las asetalin, yang

proses pemanasannya menggunakan busur api dimana pembakarannya menggunakan campuran gas asetalin dan oksigen. Pengelasan menggunakan temperatur yang sangat tinggi hingga mampu meleburkan tabung pyrex.

4) Alat Pemanas (*Furnace*)

Furnace digunakan untuk menumbuhkan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, yaitu dengan memanaskan bahan dasar dalam tabung pyrex yang telah di las hingga bahan dasar Sn, Se, dan Te melebur. Pemanasan dilakukan dengan suhu yang dikehendaki, dengan suhu maksimum yang dapat diberikan alat ini sebesar 1.200°C . *Furnace* yang digunakan dalam penelitian ini memiliki merk Brandstead Thermolyne seri 47900.

b. Peralatan Karakterisasi Bahan Semikonduktor

1) *X-Ray Diffraction* (XRD)

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Mesin XRD yang digunakan dalam penelitian ini memiliki merk Miniflex 600 Rigaku.

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

Scanning Electron Microscopy (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dan

komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Perangkat SEM dan EDAX yang digunakan dalam penelitian ini memiliki merk JEOL JSM-6510LA.

D. Langkah Penelitian

Dalam penelitian ini dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama yaitu tahap preparasi penumbuhan kristal yang meliputi preparasi bahan dan pemanasan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Tahap kedua adalah karakterisasi kristal hasil penumbuhan kristal dengan metode Bridgman menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX).

1. Penumbuhan Kristal

a. Preparasi Bahan

1) Pembersihan Tabung Pyrex

Sebelum digunakan tabung pyrex terlebih dahulu dibersihkan dengan cara dicuci dengan menggunakan air bersih dan detergen. Selanjutnya dikeringkan menggunakan tisu dan dibersihkan kembali menggunakan alkohol, selanjutnya tabung pyrex dimasukkan dalam mesin *furnace* untuk pengeringan dengan pemanasan menggunakan suhu 200°C .

2) Penimbangan Bahan Dasar

Penimbangan bahan dilakukan dengan menimbang bahan dasar kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan perbandingan mol Sn : Se : Te = 1 : 0,2 : 0,8. pada proses penimbangan ini salah satu massa akan

menjadi acuan untuk perbandingan, dan dalam penelitian ini Sn digunakan sebagai acuan.

Selanjutnya menimbang Se dan Te dengan menggunakan persamaan:

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

$$Se = \left[\frac{\text{massa Sn}}{118,71} \times 78,97 \right] \times \frac{0,2}{1}$$

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

$$Te = \left[\frac{\text{massa Sn}}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,8}{1}$$

Hasil penimbangan yang dilakukan adalah:

a) Sampel I

Penimbangan

$Sn = 0,9 \text{ gram}$

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

$$Se = \left[\frac{0,9}{118,71} \times 78,97 \right] \times \frac{0,2}{1}$$

$Se = 0,120$

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

$$Te = \left[\frac{0,9}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,8}{1}$$

$Te = 0,774$

Jumlah total bahan dasar = 1,794 gram

b) Sampel II

Penimbangan

$$Sn = 1,0 \text{ gram}$$

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

$$Se = \left[\frac{1,000}{118,71} \times 78,97 \right] \times \frac{0,2}{1}$$

$$Se = 0,133 \text{ gram}$$

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

$$Te = \left[\frac{1,000}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,8}{1}$$

$$Te = 0,860 \text{ gram}$$

Jumlah total bahan dasar = 1,993 gram.

c) Sampel III

Penimbangan

$$Sn = 1,1 \text{ gram}$$

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

$$Se = \left[\frac{1,1}{118,71} \times 78,97 \right] \times \frac{0,2}{1}$$

$$Se = 0,146 \text{ gram}$$

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

$$Te = \left[\frac{1,1}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,8}{1}$$

$$Te = 0,946$$

Jumlah total bahan dasar = 2,192 gram

d) Sampel IV

Penimbangan

$$Sn = 1,2 \text{ gram}$$

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

$$Se = \left[\frac{1,2}{118,71} \times 78,97 \right] \times \frac{0,2}{1}$$

$$Se = 0,160$$

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

$$Te = \left[\frac{1,2}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,8}{1}$$

$$Te = 1,032$$

Jumlah total bahan dasar = 2,392 gram

3) Memasukkan bahan dasar ke dalam tabung pyrex.

4) Pemvakuman

Tabung pyrex yang telah berisi bahan dasar kemudian divakum hingga tekanannya mencapai $\pm 5 \times 10^{-5}$ mbar. Pemvakuman dilakukan agar udara yang tidak diinginkan dalam tabung dapat keluar.

5) Pengelasan

Setelah tabung pyrex divakum maka selanjutnya dilas, pengelasan bertujuan untuk memotong tabung pyrex yang telah divakum hingga berbentuk menyerupai kapsul. Selain itu

pengelasan berfungsi untuk mempertahankan tingkat udara vakum dalam tabung pyrex, sehingga dapat menghasilkan kristal yang sempurna.

b. Pemanasan Bahan

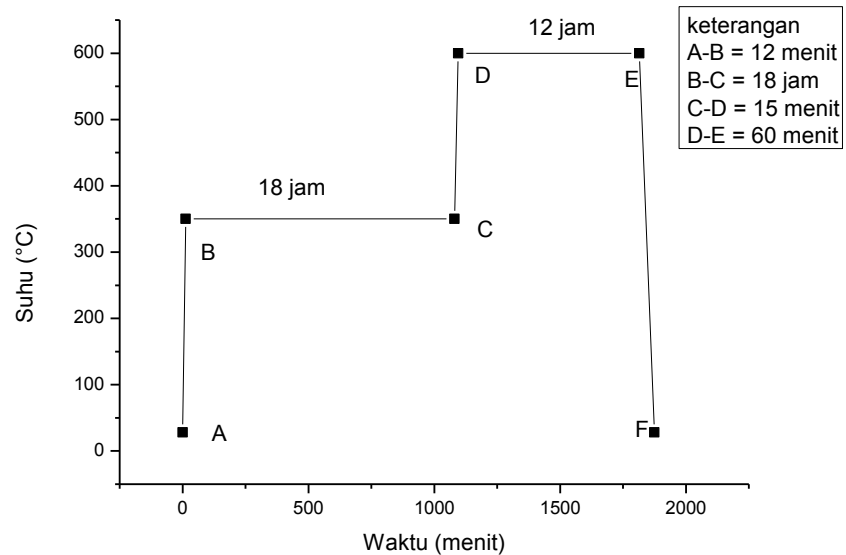
Dalam tahap pemanasan ini keempat sampel dipanaskan pada suhu yang sama dan dengan waktu yang sama pula. Proses pemanasan untuk tiap sampel dilakukan selama empat hari. Untuk hari pertama dan kedua, sampel dipanaskan pada suhu 350°C selama 7 jam. Untuk hari ketiga dan keempat sampel dipanaskan pada suhu 350°C selama 2 jam, kemudian suhu dinaikkan hingga 600°C dan dipanaskan pada suhu 600°C selama 6 jam.

Adapun langkah-langkah tahap pemanasan adalah:

- 1) Memasukkan tabung pyrex berisi bahan Sn, Se, Te yang telah dilas kedalam mesin *furnace*.
- 2) Mengaktifkan *furnace* dengan mengatur saklar pada posisi ON.
- 3) Mengatur *furnace* pada temperatur sesuai dengan alur pemanasan yang dikehendaki.
- 4) Mencatat waktu tiap kenaikan temperatur sesuai dengan alur pemanasan.
- 5) Setelah pemanasan selesai mesin *furnace* dimatikan dengan mengatur saklar pada posisi OFF.

- 6) Sehari setelahnya sampel yang telah dingin dapat dikeluarkan dari mesin *furnace*.

Diagram alur pemanasan keempat sampel disajikan pada Gambar 17.



Gambar 13. Diagram alur pemanasan sampel I, sampel II, sampel III, dan sampel IV

2. Tahap Karakterisasi Bahan Hasil Penumbuhan Kristal Sn dengan Teknik Bridgman

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

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal hasil penumbuhan menggunakan teknik Bridgman. Adapun langkah dari karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah

- 1) Kristal hasil pemanasan yang masih berbentuk masif digerus terlebih dahulu hingga berbentuk bubuk
- 2) Membersihkan tempat sampel dari kotoran dan debu
- 3) Memasukkan sampel dalam specimen chamber mesin XRD
- 4) mencetak hasil XRD dan menganalisis hasil XRD.

b. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX)

Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dan komposisi kimia dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Pada karakterisasi ini akan didapatkan hasil berupa gambar atau foto dan spektrum komposisi kimia.

Adapun langkah dalam karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX) adalah:

- 1) Sampel yang akan dikarakterisasi terlebih dahulu di potong dan ditempelkan pada tempat sampel menggunakan lem konduktif.
- 2) Selanjutnya sampel dikeringkan untuk mengeringkan lem konduktif.
- 3) Lalu sampel di bersihkan menggunakan *hand blower* dan selanjutnya dimasukkan dalam mesin SEM-EDAX.

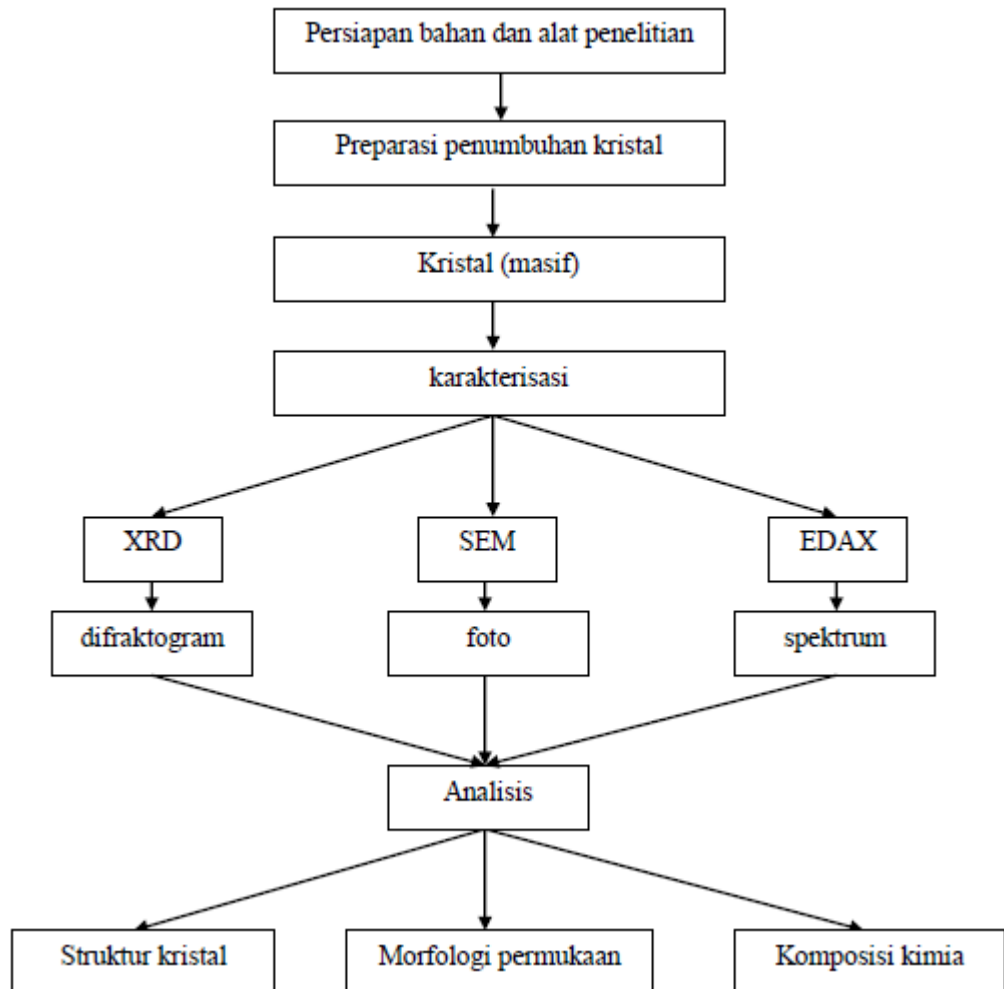
E. Teknik Analisis Data

Data hasil karakterisasi XRD merupakan grafik hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi 2θ . Hasil karakterisasi ini kemudian dibandingkan dengan JCPDS (*Join Commite on Powder Diffraction Standard*), sehingga dapat diketahui bidang-bidang hkl dari sampel. Selanjutnya nilai parameter kisi (a , b , c) dapat diketahui dengan menggunakan metode analitik.

Hasil karakteristik SEM berupa foto atau gambar morfologi permukaan dari kristal masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Dari gambar yang dihasilkan dapat diamati bentuk dan ukuran-ukuran (grain) melalui berbagai perbesaran. Sedangkan data yang diperoleh dari karakterisasi EDAX merupakan spektrum yang menunjukkan intensitas terhadap energi. Dari spektrum dapat dilakukan analisis secara kuantitatif dan kualitatif. Hasil analisa kuantitatif dapat menunjukkan komposisi kimia yang terkandung dalam sampel, sedangkan analisa kualitatif untuk mengetahui jenis unsur yang terkandung dalam sampel.

F. Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 14. Diagram alir penelitian.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan penumbuhan kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan menggunakan teknik Bridgman. Sebelum dilakukan tahap penumbuhan kristal, tabung pyrex terlebih dahulu dibersihkan dengan menggunakan deterjen agar bersih lalu dicuci menggunakan alkohol dan dikeringkan dengan tissue agar kerak-kerak pengotor dalam tabung hilang selanjutnya pyrex dimasukkan ke dalam furnace agar bagian dalam tabung benar-benar kering. Kemudian dilakukan penimbangan bahan dasar dengan menggunakan perbandingan molar bahan dasar. Dalam penelitian ini dilakukan variasi massa bahan dasar kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{SeTe})$ dengan perbandingan molar $\text{Sn} : \text{Se} : \text{Te} = 1 : 0,2 : 0,8$. Variasi dilakukan pada besarnya massa bahan, dengan massa bahan Sn sebagai massa acuan dalam perbandingan massa tiap penimbangan sampel.

Setelah penimbangan dan bahan dimasukkan kedalam tabung pyrex kemudian tabung di vakum dan dilas. Setelah tahap persiapan selesai, maka tabung pyrex yang berisi bahan dasar siap dipanaskan menggunakan mesin *furnace* sesuai dengan alur pemanasan. Kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX).

A. Hasil Penelitian

1. Hasil Penumbuhan Kristal Semikonduktor Sn(Se_{0,2}Te_{0,8})

Telah dihasilkan empat buah sampel kristal semikonduktor masif Sn(Se_{0,2}Te_{0,8}) dengan menggunakan teknik penumbuhan kristal Bridgman. Keempat sampel memiliki variasi massa yang berbeda, dengan perbandingan molar Sn : Se : Te sebesar 1 : 0,2 : 0,8. Penimbangan untuk tiap sampel dilakukan dengan memperhatikan perbandingan molar yang didapat dari perbandingan massa dengan bahan Sn sebagai massa acuan.

Perhitungan massa bahan Se dan Te yang dibutuhkan dilakukan dengan menggunakan perbandingan,

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

$$Se = \left[\frac{\text{massa Sn}}{118,71} \times 78,97 \right] \times \frac{0,2}{1}$$

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

$$Te = \left[\frac{\text{massa Sn}}{118,71} \times 127,60 \right] \times \frac{0,8}{1}$$

sehingga didapatkan:

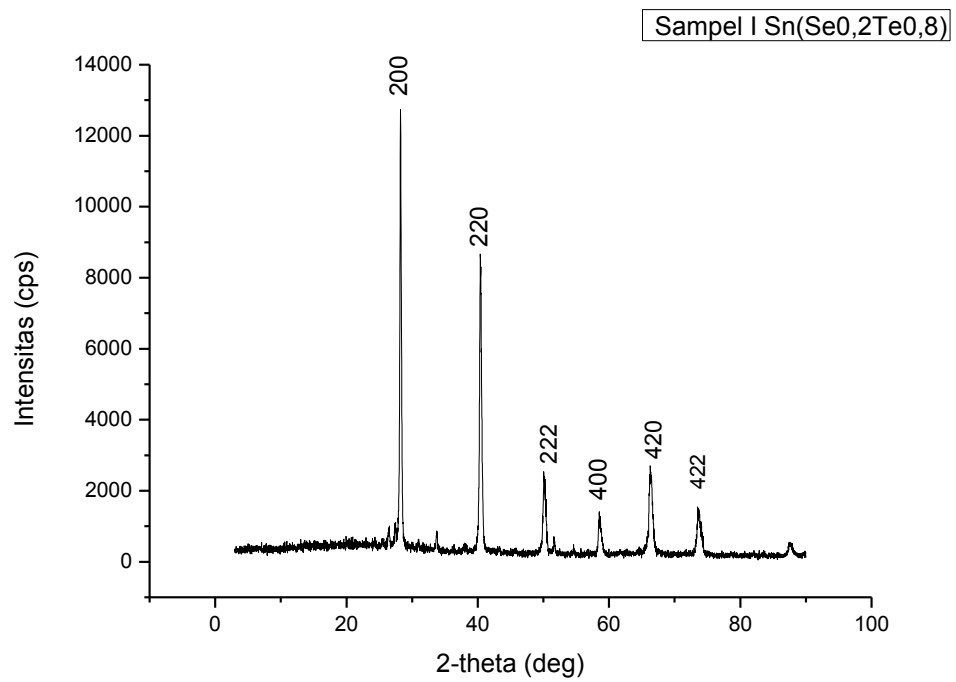
Tabel 2. Massa bahan dasar.

Sampel	Sn (gram)	Se (gram)	Te (gram)
I	0,9	0,120	0,774
II	1	0,133	0,860
III	1,1	0,146	0,946
IV	1,2	0,160	1,032

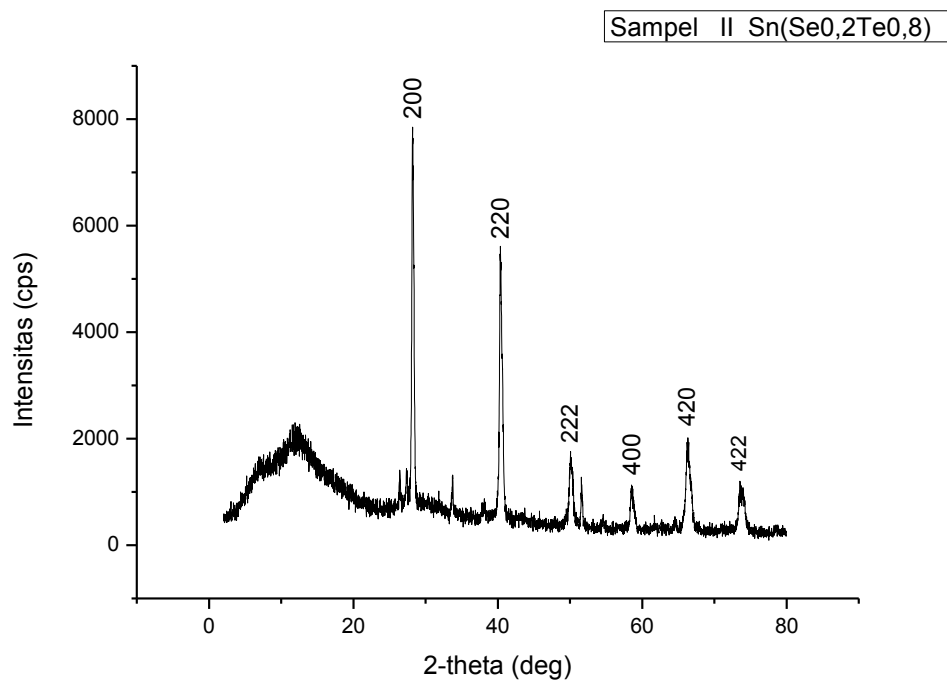
Keempat sampel yang telah dihasilkan kemudian dikarakterisasi. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX).

2. Hasil Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

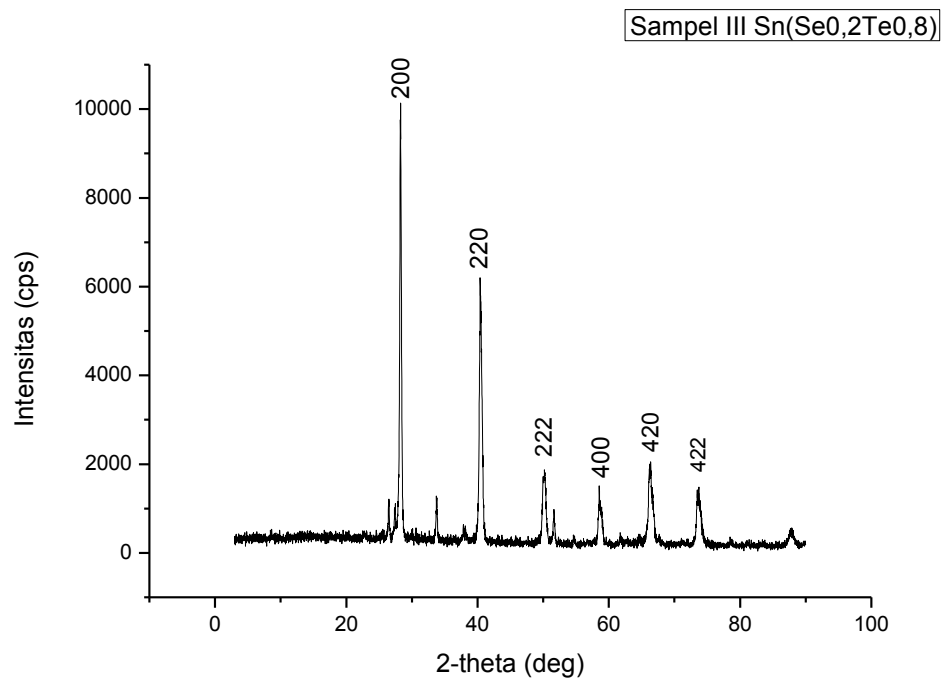
Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui struktur kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman. Data yang dihasilkan dari analisis XRD berupa *difraktogram*, yaitu grafik hubungan antara intensitas cahaya yang dipancarkan oleh kristal sebagai puncak spektrum (I) dan sudut difraksi/hamburan (2θ). Difraktogram hasil XRD kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ untuk sampel I, sampel II, sampel III, dan sampel IV berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17, dan Gambar 18.



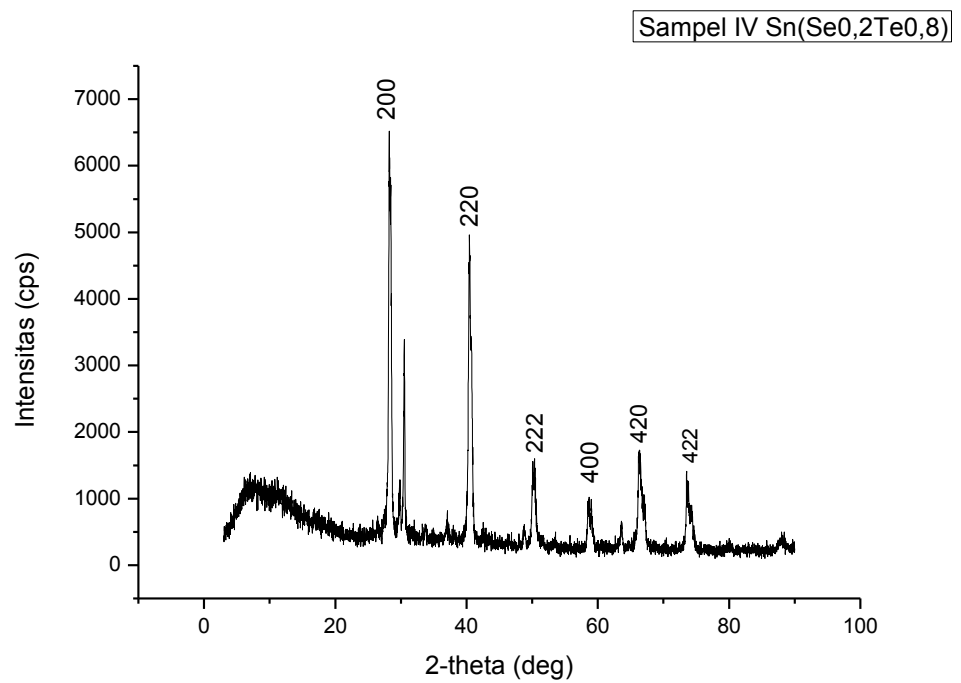
Gambar 15. Difraktogram masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel I.



Gambar 16. Difraktogram masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel II.



Gambar 17. Difraktogram masif Sn(Se_{0,2}Te_{0,8}) sampel III.



Gambar 18. Difraktogram masif Sn(Se_{0,2}Te_{0,8}) sampel IV.

Dari difraktogram hasil XRD dapat diketahui puncak-puncak yang dominan muncul pada keempat sampel. Berdasarkan puncak-puncak tersebut dapat dilakukan pencocokan data hasil karakterisasi XRD dengan data standar yang diperoleh dari *database JCPDS (Join Comittee on Powder Diffraction Standard)*. Setelah dilakukan pencocokan, maka dapat diketahui bahwa keempat sampel cocok dengan data JCPDS nomor 08-0487 dalam *space group* FM3M dan bahan terkristalisasi dalam bentuk kubik. Perbandingan antara hasil XRD dan JCPDS terdapat pada tabel 3 hingga tabel 6.

Tabel 3. Perbandingan hasil XRD $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel I dengan JCPDS.

Peak	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Sampel I		JCPDS		Hkl
	2θ	I (%)	2θ	I (%)	
1	28,180	100	28,309	100	200
2	40,321	71	40,415	50	220
3	50,051	18	50,019	16	222
4	58,506	12	58,477	10	400
5	66,185	21	66,227	16	420
6	73,690	10	73,526	8	422
7	87,47	3	87,422	4	440

Tabel 4. Perbandingan hasil XRD $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel II dengan JCPDS.

Peak	Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$) Sampel II		JCPDS		Hkl
	2 θ	I (%)	2 θ	I (%)	
1	28.169	100	28,309	100	200
2	40.293	68	40,415	50	220
3	50,04	18	50,019	16	222
4	58,447	10	58,477	10	400
5	66,18	22	66,227	16	420
6	73,59	11	73,526	8	422

Tabel 5. Perbandingan hasil XRD $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel III dengan JCPDS.

Peak	Sn($\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8}$) Sampel III		JCPDS		Hkl
	2 θ	I (%)	2 θ	I (%)	
1	28,212	100	28,309	100	200
2	40,387	57	40,415	50	220
3	50,114	17	50,019	16	222
4	58,51	10	58,477	10	400
5	66,111	18	66,227	16	420
6	73,437	12	73,526	8	422

7	87,76	3	87,422	4	440
---	-------	---	--------	---	-----

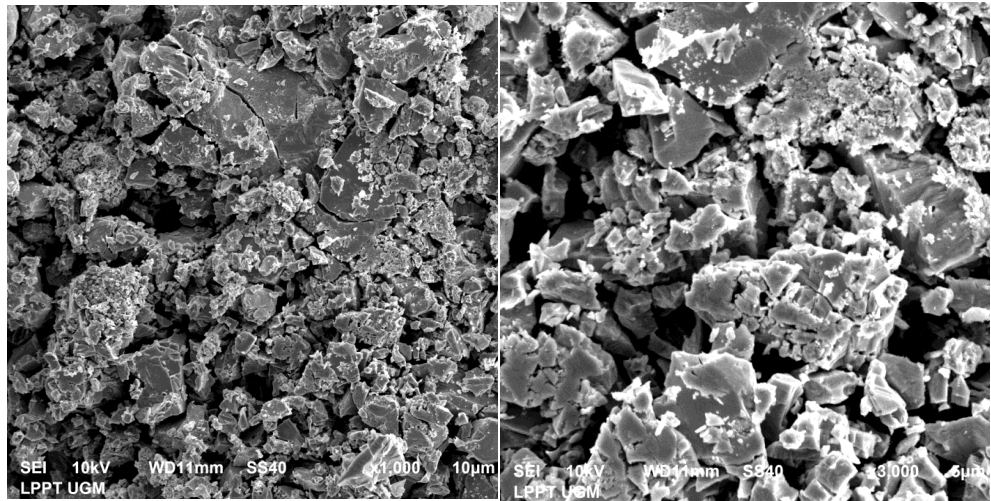
Tabel 6. Perbandingan hasil XRD Sn(Se_{0,2}Te_{0,8}) sampel IV dengan JCPDS.

Peak	Sn(Se _{0,2} Te _{0,8}) Sampel IV		JCPDS		Hkl
	2 θ	I (%)	2 θ	I (%)	
1	28,240	100	28,309	100	200
2	40,380	71	40,415	50	220
3	50,21	20	50,019	16	222
4	58,59	13	58,477	10	400
5	66,26	31	66,227	16	420
6	73,56	21	73,526	8	422

Dari perbandingan keempat sampel dengan JCPDS maka parameter kisi kristal (a , b , dan c) dapat diketahui dengan menggunakan metode analitik (Lampiran 2). Karena kristal masif penumbuhan dengan teknik Bridgman yang dihasilkan berbentuk kubik, maka nilai parameter kisi a , b , dan c bernilai sama. Untuk sampel I didapatkan nilai parameter kisi $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$. Untuk sampel II nilai parameter kisi $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$. Untuk sampel III nilai parameter kisi $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$. Dan untuk sampel IV nilai parameter kisi $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$.

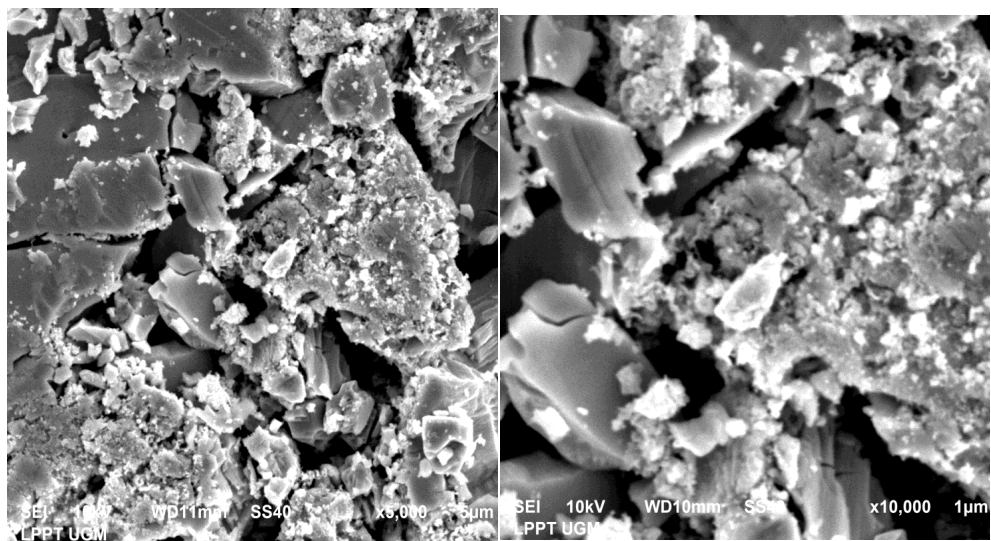
3. Hasil Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan pada kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Pada penelitian ini karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan karakterisasi *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX) dilakukan pada sampel pertama dengan massa bahan dasar Sn 0,9 gram dan sampel kedua dengan massa bahan dasar Sn 1 gram. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan pencocokan hasil karakterisasi XRD dengan standar JCPDS, sampel I memiliki banyak kesamaan sudut dengan standar JCPDS dan merupakan kristal dengan kualitas terbaik dibandingkan dengan ketiga sampel yang lainnya dilihat dari intensitas puncak yang dihasilkan dari karakterisasi XRD. Sedangkan sampel II dipilih karena kualitas kristal yang dihasilkan kurang baik jika dilihat dari intensitas puncak hasil karakterisasi XRD, dan difraktogram hasil karakterisasi XRD pun kurang baik. Hasil analisis SEM yang didapatkan berupa foto morfologi permukaan dari kristal masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan beberapa perbesaran.



(a)

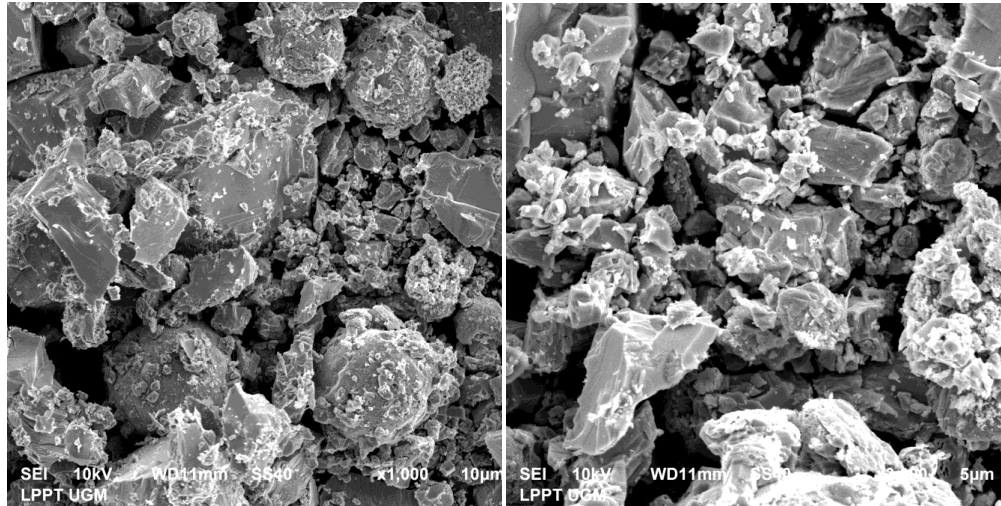
(b)



(c)

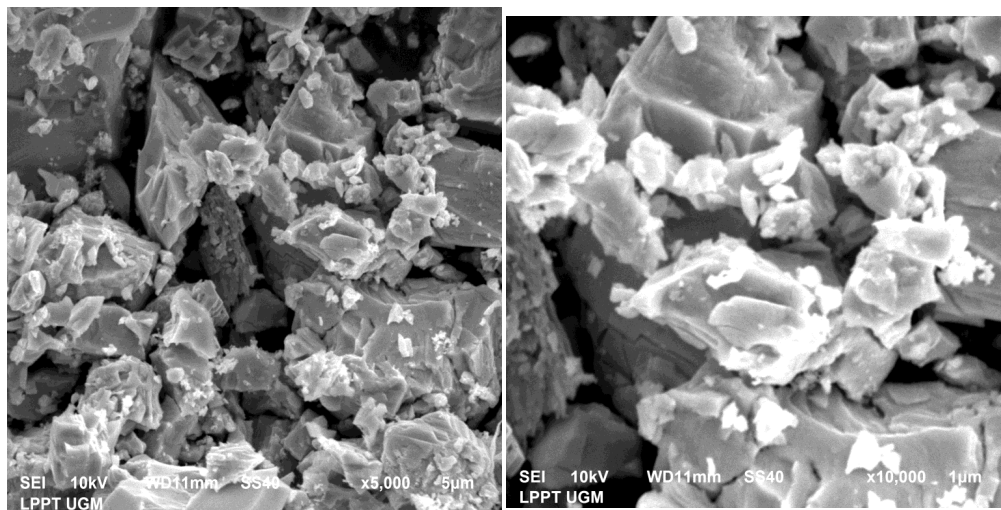
(d)

Gambar 19. Foto morfologi permukaan kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Sn}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ sampel I hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran (a) 1.000 kali, (b) 3.000 kali, (c) 5.000 kali dan (d) 10.000 kali.



(a)

(b)



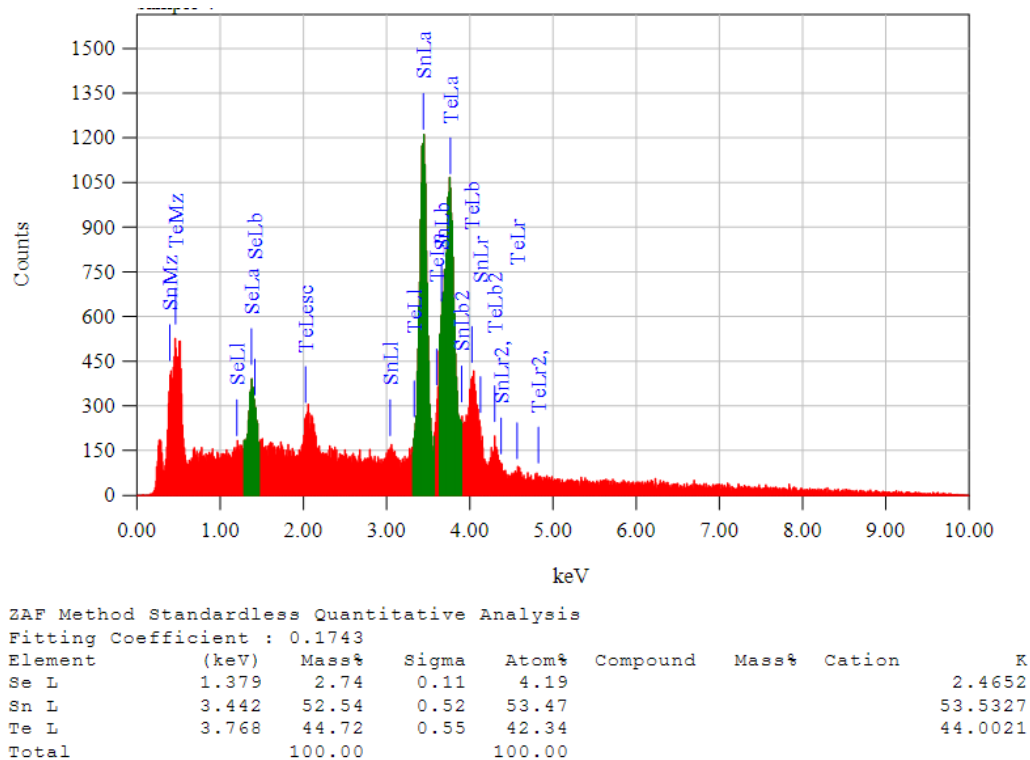
(c)

(d)

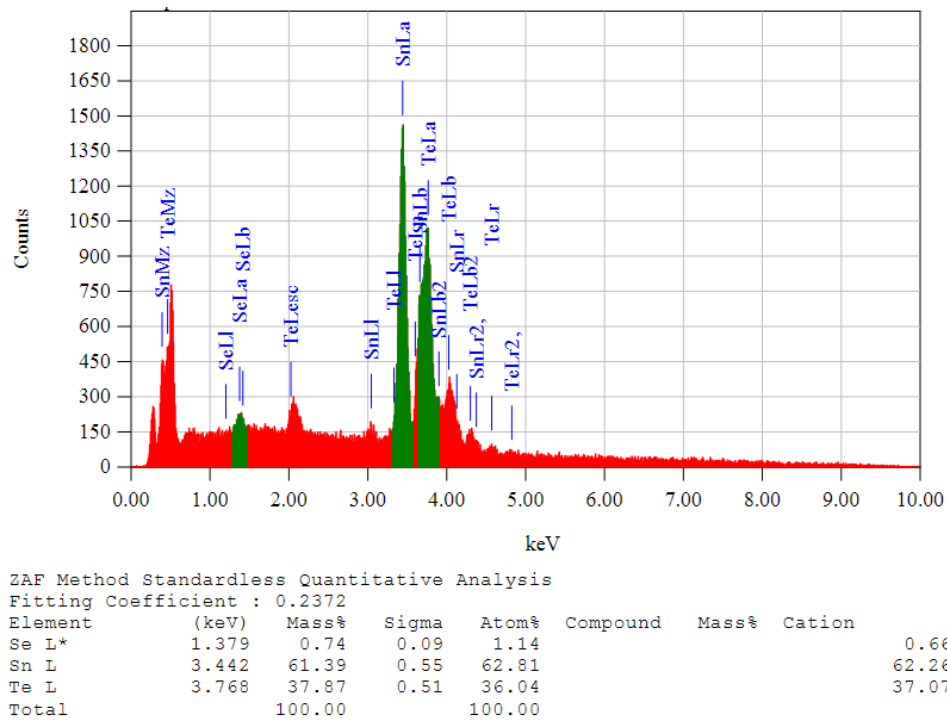
Gambar 20. Foto morfologi permukaan kristal semikonduktor masif Sn(Se_{0.2}Te_{0.8}) sampel II hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran (a) 1.000 kali, (b) 3.000 kali, (c) 5.000 kali dan (d) 10.000 kali.

4. Hasil Karakterisasi Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX)

Karakterisasi *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX) dilakukan guna mengetahui komposisi unsur kimia pembentuk kristal. Seperti pada analisis morfologi permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisis komposisi kimia masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ pada penelitian ini dilakukan untuk sampel pertama dan sampel kedua. Hasil dari analisis EDAX yang didapatkan berupa grafik hubungan antara energi dan intensitas. Hasil tersebut merupakan spektrum energi sinar-X karakteristik dari bahan yang dikarakterisasi.



Gambar 21. Hasil karakterisasi EDAX kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel I.



Gambar 22. Hasil karakterisasi EDAX kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ sampel II.

Dari hasil karakterisasi EDAX kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ hasil preparasi teknik Bridgman sampel pertama maupun sampel kedua dapat terlihat bahwa keduanya mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te). Dari hasil tersebut juga dapat dilihat bahwa kedua sampel didominasi dengan unsur *Stannum* (Sn) dan *Tellurium* (Te).

B. Pembahasan

1. Penumbuhan Kristal Masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan Teknik Bridgman

Penumbuhan kristal tunggal dapat dilakukan dengan berbagai teknik, diantaranya adalah teknik Czochralski dan teknik Bridgman. Pada penelitian ini penumbuhan kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dilakukan dengan menggunakan teknik Bridgman. Teknik Bridgman dipilih teknik ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan teknik lain, kelebihan tersebut seperti langkah dan alat kerja yang digunakan cukup sederhana, serta kualitas kristal yang terbentuk cukup baik.

Pada penelitian ini dilakukan variasi pada massa bahan dasar yang digunakan untuk mengetahui apakah perbedaan massa berpengaruh pada kualitas dan karakteristik kristal semikonduktor yang terbentuk. Variasi dilakukan dengan memberikan variasi pada massa bahan dasar, dengan Sn sebagai massa acuan perbandingan yang kemudian digunakan untuk menentukan massa bahan dasar lain seperti Se dan Te. Untuk sampel pertama, massa Sn yang digunakan adalah 0,9 gram, sampel II massa Sn sebanyak 1 gram, sampel III sebanyak 1,1 gram, dan untuk sampel terakhir yaitu sampel IV massa Sn yang digunakan adalah sebanyak 1,2 gram. Keempat sampel dipanaskan dengan alur pemanasan yang sama dan proses pemanasan untuk tiap sampel dilakukan selama 4 hari. Untuk hari pertama dan kedua, sampel dipanaskan pada suhu 350°C selama 7 jam. Untuk hari ketiga dan keempat, sampel dipanaskan pada suhu 350°C

selama 2 jam, kemudian suhu dinaikkan hingga 600° C dan dipanaskan pada suhu 600° C selama 6 jam. Sehingga total lama pemanasan untuk tiap sampel adalah 350° C selama 18 jam, dan 600° C selama 12 jam.

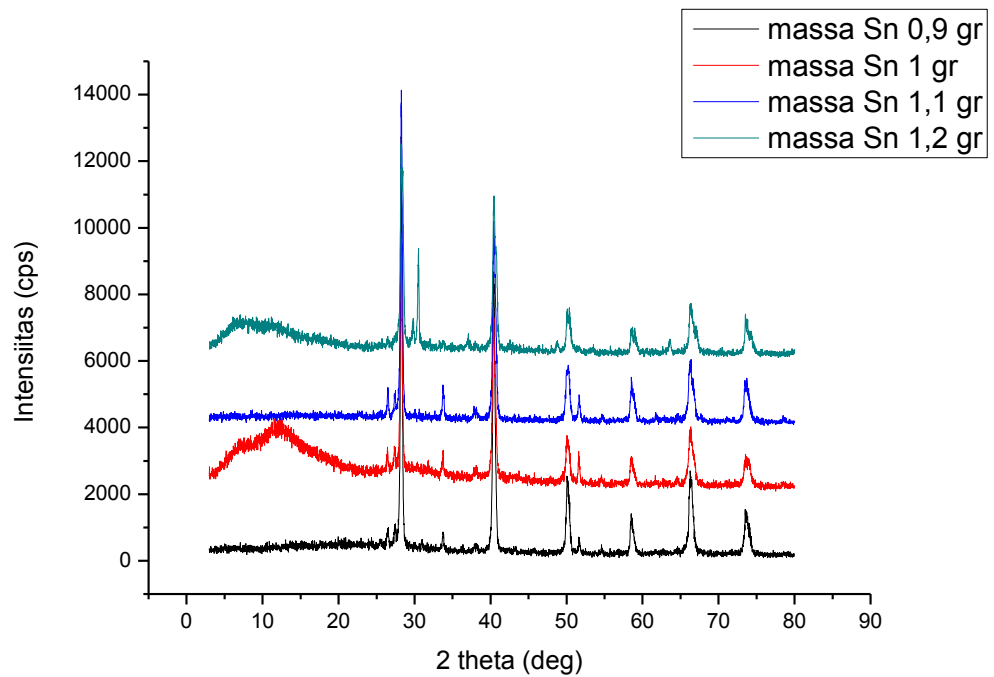
Dalam penelitian ini berhasil menumbuhkan kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan teknik Bridgman. Kristal yang terbentuk dari preparasi ini berupa masif dan berwarna abu-abu kehitaman. Kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang dihasilkan kemudian di analisis untuk mengetahui struktur kristalnya menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan kristal, dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX) untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam kristal tersebut.

2. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Untuk mengetahui pengaruh massa terhadap kualitas kristal masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dapat dilakukan dengan menganalisis difraktogram yang dihasilkan dari uji *X-Ray Diffraction* (XRD). Difraktogram tersebut menunjukkan ketinggian puncak intensitas dari keempat sampel. Menurut Vivi Febrini (2014), hasil intensitas pada difraksi menggunakan sinar-X dapat digunakan untuk mengetahui posisi atom dalam sebuah kristal. Intensitas dalam difraktogram yang dihasilkan dari uji XRD menunjukkan keteraturan atom-atom dari kristal. Intensitas berpengaruh pada tingkat keteraturan atom dalam bahan. Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa atom yang berada dalam bahan dapat menempati posisi dengan baik.

Semakin teratur atom dalam bahan maka kualitas kristalnya semakin baik (Anshori, 2016).

Untuk memudahkan dalam membandingkan hasil XRD dari keempat sampel, maka difraktogram hasil XRD dari keempat sampel digabungkan menggunakan *software* Origin. Hasil penggabungan dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Difraktogram masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ sampel I, sampel II, sampel III, dan sampel IV.

Adapun perbandingan puncak intensitas dari keempat sampel dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan intensitas tertinggi keempat sampel.

Sampel	Intensitas (cps)
Sampel 1 (massa Sn = 0,9 gram)	12.730
Sampel 2 (massa Sn = 1 gram)	7.490
Sampel 3 (massa Sn = 1,1 gram)	10.130
Sampel 4 (massa Sn = 1,2 gram)	6.520

Tabel 7 menunjukkan perbandingan difraktogram dari keempat sampel kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi teknik Bridgman. Dari perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa semakin sedikit jumlah massa bahan dasar maka intensitasnya cenderung semakin tinggi. Sampel keempat dengan jumlah massa bahan dasar paling banyak yaitu dengan massa Sn sebesar 1,2 gram memiliki intensitas yang paling kecil, sedangkan sampel pertama dengan jumlah massa bahan dasar paling sedikit yaitu dengan massa Sn sejumlah 0,9 gram memiliki intensitas yang paling tinggi atau memiliki keteraturan atom-atom pada kristal yang lebih

teratur dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa variasi massa mempengaruhi kualitas kristal dilihat dari intensitas hasil XRD, dimana semakin banyak jumlah massa yang digunakan dalam preparasi kristal maka keteraturan atom-atom pada kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang dihasilkan relatif semakin kecil.

Selanjutnya, hasil dari karakterisasi XRD yang berupa difraktogram dicocokkan dengan standar *database* JCPDS (*Join Committee on Powder Diffraction Standard*) untuk mengetahui nilai *hkl* dari setiap puncak difraksi yang terbentuk. Setelah dilakukan pencocokan dengan melihat dari banyaknya puncak yang sama antara hasil karakterisasi XRD dengan database JCPDS, maka dapat ditentukan bahwa kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ memiliki puncak difraksi yang sama dengan kristal SnTe. Perbandingan antara puncak hasil karakterisasi XRD untuk sampel I, sampel II, sampel III, dan sampel IV dengan database JCPDS berturut-turut dapat dilihat pada tabel 3, 4, 5, dan 6. Dari perbandingan tersebut, maka dapat diketahui bahwa kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ memiliki kecenderungan kesamaan kristal dengan SnTe, dimana memiliki struktur kristal kubik.

Setelah struktur kristal hasil preparasi diketahui yaitu berbentuk kubik dimana parameter kisi $a = b = c$, selanjutnya dilakukan analisis untuk mencari nilai paramter kisi tersebut. Untuk mengetahui parameter kisi dari kristal hasil preparasi dilakukan dengan menggunakan metode analitik. Perhitungan analitik dilakukan dengan menggunakan

difraktogram puncak-puncak difraksi hasil analisis XRD dan database JCPDS sebagai acuan. Dari hasil perhitungan analitik seperti pada lampiran 2 dapat diketahui parameter kisi kristal hasil preparasi seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel I, sampel II, sampel III, dan sampel IV hasil perhitungan analitik dengan JCPDS.

Sampel	Parameter kisi a (Å)	
	JCPDS	Analitik
I	6,303	6,310
II		6,310
III		6,310
IV		6,310

Dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa antara parameter kisi hasil perhitungan analitik dari keempat sampel dan JCPDS nilainya tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa variasi massa tidak terlalu mempengaruhi parameter kisi kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi teknik Bridgman.

3. Karakterisasi Scanning Electron Microscopy (SEM)

Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan kristal semikonduktor masif

$\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Baik sampel I maupun sampel II dilakukan karakterisasi SEM dengan empat kali perbesaran, yaitu 1.000 kali, 3.000 kali, 5.000 kali, dan 10.000 kali perbesaran. Morfologi permukaan hasil SEM untuk sampel I dapat dilihat pada Gambar 19, dan untuk sampel II dapat dilihat pada Gambar 20. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa semakin tinggi perbesaran yang dilakukan maka morfologi permukaan semakin terlihat jelas. Gambar-gambar tersebut juga menunjukkan bahwa kedua sampel sudah terbentuk kristal. Hal ini ditunjukkan dengan adanya keseragaman warna dan tekstur yang halus.

4. Karakterisasi Energy Dispersive Analysis of X-Ray (EDAX)

Karakterisasi *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX) dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam kristal hasil preparasi. Pada penelitian ini karakterisasi EDAX dilakukan pada sampel I dan sampel II. Hasil karakterisasi dari kedua sampel dapat dilihat pada Gambar 21 untuk sampel I dan Gambar 22 untuk sampel II. Hasil dari karakterisasi tersebut berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas dengan energi, dan komposisi unsur kimia penyusun kristal. Dari spektrum hasil karakterisasi EDAX tersebut dapat terlihat bahwa baik sampel I maupun sampel II mengandung unsur Sn, Se, dan Te. Dimana spektrum dari kedua sampel menunjukkan Sn memiliki puncak tertinggi, lalu Te dan kemudian Se dengan puncak paling rendah. Menurut Reka Rio (1982), setiap puncak tingkat energi akan menunjukkan elemen tertentu. Semakin tinggi spektrum pada suatu puncak energi,

semakin tinggi konsentrasi elemen tersebut pada sampel. Hal ini menunjukkan bahwa unsur penyusun mayoritas dari kedua sampel adalah Sn dan Te. Sedangkan perbandingan unsur penyusun kristal hasil karakterisasi EDAX terhadap teori dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan molaritas unsur penyusun kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel I dan sampel II hasil karakterisasi EDAX terhadap teori.

Perbandingan	Unsur		
	Sn	Se	Te
Perbandingan molar unsur secara teori	1	0,2	0,8
Perbandingan molar hasil EDAX Sampel I	1	0,1	0,8
Perbandingan molar hasil EDAX Sampel II	1	0,01	0,6

Dari Tabel 9 dapat terlihat perbandingan molaritas unsur penyusun kristal masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi. Pada sampel I terlihat bahwa perbandingan hasil karakterisasi EDAX dengan teori lumayan berbeda, namun unsur Sn dan Te masih mendominasi komposisi penyusun kristal. Sedangkan perbandingan hasil karakterisasi EDAX dengan teori untuk sampel I terlihat hampir sama, walaupun terdapat sedikit perbedaan pada unsur Se. Dari perbandingan hasil EDAX dengan teori ini dapat terlihat bahwa perbandingan pada sampel I lebih mendekati teori dibandingkan dengan sampel II. Hal ini lah yang mungkin menyebabkan hasil difraktogram XRD dari sampel II kurang baik. Perbandingan molaritas

sampel II setelah proses pemanasan terlihat berbeda dengan perbandingan molaritas awal pada saat preparasi yang sesuai dengan teori. Perbandingan yang tidak sesuai ini kemungkinan menyebabkan susunan atom dalam kristal mengalami sedikit perubahan. Ketidaksesuaian perbandingan ini terjadi karena keboleh jadian kurang tercampurnya bahan dasar secara sempurna pada proses preparasi, dan kemungkinan teroksidasinya sampel saat proses pendinginan setelah dilakukan *furnace*.

Walaupun demikian, hasil karakterisasi EDAX menunjukkan unsur penyusun kristal mayoritas dari kedua sampel adalah Sn dan Te. Dimana hal ini menunjukkan keberhasilan dalam penumbuhan kristal dengan bahan dasar Sn, Se, dan Te, dimana bahan Sn dan Te lebih dominan atau terbentuknya kristal SnTe.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi massa dapat mempengaruhi kualitas kristal dilihat dari tingkat keteraturan atom dalam kristal. Semakin sedikit massa bahan dasar yang digunakan maka susunan atom dalam kristal akan semakin teratur dan semakin baik pula kualitas kristal preparasi dengan teknik Bridgman yang dihasilkan.
2. Struktur kristal dari keempat sampel hasil preparasi teknik Bridgman yang terbentuk memiliki struktur kristal kubik. Hasil perhitungan analitik parameter kisi kristal yang dihasilkan yaitu, sampel I sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, sampel II sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, sampel III sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$, dan sampel IV sebesar $a = b = c = 6,310 \text{ \AA}$. Hal ini menunjukkan perbedaan massa tidak terlalu mempengaruhi struktur dan parameter kisi kristal semikonduktor masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik Bridgman.
3. Dari hasil karakterisasi SEM dapat terlihat bahwa morfologi permukaan dari sampel I dan sampel II menunjukkan sudah terbentuk kristal. Sedangkan hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa kedua sampel

mengandung unsur Sn, Se dan Te dengan perbandingan molar Sn : Se : Te untuk sampel I adalah 1 : 0,1 : 0,8 dan untuk sampel II memiliki perbandingan 1 : 0,01 : 0,6.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, saran yang dapat disampaikan oleh penulis adalah:

1. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dilakukan dengan *range* variasi massa yang lebih besar.
2. Dalam proses preparasi bahan sebaiknya sebelum dimasukkan ke dalam tabung pyrex semua bahan dasar dicampur terlebih dahulu agar bahan paduan tercampur dengan sempurna saat pemanasan.
3. Pevakuman sebaiknya dilakukan hingga tekanan yang lebih rendah untuk meminimalisasi adanya unsur-unsur lain pada preparasi.
4. Sebaiknya dilakukan karakterisasi lebih lanjut untuk mengetahui informasi yang lebih banyak mengenai semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, misalnya pengukuran konduktivitas dan daya serap terhadap cahaya.

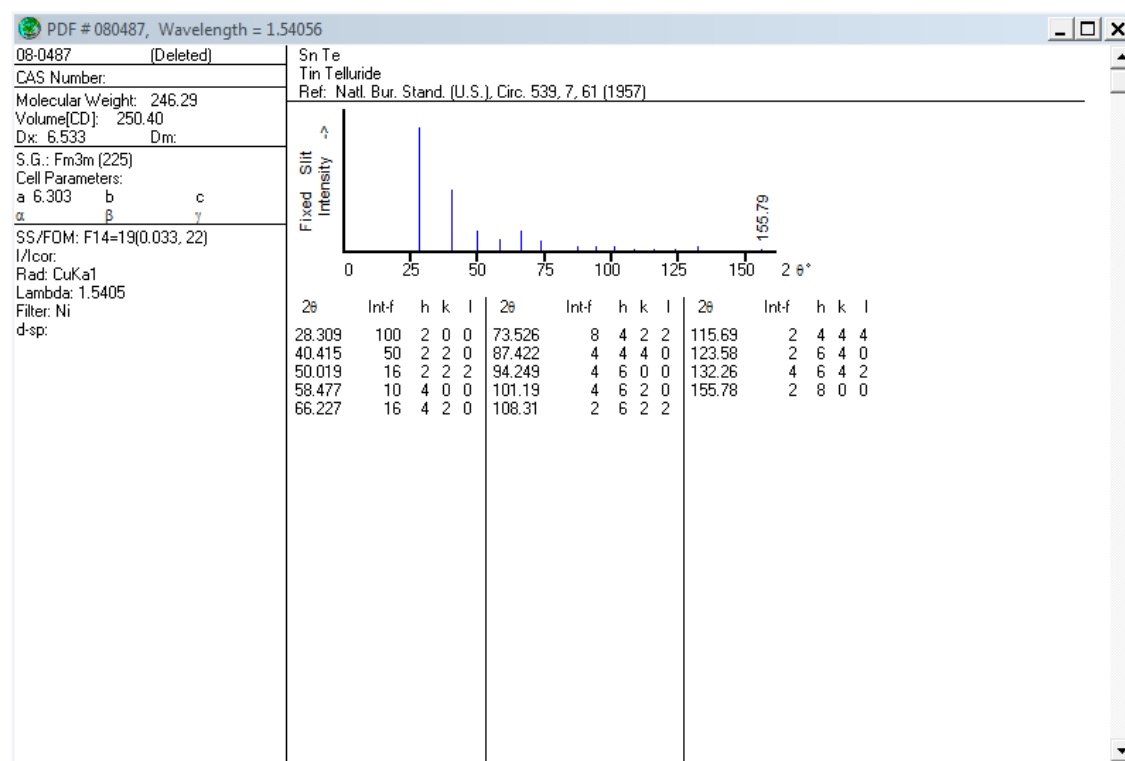
DAFTAR PUSTAKA

- Anshori, Muhammad. 2016. *Pengaruh Temperatur Pemanasan pada Kualitas Kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. 2005. *Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. 2015. *Fisika Semikonduktor*. Handout Kuliah. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. 2009. *Struktur dan Respon Spektral Ultra Violet-Visible (UV-Vis) pada Lapisan Tipis Tembaga, aurum, Indium, Perak, dan Alumunium Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Klasik*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Beiser, Arthur. 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. (alih bahasa: DR The Houw Liong). Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Cahyana, Agus, dkk. 2014. *Analisa SEM (Scanning Electron Microscope) pada Kaca Tzn yang Dikristalkan Sebagian*. Surakarta: Jurusan Ilmu Fisika Pasca Sarjana UNS.
- Cullity. 1956. *Ellement of X-Ray Diffraction*. USA: Addison-Wesley Publishing Company. Inc.
- E. Wahjuniati dan A. Harsono Soepardjo. 2002. *Karaterisasi Polikristal AgInSe_2 yang Ditumbuhkan Menggunakan Tungku Vertikel Temperatur Zona Tunggal dengan Difraksi Sinar-X*. Jurnal Himpunan Fisika Indonesia Edisi 2002.
- Febrini, Vivi dkk. 2014. *Pengaruh Kalsinasi terhadap Struktur Kristal Serpentin yang Terdapat di Jorong Sungai Padi Nagari Lubuak Gadang Kecamatan Sangir Kabupaten Solok Selatan*. Jurnal. Padang: FMIPA Universitas Negeri Padang.
- Gautreau, Ronald, and Savin William. 2006. *Schaum's Outline Of Modern Physics*: Erlangga.
- Goetzberger, A., Knobloch, J. 1998. *Crystalline Silicon Cells*. Terjemahan oleh Rachel Waddington. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Kittel, Charles. 2005. *Introduction to Solid State Physics 8th Edition*. Hoboken: John Wiley and Sons.

- Kumar et.al. 2012. *Effects of Thin Film Thickness on Optial Properties of Tin Selenide Thin Films Prepared by Thermal Evaporation for Photovoltaic Applications*.
- Malaquias. J, P.A. Fernandes, 2011. *Thin Solid Films*.
- Masitoh, Hilma Eka. 2016. *Pengaruh Temperatur Substrat terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: Univeristas Negeri Yogyakarta.
- Nayiroh M.Si, Nurun. 2015. *Mk Diffraksi Sinar-X*.
- Parno. 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Rio, Reka. 1982. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT. Prandya Paramita.
- Saini, R. et. al. 2010. *Structural and Electrical Characterization of Sinters SnTe Films*. Jurnal, Departmen of Physics.
- Setiawan, Agus, et. al. 2007. *Modul-4 Semikonduktor*. Bandung: Fakultas Pendidikan Matematika dan IPA, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Smallman, R.E., & Bishop, R.J. 2000. *Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material*. Terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- S.M. Sze. 2007. *Physics of Semiconductor Device Third Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Suryanarayana, C & M. Grant Norton. 1998. *X-Ray Diffraction A Partical Approach*. Plenum Press-New York and London.
- Suwitra, Nyoman. 1989. *Pengantar Fisik Zat Padat*. Jakarta: Dekdikbud.
- Widodo, Thomas Sri. 2002. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika
- Wijaya, Sastra Kusuma. 1992. *Diktat Kuliah Elekktronika I*. Jakarta: UI Press.
- Yelfianhar, Ichwan. 2010. *Semikoduktor*. Diakses dari <http://www.iwan78.files.wordpress.com/2010.html>. Pada 6 Januari 2016, pukul 20.19 WIB.

LAMPIRAN

Lampiran 1. JCPDS SnTe



Lampiran 2. Perhitungan parameter kisi kristal.

Sampel 1

Peak	2θ	θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}}$	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}} \times 4$	h ² +k ² +l ²	hkl
1	28,180	14,0900	0,0593	1,0000	4,0000	4	200
2	40,321	20,1605	0,1188	2,0043	8,0171	8	220
3	50,051	25,0255	0,1789	3,0194	12,0776	12	222
4	58,506	29,2530	0,2388	4,0292	16,1169	16	400
5	66,185	33,0925	0,2981	5,0300	20,1200	20	420
6	73,69	36,8450	0,3596	6,0673	24,2692	24	422
7	87,47	43,7350	0,4779	8,0642	32,2566	32	440

Peak	2θ	θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	hkl
1	28,180	14,0900	0,0593	0,0148	0,0074	0,0049	0,0037	0,0030	200
2	40,321	20,1605	0,1188	0,0297	0,0148	0,0099	0,0074	0,0059	220
3	50,051	25,0255	0,1789	0,0447	0,0224	0,0149	0,0112	0,0089	222
4	58,506	29,2530	0,2388	0,0597	0,0298	0,0199	0,0149	0,0119	400
5	66,185	33,0925	0,2981	0,0745	0,0373	0,0248	0,0186	0,0149	420
6	73,69	36,8450	0,3596	0,0899	0,0449	0,0300	0,0225	0,0180	422
7	87,47	43,7350	0,4779	0,1195	0,0597	0,0398	0,0299	0,0239	440

$$\lambda = 1,5405$$

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

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

$$a = \frac{1,5405}{2\sqrt{0,0149}}$$

$$a = 6,3109 \text{ \AA}$$

Sampel 2

Peak	2θ	θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}}$	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}} \times 4$	h ² +k ² +l ²	Hkl
1	28,169	14,0845	0,0592	1,0000	4,0000	4	200
2	40,293	20,1465	0,1186	2,0031	8,0125	8	220
3	50,04	25,0200	0,1789	3,0205	12,0819	12	222
4	58,447	29,2235	0,2384	4,0249	16,0996	16	400
5	66,18	33,0900	0,2981	5,0332	20,1327	20	420
6	73,59	36,7950	0,3587	6,0578	24,2312	24	422

Peak	2θ	θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	Hkl
1	28,169	14,0845	0,0592	0,0148	0,0074	0,0049	0,0037	0,0030	200
2	40,293	20,1465	0,1186	0,0297	0,0148	0,0099	0,0074	0,0059	220
3	50,04	25,0200	0,1789	0,0447	0,0224	0,0149	0,0112	0,0089	222
4	58,447	29,2235	0,2384	0,0596	0,0298	0,0199	0,0149	0,0119	400
5	66,18	33,0900	0,2981	0,0745	0,0373	0,0248	0,0186	0,0149	420
6	73,59	36,7950	0,3587	0,0897	0,0448	0,0299	0,0224	0,0179	422

$$\lambda = 1,5405$$

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

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

$$a = \frac{1,5405}{2\sqrt{0,0149}} = 6,310 \text{ \AA}$$

Sampel 3

Peak	2θ	Θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}}$	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}} \times 4$	h ² +k ² +l ²	hkl
1	28,212	14,1060	0,0594	1,0000	4,0000	4	200
2	40,387	20,1935	0,1192	2,0061	8,0244	8	220
3	50,114	25,0570	0,1794	3,0198	12,0792	12	222
4	58,51	29,2550	0,2388	4,0208	16,0831	16	400
5	66,111	33,0555	0,2975	5,0089	20,0356	20	420
6	73,437	36,7185	0,3575	6,0182	24,0726	24	422
7	87,76	43,8800	0,4805	8,0888	32,3552	32	440

Peak	2θ	Θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	Hkl
1	28,212	14,1060	0,0594	0,0148	0,0074	0,0049	0,0037	0,0030	200
2	40,387	20,1935	0,1192	0,0298	0,0149	0,0099	0,0074	0,0060	220
3	50,114	25,0570	0,1794	0,0448	0,0224	0,0149	0,0112	0,0090	222
4	58,51	29,2550	0,2388	0,0597	0,0299	0,0199	0,0149	0,0119	400
5	66,111	33,0555	0,2975	0,0744	0,0372	0,0248	0,0186	0,0149	420
6	73,437	36,7185	0,3575	0,0894	0,0447	0,0298	0,0223	0,0179	422
7	87,76	43,8800	0,4805	0,1201	0,0601	0,0400	0,0300	0,0240	440

$$\lambda = 1,5405$$

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

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

$$a = \frac{1,5405}{2\sqrt{0,0149}}$$

$$a = 6,3109 \text{ \AA}$$

Sampel 4

peak	2θ	θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}}$	$\frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \text{ min}} \times 4$	h ² +k ² +l ²	hkl
1	28,24	14,1200	0,0595	1,0000	4,0000	4	200
2	40,38	20,1900	0,1191	2,0015	8,0061	8	220
3	50,21	25,1050	0,1800	3,0247	12,0989	12	222
4	58,59	29,2950	0,2394	4,0230	16,0919	16	400
5	66,26	33,1300	0,2987	5,0192	20,0766	20	420
6	73,56	36,7800	0,3585	6,0238	24,0951	24	422

peak	2θ	θ	sin ² θ	$\frac{\sin^2 \theta}{4}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{12}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$	$\frac{\sin^2 \theta}{20}$	hkl
1	28,24	14,1200	0,0595	0,0149	0,0074	0,0050	0,0037	0,0030	200
2	40,38	20,1900	0,1191	0,0298	0,0149	0,0099	0,0074	0,0060	220
3	50,21	25,1050	0,1800	0,0450	0,0225	0,0150	0,0113	0,0090	222
4	58,59	29,2950	0,2394	0,0599	0,0299	0,0200	0,0150	0,0120	400
5	66,26	33,1300	0,2987	0,0747	0,0373	0,0249	0,0187	0,0149	420
6	73,56	36,7800	0,3585	0,0896	0,0448	0,0299	0,0224	0,0179	422

$$\lambda = 1,5405$$

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

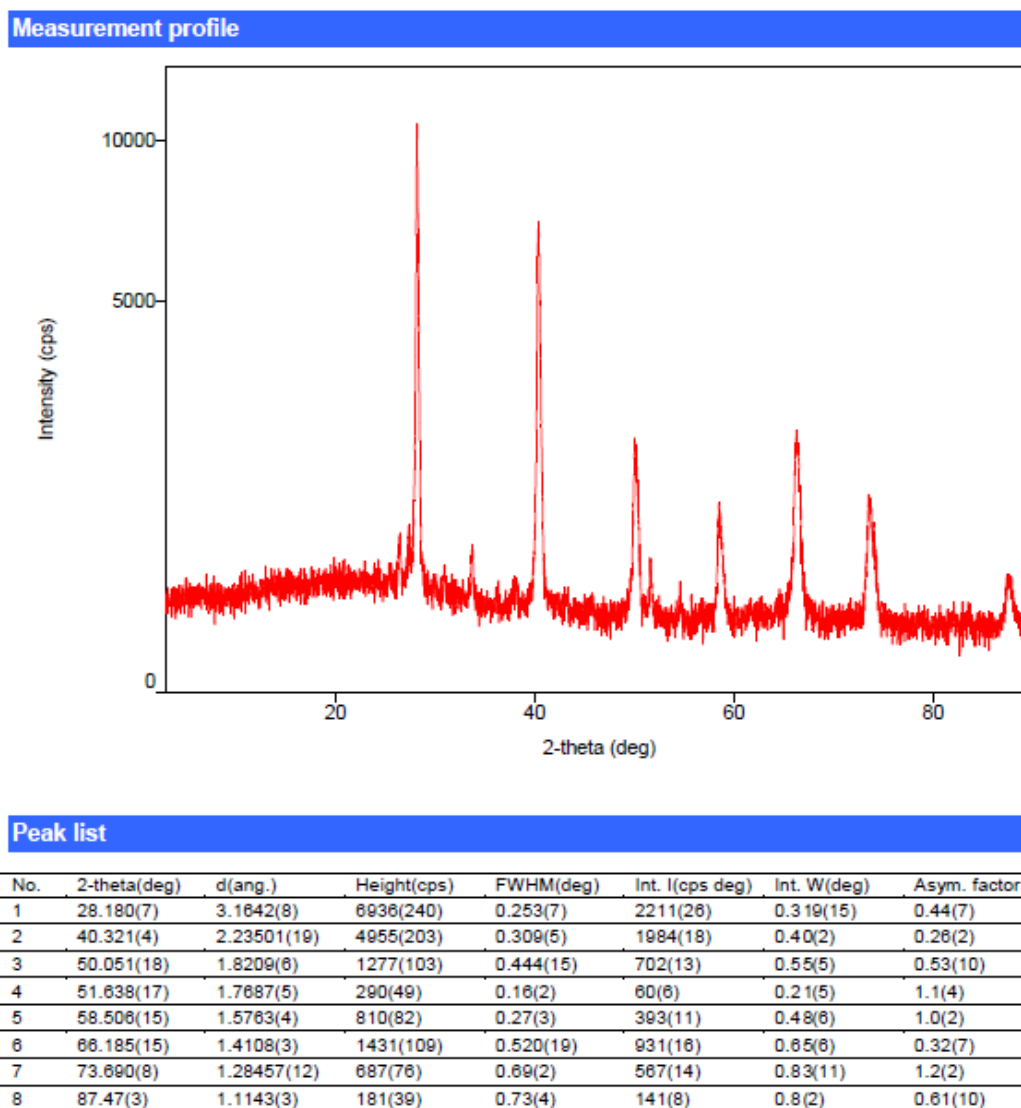
$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}}$$

$$a = \frac{1,5405}{2\sqrt{0,0149}}$$

$$a = 6,3109 \text{ \AA}$$

Lampiran 3. Hasil karakterisasi XRD.

A. Sampel 1



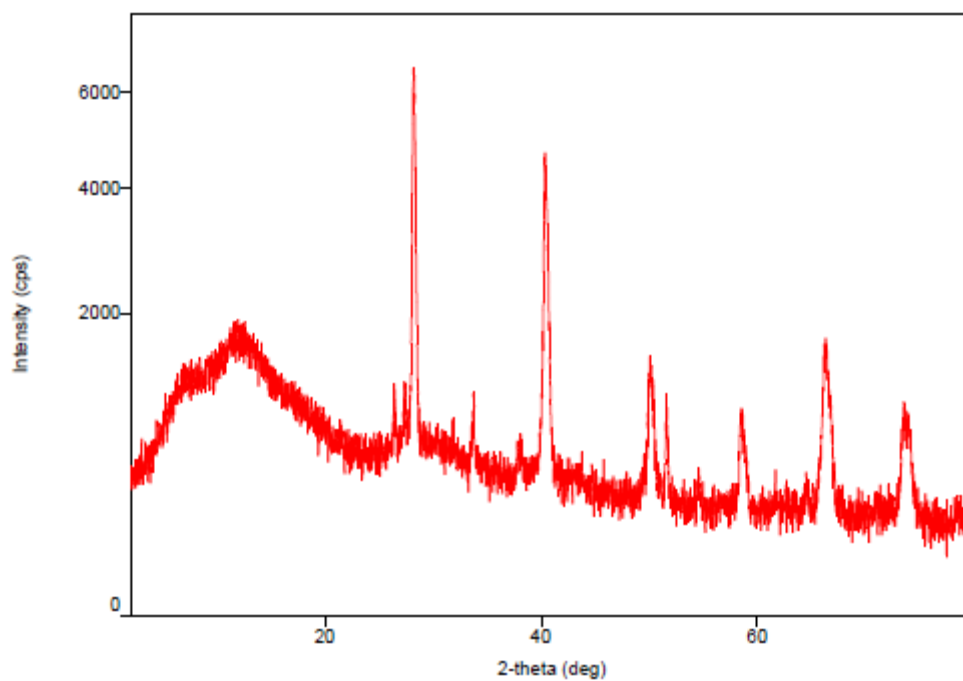
B. Sampel 2

Peak List

General information

Analysis date	2016/12/28 11:03:47	Measurement date	2016/12/28 10:54:09
Sample name	Sapel 1 Sn(Se _{0.2} Te _{0.8})	Operator	administrator
File name	847-xrd-2016.ras		
Comment			

Measurement profile

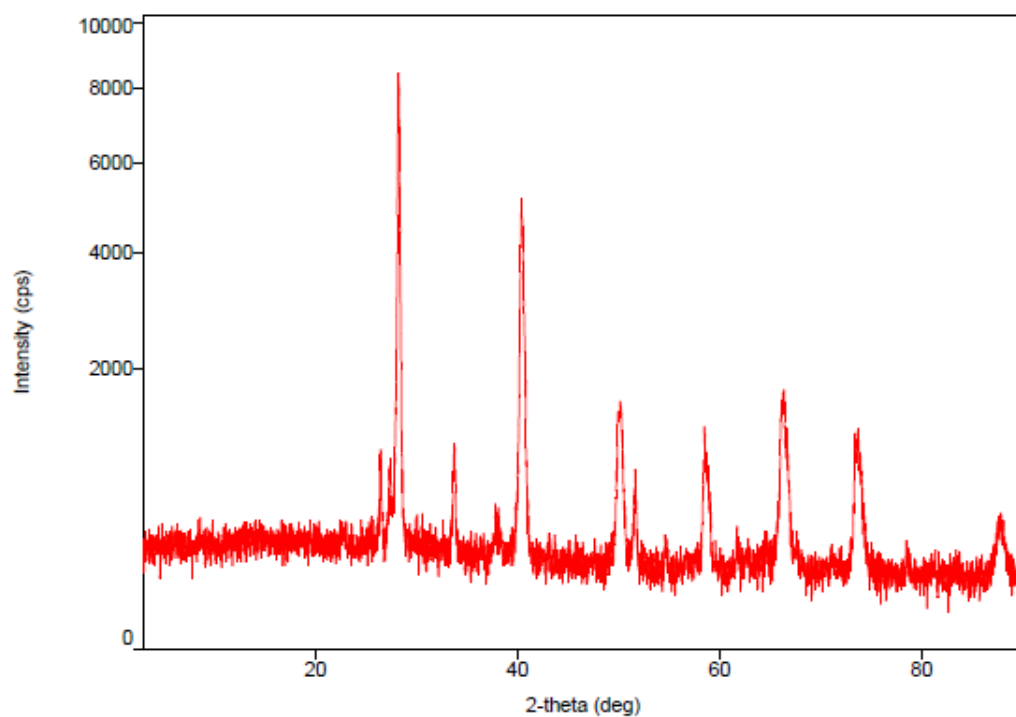


Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	12.2(3)	7.28(16)	124(32)	2.0(3)	264(46)	2.1(9)	0.7(4)
2	27.35(2)	3.258(3)	352(54)	0.15(3)	78(11)	0.22(7)	0.6(3)
3	28.16(6)	3.1653(7)	4111(185)	0.311(5)	1503(18)	0.37(2)	0.52(5)
4	40.293(10)	2.2365(5)	2785(152)	0.413(11)	1371(19)	0.49(3)	0.27(5)
5	50.04(3)	1.8214(10)	737(78)	0.52(2)	476(15)	0.64(9)	0.53(14)
6	51.60(2)	1.7699(7)	478(63)	0.19(2)	106(8)	0.22(5)	1.1(5)
7	58.447(10)	1.5778(3)	401(58)	0.54(3)	251(12)	0.63(12)	0.35(15)
8	66.18(3)	1.4109(5)	890(86)	0.73(2)	772(17)	0.87(10)	0.38(8)
9	73.59(4)	1.2860(6)	455(62)	0.86(3)	426(15)	0.94(16)	0.55(11)

C. Sampel 3

Measurement profile

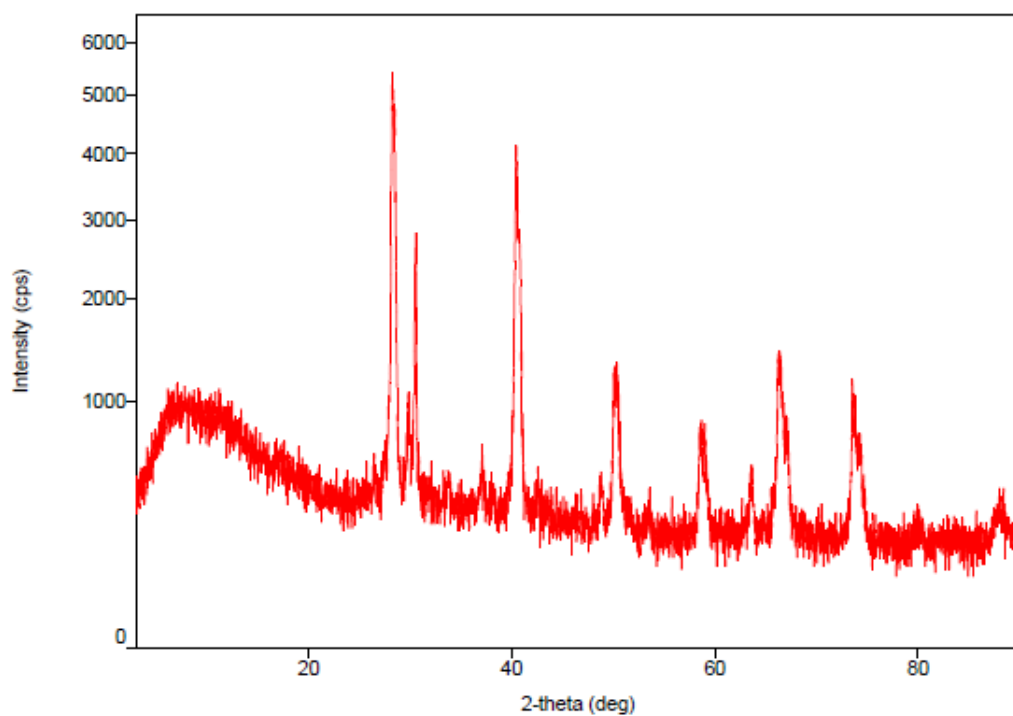


Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	26.45(2)	3.367(2)	574(69)	0.14(3)	133(8)	0.23(4)	0.7(5)
2	27.344(10)	3.2590(11)	338(53)	0.17(3)	71(9)	0.21(6)	0.3(3)
3	28.212(8)	3.1606(8)	5582(216)	0.273(8)	1978(17)	0.354(17)	0.58(8)
4	33.794(7)	2.6502(5)	546(67)	0.202(18)	147(8)	0.27(5)	3(2)
5	38.03(9)	2.364(6)	106(30)	0.61(8)	69(11)	0.7(3)	1.3(8)
6	40.387(8)	2.2315(4)	3188(163)	0.449(6)	1673(18)	0.52(3)	0.59(4)
7	50.114(19)	1.8188(7)	946(89)	0.558(15)	641(13)	0.68(8)	0.95(13)
8	51.662(6)	1.7679(2)	469(63)	0.20(2)	135(7)	0.29(5)	4(2)
9	58.51(3)	1.5763(7)	564(69)	0.57(2)	357(12)	0.63(10)	0.45(11)
10	66.111(8)	1.41223(16)	984(91)	0.662(18)	811(16)	0.82(9)	0.21(5)
11	73.437(13)	1.2884(2)	675(75)	0.699(19)	537(13)	0.79(11)	0.26(3)
12	87.76(8)	1.1113(8)	171(38)	0.87(6)	158(11)	0.9(3)	1.7(4)

D. Sampel 4

Measurement profile



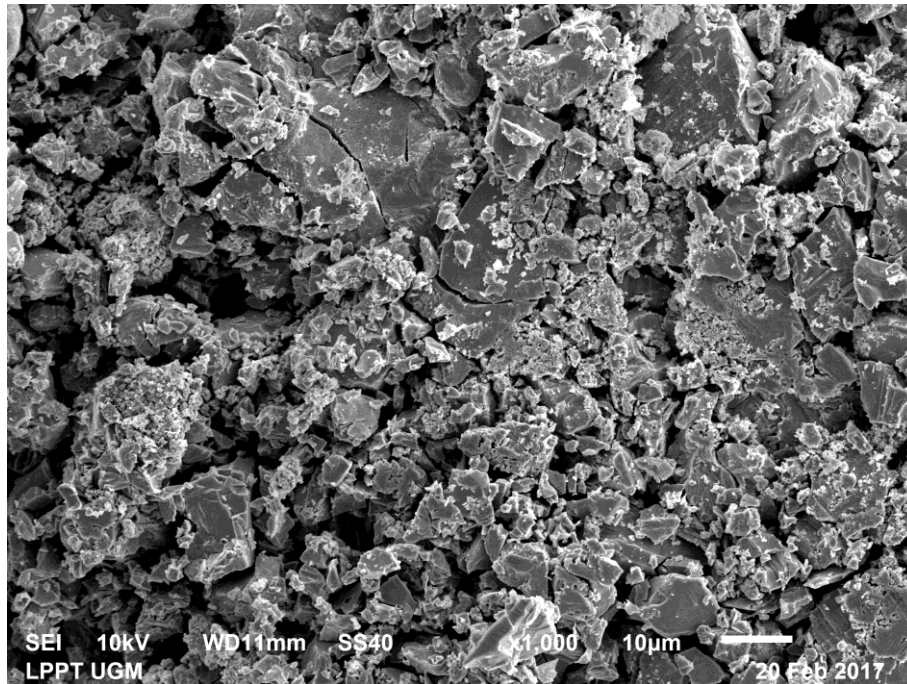
Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.240(11)	3.1575(12)	3400(168)	0.413(9)	1682(25)	0.49(3)	0.54(8)
2	29.82(2)	2.994(2)	404(58)	0.23(3)	139(9)	0.34(7)	1.8(9)
3	30.497(12)	2.9288(11)	1785(122)	0.159(13)	420(12)	0.24(2)	1.6(7)
4	40.380(15)	2.2319(8)	2427(142)	0.510(13)	1457(23)	0.60(4)	0.39(8)
5	48.75(4)	1.8666(13)	160(36)	0.30(6)	62(7)	0.39(13)	1.0(5)
6	50.21(3)	1.8156(9)	674(75)	0.59(2)	494(14)	0.73(10)	1.00(18)
7	58.59(3)	1.5744(8)	434(60)	0.35(5)	219(35)	0.51(15)	1.4(8)
8	59.01(3)	1.5639(7)	305(50)	0.19(5)	82(29)	0.27(14)	1.3(8)
9	63.61(3)	1.4616(7)	229(44)	0.28(5)	88(7)	0.38(10)	2.0(12)
10	66.26(2)	1.4094(4)	1059(94)	0.39(4)	795(19)	0.75(8)	0.60(17)
11	73.56(2)	1.2866(4)	726(78)	0.41(5)	585(15)	0.81(11)	0.50(16)

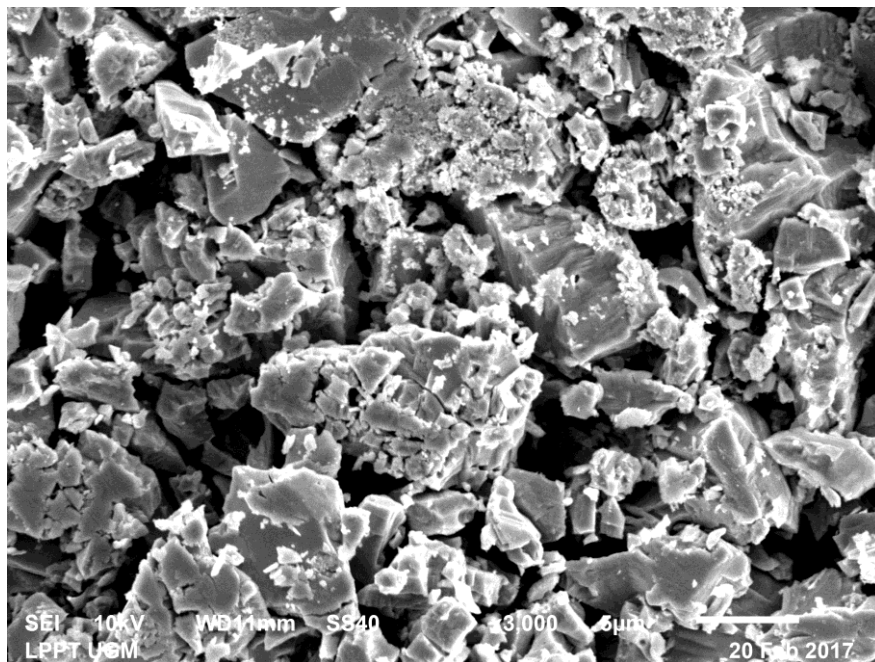
Lampiran 4. Hasil karakterisasi SEM

A. Sampel 1

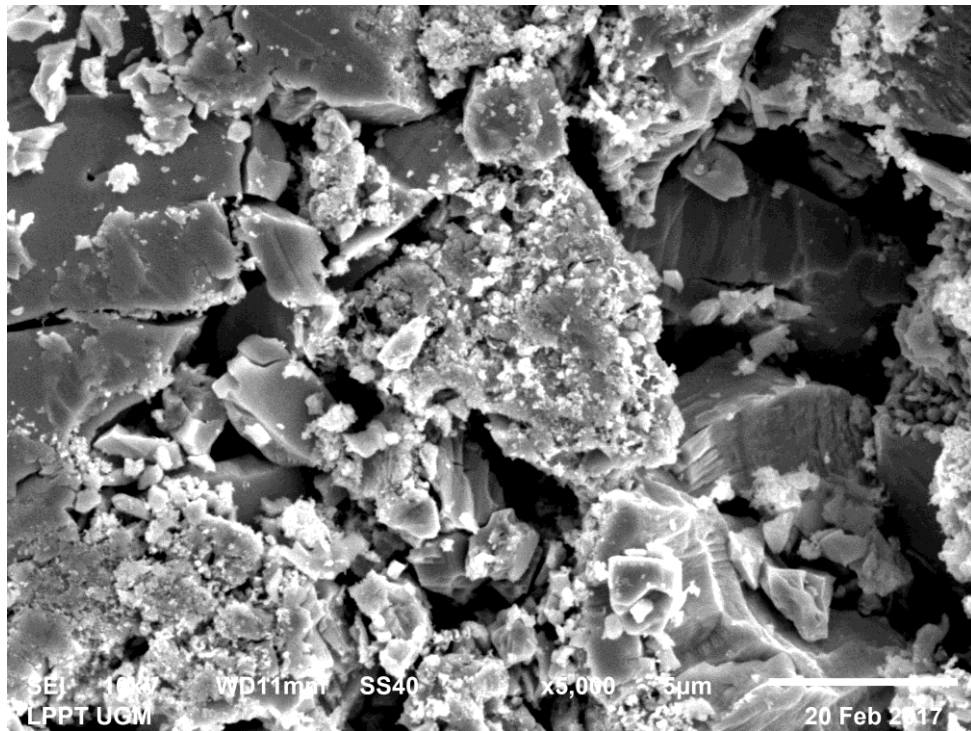
1. Perbesaran 1.000 kali



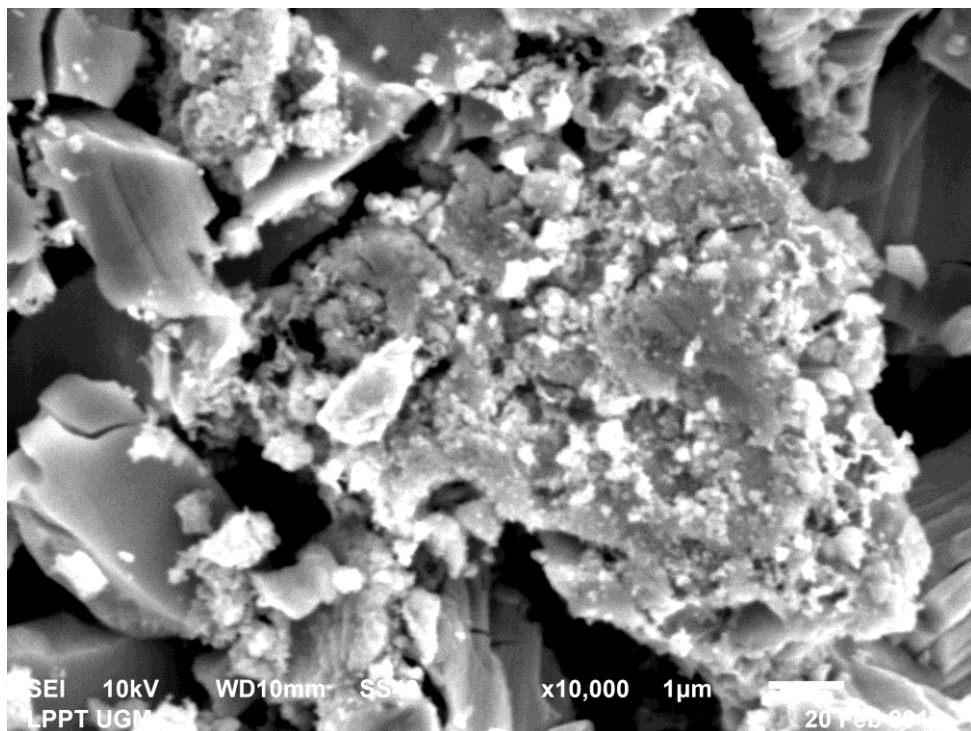
2. Perbesaran 3.000 kali



3. Perbesaran 5.000 kali

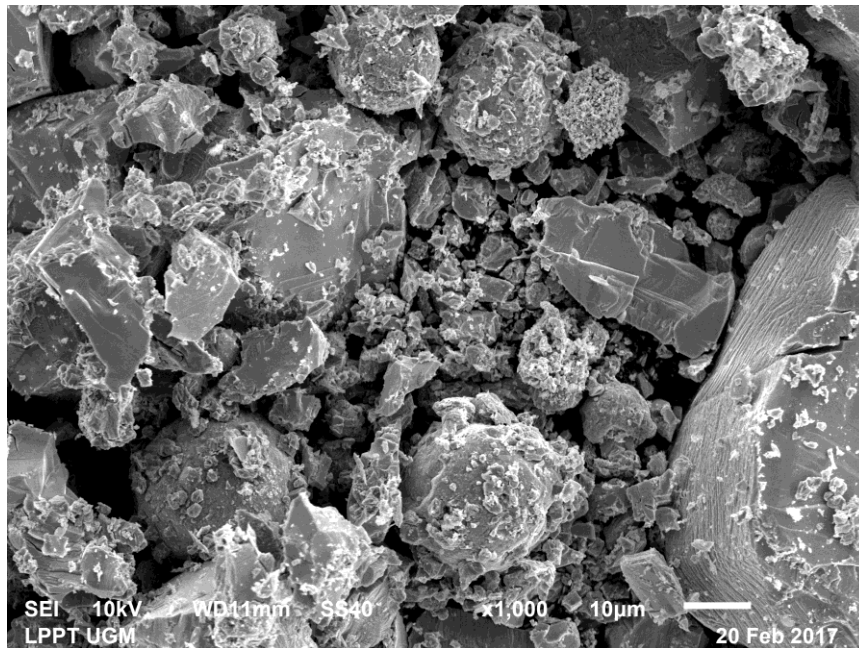


4. Perbesaran 10.000 kali

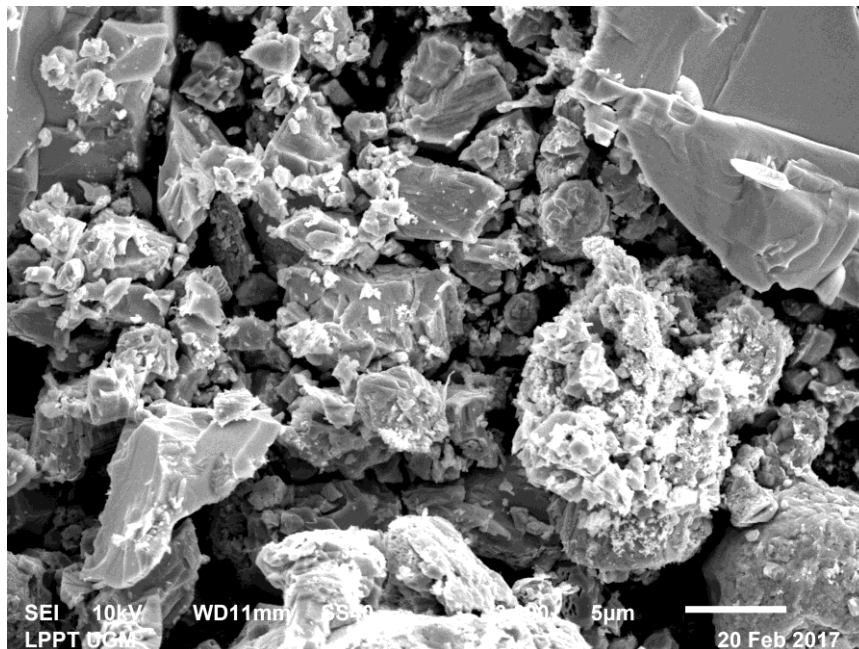


B. Sampel 2

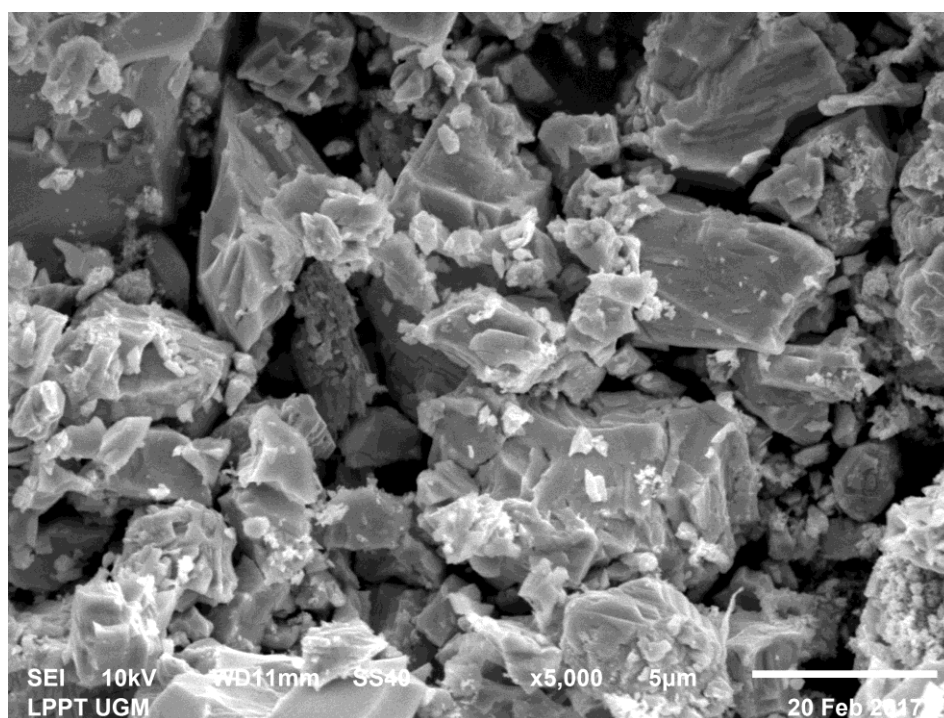
1. Perbesaran 1.000 kali



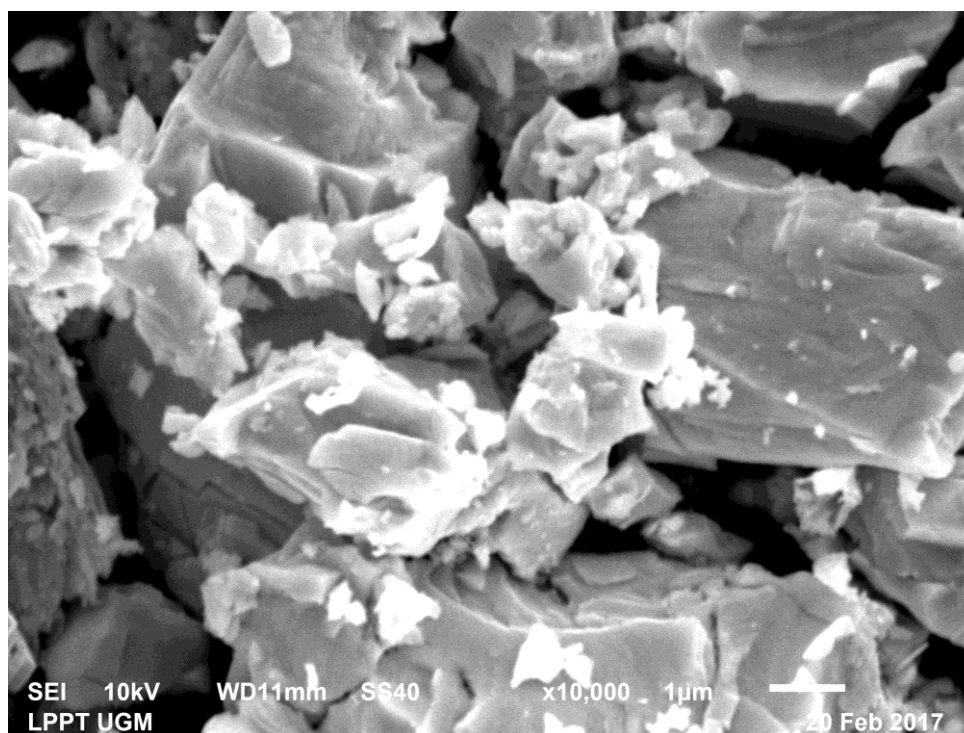
2. Perbesaran 3.000 kali



3. Perbesaran 5.000 kali

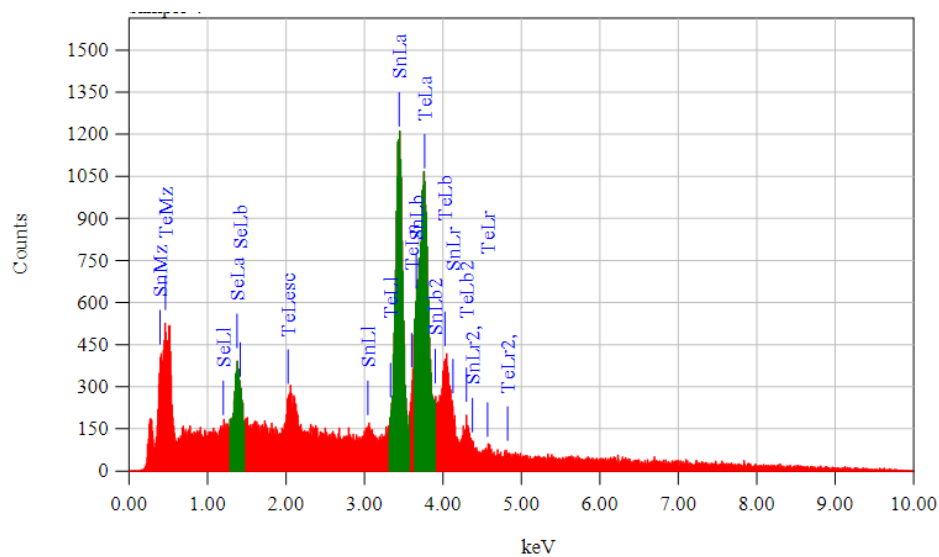


4. Perbesaran 10.000 kali



Lampiran 4. Hasil karakterisasi EDAX

A. Sampel I

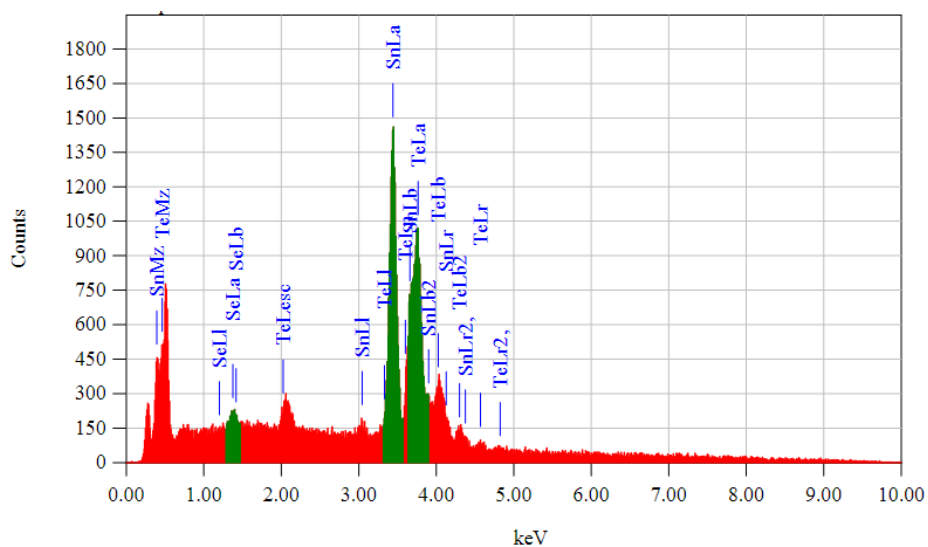


ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1743

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
Se L	1.379	2.74	0.11	4.19				2.4652
Sn L	3.442	52.54	0.52	53.47				53.5327
Te L	3.768	44.72	0.55	42.34				44.0021
Total		100.00		100.00				

B. Sampel 2



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2372

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
Se L*	1.379	0.74	0.09	1.14				0.6633
Sn L	3.442	61.39	0.55	62.81				62.2621
Te L	3.768	37.87	0.51	36.04				37.0747
Total		100.00		100.00				

Lampiran 5. Alat dan bahan.

A. Alat



Timbangan



Alat Vakum dan Las



Furnace



Mortar

B. Bahan



Sn (Timah)



Se (Selenium)



Te (Tellurium)



Tabung pyrex