

**PENGARUH ALUR SUHU TERHADAP
KUALITAS KRISTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN
TEKNIK BRIDGMAN UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Sains



Oleh

Anggraeni Kumala Dewi

NIM. 13306144011

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

**PENGARUH ALUR SUHU TERHADAP
KUALITAS KRISTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN
TEKNIK BRIDGMAN UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi sebagian Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Sains



Oleh

Anggraeni Kumala Dewi

NIM. 13306144011

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

PERSETUJUAN

SKRIPSI DENGAN JUDUL:

PENGARUH ALUR SUHU TERHADAP KUALITAS KRISTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK BRIDGMAN UNTUK APLIKASI SEL SURYA

Yang disusun oleh:

Nama : Anggraeni Kumala Dewi

NIM : 13306144011

Prodi : Fisika

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing dan diujikan.

Disetujui pada tanggal

13 MARET 2017

Menyetujui,

Dosen Pembimbing




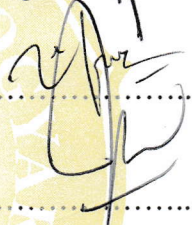
Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “**PENGARUH ALUR SUHU TERHADAP KUALITAS KRISTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK BRIDGMAN UNTUK APLIKASI SEL SURYA**” yang disusun oleh Anggraeni Kumala Dewi, NIM 13306144011 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 17 Maret 2017 dan dinyatakan LULUS.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 19590914 198803 1 003	Ketua Penguji		28-03-2017
Laila Katriani, M. Si NIP. 19850415 201212 2 001	Sekretaris Penguji		22-03-2017
R. Yosi Aprian Sari, M. Si NIP. 19730407 200604 1 001	Penguji Utama		22-03-2017

Yogyakarta, 29 Maret 2017
Fakultas MIPA
Dekan,



Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

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

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

Yogyakarta, 13 Maret 2017

Yang menyatakan,



Anggraeni Kumala Dewi

NIM. 13306144011

MOTTO

“ Be the light in the dark “

PERSEMBAHAN

+ Buku skripsi ini saya persembahkan untuk :

- Ibu Chandra Kartika Dewi (Mama), Bapak Kusnadi (Papa), Shafa Karina Dewi (Adik) tercinta yang selalu memberikan seluruh doa, dukungan terbaik dalam setiap keadaan, dan waktu apapun dengan kasih dan sayang penuh yang utuh. Terutama untuk Mama saya yang selalu mendukung, mendoakan, membantu, menemani, mendampingi saya sejak awal masuk kuliah hingga penelitian dan penulisan buku ini. Mama adalah inspirasi dan motivasi saya untuk menulis dan menyelesaikan buku skripsi ini. Buku skripsi ini, saya dedikasikan untuk Mama saya, Ibu Chandra Kartika Dewi. Semoga beliau, mama dan papa serta adik saya selalu sehat, panjang umur, dan didalam lindungan serta dekapan-Nya.
- Kepada Alm. Supadjar Santoso, eyang kakung saya. Saya persembahkan buku skripsi ini untuk beliau yang doa dan kasih sayangnya kepada saya selalu mengiringi sepanjang kehidupan saya.
- Seluruh keluarga besar saya atas doa dan dukungannya selama ini yang terus mengiringi perjalanan saya.
- Dosen Pembimbing sekaligus Bapak kami, Bapak Dr. Ariswan yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan skripsi pada kami selama ini, dan selalu memberikan motivasi semangat kehidupan.

+ Untuk orang-orang terdekat saya :

- Budhe Endah Budi Tjahyani yang selalu membantu dan mendukung saya.
- Alfiza Ayuningtyas, Felicia Isfandyari, Sonya Prasasti Nararya sahabat saya.
- Diana Prastiwi, Arif D. Hantoro, dan Khintoko Intan, *partner* terbaik kuliah.
- Keluarga “Bears”, Salsabila Annisa Azmi, Vida Irene Rosa, dan Dina Aulia.
- Sahabat SMA saya, Atikah Muna Naufina, Sanaul Laily, Rizqa Syah Wibawani, Hanum Quintassani, Christy Priskilla Tamariska.
- Keluarga “ Club Alumni SMA Negeri 9 Yogyakarta Angkatan2013”.
- Keluarga besar “ Kinjeng 2” dan “ Kampanye Sekolah Sungai ‘Kali Code’ “, untuk Kak Belva, Fiqha, Senja, Eva, Nita, Ripai, Hargianz, Putri, Ake, Yumna, Yolanda, Febi, Riqi, Iva, dan Mayla.
- Keluarga besar “ *Earth Hour* Jogja “, untuk Aqis, Fattah, Iza, Ronald, Yunus, Livi, Arinta, Gagas, Eng, Obi, Dika, Wawan, Wieka dan masih banyak lagi.
- Keluarga besar “ Fisika E 2013 UNY “, terimakasih sudah menemani.
- Keluarga Jurusan Pendidikan Fisika dan Prodi Fisika UNY. Kajor, Sekjur, Kaprodi, Bapak-Ibu dosen, Admin jurusan, pengurus laboratorium, penjaga perpustakaan jurusan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terimakasih atas ilmu, bantuan, dan pengalaman yang sudah diberikan. Semoga hubungan silaturahmi saya dengan kalian semua tetap terjaga.
- Keluarga besar “ BIPA (Bahasa Indonesia Penutur Asing) “ dan “ KUIK UNY (Kantor Urusan Internasional dan Kemitraan). Terimakasih untuk kesempatannya mengabdikan dengan mengajar bahasa dan budaya Indonesia.
- Teruntuk sahabat sekaligus partner se-penelitian. Terimakasih Desi Indah Anjar Kusuma, Annisa Dyah Aulia, Iin Astari Nugraheni yang telah berjuang bersama.

**PENGARUH ALUR SUHU TERHADAP
KUALITAS KRISTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK
BRIDGMAN UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

Oleh:
Anggraeni Kumala Dewi
13306144011

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh alur suhu terhadap kualitas struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dan pengaruh alur suhu terhadap morfologi permukaan dan komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ yang terbentuk.

Penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ diperoleh dari hasil preparasi dengan Teknik Bridgman. Prinsip dasar Teknik Bridgman adalah suatu teknik penumbuhan kristal tunggal dengan melelehkan bahan-bahan yang telah dimurnikan dalam tabung *pyrex* atau kuarsa berbentuk kapsul yang kemudian divakumkan. Pada keempat sampel kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dilakukan variasi alur suhu. Alur suhu sampel I pada suhu 350°C dikonstankan selama 3 jam kemudian suhu 600°C dikonstankan selama 3 jam. Alur suhu sampel II pada suhu 350°C dikonstankan selama 2 jam kemudian suhu 600°C dikonstankan selama 4,5 jam. Alur suhu sampel III pada suhu 350°C dikonstankan selama 6 jam kemudian suhu 600°C dikonstan selama 1 jam. Alur suhu sampel IV pada suhu 350°C dikonstankan selama 5 jam kemudian suhu 600°C dikonstankan selama 6 jam. Selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-ray*) untuk mengetahui komposisi kimia.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ memiliki struktur orthorombik dengan sampel I dan III memiliki intensitas yang paling tinggi. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa terbentuknya kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ ditandai dengan adanya butiran-butiran atau *grain*. Berdasarkan hasil EDAX, diketahui bahwa kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ mengandung unsur Sn, Se, dan Te dengan persentase komposisi kimia pada sampel I Sn = 39,85 %, Se = 36,09 %, dan Te = 2,57 %. Perbandingan molaritas pada sampel I Sn : Se : Te adalah 1 : 0,90 : 0,10.

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

**STREAM OF TEMPERATURE CRYSTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ QUALITY EFFECT ON
PREPARATION OUTCOME THROUGH BRIDGMAN TECHNIQUE FOR SOLAR CELL**

By:

Anggraeni Kumala Dewi

13306144011

ABSTRACT

This study aims determine stream of temperature crystal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ quality effect, its morphology surface and chemical composition of crystal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$.

The growth of crystal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ is obtained by preparation outcome through Bridgman Technique. The basic principle of Bridgman Technique is the growth of single crystals with melting the materials that have been purified in a pyrex tube or capsule-shaped quartz that later is vacuumed. In the fourth crystalline samples $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ are variated by stream of temperature. Stream of temperature on the sample I is heated at 350 ° C which is constanted for 3 hours then 600 ° C is constanted for 3 hours. Stream of temperature on the sample II is heated at 350 ° C which is constanted for 2 hours then 600 ° C is constanted for 4.5 hours. Stream of temperature on the sample III is heated 350 ° C which is constanted for 6 hours then 600 ° C is constanted for 1 hour. Stream of temperature on the sample IV is heated at 350 ° C which is constanted for 5 hours then 600 ° C is constanted for 6 hours. Hence, characterized by using XRD (X-Ray Diffraction) to determine the crystal structure, SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine the surface morphology, and EDAX (Energy Dispersive Analysis of X-ray) to determine the chemical composition.

The samples are characterized results indicate that crystal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ has orthorhombic structure with the results of the samples I and III have the highest intensity. SEM characterization result indicate that the formation of crystalline $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ is characterized by the presence of grains. Based on the results of EDAX, it is known that the crystal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ contains elements of Sn, Se, and Te with a percentage of the chemical composition of the sample I is Sn = 39.85%, Se = 36.09%, and Te = 2,57 %. Comparison the molarity of the sample I is Sn: Se: Te is 1: 0.90: 0.10.

Keywords: *Stream of Temperature, Semiconductor, Crystal Sn $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$, Bridgman Technique*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah *Subhanallahu wa Ta'aala*, yang senantiasa melimpahkan hidayah, karunia, dan rahmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi (TAS) dengan judul **“PENGARUH ALUR SUHU TERHADAP KUALITAS KRISTAL $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK BRIDGMAN UNTUK APLIKASI SEL SURYA”**.

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan buku skripsi ini tidak terlepas dari pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, dan mendorong penulis. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNY beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si, selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika UNY yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si, selaku Kaprodi Fisika UNY yang telah memberikan arahan dan bimbingannya.
4. Bapak Dr. Ariswan, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan ilmu pengetahuan dalam penulisan buku skripsi ini.
5. Ibu Laila Katriani, M. Si selaku pembimbing akademik dan Bapak Pujiyanto, M. Pd yang selalu mendukung dan membantu selama menjalani kegiatan akademik maupun non-akademik.

6. Para dosen Jurusan Pendidikan Fisika UNY dan para dosen FMIPA maupun di fakultas lain yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
7. Mbak Ari admin jurusan Pendidikan Fisika UNY yang telah membantu proses administrasi kelancaran selama perkuliahan hingga kelulusan.
8. Bapak Hartono, selaku asisten Laboratorium Material yang dengan ikhlas dan sabar mendampingi serta membantu penulis selama mengambil data.
9. Mbak Atikah dan Bapak Suhari di LPPT UGM yang telah membantu dalam mengkarakteristik bahan yang sebelumnya sempat terjadi beberapa kesalahan.
10. Kedua orang tua dan adik yang selalu mendoakan, mendampingi, dan mendukung penulis.
11. Semua pihak yang turut membantu penulis, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dalam skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan buku skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan masih terdapat kekurangan, untuk itu penulis tidak menutup adanya kritik dan saran. Harapan penulis, semoga buku skripsi ini dapat bermanfaat bagi dunia pendidikan, penelitian, pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya bidang material energi terbarukan.

Yogyakarta, 11 Maret 2017

Penulis,



Anggraeni Kumala Dewi

13306144011

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah	8
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9

BAB II. KAJIAN PUSTAKA

A. Kristal	10
1. Struktur Kristal	11
2. Sistem Kristal Orthorombik	13
3. Indeks Miller	13
4. Hukum Bragg	14

5. Parameter Kisi	15
6. Fakor Struktur	17
B. Semikonduktor	17
1. Semikonduktor Intrinsik	20
2. Semikonduktor Entrinsik.....	20
3. Semikonduktor Tipe-N.....	21
4. Semikonduktor Tipe-P.....	22
C. Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	23
1. SnSe (<i>Stannum Selenide</i>)	27
2. SnTe (<i>Stannum Telluride</i>)	28
D. Teknik Bridgman.....	28
E. Karakterisasi Kristal	31
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	31
2. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	37
3. EDAX (<i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i>)	39
F. Sel Surya.....	40
1. Efek Fotovoltaik	40
2. Sn(Se Te) untuk Aplikasi Sel Surya.....	42

BAB III. METODE PENELITIAN

A. Waktu, Tempat, dan Variabel Penelitian.....	43
1. Waktu Penelitian	43
2. Tempat Penelitian.....	43
3. Variabel Penelitian	44
a. Variabel Bebas	44
b. Variabel Terikat.....	44
c. Variabel Kontrol.....	44
B. Alat dan Bahan Penelitian	44
1. Alat Penelitian	44
a. Perangkat preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dengan Teknik Bridgman	44

b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor	
$\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	46
c. Peralatan tambahan	50
2. Bahan Penelitian.....	51
C. Teknik Pengambilan Data	53
1. Preparasi Penumbuhan Kristal	53
a. Tahap Preparasi Bahan.....	53
b. Tahap Preparasi Pemanasan Bahan.....	55
2. Karakterisasi Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	60
a. Karakterisasi XRD	60
b. Karakterisasi SEM dan EDAX.....	61
D. Teknik Analisis Data.....	61
E. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	63

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penumbuhan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dengan Menggunakan Teknik Bridgman.....	64
1. Analisis Struktur Kristal dan Parameter Kisi Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Hasil Karakteristik XRD	66
2. Analisis Morfologi Permukaan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Hasil Karakteristik SEM.....	75
3. Analisis Komposisi Kimia Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Hasil Karakteristik EDAX.....	77
B. Pembahasan	79
1. Pengaruh Alur Suhu terhadap Kualitas Struktur Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	79
2. Pengaruh Alur Suhu terhadap Morfologi Permukaan dan Komposisi Kimia Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	84

BAB V. PENUTUP

A. Kesimpulan.....	87
B. Saran.....	88

DAFTAR PUSTAKA.....	90
----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	94
----------------------	-----------

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi bravais	12
Tabel 2. Parameter kisi untuk sistem kristal yang berbeda-beda.....	36
Tabel 3. Spesifikasi Miniflex 600.....	46
Tabel 4. Spesifikasi Jeol JSM-636 OLA	48
Tabel 5. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel I.....	70
Tabel 6. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel II	71
Tabel 7. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel III	72
Tabel 8. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel IV	73
Tabel 9. Perbandingan harga parameter kisi data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil metode analitik.....	74

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Empat belas kisi bravis	12
Gambar 2. Sistem kristal orthorombik.....	13
Gambar 3. Pemantulan berkas sinar-x pada dua bidang kisi dalam kristal	15
Gambar 4. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator	19
Gambar 5. Elektron pada atom tipe-N yang bervalensi lima dan tidak memberikan ikatan.....	21
Gambar 6. <i>Hole</i> yang muncul dalam orbit dari semikonduktor tidak murni (ekstrenik) bervalensi tiga	23
Gambar 7. Diagram Fasa	30
Gambar 8. Spektrum sinar Bremsstrahlung	32
Gambar 9. Skema difraktometer sinar-X.....	33
Gambar 10. Skema alat SEM.....	37
Gambar 11. Efek Fotovoltaik	41
Gambar 12. Lama waktu pemanasan sampel I	57
Gambar 13. Lama waktu pemanasan sampel II.....	58
Gambar 14. Lama waktu pemanasan sampel III	59
Gambar 15. Lama waktu pemanasan sampel IV	60
Gambar 16. Diagram alir tahap pelaksanaan penelitian	63
Gambar 17. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel I	67
Gambar 18. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel II.....	68
Gambar 19. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel III.....	68
Gambar 20. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel IV	69
Gambar 21. Difraktogram perbandingan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel I, II, III, dan IV	69

Gambar 22. Foto morfologi permukaan pada sampel I kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan (a) perbesaran 1000 x, (b) perbesaran 10000x, (c) perbesaran 20000x, dan (d) perbesaran 40000x	76
Gambar 23. Foto morfologi permukaan pada sampel III kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan (a) perbesaran 1000 x, (b) perbesaran 10000x, (c) perbesaran 20000x, dan (d) perbesaran 40000x	77
Gambar 24. Grafik hubungan energi hasil karakteristik menggunakan EDAX dengan intensitas pada sampel I kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$	78

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Metode Analitik Perhitungan Parameter Kisi Kristal Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}).....	95
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Kristal Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) dengan XRD	108
Lampiran 3. Tabel JCPDS.....	114
Lampiran 4. Hasil Karakteristik Kristal Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) dengan SEM-EDAX	115
Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian	117

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia masih menghadapi permasalahan dalam pembangunan di bidang energi hingga saat ini. Ketergantungan terhadap energi fosil terutama pada minyak bumi dalam memenuhi konsumsi dalam negeri dapat dikatakan masih tinggi. Hal ini ditunjukkan dalam bentuk presentase, yaitu sebesar 96% dengan proporsi minyak bumi sebesar 48%, gas bumi sebesar 18%, dan batu bara sebesar 30% dari total konsumsi dan upaya dalam memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan pun masih belum dapat berjalan dengan maksimal. Selain itu, Indonesia juga menghadapi penurunan cadangan energi fosil dan belum diimbangi dengan penemuan cadangan baru (Dewan Energi Nasional, 2014).

Berdasarkan survey dari BP (*British Potroleum*) *Statistical Review* 2015 mengenai pasar energi Indonesia pada tahun 2014 menunjukkan bahwa konsumsi energi di Indonesia terus meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan melambatnya produksi khususnya produksi minyak bumi. Konsumsi energi Indonesia terus bertambah sebesar 3,1% pada tahun 2014, ini menunjukkan peningkatan hingga dua kali lipat selama 16 tahun terakhir. Permintaan terhadap konsumsi minyak bumi sebagai bahan bakar utama mencapai 42,3% dari total permintaan energi Indonesia. Pada batu bara sebesar 34,8%, gas bumi sebesar 19,8%, untuk hidro sebesar 1,9%, dan untuk

energi terbarukan masih sangat minim sebesar 1,3%. Dilain sisi, gas buang (emisi) CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan energi mengalami peningkatan hingga 3,6% pada tahun 2014 (*British Potroleum*, 2015).

Hingga saat ini, hampir seluruh pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan bahan bakar energi fosil. Kebutuhan terhadap listrik di Indonesia terus meningkat setiap harinya. Hal ini mengakibatkan bertambahnya emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembakaran bahan bakar energi fosil. Tingkat emisi yang dihasilkan dari penggunaan energi fosil diprediksi akan meningkat hingga tiga kali lipat pada tahun 2030 (*The World Bank*, 2009). Penggunaan energi fosil ternyata tidak hanya memberikan dampak terhadap lingkungan, berupa efek rumah kaca yang dapat meningkatkan pemanasan global. Akan tetapi juga meningkatnya keasaman tanah dan memicu berbagai penyakit (Achmad Imam Agung, 2011).

Munculnya permasalahan energi serta lingkungan maupun kesehatan, memicu para peneliti untuk melakukan riset terhadap energi terbarukan. Pemanfaatan energi terbarukan sebagai bahan bakar pembangkit listrik dengan *green technology* dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu energi terbarukan yang cukup besar dimiliki oleh Indonesia adalah energi surya.

Indonesia yang merupakan negara tropis dan memiliki letak geografis tepat di garis khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari mengenai radiasi surya di Indonesia yang dihimpun dari 18 lokasi, menunjukkan bahwa potensi energi surya di

Indonesia memiliki intensitas rata-rata sebesar 4,8 kWh/m² perhari. Energi surya mempunyai kelebihan selain sebagai salah satu energi terbarukan, juga tidak menyebabkan polusi udara dan tersedia terus-menerus sepanjang masa (Cokorde Gede Indra Partha *et al*, 2015).

Energi surya dapat dimanfaatkan sebagai thermal atau pun dikonversi (diubah) secara langsung menjadi energi listrik (Dewan Energi Nasional, 2014). Rahmat Adiprasetya Al Hasibi, (tahun 2011 berdasarkan Morthy *et al*, 2008) menyatakan bahwa teknologi yang dapat digunakan langsung untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik adalah teknologi *photovoiltaic* (PV) atau biasa disebut juga dengan teknologi surya. Teknologi *Photovoiltaic* (PV) mempunyai emisi CO₂ yang rendah serta stuktur modular yang fleksibel.

Teknologi *Photovoltaic* (PV) yang terdiri dari sel-sel *photovoltaic* atau sel-sel surya adalah sebuah semikonduktor yang terdiri dari sambungan p-n. Apabila terkena cahaya matahari, maka akan menciptakan energi listrik. Perubahan energi surya menjadi energi listrik ini disebut dengan efek *photovoltaic* (Rois A.R. *et al*, 2014).

Panel surya adalah sekumpulan sel-sel surya yang disusun secara horizontal dan dilapisi oleh kaca, sehingga dapat dipasang menghadap matahari. Sebuah panel surya diklasifikasikan berdasarkan daya maksimumnya. Hingga saat ini, silikon adalah bahan yang sering digunakan dalam pembuatan sel surya. Oleh karena itu, sel-sel surya yang terbuat dari kristal silikon dikembangkan dalam bentuk ingot, dalam potongan tipis yang

kemudian disambungkan melalui elektroda untuk membentuk sel (Anonim, 2012). Oleh karena itu, sel surya atau sel PV sangat bergantung pada efek *photovoltaic* dalam penyerapan energi surya dan menyebabkan arus mengalir diantara dua lapisan yang muatannya belawan (Muhammad Suyanto, 2014).

Di sisi lain, para peneliti terus berupaya untuk mendapatkan berbagai material yang dapat menjadi bahan baku pembuatan piranti sel surya. Material temuan baru tersebut, masing-masing juga memiliki keunggulan, sebagai contohnya pada salah satu material memiliki efisiensi konversi surya lebih besar dari material yang sekarang ini telah ditemukan (silikon). Selain itu, temuan material lainnya yang baru juga dapat menyebabkan biaya fabrikasi menjadi lebih terjangkau dalam pendanaan skala riset laboratorium (Ariswan, 2008). Beberapa penelitian dengan menggunakan bahan-bahan lain dalam pembuatan bahan semikonduktor guna pembuatan sel surya hingga saat ini terus dikembangkan. Para peneliti mencoba untuk menggabungkan beberapa unsur dalam pembuatan bahan semikonduktor. Telah dihasilkan berbagai macam bahan paduan semikonduktor seperti, GaAs, Cu(Ga In)Se, CuInSe, CdS, CdSe, maupun Cd(Se S) dan dapat memvariasi molaritas dari masing-masing unsur tersebut (Lilik Susanti, 2013).

Tin Selenide (SnSe) adalah semikonduktor tipe-p dari perpaduan unsur golongan IV (Sn) dan golongan VI (Se), dengan faktor daya yang tinggi serta konduktivitas termal ultralow (sangat rendah) sehingga struktur kristal berbentuk orthorombik dan sangat sesuai untuk bahan material dengan

efisiensi tinggi (Wuhan, 2015). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kumar *et al* (2012) diketahui bahwa SnSe memiliki energy gap sebesar 1,3 eV. Oleh karena itu, hal ini semakin menunjukkan bahwa paduan SnSe cocok digunakan sebagai bahan semikonduktor untuk bahan sel surya.

Menurut Vasudeva Reddy Minnam Reddy (2016), bahwa besar energi gap dari SnSe juga 1,3 eV. Sedangkan besar energi SnTe adalah 0,18 eV. Oleh karena itu, hasil dari perpaduan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ nantinya dapat menurunkan energi gap pada SnSe hingga mendekati energi gap sebesar 1,1 eV yang dapat diaplikasikan untuk sel surya. Oleh karena itu bahan paduan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ patut diteliti untuk mengetahui pengaplikasiannya terhadap teknologi fotovoltaik atau sel surya. Selain itu, belum adanya pula penelitian terhadap bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

Penelitian mengenai pengaruh alur suhu terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan Teknik Bridgman, dilakukan penumbuhan kristal menggunakan Teknik Bridgman yang kemudian akan diberikan perlakuan terhadap kristal tersebut guna mengetahui kualitas kristal yang dihasilkan. Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ memiliki kecenderungan mengarah ke sifat semikonduktor SnSe karena besarnya kandungan Se dibandingkan dengan Te. SnSe merupakan senyawa yang stabil dan sederhana terdiri dari unsur-unsur yang berlimpah di bumi, hal ini ditunjukkan secara intrinsik dengan konduktivitas termal ultralow (sangat rendah). Selain itu, SnSe yang berlapis-lapis dan memiliki struktur kristal anisotropik dengan grup ruang (*space group*) dari data JCPDS adalah Pnma (62). SnSe mengadopsi struktur

kristal orthorombik berlapis pada suhu kamar yang dapat diturunkan dari distorsi tiga dimensi struktur NaCl (Li-Dong Zhao *et al*, 2014).

Teknik Bridgman merupakan salah satu teknik penumbuhan kristal dalam bentuk masif. Cara yang digunakan adalah dengan melelehkan paduan bahan unsur-unsur yang digunakan dalam pembentukan bahan semikonduktor, dengan kemurnian masing-masing bahan sebesar 99,99%. Kemudian meletakkan bahan tersebut ke dalam tabung kuarsa yang selanjutnya divakumkan. Tujuan pemvakuman adalah guna mengeluarkan gas-gas yang berada di dalam tabung kuarsa agar tidak bereaksi ketika proses penumbuhan kristal. Tahap selanjutnya adalah memanaskan dengan *furnace* (Wirjoadi dan Bambang Siswanto, 2010).

Proses dari Teknik Bridgman meskipun dapat dikatakan cukup mahal, akan tetapi dibandingkan dengan teknik lainnya dapat dikatakan lebih sederhana dan biayanya relatif lebih terjangkau untuk skala laboratorium. Teknik Bridgman mempunyai beberapa keunggulan, yaitu: (a) kecepatan pembekuan suatu bahan dapat diatur, (b) temperatur dapat dikontrol secara teliti, (c) kecepatan penerunan temperatur ketika berubah dari keadaan cair dapat dikontrol pula secara teliti, (d) kenaikan temperatur dapat pula diatur sehingga dapat mengurangi timbulnya bahaya ledakan akibat unsur tertentu pada temperatur kritisnya, (e) tekanan mekanis di dalam bahan dapat pula dikurangi untuk menghindari terjadinya keretakan (Muhammad Anshori, 2016).

Kemudian, dilakukan karakterisasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*). Tujuan menggunakan XRD adalah untuk mengetahui parameter kisi kristal. SEM digunakan untuk mengetahui struktur serta morfologi permukaan kristal, dan EDAX digunakan untuk mengetahui komposisi kimia secara kuantitatif dengan memanfaatkan interaksi tumbukan elektron dengan material tersebut.

Hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat digunakan sebagai referensi serta memberikan informasi mengenai penelitian di bidang teknologi surya terutama pemahaman terhadap preparasi dan karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan teknik Bridgman.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi berbagai masalah sebagai berikut:

1. Kebutuhan akan energi yang semakin besar, maka diperlukannya riset mengenai material yang berkaitan dengan energi terbarukan.
2. Pemanfaatan teknologi fotovoltaik atau teknologi surya yang belum maksimal serta terbatas di Indonesia.
3. Belum adanya penelitian terhadap bahan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan terapannya pada teknologi fotovoltaik.
4. Pengaruh alur suhu pada penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ menggunakan Teknik Bridgman terhadap kualitas kristal yang dihasilkan.

5. Karakterisasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sehingga dapat diketahui kualitas struktur kristal, parameter kisi kristal, komposisi kimia kristal, dan morfologi permukaan kristal.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dibatasi pada penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ menggunakan Teknik Bridgman, serta pengaruh alur suhu terhadap kualitas kristal yang dihasilkan untuk aplikasi sel surya. Dimana dengan melakukan variasi lama waktu pemanasan untuk masing-masing sampel dan temperatur atau suhu pada keempat sampel dibuat sama yaitu mula-mula 350°C kemudian dinaikkan menjadi 600°C . Selain itu juga menjelaskan, mengenai karakteristik kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan tujuan untuk mengetahui kualitas struktur, parameter kisi, komposisi kimia, dan morfologi permukaan pada kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yang terbentuk menggunakan karakterisasi XRD, SEM, dan EDAX.

D. Rumusan Masalah

Dari identifikasi dan batasan masalah di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh alur suhu terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$?
2. Bagaimana pengaruh alur suhu terhadap morfologi permukaan dan komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah

1. Mengetahui pengaruh alur suhu terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.
2. Mengetahui pengaruh alur suhu morfologi permukaan dan komposisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

F. Manfaat Penelitian

Berbagai manfaat dapat diambil dari penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yang nantinya dapat dijadikan sebagai bahan aplikasi sel surya.
2. Memberikan informasi mengenai tahapan preparasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ menggunakan Teknik Bridgman.
3. Sebagai sumber referensi dalam penelitian lebih lanjut mengenai preparasi dan karakterisasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ menggunakan Teknik Bridgman.
4. Menambah wawasan untuk perkembangan pendidikan dan penelitian di Indonesia khususnya pada bidang fisika material.
5. Memberikan salah satu alternatif dalam pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kristal

Kristal tersusun atas atom-atom zat padat yang sangat rapat, teratur dan geometris sehingga susunannya berulang-ulang di semua arah dalam susunan kristal (Ed. K. Lee Lerner dan Brenda Wilmoth Lerner, 2008 : 1204). Menurut Malvino, kristal merupakan atom-atom yang bergabung kemudian membentuk menjadi suatu padatan dan atom-atom tersebut mengatur dirinya sendiri dalam pola tatanan tertentu (Malvino, 1981: 16).

Kristal di bagi menjadi tiga ditinjau dari strukturnya, yaitu *monocrystal*, *polycrystal*, dan *amorf*. Pada *monocrystal* atau yang sering disebut juga dengan kristal tunggal memiliki atom atau penyusunnya berstruktur tetap. Hal tersebut disebabkan karena atom atau molekul penyusun tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi. Selain itu, pola-pola tersebut tersusun secara berulang (periodik) dalam rentang panjang tak berhingga. Sedangkan, *polycrystal* merupakan sekumpulan dari kristal-kristal tunggal yang mempunyai ukuran yang sangat kecil dan saling menumpuk hingga membentuk benda padat. Pada *amorf* yang terbentuk akibat proses pendinginan yang terlalu cepat mempunyai pola susunan atom atau molekul yang tidak teratur dan acak secara berulang. Proses pendinginan yang terlalu cepat menyebabkan atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati kisinya (Smallman dan Bishop, 2002 : 13).

1. Struktur Kristal

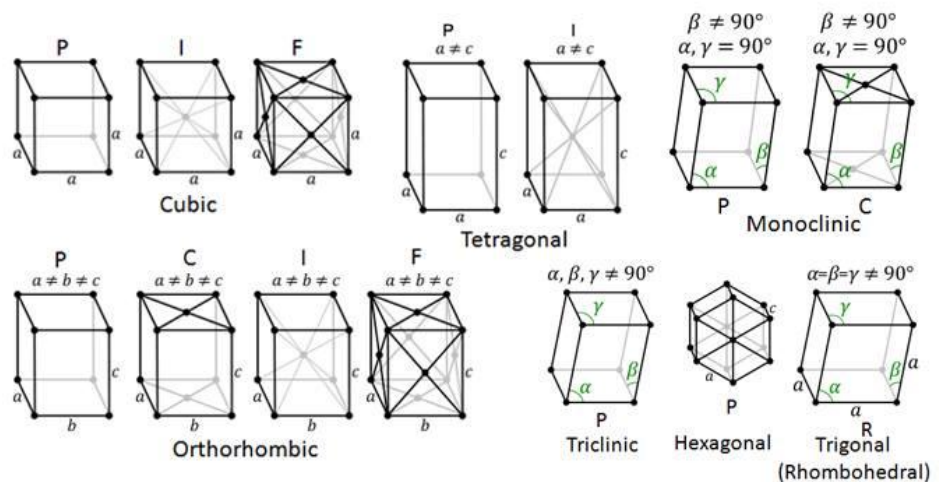
Struktur kristal didefinisikan sebagai suatu susunan khas atom-atom dalam kristal. Struktur kristal terdiri atas sel satuan atau *unit cell*. Sel satuan merupakan suatu gabungan yang berulang dalam suatu kisi kristal tiga dimensi (Melinda Wardani *et al*, 2014 : 19).

Sumbu a , b , dan c merupakan sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi bidang kristal atau kisi bravais. Kisi ruang kristal dikaitkan dengan sudut-sudut antara sumbu referensi kital disebut α , β , dan γ (Bravais, 1948). Oleh karena itu, kisi ruang merupakan suatu susunan titik-titik dalam ruang tiga dimensi, dimana setiap titik mempunyai lingkungan yang serupa. Kisi bravais merupakan titik pada lingkungan serupa tersebut memiliki simpul kisi yang hanya dapat disusun menjadi 14 susunan yang berbeda. Apabila terdapat atom-atom yang tersusun dalam kristal secara teratur, maka susunan tersebut adalah salah satu dari 14 kisi bravais (Kittel, 1979 : 8).

Kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal (hubungan sudut yang satu dengan lainnya) dengan 14 kisi bravais (perbandingan antara sumbu kristal) (Bravais, 1948). Adapun tabel 7 sistem kristal dan 14 kisi Bravais sebagai berikut :

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi bravais (Kittel, 1979: 9).

Sistem Kristal	Jumlah Kisi	Parameter Kisi	Kisi Bravais
Triklinik	1	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Sederhana
Monoklinik	2	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Sederhana Pusat Dasar
Orthorombik	4	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana Pusat Dasar Pusat Badan Pusat Muka
Tetragonal	2	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana Pusat Badan
Kubik	3	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Sederhana Pusat Badan Pusat Muka
Rhombohedral (Trigonal)	1	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Sederhana
Rombus (Heksagonal)	1	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Sederhana



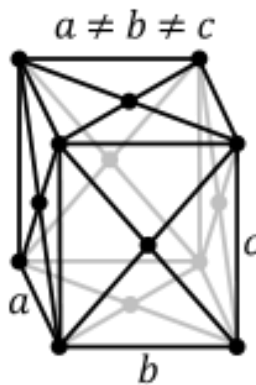
Gambar 1. Empat belas kisi bravais (Syahrul, 2016).

Pada Gambar 1, tanda huruf P (*primitive*) menunjukkan sel primitif, sedangkan untuk sel dengan simpul kisi yang terletak pada pusat dua bidang

sisi yang paralel bertanda C (*center*). Sel dengan simpul kisi di pusat setiap bidang kisi diberi tanda F (*face*). Sel dengan simpul kisi di pusat bagian dalam sel unit ditandai dengan I (*inti*) dan tanda R menunjukkan sel primitif *rhombohedral* (Lilik Susanti, 2013 : 10).

2. Sistem Kristal Orthorombik

Sistem orthorombik adalah suatu sistem yang mempunyai tiga sumbu simetri dengan kristal yang saling tegak lurus satu dengan lainnya. Ketiga sumbu tersebut mempunyai panjang yang berbeda. Sistem orthorombik memiliki panjang sumbu yang berbeda dengan ratio $a \neq b \neq c$. Akan tetapi memiliki sudut kristalografi yang sama, yaitu $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$, sehingga pada sistem orthorombik semua sudut kristal (α , β , dan γ) tegak lurus satu sama lain (90°). Selain itu, sistem orthorombik dikenal juga sebagai sistem rhombik (Sherly Kasuma Warda Ningsih, 2016: 37-38).



Gambar 2. Sistem kristal orthorombik (Wikipedia).

3. Indeks Miller

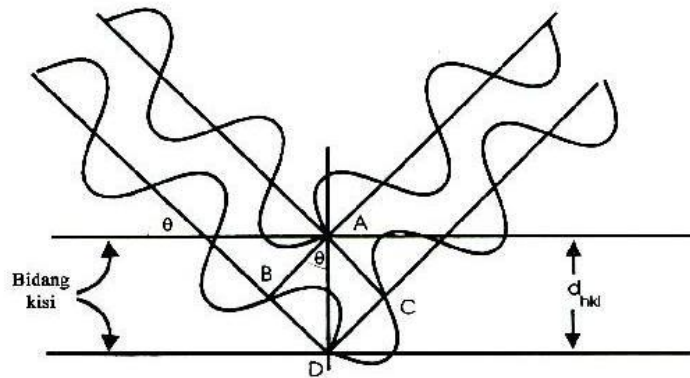
Indeks Miller merupakan suatu bidang parameter sebagai a/h , b/k , dan c/l kemudian direduksi menjadi bilangan untuh yang paling sederhana. Perpotongan bidang-bidang dengan sumbu kristalografi secara umum sama.

Perpotongan itu biasa disebut sebagai a , b , dan c berturut-turut sepanjang sumbu x , y , dan z (Sherly Kasuma Warda Ningsih, 2016: 51). Bidang-bidang tersebut biasanya diberi tanda atau simbol (hkl). Indeks miller (hkl) digunakan untuk menggambarkan semua bidang di dalam kristal (Kittel, 1979 : 12). Selain itu, hubungan ketiga Indeks Miller (hkl) tersebut akan membentuk bidang yang dikenal sebagai bidang Bragg (Sitti Ahmiatri Saptaro, 2013 : 27).

4. Hukum Bragg

Kristal mempunyai susunan atom yang tersusun secara teratur dan berulang. Selain itu, kristal juga mempunyai jarak antar atom yang ordenya sama dengan panjang gelombang sinar-X. Jika suatu berkas sinar-X ditembakkan pada kristal, maka sinar tersebut akan menghasilkan pola difraksi yang khas (Rolan Rusli, 2007 : 11).

Berdasarkan pendekatan Bragg, kristal dipandang terdiri atas bidang datar kisi-kisi kristal yang berfungsi sebagai cermin semi transparan. Apabila sinar-X ditembakkan pada tumpukan pada kisi kristal tersebut dengan sudut pantul yang sama dengan sudut datangnya, maka sebagian sinar sisanya kemudian diteruskan menembus bidang (Rolan Rusli, 2007 : 11).



Gambar 3. Pemantulan berkas sinar-X pada dua bidang kisi dalam kristal (Rolan Rusli, 2007 : 12).

Kemudian, dengan menghubungkan panjang gelombang sinar-X (λ), dan jarak antar bidang kisi dalam kristal (d_{hkl}), serta sudut difraksi yaitu sudut datang sinar (θ), juga orde difraksi (n) dengan $n = 1, 2, 3$, dan seterusnya. Dapat dituliskan persamaan Bragg sebagai berikut :

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta$$

Persamaan Bragg tersebut digunakan untuk menentukan parameter kisi kristal (Rolan Rusli, 2007 : 11).

5. Parameter Kisi

Parameter kisi merupakan panjang tiap-tiap ruang sel yang searah dengan sumbu kristalografi. Biasanya disebut juga dengan tetapan kisi (*lattice constant*) dan dinamakan juga dengan parameter kisi sumbu a , b , dan c . Sudut yang terbentuk oleh garis bc , ac , dan ab disebut sebagai α , β , dan γ (Sitti Ahmiatri Saptaro, 2013 : 22).

Jika suatu kristal mempunyai simetri *orthombic* ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) dengan ukuran parameter kisi ($a \neq b \neq c$), sehingga sudut difraksi dari bidang

kristal (hkl) dapat dihitung dengan persamaan Bragg hubungan jarak antar bidang, sebagai berikut :

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

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

Kemudian mensubstitusikan persamaan Bragg (1), sehingga diperoleh persamaan :

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

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

Berdasarkan persamaan diatas maka dapat menghitung nilai parameter kisi a , b , dan c dengan persamaan :

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2 \quad (5)$$

Maka parameter kisi a , b , dan c dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2}, \text{ sehingga } a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} \quad (6)$$

$$B = \frac{\lambda^2}{4b^2}, \text{ sehingga } b = \frac{\lambda}{2\sqrt{B}} \quad (7)$$

$$C = \frac{\lambda^2}{4c^2}, \text{ sehingga } c = \frac{\lambda}{2\sqrt{C}} \quad (8)$$

(Lilik Susanti, 2013 : 1).

6. Faktor Struktur

Faktor struktur (F) merupakan pengaruh kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan. Oleh karena itu, faktor struktur berpengaruh terhadap intensitas yang muncul pada difraktogram. Faktor struktur juga sangat berperan dalam menentukan karakteristik dari kisi kristal.

$$I \propto |F_{hkl}|^2$$

Intensitas difraksi (I) akan bernilai maksimum ketika faktor struktur (F) juga bernilai maksimum. Selain itu, intensitas difraksi (I) akan bernilai nol ketika faktor struktur juga bernilai nol. Besar faktor struktur (F), yaitu :

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

f_j merupakan faktor difusi atom, sedangkan (x_j, y_j, z_j) merupakan koordinat atom, dan (hkl) merupakan Indeks Miller, serta (N) merupakan banyaknya atom pada sel (Cullity, 1956 : 17-123).

B. Semikonduktor

Menurut K. Muller, 1986 semikonduktor adalah bahan yang konduktivitas listrik berada di antara konduktor dan isolator. Semikonduktor bersifat sebagai isolator ketika temperatur rendah dan akan bersifat sebagai konduktor ketika temperatur ruangan (Aziz Khanifan, Nur Budi. H, Sidik Purnomo, 2008 : 7).

Semikonduktor mempunyai resistivitas antara 10^{-2} sampai dengan $10^9 \Omega m$ (Kittel, 2005 : 187). Selain itu, pita valensi dan pita konduksi pada

semikonduktor tidak saling bertumpangan. Ini memunculkan daerah kosong antara pita valensi dan pita konduksi, sehingga disebut sebagai pita terlarang. Keberadaan pita terlarang memisahkan daerah pita valensi yang penuh dan pita konduksi yang kosong menyebabkan penghantaran arus listrik tidak dapat terjadi. Pita terlarang juga menunjukkan besarnya celah pita energi (E_g) atau *energy gap* yang dimiliki bahan (Milman, 1972 : 16).

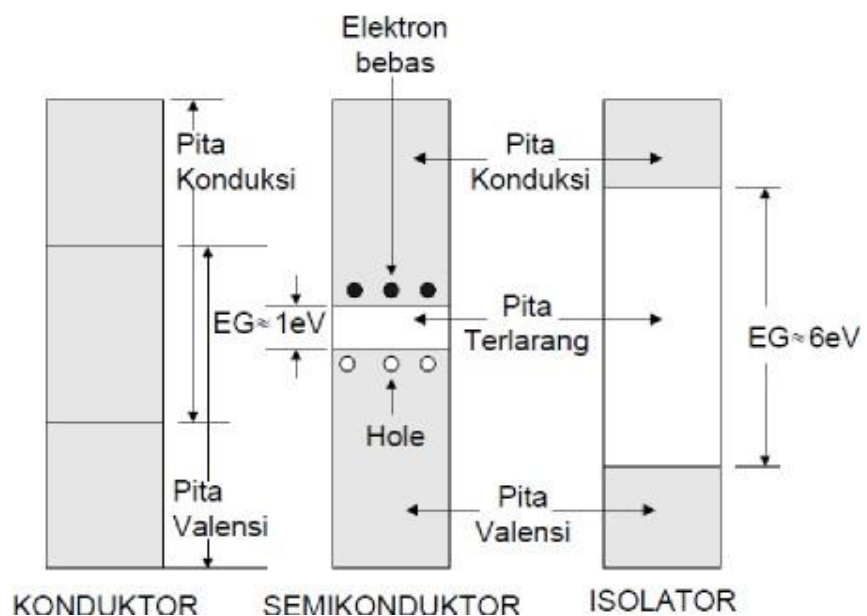
Pada bahan konduktor memiliki celah pita energi yang relatif sangat kecil bahkan pada beberapa logam, pita valensi dan pita konduksi saling tumpang tindih. Hal ini dapat dikatakan bahwa pada bahan konduktor tidak terdapat celah pita energi. Konduktor juga memiliki struktur celah pita energi yang hanya sebagian berisi elektron dan celah pita energi tersebut berada pada pita konduksi. Medan listrik eksternal yang berada disekitar suatu bahan konduktor akan mempengaruhi elektron yang ada di dalamnya. Ini mengakibatkan elektron memperoleh tambahan energi dan dapat memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron tersebut merupakan elektron bebas yang dapat menghantarkan arus listrik (Milman, 1972 : 16).

Celah pita energi bahan isolator dapat dikatakan cukup besar, sehingga elektron dari celah pita energi yang penuh tidak dapat melompat ke celah pita energi yang kosong. Isolator juga mempunyai pita valensi yang penuh berisi elektron dan pita konduksi yang kosong. Nilai celah pita energi pada isolator sekitar 6 eV. Oleh karena itu, energi yang diperoleh dari medan

listrik eksternal sangat kecil untuk memindahkan elektron melalui celah pita energi serta penghantaran listrik tidak dapat berlangsung (Milman, 1972 : 16).

Pada bahan semikonduktor celah pita energinya relatif kecil. Selain itu, struktur pita energi bahan semikonduktor hampir menyerupai bahan isolator. Akan tetapi, semikonduktor memiliki celah pita energi yang lebih kecil dibandingkan dengan isolator.

Adapun struktur celah pita energi pada bahan konduktor, semikonduktor, maupun isolator ditunjukkan oleh gambar dibawah ini :



Gambar 4. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator (Muhammad Hizba Afdhaluddin, 2013).

Semikonduktor dibagi menjadi dua jenis, yaitu semikonduktor intrinsik atau dalam bentuk murni dan semikonduktor ekstrinsik atau dalam

bentuk tidak murni. Pada semikonduktor ekstrinsik terdapat dua tipe, yaitu tipe- P dan tipe-n (Reka Rio, 1980 : 11).

1. Semikonduktor Intrinsik.

Semikonduktor intrinsik dikenal juga sebagai semikonduktor dalam bentuk murni. Selain itu, semikonduktor intrinsik memiliki elektron valensi empat, sehingga terletak pada kolom IV tabel periodik. Pada temperatur ruang, sejumlah elektron memiliki energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Apabila salah satu ikatan kovalen terputus dapat mengakibatkan kekosongan daerah. Daerah yang kosong akan mempunyai kelebihan muatan positif, sedangkan pada daerah yang ditempati elektron bebas akan mempunyai kelebihan muatan negatif. Oleh karena itu, kedua muatan tersebut akan memberikan kontribusi aliran listrik pada semikonduktor intrinsik. Apabila, elektron valensi dari ikatan kovalen lain mengisi lubang tersebut, maka akan muncul lubang baru di tempat lain dan seolah-olah muatan positif bergerak dari lubang yang lama menuju yang baru (Reka Rio, 1982 : 10).

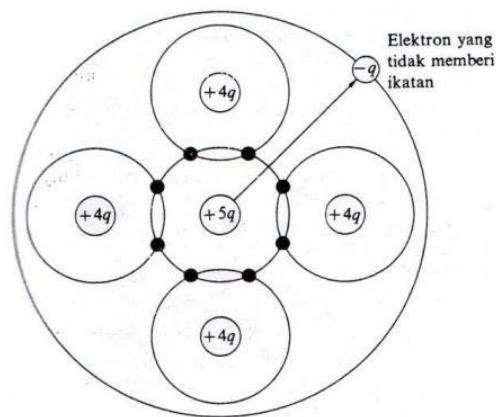
2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik dikenal juga sebagai semikonduktor tidak murni. Semikonduktor ekstrinsik terbentuk karena ketidakmurnian (pengotor) dengan cara memasukkan elektron maupun *hole* yang berlebihan. Kemampuan konduksi arus semikonduktor ekstrinsik relatif

kecil dengan sifat kelistrikan yang dikendalikan oleh *impurity* atau pengotor yang diberikan pada bahan (*dopping*). Pada umumnya tidak terdapat semikonduktor yang benar-benar murni. Namun, terdapat semikonduktor yang mengandung donor ataupun akseptor. Elektron di dalam pita konduksi dapat tercipta melalui eksitasi antar pita maupun ionisasi termal donor. *Hole* dalam pita valensi dapat terbentuk melalui eksitasi antar pita atau eksitasi termal elektron dari pita valensi ke dalam tingkat akseptor. Selain itu, berdasarkan jenis atom pengotor yang ditambahkan (*dopping*), semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi, semikonduktor tipe-n dan tipe-p (Parno, 2002 : 131).

3. Semikonduktor Tipe-n

Semikonduktor tipe-n dikenal juga sebagai semikonduktor tidak murni tipe-n. Semikonduktor tipe-n dibuat dengan cara menambahkan atom pentavalen atau atom bervalensi lima ke dalam semikonduktor murni (intrinsik) yang memiliki elektron valensi empat. Selain itu, semikonduktor tipe-n dapat terbentuk pula dengan cara menambahkan unsur-unsur golongan V (N, P, As, dan Sb) pada golongan IV (Si, Sn, Ge, dan Pb) (Reka Rio, 1982 : 12).



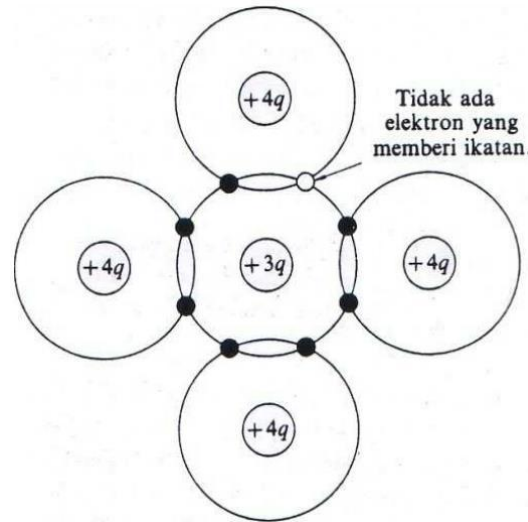
Gambar 5. Elektron pada atom tipe-n yang bervalensi lima dan tidak memberikan ikatan (Reka Rio, 1982 : 12).

Gambar di atas menunjukkan bahwa empat dari lima elektron valensi akan mengisi ikatan kovalen serta menyisakan sebuah elektron yang tidak berpasangan sehingga memudahkan elektron tersebut terlepas. Elektron yang terlepas ini dinamakan sebagai pembawa muatan bebas. Oleh karena itu, material yang dihasilkan dari proses pengotoran tersebut merupakan semikonduktor tipe-n karena menghasilkan pembawa muatan negatif dari kristal yang netral. Selain itu, atom pengotor akan menyumbangkan elektron, sehingga disebut sebagai atom donor (Reka Rio, 1982 : 12).

4. Semikonduktor Tipe-p

Semikonduktor tipe-p dibuat dengan cara menambahkan sejumlah kecil atom pengotor *trivalen* pada semikonduktor tidak murni (ekstrinsik). Atom pengotor tersebut mempunyai tiga elektron valensi, sehingga dapat membentuk tiga ikatan kovalen secara efektif. Pada saat sebuah atom *trivalen* menempati posisi atom dalam kisi kristal, maka akan terbentuk tiga

ikatan kovalen yang lengkap serta akan tersisa sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan. Muatan positif ini disebut sebagai lubang atau *hole* (Reka Rio, 1982 : 13).



Gambar 6. *Hole* yang muncul dalam orbit dari semikonduktor tidak murni (ekstrinsik) bervalensi tiga (Reka Rio, 1982 : 13).

Material yang dihasilkan dari proses pengotoran merupakan pembawa muatan positif pada kristal yang netral. Atom pengotor akan menerima elektron dari pita valensi, sehingga atom pengotor tersebut dikenal sebagai atom akseptor. Oleh karena itu, semikonduktor yang diberi *dopping* dengan atom-atom akseptor disebut sebagai semikonduktor tipe-p. Kependekan dari tipe-p adalah “positif”, karena pembawa muatan positif jauh melebihi muatan negatif (Reka Rio, 1982 : 14).

C. Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ adalah semikonduktor gabungan atau paduan dari semikonduktor SnSe yang *didopping* dengan unsur Te.

Semikonduktor SnSe memiliki konduktivitas tipe-p karena koefisien tinggi penyerapannya cukup tinggi, yaitu sebesar 10^5 cm^{-1} . Pada semikonduktor SnTe memiliki konduktivitas tipe-n karena adanya kenaikan temperatur pada proses *furnace* dan komposisi bahan pada sumber SnTe menyebabkan konsentrasi pembawanya menurun.

Tujuan penggabungan pada semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ adalah untuk menghasilkan energi gap yang sesuai dengan spektrum energi surya. Menurut Vasudeva R. M. R. *et al* (2016), besar energi gap dari SnSe adalah 1,3 eV dan besar energi SnTe adalah 0,18 eV. Hasil dari perbandingan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ nantinya dapat menurunkan energi gap pada SnSe sehingga diperoleh energi gap yang besarnya mendekati 1,1 eV yang dapat diaplikasikan untuk sel surya.

Paduan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se Te})$ memiliki struktur orthorombik untuk perbandingan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Hal ini dikarenakan banyaknya bahan Se lebih mendominasi daripada bahan Te. Selain itu, penyebab $\text{Sn}(\text{Se Te})$ memiliki struktur orthorombik karena terjadi penggantian komposisi beberapa atom Se dengan Te (Nares Padha *et al*, 2015).

Kelompok golongan IV-VI pada tabel periodik merupakan bahan semikonduktor *chalcogenide* yang memiliki energi *band gap* bervariasi, sehingga memungkinkan bahan semikonduktor *chalcogenide* untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum matahari. Kelompok senyawa yang tergolong dalam kelompok IV-VI dalam bentuk senyawa biner adalah SnS, SnSe, SnTe, PbS, PbSe, dan PbTe. Pada senyawa ternier adalah $\text{Sn}(\text{Se}$

S), Sn(S_{0.8}Te_{0.2}), Sn(S_{0.6}Te_{0.4}), Pb(SeS), Pb(SeTe), Pb(STe), Sn(PbS), Sn(PbSe), dan Sn(PbTe).

Berdasarkan penelitian mengenai Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) yang dilakukan oleh Anshori (2016) dan Nuril (2016), bahwa Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) dan Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) merupakan semikonduktor paduan bahan semikonduktor golongan IV-VI. Bahan semikonduktor Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) dan Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) merupakan paduan dari bahan semikonduktor SnS dan SnTe. Kemudian pada bahan semikonduktor Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) yang sudah dipanaskan di dalam *furnace* dan diberi perlakuan dalam bentuk variasi alur pemanasan, sedangkan untuk bahan semikonduktor Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) diberi perlakuan variasi massa. Selanjutnya dilakukan karakterisasi XRD dan SEM-EDAX.

Hasil karakterisasi XRD yang diperoleh, bahwa kristal Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) maupun Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) lebih mengarah pada SnS. Hal ini ditunjukkan dari data sudut difraksi dan puncak intensitas Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) dan Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) yang diperoleh. Data tersebut, baik data pada kristal Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) maupun Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) dibandingkan dengan data standar (JCPDS NO.39-0354) yang sama. Data standar (JCPDS NO.39-0354) mengarah kepada bahan SnS, sehingga dari perbandingan tersebut terlihat adanya pergeseran sudut difraksi.

Pergeseran sudut difraksi dapat mempengaruhi nilai parameter kisi yang diperoleh dengan data standar. Besar nilai parameter kisi kristal SnS pada data standar (JCPDS NO.39-0354) adalah $a = 4,329 \text{ \AA}$, $b = 11,19 \text{ \AA}$, dan $c = 3,983 \text{ \AA}$. Nilai parameter kisi kristal Sn(S_{0.8}Te_{0.2}) pada sampel III yang merupakan sampel terbaik dari sampel lainnya, yaitu $a = 4,3154 \text{ \AA}$, $b =$

11,2509 Å, dan $c = 3,9637$ Å. Nilai parameter kisi tersebut lebih kecil dari harga parameter kisi SnS data standar (JCPDS NO.39-0354).

Pada kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$, nilai parameter kisi untuk sampel I yang merupakan sampel terbaiknya, yaitu $a = 4,426$ Å, $b = 11,151$ Å, dan $c = 3,959$ Å. Ini menunjukkan nilai parameter kisi hasil penelitian lebih besar dari nilai parameter kisi SnS data standar tersebut. Perbedaan nilai parameter kisi ini dapat disebabkan karena adanya bahan Te pada $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$, sehingga dapat mempengaruhi kuantitas harga parameter kisi kedua kristal tersebut.

Hasil karakteristik kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ maupun $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ menggunakan SEM, menunjukkan bahwa kristal yang terbentuk adalah polikristal dengan struktur orthorombik. Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX, diketahui bahwa preparasi yang dilakukan telah berhasil sehingga terbentuknya kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ terdiri dari unsur Sn, S, dan Te. Namun dari data yang diperoleh, terdapat sedikit selisih perbandingan mol Sn, S, dan Te antara hasil penelitian dan teori. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan perbandingan mol untuk kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ Sn : S : Te adalah 1 : 0,71 : 0,17. Hasil perbandingan mol secara teoritis adalah 1 : 0,8 : 0,2. Adanya selisih perbandingan mol tersebut dapat disebabkan karena terjadinya oksidasi sampel pada saat proses pendinginan setelah sampel dipanaskan. Selain itu, belum tercampur unsur Sn, S, dan Te menjadi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Temperatur suhu yang terlalu tinggi juga dapat

menyebabkan unsur S dan Te sedikit hilang pada bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

Pada kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ perbandingan mol Sn : S : Te adalah 1 : 0,57 : 0,42. Apabila dibandingkan dengan hasil mol secara teoritis adalah 1 : 0,6 : 0,4. Berdasarkan perbandingan tersebut, hasilnya nampak mirip antara perbandingan mol hasil penelitian dengan teoritis. Adanya perbedaan selisih perbandingan mol tersebut dapat disebabkan karena kebolehjadian partikel terhambur tidak sama antara material lain yang bergantung pada energi ikat maupun temperatur. Selain itu juga, kurang maksimalnya pencampuran yang terjadi pada saat berlangsungnya proses preparasi dapat memberikan pengaruh.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Anshori (2016) dan Nuril (2016) tersebut dapat menjadi referensi dalam menganalisa penelitian mengenai kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ ini. Ini disebabkan karena bahan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se} \text{Te})$ dan $\text{Sn}(\text{S} \text{Te})$ termasuk dalam golongan semikonduktor paduan yang sama, yaitu golongan semikonduktor paduan bahan semikonduktor golongan IV-VI.

1. **SnSe (*Stannum Selenide*)**

Stannum Selenide adalah bahan paduan dua unsur antara *Stannum* (Sn) dan *Selenium* (Se). *Stannum* adalah suatu logam yang memiliki warna keperakan dan termasuk dalam golongan IV serta memiliki nomor atom 50. Selain itu, massa relatifnya sebesar 118,7 gram/mol dengan titik lebur sebesar $231,93^{\circ}\text{C}$ dan titik didih sebesar 2602°C . *Stannum* juga memiliki

struktur kristal yang *tetragonal* (www.webelement.com.Sn). Pada *Selenium* merupakan suatu logam yang memiliki warna kelabu dalam bentuk pelet dan termasuk dalam golongan VI serta memiliki nomor atom 34. *Selenium* mempunyai massa relatifnya sebesar 78,96 gram/mol dengan titik lebur sebesar 217°C dan titik didih sebesar 684,9°C. *Selenium* juga memiliki struktur kristal yang *hexagonal* (www.webelement.com.Se).

2. SnTe (*Stannum Telluride*)

Stannum Telluride adalah bahan paduan antara dua unsur, yaitu *Stannum* (Sn) dan *Tellurium* (Te). *Tellurium* merupakan suatu logam yang memiliki warna abu-abu berkilau keperakan dan termasuk dalam golongan V serta memiliki nomor atom 52. Selain itu, massa relatifnya sebesar 127,6 gram/mol dengan titik lebur sebesar 449,51°C dan titik didih sebesar 1261°C. *Tellurium* juga memiliki struktur kristal yang *trigonal* (www.webelement.com.Te).

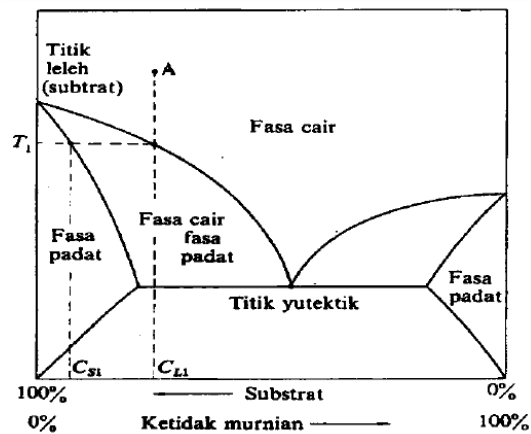
D. Teknik Bridgman

Prinsip dasar dari teknik Bridgman merupakan suatu teknik penumbuhan kristal tunggal dengan melelehkan bahan-bahan yang telah dimurnikan dalam tabung *pyrex* atau kuarsa berbentuk kapsul yang kemudian divakumkan. Pemurnian bahan sangat penting dalam penumbuhan kristal, karena penambahan sedikit ketidakmurnian akan mempengaruhi pembawa muatan dan kemudian akan mempunyai pengaruh yang besar pada karakteristik kristal yang terbentuk. Sebaliknya pula, ketika suatu kristal semakin sempurna maka kerusakan kristal yang terjadi semakin sedikit.

Bahan sampel yang telah ditimbang dan dimasukkan dalam tabung *pyrex* atau kuarsa dilelehkan dalam *furnace* dengan temperatur tinggi. Kemudian, secara perlahan dimasukkan ke dalam daerah suhu rendah sampai bahan mengeras dan terbentuk kristal (Edi Istiyono, 2007 : 3).

Teknik Bridgman dibedakan menjadi dua macam, berdasarkan peletakkan kapsul sampel dalam *furnace*, yaitu teknik Bridgman vertikal dan horizontal. Kristal yang terbentuk baik dari teknik Bridgman vertikal maupun horizontal akan berupa ingot atau masif. Pada temperatur yang sangat tinggi, kristal akan tumbuh dengan cepat. Akan tetapi kristal tersebut juga akan memiliki cacat yang luas. Pada temperatur yang sangat rendah, hal ini kurang sesuai juga karena akan menyebabkan proses penumbuhan menjadi sangat lambat. Oleh karena itu, alur pemanasan dalam teknik ini berdasarkan pada diagram fasa kristal campuran yang diinginkan. Pemilihan temperatur baik yang tinggi maupun rendah didasarkan pada titik leleh bahan dasar sampel. Selain itu, pemilihan alur pemanasan dalam teknik Bridgman didasarkan pula pada titik leleh bahan dasar sampel dan diagram fasa kristal yang diinginkan (Edi Istiyono, 2007 : 3).

Penggunaan diagram fasa dapat mengetahui temperatur kritis suatu bahan. Fasa merupakan suatu bagian sistem yang komposisi sifat-sifat fisiknya seragam yang terpisah dari sistem lainnya diakibatkan adanya bidang batas.



Gambar 7. Diagram Fasa (Reka Rio, 1982 : 152).

Diagram fasa adalah diagram kesetimbangan antara temperatur dengan komposisi di bawah tekanan 1 atm. Gambar 7 menunjukkan sebuah fasa dalam suatu sistem biner menampilkan sebuah titik yutektik. Titik yutektik adalah suatu titik yang menunjukkan komposisi kimia dan suhu yang sesuai dengan titik leleh terendah dari campuran bahan.

Pada gambar 7 juga menunjukkan diagram fasa yang menggambarkan berbagai tingkatan jika ketidakmurnian ditambahkan ke dalam semikonduktor. Ketika temperatur pada titik A diturunkan, maka cairan pada komposisi C_{LI} akan berada pada temperatur T_I dan menyilang garis fasa cair sehingga dari titik itu dimulai proses pemadatan. Selain itu, komposisi fasa padat yang dihasilkan adalah C_{SI} , akan tetapi bahan dengan komposisi C_{LI} tidak terjadi proses pemadatan. Jika jumlah cairan dengan komposisi C_{SI} sangat besar, maka kemurnian dari bahan yang memadat pada temperatur T_I adalah C_{SI} dengan ketidakmurnian yang lebih rendah daripada C_{LI} (Reka Rio, 1982 : 152).

E. Karakterisasi Kristal

Dalam penelitian ini, karakterisasi kristal yang digunakan ada tiga teknik, yaitu: XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*), dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*).

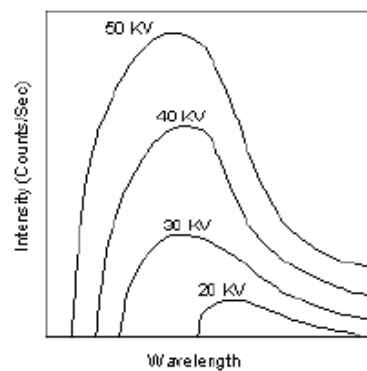
1. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) adalah metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui parameter, kisi, dan struktur kristal yang terbentuk. Selain itu juga, XRD digunakan pula untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal (Smallman, 2000 : 145). Dalam analisis XRD dapat diketahui pola difraksi unsur, sehingga unsur tersebut dapat ditentukan (Lilik Susanti, 2013 : 23).

Radiasi sinar-X dihasilkan ketika elektron penembak bergerak dengan dipercepat. Hal ini mengakibatkan beda tegangan (potensial) anoda yang tinggi, kemudian menumbuk permukaan suatu logam. Apabila gerak elektron semakin cepat, maka akan semakin besar sinar-X yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah elektron, maka akan semakin besar pula intensitas sinar-X (Esmar Budi, 2011 : 35).

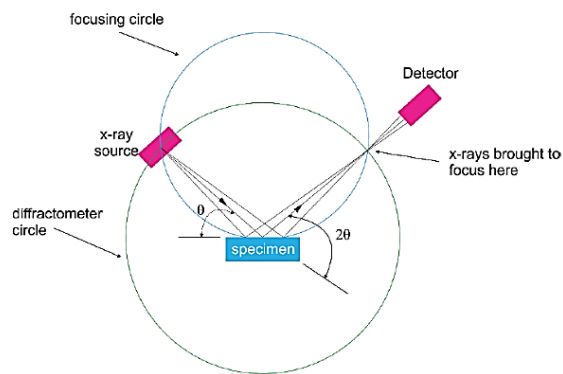
Apabila sebuah elektron bebas bergerak dipercepat dapat melewati suatu atom hingga menumbuk elektron pada kulit terdalam dan keluar. Hal ini disebabkan karena adanya kekosongan pada kulit terdalam. Sehingga untuk mempertahankan keadaan stabil, maka elektron terluar akan mengisi kekosongan pada kulit atom terdalam dengan memancarkan gelombang sinar-X (Esmar Budi, 2011 : 35).

Berdasarkan teori elektromagnetik, sinar-X dapat dihasilkan melalui peristiwa “penggeraman” elektron yang dipercepat dan disebut sebagai peristiwa *Bremsstrahlung*. Pancaran sinar-X yang dialibatkan transisi elektron memberikan suatu spektrum karakteristi sehingga uncak-puncak intensitas spektrum sinar-X terbentuk dengan panjang gelombang tertentu. Sinar-X dari peristiwa *Bremsstrahlung* membentuk spektrum yang kontinyu dan rendah. Sinar-X yang ditembakkan pada logam tembaga (Cu), akan menghasilkan intensitas spektrum sinar-X karakteristik (K_{α}) dengan panjang gelombang sekitar 1,54 Å (Esmar Budi, 2011 : 35).



Gambar 8. Spektrum sinar Bremsstrahlung (Cullity, 1956 : 5).

Sinar-X memiliki daya tembus yang cukup besar dengan panjang gelombang berorde 10^{-10} m dan bersesuaian dengan ukuran kisi kristal. Oleh karena itu, sinar-X bisa digunakan untuk menganalisis struktur kristal bahan padatan melalui peristiwa difraksi.



Gambar 9. Skema difraktometer sinar-X (Suryanarayana dan Norton, 1998 : 64).

Gambar difraktometer sinar-X didasarkan pada analisis Bragg, dimana seberkas sinar-X terarah jatuh pada sampel kristal yang berupa padatan kristalin dan memiliki ukuran yang kecil dengan diameter butiran kristal sekitar 10^{-7} m sampai dengan 10^{-4} m yang ditempatkan pada pelat kaca dalam difraktometer. Sumber sinar-X akan mengeluarkan sinar-X yang difokuskan sehingga pemfokus mengenai sampel. Detektor kemudian bergerak sepanjang lintasan untuk merekam pola difraksi sinar-X. Pola difraksi yang dihasilkan dalam bentuk deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif yang bervariasi sepanjang 2θ tertentu. Besar intensitas relatif puncak yang berasal dari deretan puncak tergantung pada jumlah atom atau ion yang ada dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Sudut θ dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudah hamburannya sebesar θ . Pada saat θ diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde- n yang divisualisasikan dalam bentuk difraktogram (Endah Kurniawati, 2016 : 41-42).

Bentuk keluaran difraktogram dapat berupa data analog maupun digital. Rekaman data analog berupa grafik bergaris yang terekam per menit sinkron dengan detektor dalam sudut 2θ dan sumbu-x menggambarkan sudut 2θ . Pada rekaman digital berisikan informasi mengenai intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya yang dinyatakan dalam cacah per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif dari deretan puncak-puncak yang bergantung pada jumlah atom dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi pada setiap padatan kristalin sangat khas dan bergantung pada kisi kristal, unit parameter, maupun panjang gelombang sinar-X yang digunakan. Oleh karena itu, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda (Edi Prasetyo, 2012 : 6).

Peristiwa difraksi sinar-X pada kristal padatan dapat dinyatakan dengan persamaan dari Hukum Bragg sebagai berikut :

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin\theta$$

dimana d_{hkl} merupakan jarak antar bidang kristal, sedangkan θ merupakan sudut difraksi, dan λ merupakan panjang gelombang, serta $n = 1, 2, 3, \dots$ dst. Selain itu, jarak antar bidang kristal sejajar yang berdekatan adalah fungsi dari Indeks Miller (hkl) dengan terapan kisi (a) ((Esmar Budi, 2011 : 36).

Dari persamaan hukum Bragg, apabila suatu berkas sinar-X dijatuhkan sampel kristal, sehingga bidang kristal akan membiaskan sinar-

X dengan panjang gelombang yang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Kemudian sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka akan semakin kuat pula intensitas pembiasan yang dihasilkan. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang mempunyai orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran nantinya akan dicocokkan dengan JCPDS. JCPDS merupakan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material.

Hasil pengukuran XRD berupa grafik difraktogram. Difraktogram merupakan output dalam bentuk grafik antara 2θ (*diffraction angle*) pada sumbu-x versus intensitas pada sumbu-y. Intensitas sinar-X yang didifraksikan secara terus-menerus direkam sebagai contoh dan detektor berputar melalui sudut masing-masing. Sebuah puncak dalam intensitas terjadi apabila mineral yang berisi kisi-kisi dengan *d-spacings* sama halnya dengan difraksi sinar-X pada nilai sudut θ . Selain itu, masing-masing puncak terdiri atas dua pemantulan yang terpisah ($K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$). Pada nilai yang lebih kecil dari 2θ adalah suatu sudut antara sinar datang dan sinar pantul. Intensitas adalah jumlah banyaknya sinar-X yang didifraksikan oleh kisi-kisi kristal. Kisi tersebut dibentuk oleh atom-atom penyusun kristal. Apabila tidak terdapat atom-atom yang menyusun suatu bidang kisi pada kristal, sehingga sinar-X yang datang tidak dapat didifraksikan (M. Anshori, 2016 : 42-43)

Menurut Cullity (1956 : 459), bahwa penentuan parameter kisi untuk setiap sistem struktur kristal berbeda-beda. Hal ini bergantung jarak antar bidang untuk masing-masing sistem struktur kristal dan ditunjukkan sebagai berikut :

Tabel 2. Parameter kisi untuk sistem kristal yang berbeda-beda (Cullity, 1956 : 459).

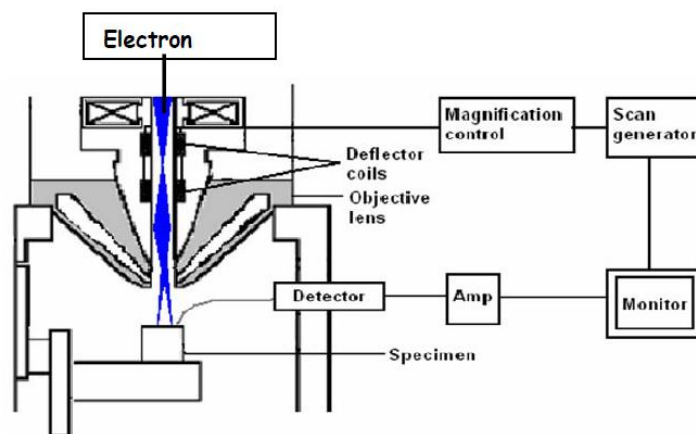
Sistem Kristal	Parameter Kisi
Kubik	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$
Orthorombik	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$
Monoklinik	$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2 \beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos \beta}{ac} \right)$
Rombohedral	$\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2 + k^2 + l^2) (\sin^2 \alpha) + (h^2 + k^2 + l^2) (\cos^2 \alpha)}{a^2 (1 - 3\cos^2 \alpha + 2\cos^3 \alpha)}$
Tetragonal	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$
Heksagonal	$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$
Triklinik	$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{V^2} (S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl)$

Pada sistem kristal triklinik, diketahui bahwa V merupakan volume satuan :

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= b^2 c^2 \sin^2 \alpha & S_{12} &= abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma) \\
 S_{22} &= a^2 c^2 \sin^2 \beta & S_{23} &= a^2 bc (\cos \beta \cos \gamma - \cos \alpha) \\
 S_{33} &= a^2 b^2 \sin^2 \gamma & S_{31} &= ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta)
 \end{aligned}$$

2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Metode *Scanning Electron Microscope* (SEM), menurut Satrono (2006) merupakan mikroskop yang menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan. SEM mempunyai banyak keuntungan apabila dibandingkan dengan mikroskop caya. Selain itu, SEM dapat menghasilkan bayangan dengan resolusi tinggi dan perbesaran yang maksimal, meskipun pada jarak yang sangat dekat tanpa memecahkan gambar. Kelebihan SEM antara lain perbesaran kedalaman jarak fokus, resolusi yang baik, dan persiapan alat yang mudah (Heri Sutanto dan Singgih Wibowo, 2015 : 68-69).



Gambar 10. Skema alat SEM (Heri Sutanto dan Singgih Wibowo, 2015 : 69).

Berkas elektron yang digunakan dalam SEM bersumber dari elektron yang dipercepat dengan medan listrik yang tinggi, maka akan membentuk lintasan ke arah spesimen yang diuji. Kemudian lintasan elektron diatur arahnya dengan *deflector coil* dan difokuskan dengan

objective lens. Lokasi pada spesimen yang dianalisis, kemudian diradiasi dengan berkas elektron yang telah terfokuskan. Berkas elektron dapat diarahkan menggunakan *scan generator* secara statik pada satu lokasi yang akan dianalisis atau pada seluruh permukaan spesimen. Selain itu, berkas elektron yang menumbuk spesimen yang diuji, nantinya akan menghasilkan sinyal-sinyal yang ditangkap oleh detektor. Kemudian sinyal diperkuat menggunakan amplifier dan dihubungkan menggunakan monitor untuk selanjutnya diproses sehingga menghasilkan gambaran mikroskopik dari spesimen (Heri Sutanto dan Singgih Wibowo, 2015 : 69).

Menurut Sartono (2006), terjadinya interaksi antara elektron dengan material sehingga diemisikan sinyal-sinyal elektron sekunder (*secondary electrons*), elektron terpantul (*backstarred electrons*), *Auger electrons*, sinar-X karakteristik (*characteristic x-ray*), dan foton dengan energi yang berbeda-beda diakibatkan karena berkas elektron menumbuk spesimen uji. Sinyal-sinyal tersebut berasal dari volume emisi spesifik dari sampel dan dapat digunakan untuk mengetahui beberapa karakteristik komposisi, morfologi permukaan dan kristalografi dari sampel (Heri Sutanto dan Singgih Wibowo, 2015 : 70).

Elektron sekunder dan elektron terpantul adalah sinyal yang sangat penting dalam SEM. Kedua sinyal tersebut bervariasi diakibatkan karena perbedaan topografi permukaan ketika berkas elektron menyapu permukaan sampel. Emisi elektron sekunder terkumpul pada volume di sekitar permukaan berkas elektron yang menumbuk. Hal ini memberikan bayangan

dengan resolusi yang relatif tinggi (Heri Sutanto dan Singgih Wibowo, 2015 : 70).

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

Metode EDAX merupakan instrumen untuk menentukan komposisi kimia bahan. Dasar metode ini adalah analisis kuantitatif radiasi sinar-X yang diserap ketika material dikenai elektron pada saat dilakukan uji SEM. Ketika berkas elektron berinteraksi dengan elektron pada kulit yang lebih dalam. Oleh karena itu, elektron tersebut akan terlepas dari kulitnya sehingga atom-atom berada pada keadaan tereksitasi dan terdapat ruang kosong pada kulit. Hal ini menyebabkan elektron-elektron pada kulit yang lebih luar akan mengisi kekosongan tersebut sambil memancarkan sinar-X sehingga terjadilah proses deeksitasi. Hubungan antara intensitas relatif sinar-X yang dipancarkan oleh atom-atom, sehingga konsentrasi atom-atom dapat ditentukan (Heri Sutanto dan Singgih Wibowo, 2015 : 84).

EDAX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dan tidak dapat bekerja tanpa SEM. Prinsip kerja EDAX adalah menangkap dan mengolah sinyal *fluoresensi* dari sinar-X jika berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan atau spesimen. Sinar-X akan dideteksi dengan detektor zat padat dan menghasilkan pulsa intensitas yang sebanding dengan panjang gelombang sinar-X. Struktur material diketahui dengan melihat interaksi yang terjadi ketika spesimen dikenai suatu berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh, sebagian dihamburkan dan sebagian lainnya diserap dan kemudian menembus spesimen. Jika spesimen cukup tipis, maka sebagian

besar energi ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi. Sementara itu, sebagian elektron akan dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi yang terjadi antara atom dalam spesimen menghasilkan pelepasan elektron berenergi rendah, foton sinar-X, dan elektron auger dimana semuanya dapat digunakan untuk mengkarakteristik material. Selain itu, jika berkas elektron mengenai sampel spesimen, maka sebagian berkas yang jatuh akan dihamburkan kembali dan sebagian akan menembus sampel. Pada sampel yang tipis, sebagian besar elektron akan diteruskan, sedangkan beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi. Sebagian lainnya akan dihamburkan secara tidak elastis. Hasil dari EDAX berupa spektogram yang kemudian dianalisis sehingga dapat diketahui komposisi kimia dari suatu bahan (Smallman dan Bishop, 2000 : 155-156).

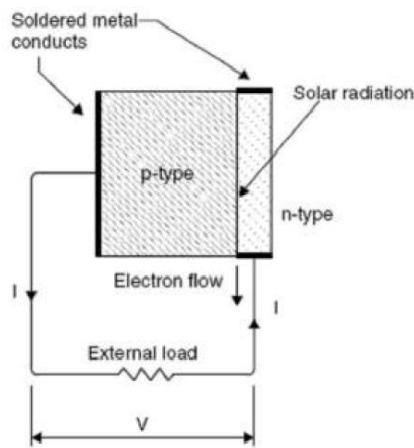
F. Sel Surya

1. Efek Fotovoltaik

Sel surya atau yang disebut juga sebagai fotovoltaiik merupakan suatu piranti yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Terjadinya perubahan energi matahari menjadi energi listrik secara langsung karena efek fotovoltaiik yang memanfaatkan foton (partikel yang mengandung energi) (Muhammad Nadjib dan Teddy Nurcahyadi, 2011 : 2).

Material yang digunakan dalam pembuatan sel surya adalah semikonduktor. Ada dua tipe semikonduktor yang dipakai, yaitu

semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p. Pada semikonduktor tipe-n terdapat kelebihan elektron. Jika kelebihan elektron, maka elektron dapat berpindah dan atom akan bermuatan positif. Sedangkan pada semikonduktor tipe-p memiliki kelebihan *hole* positif diakibatkan karena kekurangan elektron. Jika terdapat elektron yang mengisi *hole*, maka atom akan bermuatan negatif (Muhammad Nadjib dan Teddy Nurcahyadi, 2011 : 2).



Gambar 11. Efek fotovoiltaik (Kalogirou, 2009).

Sel surya juga terdiri dari sambungan semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang disebut sebagai *p-n junction*. Pada taraf tertentu, elektron dan *hole* dapat berpindah melalui sambungan hingga menimbulkan medan listrik di sekitarnya. Oleh karena itu, elektron bebas dibangkitkan pada semikonduktor tipe-n diakibatkan karena pengaruh foton. Jika foton mengenai sel surya dan energinya diserap oleh semikonduktor, maka akan menimbulkan pasangan elektron dan *hole*. Pasangan elektron dan *hole* tersebut cukup dekat dengan *p-n junction*, maka medan listrik menyebabkan

terjadinya pemisahan pasangan elektron dan *hole*. Dimana elektron bergerak menuju ke semikonduktor tipe-n dan *hole* menuju ke semikonduktor tipe-p. Selain itu, jika kedua sisi sel surya dihubungkan melalui beban, maka arus listrik akan mengalir sepanjang foton mengenai sel surya (Muhammad Nadjib dan Teddy Nurcahyadi, 2011 : 2).

2. Sn(Se Te) untuk Aplikasi Sel Surya

Bahan Sn, Se, Te termasuk dalam bahan *chalcogenide*. Bahan semikonduktor *chalcogenide* termasuk dalam golongan IV-VI, dimana bahan tersebut memiliki celah pita energi yang bervariasi sehingga memungkinkan bahan semikonduktor *chalcogenide* untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum matahari. Selain itu, bahan semikonduktor *chalcogenide* Sn(Se Te) memiliki sifat optik dan listrik yang cocok dalam aplikasi sel surya (Nares Padha *et al*, 2015).

Bahan *Tin Selenide* (SnSe) menunjukkan stabilitas kimia yang tinggi serta sifat fisik yang menarik, yaitu besar celah pita energi sekitar 1,3 eV dengan koefisien tinggi penyerapan sebesar 10^5 cm^{-1} dan termasuk dalam konduktivitas tipe-p. Sifat ini menunjukkan bahwa SnSe sebagai bahan semikonduktor yang cocok dalam aplikasi sel surya (Vasudeva R. M. R. *et al*, 2016). Selain itu, bahan SnSe merupakan bahan semikonduktor dengan energi *band gap* biner IV-VI yang sempit. Dengan demikian mampu menyerap sebagian besar energi matahari, sehingga memperkuat bahwa bahan semikonduktor ini tepat digunakan dalam fabrikasi sel surya (N. E. Makori *et al*, 2014).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu, Tempat, dan Variabel Penelitian

1. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini adalah dari bulan September 2016 sampai bulan Februari 2017.

2. Tempat Penelitian

Tempat dilakukannya penelitian ini adalah :

- a. Tahap preparasi penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ hingga berbentuk *massif* dengan menggunakan Teknik Bridgman dilakukan di Laboratorium Fisika Material, FMIPA, UNY.
- b. Tahap karakterisasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ untuk menentukan struktur kristal yang terbentuk dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dengan tipe Miniflex 600 Rigaku dan dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, UNY.
- c. Tahap karakterisasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ untuk menentukan morfologi permukaan kristal dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan menentukan analisis komposisi unsur kimia pada kristal dengan menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-Ray*). Merk perangkat alat SEM-EDAX adalah Jeol JSM-636 OLA dan

karakterisasi ini dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Unit 1 UGM.

3. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Alur suhu

b. Variabel Terikat

- Struktur kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$
- Parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$
- Komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$
- Morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$

c. Variabel Terkontrol

- Molaritas bahan
- Massa bahan Sn, Se, dan Te yang dibuat tetap dan sama untuk keempat sampel

B. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari seperangkat alat preparasi dan karakterisasi kristal bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Adapun perangkat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

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

1) Timbangan digital

Timbangan memiliki ketelitian sampai dengan 0,001 gram

2) Pengelas kaca

Pengelas kaca digunakan untuk mengelas tabung *pyrex* sehingga berbentuk kapsul sebelum dimasukkan ke dalam *furnace*.

3) Pompa vakum

Pompa vakum digunakan untuk menghampakan tabung *pyrex* sehingga tekanan dalam tabung sebesar 4×10^{-5} mbar. Tujuannya untuk menghindari adanya kontaminan terhadap bahan paduan agar tidak terjadi proses oksidasi saat pemanasan. Sistem yang bekerja dalam pompa vakum tersebut terdiri atas pompa difusi dan rotari. Pompa difusi merupakan suatu pompa yang bekerja berdasarkan pengembunan uap dan memiliki tekanan dari keadaan vakum antara 10^{-2} mbar hingga 10^{-8} mbar. Pompa rotari merupakan suatu pompa yang bekerja berdasarkan penampatan udara dalam ruang hampa. Pompa rotari terdiri dari rotari dan rotor yang memiliki tekanan maksimal sebesar 10^{-2} mbar.

4) Alat pemanas (*Furnace*)

Alat pemanas (*Furnace*) digunakan untuk menumbuhkan kristal dengan melelehkan campuran bahan dasar dari semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yaitu Sn, Se, dan Te pada suhu 350°C dan 600°C dalam penelitian ini. Adapun alat pemanas (*Furnace*) yang digunakan bermerk Barnstead Thermolyne seri 47900.

b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

1) XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD (*X-Ray Diffraction*) digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Tipe XRD yang digunakan adalah Miniflex 600 Rigaku. Adapun dalam penelitian ini sudut XRD yang digunakan sebesar 3° sampai dengan 90° . Berikut ini spesifikasi dari Miniflex 600 Rigaku :

Tabel 3. Spesifikasi Miniflex 600.
(<http://www.rigaku.com/en/products/xrd/miniflex/specs>)

MiniFlex600		
Software	Instrument control	Control & Measurement
	Data analysis	PDXL
Generator	Maximum power	600 W
	Tube voltage	40 kV
	Tube current	15 mA
	Shutter	Rotary shutter linked to interlock
	X-ray Tube	Cu, Co, Fe, or Cr

MiniFlex600		
Optics	Divergence slit	Fixed or variable
	Scattering slit	Fixed
	Receiving slit	Fixed
	Filter	K β foil filter
	Monochromator (optional)	Graphite
	Soller slit	5.0° or 2.5°
Goniometer	Type	Vertical
	Radius	150 mm
	Scanning range	-3 to 145° (2 θ)
	Scanning speed	0.01 to 100°/min (2 θ)
	Minimum step width	0.005° (2 θ)
	Accuracy	±0.02°
Detector	Scintillation counter	NaI scintillator
	D/teX Ultra (Optional)	High speed silicon strip detector
Dimensions	Main body	560W-700H-460D (mm)
	Heat exchanger (Optional)	460W-570H-510D (mm)
Weight	Main body	Approx. 80 kg
	Heat exchanger (Optional)	Approx. 50 kg
Power Supply	Main body	100 to 240 VAC 1 ϕ ±10%
		50/60 Hz ±1% 1.0 kVA
	PC	100 to 240 VAC 1 ϕ ±10%
		50/60 Hz ±1% 0.7 kVA
	Heat exchanger (optional)	100 to 240 VAC 1 ϕ ±10%
		50/60Hz ±1% 1.1kVA

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

SEM (*Scanning Electron Microcopy*) digunakan untuk mengetahui struktur morfologi kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Elektron sekunder menggambarkan bentuk morfologi permukaan sampel dengan perbesaran hingga ribuan kali. EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dalam kristal tersebut. Adapun merk perangkat alat SEM-EDAX adalah Jeol JSM-636 OLA. Berikut ini spesifikasi dari Jeol JSM-636 OLA :

Tabel 4. Spesifikasi Jeol JSM-636 OLA.
(<http://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-6510series.html>)

Jeol JSM-636 OLA	
ResolutionHV mode	3.0 nm (30 kV) 、 8 nm (3 kV) 、 15 nm (1 kV)
LV mode ^{*1}	4.0 nm (30 kV)
Magnification	× 5 to × 300,000 (on 128 mm × 96 mm image size)
Preset magnifications	5 step, user selectable
Standard recipe	Built in
Custom recipe	Operation conditions (Optics, Image mode, LV pressure ^{*1}) Specimen stage
Image mode	Secondary electron image, REF image, Composition ^{*1} , Topography ^{*1} , Shadowed ^{*1}

Jeol JSM-636 OLA	
Accelerating voltage	0.5 kV to 30 kV
Filament	Factory pre-centered filament
Electron gun	Fully automated, manual override
Condenser lens	Zoom condenser lens
Objective lens	Super conical objective lens
Objective lens apertures	3 stages, XY fine adjustable
Stigmator memory	Built in
Electrical image shift	$\pm 50 \mu\text{m}$ (WD = 10 mm)
Auto functions	Focus, brightness, contrast, stigmator
Specimen stage	Eucentric large-specimen stage X: 80 mm, Y: 40 mm, Z: 5 mm to 48 mm, Tilt: -10° to 90° , Rotation: 360°
Reference image (Navigator ^{*3})	4 images
Specimen exchange	Draw out the stage
Maximum specimen	150 mm diameter
PC	IBM PC/AT compatible
OS	Windows 7
Monitor	19 inch LCD, 1 or 2 ^{*2}
Frame store	640×480 , $1,280 \times 960$, $2,560 \times 1,920$, $5,120 \times 3,340$
Dual live image	Built in
Full size image display	Built in
Pseudo color	Built in
Multi image display	2 images, 4 images
Digital zoom	Built in
Dual magnification	Built in

Jeol JSM-636 OLA	
Network	Ethernet
Measurement	Built in
Image format	BMP、TIFF、JPEG
Auto image archiving	Built in
Pumping system	Fully automated, DP: 1, RP: 1 or 2 ^{*1}
Switching vacuum mode ^{*1}	Through the menu, less than 1 minute
LV Pressure ^{*1}	10 to 270 Pa
JED-2300 EDS ^{*2}	Built in

c. Peralatan Tambahan

Peralatan tambahan digunakan baik sebelum atau sesudah proses preparasi dan karakterisasi.

1) Sendok kecil laboratorium

Sendok kecil laboratorium digunakan untuk mengambil bahan ketika akan ditimbang sebelum melakukan preparasi. Selain itu, fungsi lain sendok dalam penelitian ini adalah untuk mengambil kristal yang sudah dihaluskan yang kemudian dikarakterisasi.

2) Penjepit

Penjepit digunakan untuk mengambil bahan (kristal) yang sudah *difurnace*.

3) Alat penghalus bahan

Alat penghalus bahan digunakan untuk menghaluskan kristal yang telah *difurnace*.

2. Bahan Penelitian

Bahan dasar semikonduktor yang digunakan untuk penelitian ini adalah

a. *Stannum* (Sn) yang berbentuk serbuk dan memiliki kemurnian 99,99%

Adapun sifat-sifat fisis dan termal dari *Stannum* (Sn) :

- 1) Nomor atom : 50
- 2) Fasa : padatan
- 3) Warna : keperakan
- 4) Massa atom : 118,710 gram/mol
- 5) Titik leleh : 505,08 K (231,93°C)
- 6) Titik didih : 2875 K (2602°C)
- 7) Struktur kristal : *tetragonal*

(<https://www.webelements.com/tin/>)

b. *Selenium* (Se) yang berbentuk serbuk dan memiliki kemurnian 99,99%

Adapun sifat-sifat fisis dan termal dari *Selenium* (Se) :

- 1) Nomor atom : 34
- 2) Fasa : padatan
- 3) Warna : hitam keabu-abuan
- 4) Massa atom : 78,96 gram/mol

- 5) Titik leleh : 494 K (221°C)
- 6) Titik didih : 958 K (685°C)
- 7) Struktur kristal : *hexagonal*

(<https://www.webelements.com/selenium/>)

- c. *Tellurium* (Te) yang berbentuk serbuk dan memiliki kemurnian 99,99%

Adapun sifat-sifat fisis dan termal dari *Tellurium* (Te) :

- 1) Nomor atom : 52
- 2) Fasa : padatan
- 3) Warna : abu-abu berkilau keperakan
- 4) Massa atom : 127,60 gram/mol
- 5) Titik leleh : 722,66 K (449,51°C)
- 6) Titik didih : 1261 K (988°C)
- 7) Struktur kristal : *trigonal*

(<https://www.webelements.com/telluride/>)

- d. Tabung *pyrex* sebagai wadah bahan dengan diameter dalam sebesar 12 mm, diameter luar sebesar 16 mm, dan panjang sekitar ± 15 cm.
- e. Larutan HF 10%, alkohol, air, dan *tissue* digunakan untuk membersihkan tabung *pyrex* yang digunakan sebelum pemvakuman bahan.
- f. Gas Asitelin dan oksigen merupakan bahan untuk mengelas.

C. Teknik Pengambilan Data

1. Prepasi Penumbuhan Kristal

a. Tahap Preparasi Bahan

1) Pembersihan tabung *pyrex*

Tabung *pyrex* dibersihkan dengan cara mencuci tabung menggunakan detergen, kemudian dibilas dengan air. Selanjutnya dibersihkan kembali menggunakan alkohol agar kerak-kerak pengotor terlepas dari dinding tabung. Kemudian tabung *pyrex* dilap menggunakan *tissue* dan dikeringkan menggunakan *furnace* dengan suhu 200°C selama 2 jam. Kebersihan tabung *pyrex* sangatlah penting karena bertujuan untuk menghindari bahan *massif* hasil preparasi terkontaminasi dengan unsur lain.

2) Persiapan dan penimbangan bahan

Menyiapkan bahan dasar dari semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yaitu Sn, Se, dan Te untuk ditimbang menggunakan timbangan digital. Proses penimbangan bahan dilakukan untuk masing-masing unsur dari kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan perbandingan mol 1 : 0,8 : 0,2. Pada penelitian ini dibuat empat buah sampel kristal dengan massa bahan hasil penimbangan untuk setiap sampelnya bersifat tetap dan tidak memvariasikan massa untuk keempat sampel tersebut. Adapun dalam proses penimbangan langkah-langkah yang dilakukan, sebagai berikut :

a) Massa Sn merupakan sebagai acuan untuk menentukan massa Se dan Te dari hasil analisis karena unsur Sn adalah bahan dasar dalam pembuatan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Besar massa Sn yang ditentukan sebesar 1 gram.

b) Menentukan massa Se dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Massa Se} = \left(\left[\frac{\text{mass Sn}}{(\text{BA}) \text{Sn}} \times (\text{BA}) \text{Se} \right] \times \frac{\text{koefisien Se}}{\text{Koefisien Sn}} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Se} = \left(\left[\frac{1}{118,710} \times 78,96 \right] \times \frac{0,8}{0,1} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Se} = 0,5321 \text{ gram}$$

c) Menentukan massa Te dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Massa Te} = \left(\left[\frac{\text{mass Sn}}{(\text{BA}) \text{Sn}} \times (\text{BA}) \text{Te} \right] \times \frac{\text{koefisien Te}}{\text{Koefisien Sn}} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Te} = \left(\left[\frac{1}{118,710} \times 127,60 \right] \times \frac{0,2}{0,1} \right) \text{ gram}$$

$$\text{Massa Te} = 0,2149 \text{ gram}$$

d) Menimbang unsur Sn, Se, dan Te untuk 4 sampel kristal sesuai acuan massa yang diperoleh dari hasil analisis, yaitu Sn = 1 gram, Se = 0,5321 gram, dan Te = 0,2149 gram.

3) Memasukkan bahan dasar yang telah ditimbang ke dalam tabung *pyrex* yang sudah *difurnace*.

4) Proses pemvakuman

Tabung *pyrex* yang telah diisi bahan dasar dari semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yaitu Sn, Se, dan Te kemudian divakumkan hingga tekanan sebesar

4×10^{-5} mbar selama sekitar 2 jam. Proses pemvakuman ini bertujuan agar gas-gas yang berada di dalam tabung dapat dikeluarkan, sehingga ketika proses penumbuhan kristal gas-gas yang semula ada di dalam tabung tidak bereaksi.

5) Pengelasan

Pengelasan merupakan proses terakhir dari pengapsulan tabung *pyrex* yang berisi bahan dasar dari semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yaitu Sn, Se, dan Te setelah divakumkan. Tujuannya adalah untuk mempertahankan tingkat kevakuman kapsul yang berisi bahan-bahan tersebut dalam tekanan yang sesuai.

b. Tahap Pemanasan Bahan

Pada tahap ini, bahan dipanaskan pada suhu 350°C lama waktu pemanasan dibuat konstan selama beberapa saat. Setelah itu suhu dinaikkan menjadi 600°C dengan lama waktu pemanasan dibuat konstan lagi untuk beberapa saat. Lama waktu pemanasan dari keempat sampel kristal inilah yang akan divariasi. Selain itu, suhunya pun nanti akan disesuaikan dengan titik leleh dari masing-masing bahan. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam tahap preparasi pemanasan sampel bahan :

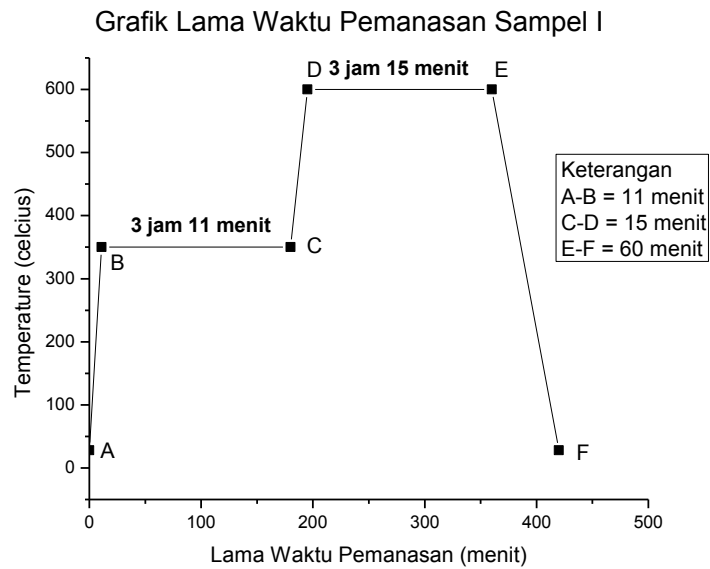
- 1) Memasukkan kapsul yang sudah divakumkan ke dalam *furnace* dengan posisi horizontal.

- 2) Menghidupkan *furnace* dengan mengatur saklar pada posisi ON, kemudian mengatur temperatur dan lama pemanasan sesuai dengan pola pemanasan yang telah dikehendaki.
- 3) Mematikan *furnace* dengan mengatur saklar pada posisi OFF.

Dalam penelitian ini, lama waktu pemanasan bahan dari keempat sampel kristal tersebut akan divariasi. Adapun variasi alur suhu dengan lama waktu pemanasan dari keempat sampel, yaitu :

- 1) Pemanasan Sampel I

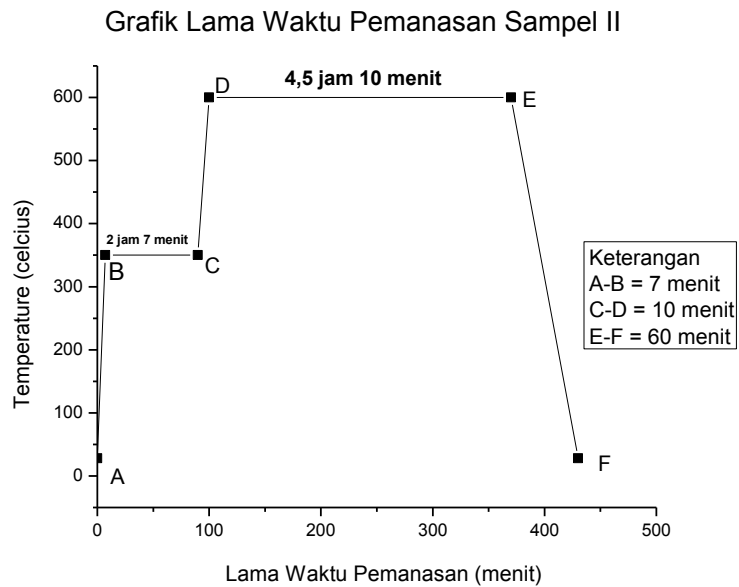
Pada sampel I, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dipanaskan mula-mula dari temperatur kamar kemudian dinaikkan pada suhu 350°C dan dibiarkan konstan selama 3 jam 11 menit. Setelah itu, suhunya dinaikkan 600°C dan dibuat konstan lagi selama 3 jam 15 menit. Kemudian mesin *furnace* dimatikan dan dibiarkan hingga temperaturnya kembali menjadi temperatur kamar.



Gambar 12. Lama waktu pemanasan sampel I

2) Pemanasan Sampel II

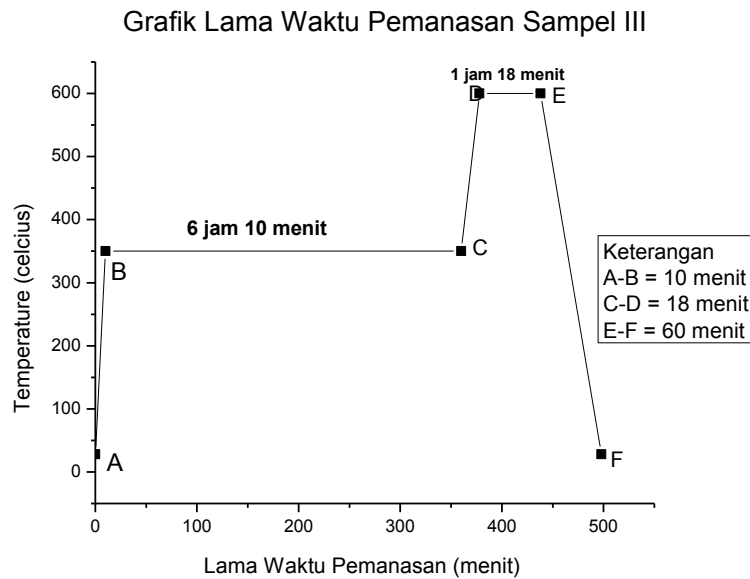
Pada sampel II, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dipanaskan mula-mula dari temperatur kamar, kemudian dinaikkan pada suhu 350°C dan dibiarkan konstan selama 2 jam 7 menit. Setelah itu, suhunya dinaikkan 600°C dan dibuat konstan lagi selama 4,5 jam 10 menit. Kemudian mesin *furnace* dimatikan dan dibiarkan hingga temperaturnya kembali menjadi temperatur kamar.



Gambar 13. Lama waktu pemanasan sampel II

3) Pemanasan Sampel III

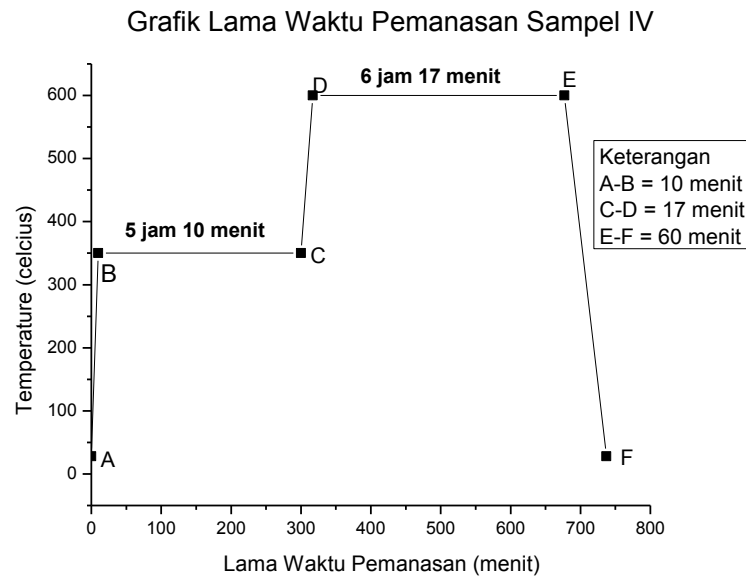
Pada sampel III, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dipanaskan mula-mula dari temperatur kamar kemudian dinaikkan pada suhu 350°C dibiarkan konstan selama 6 jam 10 menit. Setelah itu, suhunya dinaikkan 600°C dan dibuat konstan lagi selama 1 jam 18 menit. Kemudian mesin *furnace* dimatikan dan dibiarkan hingga temperaturnya kembali menjadi temperatur kamar.



Gambar 14. Lama waktu pemanasan sampel III

4) Pemanasan Sampel IV

Pada sampel IV, bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dipanaskan mula-mula dari temperatur kamar kemudian dinaikkan pada suhu 350°C dan dibiarkan konstan selama 5 jam 10 menit. Setelah itu, suhunya dinaikkan hingga 600°C dan dibuat konstan lagi selama 6 jam 17 menit. Kemudian mesin *furnace* dimatikan dan dibiarkan hingga temperaturnya kembali menjadi temperatur kamar.



Gambar 15. Lama waktu pemanasan sampel IV

2. Karakterisasi Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$

a. Karakterisasi XRD

XRD digunakan untuk mengetahui parameter kisi dari kristal. Pada karakterisasi XRD hasil yang diperoleh berupa difraktogram. Adapun langkah-langkah karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan XRD :

- 1) Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi.
- 2) Membersihkan tempat sampel dari debu, kemudian memasukkan sampel ke dalam tempat sampel.
- 3) Memasang sampel pada *specimen chamber* dalam mesin XRD dan mencetak hasil analisisnya.

b. Karakterisasi SEM dan EDAX

SEM dan EDAX digunakan untuk mengetahui bentuk morfologi kristal dan komposisi kimia pada bahan paduan dari semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Pada karakterisasi SEM diperoleh hasil data berupa gambar atau foto bentuk morfologi kristal. Hasil data untuk EDAX dapat berupa grafik spektrum, yang nantinya dari grafik spektrum tersebut diketahui komposisi kimia. Adapun langkah-langkah karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan SEM-EDAX :

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

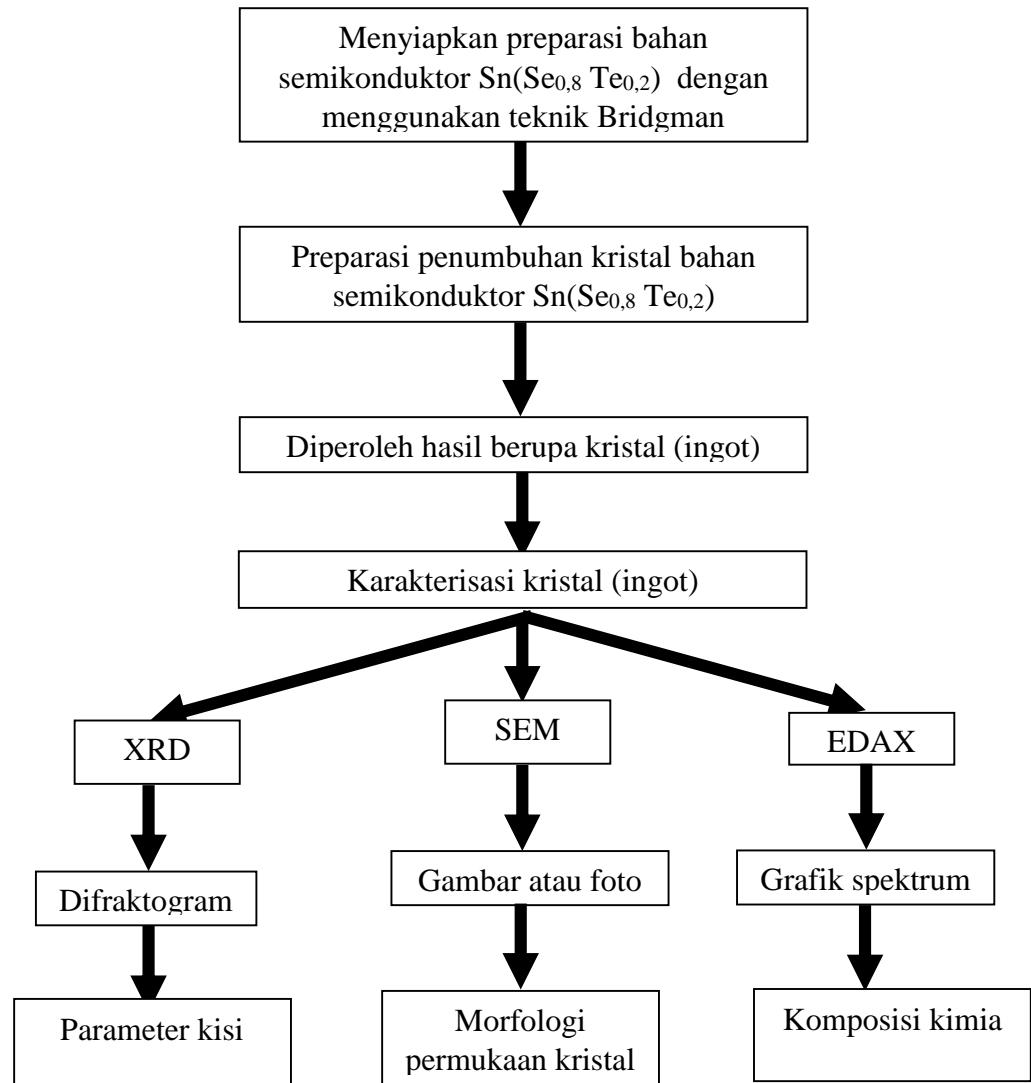
D. Teknik Analisis Data

Data penelitian yang diperoleh dari karakterisasi XRD digunakan untuk menunjukkan intensitas sebagai fungsi sudut difraksi (2θ). Kemudian hasil dari karakterisasi XRD tersebut dibandingkan dengan data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*), sehingga akan diperoleh

bidang-bidang *hkl* pada sampel. Sedangkan untuk harga konstanta kisi (*a*, *b*, *c*) dapat diperoleh menggunakan metode *cohen*. Hasil karakterisasi menggunakan SEM akan diketahui stuktur morfologi kristal pada sampel. Komposisi kimia maupun jenis atom atau unsur yang terkandung pada sampel diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan EDAX.

E. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.

Skema yang digunakan dalam tahapan pelaksanaan penelitian ini dapat diberikan dalam bentuk diagram alir di bawah ini



Gambar 16. Diagram alir tahap pelaksanaan penelitian.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Dalam penelitian ini, akan diketahui bagaimana pengaruh alur suhu terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi menggunakan Teknik Bridgman untuk aplikasi sel surya. Alur suhu merupakan variabel bebas dengan dua variabel yang menjadi fokus, yaitu suhu atau temperatur dan lama waktu pemanasan. Suhu atau temperatur untuk keempat sampel dibuat sama atau tetap, yaitu pada suhu 350°C kemudian dinaikkan menjadi 600°C . Kemudian pada saat memasukkan keempat sampel kristal ke dalam *furnace*, dilakukan variasi lama waktu pemanasan untuk masing-masing sampel. Hal ini dilakukan karena peneliti ingin tahu bagaimana pengaruh alur suhu dari keempat sampel, ketika suhu atau temperatur dibuat tetap sedangkan lama waktu pemanasan divariasi untuk masing-masing sampel terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

Selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM, dan EDAX untuk mengetahui kualitas struktur kristal, parameter kisi kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yang dihasilkan dan merupakan variabel terikat dalam penelitian ini. Variabel

kontrol dalam penelitian ini adalah molaritas keempat sampel dibuat sama yaitu perbandingan Sn : Se : Te adalah 1 : 0,8 : 0,2. Massa bahan untuk keempat sampel dibuat sama dan diperoleh dari persamaan untuk menghitung massa bahan paduan semikonduktor, yaitu Sn sebesar 1 gram, Se sebesar 0,5321 gram, dan Te 0,2149 gram

Pada keempat sampel kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dilakukan variasi alur suhu, sebagai berikut :

- a. Sampel I dilakukan variasi alur suhu pada suhu 350°C lalu dibuat konstan selama 3 jam. Kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibuat konstan lagi selama 3 jam.
- b. Sampel II dilakukan variasi alur suhu pada suhu 350°C lalu dibuat konstan selama 2 jam. Kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibuat konstan lagi selama 4,5 jam.
- c. Sampel III dilakukan variasi alur suhu pada suhu 350°C lalu dibuat konstan selama 6 jam. Kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibuat konstan lagi selama 1 jam.
- d. Sampel IV dilakukan variasi alur suhu pada suhu 350°C lalu dibuat konstan selama 5 jam. Kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibuat konstan lagi selama 6 jam.

Diketahui pula bahwa belum adanya penelitian terhadap kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan terapannya pada teknologi fotovoiltaik atau aplikasi sel surya. Penggabungan pada semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ untuk menghasilkan

energi gap yang sesuai dengan spektrum energi surya. Menurut Vasudeva R. M. R *et al* (2016), besar energi gap dari SnSe adalah 1,3 eV sedangkan besar energi SnTe adalah 0,18 eV. Hasil dari perpanduan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ nantinya dapat menurunkan energi gap pada SnSe sehingga mendekati energi gap sebesar 1,1 eV yang dapat diaplikasikan untuk sel surya.

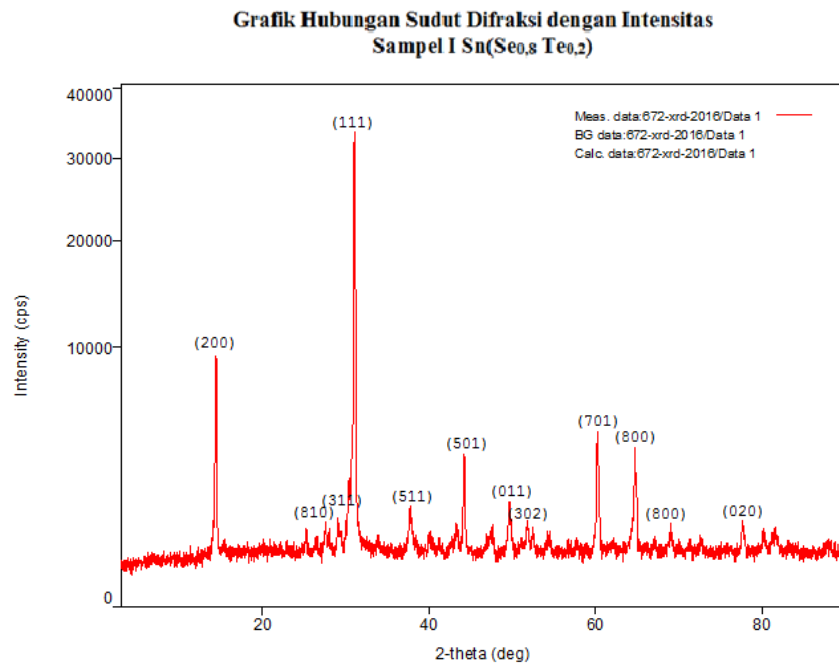
Menurut Nares Padha *et al* (2015), bahan Sn, Se, Te terutama paduan $\text{Sn}(\text{Se}-\text{Te})$ termasuk dalam golongan IV-VI yang merupakan bahan semikonduktor *chalcogenide*. Bahan semikonduktor *chalcogenide* mempunyai celah pita energi yang bervariasi sehingga memungkinkan bahan tersebut untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum matahari. Semikonduktor *chalcogenide* $\text{Sn}(\text{Se}-\text{Te})$ memiliki sifat optik dan listrik yang cocok dalam aplikasi sel surya.

1. Analisis Struktur Kristal dan Parameter Kisi Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

Hasil Karakteristik XRD

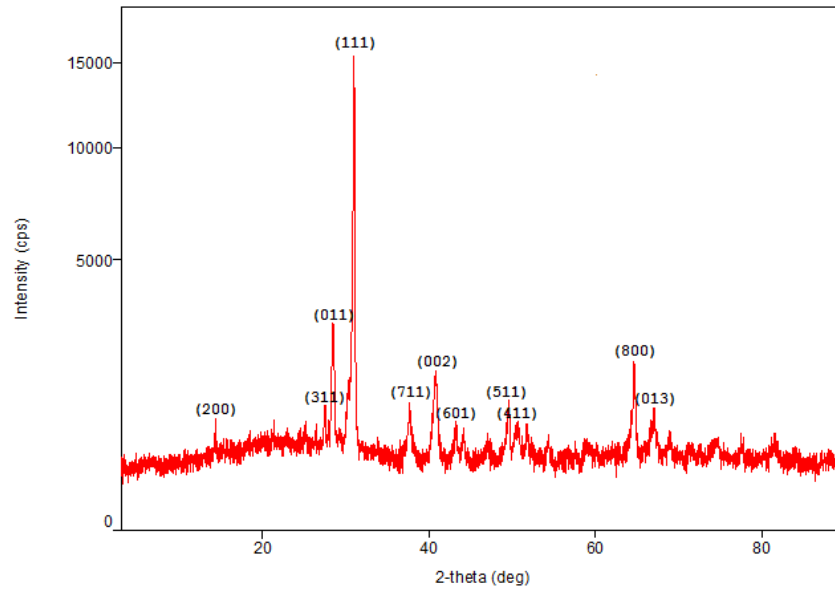
XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal serta parameter kisi yang terbentuk pada *massif* hasil dari pemanasan bahan paduan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Data yang diperoleh dari analisis XRD berupa difraktogram dengan grafik hubungan antara intensitas (I) pada puncak spektrum dan sudut difraksi (2θ). Setelah dilakukan analisis XRD dapat diketahui jarak antar bidang (hkl).

Kemudian membandingkan data hasil karakteristik XRD dengan data standar (JCPDS NO.48-1224), maka diketahui Indeks Miller (*hkl*) pada puncak-puncak difraksi yang terbentuk. Indeks Miller digunakan untuk menentukan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Data hasil karakteristik XRD dari sampel penelitian terlampir pada Lampiran II. Difraktogram hasil karakteristik XRD pada sampel I, II, III, dan IV kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$, berturut-turut ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



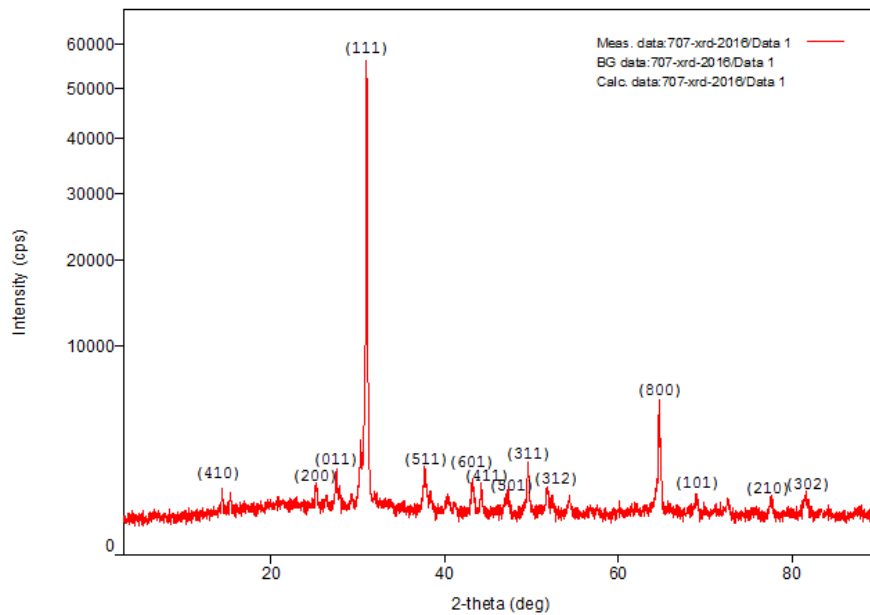
Gambar 17. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel I.

**Grafik Hubungan Sudut Difraksi dengan Intensitas
Sampel II $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$**

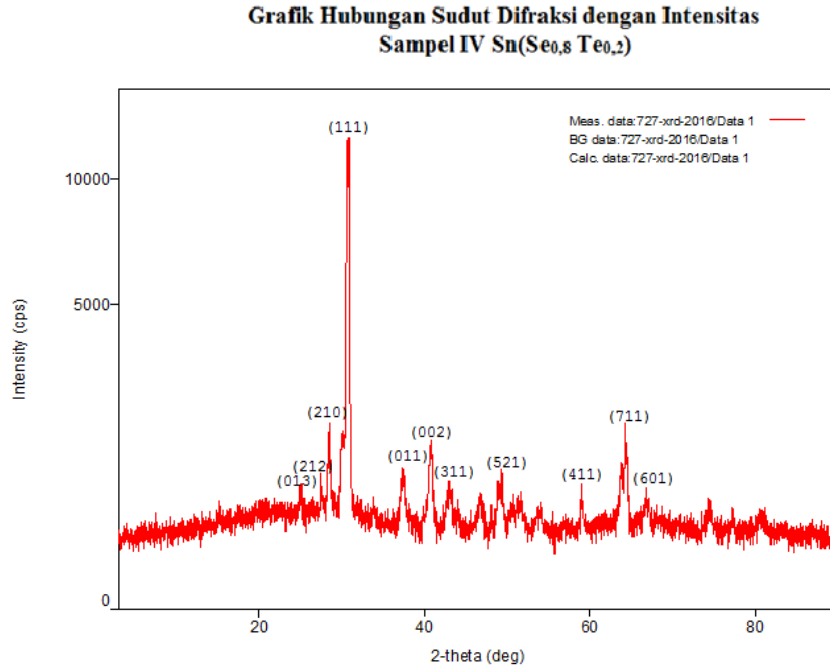


Gambar 20. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ sampel IV. mpel II.

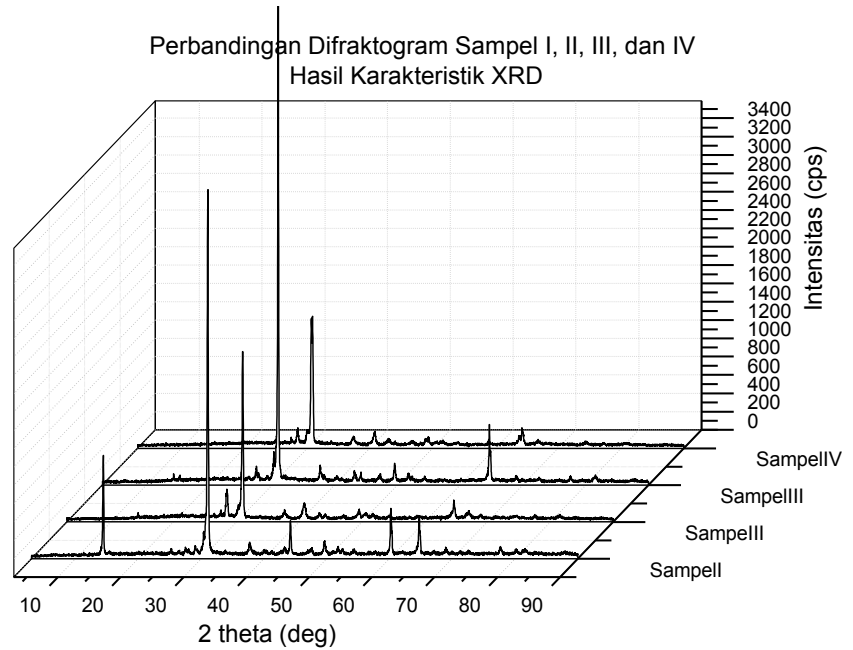
**Grafik Hubungan Derajat Difraksi dengan Intensitas
Sampel III $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$**



Gambar 19. Difraktogram kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ sampel III.



Gambar 20. Difraktogram kristal Sn(Se_{0,8} Te_{0,2}) sampel IV.



Gambar 21. Difraktogram perbandingan kristal Sn(Se_{0,8} Te_{0,2}) sampel I, II, III, dan IV.

Hasil perbandingan data hasil penelitian sampel I, II, III, dan IV dengan data standar (JCPDS NO.48-1224) berurut-turut tersaji dalam tabel di bawah ini :

Tabel 5. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel I.

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel I		JCPDS		<i>h k l</i>
	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	
1	14,426	0	15,400	4	2 0 0
2	30,33	3	29,425	22	0 1 1
3	31,027	100	30,462	100	1 1 1
4	37,70	2	37,784	38	3 1 1
5	43,23	1	43,340	18	0 2 0
6	44,201	10	44,323	5	5 0 1
7	47,57	1	47,255	6	3 0 2
8	49,62	3	49,710	19	5 1 1
9	60,225	14	60,003	1	7 0 1
10	64,351	1	64,466	4	7 1 1
11	64,712	11	64,818	4	8 0 0
12	69,00	2	69,101	2	8 1 0

Tabel 6. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel II.

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel II		JCPDS		<i>h k l</i>
	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	
1	14,34	0	15,400	4	2 0 0
2	28,428	14	29,425	22	0 1 1
3	30,972	100	30,462	100	1 1 1
4	37,60	3	37,784	38	3 1 1
5	40,849	7	40,585	3	0 0 2
6	43,18	2	43,340	18	4 1 1
7	49,603	4	49,710	19	5 1 1
8	51,74	2	51,954	5	6 0 1
9	64,32	3	64,466	4	7 1 1
10	64,627	11	64,818	4	8 0 0
11	67,03	3	67,076	2	0 1 3

Tabel 7. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel III.

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel III		JCPDS		<i>h k l</i>
	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	
1	14,335	0	15,400	4	2 0 0
2	23,0	0	21,472	4	1 0 1
3	25,15	1	25,317	14	2 0 1
4	26,33	0	26,450	8	2 1 0
5	30,34	2	29,425	22	0 1 1
6	30,971	100	30,462	100	1 1 1
7	37,630	2	37,784	38	3 1 1
8	38,352	1	38,033	13	4 1 0
9	43,18	1	43,340	18	4 1 1
10	44,11	1	44,323	5	5 0 1
11	47,19	1	47,255	6	3 0 2
12	49,57	2	49,710	19	5 1 1
13	51,742	1	51,954	5	6 0 1
14	52,41	1	52,434	5	3 1 2
15	64,674	10	64,818	4	8 0 0

Tabel 8. Perbandingan data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil karakteristik menggunakan XRD sampel IV.

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel IV		JCPDS		<i>h k l</i>
	2θ (°)	<i>I</i> (%)	2θ (°)	<i>I</i> (%)	
1	28,47	0	26,450	8	2 1 0
2	29,95	8	29,425	22	0 1 1
3	30,834	100	30,462	100	1 1 1
4	37,33	4	37,784	38	3 1 1
5	40,77	8	40,585	3	0 0 2
6	42,94	3	43,340	18	4 1 1
7	49,08	4	49,103	2	2 1 2
8	51,49	1	51,954	5	6 0 1
9	63,74	6	63,906	2	5 2 1
10	64,267	12	64,466	4	7 1 1
11	66,79	2	67,076	2	0 1 3

Kemudian dari perbandingan data hasil sampel penelitian dan data standar (JCPDS NO.48-1224), dapat diketahui parameter kisi kristal (a , b , dan c) yang terbentuk dengan menggunakan metode analitik (Lampiran I). Hasil parameter kisi disajikan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 9. Perbandingan harga parameter kisi data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil metode analitik.

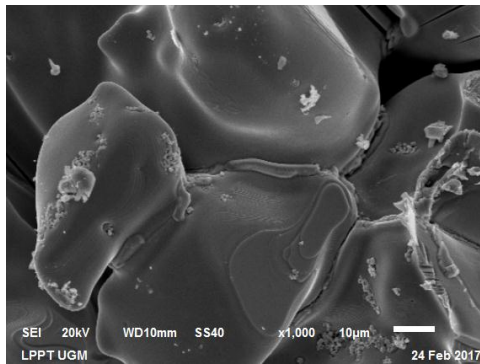
	Perbandingan Parameter Kisi		
	a	b	c
JCPDS SnSe	11,49 Å	4,153 Å	4,440 Å
Sampel I	11,5143695 Å	4,138229215 Å	4,278323101 Å
Sampel II	11,52791604 Å	4,038601257 Å	4,414556059 Å
Sampel III	11,52040021 Å	4,039349262 Å	4,412551613 Å
Sampel IV	11,50736913 Å	4,067734607 Å	4,422745074 Å

2. Analisis Morfologi Permukaan Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan Karakteristik SEM

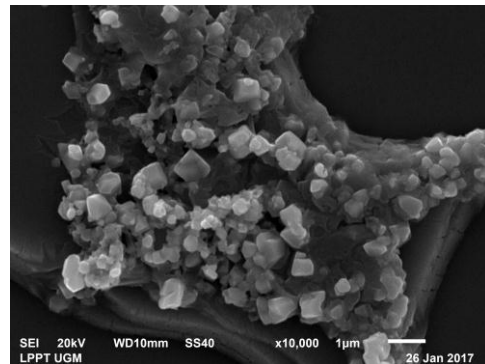
Analisis dengan menggunakan SEM bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$, dimana hasilnya berupa gambar atau foto. Dari gambar atau foto yang terlihat, dapat diketahui bentuk kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$. Sampel yang dikarakterisasi menggunakan SEM adalah sampel I dan III.

Pemilihan sampel I dan III untuk dikarakteristik menggunakan SEM karena pada data hasil karakteristik XRD, menunjukkan sampel I dan III yang telah dibandingkan dengan data standar (JCPDS NO.48-1224) SnSe memiliki kecenderungan yang mirip. Nampak pada sampel I dan III memiliki kemiripan terhadap sudut (2θ) yang muncul dengan data standar (JCPDS NO.48-1224) SnSe . Selain itu, kedua sampel memiliki intensitas yang tinggi dibanding sampel lainnya, yaitu pada sampel I sebesar 35000 cps dan sampel III sebesar hampir mendekati 60000 cps. Dengan demikian, sampel I dan III dianggap mempunyai tingkat keteraturan atom pembentuk kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yang lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya.

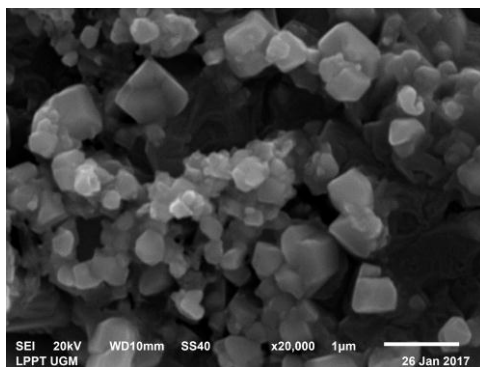
Adapun hasil karakteristik morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ untuk sampel I dan III sebagai berikut :



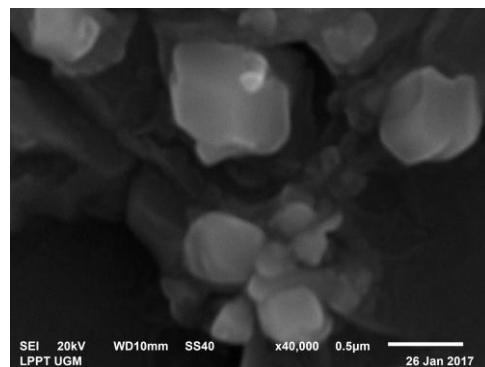
(a)



(b)

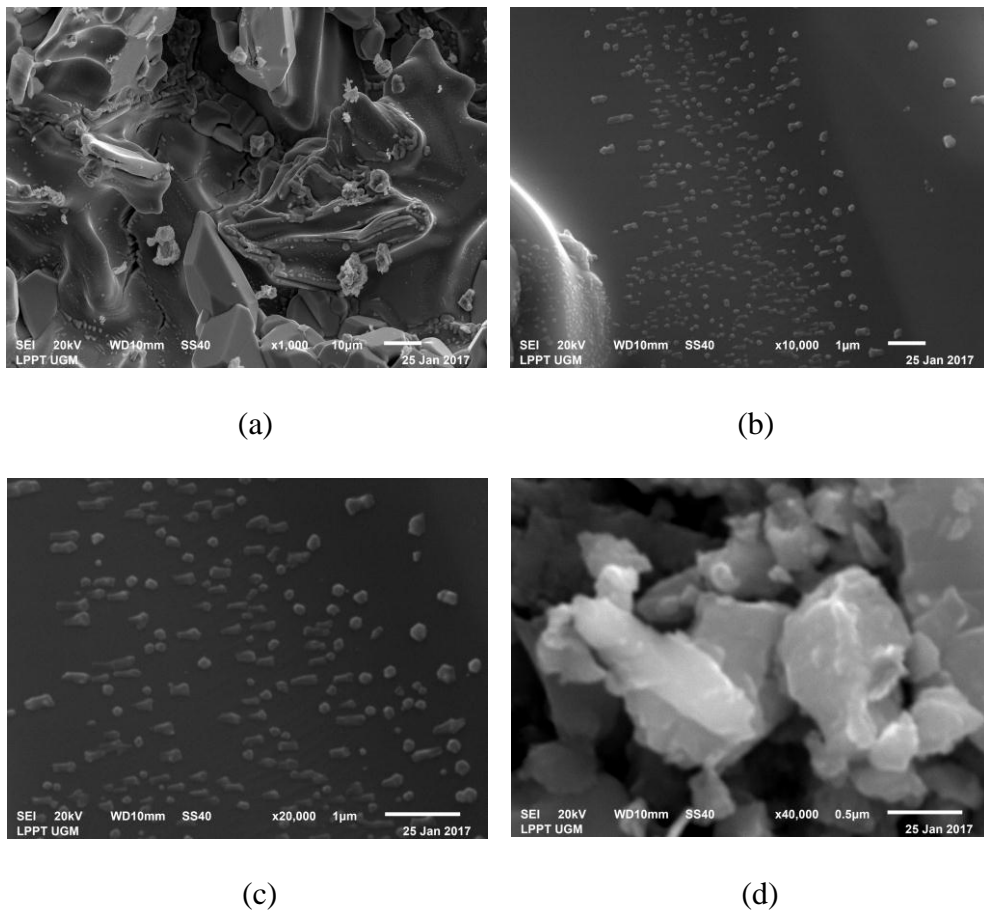


(c)



(d)

Gambar 22. Foto morfologi permukaan pada sampel I kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ dengan (a) perbesaran 1000 x, (b) perbesaran 10000x, (c) perbesaran 20000x, dan (d) perbesaran 40000x.

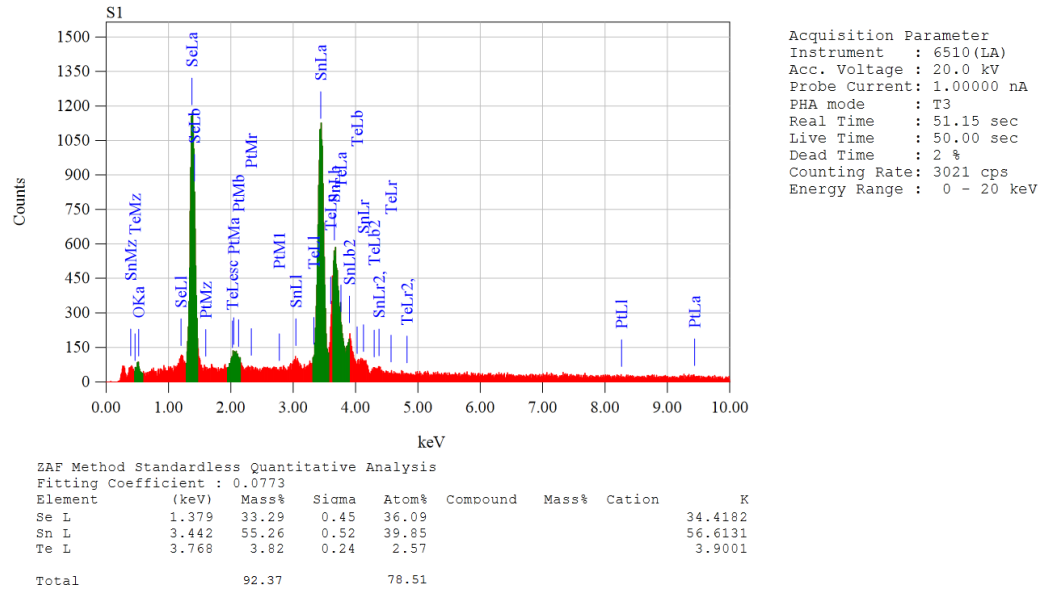


Gambar 23. Foto morfologi permukaan pada sampel III kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ dengan (a) perbesaran 1000 x, (b) perbesaran 10000x, (c) perbesaran 20000x, dan (d) perbesaran 40000x.

3. Analisis Komposisi Kimia Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ dengan EDAX

Analisis dengan menggunakan EDAX bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia dari preparasi bahan paduan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ yang sudah terbentuk. Hasilnya berupa grafik spektrum hubungan antara intensitas dengan energi yang menyatakan hasil karakterisasi bahan sampel spektrum energi sinar-X.

Adapun hasil karakterisasi dengan menggunakan EDAX pada sampel I sebagai berikut :



Gambar 24. Grafik hubungan energi hasil karakteristik menggunakan EDAX dengan intensitas pada sampel I kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$.

B. Pembahasan

1. Pengaruh Alur Suhu terhadap Kualitas Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

Berdasarkan data hasil karakterisasi menggunakan XRD yang telah dianalisis, diketahui bahwa untuk keempat sampel kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ memiliki bentuk struktur kristal yang sama, yaitu polikristal berstruktur orthorombik. Selanjutnya, membandingkan data hasil karakteristik XRD dengan data standar JCPDS. Terlihat bahwa kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ lebih condong ke arah data (JCPDS NO.48-1224) yang lebih mengarah ke SnSe.

Paduan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ termasuk dalam kelompok golongan IV-VI yang merupakan bahan semikonduktor *chalcogenide* yang memiliki celah pita energi bervariasi, sehingga memungkinkan bahan semikonduktor *chalcogenide* untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum matahari. Selain kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$, rupanya terdapat kristal lain yang tergolong dalam semikonduktor *chalcogenide*, yaitu $\text{Sn}(\text{Se S})$, $\text{Sn}(\text{Se Te})$, dan $\text{Sn}(\text{S Te})$.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Anshori (2016) dan Nuril (2016) mengenai kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$, dimana kedua kristal tersebut merupakan semikonduktor paduan golongan IV-VI. Pada bahan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ diberi perlakuan dalam bentuk variasi alur pemanasan, sedangkan untuk bahan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ diberi perlakuan variasi massa.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ maupun kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ lebih mirip dengan SnS . Hal ini ditunjukkan dari data sudut difraksi dan puncak intensitas $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ yang diperoleh. Selain itu juga dari data XRD kedua kristal tersebut yang dibandingkan dengan data standar (JCPDS NO.39-0354), hasilnya menunjukkan bahwa data standar (JCPDS NO.39-0354) mengarah kepada bahan SnS dan terlihat adanya pergeseran sudut difraksi. Pergeseran sudut difraksi dapat mempengaruhi nilai parameter kisi. Adapun besar nilai parameter kisi kristal SnS pada data standar (JCPDS NO.39-0354) adalah $a = 4,329 \text{ \AA}$, $b = 11,19 \text{ \AA}$, dan $c = 3,983 \text{ \AA}$.

Nilai parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ pada sampel III yang merupakan sampel terbaik dari sampel lainnya, yaitu $a = 4,3154 \text{ \AA}$, $b = 11,2509 \text{ \AA}$, dan $c = 3,9637 \text{ \AA}$. Ini menunjukkan bahwa nilai parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ lebih kecil dari harga parameter kisi SnS data standar (JCPDS NO.39-0354). Pada sampel I kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ yang merupakan sampel terbaiknya, nilai parameter kisi yaitu $a = 4,426 \text{ \AA}$, $b = 11,151 \text{ \AA}$, dan $c = 3,959 \text{ \AA}$. Nilai parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$ menunjukkan lebih besar dari nilai parameter kisi SnS data standar tersebut. Perbedaan nilai parameter kisi ini dapat disebabkan karena adanya bahan Te pada $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6} \text{Te}_{0,4})$, sehingga dapat mempengaruhi kuantitas nilai parameter kisi kedua kristal tersebut.

Pada tabel 9 mengenai perbandingan nilai parameter kisi data standar (JCPDS NO.48-1224) dengan data hasil metode analitik kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$, diketahui pula bahwa terdapat perbedaan nilai parameter kisi sampel I, II, III, dan IV dengan nilai parameter kisi data standar (JCPDS NO.48-1224). Perbedaan ini dapat disebabkan karena paduan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ merupakan paduan dari semikonduktor SnSe yang *didopping* dengan unsur Te . Selain itu, berdasarkan analisis dan pembahasan pada penelitian sebelumnya mengenai kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dan kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dapat dijadikan sebagai sumber referensi dalam menganalisa dan membahas struktur serta nilai parameter kisi dari kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ karena ketiga jenis kristal tersebut termasuk dalam golongan IV-VI yang merupakan semikonduktor *chalcogenide*. Dengan demikian, ini semakin memperkuat bahwa bahan Te rupanya memberikan pengaruh terhadap nilai parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Selain itu, adanya penyimpangan atau pergeseran sudut difraksi juga mempengaruhi nilai parameter kisi hasil penelitian.

Dalam penelitian ini, alur suhu erat kaitannya dengan proses pemanasan dalam proses penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Berdasarkan analisis dan pembahasan hasil karakteristik menggunakan XRD sebelumnya, diketahui bahwa bahan Te maupun pergeseran sudut difraksi memberikan pengaruh terhadap nilai parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Menurut Smallman (2000), alur suhu atau pemanasan pada paduan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ di dalam *furnace* diindikasikan dapat menyebabkan getaran panas dari

atom-atom yang berada dalam kristal. Ini menyebabkan terjadinya proses pemulihan selama pemanasan berlangsung. Adanya perbaikan struktur kristal dengan mengurangi kekosongan, cacat kristal, maupun penyusunan kembali dislokasi memungkinkan terjadi pada proses terbentuknya kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Pemulihan struktur kristal yang terjadi bersamaan pula dengan penajaman garis difraksi yang menyebabkan intensitas sinar-X yang terhambur meningkat tajam.

Diketahui pula pada variasi alur suhu dari keempat sampel, pada sampel I suhu 350°C dengan lama waktu pemanasan yang dibuat konstan selama 3 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibuat konstan lagi selama 3 jam, diperoleh hasil intensitas difraktogram sebesar 35000 cps. Sampel II suhu 350°C dengan lama waktu pemanasan yang dibuat konstan selama 2 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibiarkan konstan lagi selama 4,5 jam, diperoleh hasil intensitas difraktogram sebesar lebih dari 10000 cps.

Pada sampel III suhu 350°C dengan lama waktu pemanasan yang dibuat konstan selama 6 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibuat konstan lagi selama 1 jam, diperoleh hasil intensitas difraktogram sebesar hampir mendekati 60000 cps. Sampel IV suhu 350°C dengan lama waktu pemanasan yang dibuat konstan selama 5 jam kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibiarkan konstan selama 6 jam, diperoleh hasil intensitas difraktogram sebesar 15000 cps.

Ini menunjukkan alur suhu memberikan pengaruh pada kualitas kristal, ditunjukkan dengan intensitas pada difraktogram hasil karakteristik XRD yang berarti itu berkaitan pula dengan ukuran butiran atau *grain* hasil karakteristik menggunakan SEM. Berdasarkan keempat sampel tersebut diperoleh alur suhu terbaik adalah alur suhu ke III, yaitu dengan lama waktu pemanasan yang dibiarkan konstan selama 6 jam pada suhu 350°C kemudian suhu dinaikkan menjadi 600°C dan dibiarkan konstan lagi selama 1 jam. Ini berarti alur suhu yang lama waktu pemanasan pada suhu 350°C dibuat konstan lebih lama kemudian pada suhu 600°C lama waktu pemanasan dibuat konstan lebih singkat, lebih baik daripada alur suhu yang lainnya dalam penelitian ini.

Intensitas yang tinggi menunjukkan atom pada kristal dapat menempati posisi dengan baik. Semakin teratur atom maka kualitas kristal semakin baik. Terlihat pada hasil difraktogram keempat sampel yang ditentukan oleh tingkat keteraturan atom-atom pada kristal, menunjukkan bahwa keteraturan atom berperan penting dalam difraksi sinar-X. Berdasarkan keempat sampel tersebut, sampel I dan III memiliki intensitas yang lebih tinggi dibanding sampel lainnya, yaitu 35000 cps pada sampel I dan hampir mendekati 60000 cps pada sampel III.

2. Pengaruh Alur Suhu terhadap Morfologi Permukaan dan Komposisi Kimia Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

Berdasarkan foto sampel I dan III hasil karakteristik SEM, terlihat bahwa morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ memiliki permukaan yang homogen yang terlihat dari bentuk dan warna kristal yang seragam. Terlihat pula bahwa morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ berbentuk polikristal yang berstruktur orthorombik. Selain itu, pada foto hasil karakteristik SEM pada kedua sampel tersebut terlihat butiran-butiran atau *grain*. Pada perbesaran 40000x untuk sampel III terlihat *grain* lebih besar daripada sampel I, ini menunjukkan bahwa keteraturan atom pada sampel III lebih baik daripada sampel I.

Nampak bahwa sampel III memiliki ukuran *grain* yang lebih besar daripada sampel I. Hal ini dapat dikarenakan, pada pemanasan suhu 350°C , bahan Sn dan Se sudah melebur lebih dahulu karena titik lebur Sn ($231,93^{\circ}\text{C}$) dan Se (221°C) di bawah suhu 350°C . Selanjutnya, pada pemanasan suhu 600°C barulah bahan Te melebur karena titik lebur bahan Te sebesar $449,51^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian, diketahui pula bahwa alur suhu juga memberikan pengaruh terhadap ukuran *grain* pada sampel.

Menurut Nares Padha *et al* (2015), paduan semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se Te})$ memiliki struktur orthorombik untuk perbandingan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sebab jumlah bahan Se lebih mendominasi bahan Te. Oleh karena itu, terjadi pergantian komposisi beberapa atom Te yang digantikan oleh Se. Selain itu,

pengaruh alur suhu rupanya juga mempengaruhi ukuran *grain* pada sampel I dan III. Berdasarkan hasil karakteristik XRD yang dicocokkan dan dibandingkan dengan data standar (JCPDS NO.48-1224) juga menunjukkan bahwa paduan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ mengarah ke data JCPDS SnSe. Pada data standar (JCPDS NO.48-1224) terdapat penjelasan bahwa struktur kristal yang terbentuk merupakan orthorombik. Oleh karena itu, dari foto dan sumber referensi tersebut, semakin memperkuat bukti bahwa paduan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ yang terbentuk merupakan polikristal yang memiliki struktur orthorombik.

Pada hasil karakterisasi kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ sampel I menggunakan EDAX, dapat diketahui pula bahwa preparasi bahan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te) dengan perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasar yang berbeda-beda. Perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasar tersebut menyatakan perbandingan molaritas dari unsur-unsur dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$.

Sampel I menunjukkan perbandingan persentase komposisi bahan kimia, yaitu Sn sebesar 39,85 %, Se sebesar 36,09 %, dan Te sebesar 2,57 %. Besar persentase pada sampel I tersebut menunjukkan perbandingan mol Sn : Se : Te yaitu 1 : 0,90 : 0,10. Data hasil karakteristik EDAX menunjukkan pula bahwa pada sampel I komposisi kimia yang terkandung dalam kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ lebih didominasi oleh unsur Sn. Apabila komposisi kimia hasil

penelitian dibandingkan dengan teori, nampak adanya perbedaan atau ketidaksesuaian yang relatif kecil. Ketidaksesuaian perubahan komposisi atom dapat terjadi akibat paduan kristal yang ditumbuhkan mengalami peristiwa *non-stoichiometry*. Peristiwa ini dapat terjadi karena pencampuran bahan yang kurang maksimal yang disebabkan oleh pemilihan alur suhu atau pemanasan maupun pemilihan besar temperatur dan lama waktu pemanasan pada saat tahap pemanasan dalam *furnace* (P. Rudolf, 2003).

Dengan demikian, adanya selisih perbandingan mol hasil penelitian pada sampel I Sn : Se : Te adalah 1 : 0,90 : 0,10 dengan perbandingan mol secara teoritis Sn : Se : Te adalah 1 : 0,8 : 0,2 dapat diindikasikan bahwa paduan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ mengalami peristiwa *non-stoichiometry*. Berdasarkan pernyataan P. Rudolf (2003), menunjukkan alur suhu atau pemanasan, temperatur, maupun lama waktu pemanasan dapat memberikan pengaruh meskipun tidak terlalu signifikan pada pencampuran bahan ketika proses penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dalam penelitian ini sehingga terdapat selisih perbandingan mol antara penelitian dengan teori. Adanya fase lain yang ditunjukkan dengan penyimpangan atau pergeseran sudut hasil karakteristik XRD juga menyebabkan hasil EDAX berbeda jauh dengan teori.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan data hasil preparasi bahan paduan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan Teknik Bridgman dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi alur suhu tidak berpengaruh pada struktur kristal dan parameter kisi. Keempat sampel memiliki struktur yang sama yaitu struktur orthorombik. Parameter kisi pada keempat sampel adalah pada sampel I sebesar $a = 11,5143695 \text{ \AA}$, $b = 4,4138229215 \text{ \AA}$, dan $c = 4,278323101 \text{ \AA}$. Sampel II adalah $a = 11,52791604 \text{ \AA}$, $b = 4,038601257 \text{ \AA}$, dan $c = 4,414556059 \text{ \AA}$. Sampel III adalah $a = 11,52040021 \text{ \AA}$, $b = 4,039349262 \text{ \AA}$, dan $c = 4,412551613 \text{ \AA}$. Sampel IV adalah $a = 11,50736913 \text{ \AA}$, $b = 4,067734607 \text{ \AA}$, dan $c = 4,422745074 \text{ \AA}$. Akan tetapi, alur suhu mempengaruhi intensitas pada difraktogram yang berarti itu berkaitan pula dengan ukuran *grain* yang ditunjukkan oleh hasil karakteristik SEM.
2. Berdasarkan hasil karakteristik SEM pada sampel I dan III diketahui bahwa morfologi permukaan kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ berbentuk polikristal yang berstruktur orthorombik. Selain itu, pada foto sampel III terlihat *grain* lebih besar daripada sampel I, sehingga keteraturan atom pada sampel III lebih

bagus daripada sampel I. Hasil karakterisasi EDAX pada sampel I menunjukkan bahwa kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ mengandung unsur Sn, Se, dan Te. Besar persentase komposisi kimia sampel I, yaitu $\text{Sn} = 39,85 \%$, $\text{Se} = 36,09 \%$, dan $\text{Te} = 2,57 \%$. Perbandingan molaritas pada sampel I $\text{Sn} : \text{Se} : \text{Te}$ adalah $1 : 0,90 : 0,10$. Adanya fase lain yang ditunjukkan dengan penyimpangan sudut hasil karakteristik XRD menyebabkan hasil EDAX berbeda jauh dengan teori.

B. SARAN

Adapun saran yang dapat diberikan untuk meningkatkan kualitas penelitian mengenai kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan menggunakan Teknik Bridgman untuk aplikasi sel surya selanjutnya adalah :

1. Sebaiknya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai preparasi dan karakterisasi bahan semikonduktor kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ dengan teknik Bridgman agar diperoleh hasil informasi yang lebih mendalam dan jelas. Hal ini dapat berupa penentuan celah pita energi, pengukuran fotokonduktivitas, daya serap terhadap cahaya.
2. Agar kualitas kristal meningkat dan memperoleh intensitas yang tinggi, sebaiknya mempraktikkan kembali penggunaan alur suhu terbaik, yaitu lama waktu pemanasan untuk suhu 350°C dibuat konstan lebih lama dan pada suhu 600°C dibuat konstan lebih singkat.

3. Dilakukan penelitian lebih lanjut lagi untuk pemilihan alur suhu atau pemanasan maupun pemilihan besar temperatur dan lama waktu pemanasan pada saat tahap pemanasan dalam *furnace* karena dapat mempengaruhi komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.
4. Sebaiknya pemvakuman ketika preparasi dengan menggunakan Teknik Bridgman dilakukan hingga mencapai tekanan yang lebih rendah lagi untuk meminimalisir terjadinya oksidasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afdhaluddin, Muhammad Hizba. (2013). *Pita Energi*. Diakses dari <http://blog.ub.ac.id/bunghiz/2013/10/16/prinsip-elektromagnetik/> pada tanggal 10 Maret 2017 pukul 19.03 WIB.
- Agung, Achmad Imam. (2011). Potensi Sumber Energi Alternatif dalam Mendukung Kelistrikan Nasional. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, Volume 2* (No 2 tahun 2013). Hlm. 893.
- Al Hasibi, Rahmat Adiprasetya. (2010). Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO₂ di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Volume 13* (No 2 tahun 2010). Hlm. 155.
- Anonim. (2016). *Miniflex Specifications*. Diakses dari <http://www.rigaku.com/en/products/xrd/miniflex/specs> pada tanggal 5 Oktober 2016 pukul 14.55 WIB.
- Anonim. (2016). *JSM-6150 Specifications*. Diakses dari <http://www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-6510series.html> pada tanggal 5 Oktober 2016 pukul 15.00 WIB.
- Anonim. (2015). *Tin Selenide*. Diakses dari www.webelements.com pada tanggal 1 Oktober 2016 pukul 09.45 WIB.
- Anonim. (2015). *Tin Telluride*. Diakses dari www.webelements.com pada tanggal 1 Oktober 2016 pukul 09.50 WIB.
- Anonim. (2012). *Bab II Landasan Teori 2.2.1 Prinsip Kerja Solar Sel*. Diakses dari jbtppolban-gdl-fajarjaoha-3716-3-bab2--5 pada tanggal 27 November 2016 pukul 21.55 WIB.
- Anshori, Muhammad. (2016). *Pengaruh Temperatur Pemanasan pada Kualitas Kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2008). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Cd(Se,S) Masif Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bravais, Augusts. (1948). *Referred to "Une Correlation", Worked on Bivariate Normal Distribution. French Naval of Ficer and Astronomer*.
- British Potroleum. (2015). *Pasar Energi Indonesia 2014*. BP Statistical Review 2015. Hlm. 35-36.
- Budi, Esmar. (2011). Kaidah Difraksi Sinar X dalam Analisis Struktur Kristal KBr. *Spektra : Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Volume 9* (No. 1 tahun 2011) Hlm. 1-2.

- Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Addison-Wealey Publishing Company.
- Dewan Energi Nasional. (2014). *Outlook Energi Indonesia 2014*. Hlm. 2.
- Hidayati, Nuril. (2016). *Studi Pengaruh Massa Bahan Terhadap Kualitas Kristal Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Hasil Preparasi dengan Menggunakan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Istiyono, Edi. (2007). Fisika Zat Padat I. *Diktat Kuliah*. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kalogirou S. (2009). *Solar Energy Engineering : Processes and Systems*. Elsevier Inc. UK.
- Khanifan, Aziz, Nur Budi H., dan Sidik Purnomo. (2008). Semikonduktor. *Tugas Makalah Jurusan Teknik Elektro UNY*. Hlm. 7.
- Kittel, Charles. (1976). *Introduction to Solid State Physics*. New York, London, Sydney, Taronto: John Wiley and Sons, Inc.
- Kumar et al. (2012). Effects of Film Thickness on Optional Properties of Tin Selenide Thin Films Prepared by Thermal Evaporation for Photovoltaic Applications. *American Journal of Material Science*. 2(1). Hlm. 41-45.
- Kurniawati, Endah. (2016). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Masif $\text{Sn}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan Teknik Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Lerner, Ed. K. Lee, dan Brenda Wilmoth Lerner. (2008). *The Gales Encyclopedia of Science*. 4th. ed. Detroit: Gale. Hlm. 1204.
- Malvino. (1981). *Prinsip-prinsip Elektronika*. (Alih bahasa: Hanafi Gunawan). Jakarta: Erlangga.
- Moorthy A.R et al. (2008). Control of Grid Connected PV Cell Distributed Generation Systems. *IEEE Region 10 Conferences, 18-21 November 2008*. Hyderabad, India.
- Naresh Padha et al. (2015). Effect of Changed Structure as Well as Composition on the Behaviour of $\text{Sn}(\text{Se},\text{Te})$ Compound Semiconductor Thin Films and Schottky Diodes for Solar Cell Applications. *The Electrochemical Society*.
- Najib, Muhammad dan Teddy Nurcahyadi. (2011). Teknologi Fotovoltaik. *Workshop Teknologi Fotovoltaik, 20 Desember 2011*. Yogyakarta.
- N. E. Makori et al. (2014). Optical and Electrical Properties of SnSe Thin Films for Solar Cell Applications. *American Journal of Condensed Matter Physics*.
- Ningsih, Sheryl Kasuma Warda. (2016). *Sintesis Organik*. Padang: Universitas Negeri Padang Press.

- Parno. (2002). *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Partha, Cokorde Gede Indra et. al. (2015). Pengaruh Ketinggian Panel Surya terhadap Daya Listrik untuk Menekan Pemakaian Energi Listrik. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi (Senastek)*. Hlm. 1.
- Prasetyo, Edi. (2012). *XRD (X-Ray Diffraction)*. Solo : Universitas Negeri Sebelas Maret.
- Rio, Reka dan Lida, M. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Rois A.R et al. (2014). Analisa Performansi dan Monitoring *Solar Photovoltaic* (SPS) pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Tuban Jawa Timur. *Jurnal Teknik POMITS*. Hlm. 1.
- Rudolph, P. (2003). Non-Stoichiometry Related Defects at the Melt Growth of Semiconductor Compound Crystals – a Review. *Crystal Research and Tecnology, Volume 38* (No. 7-8 tahun 2003). Hlm 1-14.
- Rusli, Rolan. (2007). *Sintesis dan Simulasi Atomik Oksida Aurivillius*. Thesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Saptari, Sitti Ahmatri dan Priyambodo. (2013). Rekayasa Material Absorber Gelombang Mikro Berbasis Lantanum Manganat. *LP2M*. Jakarta : UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Saputri, Erda Hanum. (2016). *Pengaruh Waktu Alur Pemanasan Terhadap Kualitas Kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sartono, A.A. (2006). Scanning Electron Microscope (SEM). *Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Indonesia*.
- Smallman, R.E., dan Bishop, R.J. (2000). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering (Science, Process, and Application)*. 6th. ed. New York: Butterworth-Heinemann.
- Susanti, Lilik. (2013). *Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Se}_{0,6})$ Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sutanto, Heri dan Singgih Wibowo. (2015). *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania (Sintesis, Deposisi, dan Aplikasi)*. Semarang: UNDIP, Penerbit Telescope.
- Suyanto, Muhammad. (2014). Pemanfaatan Solar Cell sebagai Pembangkit Listrik Terbarukan. *Jurnal Teknik FTUP, Volume 27* (Nomor 3 tahun 2014). Hlm. 168.

- Syahrul. (2016). *Struktur Kristal dan Indeks Miller*. Diakses dari <http://hydrogen.untan.ac.id/struktur-kristal-dan-indeks-miller/> pada tanggal 13 Februari 2017 pukul 19.46 WIB.
- The World Bank. (2009). Energi dan Perubahan Iklim. *Policy Brief*. Hlm. 1.
- Vasudeva R. M. R et al. (2016). Prespective on SnSe-based Thin Film Solar Cells : a Comprehensive Review. *Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Volume 27, Issue 6*.
- Wardani, Melinda et al. (2014). Pengaruh Temperatur terhadap Struktur Dunit Jorong Tongar Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat. *Pilar of Physics, Volume 4*. Hlm. 19.
- Wirjoadi dan Bambang Siswanto. (2010). Pengaruh Kandungan Sulfur terhadap Konstante Kisi Kristal $\text{CuIn}(\text{S}_x\text{Se}_{1-x})_2$. *Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN. J. Iptek Nuklir Ganendra, Volume 13* (No. 2 tahun 2010). Hlm. 86
- Wuhan People's Republic of China Asia Science. (2015). High-Efficient Thermoelectric materials: The Case of Orthorombic IV-VI Compounds . *Science; Investigators at Huazong University of Science and Technology*. United States: Atlanta, NewsRx.
- Zhao, Li-Dong et al. (2014). Ultralow Thermal Conductivity and High Thermoelectric Figure of Merit in SnSe Crystal. *Journal Nature, Volume 508*. Maomillan Publishers Limited.

LAMPIRAN

DAFTAR LAMPIRAN

A. Lampiran I. Metode Analitik Perhitungan Parameter Kisi Kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}).

Perhitungan parameter kisi sampel Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) dengan menggunakan metode analitik. Kristal Sn(Se_xTe_{1-x}) identik dengan kristal SnSe berstruktur orthorhombik dan kristal SnTe mempunyai struktur kubik. Kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) lebih condong kepada kristal SnSe. Oleh karena itu, jarak antar bidang struktur orthorhombik dihitung dengan persamaan :

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

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

Kemudian mensubstitusikan persamaan Bragg (1), sehingga diperoleh persamaan :

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

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

Berdasarkan persamaan diatas maka dapat menghitung harga parameter kisi a , b , dan c dengan persamaan :

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2 \quad (5)$$

Maka parameter kisi a , b , dan c dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2}, \text{ sehingga } a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} \quad (6)$$

$$B = \frac{\lambda^2}{4b^2}, \text{ sehingga } b = \frac{\lambda}{2\sqrt{B}} \quad (7)$$

$$C = \frac{\lambda^2}{4c^2}, \text{ sehingga } c = \frac{\lambda}{2\sqrt{C}} \quad (8)$$

1. Sampel I Sn(Se_{0,8}Te_{0,2})

Tabel perbandingan data XRD antara hasil penelitian kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) dengan data standar (JCPDS NO.48-1224).

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sam pel I		JCPDS		$h k l$
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	I (%)	
1	14,426	0	15,400	4	2 0 0
2	30,33	3	29,425	22	0 1 1
3	31,027	100	30,462	100	1 1 1
4	37,70	2	37,784	38	3 1 1
5	43,23	1	43,340	18	0 2 0
6	44,201	10	44,323	5	5 0 1
7	47,57	1	47,255	6	3 0 2
8	49,62	3	49,710	19	5 1 1
9	60,225	14	60,003	1	7 0 1

10	64,351	1	64,466	4	7 1 1
11	64,712	11	64,818	4	8 0 0
12	69,00	2	69,101	2	8 1 0

Perhitungan parameter kisi, berdasarkan Hukum Bragg dan persamaan jarak antar bidang untuk sistem orthorombik, dengan menggunakan persamaan berikut :

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

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

Pada sampel I dipilih sudut 2θ antara lain $64,712^\circ$ dengan hkl (8 0 0); $60,225^\circ$ dengan hkl (7 0 1); dan $31,027^\circ$ dengan hkl (1 1 1).

- Untuk sudut 2θ : $64,712^\circ$ dengan hkl (8 0 0), maka

$$\sin^2 \left(\frac{64,712}{2} \right) = (A \times 8^2) + (B \times 0^2) + (C \times 0^2)$$

$$0,2864157483 = 64A$$

$$A = \frac{0,2864157483}{64} = 4,475246067 \times 10^{-3} \dots (1)$$

Sehingga parameter kisi a ,

$$\triangleright A = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2} \right), \text{ dimana } a = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4A} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright a = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (4,475246067 \times 10^{-3})} \right)}$$

$$\triangleright a = 11,5143695 \text{ \AA}$$

- Untuk sudut 2θ : $60,225^\circ$ dengan hkl (7 0 1), maka

$$\sin^2 \left(\frac{60,225}{2} \right) = (A \times 7^2) + (B \times 0^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,2517023602 = 49A + C \dots (2)$$

Kemudian memasukkan persamaan (1) ke dalam persamaan (2), maka diperoleh parameter kisi c ,

$$\triangleright 0,2517023602 = (49 \times (4,475246067 \times 10^{-3})) + C$$

$$\triangleright 0,03241530291 = C \dots (3)$$

$$\triangleright C = \left(\frac{\lambda^2}{4c^2} \right), \text{ dimana } c = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4C} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright c = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03241530291)} \right)}$$

$$\triangleright c = 4,278323101 \text{ \AA}$$

- Untuk sudut $2\theta : 30,971^\circ$ dengan $hkl (1\ 1\ 1)$, maka

$$\sin^2 \left(\frac{30,971}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,07153775022 = A + B + C \dots (4)$$

Kemudian memasukkan persamaan (1) dan persamaan (3) ke dalam persamaan (4), maka diperoleh parameter kisi b ,

$$\triangleright 0,1760729827 = (4,475246067 \times 10^{-3}) + 0,03241530291 + B$$

$$\triangleright 0,03241530291 = B \dots (5)$$

$$\triangleright B = \left(\frac{\lambda^2}{4b^2} \right), \text{ dimana } b = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4B} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright b = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03241530291)} \right)}$$

$$\triangleright b = 4,138229215 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	Sampel I	JCPDS
a	11,5143695 \AA	11,49 \AA
b	4,138229215 \AA	4,153 \AA
c	4,278323101 \AA	4,440 \AA
Struktur	<i>Orthorombic</i>	<i>Orthorombic</i>

2. Sampel II Sn(Se_{0,8}Te_{0,2})

Tabel perbandingan data XRD antara hasil penelitian kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) dengan data standar (JCPDS NO.48-1224).

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel II		JCPDS		<i>h k l</i>
	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	
1	14,34	0	15,400	4	2 0 0
2	28,428	14	29,425	22	0 1 1
3	30,972	100	30,462	100	1 1 1
4	37,60	3	37,784	38	3 1 1
5	40,849	7	40,585	3	0 0 2
6	43,18	2	43,340	18	4 1 1
7	49,603	4	49,710	19	5 1 1
8	51,74	2	51,954	5	6 0 1
9	64,32	3	64,466	4	7 1 1
10	64,627	11	64,818	4	8 0 0
11	67,03	3	67,076	2	0 1 3

Perhitungan parameter kisi, berdasarkan Hukum Bragg dan persamaan jarak antar bidang untuk sistem orthorombik, dengan menggunakan persamaan berikut :

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

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

Pada sampel II dipilih sudut 2θ antara lain $64,627^\circ$ dengan hkl (8 0 0); $40,849^\circ$ dengan hkl (0 0 2); dan $30,972^\circ$ dengan hkl (1 1 1).

- Untuk sudut 2θ : $64,627^\circ$ dengan hkl (8 0 0), maka

$$\sin^2 \left(\frac{64,627}{2} \right) = (A \times 8^2) + (B \times 0^2) + (C \times 2^2)$$

$$0,2857453005 = 64A$$

$$A = \frac{0,2857453005}{64} = 4,46734453 \times 10^{-3} \dots (1)$$

Sehingga parameter kisi a ,

$$\triangleright A = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2} \right), \text{ dimana } a = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4A} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright a = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (4,46734453 \times 10^{-3})} \right)}$$

$$\triangleright a = 11,52791604 \text{ \AA}$$

- Untuk sudut 2θ : $40,849^\circ$ dengan hkl (0 0 2), maka

$$\sin^2 \left(\frac{40,849}{2} \right) = (A \times 0^2) + (B \times 0^2) + (C \times 2^2)$$

$$0,1217820169 = 4C$$

$$C = \frac{0,1217820169}{4} = 0,03044550423 \dots (2)$$

Kemudian diperoleh parameter kisi c ,

$$\triangleright C = \left(\frac{\lambda^2}{4c^2} \right), \text{ dimana } c = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4C} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright c = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03044550423)} \right)}$$

$$\triangleright c = 4,414556059 \text{ \AA}$$

- Untuk sudut 2θ : $30,972^\circ$ dengan hkl (1 1 1), maka

$$\sin^2 \left(\frac{30,972}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,07129055329 = A + B + C \dots (3)$$

Kemudian memasukkan persamaan (1) dan persamaan (2) ke dalam persamaan (3), maka diperoleh parameter kisi b ,

- $0,07129055329 = (4,46734453 \times 10^{-3}) + 0,03044550423 + B$
- $0,03637770453 = B$
- $B = \left(\frac{\lambda^2}{4b^2}\right)$, dimana $b = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4B}\right)}$ dengan $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$
- $b = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03637770453)}\right)}$
- **$b = 4,038601257 \text{ \AA}$**

Parameter Kisi	Sampel II	JCPDS
<i>a</i>	11,52791604 Å	11,49 Å
<i>b</i>	4,038601257 Å	4,153 Å
<i>c</i>	4,414556059 Å	4,440 Å
Struktur	<i>Orthorombic</i>	<i>Orthorombic</i>

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

Tabel perbandingan data XRD antara hasil penelitian kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) dengan data standar (JCPDS NO.48-1224).

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel III		JCPDS		<i>h k l</i>
	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	
1	14,335	0	15,400	4	2 0 0
2	23,0	0	21,472	4	1 0 1
3	25,15	1	25,317	14	2 0 1
4	26,33	0	26,450	8	2 1 0
5	30,34	2	29,425	22	0 1 1
6	30,971	100	30,462	100	1 1 1
7	37,630	2	37,784	38	3 1 1
8	38,352	1	38,033	13	4 1 0
9	43,18	1	43,340	18	4 1 1
10	44,11	1	44,323	5	5 0 1
11	47,19	1	47,255	6	3 0 2
12	49,57	2	49,710	19	5 1 1
13	51,742	1	51,954	5	6 0 1
14	52,41	1	52,434	5	3 1 2
15	64,674	10	64,818	4	8 0 0

Perhitungan parameter kisi, berdasarkan Hukum Bragg dan persamaan jarak antar bidang untuk sistem orthorombik, dengan menggunakan persamaan berikut :

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

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

Pada sampel III dipilih sudut 2θ antara lain $64,674^\circ$ dengan hkl (8 0 0); $38,352^\circ$ dengan hkl (4 1 0); dan $30,971^\circ$ dengan hkl (1 1 1).

- Untuk sudut $2\theta : 64,674^\circ$ dengan hkl (8 0 0), maka

$$\sin^2 \left(\frac{64,674}{2} \right) = (A \times 8^2) + (B \times 0^2) + (C \times 0^2)$$

$$0,2861159605 = 64A$$

$$A = \frac{0,2861159605}{64} = 4,470561883 \times 10^{-3} \dots (1)$$

Sehingga parameter kisi a ,

$$\triangleright A = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2} \right), \text{ dimana } a = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4A} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright a = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (4,470561883 \times 10^{-3})} \right)}$$

$$\triangleright a = \mathbf{11,52040021 \text{ \AA}}$$

- Untuk sudut $2\theta : 38,352^\circ$ dengan hkl (4 1 0), maka

$$\sin^2 \left(\frac{38,352}{2} \right) = (A \times 4^2) + (B \times 1^2) + (C \times 0^2)$$

$$0,1078932231 = 16A + B \dots (2)$$

Kemudian memasukkan persamaan (1) ke dalam persamaan (2), maka diperoleh parameter kisi b ,

$$\triangleright 0,1078932231 = (16 \times (4,470561883 \times 10^{-3})) + B$$

$$\triangleright 0,03636423297 = B \dots (3)$$

$$\triangleright B = \left(\frac{\lambda^2}{4b^2} \right), \text{ dimana } b = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4B} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\triangleright b = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03636423297)} \right)}$$

$$\triangleright b = \mathbf{4,039349262 \text{ \AA}}$$

- Untuk sudut $2\theta : 30,971^\circ$ dengan $hkl (1\ 1\ 1)$, maka

$$\sin^2 \left(\frac{30,971}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,07128606245 = A + B + C \dots (4)$$

Kemudian memasukkan persamaan (1) dan persamaan (3) ke dalam persamaan (4), maka diperoleh parameter kisi c ,

$$\text{➤ } 0,07128606245 = (4,470561883 \times 10^{-3}) + 0,03636423297 + C$$

$$\text{➤ } 0,03047317887 = C$$

$$\text{➤ } C = \left(\frac{\lambda^2}{4c^2} \right), \text{ dimana } c = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4C} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\text{➤ } c = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03047317887)} \right)}$$

$$\text{➤ } c = 4,412551613 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	Sampel III	JCPDS
a	11,52040021 Å	11,49 Å
b	4,03934962 Å	4,153 Å
c	4,412551613 Å	4,440 Å
Struktur	<i>Orthorombic</i>	<i>Orthorombic</i>

4. Sampel IV Sn(Se_{0,8}Te_{0,2})

Tabel perbandingan data XRD antara hasil penelitian kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) dengan data standar (JCPDS NO.48-1224).

Peak	Sn(Se _{0,8} Te _{0,2}) Sampel IV		JCPDS		<i>h k l</i>
	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	<i>2θ</i> (°)	<i>I</i> (%)	
1	28,47	11	26,450	8	2 1 0
2	29,95	8	29,425	22	0 1 1
3	30,834	100	30,462	100	1 1 1
4	37,33	4	37,784	38	3 1 1
5	40,77	8	40,585	3	0 0 2
6	42,94	3	43,340	18	4 1 1
7	49,08	4	49,103	2	2 1 2
8	51,49	1	51,954	5	6 0 1
9	63,74	6	63,906	2	5 2 1
10	64,267	12	64,466	4	7 1 1
11	66,79	2	67,076	2	0 1 3

Perhitungan parameter kisi, berdasarkan Hukum Bragg dan persamaan jarak antar bidang untuk sistem orthorombik, dengan menggunakan persamaan berikut :

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

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

Pada sampel IV dipilih sudut 2θ antara lain $40,77^\circ$ dengan hkl (0 0 2); $30,834^\circ$ dengan hkl (1 1 1) yang disubstitusi menggunakan $64,267^\circ$ dengan hkl (7 1 1); dan menggunakan lagi $30,834^\circ$ dengan hkl (1 1 1).

- Untuk sudut $2\theta : 40,77^\circ$ dengan hkl (0 0 2), maka

$$\sin^2 \left(\frac{40,77}{2} \right) = (A \times 0^2) + (B \times 0^2) + (C \times 2^2)$$

$$0,121331459 = 4C$$

$$C = \frac{0,121331459}{4} = 0,0303386474 \dots (1)$$

Kemudian diperoleh parameter kisi c ,

$$\Rightarrow C = \left(\frac{\lambda^2}{4c^2} \right), \text{ dimana } c = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4C} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\Rightarrow c = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,0303386474)} \right)}$$

$$\Rightarrow \mathbf{c = 4,422745074 \text{ \AA}}$$

- Untuk sudut $2\theta : 30,834^\circ$ dengan hkl (1 1 1) yang disubstitusi menggunakan $64,267^\circ$ dengan hkl (7 1 1), maka

$$\sin^2 \left(\frac{30,834}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,07067205322 = A + B + C \dots (2)$$

$$\sin^2 \left(\frac{64,267}{2} \right) = (A \times 7^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,2857453005 = 49A + B + C \dots (3)$$

Kemudian mensubstitusi persamaan (2) dan persamaan (3), maka diperoleh parameter kisi a ,

$$\Rightarrow 0,2857453005 = 49A + B + C$$

$$\underline{0,07067205322 = A + B + C} -$$

$$0,2150732471 = 48A$$

$$\Rightarrow 4,480692649 \times 10^{-3} = A \dots (4)$$

$$\Rightarrow A = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2} \right), \text{ dimana } a = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4A} \right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\Rightarrow a = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (4,480692649 \times 10^{-3})}\right)}$$

$$\Rightarrow a = 11,50736913 \text{ \AA}$$

- Untuk sudut $2\theta : 30,834^\circ$ dengan $hkl (1\ 1\ 1)$, maka

$$\sin^2\left(\frac{30,834}{2}\right) = (A \times 1^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$0,07067205322 = A + B + C \dots (5)$$

Kemudian memasukkan persamaan (1) dan persamaan (4) ke dalam persamaan (5), maka diperoleh parameter kisi b ,

$$\Rightarrow 0,07067205322 = (4,480692649 \times 10^{-3}) + 0,0303386474 + B$$

$$\Rightarrow 0,03585849209 = B$$

$$\Rightarrow B = \left(\frac{\lambda^2}{4b^2}\right), \text{ dimana } b = \sqrt{\left(\frac{\lambda^2}{4B}\right)} \text{ dengan } \lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\Rightarrow b = \sqrt{\left(\frac{(1,54056)^2}{4 \times (0,03585849209)}\right)}$$

$$\Rightarrow b = 4,067734607 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	Sampel IV	JCPDS
a	11,50736913 Å	11,49 Å
b	4,06734607 Å	4,153 Å
c	4,422745074 Å	4,440 Å
Struktur	<i>Orthorombic</i>	<i>Orthorombic</i>

B. Lampiran II. Hasil Karakterisasi Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dengan XRD

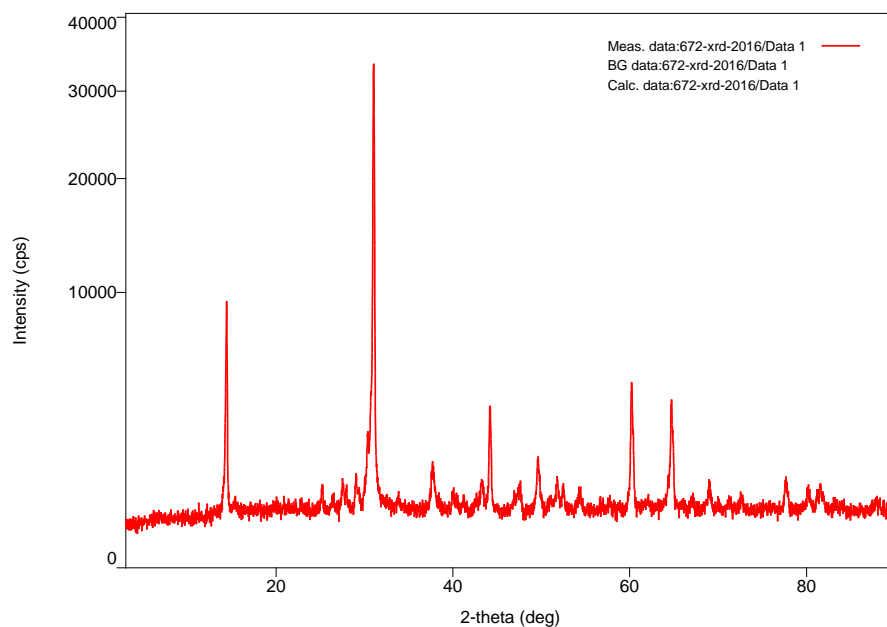
1. Hasil XRD Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel I

Peak List

General information

Analysis date	2016/09/21 09:25:43		
Sample name	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	Measurement date	2016/09/21 09:07:13
File name	672-xrd-2016.ras	Operator	administrator
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	14.426(5)	6.135(2)	5777(219)	0.172(4)	1288(18)	0.223(12)	2.2(3)
2	29.092(18)	3.0670(18)	381(56)	0.19(4)	89(18)	0.23(8)	5(7)
3	30.33(3)	2.944(2)	735(78)	0.77(9)	709(76)	1.0(2)	0.20(4)
4	31.027(3)	2.8800(3)	25916(465)	0.153(3)	5320(82)	0.205(7)	1.03(9)
5	37.70(3)	2.384(2)	599(71)	0.37(3)	277(16)	0.46(8)	1.0(4)
6	43.23(5)	2.091(2)	382(56)	0.26(6)	162(13)	0.42(10)	0.6(5)
7	44.201(6)	2.0474(3)	2526(145)	0.167(7)	529(10)	0.210(16)	1.4(2)
8	47.57(2)	1.9098(7)	210(42)	0.64(6)	143(17)	0.7(2)	4(3)
9	49.62(3)	1.8356(11)	722(78)	0.31(2)	251(16)	0.35(6)	1.3(5)
10	60.225(5)	1.53538(13)	3551(172)	0.187(6)	853(14)	0.240(16)	1.44(18)
11	64.351(16)	1.4465(3)	342(53)	0.12(2)	59(11)	0.17(6)	1.2(6)
12	64.712(5)	1.43933(11)	2954(157)	0.184(7)	746(16)	0.252(19)	0.88(12)
13	69.00(3)	1.3599(5)	395(57)	0.22(4)	112(11)	0.28(7)	1.5(9)
14	77.62(3)	1.2290(3)	472(63)	0.28(3)	140(11)	0.30(6)	1.0(3)
15	80.210(18)	1.1958(2)	297(50)	0.23(4)	95(8)	0.32(8)	5(3)
16	81.59(2)	1.1789(3)	272(48)	0.50(6)	192(14)	0.71(18)	3.0(18)

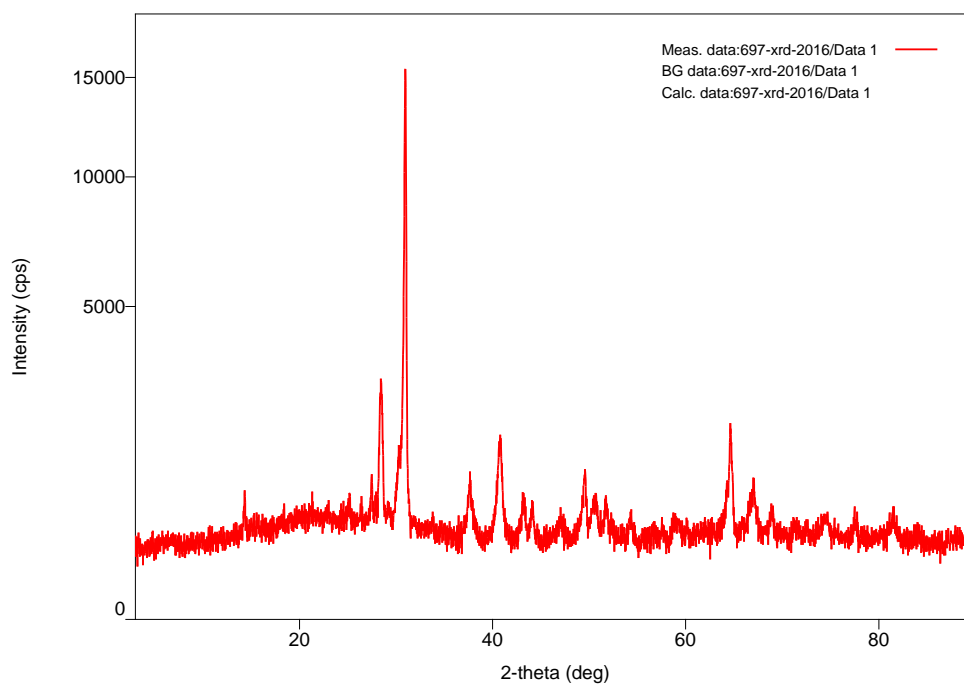
2. Hasil XRD Kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) Sampel II

Peak List

General information

Analysis date	2016/10/04 10:23:30		
Sample name	Sn(Se _{0,8} Te 0,2	Sample name	Sn(Se _{0,8} Te 0,2
File name	697-xrd-2016.ras	File name	697-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	14.34(3)	6.173(14)	299(50)	0.14(4)	58(7)	0.19(6)	2(4)
2	28.428(18)	3.137(2)	1598(115)	0.316(15)	588(23)	0.37(4)	0.9(2)
3	30.972(7)	2.8849(7)	11522(310)	0.180(8)	3067(38)	0.266(10)	2.2(4)
4	37.60(5)	2.390(3)	322(52)	0.63(4)	226(16)	0.70(16)	0.8(2)
5	40.849(7)	2.2073(4)	844(84)	0.500(18)	511(15)	0.61(8)	3.5(15)
6	43.18(9)	2.093(4)	234(44)	0.43(11)	142(17)	0.61(19)	1.1(11)
7	49.603(9)	1.8363(3)	457(62)	0.36(3)	179(10)	0.39(8)	5(2)
8	50.69(6)	1.7996(19)	235(44)	0.54(5)	135(10)	0.58(15)	4(2)
9	51.74(3)	1.7653(11)	279(48)	0.16(5)	77(8)	0.28(8)	2(3)
10	64.32(2)	1.4472(4)	353(54)	0.18(4)	95(18)	0.27(9)	2.4(12)
11	64.627(12)	1.4410(2)	1269(103)	0.207(17)	351(21)	0.28(4)	0.9(2)
12	67.03(2)	1.3952(4)	300(50)	0.61(6)	211(18)	0.71(18)	2.6(19)
13	74.49(15)	1.273(2)	102(29)	0.75(11)	82(15)	0.8(4)	2.0(17)

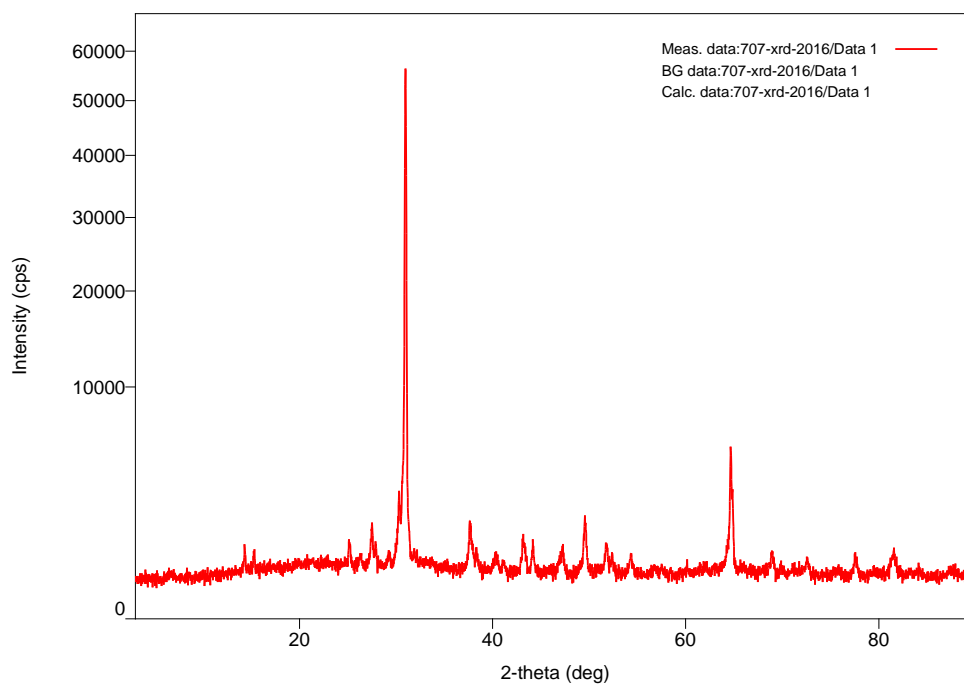
3. Hasil XRD Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel III

Peak List

General information

Analysis date	2016/10/12 15:28:03		
Sample name	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	Sample name	$\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$
File name	707-xrd-2016.ras	File name	707-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	14.335(7)	6.174(3)	385(57)	0.11(3)	69(7)	0.18(4)	1.2(16)
2	23.0(2)	3.87(4)	26(15)	2.1(8)	60(31)	2(3)	4(9)
3	25.15(4)	3.538(6)	408(58)	0.21(4)	123(11)	0.30(7)	0.8(7)
4	26.33(7)	3.382(8)	178(38)	0.28(6)	59(11)	0.33(13)	1.6(19)
5	27.502(8)	3.2406(9)	672(75)	0.29(2)	277(15)	0.41(7)	1.2(3)
6	29.22(2)	3.054(2)	184(39)	0.12(6)	29(11)	0.15(9)	0.4(12)
7	30.34(2)	2.943(2)	1035(93)	0.23(3)	296(31)	0.29(6)	3(2)
8	30.971(4)	2.8851(3)	46960(626)	0.133(3)	8420(70)	0.179(4)	1.08(12)
9	37.630(9)	2.3884(5)	1048(93)	0.17(2)	369(12)	0.35(4)	0.56(17)
10	38.352(12)	2.3451(7)	285(49)	0.11(4)	43(8)	0.15(5)	4(2)
11	43.18(4)	2.0932(17)	454(61)	0.38(3)	187(14)	0.41(9)	1.0(4)
12	44.11(3)	2.0514(15)	401(58)	0.22(3)	95(10)	0.24(6)	0.6(4)
13	47.19(8)	1.924(3)	220(43)	0.48(6)	115(16)	0.52(18)	1.5(3)
14	49.57(2)	1.8373(8)	1035(93)	0.253(19)	316(14)	0.31(4)	1.7(7)
15	51.742(15)	1.7653(5)	517(66)	0.18(2)	136(10)	0.26(5)	0.60(15)
16	52.41(2)	1.7443(7)	266(47)	0.17(3)	78(11)	0.29(9)	2.1(11)
17	64.674(6)	1.44007(12)	4491(193)	0.158(7)	1088(18)	0.242(15)	1.2(2)
18	68.90(3)	1.3618(6)	324(52)	0.20(4)	92(12)	0.28(8)	0.7(6)

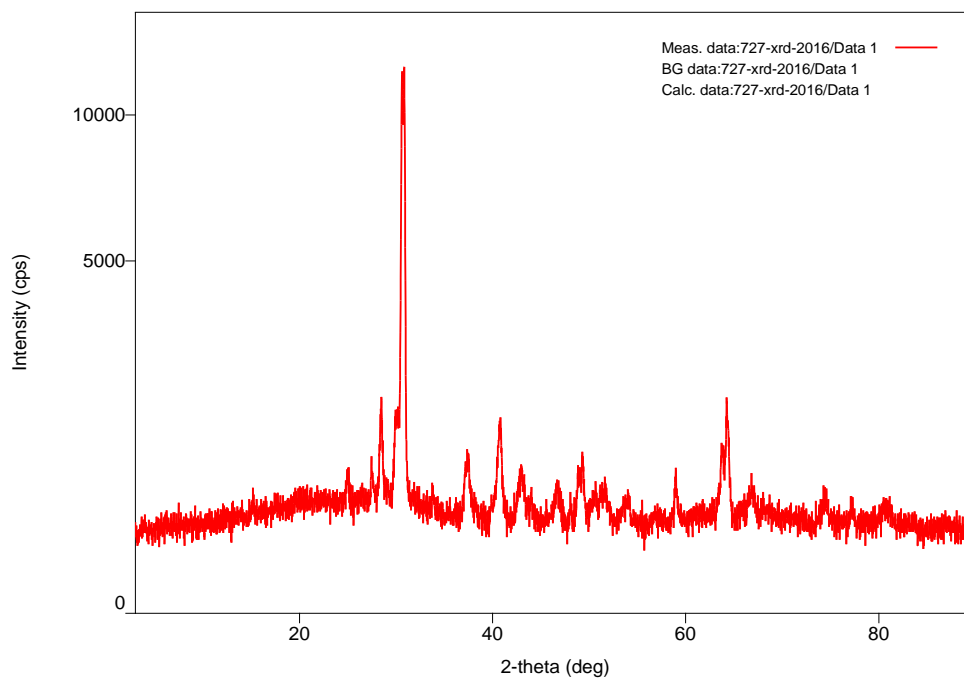
4. Hasil XRD Kristal Sn(Se_{0,8}Te_{0,2}) Sampel IV

Peak List

General information

Analysis date	2016/10/26 13:53:20		
Sample name	Sn(se _{0,8} Te _{0,2})	Sample name	Sn(se _{0,8} Te _{0,2})
File name	727-xrd-2016.ras	File name	727-xrd-2016.ras
Comment			

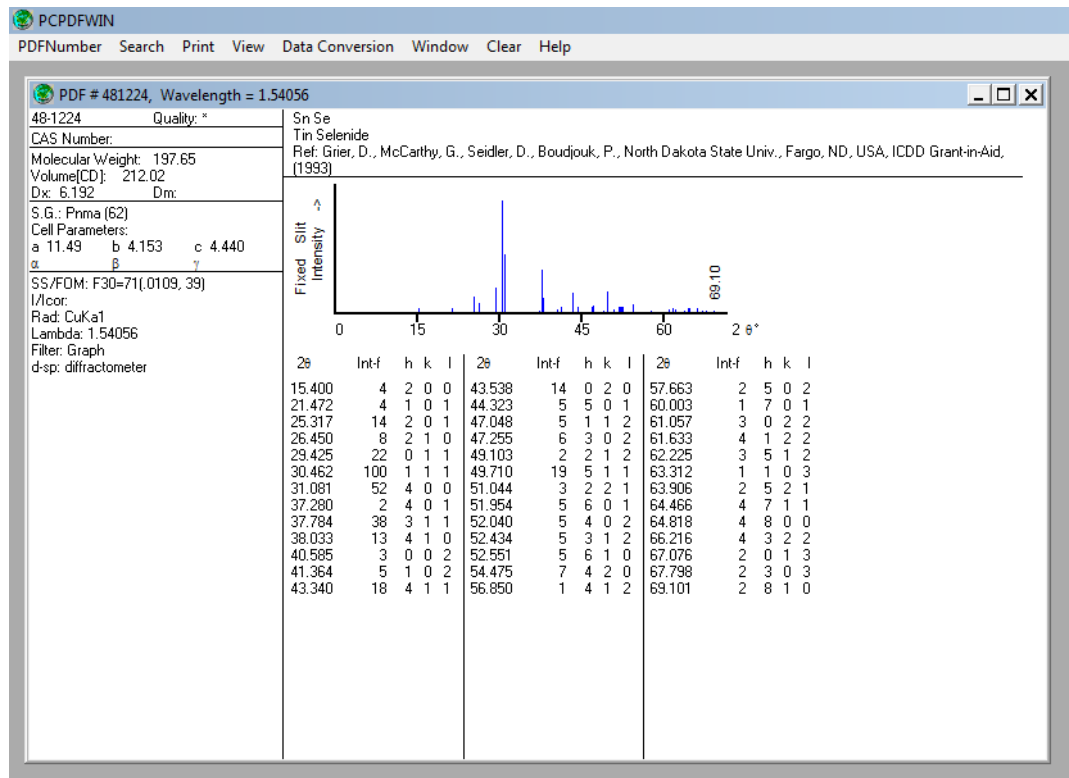
Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	28.47(4)	3.133(4)	872(85)	0.26(4)	358(18)	0.41(6)	1.4(11)
2	29.95(3)	2.981(3)	645(73)	0.65(15)	496(104)	0.8(2)	0.30(8)
3	30.617(6)	2.9176(6)	7542(251)	0.173(14)	1543(189)	0.20(3)	1.5(4)
4	30.834(7)	2.8976(6)	8153(261)	0.18(2)	1769(186)	0.22(3)	1.3(3)
5	37.33(4)	2.407(3)	352(54)	0.59(4)	223(17)	0.63(15)	0.8(2)
6	40.77(3)	2.2113(14)	671(75)	0.50(2)	355(17)	0.53(8)	1.9(4)
7	42.94(6)	2.104(3)	249(46)	0.65(5)	180(17)	0.7(2)	1.0(4)
8	49.08(6)	1.855(2)	293(49)	0.62(5)	194(13)	0.66(16)	0.9(3)
9	51.49(6)	1.7735(18)	117(31)	1.39(16)	174(20)	1.5(6)	2.4(12)
10	58.925(7)	1.56611(16)	394(57)	0.14(2)	88(6)	0.22(5)	0.4(2)
11	63.74(3)	1.4590(6)	511(65)	0.25(6)	172(29)	0.34(10)	1.0(4)
12	64.267(8)	1.44822(17)	995(91)	0.30(3)	410(33)	0.41(7)	1.0(3)
13	66.79(13)	1.400(2)	160(37)	0.63(12)	138(15)	0.9(3)	1.0(11)
14	80.52(17)	1.192(2)	86(27)	1.03(14)	95(16)	1.1(5)	0.6(4)

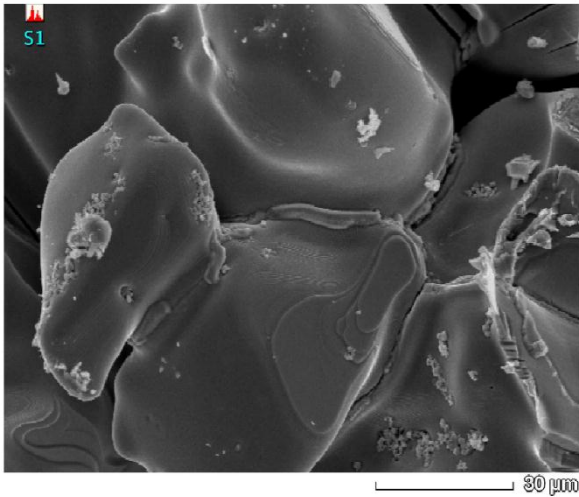
C. Lampiran III. Tabel JCPDS



D. Lampiran IV. Hasil Karakterisasi Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dengan SEM dan EDAX

1. Hasil SEM Sampel I

S1

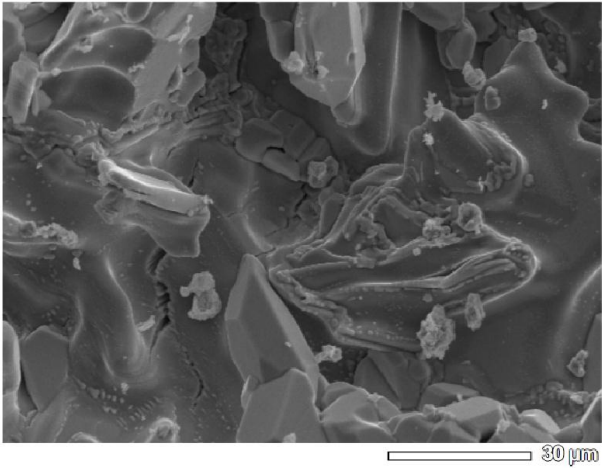


JEOL 1/1

Title	: IMG1
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2017/02/24
Pixel	: 512 x 384

2. Hasil SEM Sampel III

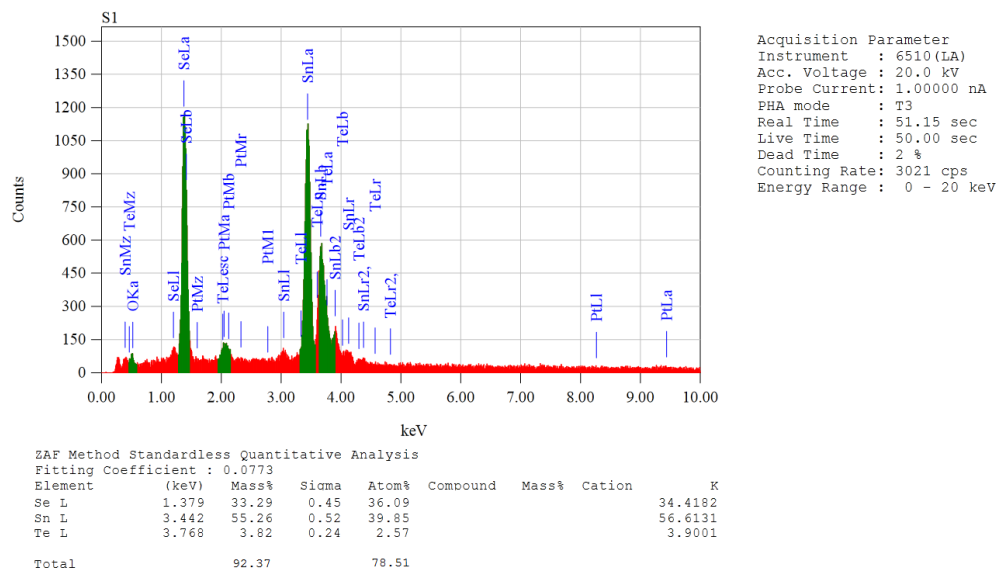
S2 - Sn



JEOL 1/1

Title	: IMG1
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2017/01/25
Pixel	: 512 x 384

3. Hasil EDAX Sampel I



E. Lampiran V. Dokumentasi Penelitian



Furnace



Seperangkat alat vakum



Mesin XRD



Mesin SEM-EDAX



Proses penimbangan bahan



Proses pengelasan



Proses pemanasan



Kapsul $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$



Kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$