

**STUDI TENTANG STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA LAPISAN
TIPIS $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

SKRIPSI

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



Oleh:

Mahmudah Setianingrum

12306141031

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
DESEMBER 2016**

**STUDI TENTANG STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA LAPISAN
TIPIS $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

SKRIPSI

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



Oleh:

Mahmudah Setianingrum

12306141031

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
DESEMBER 2016**

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Studi tentang Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya” yang disusun oleh Mahmudah Setianingrum, NIM 12306141031 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 5 Desember 2016

Dosen Pembimbing,

Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

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, 5 Desember 2016

Yang menyatakan,



Mahmudah Setianingrum
NIM. 12306141031

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Studi tentang Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya” yang disusun oleh Mahmudah Setianingrum, NIM 12306141031 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 16 Desember 2016 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 19590914 198803 1 003	Ketua Penguji		13-1-2017
<u>Rita Prasetyowati, M.Si</u> NIP. 198007282 00604 2 001	Sekretaris Penguji		12-1-2017
<u>R. Yosi Aprian Sari, M.Si</u> NIP. 197304072 00604 1 001	Penguji Utama		10-1-2017

Yogyakarta, 17 Januari 2017
Fakultas MIPA
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono
NIP. 19620329 198702 1 002

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya
sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al Insyirah (94) : 5-6)

“Smile is a simple way of enjoying life”

“Berbuat baiklah kepada orang lain seperti berbuat baik kepada diri sendiri”

(Nabi Muhammad SAW)

“Our parents are the greatest gift in a life”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas segala karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini. Karya sederhana ini penulis persembahkan untuk :

1. Bapak dan Ibu tercinta (Alm. Bapak Muh. Mustaqim dan Ibu Suratmi) yang selalu memberikan dukungan terbaik, kasih sayang yang tulus, serta doa yang tak pernah putus.
2. Kakak dan adik yang tersayang (Mas Heri dan Dek Putri) yang memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Dosen Pembimbing (Bapak Dr. Ariswan) yang bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan selama mengerjakan skripsi ini.
4. Sahabat dan teman penelitian (Nuril, Aisyah, Hilma, Yuni, Endah, Siti, Wahyu, Eka, Nila, Viky, dan Indri) yang selalu menemani, berbagi ilmu, memberi bantuan dan semangat.
5. Keluarga Inspirator Mipa dan KSI MIST yang telah menemani masa-masa kuliah saya, dan memberikan pengalaman yang luar biasa.
6. Teman-teman KKN 1067 yang selalu mendukung dan meyemangati selama penyusunan skripsi ini.
7. Teman-teman Fisika B 2012 (YORADAB) yang menemani semasa 4 tahun semasa kuliah, yang menginspirasi dan selalu memberikan motivasi.

STUDI TENTANG STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA LAPISAN TIPIS $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA

Oleh:
Mahmudah Setianingrum
NIM 12306141031

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$, mengetahui struktur dan parameter kisi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dan untuk mengetahui morfologi permukaan, serta komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dipreparasi menggunakan teknik evaporasi vakum.

Proses preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dilakukan dengan menggunakan teknik evaporasi vakum yang bekerja pada tekanan 7×10^{-5} mbar dengan melakukan 3 variasi temperatur substrat, yaitu 250°C, 300°C dan 350°C. Kemudian, ketiga sampel lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi kimia.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki struktur kristal *orthorombik*. Nilai parameter kisi sampel 1 (temperatur substrat 250°C) adalah $a = 4,30 \text{ \AA}$, $b = 10,4 \text{ \AA}$ dan $c = 4,01 \text{ \AA}$, sampel 2 (temperatur substrat 300°C) adalah $a = 4,29 \text{ \AA}$, $b = 11,9 \text{ \AA}$ dan $c = 4,19 \text{ \AA}$, dan sampel 3 (temperatur substrat 350°C) adalah $a = 4,23 \text{ \AA}$, $b = 11,19 \text{ \AA}$ dan $c = 4,03 \text{ \AA}$. Hasil difraktogram menunjukkan bahwa variasi temperatur substrat menyebabkan adanya perbedaan intensitas puncak yang menyatakan keteraturan susunan atom-atom penyusun lapisan tipis tersebut. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa struktur permukaan dari lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki butiran (*grain*) yang berbentuk lonjong dan memiliki permukaan yang homogen terlihat dari bentuk dan warna kristal yang seragam serta memiliki diameter rata-rata *grain*, $0,074 \mu\text{m}$. Berdasarkan hasil karakterisasi EDS, pada preparasi semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasarnya, yaitu unsur Sn = 51,87%, S = 28,41% dan Te = 19,72%. Perbandingan molaritas semikonduktor Sn : S : Te yaitu 1 : 0,55 : 0,38.

Kata kunci: lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$, semikonduktor, evaporasi vakum

**STUDY ON THE STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF
Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) THIN FILMS PREPARATION RESULTS BY VACUUM
EVAPORATION TECHNIQUE FOR SOLAR CELL APPLICATION**

By:
Mahmudah Setianingrum
NIM 12306141031

ABSTRACT

The research aimed to grow Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films by vacuum evaporation technique at substrate temperature variations, to know characterization of Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films as semiconductor materials that included characterization of the crystal structure, surface morphology and chemical composition.

The preparation process of Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films were done by using vacuum evaporation technique which worked at 7×10^{-5} mbar pressure with substrate temperature variations (250°C, 300°C and 350°C). These Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films were characterized by X-Ray Diffraction (XRD) to determine the crystal structure, Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine the surface morphology and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) to determine the chemical composition.

The result of XRD characterization showed that Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films were orthorhombic crystal structure. Lattice parameters of sample 1 (250°C substrate temperature) were $a = 4,30 \text{ \AA}$, $b = 10,4 \text{ \AA}$ and $c = 4,01 \text{ \AA}$, sample 2 (300°C substrate temperature) were $a = 4,29 \text{ \AA}$, $b = 11,9 \text{ \AA}$ and $c = 4,19 \text{ \AA}$ and sample 3 (350°C substrate temperature) were $a = 4,23 \text{ \AA}$, $b = 11,19 \text{ \AA}$, and $c = 4,03 \text{ \AA}$. The result of diffractograms showed that the substrate temperature variations caused the diversification of peak spectrum intensities which showed the regularity of atoms. The results of SEM characterization showed that the surface morphology of Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films consisted of oval grains and had homogeneous structure marked by the uniformity of shape and colour with about $0,074 \text{ \mu m}$ particle size. Based on the result of EDS characterization, Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films contained elements of Sn, S and Te with the chemical composition percentages were Sn = 51,87%, S = 28,41% and Te = 19,72%. So, the molarity comparisons of Sn : S : Te was 1 : 0,55 : 0,38.

Keywords: Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) thin films, semiconductor, vacuum evaporation

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Studi tentang Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum 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. Penyelesaian penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, arahan, dukungan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Rochmat Wahab, M.A. selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mengizinkan penulis menimba ilmu di UNY.
2. Bapak Dr. Hartono, M.Si. selaku Dekan FMIPA UNY beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin penelitian ini.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan semangat, dorongan, dan bimbingan secara intensif selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
6. Bapak Denny Darmawan, M.Sc. selaku Dosen Penasehat Akademik yang selalu memberikan nasehat dan dorongan selama perkuliahan.
7. Bapak Hartono, selaku asisten Laboratorium Material yang telah membantu penelitian ini.
8. Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan ilmu sehingga saya dapat menyelesaikan perkuliahan ini.

9. Kedua orang tua dan seluruh keluarga saya yang telah memberikan doa, kasih sayang, serta dukungan yang tak henti-hentinya.
10. Keluarga kecil dan teman seperjuangan, Fisika B 2012 yang saling mendukung dan menyemangati dalam perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir Skripsi ini. Semoga persahabatan kita tidak terhenti sampai di sini.
11. Semua pihak, secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan di sini atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Akhir kata, semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Demikian Tugas Akhir Skripsi ini penulis susun, besar harapan Tugas Akhir Skripsi ini bisa menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang berkepentingan.

Yogyakarta, 5 Desember 2016

Penulis,



Mahmudah Setianingrum

NIM. 12306141031

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6

A. Zat Padat.....	6
1. Struktur Kristal.....	7
2. Indeks Miller	9
B. Semikonduktor	11
1. Semikonduktor Intrinsik	13
2. Semikonduktor Ekstrinsik.....	16
C. Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_x\text{Te}_{1-x})$	22
1. SnS (<i>Stannum-Sulfur</i>)	22
2. SnTe (<i>Stannum-Tellurium</i>)	23
3. $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	23
D. Lapisan Tipis.....	24
E. Teknik Evaporasi Vakum.....	25
F. Karakterisasi Lapisan Tipis.....	30
1. Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	30
2. Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	38
3. Analisis <i>Energy Dispersive Spectroscopy</i> (EDS)	40
G. Sel Surya	41
H. Kerangka Berfikir.....	44
BAB III METODE PENELITIAN	46
A. Waktu dan Tempat Penelitian	46
1. Waktu Penelitian	46
2. Tempat Penelitian.....	46
B. Variabel Penelitian	46
1. Variabel Bebas	47

2. Variabel Terikat	47
3. Variabel Kontrol.....	47
C. Bahan dan Peralatan Penelitian.....	47
1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah	47
2. Peralatan Penelitian	47
D. Langkah Penelitian.....	50
1. Tahap Persiapan Bahan	50
2. Tahap Preparasi Bahan.....	51
3. Tahap Pengambilan Hasil Preparasi.....	52
E. Tahap Karakterisasi Bahan Hasil Preparasi	53
F. Teknik Analisis Data.....	54
G. Diagram Alir Tahap Penelitian	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
A. Preparasi Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	56
B. Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Hasil XRD	57
C. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Hasil (SEM)	62
D. Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis Hasil (EDS).....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	68
A. Kesimpulan	68
B. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais	8
Tabel 2. Hasil Preparasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	57
Tabel 3. Perbandingan Data XRD dan JCPDS Sampel 1	61
Tabel 4. Perbandingan Data XRD dan JCPDS Sampel 2	61
Tabel 5. Perbandingan Data XRD dan JCPDS Sampel 3	61
Tabel 6. Perbandingan Nilai Parameter Kisi XRD Dan JCPDS	62
Tabel 7. Perbandingan Molaritas Unsur Sn : S : Te.....	67

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Skema Susunan Atom	7
Gambar 2. Sumbu dan Sudut antar Sumbu Kristal	7
Gambar 3. Empat Belas Kisi Bravais.....	9
Gambar 4. Bidang Indeks Miller.....	10
Gambar 5. Struktur Energi Gap	12
Gambar 6. <i>Hole</i> yang Ditimbulkan dalam Valensi Empat.....	14
Gambar 7. Skema dari Fungsi Distribusi Fermi.....	15
Gambar 8. <i>Hole</i> dalam Orbit dari Ketidakmurnian Valensi Tiga	17
Gambar 9. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p	18
Gambar 10. Elektron dalam Atom Ketidakmurnian Bervalensi 5	19
Gambar 11. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n	20
Gambar 12. Daerah Kerja Pompa Vakum	28
Gambar 13. Hubungan antara Kerapatan Molekul terhadap Tekanan	30
Gambar 14. Diagram Tabung Sinar-X	32
Gambar 15. Skema Pembentukan Sinar-X Kontinyu	33
Gambar 16. Transisi Elektron dalam Sebuah Atom	34
Gambar 17. Spektrum Radiasi Sinar-X Molybdenum	34
Gambar 18. Sinar-X Karakteristik	35
Gambar 19. Skema Dasar XRD	36
Gambar 20. Difraksi Bragg	36
Gambar 21. Skema Perhitungan AB	37
Gambar 22. Skema Dasar SEM	39
Gambar 23. Skema Dasar EDS	40
Gambar 24. Skema Sel Surya	42
Gambar 25. Sistem Evaporasi Vakum	49
Gambar 26. Skema Penelitian	55
Gambar 27. Hasil Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	56
Gambar 28. Difaktogram XRD Lapisan Tipis Temperatur Substrat 250°C	58
Gambar 29. Difaktogram XRD Lapisan Tipis Temperatur Substrat 300°C	58
Gambar 30. Difaktogram XRD Lapisan Tipis Temperatur Substrat 350°C	59
Gambar 31. Hasil XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	59
Gambar 32. Foto Morfologi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	63
Gambar 33. Tabulasi Ukuran Grain Menggunakan Aplikasi Paint	64
Gambar 34. Grafik Hubungan antara Jumlah Partikel dan Ukuran Partikel.....	65
Gambar 35. Grafik antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDS	66

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Parameter Kisi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$	74
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan XRD	83
Lampiran 3. JCPDS SnS	86
Lampiran 4. JCPDS SnTe	87
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan EDS	88
Lampiran 6. Mengukur Rata-Rata Diameter Partikel	89
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	93

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pada era globalisasi saat ini, hampir seluruh penduduk di dunia menggunakan teknologi untuk memenuhi kebutuhan hidup. Perkembangan teknologi yang pesat dari tahun ketahun menyebabkan kebutuhan sumber energi semakin meningkat, salah satunya kebutuhan energi listrik. Pemanfaatan energi listrik tidak diimbangi dengan jumlah bahan bakar fosil sebagai bahan utama energi listrik. Berkurangnya cadangan sumber energi konvensional menyebabkan pembatasan pemakaian energi berbahan fosil. Krisis energi tersebut membuat manusia berusaha mencari energi alternatif yang bersifat terbarukan dan memberi dampak minimal pada lingkungan seperti energi matahari, energi air dan energi angin.

Salah satu sumber energi alternatif yang sedang dikembangkan saat ini adalah teknologi sel surya. Teknologi sel surya (*photovoltaic*) merupakan suatu teknologi untuk mengkonversikan secara langsung sinar matahari yang melimpah menjadi energi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor yang mempunyai sambungan p-n (*p-n junction*). Saat ini telah dikembangkan jenis sel surya berbahan lapisan tipis (*thin film*). Keunggulan sel surya berbahan lapisan tipis terletak pada dimensi yang jauh lebih tipis dan lebih ringan dibandingkan dengan sel surya Silikon yang padat dan berat. Jenis material yang banyak dikembangkan yaitu material CuInGaSe_2 (*Copper Indium-Galium Diselenide*) dan CdTe (*Cadmium Telluride*). Material tersebut memiliki

efisiensi 15%, lebih sedikit dari sel surya jenis silikon yang memiliki efisiensi 20% (Maehlum: 2013).

Pada penelitian ini, bahan material yang digunakan adalah $\text{Sn}(\text{S}_x\text{Te}_{1-x})$. Bahan semikonduktor ini merupakan paduan dari SnS dan SnTe. Berdasarkan Cheng (2012: 7), bahan SnS memiliki energi gap sebesar 1,5 eV, sedangkan bahan paduan SnTe memiliki energi gap sekitar 0,35 eV (Saini, 2010: 5). Pada penelitian ini, dipilih bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan perbandingan molaritas Sn : S : Te yaitu 1 : 0,6 : 0,4. Pemberian doping *Tellurium* (Te) pada SnS dilakukan karena unsur *Sulfur* (S) dan *Tellurium* (Te) berada pada kolom periodik yang sama dan diharapkan dapat menurunkan energi gap dari bahan SnS. Bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ diharapkan dapat menghasilkan energi gap pada rentang (0,35 - 1,5) eV dan dapat diaplikasikan sebagai sel surya.

Penelitian ini menggunakan metode teknik evaporasi vakum. Teknik evaporasi vakum merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Kelebihan dari teknik ini yaitu hasil preparasi yang dihasilkan lebih baik dan merata pada permukaan substrat sehingga hasil preparasi lebih tipis (Hasanah, 2015: 3). Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu tekanan pada saat pemvakuman, massa bahan, temperatur substrat dan *spacer* (jarak material sumber dengan substrat). Semakin rendah tekanan pada saat pemvakuman maka lapisan tipis yang dihasilkan akan semakin baik.

Parameter yang akan divariasi dalam penelitian ini yaitu temperatur substrat. Temperatur substrat saat proses evaporasi berperan dalam meregangkan susunan atom sehingga atom-atom yang menguap dari target lebih mudah masuk dan menempati posisi intersisi atau kekosongan pada batas butir untuk membentuk lapisan (Vlack: 2004). Hal ini akan menyebabkan atom-atom semakin kuat menempel pada substrat. Oleh karena itu, perlu diteliti pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ untuk mendapatkan kualitas lapisan tipis yang baik.

Untuk mengetahui karakteristik lapisan tipis yang terbentuk, maka perlu dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi kimia bahan secara kuantitatif.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Menipisnya sumber energi konvensional dari waktu ke waktu.
2. Pengembangan energi terbarukan yang sudah mendesak.
3. Belum adanya penelitian secara intensif untuk sel surya berbasis $\text{Sn}(\text{S},\text{Te})$.
4. Belum diketahuinya pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

5. Belum diketahuinya struktur kristal, parameter kisi, komposisi kimia, dan morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah dibatasi pada penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan teknik evaporasi vakum pada variasi temperatur substrat 250°C , 300°C dan 350°C . Karakterisasi XRD untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, karakterisasi SEM untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan karakterisasi EDS untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis yang terbentuk dari hasil preparasi.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
2. Bagaimana struktur dan parameter kisi kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
3. Bagaimana morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dihasilkan dari preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
4. Bagaimana komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Mengetahui struktur dan parameter kisi kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
3. Mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
4. Mengetahui komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan teknik evaporasi vakum.
2. Hasil dari penelitian dapat dijadikan informasi dan referensi untuk penelitian lanjutan bahan sel surya meliputi struktur kristal, parameter kisi, komposisi kimia, morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dan variasi temperatur substrat untuk menentukan kualitas lapisan tipis.
3. Hasil penelitian lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai bahan sel surya.

BAB II

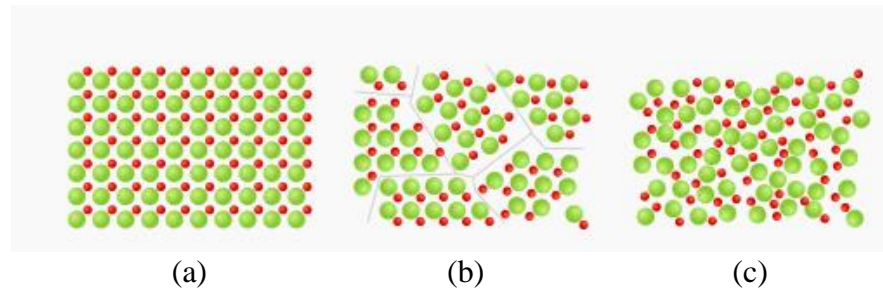
KAJIAN PUSTAKA

A. Zat Padat

Zat padat tersusun atas sejumlah besar atom-atom, ion-ion, atau molekul molekul yang sangat berdekatan dan memiliki bentuk yang utuh (berbentuk padatan). Sifat-sifat zat padat yaitu memiliki volume dan bentuk yang tetap, jarak antar partikel sangat rapat, gerak partikel tidak bebas dan gaya tarik partikel sangat kuat. Zat padat memiliki gaya tarik antar partikel yang sangat kuat, sehingga bentuk zat padat akan cenderung tidak berubah (tetap) apabila tidak ada gaya yang memengaruhinya.

Ditinjau dari strukturnya, zat padat dibagi menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal dan *amorf* (Smallman, 1999: 13). Kristal tunggal (*monocrystal*) merupakan zat padat yang atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi dan mempunyai periodisitas keteraturan yang panjang. Polikristal merupakan kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk suatu padatan atau kristal. Berbeda dengan monokristal dan polikristal, *amorf* memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom pada zat padat tidak dapat menempati kisinya dengan tepat (Utomo, 2014: 8). Gambar susunan dua-dimensional simetris dari tiga

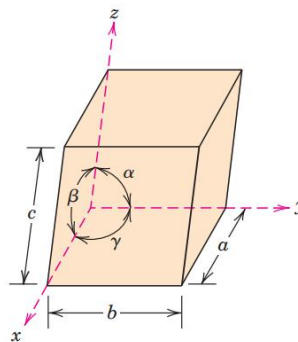
jenis atom yang berbeda yaitu monokristal, polikristal dan *amorf* ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Susunan Atom (a) Monokristal, (b) Polikristal dan (c) *Amorf*
(Wegener: 2015)

1. Struktur Kristal

Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara periodik berulang di dalam kisi ruang. Pada suatu sel satuan terdapat tiga buah sumbu yang disebut dengan sumbu kristalografik dan juga terdapat tiga sudut diantara sumbu-sumbu tersebut.



Gambar 2. Sumbu dan Sudut antar Sumbu Kristal
(Callister, 2007: 61)

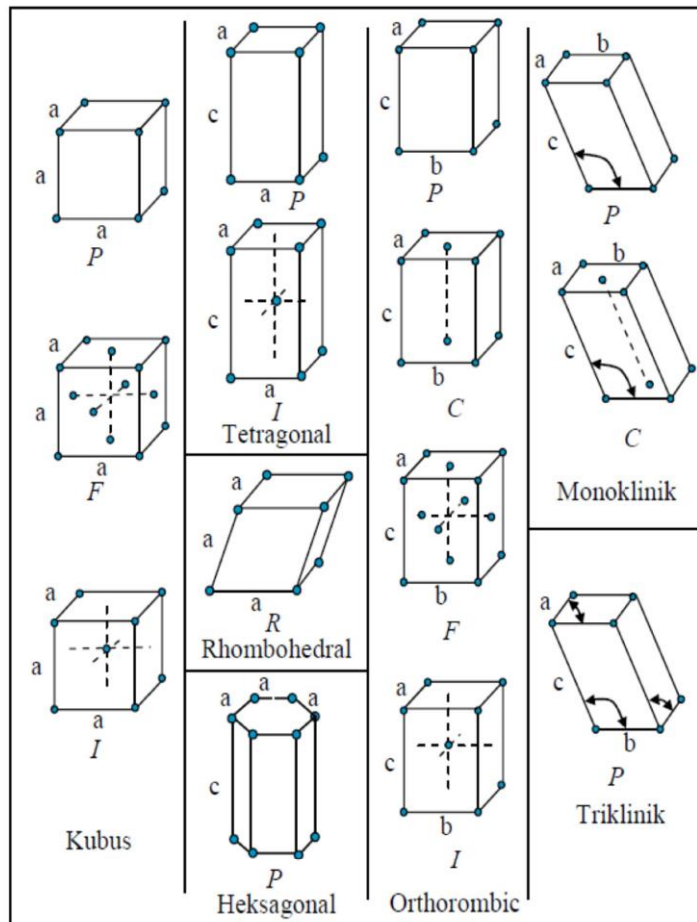
Pada Gambar 2, sumbu a , b dan c merupakan sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal sedangkan untuk α , β dan γ

merupakan sudut antara sumbu-sumbu kristal. Menurut Bravais (1848), berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang, kristal mempunyai 14 kisi, sedangkan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dan hubungan sudut satu dengan sudut lainnya, kristal dapat dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais

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

(Cullity, 1956: 31)



Gambar 3. Empat Belas Kisi Bravais
(Cullity, 1956: 32)

Pada Gambar 3, sel primitif diberi tanda huruf P (*primitif*); sel dengan simpul kisi dipusat bagian dalam unit sel diberi tanda I; sel dengan simpul kisi yang terletak pada pusat dua bidang sisi yang paralel diberi tanda C (*center*); sel dengan simpul kisi dipusat setiap bidang kisi diberi tanda F (*face*); huruf R menunjukkan sel primitif *rhombohedral*.

2. Indeks Miller

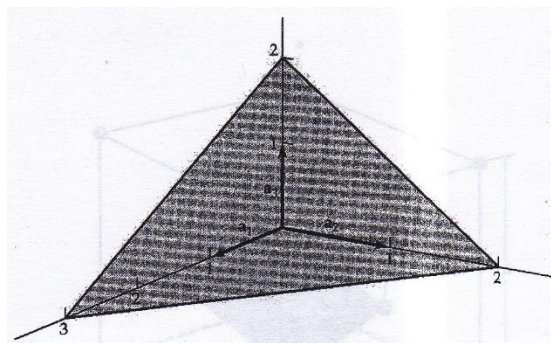
Suatu kristal mempunyai bidang-bidang atom yang memengaruhi sifat dan perilaku suatu bahan. Kelompok bidang tergantung pada sistem

kristal. Dua bidang atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama. Bidang tersebut sering disebut Indeks Miller. Indeks Miller merupakan kebalikan dari perpotongan suatu bidang dengan ketiga sumbu koordinat (x, y, z) dan dinyatakan dalam bidang utuh (bukan pecahan).

Berikut contoh menentukan Indeks Miller ($h \ k \ l$) berdasarkan Gambar 4. Bidang memotong sepanjang a_1, a_2, a_3 masing-masing pada x, y, z , didapatkan bilangan $\left(\frac{x}{a_1}, \frac{y}{a_2}, \frac{z}{a_3}\right)$. Indeks Miller didapatkan dengan menyatakan perangkat tiga bilangan terakhir sebagai perbandingan bilangan bulat terkecil dan dinyatakan dengan notasi berikut:

$$(h \ k \ l) = m \frac{x}{3a_1} m \frac{y}{2a_2} m \frac{z}{2a_3} \quad (1)$$

dengan m adalah bilangan bulat untuk mereduksi indeks menjadi bilangan bulat terkecil. Dengan demikian, kumpulan bidang paralel mempunyai representasi Indeks Miller yang sama. Berdasarkan Gambar 4, $x = 3a_1$, $y = 2a_2$, $z = 2a_3$. Jika $a_1 = a_2 = a_3 = 1$, maka bidang yang dimaksud memiliki Indeks Miller $(hkl) = (233)$ (Parno, 2006: 15).



Gambar 4. Bidang Indeks Miller
(Kittel, 2005:12)

B. Semikonduktor

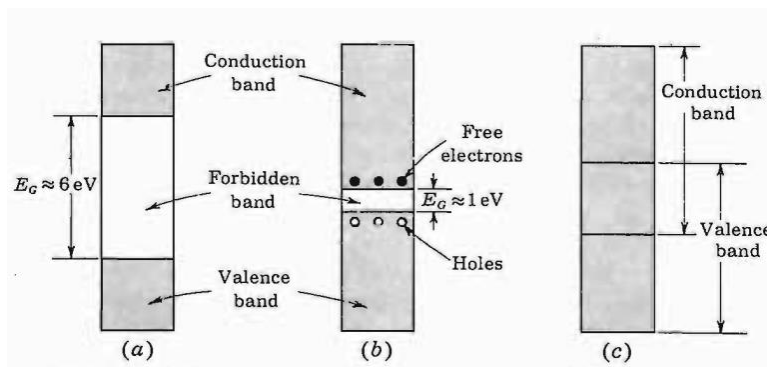
Suatu bahan berdasarkan konduktivitasnya dibedakan menjadi tiga macam, yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Bahan konduktor memiliki resistivitas listrik yang sangat kecil yaitu $10^{-5} \Omega\text{m}$, pada bahan isolator memiliki resistivitas antara $(10^{14} - 10^{22}) \Omega\text{m}$, dan bahan semikonduktor memiliki resistivitas antara $(10^{-2} - 10^9) \Omega\text{m}$ (Kittel, 2005: 187).

Pada konduktor, pita valensi dan pita konduksi saling bertumpangan. Sedangkan pada semikonduktor dan isolator, pita valensi dan pita konduksi tidak saling bertumpangan sehingga terdapat daerah kosong antara pita valensi dan pita konduksi yang dinamakan pita terlarang. Keberadaan pita terlarang memisahkan daerah pita valensi yang penuh dan pita konduksi yang kosong, mengakibatkan penghantaran arus listrik tidak dapat terjadi. Pita terlarang juga menunjukkan besarnya energi gap (E_g) yang dimiliki bahan (Milman, 1972: 16).

Energi gap yang dimiliki bahan konduktor sangat kecil bahkan pada beberapa logam, pita valensi dan pita konduksi saling tumpang tindih sehingga bisa dikatakan tidak terdapat energi gap. Konduktor memiliki struktur pita energi yang hanya sebagian yang berisi elektron. Pita energi tersebut berada pada pita konduksi. Medan listrik eksternal yang dikenakan pada suatu bahan konduktor akan memengaruhi elektron yang ada di dalamnya, sehingga memperoleh tambahan energi dan memasuki tingkat energi yang lebih tinggi.

Elektron tersebut adalah elektron bebas yang dapat menghantarkan arus listrik (Milman, 1972: 16). Contoh bahan konduktor yaitu besi, aluminium, tembaga, dll.

Energi gap pada bahan isolator cukup besar, sehingga elektron dari pita energi yang penuh tidak dapat melompat ke pita energi yang kosong. Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Energi gap isolator sekitar 6 eV, sehingga energi yang diperoleh dari medan listrik eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati energi gap tersebut dan penghantaran listrik tidak dapat berlangsung. Contoh bahan isolator adalah plastik, kaca, intan, dll.



Gambar 5. Struktur Energi Gap (a) Isolator, (b) Semikonduktor, (c) Konduktor (Milman, 1972: 16)

Energi gap bahan semikonduktor relatif kecil. Pada bahan semikonduktor struktur pita energinya hampir sama dengan bahan isolator, namun energi gap pada semikonduktor lebih kecil dibandingkan isolator seperti dilihat pada Gambar 5, energi gap semikonduktor sebesar 1 eV.

Semikonduktor merupakan bahan yang pita valensinya hampir penuh dan pita konduksinya hampir kosong dengan energi gap yang sangat kecil. Semikonduktor akan bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah (0 K), namun pada temperatur ruang atau suhu (> 0) K akan bersifat sebagai konduktor. Atom-atom bahan semikonduktor membentuk kristal dengan struktur tetrahedral dengan ikatan kovalen. Bahan semikonduktor yang banyak dipakai dalam elekttronika adalah Silikon (Si) dan Germanium (Ge).

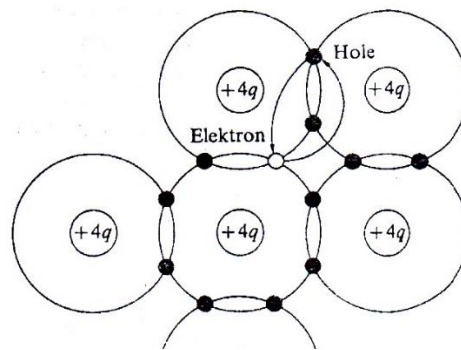
Pada saat energi termal diterima oleh elektron-elektron pada pita valensi, jika energi termal lebih besar atau sama dengan energi gap (E_g) maka elektron-elektron tersebut dapat melewati celah energi terlarang dan berpindah ke pita konduksi sebagai elektron hampir bebas. Kemudian elektron-elektron tersebut meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut lubang (*hole*). *Hole* pada pita valensi dan elektron yang hampir bebas pada pita konduksi itulah yang berperan sebagai penghantar arus pada semikonduktor, dengan *hole* merupakan pembawa muatan positif dan elektron merupakan pembawa muatan negatif (Hasanah, 2015)

Bahan semikonduktor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik merupakan suatu bahan semikonduktor yang terletak pada kolom IV tabel periodik yang mempunyai elektron valensi empat, contohnya Silikon dan Germanium. Struktur kristal Silikon dan Germanium berbentuk tetrahedral melalui ikatan kovalennya dengan

atom-atom tetangga terdekatnya. Pada Gambar 6, terlihat struktur ikatan kovalen Silikon dalam dua dimensi, dimana muatan intinya mempunyai muatan listrik yang sama dengan jumlah elektron valensi. Atom yang di tengah-tengah saling memberikan elektron-elektron kepada empat atom terdekat sehingga orbit terluar diisi sampai kapasitas penuhnya dengan delapan buah elektron. Ikatan tersebut dikenal dengan ikatan kovalen. Elektron-elektron yang terhubung bersama bertindak seperti perekat yang mengikat atom-atom menjadi satu (Reka Rio, 1982:10).



Gambar 6. *Hole* yang Ditimbulkan dalam Orbit dari Valensi Empat
(Reka Rio, 1982: 10)

Pada temperatur ruang, sejumlah elektron mempunyai energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Jika sebuah ikatan kovalen terputus, maka akan terjadi kekosongan. Daerah yang terjadi kekosongan memiliki kelebihan muatan positif, sedangkan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Kedua muatan ini yang akan memberikan adanya kontribusi aliran listrik pada semikonduktor intrinsik. Jika elektron valensi dari ikatan kovalen lain mengisi lubang

tersebut, maka akan terjadi lubang baru di tempat yang lain. Seolah-olah muatan positif bergerak dari lubang yang lama ke lubang yang baru (Reka Rio, 1982: 10).

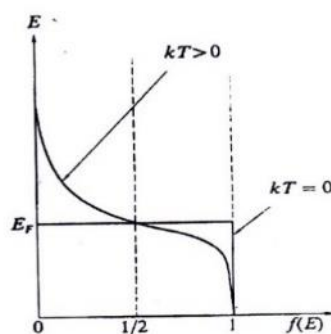
a. Distribusi Elektron pada Semikonduktor Intrinsik

Tingkat energi oleh elektron pada kesetimbangan ditentukan oleh fungsi distribusi Fermi-Diract. Fungsi ini merupakan probabilitas menemukan elektron pada tingkat energi E dan ditunjukkan pada persamaan

$$f(E) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - E_f}{kT}\right)} \quad (2)$$

dengan E_f adalah tingkat energi Fermi, k adalah konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ Jk}^{-1}$), T adalah suhu.

Gambar 7, menunjukkan fungsi $f(E)$ dari persamaan 2 terhadap E dalam temperatur $T = 0 \text{ K}$ dan $T > 0$. Apabila temperatur absolut sama dengan nol, $f(E) = 1$ dalam daerah $0 < E < E_f$. Dalam daerah ini semua keadaan diduduki elektron. Untuk $E > E_f$, $f(E) = 0$, semua keadaan di atas E_f adalah kosong. Bila temperatur naik, $f(E)$ berubah secara bertahap dalam daerah antara satu dan nol (Reka Rio, 1982: 31).



Gambar 7. Skema dari Fungsi Distribusi Fermi (Reka Rio, 1982: 31)

Konsentrasi pembawa muatan n diperoleh dengan melakukan integrasi berikut ini.

$$n = \int N(E)f(E)dE \quad (3)$$

dengan $N(E)$ adalah rapat keadaan yang besarnya sebagai berikut:

$$N(E) = 4\pi\left(\frac{2m_n}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} E^{1/2} \quad (4)$$

Pembawa muatan untuk elektron:

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) \text{ dengan } N_c = 2\left(\frac{2\pi kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

dengan N_c adalah konsentrasi keadaan efektif pada pita konduksi. E_c adalah energi pada pita konduksi sedangkan E_f adalah energi fermi.

Pembawa muatan untuk *hole*:

$$p = N_v \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right) \text{ dengan } N_v = 2\left(\frac{2\pi kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

dengan N_v adalah konsentrasi keadaan efektif pada pita valensi.

Untuk semikonduktor intrinsik maka $p = n = n_i$, dengan n_i merupakan densitas pembawa intrinsik, maka diperoleh energi fermi pada semikonduktor instrinsik sebagai berikut:

$$E_F = E_i = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_v}{N_c}\right) \quad (7)$$

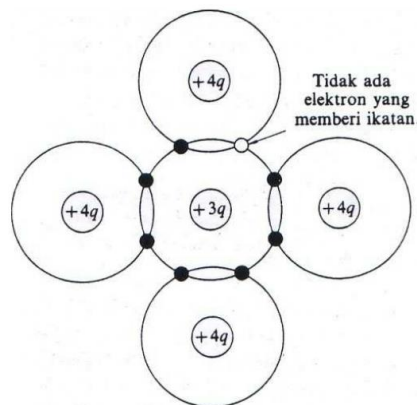
2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor tidak murni yang sifat kelistrikannya dikendalikan oleh sifat dan jumlah pengotor yang diberikan pada bahan (*doping*). Semikonduktor ekstrinsik terbentuk dengan memasukkan elektron atau *hole* yang berlebih (Parno, 2006: 139).

Berdasarkan jenis atom pengotor yang ditambahkan (*doping*), semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p.

a. Semikonduktor tipe-p

Semikonduktor tipe-p dapat dibuat dengan cara menambahkan sejumlah kecil atom pengotor *trivalen* pada semikonduktor tak murni. Atom-atom pengotor memiliki tiga elektron valensi sehingga secara efektif hanya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Saat sebuah atom *trivalen* menempati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan positif dari atom Silikon tidak berpasangan yang disebut *hole* seperti yang terlihat pada Gambar 18.

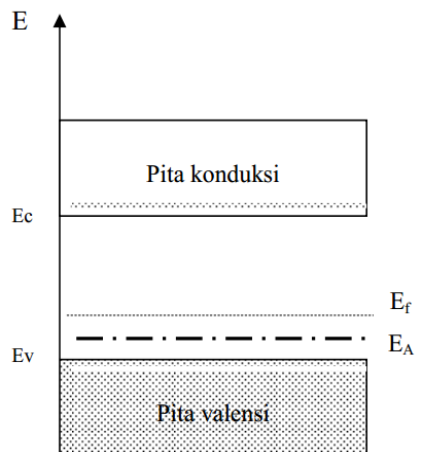


Gambar 8. *Hole* yang ditimbulkan dalam Orbit dari Ketidakmurnian Valensi Tiga
(Reka Rio, 1982: 13)

Material yang dihasilkan dari proses pengotoran tersebut menghasilkan pembawa muatan positif pada kristal yang netral. Atom pengotor menerima elektron dari pita valensi, maka atom pengotor ini disebut atom akseptor. Semikonduktor yang diberi *doping* dengan atom-

atom akseptor disebut semikonduktor tipe-p, dengan “p” adalah kependekan dari “positif” karena pembawa muatan positif jauh melebihi pembawa muatan negatif (Reka Rio, 1982:14).

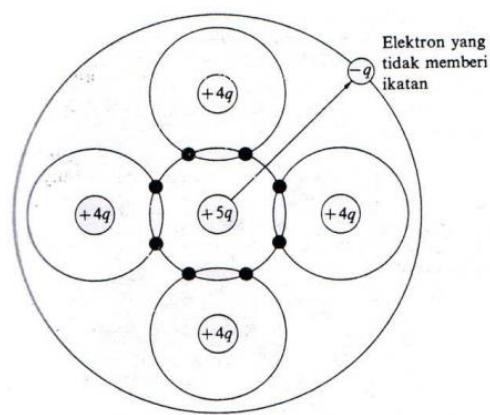
Di dalam semikonduktor tipe-p akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan yang letaknya sedikit di atas pita valensi yaitu energi akseptor (E_A) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 9. Energi Fermi (E_f) bergeser mendekati pita valensi karena munculnya tingkat energi akseptor. Karena energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali, maka *hole-hole* yang dibentuk oleh elektron-elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron pembawa minoritas di dalam pita konduksi. Semikonduktor tipe-p dihasilkan dari penambahan unsur-unsur dari golongan IIIB (B, Al, Ga dan In) pada unsur-unsur golongan IV (Ariswan, 2013).



Gambar 9. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p
(Ariswan, 2013)

b. Semikonduktor tipe-n

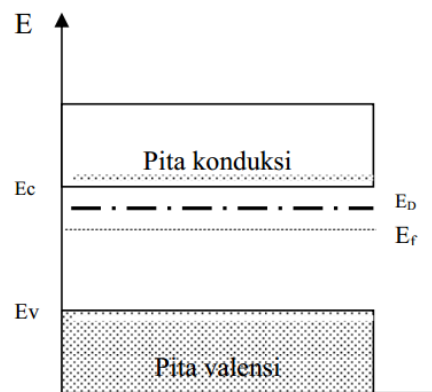
Semikonduktor tipe-n dapat dibuat dengan cara menambahkan atom-atom bervalensi 5 (*pentavalent*) ke dalam bahan semikonduktor murni yang mempunyai elektron valensi 4 (*tetravalent*). Semikonduktor ini terbentuk dengan menambahkan unsur-unsur golongan V (N, P, As dan Sb) pada golongan IV (Si, Ge, Sn dan Pb).



Gambar 10. Elektron dalam Atom Ketidakmurnian Bervalensi 5 Tidak Memberikan Ikatan (Reka Rio, 1982: 12)

Berdasarkan Gambar 10, empat dari lima elektron valensi akan mengisi ikatan kovalen dan tersisa sebuah elektron yang tidak berpasangan sehingga akan mudah terlepas dan dapat dinamakan sebagai pembawa muatan bebas. Material yang dihasilkan dari proses pengotoran ini adalah semikonduktor tipe-n karena menghasilkan pembawa muatan negatif dari kristal netral, karena atom pengotor tersebut memberikan elektron maka disebut atom donor (Reka Rio, 1982: 12).

Pada Gambar 11, tampak bahwa energi Fermi (E_f) mendekati pita konduksi karena adanya tingkat energi donor (E_D). Bila atom donor terionisasi, elektron bertransisi dari tingkat donor ke pita konduksi. Di sisi lain, transisi dari pita valensi tetap terjadi meskipun dalam intensitas yang kecil. Walaupun jumlahnya lebih sedikit, transisi ini menghasilkan *hole* pada pita valensi. Sedangkan pada pita konduksi terdapat elektron yang jumlahnya jauh lebih banyak. Dengan begitu, pembawa mayoritas pada semikonduktor tipe-n adalah elektron sedangkan *hole* merupakan pembawa minoritas (Ariswan, 2013).



Gambar 11. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n (Ariswan, 2013)

Perbedaan semikonduktor intrinsik dan semikonduktor tipe-n yaitu pada semikonduktor intrinsik, terbentuknya elektron bebas disertai lubang (*hole*) yang dapat bergerak sebagai pembawa muatan. Sedangkan pada semikonduktor tipe-n, terbentuknya elektron bebas tidak disertai lubang (*hole*) tetapi berbentuk ion positif yang tidak dapat bergerak.

c. Distribusi Pembawa Muatan pada Semikonduktor Ekstrinsik

Pada semikonduktor, banyaknya pembawa muatan elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi memiliki bentuk yang sama, sedangkan pada semikonduktor intrinsik kedua pembawa muatan berbeda tergantung tipe konduktivitasnya. Untuk semikonduktor tipe-p merupakan semikonduktor dengan pengotoran pada tingkat akseptor, pembawa mayoritasnya adalah *hole* dan tingkat energi Fermi bergeser menuju pita valensi oleh karena adanya tingkat energi akseptor (Ariswan, 2013:14).

Pada semikonduktor tipe-n mayoritas pembawanya adalah elektron dan tingkat energi fermi bergeser menuju pita konduksi karena adanya tingkat energi donor.

Energi Fermi untuk semikonduktor tipe-p:

$$E_F = \frac{E_v + E_A}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_A}{N_v}\right) \quad (8)$$

dengan E_v adalah energi pada pita valensi sedangkan E_A adalah energi akseptor, k adalah konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ Jk}^{-1}$), T adalah suhu. N_A adalah konsentrasi keadaan pada akseptor sedangkan N_c adalah konsentrasi keadaan pada pita valensi.

Energi Fermi untuk semikonduktor tipe-n:

$$E_F = \frac{E_c + E_D}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_D}{N_c}\right) \quad (9)$$

dengan E_c adalah energi pada pita konduksi sedangkan E_D adalah energi donorr. N_D adalah konsentrasi keadaan pada donor sedangkan N_c adalah konsentrasi keadaan pada pita konduksi.

C. Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_x\text{Te}_{1-x})$

1. SnS (*Stannum-Sulfur*)

Bahan SnS (*Stannum Sulfur*) merupakan bahan semikonduktor perpaduan dua unsur yaitu *Stannum* (Sn) dan *sulfur* (S). *Stannum* atau yang sering dikenal dengan nama Timah merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Sn di dalam tabel periodik unsur. Timah termasuk golongan IV A, memiliki nomor atom 50, massa atom relatif (*Ar*) 118,71 g/mol. Timah memiliki titik lebur sebesar $231,93^\circ\text{C}$ dan titik didihnya adalah 2602°C (Winter, 2014). Timah berwarna abu-abu keperakan, dan memiliki struktur kristalin serta mudah patah jika didinginkan. Semikonduktor berbahan dasar Sn dapat digunakan sebagai pencegah korosi untuk pelindung logam lain.

Sulfur atau yang sering dikenal dengan nama Belerang merupakan unsur kimia yang memiliki simbol S di dalam tabel periodik unsur. Belerang termasuk golongan VI A, memiliki nomor atom 16, massa atom relatif (*Ar*) 32,06 g/mol. Belerang memiliki titik lebur sebesar $115,21^\circ\text{C}$ dan titik didih belerang adalah $444,72^\circ\text{C}$ (Winter, 2014). Jenis belerang adalah non-metal, dalam bentuk aslinya adalah sebuah zat padat kristalin kuning. Semikonduktor berbahan dasar S dapat digunakan sebagai *fertilizer*, korek api dan insektisida.

Berdasarkan data standar JCPDS bahan SnS memiliki struktur *orthorombik* dengan parameter kisi $a = 4,33 \text{ \AA}$; $b = 11,2 \text{ \AA}$; $c = 3,99 \text{ \AA}$. Berdasarkan L.L Cheng (2012: 7), bahan SnS memiliki energi gap pada

rentang 1,5 eV. SnS memiliki titik lebur sebesar 880°C, titik didih *Stannum-Sulfur* yaitu 1210°C dan massa jenis 5080 kg/m³ (Winter, 2014). SnS memiliki warna hitam kecoklatan atau abu-abu. Banyak peneliti memilih bahan ini untuk diteliti karena bahan ini murah, tidak beracun, berlimpah di alam dan diharapkan mampu dikembangkan sebagai teknologi yang ramah lingkungan serta terjangkau oleh semua lapisan masyarakat. SnS cocok untuk diaplikasikan dalam sel surya, optoelektronik dan material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaiik (Tanusevski, 2003).

2. SnTe (*Stannum-Tellurium*)

SnTe (*Stannum-Tellurium*) merupakan bahan semikonduktor perpaduan dua unsur, yaitu *Stannum* (Sn) dan *Tellurium* (Te). *Tellurium* merupakan unsur kimia yang memiliki simbol Te di dalam tabel periodik unsur. *Tellurium* termasuk golongan VI A, memiliki nomor atom 52, massa atom relatif (*Ar*) 127,60 g/mol. Titik lebur *Tellurium* adalah 449,51°C dan titik didihnya adalah 988°C (Winter, 2014).

Bahan paduan SnTe memiliki energi gap sekitar 0,35 eV (Saini, 2010: 5). SnTe memiliki titik lebur 790°C dan massa jenis 6500 kg/m³. SnTe memiliki warna hitam abu-abu dan berbentuk kristal padat (Winter, 2014).

3. Sn(S_{0,6}Te_{0,4})

Paduan Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) merupakan bahan semikonduktor hasil paduan tiga unsur, yaitu Sn (golongan IV A), S dan Te (golongan VI A).

Bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ identik dengan bahan semikonduktor SnS dan SnTe, dengan sifat optik dan listrik diantara SnS dan SnTe. Pada bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan sel surya karena unsur komposisi *Sulfur* lebih dominan dibandingkan dengan unsur *Tellurium* dan SnS memiliki energi gap sebesar 1,5 eV.

D. Lapisan Tipis

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik (*organometallic*) dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer) yang memiliki sifat-sifat baik konduktor maupun semikonduktor. Aplikasi lapisan tipis saat ini menjangkau hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronika seperti kapasitor, transistor, fotodetektor, sel surya, rangkaian *hybrid* dan teknologi mikroelektronika yang meliputi bidang optik dalam pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kacamata pelindung cahaya, transmisi daya tinggi, maupun bidang mekanika seperti dalam pembuatan lapisan keras sebagai bahan pelindung terhadap keausan dan anti korosi.

Metode penumbuhan kristal dalam bentuk lapisan tipis secara garis besar ada dua teknik, yaitu *Physical Vapor Deposition (PVD)* dan *Chemical Vapor Deposition (CVD)*. Pada *Physical Vapor Deposition (PVD)* terdapat teknik-teknik meliputi *Vacuum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition*

(CSVD) dan *Sputtering* sedangkan pada *Chemical Vapor Deposition* (CVD) meliputi *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) dan *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD). Proses penumbuhan lapisan tipis melewati tiga tahapan, yaitu:

- a. Pembentukan jenis atom, molekul, atau ion.
- b. Transport jenis atom, molekul, atau ion.
- c. Kondensasi pada permukaan substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia untuk membentuk suatu deposisi padatan (Utomo, 2014).

Suhu substrat sangat berpengaruh pada proses penumbuhan lapisan tipis mengingat bahwa atom tidak dapat bergerak pada suhu 0 K atau suhu kamar. Ketika suhu dinaikkan, energinya akan meningkat sehingga akan menyebabkan atom-atom bergetar dan jarak antar atom akan melebar. Jarak atom yang melebar akan memungkinkan atom-atom bahan memiliki energi atau berada di atas energi ikatnya yang akan bergerak mendorong ikatannya dan melompat ke posisi baru kemudian mengakibatkan jumlah kekosongan meningkat dengan cepat secara eksponensial. Substrat yang memiliki suhu sesuai akan memungkinkan atom-atom lain menyusup lebih dalam diantara celah-celah atom (Vlack, 2004). Hal tersebut akan mengakibatkan atom-atom lain terikat dan semakin kuat menempel pada substrat.

E. Teknik Evaporasi Vakum

Teknik evaporasi vakum merupakan kelompok dari *Physical Vapor Deposition* (PVD). Teknik ini merupakan salah satu metode dalam

pendeposisian lapisan tipis dimana proses penumbuhannya dilakukan di ruang vakum (ruang hampa).

Teknik vakum evaporasi menggunakan prinsip *Joule*, dimana energi listrik diubah menjadi energi panas. Dalam sistem evaporasi, terdapat sumber pemanas yang dilewatkan arus cukup besar untuk membawa bahan material sumber ke suhu evaporasinya yaitu suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendesak keluar uap dari material sumber. Suhu substrat pada saat evaporasi berfungsi untuk merenggangkan susunan atom sehingga atom-atom yang menguap dari target akan lebih mudah masuk dan menempati posisi kekosongan pada substrat untuk membentuk suatu lapisan. Selanjutnya bahan yang telah dievaporasi bergerak meninggalkan sumber panas dalam bentuk gas. Arah gerakannya ke segala arah tergantung pada jenis sumber yang digunakan. Kemudian proses pelapisan yang terbentuk mengalami proses kondensasi pada setiap permukaan substrat yang ditimpa atom-atom (Mahmudi, 2000).

Kualitas lapisan tipis yang dihasilkan dari hasil preparasi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu :

- a. Kemurnian bahan yang akan dipreparasi. Semakin baik kemurnian bahan maka semakin baik pula struktur kristal yang akan terbentuk.
- b. Tekanan pada saat pemvakuman. Semakin rendah tekanan yang dihasilkan maka kualitas lapisan tipis akan semakin baik.
- c. Massa bahan.
- d. Temperatur substrat pada saat evaporasi.
- e. Jarak material sumber dengan substrat.

Pada teknik evaporasi, untuk mendapatkan pemvakuman dengan tingkat kehampaan tinggi membutuhkan dua atau tiga pompa. Pompa yang biasa digunakan adalah pompa vakum difusi dan pompa vakum rotari.

a. Pompa Vakum Difusi

Pompa vakum difusi bekerja jika tekanan vakum dalam sistem telah mencapai (5×10^{-9}) mbar. Pemompaan berlangsung dengan memberikan momentum ke arah jalan keluar dari molekul-molekul gas yang ada dalam sistem. Momentum ini diperoleh dari aliran cepat molekul-molekul uap karena pemanasan dari sumber pemanas. Cairan oli menguap dengan kecepatan dalam daerah supersonik, sehingga lebih cepat mendorong molekul-molekul gas keluar sistem (Soepardjo, 2004).

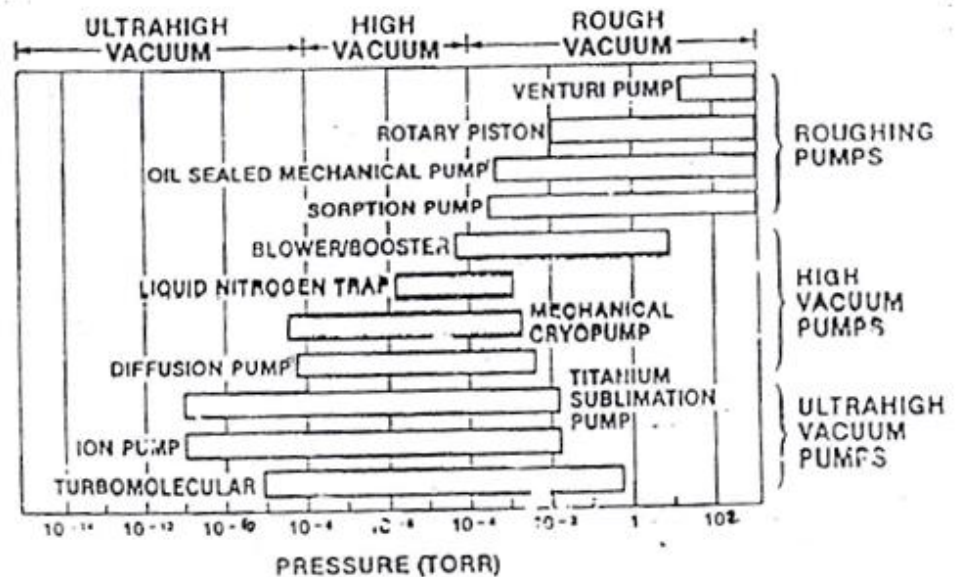
b. Pompa Vakum Rotari

Pompa vakum rotari digunakan untuk memacu kerja pompa difusi. Pompa vakum ini menggunakan prinsip destilasi (pemisahan). Prinsip utamanya terletak pada penurunan tekanan pada target sehingga pelarut dapat menguap lebih cepat di bawah titik didihnya dan dengan pemanasan di bawah titik pelarut, senyawa yang terkandung dalam pelarut tidak rusak oleh suhu tinggi.

Sebelum menggunakan pompa rotari untuk memvakumkan alat distilasi, penting meyakini bahwa zat-zat volatil yang ada dalam sistem hanya dalam jumlah yang kecil, lalu dihubungkan dengan aspirator air untuk mengeluarkan zat-zat volatil tersebut. Perangkat yang dingin dapat mengakumulasi zat-zat volatil dalam jumlah yang kecil tetapi tidak

aman untuk membiarkan zat-zat tersebut terakumulasi dalam perangkat air karena beresiko ledakan pada saat pengisian udara kembali di akhir destilasi. Setelah zat-zat volatil dikeluarkan dari sistem dengan menggunakan aspirator air, selanjutnya pemvakuman dilakukan dengan pompa vakum rotari (Firdaus, 2011: 11).

Suatu pompa dapat bekerja dengan baik jika bekerja sesuai dengan daerah kerjanya. Daerah kerja suatu pompa pada preparasi dengan metode evaporasi ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Daerah Kerja Pompa Vakum
(Na Peng Bo dan Ariswan, 2004: 18)

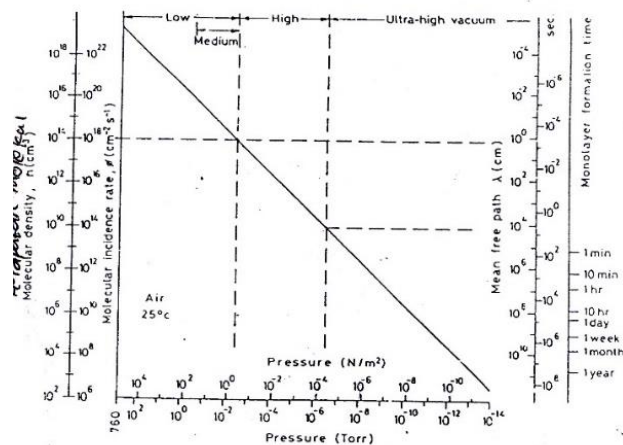
Menurut Milton Ohring (2002: 81), berdasarkan daerah kevakumannya pompa vakum dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu:

1. *Roughing pumps*, yaitu pompa yang dapat bekerja pada tekanan rendah yang berada pada tekanan ($1,33 - 1,33 \times 10^{-6}$) mbar. Pompa yang bekerja

pada tekanan ini yaitu : *rotary vane pump*, *root pump*, *sorption pump* dan lain lain.

2. *High vacuum pumps*, yaitu pompa yang bekerja pada vakum tinggi yang memiliki *range* pada tekanan udara dari ($1,33 \times 10^{-6} - 1,33 \times 10^{-14}$) mbar. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *oil diffusion pump*, *turbomolecular*, *cryopump* dan lain lain.
3. *Ultrahigh pumps*, yaitu jenis pompa yang mampu bekerja untuk vakum ultra tinggi yaitu pada tekanan udara lebih kecil dari ($1,33 \times 10^{-14}$) mbar. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *titanium sublimation* dan *ion pump*.

Avogadro menyimpulkan bahwa dalam volum yang sama, semua gas pada tekanan dan temperatur yang sama mengandung jumlah molekul yang sama pula. Jumlah molekul dalam 1 cm^3 dinyatakan sebagai densitas molekul, n . Jumlah molekul dalam 1 gram molekul didefinisikan sebagai bilangan Avogadro, $N_A = 6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Sedangkan gas 1 mol mempunyai volum 22,415 liter pada keadaan standar, yang artinya tekanan 1 atm pada temperatur 0°C . Maka jumlah 1 cm^3 pada tekanan dan temperatur normal ($P = 760 \text{ Torr}$, $T = 273,16\text{K}$), $n = 2,687 \times 10^{19} \text{ molekul/cm}^3$. Dapat terlihat bahwa kerapatan molekul cukup besar. Jika kita berhasil memompa sampai 10^{-12} torr , masih terdapat 10.000 molekul lebih dalam 1 cm^3 (Na Peng Bo dan Ariswan, 2004: 10). Berikut Gambar 13, menunjukkan hubungan antara tekanan dengan kerapatan molekul.



Gambar 13. Hubungan antara Kerapatan Molekul terhadap Tekanan (Na Peng Bo dan Ariswan, 2004: 10)

F. Karakterisasi Lapisan Tipis

Dalam penelitian ini, karakterisasi lapisan tipis dilakukan dengan tiga teknik, yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

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

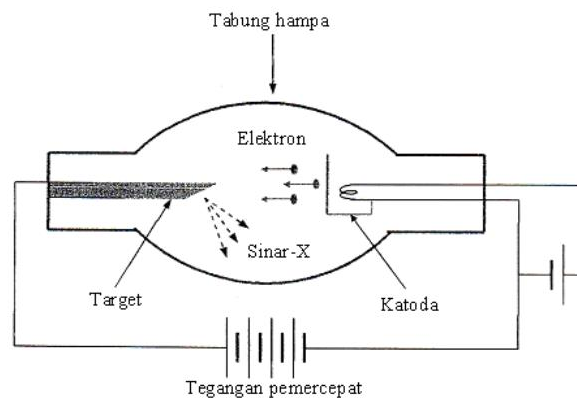
Karakterisasi menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) memegang peranan penting untuk menganalisis padatan kristalin, yaitu untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam suatu material serta untuk menganalisis sifat-sifat strukturnya. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan berbagai sudut yang timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan yang terbentuk dapat dibandingkan dengan *database* internasional (JCPDS).

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang lebih pendek dari panjang gelombang ultra ungu. Sinar-X mempunyai panjang gelombang (400-800) nm (Smallman, 1999: 145). Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal.

Prinsip kerja XRD adalah suatu berkas sinar-X monokromatis jika dilewatkan pada suatu bahan maka akan terjadi penyerapan dan penghamburan berkas sinar oleh atom-atom dalam bahan tersebut. Berkas sinar-X yang jatuh akan dihamburkan ke segala arah tetapi keteraturan letak atom-atom mengakibatkan pada arah tertentu gelombang hambur akan berinterferensi konstruktif (mengalami penguatan), sedangkan yang lainnya akan mengalami interferensi destruktif (saling menghilangkan). Namun karena interferensinya hanya sinar-sinar pantul sefase maka akan terdapat pantulan sinar-X ke arah tertentu saja. Pemantulan dan interferensi tersebut bergabung menjadi difraksi (Leng, 2013: 62).

Difraksi merupakan penyebaran atau pembelokan gelombang pada saat gelombang melewati penghalang. Sinar-X dapat dihasilkan dari tumbukan elektron dengan kecepatan tinggi mengenai bahan target. Alat untuk menghasilkan sinar-X harus terdiri dari beberapa komponen, yaitu

- a. Sumber elektron (katoda)
- b. Tegangan tinggi untuk mempercepat elektron
- c. Logam target (anoda)

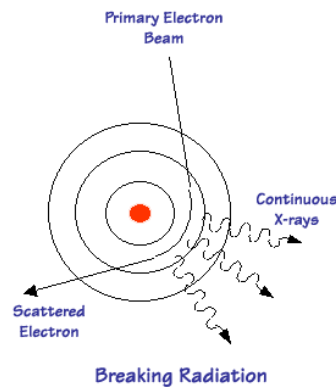


Gambar 14. Diagram Tabung Sinar-X
(Beiser, 1992: 62)

Berdasarkan Gambar 14, elektron diemisikan dari katoda dalam tabung vakum dan dipercepat oleh beda potensial tinggi, sehingga elektron memperoleh energi kinetik. Ketika elektron menabrak target (anoda) maka akan terjadi dua fenomena fisis yaitu sinar-X kontinyu dan sinar-X karakteristik. Hal ini dapat terjadi ketika pancaran elektron melaju dari katoda menuju target, sebagian elektron ada yang berinteraksi dengan medan energi pada inti atom target dan sebagian lagi ada yang berinteraksi dengan elektron pada tiap-tiap kulit atom target sehingga membentuk sinar-X kontinyu dan sinar-X karakteristik (Pecharsky, 2009: 7).

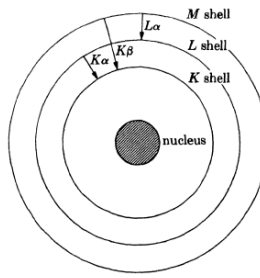
Sinar-X kontinyu (*bremstahlung*) memiliki rentang panjang gelombang yang lebar dan spektrum diskrit sesuai karakterisasi logam yang ditembak. Gambar 15 menunjukkan sinar-X kontinyu yang terjadi ketika elektron dengan energi kinetik berinteraksi dengan medan energi pada inti atom. Inti atom memiliki energi positif dan elektron memiliki energi negatif sehingga terjadi hubungan tarik-menarik antara inti atom dengan elektron. Ketika elektron cukup dekat dengan inti atom namun inti atom mempunyai

medan energi yang cukup besar untuk ditembus oleh elektron, maka medan energi pada inti atom akan melambatkan gerak elektron. Melambatnya gerak elektron akan menyebabkan elektron kehilangan energi dan berubah arah. Energi yang hilang dari elektron ini dikenal dengan Sinar-X *bremstahlung* (Nyairoh, 2015: 3).



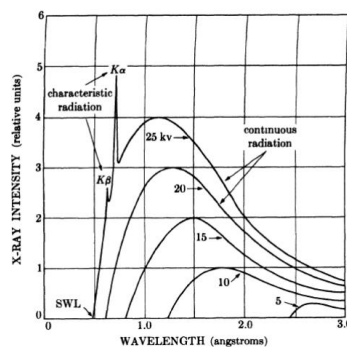
Gambar 15. Skema Pembentukan Sinar-X Kontinyu (Tough, 2001)

Sinar-X karakteristik terjadi ketika elektron yang terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam kulitnya dan kemudian akan diisi dengan elektron yang lain dari tingkat energi yang lebih tinggi. Pada saat transisi terjadi emisi radiasi sinar-X. Pada Gambar 16, sinar-X karakteristik terjadi karena elektron yang berada pada kulit K terionisasi sehingga terpental keluar. Kekosongan kulit K ini segera diisi oleh elektron dari kulit di luarnya. Jika kekosongan pada kulit K diisi oleh elektron dari kulit L, maka akan dipancarkan karakteristik sinar-X K_{α} . Jika kekosongan itu diisi oleh elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan karakteristik sinar-X K_{β} dan seterusnya (Cullity, 1956).



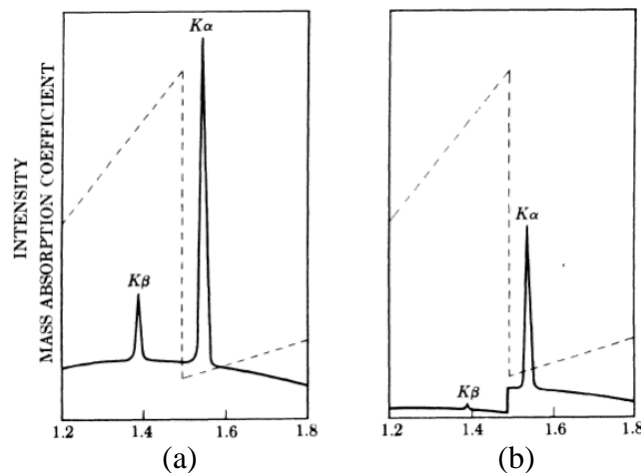
Gambar 16. Transisi Elektron dalam Sebuah Atom
(Cullity, 1956: 9)

Suatu berkas sinar-X monokromatik yang dilewatkan pada suatu bahan maka akan terjadi penyerapan (*absorb*) dan penghamburan (*scattering*) berkas sinar oleh atom-atom dalam bahan tersebut. Berkas sinar-X yang jatuh dihamburkan ke segala arah tetapi karena keteraturan letak atom-atom pada arah tertentu gelombang hambur akan mengalami interferensi konstruktif (mengalami penguatan), sedang yang lainnya akan mengalami interferensi destruktif (mengalami penghilangan). Berkas difraksi diperoleh dari berkas sinar-X yang mengalami interferensi konstruktif. Bragg menyatakan bahwa interferensi konstruktif hanya terjadi antar sinar terhambur dengan beda jarak lintasan tepat λ , 2λ , 3λ dan sebagainya (Beiser, 1992: 65).



Gambar 17. Spektrum Radiasi Sinar-X Molybdenum
(Leng, 2013: 49)

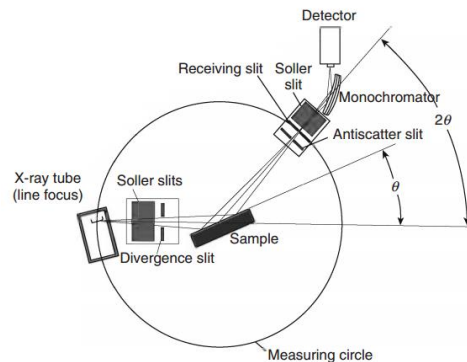
Berdasarkan Gambar 17, terlihat bahwa spektrum radiasi sinar-X terdapat lebih dari satu sinar-X karakteristik. Hal ini terjadi karena adanya transisi tingkat energi yang berbeda. Sinar-X monokromatik sangat dibutuhkan untuk menganalisis struktur kristal dari bahan paduan maka perlu dilakukan proses penyaringan (*filter*) yang sesuai dengan menggunakan logam bernomor atom lebih kecil dari target (Leng, 2013: 48). Pada Gambar 18 (a) menunjukkan spektrum sinar-X yang masih bersifat polikromatik yang diberi *filter*. Sedangkan pada Gambar 18 (b) menunjukkan sinar-X monokromatik setelah melalui tahap penyaringan dengan *filter*.



Gambar 18. Sinar-X karakteristik
(Leng, 2013: 51)

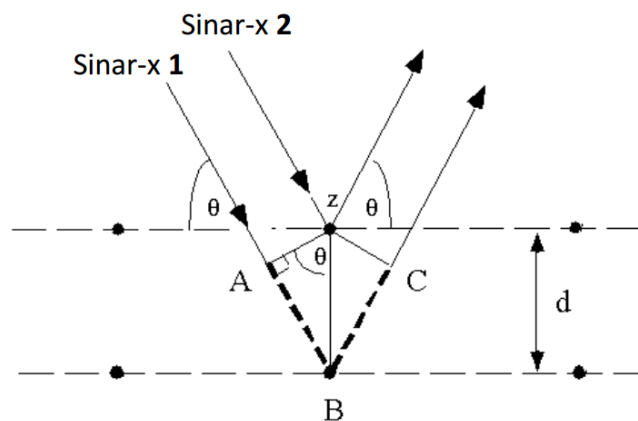
Rancangan skematik spektrometer sinar-X berdasarkan pada analisis Bragg ditunjukkan pada Gambar 19. Seberkas sinar-X terarah jatuh pada kristal dengan sudut θ dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburnya sebesar θ . Ketika θ diubah, detektor akan mencatat

puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde- n yang divisualisasikan dalam bentuk difaktogram.



Gambar 19. Skema Dasar XRD
(Leng, 2013: 62)

Pemantulan sinar-X oleh sekelompok bidang paralel dalam kristal merupakan gambaran dari difraksi atom-atom kristal, seperti terlihat pada Gambar 20. Arah difraksi ditentukan oleh geometri kisi yang sangat bergantung pada orientasi dan jarak antar bidang kristal.



Gambar 20. Difraksi Bragg
(Nayiroh, 2015)

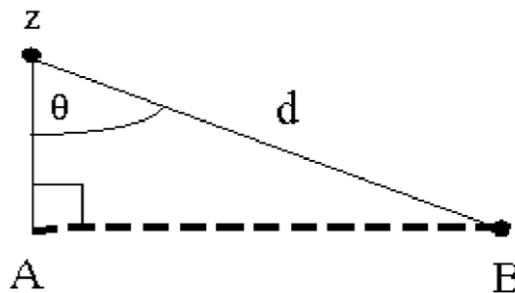
Berdasarkan Gambar 20, seberkas sinar-X mengenai atom B pada bidang pertama dan z pada bidang berikutnya. Jarak antara bidang z dengan

bidang B adalah d , sedangkan θ adalah sudut difraksi. Berkas-berkas tersebut mempunyai panjang gelombang λ , dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak d dan sudut θ . Agar mengalami interferensi konstruktif, kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak $n\lambda$, dimana n adalah bilangan bulat (1,2,3...). Beda jarak antara kedua berkas dapat dituliskan dengan persamaan (10):

$$n\lambda = AB + BC$$

$$n\lambda = 2AB \quad (10)$$

karena $\triangle ABZ = \triangle BCZ$, maka $AB = BC$, maka panjang AB dapat diketahui dengan menggunakan prinsip *pythagoras* pada salah satu segitiga. Dipilih $\triangle ABZ$, maka panjang AB dapat dihitung menggunakan prinsip *pythagoras* berikut :



Gambar 21. Skema Perhitungan AB
(Nayiroh, 2015)

Berdasarkan Gambar 21, maka

$$\sin \theta = \frac{AB}{d}$$

$$AB = d \sin \theta \quad (11)$$

Persamaan (10) dimasukkan dalam persamaan (11), maka didapatkan persamaan:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (12)$$

Misalkan $n = 1$ dan kedua ruas dikuadratkan maka diperoleh:

$$\lambda^2 = 4d^2 \sin^2 \theta$$

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4d^2} \quad (13)$$

Persamaan (12) dikenal dengan hukum Bragg. Lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki struktur kristal *orthorombik*. Jarak antar bidang *orthorombik* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (14)$$

Mensubstitusikan persamaan (14) ke persamaan (13):

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad (15)$$

$$\text{Misal : } A = \frac{\lambda^2}{4a^2} ; B = \frac{\lambda^2}{4b^2} ; C = \frac{\lambda^2}{4c^2} \quad (16)$$

Sehingga dapat ditulis menjadi:

$$\sin^2 \theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2 \quad (17)$$

Jadi, parameter kisi a, b, c dapat ditulis

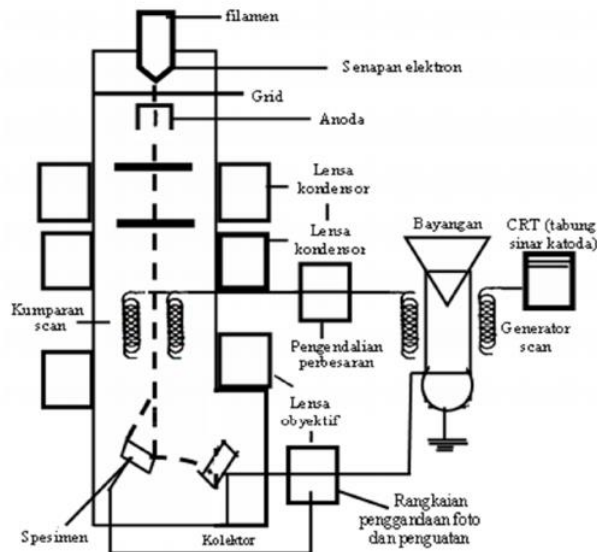
$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}}; b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}; c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}}; \quad (18)$$

2. Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan alat untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Pengamatan morfologi permukaan dari hasil SEM dapat dilihat dalam bentuk tiga dimensi yang berupa citra atau foto. Material yang akan diteliti

menggunakan SEM yang dapat diperbesar antara (1.000-40.000) kali pembesaran.

Sumber elektron dari filamen yang terbuat dari *tungsten* memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi maka akan dihasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan bahan ditangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik ini diperkuat oleh penguat (*amplifier*) yang kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT). Gambar 22 merupakan skema dari SEM (Smallman dan Bishop, 1999: 144).

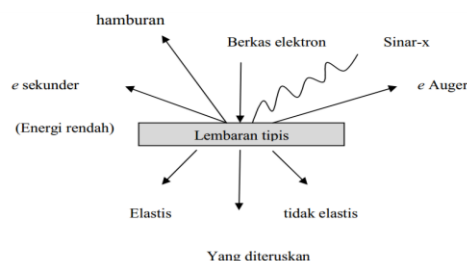


Gambar 22. Skema Dasar SEM
(Smallman dan Bishop, 1999: 144)

3. Analisis *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

EDS merupakan alat yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu bahan. Sistem analisis EDS bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM menggunakan akselerasi 25 KeV dan ukuran berkas elektron (100-200) nm. Prinsip kerja EDS yaitu ketika elektron berinteraksi dengan bahan, maka elektron tersebut sebagian akan dihamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan menembus bahan (*specimen*). Elektron yang dihamburkan akan mengelilingi inti atom bahan. Elektron tersebut akan terpental keluar dari sistem sehingga terjadi kekosongan yang akan diisi oleh elektron dari kulit yang diluarnya (Utomo, 2015)

Elektron yang di luar memiliki energi lebih besar, sehingga pada waktu berpindah orbit ke energi yang lebih rendah akan melepaskan energi dalam bentuk foton yang dikenal sebagai sinar-X dan juga elektron *auger* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23. Elektron *auger* adalah elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah.



Gambar 23. Skema Dasar EDS
(Smallman dan Bishop, 1999: 151)

Selanjutnya, sinar-X yang dipancarkan dapat dideteksi dengan detektor zat padat yang dapat menghasilkan spektrum energi sinar-X. Spektrum tersebut merupakan hasil penembakan berkas elektron pada target (bahan) yang menyebabkan atom-atom pada bahan mengalami eksitasi dan ionisasi sehingga atom-atom pada target tidak stabil.

Hasil dari EDS berupa spektrum *Energy-Dispersive* yang disajikan dalam bentuk histogram dimana sumbu horizontal mempresentasikan energi dan sumbu vertikal menunjukkan intensitas. Puncak energi pada histogram menunjukkan intensitas atom pada unsur tertentu, sehingga semakin tinggi spektrum pada suatu puncak energi, maka semakin tinggi konsentrasi unsur tersebut pada sampel (Vaughan, 1999: 33).

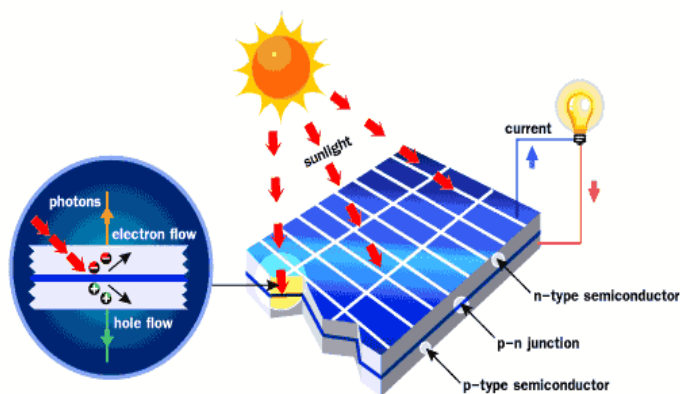
G. Sel Surya

Panel surya merupakan alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron *hole*. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang ditimbulkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai.

Sel surya yang digunakan saat ini sebagian besar terbuat dari Silikon. Persentase penggunaan bahan sel surya adalah 43% Silikon polikristal, 39% Silikon kristal tunggal, 1% Silikon lapisan tipis, 3% Silikon dalam bentuk *ribbon* sedangkan 14% bahan selain Silikon. Beberapa

penelitian dalam tingkat sel surya yang telah dihasilkan misalnya GaAs dengan efisiensi mencapai 25%, Cu(Ga,In)Se memberikan efisiensi 18,8% dan apabila menggunakan konsentrator mencapai 21,5% (Ariswan, 2010: 8).

Prinsip kerja sel surya adalah berdasarkan konsep semikonduktor *p-n junction*. Pada sel surya terdapat *junction* antara dua lapisan yang terbuat dari bahan semikonduktor masing-masing diketahui sebagai semikonduktor jenis *p* (positif) dan semikonduktor jenis *n* (negatif). Struktur sel surya dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Skema Sel Surya
(<http://trebuchetmagazine.com/wpcontent/uploads/2013/02/solar-cells.jpg>)

Proses penghasilan energi listrik terjadi jika pemutusan ikatan elektron pada atom-atom yang tersusun dalam kristal semikonduktor diberikan sejumlah energi. Salah satu bahan semikonduktor yang biasa digunakan sebagai sel surya adalah Silikon.

Ketika suatu kristal Silikon ditambahkan dengan unsur golongan kelima (arsen), maka atom-atom itu akan menempati ruang diantara atom-

atom Silikon yang mengakibatkan munculnya elektron bebas pada material campuran tersebut. Elektron bebas tersebut berasal dari kelebihan elektron yang dimiliki arsen terhadap lingkungan sekitarnya, dalam hal ini Silikon. Semikonduktor jenis ini kemudian diberi nama semikonduktor tipe-n.

Jika kristal Silikon ditambahkan oleh unsur golongan ketiga, misalnya Boron, maka kurangnya elektron valensi Boron dibandingkan dengan Silikon mengakibatkan munculnya *hole* yang bermuatan positif pada semikonduktor tersebut. Semikonduktor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Adanya tambahan pembawa muatan tersebut mengakibatkan semikonduktor ini akan lebih banyak menghasilkan pembawa muatan ketika diberikan sejumlah energi tertentu, baik pada semikonduktor tipe-p maupun tipe-n.

Ketika semikonduktor tipe-p dan tipe-n disambungkan maka akan terjadi difusi *hole* dari tipe-p menuju tipe-n dan difusi elektron dari tipe-n menuju tipe-p. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah positif pada batas tipe-n dan daerah negatif pada batas tipe-p. Adanya perbedaan muatan pada sambungan p-n disebut dengan daerah deplesi yang akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*. Arus *drift* yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut (Wibowo, 2008).

Elektron merupakan partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Adanya medan listrik pada elektron dapat mengakibatkan elektron bergerak. Prinsip inilah yang bekerja pada sel surya sambungan p-n, yaitu dengan menghasilkan medan listrik pada sambungan p-n agar elektron dapat mengalir akibat kehadiran medan listrik tersebut. Ketika *junction* disinari, *photon* yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron *hole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir (Wibowo, 2008).

H. Kerangka Berfikir

Metode yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yaitu teknik evaporasi vakum. Teknik evaporasi vakum merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu tekanan pada saat pemvakuman, massa bahan, temperatur substrat dan *spacer* (jarak material sumber dengan substrat). Semakin rendah tekanan pada saat pemvakuman maka lapisan tipis yang dihasilkan akan semakin baik.

Temperatur substrat akan mempengaruhi tingkat kristalinitas $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang berhubungan dengan struktur kristal. Suhu sangat berpengaruh pada proses preparasi karena atom-atom tidak bergerak pada suhu 0 K. Pada temperatur yang sangat tinggi, kristal dapat tumbuh dengan cepat, namun cacat kristal yang terbentuk juga akan banyak. Bila suhu dinaikkan maka energinya akan meningkat sehingga akan menyebabkan atom-atom bergetar dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar. Jarak antar atom yang lebih besar akan memungkinkan atom-atom yang memiliki energi tinggi atau berada di atas energi ikatnya akan bergerak mendobrak ikatannya dan melompat ke posisi yang baru kemudian akan mengakibatkan jumlah kekosongan meningkat dengan cepat. Pada suhu tinggi memungkinkan atom-atom asing menyusup lebih dalam di antara celah-celah atom. Hal ini akan menyebabkan atom-atom asing terikat dan semakin kuat menempel pada bahan, sehingga kristal yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang baik (Vlack, 2004).

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

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Januari 2016 sampai dengan Mei 2016.

2. Tempat Penelitian

- a. Preparasi penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ menggunakan teknik evaporasi vakum dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Karakterisasi lapisan tipis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi lapisan tipis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.
- d. Karakterisasi lapisan tipis menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi kimia dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas
 - a. Temperatur substrat.
2. Variabel Terikat
 - a. Struktur kristal.
 - b. Parameter kisi kristal.
 - c. Morfologi permukaan kristal.
 - d. Komposisi kristal.
3. Variabel Kontrol
 - a. Massa bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$, yaitu 0,25 gram.
 - b. Waktu evaporasi yaitu ± 2 jam.
 - c. Spacer, yaitu 15 cm.
 - d. Tekanan vakum, yaitu 7×10^{-5} mbar.

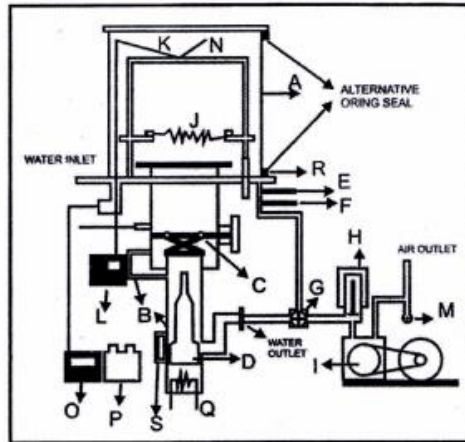
C. Bahan dan Peralatan Penelitian

1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah
 - a. Serbuk Sn, S dan Te.
 - b. Substrat kaca dengan ketebalan 1 mm.
 - c. Pembersih (air, sabun, alkohol dan tisu).
2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat penelitian dan perangkat karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terdiri dari :

- a. Perangkat preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan teknik vakum evaporasi, yaitu:
- 1) Sistem evaporator, merupakan alat utama yang digunakan untuk preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.
 - 2) Pompa vakum. Terdiri dari pompa rotari sekat untuk melakukan pemvakuman suatu ruangan dan pompa difusi untuk pemvakuman pada tekanan yang lebih rendah dibandingkan kerja pompa rotari sekat.
 - 3) Pemanas substrat. Di dalam sistem evaporasi terdapat *slide regulator* yang merupakan pengatur tegangan sebagai pemanas substrat.
 - 4) Manometer *penning*, alat ini digunakan untuk mengetahui tekanan pada ruang vakum pada saat proses evaporasi.
 - 5) Termokopel, alat ini digunakan untuk menunjukkan suhu substrat yang dipreparasi.
 - 6) Alat pemanas (*furnace*), alat ini digunakan untuk memanaskan kaca substrat.
 - 7) Timbangan digital, alat ini digunakan untuk menimbang massa bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan massa yang dikehendaki.
 - 8) Multimeter digital, alat ini digunakan untuk mengukur tegangan pada saat pemanasan substrat.
 - 9) *Stopwatch*, alat ini digunakan untuk mencatat waktu yang dikehendaki dalam pembacaan suhu saat evaporasi berlangsung.

Gambar skema sistem evaporasi vakum sebagai berikut:



Gambar 25. Sistem Evaporasi Vakum
(Triyo, 2013: 49)

Keterangan gambar:

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| a. <i>Coating chamber</i> | k. Kabel penghubung |
| b. Pompa pendingin | l. Termokopel |
| c. Katup pemisah | m. Perangkat uap |
| d. Pompa difusi | n. Pemanas substrat |
| e. Katup udara buang | o. Manometer <i>penning</i> |
| f. Katup pengontrol | p. Pompa air |
| g. Katup dua arah | q. Filamen difusi |
| h. Katup pemisah pompa | r. <i>Rubber socket</i> |
| i. Pompa rotari sekat | s. <i>Thermostat</i> |
| j. Filamen | |

- b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$, yaitu :
- 1) *X-Ray Diffraction* (XRD), digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dan parameter kisi pada bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.
 - 2) *Scanning Electron Microscopy* (SEM), digunakan untuk mengetahui struktur morfologi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk.
 - 3) *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), digunakan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk.

D. Langkah Penelitian

Langkah penelitian dapat dibagi menjadi empat tahap, yaitu:

1. Tahap Persiapan Bahan
 - a. Mempersiapkan bahan yang akan dipreparasi yaitu $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.
 - b. Membersihkan kaca preparat dengan menggunakan detergen dan alkohol.
 - c. Memanaskan kaca preparat ke dalam *furnace* pada suhu 100°C .
 - d. Menimbang bahan yang akan dipreparasi menggunakan timbangan digital dengan massa 0,25 gram.
 - e. Membuka *chamber* pada sistem evaporator kemudian memasukkan bahan yang akan dipreparasi ke dalam *crucible* yang telah dipasang.
 - f. Memasang *spacer* dengan jarak yang diinginkan.

- g. Meletakkan kaca preparat pada *holder*.
 - h. Memasang pemanas substrat.
 - i. Menghubungkan kabel dari *slide regulator* ke pemanas substrat.
 - j. Menutup kembali *chamber* serapat mungkin.
2. Tahap Preparasi Bahan
- a. Menghidupkan pompa rotari (pompa primer) kemudian menggeser katup pertama pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit.
 - b. Menghidupkan pompa difusi (pompa sekunder) dengan mengatur *slide regulator* pada tegangan 210 volt dan menunggu selama 30 menit.
 - c. Menggeser katup dari posisis *rough valve system* ke posisi *back valve system* selama 10 menit.
 - d. Membuka katup ketiga (*bypass valve system*) selama 10 menit. Kemudian katup digeser ke posisi semula, yaitu *rough valve system*
 - e. Menghidupkan manometer *penning* dan mengamati tekanannya.
 - f. Memanaskan pemanas substrat dengan cara menghidupkan dan mengatur *slide regulator* untuk memperoleh suhu pemanas substrat yang akan divariasi (250°C, 300°C dan 350°C).
 - g. Setelah mendapatkan nilai tekanan yang stabil maka evaporasi dapat dilaksanakan.
 - h. Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* sehingga bahan yang terpasang pada *crusible* habis menguap.

- i. Setelah proses evaporasi selesai, mengatur *slide regulator* pada posisi nol lalu dimatikan, kemudian mematikan termokopel.
 - j. Menutup katup ketiga atau *bypass valve* ke posisi F dari posisi nol lalu memutar *slide regulator* pada posisi nol kemudian mematkannya.
 - k. Mematikan *manometer penning* dan menunggu selama 45 menit sampai pompa difusi mendingin.
 - l. Setelah pompa difusi mendingin lalu menggeser katup pada posisi *stop*.
 - m. Mematikan pompa rotari sekat dan pompa air.
 - n. Tahap preparasi telah selesai.
 - o. Melakukan kembali langkah poin (a) sampai (n) dengan variasi suhu pemanas substrat 300°C dan 350°C.
3. Tahap Pengambilan Hasil Preparasi
- a. Membuka dan mengendorkan pentil pentil sehingga tekanan udara dalam pentil menjadi normal.
 - b. Membuka penutup *chamber* dan melepaskan *chamber* dari dudukannya.
 - c. Melepaskan kabel yang terhubung ke pemanas substrat dan mengambil pemanas substrat tersebut.
 - d. Melepaskan *holder*.
 - e. Mengambil hasil preparasi lapisan tipis dan memasukkannya ke dalam wadah tertutup agar tidak terjadi oksidasi pada hasil preparasi lapisan tipis tersebut.
 - f. Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan pentilnya.

E. Tahap Karakterisasi Bahan Hasil Preparasi

1. Karakterisasi XRD

Alat yang digunakan adalah mesin XRD bermerk Miniflex 600 Rigaku dengan tabung Cu yang menghasilkan sinar-X dengan panjang gelombang 1,54060 Å. XRD digunakan untuk mengetahui struktur lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dihasilkan melalui metode evaporasi vakum. Proses karakterisasi menggunakan XRD sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi.
- b. Memasang sampel pada *specimen chamber* mesin XRD dan mencetak hasil yang diperoleh.
- c. Menganalisis data yang diperoleh dari XRD.

2. Karakterisasi SEM dan EDS

SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dihasilkan melalui metode evaporasi vakum dan diperoleh hasil data yang berupa citra atau foto. Sedangkan EDS digunakan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dihasilkan dan diperoleh data berupa spektrum. Proses karakterisasi menggunakan SEM dan EDS adalah sebagai berikut:

- a. Memotong sampel hasil preparasi, lalu menempelkan sampel yang sudah dipotong pada tempat sampel dan merekatkannya dengan menggunakan lem konduktif.
- b. Memanaskan sampel dengan menggunakan *water heater* untuk mengeringkan lem konduktifnya.

- c. Membersihkan sampel dari debu yang menempel dengan menggunakan *hand blower*.
- d. Memasukkan sampel ke dalam *specimen chamber* pada mesin SEM dan EDS untuk dikarakterisasi.
- e. Melakukan pengamatan dan pemotretan pada titik yang diinginkan, lalu menyimpan datanya dalam sebuah *file*.

F. Teknik Analisis Data

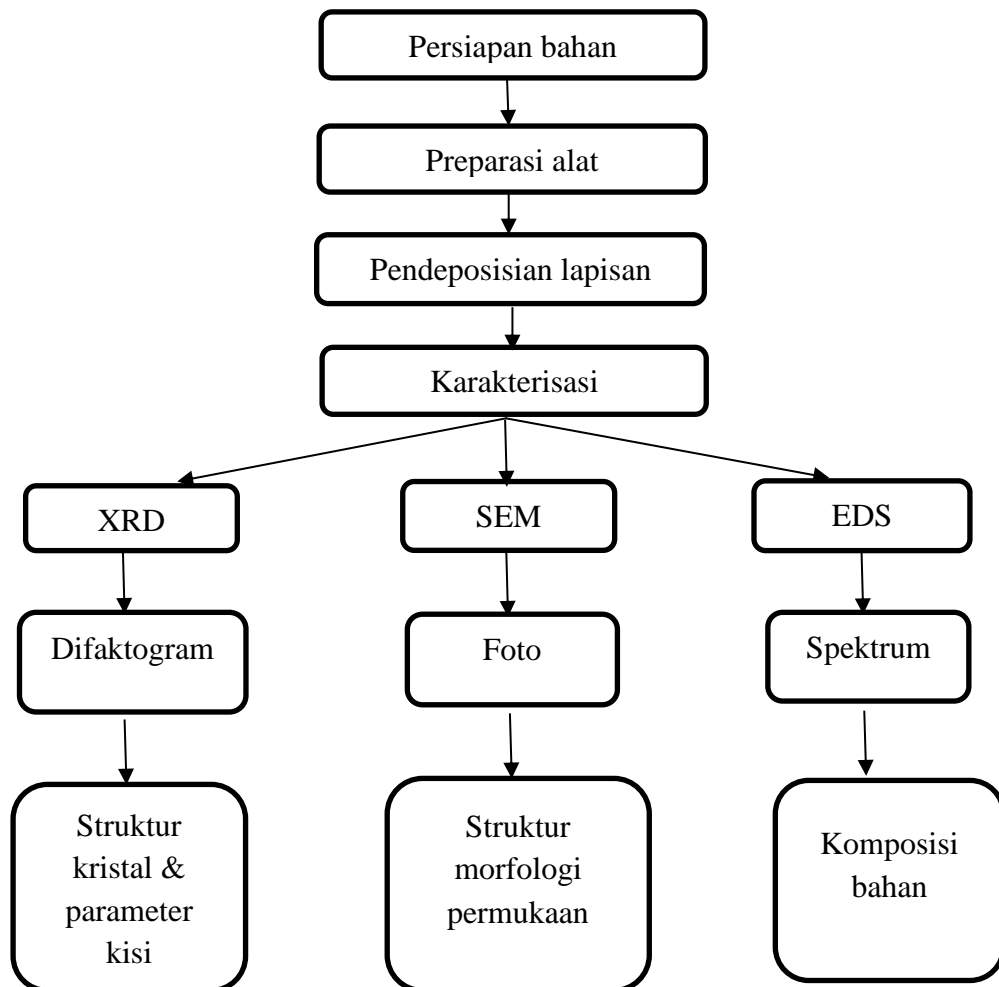
Hasil karakterisasi XRD yang diperoleh berupa difraktogram. Difraktogram tersebut menunjukkan hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi (2θ). Hasil tersebut dapat dibandingkan dengan data standar dari *database JCPDS (Joint Committee Powder Diffraction Standard)* sehingga akan diperoleh bidang-bidang *hkl* dari sampel. Nilai parameter kisi *a, b, c* dapat dihitung dengan metode analitik. Hasil difraktogram dan parameter kisi ketiga sampel dapat dibandingkan untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur substrat yang divariasi terhadap struktur kristal dan parameter kisi yang terbentuk.

Lapisan tipis yang memiliki struktur kristal yang terbaik akan dikarakterisasi menggunakan SEM dan EDS. Data yang diperoleh dari karakterisasi SEM berupa citra atau foto morfologi permukaan lapisan tipis yang terbentuk. Dari hasil foto tersebut dapat diamati bentuk dan ukuran butiran-butiran (*grain*) melalui berbagai besaran. Homogenitas permukaan sampel juga dapat terlihat pada foto. Sedangkan data dari hasil karakterisasi

EDS berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas terhadap energi. Dari hasil spektrum akan diketahui jenis unsur yang terkandung dalam sampel dan komposisi unsur-unsur yang terkandung dalam sampel.

G. Diagram Alir Tahap Penelitian

Tahapan penelitian ditunjukkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 26. Skema Penelitian

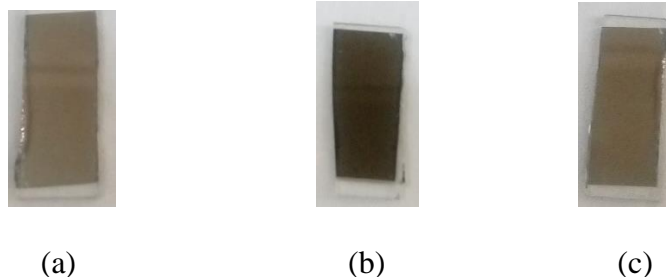
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preparasi Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

Pada penelitian ini proses penumbuhan kristal bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dilakukan dengan metode teknik evaporasi vakum dan menghasilkan tiga sampel lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan temperatur substrat yang divariasi masing-masing 250°C , 300°C dan 350°C . Pendeposisian bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dilakukan di atas substrat kaca yang telah dibersihkan menggunakan detergen dan alkohol serta di panaskan sampai 100°C agar substrat kaca bersih dan steril. Kemudian substrat kaca diletakkan pada holder dengan jarak 15 cm dari *crucible*.

Menimbang bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sebesar 0,25 gram, kemudian bahan dimasukkan ke dalam *crussible* dan divakum hingga tekanan $\sim 10^{-5}$ mbar. Selanjutnya, dilakukan pendeposisian lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hingga semua bahan dalam *crussible* melebur dan menguap ke substrat kaca. Pemanasan dilakukan secara bertahap dengan mengatur tegangan pada *slide regulator* dalam waktu yang ditentukan, yaitu 8 menit. Hasil lapisan tipis yang terbentuk dari proses preparasi dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Hasil Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ (a) Temperatur Substrat 250°C (b) Temperatur Substrat 300°C (c) Temperatur Substrat 350°C

Dalam penelitian ini, variabel yang diubah-ubah adalah temperatur substrat. Penelitian dilakukan 3 kali dengan temperatur substrat yang berbeda-beda. Data yang diperoleh pada saat penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Preparasi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

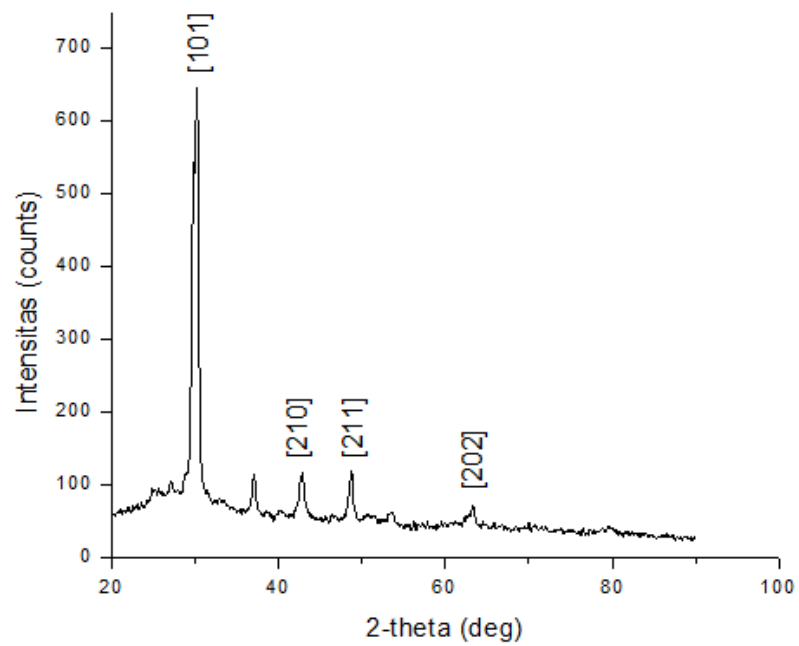
Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Suhu Substrat	250°C	300°C	350°C
Massa Bahan	0,25 gram	0,25 gram	0,25 gram
Tekanan Vakum	7×10^{-5} mbar	7×10^{-5} mbar	7×10^{-5} mbar
<i>Spacer</i>	15 cm	15 cm	15 cm

B. Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Hasil XRD (*X-Ray Diffraction*)

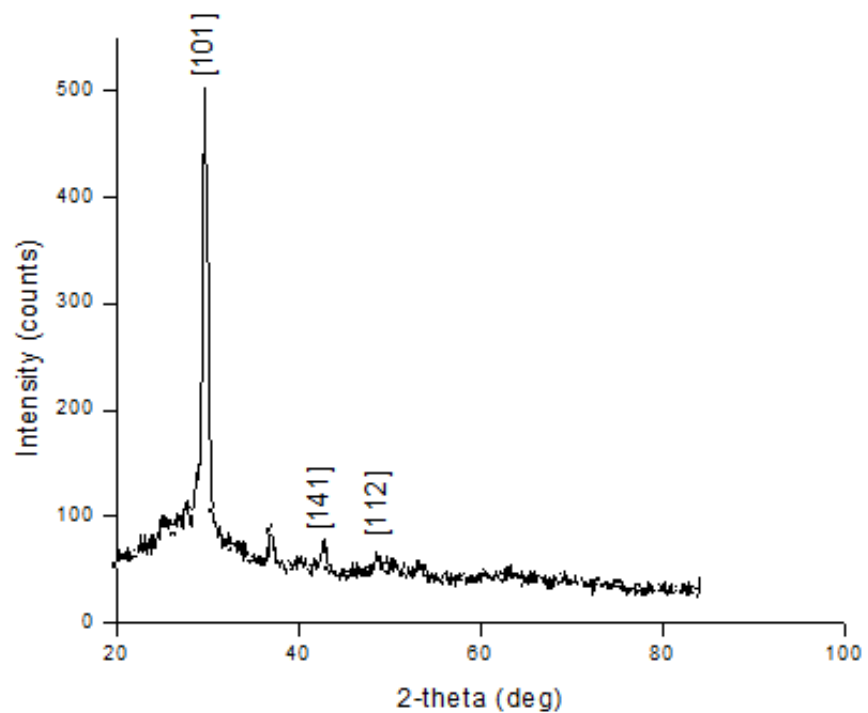
Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi dari kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum. Pada karakterisasi XRD ini menghasilkan difraktogram yang berupa grafik hubungan antara sudut hamburan (2θ) dengan intensitas (I) puncak spektrum. Intensitas merupakan jumlah cacah yang terbaca oleh detektor.

Sumber yang digunakan pada saat karakterisasi XRD adalah sumber Cu, yang memiliki panjang gelombang (λ) sebesar $1,54056 \text{ \AA}$, tegangan operasi 40 kV, arus 15 mA serta rentang sudut (2θ) yang berada dalam grafik yaitu 0° - 90° .

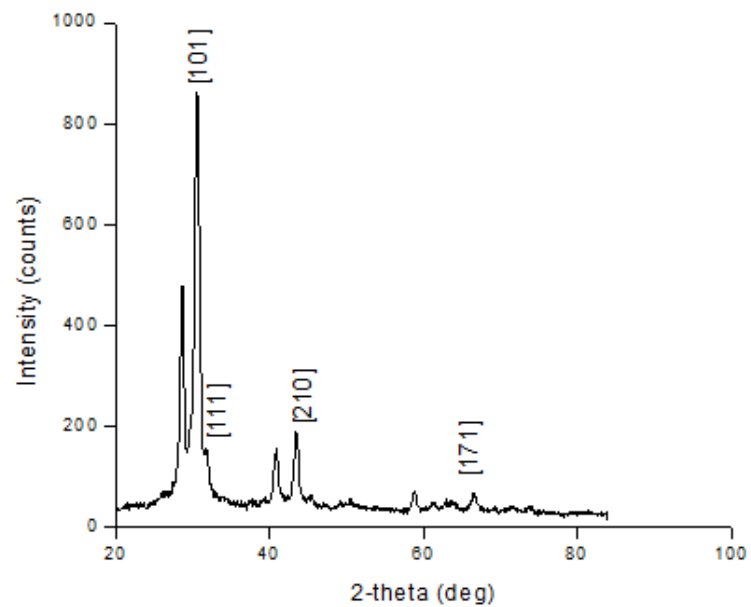
Pola difraksi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan temperatur substrat 250°C, 300°C dan 350°C yang ditampilkan dalam bentuk difraktogram dari hasil karakterisasi XRD dapat dilihat pada Gambar 28, Gambar 29 dan Gambar 30.



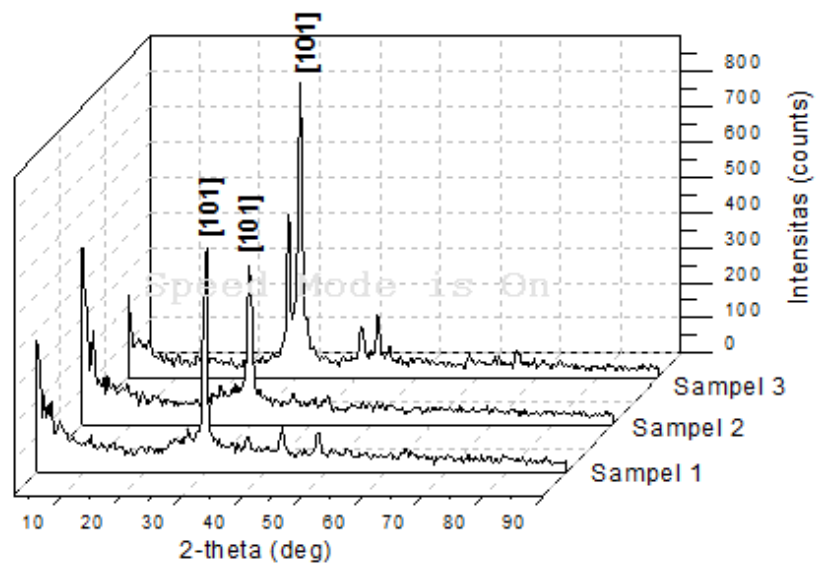
Gambar 28. Difaktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ dengan Temperatur Substrat 250°C



Gambar 29. Difaktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ dengan Temperatur Substrat 300°C



Gambar 30. Difaktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ dengan Temperatur Substrat 350°C



Gambar 31. Hasil XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ untuk Sampel 1, Sampel 2 dan Sampel 3

Ketiga sampel digabungkan dengan bantuan *software origin* untuk mempermudah dalam membandingkan difraktogram ketiga sampel. Gambar 31, menunjukkan bahwa perbedaan ketiganya ada pada intensitas puncak-puncaknya, dimana pada sampel 3 yaitu pada temperatur substrat 350°C memiliki intensitas puncak yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel 1 dan 2 dengan 2θ disekitar 30°. Intensitas pada difraktogram menggambarkan keteraturan atom-atom pada kristal lapisan tipis, semakin tinggi nilai intensitasnya maka semakin baik keteraturan atom-atom pada lapisan tipis tersebut. Maka dari hasil ini dapat dikatakan bahwa pada temperatur 350°C, menghasilkan lapisan tipis yang paling baik dibandingkan dengan kedua sampel lainnya karena memiliki intensitas puncak tertinggi yang berarti memiliki keteraturan atom dalam permukaan lapisan tipis yang paling baik.

Untuk menentukan parameter kisi kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$, perlu diketahui Indeks Miller pada kristal lapisan tipis tersebut. Indeks Miller (hkl) kristal pada ketiga sampel dapat diketahui dengan melihat sudut hamburan (2θ) yang terbentuk dari hasil difraksi lapisan tipis dan mencocokkannya dengan nilai sudut hamburan (2θ) yang sama atau mendekati dari data JCPDS.

Dalam mencari data standar pada JCPDS digunakan *software* PCPDFWIN. Pada data standar JCPDS, kristal SnS memiliki struktur kristal *orthorombik*. Sistem kristal *orthorombik* memiliki parameter kisi $a \neq b \neq c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Berikut ini merupakan data XRD lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan data JCPDS SnS dapat ditunjukkan pada Tabel 3, 4 dan 5 sebagai berikut:

Tabel 3. Perbandingan Data XRD Penelitian Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Sampel 1 (250°C) dengan Data JCPDS Bahan SnS dan SnTe

Peak	Sn(S _{0,6} Te _{0,4}) Sampel 1		SnS JCPDS	SnTe JCPDS	hkl SnS	hkl SnTe
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	2θ (°)		
1	29,638	45,31	-	-	-	-
2	30,231	100	30,472	-	101	-
3	37,057	10,26	-	-	-	-
4	42,81	15,73	42,504	-	210	-
5	48,71	11,64	48,507	-	211	-
6	63,29	7,0	63,387	-	202	-

Tabel 4. Perbandingan Data XRD Penelitian Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Sampel 2 (300°C) dengan Data JCPDS Bahan SnS dan SnTe

Peak	Sn(S _{0,6} Te _{0,4}) Sampel 2		SnS JCPDS	SnTe JCPDS	hkl SnS	hkl SnTe
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	2θ (°)		
1	29,74	100	-	-	101	-
2	36,83	4,38	-	-	-	-
3	42,7579	7,97	44,737	-	141	-
4	48,8737	4,75	51,084	-	112	-

Tabel 5. Perbandingan Data XRD Penelitian Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Sampel 3 (350°C) dengan Data JCPDS Bahan SnS dan SnTe

Peak	Sn(S _{0,6} Te _{0,4}) Sampel 3		SnS JCPDS	SnTe JCPDS	hkl SnS	hkl SnTe
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	2θ (°)		
1	28,626	35.92	-	28,307	-	200
2	30,507	100	30,472	-	101	-
3	31,64	32.70	31,530	-	111	-
4	40,78	11.71	-	40,413	-	220
5	43,47	16.86	42,504		210	-
6	66,61	3.002	66,560	66,224	171	420

Berdasarkan tabel di atas, dapat ditentukan parameter kisi dan struktur lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk dengan menggunakan perhitungan

analitik pada Lampiran 1. Perhitungan tersebut menggunakan prinsip dasar dari hukum Bragg pada persamaan (1) yang tertera pada lampiran karena XRD merupakan salah satu instrumen dari penerapan hukum Bragg. Dengan menggunakan persamaan (4) dan persamaan (6) pada lampiran maka didapatkan nilai parameter kisi pada lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk. Berikut merupakan nilai parameter kisi yang diperoleh secara analitik serta perbandingannya dengan *database* JCPDS SnS.

Tabel 6. Perbandingan Nilai Parameter Kisi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil karakterisasi XRD dengan Data JCPDS SnS.

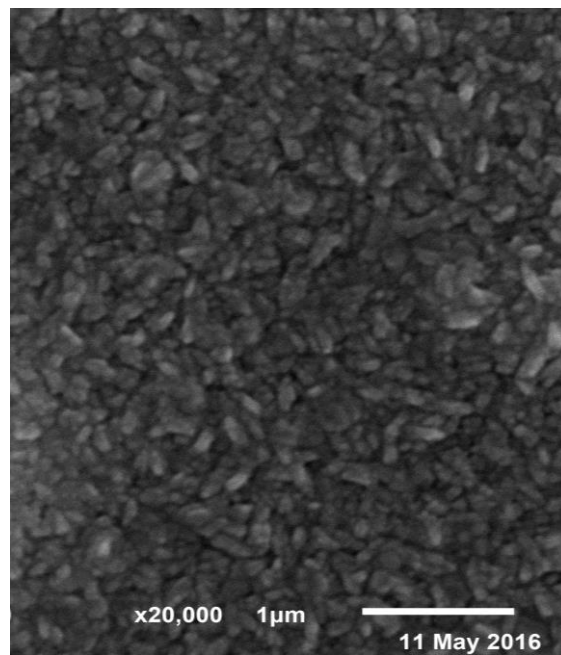
Parameter kisi	Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$			JCPDS $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$
	1	2	3	
a (Å)	4,30	4,29	4,23	4,329
b (Å)	10,4	11,9	11,19	11,19
c (Å)	4,01	4,19	4,03	3,983

Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui parameter kisi a , b dan c dari $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil penelitian dan data JCPDS untuk SnS. Dari ketiga sampel tidak memiliki perbedaan yang besar terhadap parameter kisi, hal tersebut menunjukkan variasi temperatur substrat tidak memengaruhi kisi, namun berpengaruh terhadap intensitas relatif.

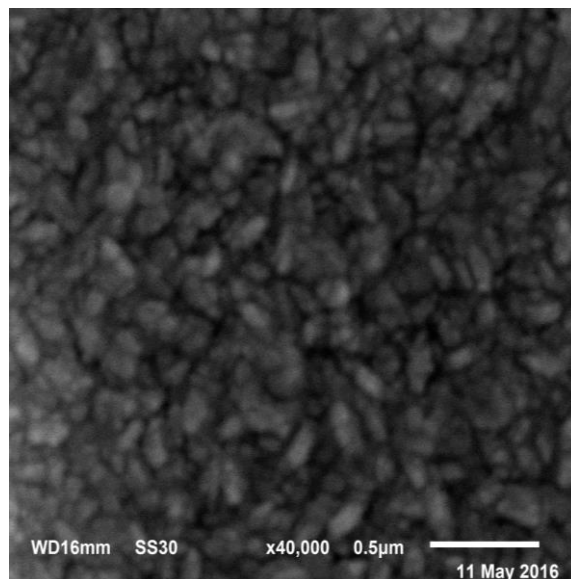
C. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Pada karakterisasi SEM, lapisan tipis yang diuji adalah bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel 3 dengan temperatur substrat

350°C. Hasil dari SEM berupa foto permukaan yang terbentuk. Dari foto yang dihasilkan dapat diketahui homogenitas dari kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ yang terbentuk. Gambar 32, menunjukkan hasil karakterisasi sampel dengan pembesaran 20.000 kali, dan 40.000 kali.



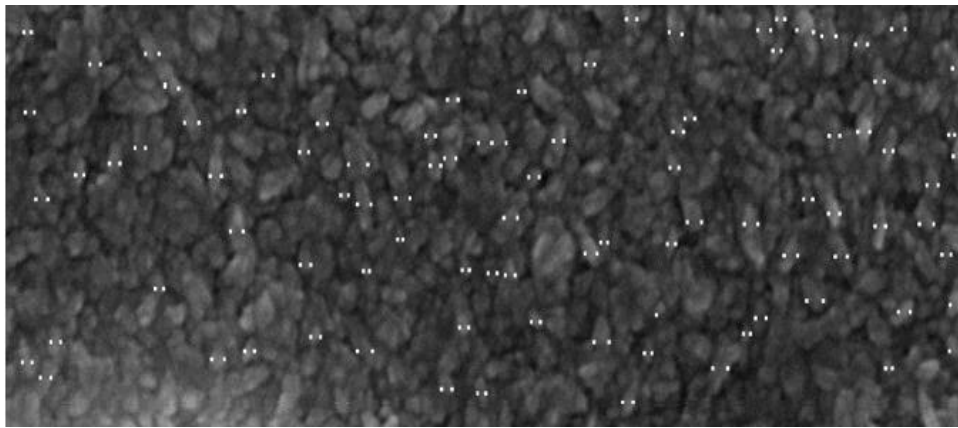
(a)



(b)

Gambar 32. Foto Morfologi Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ Sampel 3 Hasil Karakterisasi dengan SEM (a) Perbesaran 20.000 kali, dan (b) 40.000 kali

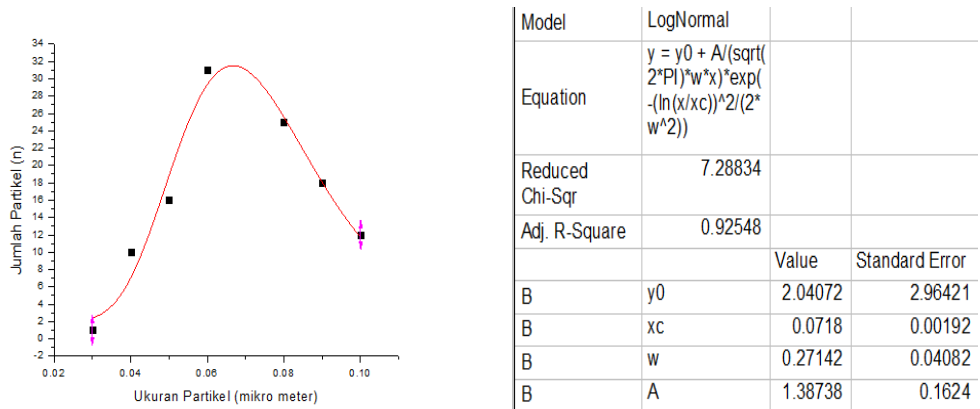
Berdasarkan Gambar 32, foto yang dihasilkan terlihat butiran (*grain*) yang berbentuk lonjong, sesuai dengan struktur kristal *orthorombik* karena memiliki salah satu parameter kisi yang panjang. Adapun homogenitas kristal terlihat dari bentuk dan warna kristal yang hampir seragam. *Grain* pada gambar terlihat bervariasi dari yang sangat kecil hingga besar. Diameter rata-rata *grain* dapat ditentukan dengan menggunakan aplikasi *Paint*, *Excel* dan *Origin* dengan menggunakan foto SEM di atas. Pada aplikasi *Paint*, akan dibuat tabulasi ukuran partikel sebanyak 150 partikel seperti pada Gambar 33.



Gambar 33. Tabulasi Ukuran *Grain* Menggunakan Aplikasi *Paint*

Pada aplikasi *Paint*, diameter rata-rata *grain* ditentukan secara satu per satu dengan cara menempatkan kursor pada tepi kiri dan kanan partikel. Sehingga akan didapatkan selisih ukuran partikel seperti pada tabel lampiran. Dari data tersebut dapat dibuat grafik menggunakan aplikasi *Origin* dengan plot Log Normal seperti Gambar 34.

Grafik Hubungan antara Jumlah Partikel terhadap Ukuran Partikel



Gambar 34. Grafik Hubungan antara Jumlah Partikel dan Ukuran Partikel

Dari data grafik tersebut dapat dihitung diameter rata-rata partikel dengan persamaan berikut:

$$f(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} D \sigma} \exp \left\{ -\frac{\ln^2 \frac{D}{D_p}}{2\sigma^2} \right\} \quad (19)$$

$$\bar{D} = D_p \exp \left[\frac{\sigma^2}{2} \right]$$

$$\bar{D} = 0,0718 \exp \left(\frac{0,2714^2}{2} \right)$$

$$\bar{D} = 0,0718 \exp(0,03682898)$$

$$\bar{D} = 0,0718 (1,037516)$$

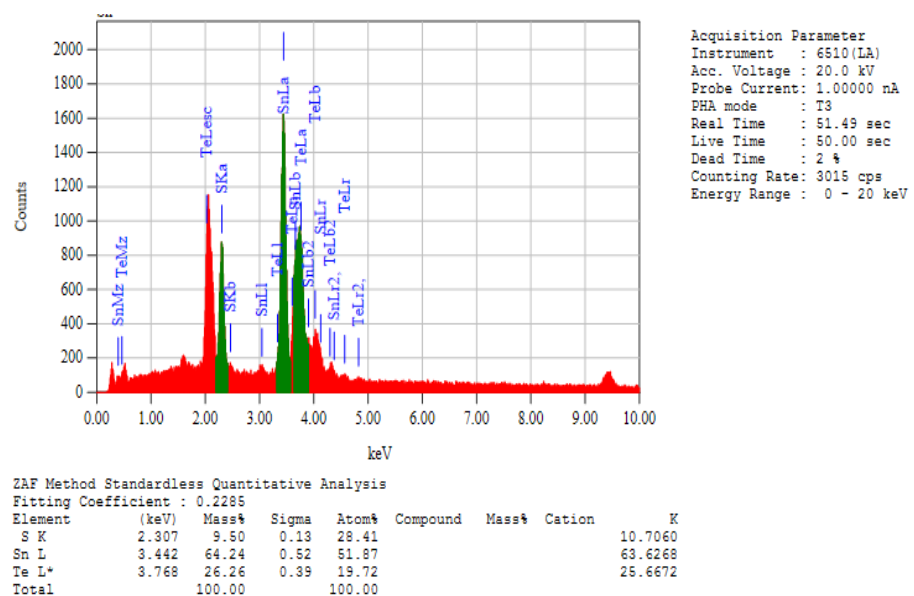
$$\bar{D} = 0,074 \mu\text{m}$$

Dari analisis di atas didapatkan diameter rata-rata partikel sebesar 0,074 μm .

D. Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*

EDS merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia suatu bahan. Pada karakterisasi EDS, lapisan tipis yang diuji adalah bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel 3 dengan temperatur substrat 350°C .

Karakterisasi dengan menggunakan EDS dilakukan setelah kristal dikarakterisasi dengan menggunakan XRD. Hasil EDS yang dilakukan pada lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ sampel 3 dapat dilihat pada Gambar 35.



Gambar 35. Grafik antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDS Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

Berdasarkan Gambar 35, dapat diketahui bahwa preparasi kristal semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Sulfur* (S), dan *Tellurium* (Te). Perbandingan persentase komposisi bahan dasarnya, yaitu unsur Sn = 51,87 %, S = 28,41 %, Te = 19,72 %. Perbandingan

komposisi unsur kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil karakterisasi EDS dengan teori, dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Molaritas Unsur Sn : S : Te Pada Kristal Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Dari Hasil Karakterisasi EDS Dan Teori

	Sn	S	Te
Secara Penelitian EDS	1	0,55	0,38
Secara Teori	1	0,6	0,4

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa komposisi unsur $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil karakterisasi EDS memiliki perbandingan mol dari masing-masing bahan Sn : S : Te yaitu 1 : 0,55 : 0,38. Sedangkan menurut teori yaitu 1 : 0,6 : 0,4. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan bahwa hasil komposisi kimia dari analisis EDS dibandingkan dengan teori menunjukkan bahwa terjadi perubahan komposisi atom S dan Te. Ketidaksesuaian tersebut dapat diindikasikan bahwa kristal yang ditumbuhkan mengalami peristiwa *non-stoichiometri*. Peristiwa *non-stoichiometri* dapat terjadi ketika proses pemvakuman, saat bahan menguap dari *crucible* menuju substrat tidak menempel dengan sempurna.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Proses penumbuhan kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ menggunakan metode evaporasi vakum dengan perbedaan temperatur substrat yang dikarakterisasi menggunakan XRD memengaruhi kualitas kristal yang ditunjukkan dengan perbedaan intensitas yang diperoleh dari masing-masing temperatur. Semakin tinggi temperatur substrat akan menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas kristal yang semakin baik. Hal ini ditunjukkan oleh difraktogram sampel 3 (temperatur substrat 350°C) yang mempunyai intensitas lebih tinggi dibandingkan sampel lainnya.
2. Berdasarkan hasil analisis karakterisasi XRD, struktur kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk mempunyai struktur *orthorombik*. Berdasarkan perhitungan metode analitik, nilai parameter kisi a , b , dan c untuk kristal sampel 1 yang dipanaskan dengan temperatur substrat 250°C adalah $4,30 \text{ \AA}$, $8,26 \text{ \AA}$ dan $4,01 \text{ \AA}$. Pada kristal sampel 2 yang dipanaskan dengan temperatur substrat 300°C adalah $4,29 \text{ \AA}$, $11,9 \text{ \AA}$ dan $4,19 \text{ \AA}$. Sedangkan pada kristal sampel 3 yang dipanaskan dengan temperatur substrat 350°C adalah $4,23 \text{ \AA}$, $11,19 \text{ \AA}$ dan $4,03 \text{ \AA}$. Hasil preparasi kristal semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ ditinjau dari

kesesuaian data parameter kisi dengan data JCPDS, sampel 3 (temperatur substrat 350°C) memiliki kualitas lapisan tipis paling baik.

3. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa struktur permukaan dari lapisan tipis semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki butiran (*grain*) yang berbentuk lonjong dan memiliki permukaan yang homogen terlihat dari bentuk dan warna kristal yang seragam dengan ukuran rata-rata *grain* yaitu, 0,074 μm .
4. Berdasarkan hasil karakterisasi EDS, pada preparasi semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasarnya, yaitu unsur Sn = 51,87%, S = 28,41%, Te = 19,72%. Perbandingan molaritas semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yaitu 1 : 0,55 : 0,38.

B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut seperti penentuan energi gap, resistivitas, *efek hall* dan konduktivitas untuk memperoleh informasi yang lebih banyak mengenai lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.
2. Sebaiknya pemvakuman tabung dilakukan sampai mencapai tekanan serendah mungkin ($< 7 \times 10^{-5}$ mbar) untuk mencegah terjadinya oksidasi dan unsur-unsur lain yang ikut bereaksi pada saat preparasi.

3. Penelitian ini dapat mendasari penelitian lebih lanjut mengenai sel surya menggunakan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2013). *Solar Cell*. Diakses dari <http://trebuchetmagazine.com/wpcontent/uploads/2013/02/solar-cells.jpg> pada tanggal 20 Oktober 2015 pukul 10.45 WIB.
- Ariswan. (2013). *Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan. (2010). *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi alternative di Indonesia*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Beck. (1977). *Principles of Scanning Electron Microscopy*. Jepang: Jeol Hightech co., Ltd.
- Beiser, Arthur. (2003). *Concepts of Modern Physics*. 6th. ed. New York: The McGraw-HillCompanies, Inc.
- Bo, N.P., & Ariswan. (2004). *Teknologi Vakum, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Cheng, L.L, Liu, M.H, Wang, M.X, Wang, S.C, Wang, G.D, Zhou, Q.Y, Chen, Z.Q. (2012). *Preparation of SnS films using solid sources deposited by the PECVD method with controllable film characters. Journal of Alloys and Compounds*. 545122-129. Hlm. 1-8.
- Callister, W., D., & Rethwisch, Jr., D., G. (2007). *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. 3th. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, InC.
- Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. Massachusets: Addison Wesley Publishing Company.
- Firdaus, M. S. (2011). *Teknik Dalam Laboratorium Kimia Organik*. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Guneri, E., Gode F., Ulutas C., Kirmizigul., Altindemir G., Gumus C. (2010). *Properties of P-Type SnS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition. Chalcogenide Letters*. Vol. 7, No. 12 P. 685-694. Hlm 1-10.
- Hasanah, Uswatun. (2015). *Studi tentang Pengaruh Temperatur Substrat terhadap Kualitas Bahan Semikonduktor PbS Lapisan Tipis Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Evaporasi*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kittel, Charles. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. 8th. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, InC.

- Leng, Yang. (2013). *Material Characterization Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*. 2th. ed. Weinheim: Wiley-VCH.
- Maehlum, Mathias. (2013). *NREL Sets New World Record with Two-Junction Solar Cell*. Diakses dari <https://energyinformative.org/nrel-efficiency-record-two-junction-solar-cell> pada tanggal 22 Oktober pukul 09.25 WIB.
- Mahmudi. (2000). *Studi Tentang Uniformitas Lapisan Tipis Alumunium pada Substrat Kaca Terhadap Jarak Deposit Menggunakan Metode Evaporasi Termal Tipe Ladd Research*. Surakarta: FMIPA UNS.
- Milman, J., & Hakias, C. (1972). *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and system*. Japan: McGraw-hill, InC.
- Nayiroh, Nurun. (2015). *Pembentukan dan Pendeteksian Sinar-X*. Modul Kuliah.
- Nyoman Suwitra. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Depdikbud.
- Ohring, Milton. (2012). *Materials Science of Thin Films Deposition and Structure*. 2nd. Ed. San Diego: Academic Press.
- Parno. (2006). *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM.
- Pecharsky, V. K., & Zavalij, P.Y. (2009). *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*. Springer Science+Business Media LLC. DOI: 10.1007/978-0-387-09579-0 6. Hlm. 1-95.
- Reka Rio & Lida Masamori. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.
- Saini, R., Pallavi, Singh, M., Kumar, R., & Jain, G (2010). *Structural and Electrical Characterization of Sintered SnTe Films*. *Chalcogenide Letters*. Vol. 7, No. 3 P. 197 – 202. Hlm. 1 – 6.
- Smallman, R.E., & Bishop, R.J. (1999). *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering (Science, Process, and Application)*. 6th. ed. Oxford: Butter Heinemann.
- Soepardjo, Harsono. (2004). *Fabrikasi Thin Film Quartenair CuGaTe dan Ga_{0,5}In_{0,5}Te₂ dengan Evaporasi Flash*. Depok: Universitas Indonesia. Hlm. 9-16.
- Tanusevski, A. (2003). *Optical and Photoelectric Properties of SnS Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition*. Macedonia: Institute of Physics,

Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University 'Sts. Cyril and Methodius'.

- Tough, Iain. (2001). *X-Ray Analysis Using The Scanning Electron Microscope*. Diakses dari http://www2.rgu.ac.uk/life_semweb/xray.html pada 10 Oktober 2016 pukul 08.15 WIB.
- Triyo, Haryanto. (2013). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis PbSe dengan Teknik Evaporasi*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Utomo, Joko. (2014). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ Lapisan Tipis Hasil Preparasi Teknik Vakum Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vaughan, Douglass. (1999). *An Introduction Energy Dispersive X-Ray Microanalysis*. Middleton: NORAN Instrument.
- Vlack, Van. (2004). *Elemen-Elemen dan Ilmu Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Wegener, Tobias. (2015). *Classification of Solid*. Diakses dari <http://www.physics-in-a-nutshell.com/article/1#classification-of-solids> pada tanggal 20 Oktober pukul 10.30 WIB.
- Wibowo, Rachmat. (2008). *Prinsip Kerja Sel Surya*. Diakses dari <http://energisurya.files.wordpress.com> pada tanggal 5 Oktober 2016 pukul 10.30 WIB.
- Winter, Mark. (2014). *Tin Telluride*. Diakses dari https://www.webelements.com/compounds/tin/tin_telluride.html pada tanggal 20 April 2016, Jam 10.30 WIB.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Parameter Kisi Lapisan Tipis Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) dengan Menggunakan Metode Analitik

Lapisan tipis Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) memiliki struktur *orthorombik*. Jarak antar bidang *orthorombik* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

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

Persamaan hukum Bragg :

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

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

Mensubstitusikan persamaan (1) ke persamaan (3) :

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

$$\text{Misal : } A = \frac{\lambda^2}{4a^2} ; B = \frac{\lambda^2}{4b^2} ; C = \frac{\lambda^2}{4c^2} \quad (5)$$

Sehingga dapat ditulis menjadi

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2 \quad (6)$$

Jadi, parameter kisi a, b, c dapat ditulis

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

1. Sampel 1 Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) dengan Temperatur Suhu 250°C

Tabel perbandingan antara data XRD penelitian sampel 1 dengan data JCPDS bahan SnS

<i>Peak</i>	Sn(S _{0,6} Te _{0,4}) sampel 1	SnS JCPDS	<i>hkl</i>
	2θ (°)	2θ (°)	
1	29,638	-	-
2	30,231	30,472	101
3	37,057	-	-
4	42,81	42,504	210
5	48,71	48,507	211
6	63,29	63,387	202

Perhitungan parameter kisi dipilih pada 2θ : 30,231° (101); 42,81° (210); 48,71° (211)

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{42,81}{2} \right) = (A \times 2^2) + (B \times 1^2) + (C \times 0^2)$$

$$\sin^2\theta \ 21,405 = 4A + B$$

$$0,1331943658 = 4A + B \quad (7)$$

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{48,71}{2} \right) = (A \times 2^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2\theta \ 24,355 = 4A + B + C$$

$$0,1700647312 = 4A + B + C \quad (8)$$

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{63,29}{2} \right) = (A \times 2^2) + (B \times 0^2) + (C \times 2^2)$$

$$\sin^2 \theta_{31,645} = 4A + 4C$$

$$0,2752625428 = A + C \quad (9)$$

Mensubstitusikan persamaan (8) ke persamaan (7) :

$$0,1700647312 = 4A + B + C$$

$$\begin{array}{r} 0,1331943658 = 4A + B \\ \hline 0,0368703654 = C \end{array} -$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,0368703654}}$$

$$c = \sqrt{16,09110884}$$

$$c = 4,011372438$$

$$c = 4,011 \text{ \AA}$$

Memasukkan nilai C ke persamaan (9) :

$$0,2752625428 = 4A + 4C$$

$$0,2752625428 = A + 0,1474814616$$

$$0,0319452716 = A$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,0319452716}}$$

$$a = \sqrt{18,57192106}$$

$$a = 4,309515177 \text{ \AA}$$

$$a = 4,30 \text{ \AA}$$

Memasukkan nilai C & A ke persamaan (8) :

$$0,1700647312 = 4A + B + C$$

$$0,1700647312 = 4(0,0319452716) + B + 0,0368703654)$$

$$0,0054132794 = B$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,0054132794}}$$

$$b = \sqrt{109,5980862}$$

$$b = 10,46891046 \text{ \AA}$$

$$b = 10,4 \text{ \AA}$$

2. Sampel 2 Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) dengan Temperatur Suhu 300°C

Tabel perbandingan antara data XRD penelitian sampel 2 dengan data JCPDS bahan SnS

Peak	Sn(S _{0,6} Te _{0,4}) sampel 1	SnS JCPDS	hkl
	2θ (°)	2θ (°)	
1	29,74	30,472	101
2	36,83	-	-
3	42,7579	44,737	141
4	48,8737	51,084	112

Perhitungan parameter kisi dipilih pada 2θ: 29,74° (101); 42,7579° (141); 48,8737 (112)

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{29,74}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 0^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2\theta 14,87 = A + C$$

$$0,06585729631 = A + C \quad (10)$$

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

$$\sin^2 \theta \left(\frac{42,7579}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 4^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2 \theta \ 21,37895 = A + 16B + C$$

$$0,1328855456 = A + 16B + C \quad (11)$$

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

$$\sin^2 \theta \left(\frac{48,8737}{2} \right) = (A \times 2^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2 \theta = 4A + B + C$$

$$0,1711394608 = A + B + 4C \quad (12)$$

Mensubstitusikan persamaan (11) ke persamaan (10) :

$$0,1328855456 = A + 16B + C$$

$$\begin{array}{r} 0,06585729631 = A + C \\ \hline 0,06702824929 = 16B \\ 0,004189265581 = B \end{array}$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,01675706232}}$$

$$b = \sqrt{141,6203034}$$

$$b = 11,90043291 \text{ \AA}$$

$$b = 11,9 \text{ \AA}$$

Memasukkan nilai B ke persamaan (12)

$$0,1711394608 = A + B + 4C$$

$$0,1711394608 = A + 0,004189265581 + 4C$$

$$0,1669501951 = A + 4C \quad (13)$$

Mensubtitusikan persamaan (13) ke persamaan (10) :

$$0,1669501951 = A + 4C$$

$$\begin{array}{r} 0,06585729631 = A + C \\ \hline 0,1010928989 = 3C \\ 0,03369763297 = C \end{array} \quad -$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,1347905319}}$$

$$c = \sqrt{17,60613462}$$

$$c = 4,19596647 \text{ \AA}$$

$$c = 4,19 \text{ \AA}$$

Memasukkan nilai B ke persamaan (10)

$$0,06585729631 = A + C$$

$$0,06585729631 = A + 0,03369763297$$

$$0,03215966334 = A$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,03215966334}}$$

$$c = \sqrt{18,44811172}$$

$$c = 4,295126509 \text{ \AA}$$

$$c = 4,29 \text{ \AA}$$

3. Sampel 3 Sn(S_{0.6}Te_{0.4}) dengan Temperatur Suhu 350°C

Tabel perbandingan antara data XRD penelitian sampel 3 dengan data JCPDS bahan SnS

<i>Peak</i>	Sn(S _{0.6} Te _{0.4}) sampel 1	SnS JCPDS	<i>hkl</i>
	2θ (°)	2θ (°)	
1	28,626	-	-
2	30,507	30,472	101
3	31,64	31,530	111
4	40,78	-	-
5	43,47	42,504	210
6	66,61	66,560	171

Perhitungan parameter kisi dipilih pada 2θ : 30,507° (101); 31,64° (111); 43,47° (210); 66,61° (171).

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{30,507}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 0^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2\theta 15,2535 = A + C$$

$$0,06921642675 = A + C \quad (14)$$

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{31,64}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 1^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2\theta 15,82 = A + B + C$$

$$0,07431954228 = A + B + C \quad (15)$$

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{43,471}{2} \right) = (A \times 2^2) + (B \times 0^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2\theta \ 21,7355 = 4A + B$$

$$0,1371386572 = 4A + B \quad (16)$$

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

$$\sin^2\theta \left(\frac{66,61}{2} \right) = (A \times 1^2) + (B \times 7^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2\theta \ 33,305 = A + 49B + C$$

$$0,3015061469 = A + 49B + C \quad (17)$$

Mensubtitusikan persamaan (17) ke persamaan (15) :

$$0,3015061469 = A + 49B + C$$

$$\begin{array}{r} 0,07431954228 = A + B + C \\ \hline 0,2271866046 = 48 B \\ 0,004733054263 = B \end{array} \quad -$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,004733054263}}$$

$$b = \sqrt{125,349305}$$

$$b = 11,19595039 \text{ \AA}$$

$$b = 11,19 \text{ \AA}$$

Memasukkan nilai B ke persamaan 16 :

$$0,1371386572 = 4A + B$$

$$0,1371386572 = 4A + 0,004733054263$$

$$0,1324056029 = 4A$$

$$0,03310140073 = A$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,03310140073}}$$

$$a = \sqrt{17,92326154}$$

$$a = 4,233587313 \text{ \AA}$$

$$a = 4,23 \text{ \AA}$$

Memasukkan nilai A & B ke persamaan 15 :

$$0,07431954228 = A + B + C$$

$$0,07431954228 = 0,03310140073 + 0,004733054263 + C$$

$$0,03648508729 = C$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{(1,5405)^2}{4 \times 0,03648508729}}$$

$$c = \sqrt{16,26513675}$$

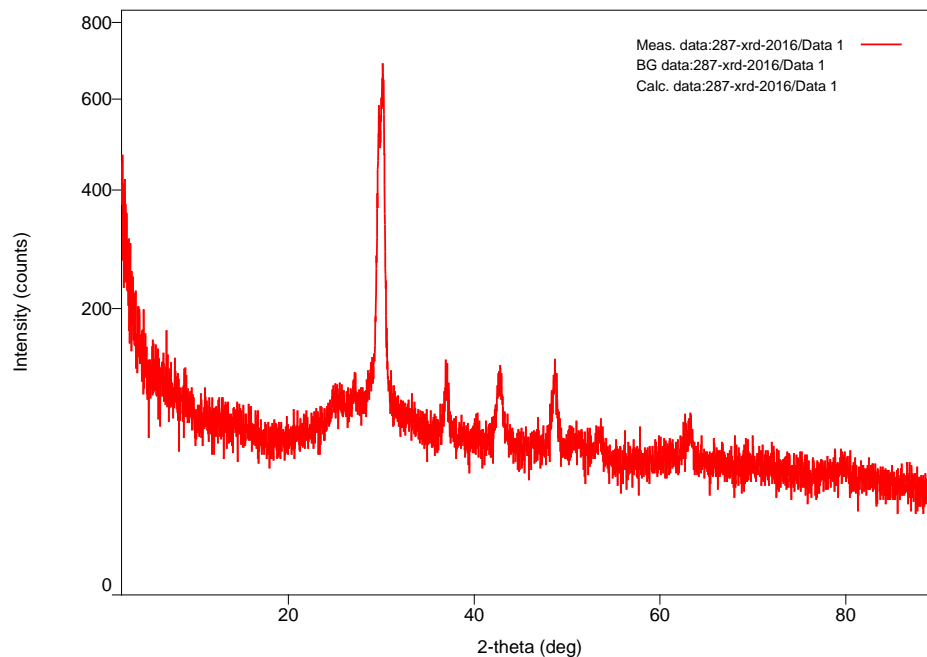
$$c = 4,03 \text{ \AA}$$

Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan XRD

1. Hasil XRD Sampel 1

Peak List

Measurement profile



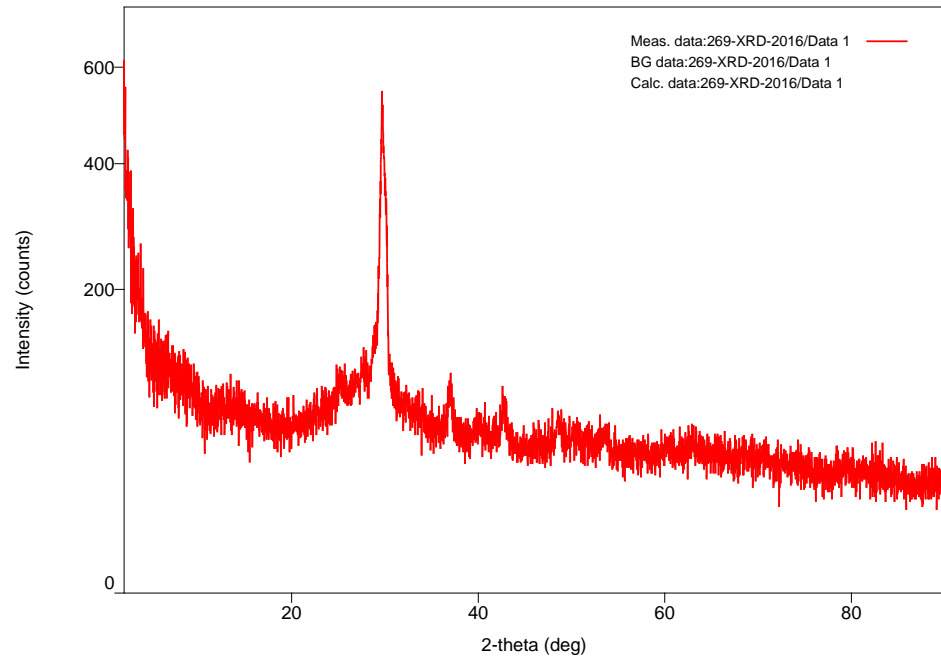
Peak list

No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I (counts deg)	Int. W (deg)	Asym. factor
1	29.638(17)	3.0117(17)	183(14)	0.41(4)	121(15)	0.66(13)	0.40(9)
2	30.231(5)	2.9540(5)	344(19)	0.52(4)	267(15)	0.78(9)	4.2(17)
3	37.057(17)	2.4240(11)	39(6)	0.43(7)	27.4(17)	0.70(16)	2.2(18)
4	42.81(4)	2.110(2)	45(7)	0.61(6)	42(2)	0.93(19)	2.5(12)
5	48.71(5)	1.8680(18)	45(7)	0.57(4)	31.1(19)	0.69(14)	1.9(8)
6	63.29(3)	1.4682(6)	20(5)	0.51(8)	20.3(16)	1.0(3)	3(3)

2. Hasil XRD Sampel 2

Peak List

Measurement profile



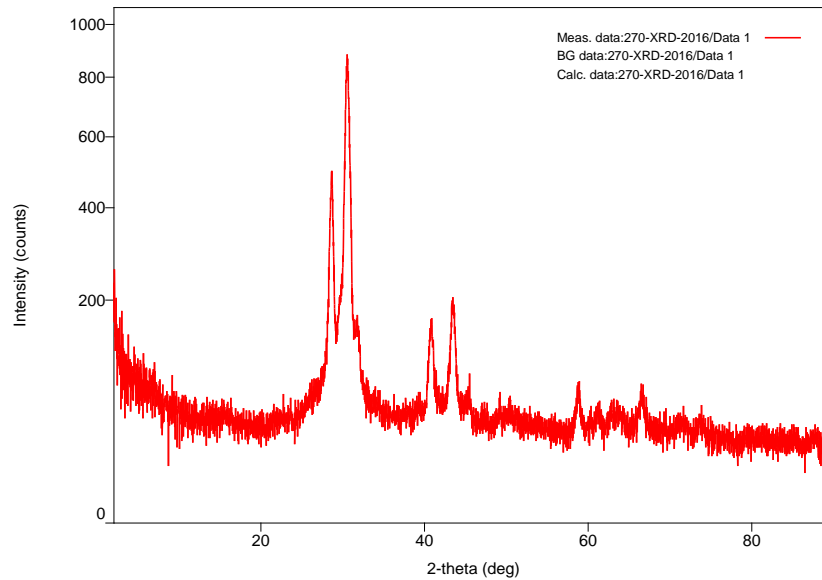
Peak list

No	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I (counts deg)	Int. W (deg)	Asym. factor
1	0.89(4)	100(4)	858(29)	3.6(9)	3770(4518)	4(5)	4(2027783)
2	29.74(2)	3.002(2)	282(17)	0.69(2)	301(4)	1.07(8)	0.92(14)
3	36.83(2)	2.4382(16)	21(5)	0.50(7)	13.2(16)	0.6(2)	0.3(4)
4	42.7579	2.1131	59.241668	0.693973	24.005544	0.405214	0.919436
5	48.8737	1.86201	11.478838	0.693973	14.351216	1.250232	0.919436

3. Hasil XRD Sampel 3

Peak List

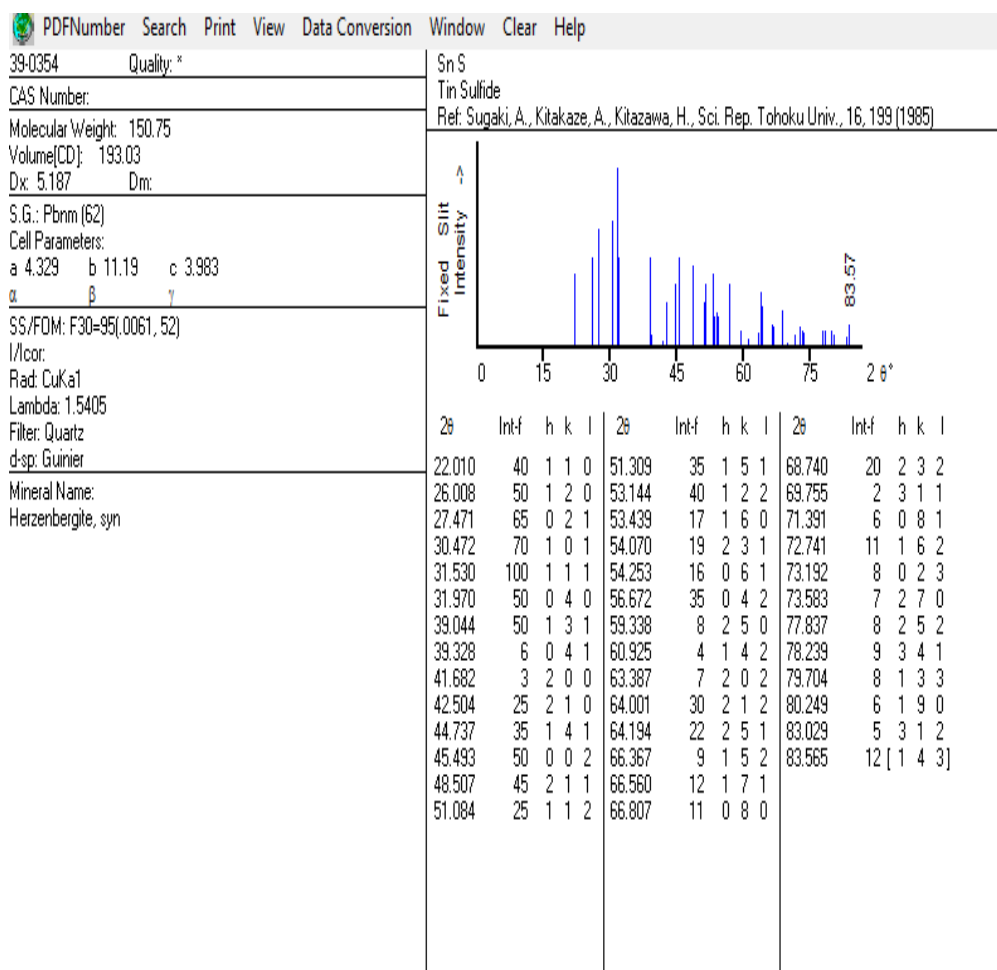
Measurement profile



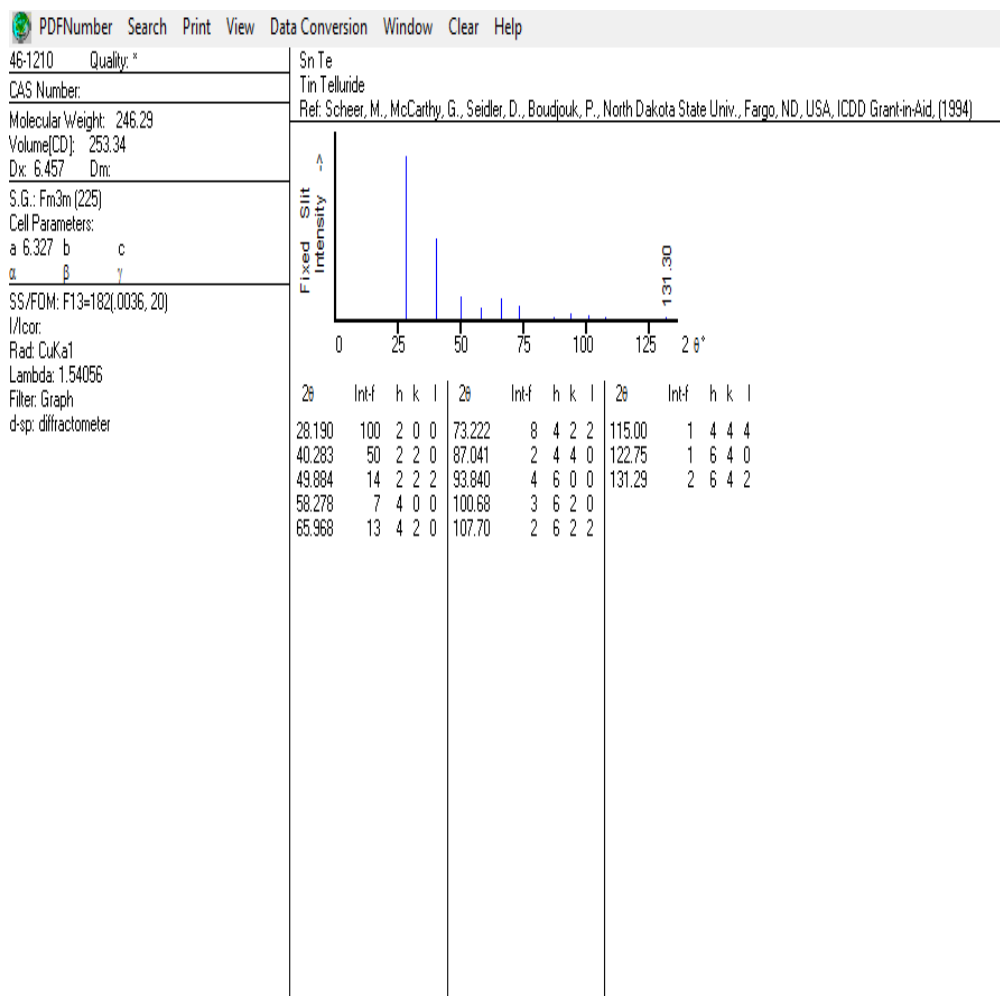
Peak list

No.	2-theta (deg)	d (ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. I (counts deg)	Int. W (deg)	Asym. factor
1	28.626(12)	3.1158(13)	234(15)	0.527(10)	134(3)	0.57(5)	1.38(12)
2	30.507(11)	2.9279(10)	472(22)	0.643(10)	373(4)	0.79(5)	0.83(6)
3	31.64(3)	2.825(2)	45(7)	2.50(12)	122(5)	2.7(5)	5.0(9)
4	40.78(3)	2.2108(15)	64(8)	0.61(2)	43.7(19)	0.68(11)	1.02(19)
5	43.471(13)	2.0801(6)	88(9)	0.651(18)	62.9(18)	0.71(10)	1.34(10)
6	66.61(11)	1.403(2)	17(4)	0.60(8)	11.2(18)	0.6(3)	2.0(18)

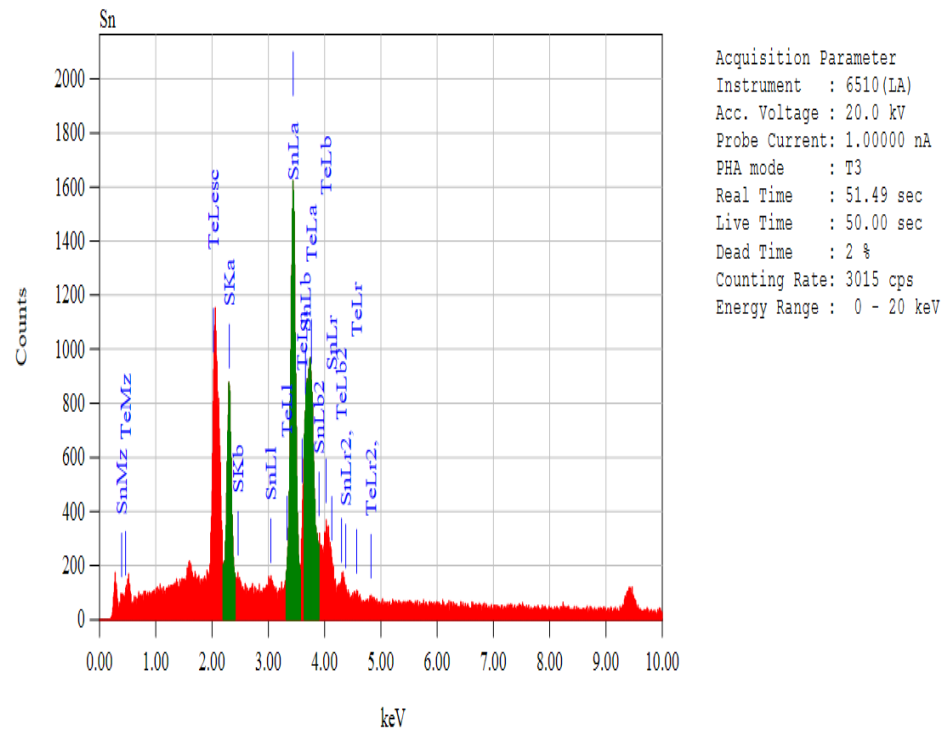
Lampiran 3. JCPDS SnS



Lampiran 4. JCPDS SnTe



Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Bahan $\text{Sn}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan EDS



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2285

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
S K	2.307	9.50	0.13	28.41				10.7060
Sn L	3.442	64.24	0.52	51.87				63.6268
Te L*	3.768	26.26	0.39	19.72				25.6672
Total		100.00		100.00				

Lampiran 6. Mengukur Rata-Rata Diameter Partikel

Partikel ke-	Koordinat X kiri	Koordinat X kanan	Ukuran partikel dalam pixel	Ukuran partikel (mikron)
1	1044	1058	14	0.035714286
2	2511	2527	16	0.040816327
3	953	969	16	0.040816327
4	1366	1383	17	0.043367347
5	1549	1567	18	0.045918367
6	2151	2169	18	0.045918367
7	619	637	18	0.045918367
8	1965	1983	18	0.045918367
9	2343	2361	18	0.045918367
10	1585	1603	18	0.045918367
11	1216	1235	19	0.048469388
12	2120	2140	20	0.051020408
13	893	913	20	0.051020408
14	49	69	20	0.051020408
15	1701	1721	20	0.051020408
16	187	209	22	0.056122449
17	2053	2075	22	0.056122449
18	2521	2543	22	0.056122449
19	1257	1279	22	0.056122449
20	1283	1305	22	0.056122449
21	1891	1913	22	0.056122449
22	1762	1784	22	0.056122449
23	2043	2065	22	0.056122449
24	399	421	22	0.056122449
25	1361	1384	23	0.058673469
26	1830	1853	23	0.058673469
27	1545	1568	23	0.058673469
28	2339	2363	24	0.06122449
29	2389	2413	24	0.06122449
30	2013	2037	24	0.06122449
31	2315	2339	24	0.06122449
32	2479	2503	24	0.06122449
33	1319	1343	24	0.06122449
34	1209	1233	24	0.06122449
35	783	807	24	0.06122449
36	1597	1621	24	0.06122449
37	1400	1424	24	0.06122449

38	2125	2149	24	0.06122449
39	53	77	24	0.06122449
40	1769	1793	24	0.06122449
41	1285	1309	24	0.06122449
42	2493	2517	24	0.06122449
43	1269	1295	26	0.066326531
44	1161	1187	26	0.066326531
45	1197	1223	26	0.066326531
46	45	71	26	0.066326531
47	1905	1931	26	0.066326531
48	121	147	26	0.066326531
49	2317	2343	26	0.066326531
50	1216	1242	26	0.066326531
51	2195	2221	26	0.066326531
52	687	713	26	0.066326531
53	1119	1145	26	0.066326531
54	831	857	26	0.066326531
55	813	839	26	0.066326531
56	637	663	26	0.066326531
57	1331	1357	26	0.066326531
58	1809	1835	26	0.066326531
59	225	253	28	0.071428571
60	2315	2343	28	0.071428571
61	1389	1417	28	0.071428571
62	1719	1747	28	0.071428571
63	277	305	28	0.071428571
64	1459	1487	28	0.071428571
65	1131	1159	28	0.071428571
66	2313	2341	28	0.071428571
67	2205	2233	28	0.071428571
68	1643	1671	28	0.071428571
69	1653	1681	28	0.071428571
70	1481	1509	28	0.071428571
71	1580	1608	28	0.071428571
72	1777	1805	28	0.071428571
73	2025	2053	28	0.071428571
74	345	373	28	0.071428571
75	1997	2025	28	0.071428571
76	93	121	28	0.071428571
77	785	813	28	0.071428571
78	1393	1421	28	0.071428571
79	883	911	28	0.071428571
80	1161	1189	28	0.071428571

81	1177	1205	28	0.071428571
82	2193	2221	28	0.071428571
83	545	575	30	0.076530612
84	1827	1857	30	0.076530612
85	2191	2221	30	0.076530612
86	2429	2459	30	0.076530612
87	2453	2483	30	0.076530612
88	2523	2553	30	0.076530612
89	2049	2079	30	0.076530612
90	1991	2021	30	0.076530612
91	1007	1037	30	0.076530612
92	1545	1575	30	0.076530612
93	1973	2003	30	0.076530612
94	1169	1199	30	0.076530612
95	1657	1688	31	0.079081633
96	1459	1491	32	0.081632653
97	2071	2103	32	0.081632653
98	2359	2391	32	0.081632653
99	1865	1897	32	0.081632653
100	2513	2545	32	0.081632653
101	1707	1739	32	0.081632653
102	2269	2301	32	0.081632653
103	2209	2241	32	0.081632653
104	2515	2547	32	0.081632653
105	2075	2107	32	0.081632653
106	1747	1779	32	0.081632653
107	963	995	32	0.081632653
108	2377	2409	32	0.081632653
109	81	113	32	0.081632653
110	2263	2295	32	0.081632653
111	1579	1613	34	0.086734694
112	2473	2507	34	0.086734694
113	1793	1827	34	0.086734694
114	1767	1801	34	0.086734694
115	2003	2037	34	0.086734694
116	1283	1317	34	0.086734694
117	2503	2537	34	0.086734694
118	599	633	34	0.086734694
119	2439	2473	34	0.086734694
120	549	583	34	0.086734694
121	937	973	36	0.091836735
122	1967	2003	36	0.091836735
123	2073	2109	36	0.091836735

124	1259	1295	36	0.091836735
125	1189	1225	36	0.091836735
126	425	461	36	0.091836735
127	373	409	36	0.091836735
128	1327	1363	36	0.091836735
129	2359	2395	36	0.091836735
130	1307	1345	38	0.096938776
131	477	515	38	0.096938776
132	1039	1077	38	0.096938776
133	1379	1417	38	0.096938776
134	1815	1853	38	0.096938776
135	2173	2211	38	0.096938776
136	1663	1701	38	0.096938776
137	1486	1524	38	0.096938776
138	2433	2471	38	0.096938776
139	1567	1607	40	0.102040816
140	1883	1923	40	0.102040816
141	937	977	40	0.102040816
142	2209	2249	40	0.102040816
143	1835	1877	42	0.107142857
144	1603	1645	42	0.107142857
145	1790	1834	44	0.112244898
146	2133	2177	44	0.112244898
147	1721	1765	44	0.112244898
148	913	965	52	0.132653061
149	1801	1865	64	0.163265306
150	1259	1333	74	0.18877551

Intensitas angka yang paling sering muncul

x	y
0.03	1
0.04	10
0.05	16
0.06	31
0.08	25
0.09	18
0.1	12

Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian

1. Mesin *Furnace*



2. Timbangan analitik



3. Mesin SEM EDAX



4. Mesin XRD



5. Sistem Evaporator

