

**SIFAT LISTRIK DAN OPTIK LAPISAN TIPIS BAHAN SEMIKONDUKTOR
 $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, DAN $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ HASIL PREPARASI DENGAN
TEKNIK EVAPORASI TERMAL UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh :

KURNIA FATMASARI

12306144007

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2018

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**SIFAT LISTRIK DAN OPTIK LAPISAN TIPIS BAHAN SEMIKONDUKTOR
 $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, DAN $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ HASIL PREPARASI DENGAN
TEKNIK EVAPORASI TERMAL UNTUK APLIKASI SEL SURYA**



Disusun oleh:
Kurnia Fatmasari
NIM 12306144007

telah memenuhi Persyaratan dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk
dilaksanakan Ujian Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan

Yogyakarta, 23 Februari 2018

Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Drs. B.A. Tjipto Sujitno MTA.PU

NIP. 19541229 198103 1 005

Dosen Pembimbing II



Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Sifat Listrik dan Optik Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal untuk Aplikasi Sel Surya” yang disusun oleh Kurnia Fatmasari, NIM 12306144007 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 12 April 2018 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI			
Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Drs.B.A.Tjipto Sujitno,M.T.A.P.U</u> NIP. 19541229 198103 1 005	Ketua Penguji		16-04-2018
<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 19590914 198803 1 003	Sekretaris Penguji		16-04-2018
<u>Dr. Heru Kusmanto</u> NIP. 19611112 198702 1 001	Penguji Utama		16-04-2018

Yogyakarta , 16 April 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono
NIP.19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Kurnia Fatmasari
NIM : 12306144007
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul : Sifat Listrik dan Optik Lapisan Tipis Bahan
Semikonduktor $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan
 $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik
Evaporasi Termal untuk Aplikasi Sel Surya

menyatakan bahwa tugas akhir skripsi ini benar-benar hasil penelitian dan karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 20 Februari 2018

Yang menyatakan



Kurnia Fatmasari
NIM. 12306144007

MOTTO

Pendidikan merupakan perlengkapan terbaik untuk hari tua.

- *Aristoteles*

Apabila anda berbuat kebaikan kepada orang lain, maka Anda telah berbuat baik kepada diri sendiri.

- *Benyamin Franklin*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini ku persembahkan untuk:

1. Ayah (Sabari) beserta Bunda tercinta (Sunarni, S.Pd) yang telah mendidik, memberikan kasih sayang, memfasilitasi, memotivasi saya saat kuliah.
2. Eyang putri tercinta yang telah mendoakan kelancaran dan kesuksesan saya.
3. Kakak-kakakku (Ambaryanti Wardoyo; Rachmat Suprpto, S.T; Dyah Kusumaningrum, S.E) yang selalu memotivasi dan memberikan nasihat agar kuliah saya segera selesai.
4. Teman-teman Fisika E 2012 yang telah memberikan kenangan selama dibangku perkuliahan.
5. Seluruh saudara dan sahabat yang telah memberikan dukungan, doa,dan saran.

**SIFAT LISTRIK DAN OPTIK LAPISAN TIPIS BAHAN SEMIKONDUKTOR
Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), DAN Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) HASIL PREPARASI DENGAN
TEKNIK EVAPORASI TERMAL UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

Oleh :

Kurnia Fatmasari

12306144007

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahuisifat listrik dan optik Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), dan Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan teknik evaporasi termal untuk aplikasi sel surya.

Untuk tujuan ini, telah dilakukan preparasi lapisan tipis Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), dan Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) menggunakan teknik evaporasi vakum dengan substrat kaca pada tekanan 2×10^{-5} mbar, dan jarak *crucible* ke substrat adalah 10 cm. Sifat listrik telah dianalisis dengan menggunakan metode probe empat titik (FPP) 5000 dan sifat optik menggunakan UV-Vis Spectrophotometer.

Hasil penelitian menunjukkan resistivitas slice rerata dari lapisan tipis Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) adalah 4,92 (Ω .cm) dan jenis konduktansinya adalah tipe P, untuk lapisan tipis Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), resistivitas slice reratanya adalah 0,586 (Ω .cm) dan jenis konduktansinya adalah tipe P. Untuk lapisan tipis Sn(S_{0,2}Te_{0,8}), resistivitas slice reratanya $1,035 \times 10^{-2}$ (Ω .cm) dan tipe konduktansinya adalah tipe P. Dari pengamatan sifat optik menggunakan Spektrofotometer Lambda 25 UV-Vis dan setelah dihitung dengan menggunakan metode taue plot, band gap lapisan tipis dapat dihitung dengan menggunakan Software Ms.Origin 6.1. Hasil analisis menunjukkan bahwa band gap Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) adalah 0,96 eV dan untuk Sn(S_{0,4}Te_{0,6}) <1,5eV.

Kata kunci: Sifat listrik, sifat optik, lapisan tipis, semikonduktor

**ELECTRICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}),
AND Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) SEMICONDUCTORS THIN FILM PREPARED BY USING
THERMAL EVAPORATION TECHNIQUE FOR SOLAR CELL
APPLICATION**

By:

Kurnia Fatmasari

12306144007

ABSTRACT

The aims of the research is to characterize the electrical and optical properties of Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), and Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) apromising solar cell aplication were grown on glass substrate by using thermal evaporation technique.

For this purpose, the preparation has been done by grooming ofthin film of Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), and Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) using vacuum evaporation technique on glass substrate at the pressure 2×10^{-5} mbar, and distance of crucible to substrate is in order of 10 cm. The electrical and optical properties have been analyzed using four point probe (FPP) method and UV-Vis Spectrophotometer respectively.

The result of this research shows that the average slice resistivity of Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) thin film is in order of 4,91 (Ω .cm) and the type of conductance is P type, for Sn(S_{0,4}Te_{0,6}) thin film, the average sliceresistivity is in order of 0,586(Ω .cm) and the type of conductance is P type. For Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) thin film, the average slice resistivity is in order of $1,035 \times 10^{-2}$ (Ω .cm) and the type of conductance is P type. From optical properties observation using Lambda 25 UV-Vis Spectrophotometer and after being calculated using taue plot, the band gapof thin film can be calculated using Ms.Origin 6.1 Software. The result of the analysis shows that band gap of Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) is 0,96 eV and for Sn(S_{0,4}Te_{0,6}) is <1,5eV.

Keywords: electrical properties, optical properties, thin films, semiconductor

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Alloh SWT yang senantiasa telah melimpahkan rahmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi (TAS) dengan judul **“Sifat Listrik dan Optik Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor $S_n(S_{0,5} Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4} Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2} Te_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal untuk Aplikasi Sel Surya”**.

Penyusunan tugas akhir 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 tugas akhir skripsi ini tidak terlepas dari pihak-pihak yang telah membantu penulis. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Drs.B.A. Tjipto Sujitno, M.T.A.P.U selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, fasilitas, arahan, serta kesabarannya dari awal hingga akhir penyusunan tugas akhir skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ariswan selaku dosen pembimbing skripsi dan akademik yang telah menyediakan fasilitas, memberikan bimbingan, arahan, serta kesabarannya dari awal hingga akhir penyusunan tugas akhir skripsi ini.
3. Drs.B.A.Tjipto Sujitno,M.TA.PU, Dr.Ariswan, dan Dr.Heru Kusmanto selaku Ketua Penguji, Sekertaris, dan Penguji yang sudah memberikan koreksi perbaikan secara komprehensif terhadap Tugas AkhirSkripsi ini.
4. Bapak Drs.Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin untuk penelitian ini.
5. Bapak Drs.Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Prodi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin untuk penelitian.
6. Bapak Dr.Hartono, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staf atas

segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir skripsi ini.

7. Bapak Drs. Joko Sudomo, MA selaku pembimbing akademik tahun akademik 2012-2016 yang telah memberikan izin atas penelitian dan memberikan arahan dalam mendampingi penulis untuk menyelesaikan studi.
8. Bapak Suhartono selaku pembimbing teknis Laboratorium material yang telah membantu penelitian ini.
9. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
10. Teman-teman Fisika E Angkatan 2012 atas pengorbanan dan perjuangannya bersama selama menimba ilmu dalam bangku perkuliahan.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Maka dari itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga tugas akhir skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang peduli terhadap kemajuan ilmu pengetahuan dan dunia pendidikan terutama Fisika serta pada rekan-rekan mahasiswa khususnya. Amin

Yogyakarta, 20 Februari 2018

Penulis

Kurnia Fatmasari
NIM. 12306144007

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
A. Material Semikonduktor.....	6
1. Semikonduktor Intrinsik.....	10
2. Semikonduktor Ekstrinsik.....	11
a. Semikonduktor tipe-p.....	11
b. Semikonduktor tipe-n.....	13
B. Bahan Semikonduktor <i>Tin Sulfide Telurium (Sn(STe))</i>	15
1. <i>Tin (Sn)</i>	15
2. <i>Sulfide (S)</i>	15
3. <i>Telurium (Te)</i>	16
4. <i>Tin Sulfide (SnS)</i>	16
5. <i>Tin Telurium (SnTe)</i>	17
6. <i>Tin Sulfide Telurium (Sn(STe))</i>	17
C. Lapisan Tipis.....	18
D. Karakterisasi Lapisan Tipis.....	20
1. Sifat Listrik.....	20

a.	Penentuan Nilai Tipe Konduksi.....	20
b.	Resistivitas dan Konduktivitas Bahan.....	21
c.	<i>Four Point Probe</i> (FPP)	22
2.	Sifat Optik.....	24
a.	Transmisi Penyerapan Secara Langsung.....	27
b.	Transmisi Penyerapan Secara Tidak Langsung.....	29
E.	Teknik Vakum Evaporasi.....	33
BAB III METODE PENELITIAN		38
A.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
B.	Variabel Penelitian.....	39
C.	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	39
D.	Langkah Pengambilan Data.....	42
E.	Analisis Data.....	47
F.	Diagram Alir Tahap Penelitian.....	48
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		49
A.	Hasil Penelitian.....	49
B.	Pembahasan.....	50
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN		54
A.	Kesimpulan.....	54
B.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN.....		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur Pita Energi pada Konduktor, Semikonduktor, dan Isolator.....	7
Gambar 2.	Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p.....	12
Gambar 3.	Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n.....	14
Gambar 4.	Prinsip untuk Menentukan Tipe Konduksi.....	20
Gambar 5.	Skema Mesin FPP-5000.....	24
Gambar 6.	Kurva Penyerapan Semikonduktor Secara Langsung.....	28
Gambar 7.	Kurva Penyerapan Secara Tidak Langsung.....	29
Gambar 8.	Skema Mekanisme Kerja Spektrofotometer UV-Vis.....	32
Gambar 9.	Daerah Kerja Suatu Pompa.....	34
Gambar 10.	Diagram Alir Tahap Penelitian.....	48
Gambar 11.	Grafik Absorbansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$	51
Gambar 12.	Grafik Absorbansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$	52
Gambar 13.	Grafik Koefisien Absorbansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$	52
Gambar 14.	Grafik Transmittansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$	53

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Tabel Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})\dots\dots\dots$	49
Tabel 2.	Tabel Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})\dots\dots\dots$	49
Tabel 3.	Tabel Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})\dots\dots\dots$	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Sampel lapisan tipis	58
	A. Sampel Sn(S _{0,5} Te _{0,5}).....	58
	B. Sampel Sn(S _{0,4} Te _{0,6}).....	59
	C. Sampel Sn(S _{0,2} Te _{0,8}).....	59
Lampiran 2	Hasil Karakterisasi Menggunakan FPP-5000.....	60
	A. Sampel Sn(S _{0,5} Te _{0,5}).....	60
	B. Sampel Sn(S _{0,4} Te _{0,6}).....	60
	B. Sampel Sn(S _{0,2} Te _{0,8}).....	60
Lampiran 3	Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis Spektroskopi.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saat ini fenomena yang ada di dunia adalah tentang ketidakseimbangan permintaan dan penawaran serta akses terhadap sumber daya energi. Energi mempunyai peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Hampir semua aktifitas manusia tergantung pada energi. Pemanfaatan energi secara berlebihan terutama untuk energi yang tidak dapat diperbarui menyebabkan krisis energi. Saat ini setiap tahun terjadi kelangkaan bahan bakar minyak (BBM), hal ini terjadi karena tingginya kebutuhan BBM dan permintaan serta kebutuhan BBM selalu meningkat setiap waktunya.

Perkembangan Ilmu Fisika khususnya dalam bidang elektronika mempunyai peran penting dalam perkembangan dunia teknologi. Energi matahari (surya) menjadi salah satu alternatif sebagai solusi untuk menghindari krisis energi. Saat ini para ilmuwan sedang meneliti mengenai energi surya. Teknologi sel surya (*photovoltaic*) adalah teknologi yang mampu mengubah energi matahari (surya) menjadi energi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor yang mempunyai sambungan p-n (*p-n junction*).

Salah satu bahan semikonduktor yang menjadi perhatian saat ini adalah $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$. Bahan ini merupakan bahan semikonduktor tipe-p yang terbuat dari perpaduan antara golongan IV dengan golongan VI. Bahan ini mempunyai daya serap cahaya yang besar, sehingga sesuai sebagai bahan dasar untuk pembuatan sel surya.

Proses pembuatan lapisan tipis terus berkembang hingga saat ini dan sudah menjangkau dalam semua bidang, antara lain pada bidang elektronika (pembuatan foto detektor, kapasitor, dan mikroelektronika). Metode yang dikembangkan dan digunakan dalam penumbuhan kristal dalam bentuk lapisan tipis yang sering digunakan adalah *sputtering*, evaporasi klasik, dan *close spaced vapour transport* atau sering dikenal dengan CSVT. Metode yang diterapkan untuk pembuatan lapisan tipis ini adalah CVD (*Chemical Vapour Deposition*), dan PVD (*Physical Vapour Deposition*).

Pada penelitian ini disajikan hasil proses preparasi lapisan tipis dengan menggunakan teknik vakum evaporasi. Teknik vakum evaporasi adalah salah satu teknik yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Keunggulan dari teknik vakum evaporasi adalah proses pendeposisian tanpa dibantu oleh ionisasi. Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik vakum evaporasi dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter deposisi, diantaranya sebagai berikut tekanan gas, laju deposisi, temperatur substrat, jarak antara substrat dan temperatur sumber.

Pada penelitian ini proses pembuatan lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ yang dideposisikan pada substrat kaca dengan teknik evaporasi hampa. Kemudian lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dikarakterisasi sifat listrik dan sifat optiknya. Metode untuk mengetahui resistivitasnya pada lapisan tipis ini diamati dengan menggunakan *Four Point Probe* (FPP) dan untuk mengetahui sifat optik dari lapisan tipis pada penelitian ini menggunakan *UV-Vis Spectrofotometer*.

B. Identifikasi Masalah

1. Dibutuhkannya bahan alternatif yang mempunyai sifat listrik dan optik yang baik sehingga dapat diaplikasikan untuk bahan pembuatan sel surya.
2. Belum diketahui apakah proses evaporasi *thermal* pada bahan semikonduktor dengan variasi konsentrasi bahan yang ditentukan mempengaruhi sifat listrik dan optik lapisan tipis yang dihasilkan.

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$.
2. Proses penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan teknik evaporasi *thermal*.

3. Sifat listrik yang diobservasi meliputi nilai resistansi, resistivitas, dan tipe konduksi.
4. Sifat optik yang diobservasi meliputi nilai koefisien absorpsi dan transmitansi melalui UV-Vis Spectrofotometer

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah diuraikan pada identifikasi masalah dan batasan masalah, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat listrik lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi *thermal*?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat optik lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$ dan $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi *thermal*?

E. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat listrik lapisan tipis. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat listrik lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi *thermal*?
2. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat optik lapisan tipis. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat optik

lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$ dan $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi *thermal*?

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memberikan informasi pengaruh variasi konsentrasi bahan terhadap sifat listrik dan optik lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi *thermal*.
2. Dapat mengetahui hasil preparasi lapisan $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$ dan $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$ dengan teknik evaporasi *thermal* yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan sel surya.
3. Dapat digunakan sebagai sumber informasi dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Material Semikonduktor

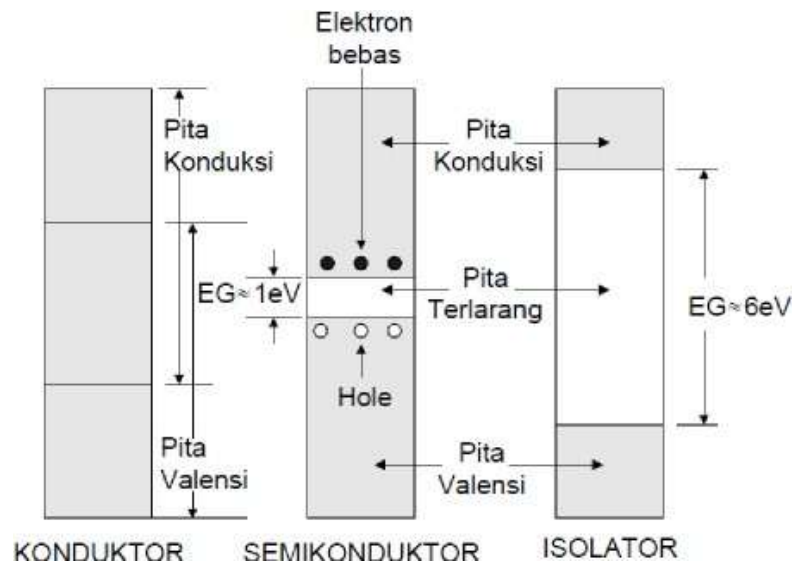
Berdasarkan konduktivitasnya, suatu bahan dapat kita bedakan menjadi 3 macam, yaitu konduktor, isolator, dan semikonduktor. Pada bahan konduktor memiliki resistivitas di atas $(1 \times 10^{-4}) \Omega\text{m}$, pada bahan isolator dengan resistivitas di atas $(1 \times 10^{12}) \Omega\text{m}$, dan pada semikonduktor memiliki resistivitas diantara konduktor dan isolator yaitu dari $(1 \times 10^{-2}) \Omega\text{m}$ hingga $(1 \times 10^7) \Omega\text{m}$ (Kittel, 2005:187). Konduktor merupakan suatu bahan yang mudah menghantarkan arus listrik dan mempunyai struktur pita konduksi dan pita valensi yang saling tumpang tindih, sehingga sebagian pita energi konduksi terisi oleh elektron.

Isolator adalah suatu bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik. Pita valensi dan pita konduksi tidak saling tumpang tindih sehingga terdapat daerah kosong antara pita valensi dan pita konduksi yang dinamakan pita terlarang. Keberadaan pita terlarang ini memisahkan daerah pita valensi yang penuh dan pita konduksi yang kosong, sehingga mengakibatkan terhambatnya serapan energi bagi elektron dan tidak dapat melewati pita terlarang.

Semikonduktor adalah suatu bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Dinamakan semikonduktor karena bukan

merupakan bahan semikonduktor yang murni. Letak pita valensi dan pita konduksi seperti pada bahan isolator yaitu posisinya tidak saling tumpang tindih sehingga terdapat daerah kosong antara pita valensi dan pita konduksi yang dinamakan pita terlarang. Keberadaan pita terlarang ini memisahkan daerah pita valensi yang penuh dan pita konduksi yang kosong, sehingga mengakibatkan terhambatnya serapan energi bagi elektron dan tidak dapat melewati pita terlarang. Semikonduktor mempunyai pita terlarang yang relative kecil yaitu ~ 1 eV, memiliki resistivitas dan konduktivitas sekitar $\approx 10^4 \Omega m$ (Istiyono, 2000 : 131). Bahan semikonduktor akan bersifat sebagai isolator pada temperatur rendah (0 K), namun pada temperatur ruang akan bersifat sebagai konduktor.

Perbedaan ketiga bahan tersebut dilihat dari struktur pita energinya, yang ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Struktur Pita Energi pada Konduktor, Semikonduktor, dan Isolator
<http://rickybagi.blogspot.co.id/2012/11/penghantar-semikonduktor.html>

Konduktor merupakan bahan yang mudah dilewati oleh listrik atau bahan yang mudah dilewati sebagian besar elektron. Konduktor memiliki resistansi listrik yang kecil, disebabkan karena didalam bahan konduktor terdapat sejumlah elektron bebas. Bahan konduktor memiliki pita konduksi yang hanya terisi oleh sebagian elektron. Jika medan listrik dikenai pada bahan konduktor ini, maka elektron akan memperoleh energi potensial dan dapat bergerak sehingga menimbulkan arus listrik dengan baik. Pada bahan konduktor pita energinya tumpang-tindih dan energi gapnya sangat kecil. Dengan demikian, bahan konduktor mempunyai konduktivitas yang tinggi.

Isolator merupakan bahan yang sulit untuk menghantarkan listrik atau penghantar listrik yang buruk. Isolator mempunyai pita valensi yang penuh dengan elektron dan pita konduksinya kosong. Pada bahan isolator terdapat celah energi yang besar antara pita valensi dan pita konduksi sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk menaikkan elektron dari pita valensi ke tingkat yang lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan bahan isolator memiliki konduktivitas yang rendah. Pada umumnya isolator mempunyai dua sifat yaitu yang pertama mempunyai celah energi yang sangat besar antara pita valensi dan pita konduksi, dan yang kedua tingkat energi ferminya terletak pada celah energinya (Parno, 2006 : 140).

Bahan semikonduktor merupakan resistivitas listrik yang berada diantara konduktor dan non-konduktor. Resistivitas semikonduktor berkisar 1×10^{-2} hingga $1 \times 10^9 \Omega\text{m}$. Semikonduktor merupakan bahan yang memiliki energi gap dibawah

$E_g (\approx 1 \text{ eV})$ atau memiliki celah yang kecil diantara pita konduksi dan pita valensi sehingga celah energinya relative kecil. Celah energi yang kecil ini memungkinkan sebuah elektron memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Perpindahan elektron ini dapat terjadi karena pengaruh suhu, penyinaran, atau pemberian tegangan. Ketika bersuhu rendah ($T = 0 \text{ K}$) bahan semikonduktor akan bersifat seperti isolator, dimana pita valensinya terisi penuh dengan elektron, dan pita konduksinya kosong. Ketika bersuhu kamar, bahan semikonduktor akan mempunyai sifat konduktor, elektron pada pita valensi akan memperoleh energi kinetik yang memudahkan elektron melewati celah energi terlarang dan mampu melompat ke pita konduksi sehingga pada pita konduksi terdapat elektron yang dapat bergerak bebas.

Elektron-elektron tersebut akan meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang dinamakan lubang atau *hole*. *Hole* pada pita valensi dan elektron bergerak bebas pada pita konduksi. Hal inilah yang berpartisipasi sebagai penghantar arus pada semikonduktor. Elektron yang melompat dari pita valensi ke pita konduksi menjadi pembawa muatan negatif, sedangkan lubang (*hole*) pada pita valensi merupakan pembawa muatan positif. Dengan demikian, bahan semikonduktor memiliki konduktivitas cukup tinggi. Contoh bahan semikonduktor adalah *silicon*, *germanium*, dan *selenium*.

Semikonduktor dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik merupakan semikonduktor yang tidak ataupun belum terkotori oleh atom-atom asing. *Silicon* dan *germanium* mempunyai elektron valensi empat sehingga dinamakan *tetravalent*. Struktur kristal *silicon* dan *germanium* berbentuk *tetrahedral* melalui ikatan kovalennya dengan atom-atom tetangga terdekatnya.

Dalam semikonduktor intrinsik, jumlah elektron bebas pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi. Gerakan termal akan terus menerus memunculkan pasangan elektron-*hole* yang baru, sedangkan elektron-*hole* yang lain akan menghilang sebagai akibat karena proses rekombinasi. Hal ini adalah proses dimana elektron dan *hole* menjadi satu sehingga menjadi netral dan kemudian menghilang setelah menghamburkan energi. Karena timbulnya *hole* dan elektron terjadi secara serentak, maka pada semikonduktor murni, konsentrasi (rapat) elektron n harus sama dengan konsentrasi *hole* p , sehingga :

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

dengan n_i disebut sebagai konsentrasi intrinsik. Sedangkan energi fermi (E_f) pada semikonduktor intrinsik terletak diantara pita konduksi dan pita valensi yang besarnya adalah :

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

Dengan E_c merupakan energi pada pita konduksi dan E_v adalah energi pada pita valensi.

Menurut Nyoman Suwitra (1989 : 222-227), semikonduktor intrinsik mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
- b. Energi fermi terletak ditengah-tengah *energy gap*.
- c. Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, tetapi sumbangan *hole* juga berperan penting.
- d. Ada sekitar 1 atom diantara 1×10^9 atom yang memberikan sumbangan terhadap hantaran listrik

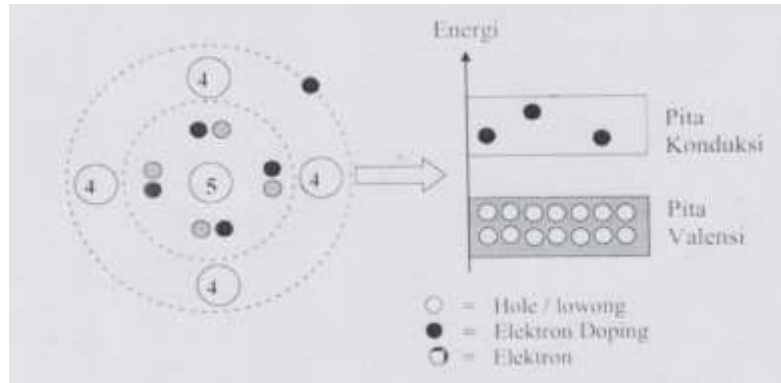
2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik atau disebut juga semikonduktor tak murni terjadi dikarenakan ketakmurnian (pengotor), dengan cara memasukkan elektron atau *hole* yang berlebih. Semikonduktor ekstrinsik terdiri dari dua tipe yaitu tipe-p dan tipe-n.

a. Semikonduktor Tipe-p

Semikonduktor tipe-p memiliki konsentrasi *hole* lebih besar dibandingkan dengan elektronnya. Semikonduktor tipe-p dapat dibuat dengan menambahkan atom pengotor dengan atom valensi 3 seperti Al (*Aluminium*), B (*Boron*) atau G (*Gallium*) pada semikonduktor murni. Atom-atom pengotor ini memiliki tiga elektron valensi sehingga secara efektif dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Sebuah atom *trivalent* menempati posisi atom silikon dalam kisi kristal, sehingga terbentuk tiga ikatan kovalen

lengkap, dan tersisa sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan yang disebut dengan *hole*.



Gambar 2. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p
(Reka Rio dan Iida, 1982 : 12)

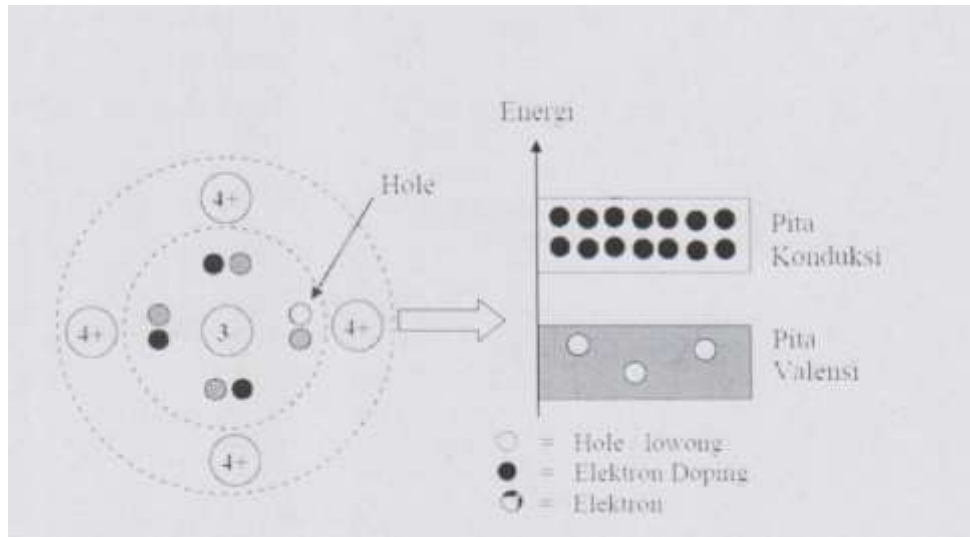
Menurut (Irwan, 2004:12), jika semikonduktor intrinsik di-*doping* dengan sejumlah kecil *atom trivalent*, maka setiap *atom-doping* akan berkontribusi tiga elektron dan menyisakan satu *hole* pada ikatan kovalen. Jumlah ketidakmurnian yang harus diberikan, untuk menimbulkan efek konduktivitas relatif sangat kecil. Contoh: ketidakmurnian sebanyak 1 untuk 10^8 *Germanium* pada suhu 30° akan meningkatkan konduktivitas sebesar 12 kali lipat. Penambahan *akseptor* (ketidakmurnian tipe-p) pada semikonduktor intrinsik akan menimbulkan tambahan tingkat energi sedikit di atas pita valensi, seperti pada Gambar 2. Kecilnya selisih tingkat energi pita valensi dan pita

akseptor menyebabkan banyak elektron naik ke pita *akseptor*, meninggalkan *hole* pada pita valensi, yang menjadi *carrier* terbesar pada semikonduktor.

b. Semikonduktor Tipe-n

Semikonduktor tipe-n memiliki konsentrasi elektron yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi *hole*. Semikonduktor tipe-n dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor yang bervalensi 5 seperti Ar (*arsenic*), P (*phosphorus*), atau Sb (*antimony*) pada semikonduktor murni. Atom-atom pengotor ini memiliki 5 elektron valensi sehingga efektif memiliki muatan sebesar $+5q$. Elektron ke-5 dari donor tidak terikat kemanapun dan dapat menghantarkan arus atau melakukan *rekombinasi* dengan *hole* semikonduktor intrinsik, energi yang diperlukan untuk membebaskan elektron ke-5 ini dari atom hanya sebesar 0,01 eV untuk Ge dan 0,05 eV untuk Si. Penambahan donor akan menambah satu tingkat energi baru di bawah pita konduksi, dengan jarak 0,01 eV untuk *germanium* dan 0,05 eV untuk *silicon* (Irwan, 2004 : 12).

Sebuah atom *pentavalent* menempati posisi atom silikon dalam kisi kristal, hanya 4 elektron valensi yang membentuk ikatan kovalen lengkap, sehingga tersisa sebuah elektron yang tidak berpasangan. Adanya energi *thermal* yang kecil menyebabkan sisa elektron menjadi elektron bebas dan siap menjadi pembawa muatan dalam proses hantaran listrik. Atom pengotor ini disebut dengan atom *donor* karena memberikan elektron.



Gambar 3. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n
(Reka Rio dan Iida, 1982 : 12)

Pada Gambar 3 menjelaskan bahwa diagram tingkat energi semikonduktor tipe-n, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam energi gap tepat di bawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan elektron ini untuk bergerak menuju pita konduksi menjadi kecil. Dengan demikian, akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi elektron ini dinamakan dengan arah donor dan elektron pengotor disebut juga dengan donor. Hal ini dikarenakan elektron dengan mudah dapat diberikan ke pita konduksi. Suatu semikonduktor yang telah di-*doping* dengan pengotor donor dinamakan dengan semikonduktor tipe-n atau negatif (Kittel, 2005 : 209). Pada tipe-n, mayoritas pembawa muatan adalah elektron sedangkan *hole* merupakan pembawa minoritas.

B. Bahan Semikonduktor *Tin Sulfide Telurium*/Sn(STe)

Bahan semikonduktor Sn (S Te) terdiri dari gabungan tiga unsur yaitu Sn (*Stannum*), S (*Sulfide*), dan Te (*Telurium*). Sn merupakan unsur golongan IV, S merupakan unsur golongan VI, dan Te merupakan unsur golongan VI. Bahan Sn (S Te) merupakan bahan semikonduktor tipe-p, ketiga bahan tersebut mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. *Tin* (Sn)

Stannum atau juga dikenal dengan *Tin* yang merupakan unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Sn memiliki nomor atom 50, massa atom relatif 118,71 gram/mol, titik lebur 231,93° C, dan titik didih 2602° C. Sn termasuk golongan IV pada tabel berkala dan memiliki struktur kristal *tetragonal* dan *kubik diamond* dengan mempunyai energi gap sebesar 0,7 eV (Mark Winter, 2015). Semikonduktor berbahan dasar Sn sangat berpotensi untuk digunakan sebagai pencegah korosi yang berfungsi sebagai pelindung logam lain dan pembuat kaca.

2. *Sulfide* (S)

Sulfide (S) merupakan logam berwarna kelabu dalam bentuk pelet, termasuk golongan VI pada tabel berkala, memiliki nomor atom 16, dan massa atom relatif (Ar) 32,07 gram/mol. Sulfida memiliki titik lebur 115,21°C dan titik didih 444,6°C. Sulfida menunjukkan sifat fotovoltaiik (mengubah cahaya menjadi listrik) dan sifat fotokonduktif (penurunan hambatan listrik dengan meningkatnya cahaya dari luar dan menjadi

penghantar listrik ketika terpapar cahaya dengan energi yang cukup). Sifat-sifat ini membuat sulfida berguna dalam produksi fotosel dan exposuremeter untuk tujuan fotografi, seperti sel matahari (Muhammad, 2016:14).

3. *Telurium (Te)*

Telurium termasuk golongan VI yang memiliki nomor atom 52, massa atom relatif (Ar) 127,6 gram/mol. Te memiliki titik lebur 449,51°C dan titik didih pada suhu 989,9°C (Setyaningrum, 2016: 23). *Telurium* memiliki warna putih keperak-perakan, dalam keadaan murninya menunjukkan kilau logam, biasanya terbentuk dengan warna abu-abu gelap dan bersifat semilogam (metalloid), cukup rapuh, agak beracun dan dapat dihaluskan dengan mudah. *Telurium amorf* ditemukan pada pengendapan telurium dari larutan asam tellurat. *Telurium* adalah sebuah semikonduktor yang memiliki konduktivitas listrik sedikit meningkat bila terkena cahaya (fotokonduktivitas). Bentuk dari senyawa ini masih dipertanyakan, amorf atau terbentuk dari kristal.

4. *Tin Sulfide (SnS)*

Tin Sulfide merupakan perpaduan dari dua unsur senyawa kimia yaitu timah (Sn) dan Sulfida (S) dengan rumus kimia SnS. SnS merupakan semikonduktor tipe-p yang berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaik, dan sebagai media perekam holografik. Celah energi SnS berada pada rentang 1,2-1,5 eV (Eka Wulandari, 2016: 21). *Tin*

Sulfide memiliki struktur kristal orthorombik dan mempunyai parameter kisi $a \neq b \neq c$ yaitu $a = 4,33 \text{ \AA}$; $b = 11,18 \text{ \AA}$; dan $c = 3,98 \text{ \AA}$ (Burton, 2013).

Tin Sulfide mempunyai struktur kristal berwarna coklat hitam atau abu-abu yang mempunyai massa molar $150,776 \text{ g/mol}$, titik lebur 880°C , dan titik didih 1210°C (<http://www.wewbelements.com>). Berdasarkan (Cheng,2012:7), bahan SnS memiliki *band gap* sebesar $1,5 \text{ eV}$.

5. Tin Telerium (SnTe)

SnTe merupakan paduan dua unsur bahan yaitu Stannum (Sn) dan Tellurium (Te). SnTe berwarna abu-abu dengan titik lebur 790°C , dan kerapatan 6500 kg.m^{-3} (<http://www.wewbelements.com>). SnTe adalah material termoelektrik yang memiliki *energi gap* sekitar $0,35 \text{ eV}$. Bahan semikonduktor dari grup ini memiliki keunggulan yaitu sensitifitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan untuk detektor inframerah (Saini, 2010: 5).

6. Tin Sulfide Telerium (Sn(STe))

Sn(STe) merupakan material semikonduktor hasil perpaduan dari bahan semikonduktor antara SnS dan SnTe. Berdasarkan (Cheng, 2012: 7), bahan SnS memiliki *band gap* sebesar $1,5 \text{ eV}$. Sedangkan SnTe adalah material termoelektrik yang memiliki *energi gap* sekitar $0,35 \text{ eV}$ (Saini, 2010:5).

C. Lapisan Tipis

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang terbuat dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal-organik (*organometallic*) dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer) yang mempunyai sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator. Bahan-bahan lapisan tipis akan memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu mempunyai sifat-sifat bahan yang diakibatkan oleh proses pertumbuhan lapisan tipis. Aplikasi pada lapisan tipis saat ini telah dapat 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.

Proses pembuatan lapisan tipis dapat dengan berbagai metode seperti *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD). Metode CVD meliputi *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD), *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD), dan *Photo Chemical Vapor Deposition* (PCVD), serta *Closed Space Vapor Deposition* (CSVT), *sputtering*, dan

evaporation vacum (Ohring, 2002: 96). Dalam penelitian ini menggunakan metode vakum evaporasi (*evaporation vacum*).

Pada proses penumbuhan lapisan tipis melewati tiga tahapan utama yaitu:

1. Pembentukan jenis atom, molekul, atau ion.
2. Transport jenis atom, molekul, atau ion.
3. Kondensasi pada permukaan substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia untuk membentuk suatu deposisi padatan.

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

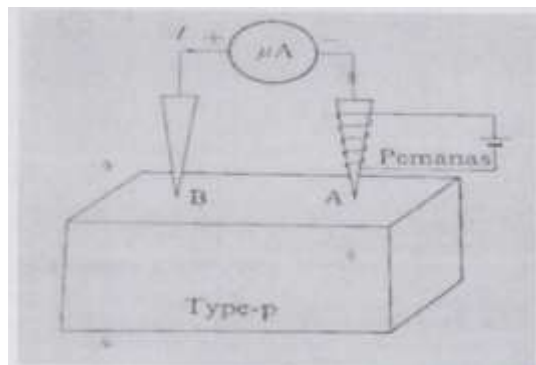
D. Karakterisasi Lapisan Tipis

1. Sifat Listrik

a. Penentuan Nilai Tipe Konduksi

Tipe konduksi suatu lapisan tipis merupakan salah satu sifat terpenting yang harus diketahui. Prinsip kerja dalam penentuan tipe konduksi disajikan pada Gambar 4. Pada jarum A dililitkan kawat wolfram untuk pemanasan sehingga disebut probe panas. Sedangkan jarum B dibiarkan pada suhu kamar dan kedua jarum dihubungkan dengan amperemeter. Bila bahan bersifat semikonduktor tipe-p maka jarum B menunjukkan tegangan negatif dan arus mengalir dari jarum B ke jarum A. Arah arus akan berlawanan kalau yang diukur adalah semikonduktor tipe-n. Maka tipe konduksi dapat ditentukan dengan mengetahui arah arus.

Prinsip kerja dalam penentuan tipe konduksi dapat disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Prinsip untuk Menentukan Tipe Konduksi
(Rio, 1982)

b. Resistivitas dan Konduktivitas Bahan

Sifat listrik dari suatu penghantar dapat dicirikan dari resistivitas (ρ) dan konduktivitas (σ), konduktivitas berbanding terbalik dengan resistivitas. Resistivitas dan konduktivitas merupakan besaran-besaran volumetrik yang menggambarkan kualitas (baik atau buruk) suatu bahan penghantar listrik (Suyoso, 2003 : 70).

Konduktivitas timbul karena elektron mudah bergerak dalam kisi. Ketidakteraturan ditimbulkan oleh beberapa sumber penyebab yaitu suhu, deformasi, dan irradiasi nuklir.

Bila pada ujung-ujung semikonduktor dihubungkan dengan beda potensial maka akan timbul medan listrik pada setiap titik di dalam semikonduktor tersebut yang menghasilkan arus listrik I . Secara matematis arus yang mengalir pada semikonduktor adalah

$$I = \frac{V}{R} \quad (4)$$

Dimana I merupakan arus listrik yang mengalir dalam ampere. V merupakan beda potensial ujung semikonduktor dalam volt, R merupakan resistansi yang menyatakan karakteristik semikonduktor dalam ohm. Menurut hukum Ohm, rapat arus J sebanding dengan kuat medan listrik E . Secara matematis dapat ditulis:

$$J = \sigma E \quad (5)$$

Dimana J merupakan rapat arus (A/m^2), σ adalah konduktivitas listrik semikonduktor ($\Omega^{-1} m^{-1}$) dan E merupakan kuat medan listrik (V/m).
Rapat arus yang mengalir pada semikonduktor adalah

$$J = \frac{I}{A} \quad (6)$$

Dimana A adalah luas penampang semikonduktor (m^2). Bila kuat medan listrik dalam suatu semikonduktor dianggap serba sama (homogen) maka kuat medan listrik adalah :

$$E = \frac{V}{l} \quad (7)$$

Dengan l merupakan panjang semikonduktor (m) . Dari persamaan (5) bila disubstitusikan ke dalam persamaan (6) maka diperoleh :

$$I = \sigma EA \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (7) dan persamaan (8) diperoleh besar arus listrik yang mengalir pada semikonduktor.

$$I = \frac{\sigma A}{d} V \quad (9)$$

Persamaan (6) analog dengan persamaan (4) dengan $R = l/\sigma A$, karena $\rho = 1/\sigma$ maka diperoleh :

$$\rho = \frac{A}{l} R \quad (10)$$

c. *Four Point Probe* (FPP)

Four Point Probe (FPP) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur resistivitas sekaligus tipe konduksi dari

bahan semikonduktor pada lapisan tipis. Gambar 5 merupakan rangkaian metode *four point probe*. Keempat *probe* tersebut dari kawat tungsten yang ujungnya sangat runcing. Suatu jajaran probe empat titik diletakkan pada lapisan tipis yang akan diukur resistivitasnya dengan jarak antar titik a . Jika sumber tegangan dipasang pada dua buah probe yang diluar maka akan menghasilkan arus I pada dua probe terluar. Sebuah voltmeter dihubungkan pada kedua ujung titik yang berbeda di dalam yang masing-masing berjarak a untuk mengukur tegangan V . Untuk semikonduktor lapisan tipis dengan ketebalan d , resistivitas (ρ) lapisan tipis dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\rho = \frac{V}{I} CFd \quad (11)$$

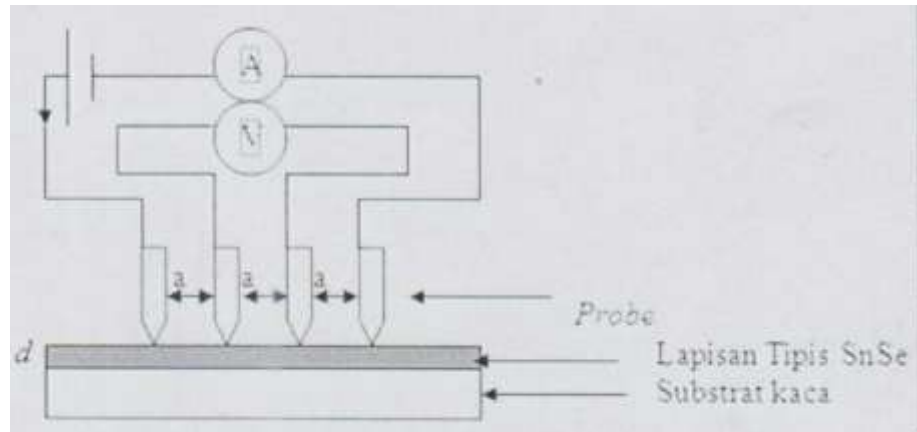
Dengan CF adalah faktor koreksi. Apabila $d \ll a$ maka faktor koreksi bernilai $\pi / \ln 2$ sehingga diperoleh persamaan resistivitas lapisan tipis (Sze, 1981 : 32).

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} Rd \quad (12)$$

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I} d \quad (13)$$

Berdasarkan persamaan (13) maka yang digunakan dalam pengukuran adalah resistansi sheet dengan persamaan (14):

$$R = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I} \quad (14)$$



Gambar 5. Skema Mesin FPP – 5000
(Ellingson, R : 2011)

2. Sifat Optik

Transmitansi, absorbansi, dan reflektansi merupakan sifat optik dari suatu material yang ada kaitannya dengan interaksi antara material dengan gelombang elektromagnetik seperti cahaya, khususnya cahaya tampak. Spektrum transmisi menunjukkan fungsi transmisi terhadap panjang gelombang. Spektrum absorpsi menunjukkan fungsi koefisien absorpsi terhadap energi foton cahaya. Pengukuran sifat optik menggunakan gelombang elektromagnetik dari ultraviolet sampai inframerah. Parameternya adalah panjang gelombang (λ), energi ($h\nu$). Hubungan antara energi dan panjang gelombang adalah sebagai berikut :

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \quad (15)$$

E adalah energi cahaya (joule), h adalah konstanta plank yang besarnya $6,626 \times 10^{-34}$ Js. c merupakan kecepatan cahaya dalam ruang gampa (3×10^8 m/s) dan λ adalah panjang gelombang cahaya (m) (Schrodinger, 2006).

Transmitansi merupakan perbandingan antara intensitas cahaya setelah dan sebelum melewati material semikonduktor yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{I_T}{I_o} \quad (16)$$

Dengan T menyatakan besarnya transmitansi material semikonduktor (dalam %). Intensitas radiasi berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan film sehingga persamaan (10) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\frac{I_T}{I_o} = e^{-ad} \quad (17)$$

Dengan d adalah ketebalan film dan a adalah koefisien absorpsi optik.

Hubungan transmitansi dengan ketebalan dapat dilihat dengan mensubstitusikan persamaan (16) dalam persamaan (17) sehingga dapat diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$T = e^{-ad} \quad (18)$$

Nilai ketebalan yang semakin besar menyebabkan nilai transmitansi semakin kecil.

$$-ad = \ln T \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{-\ln T}{d} \quad (20)$$

Dengan α merupakan koefisien absorpsi optik. Berdasarkan data energi cahaya dan besarnya koefisien absorpsi optik, dapat dibuat grafik hubungan antara energi cahaya terhadap kuadrat dari koefisien absorpsi (α^2), yang selanjutnya disebut dengan grafik absorpsi, dengan kurva grafik absorpsi ini dapat ditentukan nilai *band gap*nya.

Penentuan besarnya *band gap* dari pengukuran absorpsi optik dipengaruhi oleh beberapa hal. Pengaruh yang pertama adalah terbentuknya *band tail* atau energi *urbach*. Energi *urbach* terjadi karena adanya keadaan terlokalisasi (*localized states*) pada *band gap* sebagai akibat dari keacakan struktur penyusun film dan ditambah dengan adanya konsentrasi doping yang tinggi (Saragih, Horasdia, Aliah, Sustini, Limbong, & Hutapea, 2010) atau cacat kristal dan tergabung dalam pita konduksi dan pita valensi. Efek ini menghasilkan tepi eksponensial dalam bahan semikonduktor (Wiyatmo, Sugianto, & Supomo 2004). Efek penyusutan pita konduktor ini disebabkan karena adanya keacakan struktur penyusun film pada kisi atom yang didoping (*host*). Pada daerah eksponensial, lebar koefisien absorpsi dapat didekati dengan perumusan hubungan antara α dan (E_μ) dengan persamaan (17)

$$\alpha = \alpha_o \exp \frac{E}{E_\mu} \quad (21)$$

Dengan α_o adalah suatu konstanta, E adalah energi foton, dan E_μ adalah besarnya energi *urbach* dalam eV (Saragih, , Horasdia, Aliah, Sustini,

Limbong, & Hutapea, 2010). Pengaruh yang kedua adalah terbentuknya pasangan elektron-hole atau eksiton dalam semikonduktor. Eksiton memiliki energi ikat yang kecil sehingga eksiton dapat muncul dengan sendirinya berupa puncak tajam dibawah tepi absorpsi.

Koefisien absorpsi (α) merupakan fraksi yang diserap dalam satuan jarak yang dilewati dan merupakan karakteristik suatu lapisan tipis dalam panjang gelombang tertentu (Setiawan, 2008 : 2). Absorpsi foton tergantung pada sifat bahan semikonduktor dan panjang gelombang cahaya yang datang. Absorpsi suatu bahan semikonduktor menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Proses transisi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi tersiri dari transisi langsung dan transisi tidak langsung.

a. Transisi Penyerapan Secara Langsung

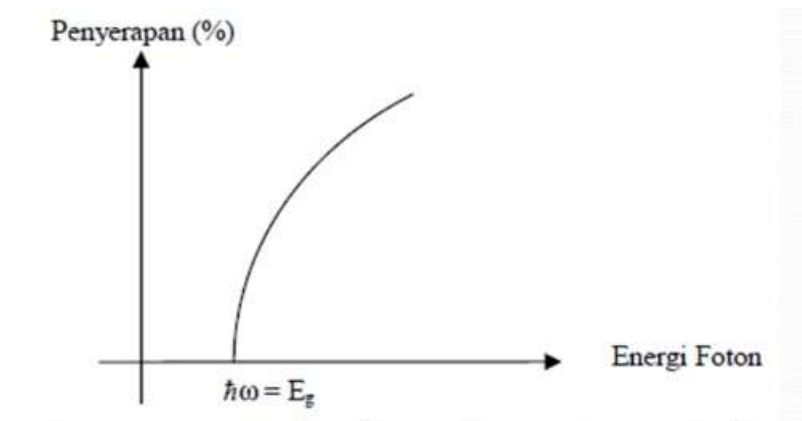
Pada transisi penyerapan langsung, elektron dapat mengabsorpsi foton dan langsung melompat ke dalam pita konduksi. Besarnya celah energi (E_g) sama dengan besarnya energi foton (gelombang elektromagnetik). Secara sistematis dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_{foton} + E_{fonon} = E_g \quad (22)$$

Karena $E_{fonon} = 0,05 \text{ eV}$ sangat kecil bila dibandingkan dengan $E_{foton}=1 \text{ eV}$, sehingga dalam hal ini sama dengan kasus transisi langsung pada semikonduktor celah-langsung adalah :

$$E_g = E_{fonon} = \frac{hc}{\lambda_o} \quad (23)$$

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6:



Gambar 6. Kurva Penyerapan Semikonduktor Secara Langsung (Rita Prasetyowati, 2011: 6)

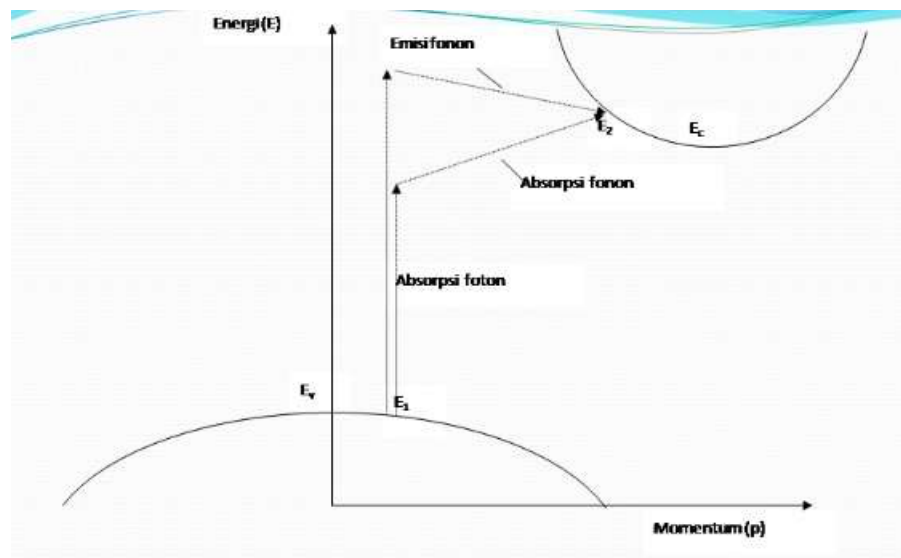
Pada Gambar 6, saat mulai terjadi penyerapan foton oleh kristal berarti elektron-elektron pada pita valensi mulai memperoleh energi yang cukup untuk meloncati celah energi (E_g), sehingga pada saat ini timbul hole (lubang) di pita valensi dan elektron konduksi di pita konduksi. Oleh karena itu, tepat pada saat mulai terjadi penyerapan, energi foton yang diserap kristal (elektron) adalah tepat sama dengan nilai celah energi dari kristal semikonduktor tersebut.

b. Transisi Penyerapan Secara Tak Langsung

Pada penyerapan tidak langsung, elektron mengabsorpsi foton sekaligus fonon. Proses ini memenuhi hukum kekekalan energi. Sehingga selain energi foton (partikel dalam gelombang elektromagnetik) terdapat juga fonon (partikel dalam gelombang elastik) yang dipancarkan maupun diserap, dapat ditulis kedalam persamaan sebagai berikut :

$$E_g \pm \hbar\Omega = \hbar\omega \quad (24)$$

Dimana tanda \pm menunjukkan bahwa proses penyerapan tidak langsung ini keberadaan fonon ada yang dipancarkan (+) atau diserap (-). Jika digambarkan, akan diperoleh Gambar 7:



Gambar 7. Kurva Penyerapan Semikonduktor Secara Tidak Langsung (Rita Prasetyowati, 2011: 9)

Gambar 7 terlihat bahwa awal penyerapan terjadi pada saat energi foton monokromatik $\hbar\omega = E_g + \hbar\Omega$. pada proses ini berarti fonon muncul di dalam kristal semikonduktor bersamaan dengan munculnya hole di pita valensi dan elektron di pita konduksi. Jika nilai $\hbar\omega = E_g + \hbar\Omega$, maka berarti fonon bersama foton diserap oleh kristal semikonduktor. Transisi untuk bahan semikonduktor dituliskan pada persamaan (25)

$$(\alpha hf)^2 = B^2 (hf - E_g) \quad (25)$$

dengan $f = c/\lambda$

dimana $h =$ konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js)

$c =$ cepat rambat cahaya di udara (3×10^8 m/s)

$\lambda =$ panjang gelombang cahaya (m)

$\alpha =$ koefisien absorpsi (m^{-1})

$f =$ frekuensi gelombang (Hz)

$B =$ konstanta yang bergantung pada material

$hf =$ energi foton (eV)

$E_g =$ energi gap

Metode *plot taue* digunakan untuk menentukan celah energi (energi gap) dan berlaku untuk bahan semikonduktor. Menurut (Setiawan, 2008 : 3) metode *plot taue* dijelaskan sebagai berikut (dengan mengambil $n = 1/2$):

1. Data yang keluar adalah transmitansi (%) terhadap panjang gelombang (nm)
2. Kemudian dibuat grafik hubungan antara αhv^2 terhadap hv
3. Dengan melakukan ekstrapolasi bagian linier αhv^2 terhadap hv memotong absis, maka diperoleh nilai energi yang dinamakan celah energi (energi gap).

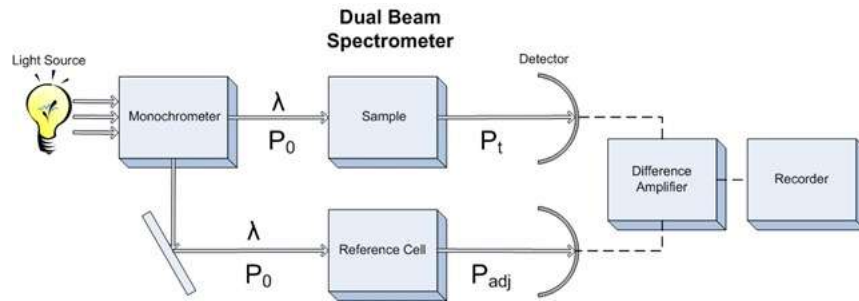
Metode spektrofotometer Ultra-Violet sinar tampak (UV-Vis) berdasarkan pada hukum Lambert Beer. Hukum tersebut menyatakan bahwa jumlah radiasi cahaya tampak dan ultra violet yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu bahan merupakan suatu fungsi eksponen dari konsentrasi zat dan tebal bahan. Hukum ini secara sederhana dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$\log \frac{l_t}{l_o} = -k_1 \cdot b. \quad (26)$$

$$l_t = l_o \cdot 10^{-k_1 \cdot b} \quad (27)$$

$$\log \frac{l_t}{l_o} = -k_2 \cdot c. \quad (28)$$

$$l_t = l_o \cdot 10^{-k_2 \cdot c} \quad (29)$$



Gambar 8. Skema Mekanisme Kerja Spektrofotometer UV-Vis

[\(https://wanibesak.wordpress.com/tag/prinsip-kerja-spektrofotometer/\)](https://wanibesak.wordpress.com/tag/prinsip-kerja-spektrofotometer/)

Gambar 8 menunjukkan bahwa mekanisme kerja dari spektrofotometer UV-Vis yaitu sumber cahaya polikromatis dipancarkan dari lampu deuterium atau lampu Halogen. Sumber cahaya dapat diatur secara otomatis bergantung pada jenis bahan. Lampu deuterium memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 190 nm-282 nm, sedangkan lampu halogen memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 282 nm-1200nm. Berkas cahaya yang melewati monokromator akan dipecah menjadi 2 berkas, yaitu berkas sampel dan acuan (*reference*). Kedua berkas tersebut akan dideteksi oleh detektor photodiode yang kemudian dikonversi ke dalam tegangan dan diperkuat oleh *amplifier*, sinyal kemudian masuk ke dalam *A/D converter* dan akhirnya terbaca oleh CPU. Komputer kemudian akan menghitung perbandingan sinyal sampel terhadap

sinyal acuan untuk memperoleh nilai absorbansi sebagai fungsi panjang gelombang.

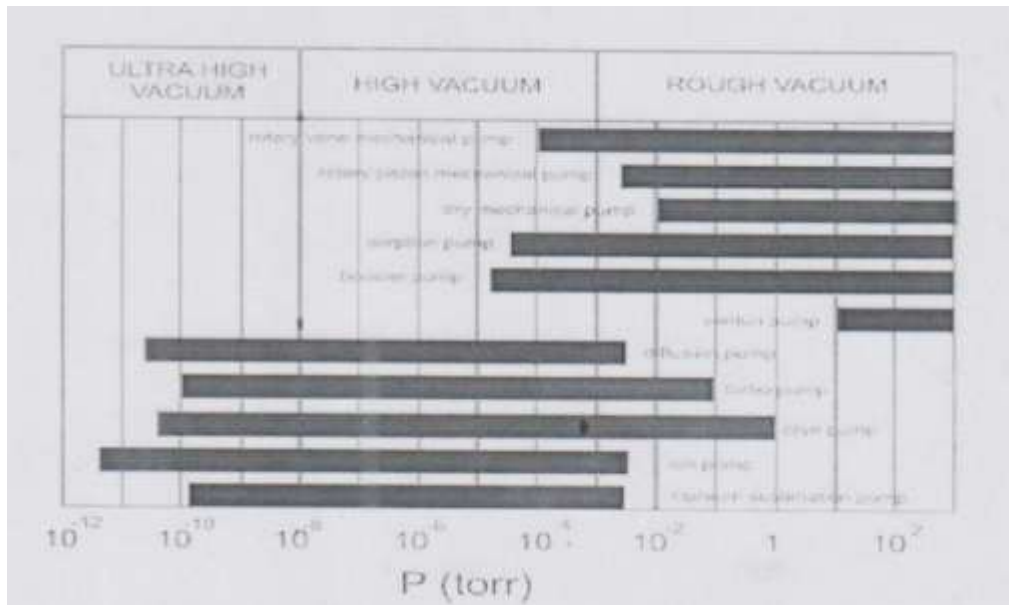
E. Teknik Vakum Evaporasi

Evaporasi merupakan salah satu metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang hampa. Preparasi bahan membutuhkan suatu alat preparasi lengkap yang akan digunakan untuk menguapkan atau menghasilkan suatu hasil preparasi dan untuk kali ini adalah dalam bentuk lapisan tipis yang menempel pada substrat kaca (Nirwanto, 2007 : 4). Mesin evaporasi yang sering disebut evaporator adalah alat pendeposisi yang bekerja dengan menggunakan penguapan dalam ruang hampa. Pada sistem evaporasi terdapat sumber pemanas untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Pemanas tersebut dialiri oleh arus yang cukup tinggi untuk mendapatkan suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendesak keluar uap-uap dari bahan sumber. Dalam proses ini, bahan yang digunakan harus padat karena jika menggunakan cairan akan bereaksi dengan elemen pemanasnya. Bahan sumber yang telah dievaporasi kemudian bergerak meninggalkan sumber panas dalam bentuk gas. Setelah itu terjadi proses pelapisan dengan proses kondensasi pada setiap permukaan substrat yang ditimpa atom-atom.

Untuk mengosongkan suatu ruangan mulai dari tekanan atmosfer misalnya sampai 5×10^{-5} torr dibutuhkan dua atau tiga kali pompa secara bertahap untuk mendapatkan vakum tinggi. Karena pompa mempunyai daerah kerja tertentu

maka dibutuhkan pengetahuan tentang suatu daerah kerja suatu pompa. Seperti yang disajikan pada Gambar 9. Suatu pompa akan bekerja dan berfungsi dengan baik apabila dipakai sesuai dengan daerah kerjanya. Ada beberapa pompa yang dapat menghasilkan kontaminasi kalau dipakai diatas daerah kerja mereka.

Bila vakum yang dikehendaki berada pada daerah kerja *roughing pumps* (vakum rendah) maka hanya dibutuhkan satu pompa saja. Namun biasanya orang membutuhkan vakum yang lebih tinggi misalnya untuk menghasilkan lapisan tipis dalam industri kaca atau dalam pembuatan cermin reflektor lampu mobil.



Gambar 9. Daerah Kerja Suatu Pompa

(Ariswan, 2013)

Menurut (Nirwanto, 2007 : 21) berdasarkan daerah kevakumannya pompa vakum dapat dibedakan menjadi 3 kategori yaitu:

1. *Roughing pumps*, yaitu pompa yang bekerja pada tekanan yang berada pada tekanan 1×10^3 torr hingga 1×10^{-3} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini diantaranya yaitu: *rotary vane pump*, *root pump*, *sorption pump*, *booster pump*, dan *ventury pump*.
2. *High vacuum pumps*, yaitu pompa yang bekerja pada vakum tinggi range kerjanya pada tekanan udara dari 1×10^{-3} torr hingga 1×10^{-8} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *oil diffusion pump*, *turbomolecular*, dan *crye pump*.
3. *Ultrahigh pumps*, yaitu jenis pompa yang mampu bekerja untuk vakum ultra tinggi yaitu pada tekanan udara lebih kecil dari 1×10^{-8} torr. Diantaranya pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *titanium sublimation pump* dan *ion pump*.

Pompa yang digunakan pada preparasi bahan pada penelitian ini adalah menggunakan dua jenis pompa yaitu *roughing pump* menggunakan pompa rotary geser dan untuk *high vacuum pump* menggunakan *oil diffusion pump*. Menurut (Agus, 2006 : 17) pada umumnya sistem evaporasi terdiri atas bagian-bagian penting sebagai berikut:

1. Ruang vakum untuk menyediakan lingkungan yang sesuai untuk proses evaporasi.
2. Pompa mekanik

Alat ini berguna untuk mengeluarkan udara dari ruang *chamber* (evaporasi). Pompa ini mempunyai 2 bagian utama yaitu bagian yang bergerak disebut rotor dan bagian yang tetap disebut stator.

3. Pompa difusi

Alat ini berguna untuk menguapkan cairan dan memasukkan ke dalam ruang vakum.

4. Generator variabel

Alat ini berguna untuk memberikan tegangan pada alat *regulator* pembangkit arus.

5. Regulator pembangkit arus

Alat ini berguna untuk meningkatkan arus yang diperlukan untuk memanaskan cawan.

6. Material sumber yang akan dipanaskan.

7. Sumber panas, yang berguna untuk memanaskan material sumber.

8. Substrat, sebagai tempat untuk lapisan tipis logam yang akan ditumbuhkan.

9. Pemegang substrat.

Salah satu hal baru yang perlu diperhatikan dalam teknik evaporasi ini adalah sumber evaporasi (*evaporan*). Evaporasi yang biasa digunakan diantaranya evaporasi filamen (*filamen evaporation*). Pada penelitian ini hanya menggunakan evaporasi filamen. Pada evaporasi filamen, material sumber evaporasi dekat atau pada filamen yang telah dibentuk. Kelemahan evaporasi filamen adalah sulit mengontrol ketebalan film. Banyak jenis dan bentuk

filamen sehingga harus disesuaikan dengan sumber evaporasi untuk menghindari terjadinya reaksi. Bentuk praktis dari sumber tergantung dari bentuk-bentuk filamennya. Filamen biasanya terbuat dari bahan *wolfram* (W) atau *tungsten* (Ta), atau *molybdenum* (Mo). Dalam penelitian ini digunakan filamen yang berbahan *titanium* (Ti) yang memiliki titik lebur 1668° C.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Juli 2016 sampai dengan Juli 2017.

2. Tempat Penelitian

- a. Tahap penumbuhan lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan teknik evaporasi termal dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Tahap karakterisasi untuk mengetahui sifat listrik lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan menggunakan alat *Four Point Probe* (FPP) dilaksanakan pada bulan Agustus 2016 sampai Januari 2017 di Laboratorium Fisika Partikel, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) Yogyakarta.
- c. Tahap karakterisasi untuk mengetahui sifat optik dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 dan Juli 2017 di Laboratorium kimia Universitas Gajah Mada.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Variabel Bebas

Variasi konsentrasi bahan pada proses penumbuhan lapisan tipis bahan semikonduktor $S_n(STe)$

2. Variabel Terikat

a. Sifat Listrik

b. Sifat Optik

3. Variabel Kontrol

a. Tekanan vakum

b. Temperatur *crucible* (cawan)

c. Jarak antar *crucible-substrate*

C. Bahan dan Peralatan Penelitian

1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

a. Serbuk $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$

b. Substrat kaca dengan ketebalan 1 mm.

c. Pembersih (sabun, air, alkohol, dan tissue).

d. Nitrogen cair

2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi kristal bahan semikonduktor lapisan

tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan menggunakan teknik vakum evaporasi yang meliputi:

1. Perangkat preparasi bahan semikonduktor $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan metode vakum evaporasi.
 - a. Pompa Rotari Sekat, proses penghampaan tingkat tinggi tidak dapat dilakukan secara sekaligus karena tidak ada pompa apapun yang dapat mencapai tingkat kehampaan yang tinggi secara langsung dan bekerja sendiri. Untuk mencapai kehampaan yang tinggi diperlukan pompa pendahulu yaitu pompa rotary, jenis pompa yang dipakai dalam penelitian ini adalah pompa rotary sekat. Dimana pompa ini adalah salah satu jenis pompa *roughing pump* yang dapat digunakan secara maksimum untuk memvakumkan suatu ruangan pada tekanan udara dari 1×10^3 torr sampai 1×10^{-3} torr.
 - b. Pompa difusi, untuk mencapai kehampaan yang tinggi atau tekanan yang sangat rendah dibutuhkan jenis pompa yang bekerja pada vakum tinggi, salah satunya adalah pompa difusi (*oil diffusion pump*) yang mampu bekerja pada tekanan maksimum 1×10^{-2} torr hingga 1×10^{-8} torr.
 - c. Sistem evaporator, sebagai alat utama yang digunakan dalam preparasi lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$.
 - d. Pemanas, di dalam sistem evaporasi terdapat *slide regulator* untuk mengatur tegangan sebagai pemanas.

- e. Termokopel, digunakan sebagai pengontrol suhu substrat saat evaporasi yang dipasangkan pada pemanas tersebut.
 - f. Timbangan digital, untuk mengukur massa bahan yang akan dipreparasi. Timbangan ini mempunyai ketelitian hingga 1×10^{-2} gram.
 - g. Penggerus, digunakan untuk melembutkan bahan yang masih berbentuk masif (padat).
 - h. *Mannometer Penning*, berfungsi untuk mengetahui dan mengontrol tekanan pada ruang vakum saat proses vakum baik dengan menggunakan pompa rotari atau pun pompa difusi.
 - i. Multimeter, digunakan untuk mengontrol alat evaporasi apabila terjadi hubungan pendek.
 - j. *Furnace* (oven), digunakan untuk memanaskan kaca substrat dan *spacer* pada tahap persiapan.
2. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$.
- a. Probe Empat Titik (*Four Point Probe*, FPP digunakan untuk mengetahui sifat listrik kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan merk FPP-5000.
 - b. *Spektrofotometer* UV-Vis, digunakan untuk mengetahui sifat optik kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor

$S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan merk *Spektrofotometer UV-Vis Lambda 25*.

D. Langkah Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahapan. Tahap pertama adalah tahap persiapan dan pelaksanaan preparasi. Tahap kedua adalah tahap karakterisasi material bahan semikonduktor lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ yang merupakan bahan hasil preparasi dengan menggunakan teknik vakum evaporasi klasik, adapun tahap-tahap tersebut yaitu:

1. Tahap Persiapan

- a. Mempersiapkan bahan yang akan digunakan untuk preparasi kemudian dibersihkan menggunakan detergen kemudian mengeringkannya.
- b. Memotong kaca preparat dengan ukuran $(1,5 \times 2,0) \text{ cm}^2$.
- c. Membuka *chamber* kemudian memasukkan bahan yang dipreparasi ke dalam *crucible* atau filamen yang telah dipersiapkan.
- d. Kaca preparat yang telah terpasang pada holder yang pertama dipasang atau ditempatkan pada holder yang kedua.
- e. Memasang pemanas substrat.
- f. Menghubungkan kabel dari *slideregulator* ke pemanas tersebut.
- g. Menutup kembali *chamber* serapat mungkin.

2. Tahap Preparasi

- a. Menghidupkan pompa rotari dan membuka katup pertama pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit.
- b. Menghidupkan pompa air dan memasukkan es ke dalam bak.
- c. Menghidupkan pompa difusi dengan mengatur *slide regulator system* hingga tegangan 210 volt dan menunggu selama 30 menit.
- d. Membuka atau menggeser katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve* selama 10 menit. Setelah 10 menit katup tersebut digeser ke posisi semula yaitu *rough valve system* dan 10 menit sebelum membuka *bay pass valve* putarlah kembali ke posisi *back valve*.
- e. Membuka katup ketiga atau *bay pass valve* dan menghidupkan *mannometer penning* serta mengamati tekanannya.
- f. Memanaskan pemanas substrat dengan menghidupkan dan mengatur *side regulator* untuk menentukan suhu substrat yang diharapkan, menghidupkan pula pembaca suhunya.
- g. Setelah mendapatkan nilai tekanan yang stabil maka evaporasi telah siap untuk dilaksanakan.
- h. Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* secukupnya sehingga bahan yang terpasang pada filamen dan *crucible* habis menguap.
- i. Setelah proses evaporasi selesai, mengatur *slide regulator* pada posisi nol kemudian dimatikan, matikan pula pembaca suhunya.

- j. Menutup katup ketiga atau *bay pass valve* ke posisi F dari posisi nol O kemudian memutar *slide regulator* pada posisi nol kemudian di-off kan.
- k. Mematikan *mannometer penning* dan menunggu selama 45 menit sampai pompa difusi mendingin.
- l. Setelah pompa difusi dingin kemudian mengatur dan menggeser katup pada posisi stop.
- m. Mematikan pompa rotari sekat dan pompa air.
- n. Tahap preparasi telah selesai dan menunggu selama 24 jam untuk melihat hasil dari preparasi tersebut.

3. Hasil Pengambilan Preparasi

- a. Membuka atau mengendorkan pentil sehingga ruangan dalam *chamber* tekanan udaranya menjadi normal.
- b. Membuka penutup pada *chamber* dan melepaskan dari dudukannya.
- c. Melepaskan kabel yang terhubung ke pemanas substrat dan mengambil pemanas tersebut.
- d. Melepaskan dan mengambil holder satu dari holder kedua.
- e. Mengambil hasil preparasi lapisan tipis dan memasukkannya ke dalam tempat yang tertutup rapat sehingga tidak terjadi oksidasi pada hasil preparasi lapisan tipis tersebut.
- f. Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan katupnya.

4. Karakterisasi Bahan Semikonduktor $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan

$S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$

Pada proses ini dilakukan karakterisasi lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ bahan semikonduktor meliputi pengujian sifat listrik dan optik.

a. Pengujian pada sifat listrik

Untuk menguji sifat listrik suatu bahan lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ hasil preparasi teknik vakum evaporasi menggunakan Metode For Point Probe (FPP-5000) sehingga diperoleh data berupa resistansi, resistivitas listrik, dan tipe konduksi lapisan tipis. Untuk tahap pelaksanaannya sebagai berikut:

- 1) Meletakkan sampel $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ pada bagian holder FPP-5000 dengan permukaan sampel yang diukur menghadap ke bawah dan posisi tegak.
- 2) Menghidupkan unit FPP-5000 dengan menggeser saklar daya ke posisi ON sehingga LED menyala pada layar LED menampilkan angka $8,888 \times 10^8$.
- 3) Menutup sampel dengan *backing plate* yang sesuai pada FPP-5000.
- 4) Menekan tombol SELF TEST kemudian setelah itu menekan tombol CLEAR.

- 5) Memulai pengukuran dengan cara menekan penutup FPP-5000 tepat dimana sampel berada dan menekan tombol TYPE sehingga indikator pada LED tombol V/I menyala dan pada layar FPP-5000 menunjukkan nilai resistansi dan tipe konduksi yang muncul dari sampel.
- 6) Menekan tombol SHEET sehingga muncul nilai pada layar, untuk mengetahui nilai resistansi bahan.
- 7) Menekan tombol SLICE sehingga muncul nilai pada layar, untuk mengetahui nilai resistivitas jenis bahan.
- 8) Menekan tombol THICK sehingga muncul nilai pada layar, untuk mengetahui ketebalan lapisan bahan.
- 9) Mencatat hasil yang diperoleh.
- 10) Melakukan pengukuran sebanyak tiga kali.
- 11) Mengulangi langkah d-k dengan sampel yang lain.

b. Pengujian sifat optik

Sifat optik yang diuji adalah absorbansi sebagai fungsi dari panjang gelombang dari lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ dengan menggunakan UV-Vis Spektrofotometer Lambda 25. Data yang diperoleh dari alat ini berupa nilai absorbansi untuk tiap panjang gelombang tertentu. Adapun tahap pelaksanaannya sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel preparasi yang akan diukur.

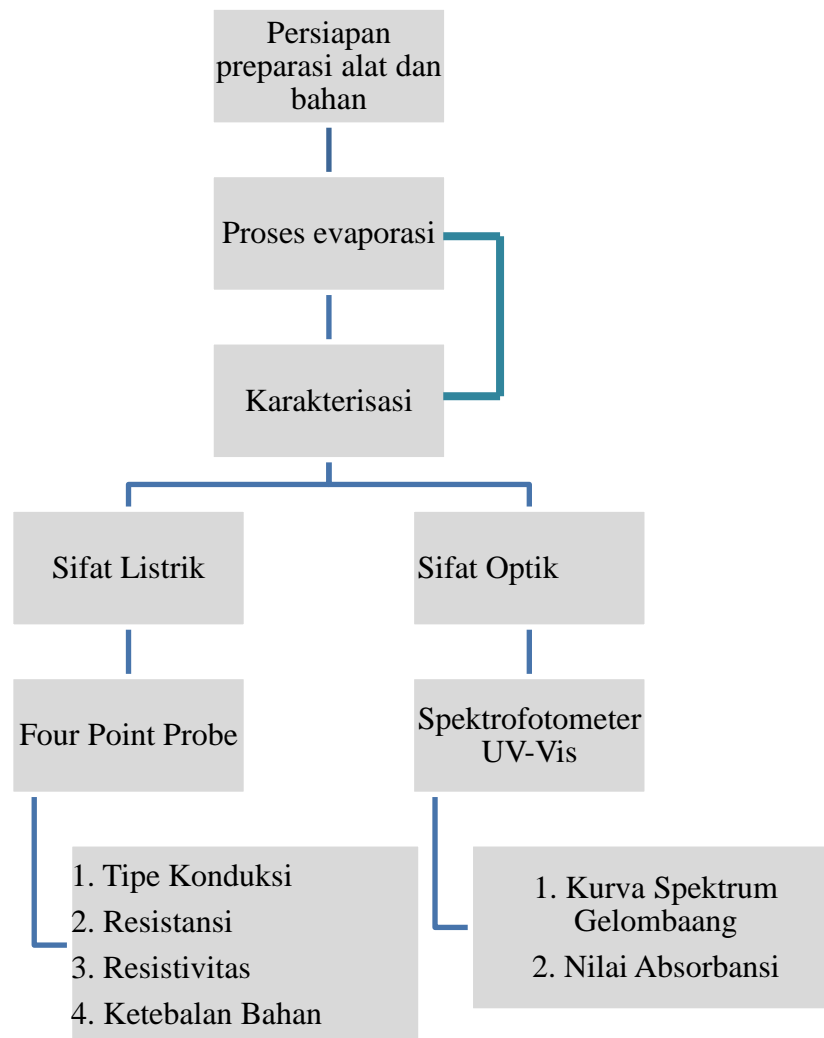
2. Membersihkan tempat sampel berupa kaca kuarsa berbentuk balok.
3. Menghidupkan alat Spektrofotometer UV-Vis pada fungsi uji absorbansi.
4. Mengatur alat Spektrofotometer UV-Vis pada fungsi uji absorbansi.
5. Menentukan panjang gelombang yaitu 200-800 nm.
6. Memasukkan blangko pada tempat untuk meletakkan blangko atau sampel (kuvet) .
7. Memasukkan sampel pada kuvet.
8. Menekan enter untuk memulai pengukuran secara otomatis.
9. Mengamati hasil pengukuran yang tampak pada layar yaitu berupa nilai absorbansi (A).
10. Mengulangi langkah 5-9 untuk sampel kedua.

E. Analisis Data

Data yang diperoleh dari karakterisasi sifat listrik berupa nilai resistansi, resistivitas, dan tipe konduksi bahan lapisan tipis yang terbentuk. Sifat listrik yang terbentuk dapat menentukan nilai resistivitas yang dihasilkan oleh bahan tersebut. Sedangkan data yang diperoleh pada karakterisasi sifat optik berupa nilai absorbansi sebagai fungsi panjang gelombang, nilai transmitansi serta dapat menentukan nilai gapnya.

F. Diagram Alir Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Tahap Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL PENELITIAN

Dari penelitian ini diperoleh lapisan tipis bahan semikonduktor $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$, $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ untuk mengetahui nilai sifat listrik dari lapisan tipis bahan semikonduktor yang dibuat, dilakukan karakterisasi sifat listrik menggunakan alat four point probe 5000 (FPP 5000). Data yang kami peroleh dari uji FPP yaitu nilai V/I , nilai resistansi, nilai resistivitas, dan nilai ketebalan bahan lapisan tipis. Sedangkan untuk mengetahui sifat optiknya, dilakukan uji menggunakan *spectrophotometer* UV-Vis dan data yang diperoleh yaitu nilai absorbansi dan refleksi.

Tabel 1. Tabel Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Sampel $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$

$V/I (10^2) (\Omega)$	Sheet (10^3) (Ω/SQ)	Slice ($\Omega.cm$)	Thick (10^{-3}) (cm)	Type
4,27	1,936	4,92	0,517	P
4,26	1,932	4,91	0,517	P
4,26	1,933	4,91	0,517	P

Tabel 2. Tabel Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Sampel $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$

$V/I (10^2) (\Omega)$	Sheet (10^3) (Ω/SQ)	Slice ($\Omega.cm$)	Thick (10^{-3}) (cm)	Type
0,519	0,235	0,598	4,25	P
0,502	0,228	0,578	4,39	P
0,507	0,230	0,584	4,35	P

Tabel 3. Tabel Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Sampel Sn(S_{0,2} Te_{0,8})

V/I (Ω)	Sheet (Ω/SQ)	Slice (10 ⁻²) (Ω.cm)	Thick (10 ⁻³) (cm)	Type
0,907	4,11	1.044	2,43	P
0,896	4,06	1.032	2,46	P
0,894	4,05	1.029	2,47	P

B. PEMBAHASAN

Dari hasil karakterisasi menggunakan FPP 5000 untuk bahan Sn(S_{0,5}Te_{0,5}), Sn(S_{0,4}Te_{0,6}), dan Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) ternyata semuanya bertipe-p. Untuk Sampel Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) diperoleh nilai resistivitas sheet reratanya sebesar (1,934×10³) Ω/SQ dan resistivitas slice reratanya adalah 4,92 Ω.cm

Untuk Sampel Sn(S_{0,4}Te_{0,6}) diperoleh nilai resistivitas slice reratanya sebesar 0,586 Ω.cm. Dan resistivitas sheetnya sebesar (0,236×10³) Ω/SQ.

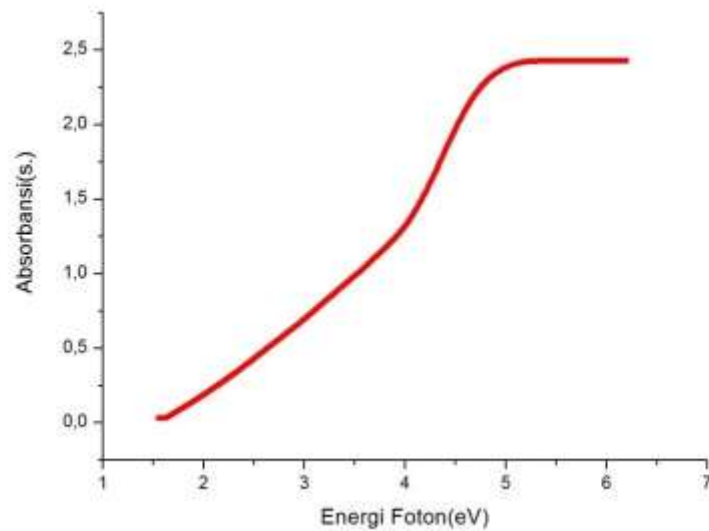
Untuk Sampel Sn(S_{0,2}Te_{0,8}) nilai resistivitas sheet reratanya sebesar (0,407×10³) Ω/SQ dan besar resistivitas slice nya adalah (1,035×10⁻²) Ω.cm.

Suatu bahan lapisan tipis dapat diketahui sifat optiknya dengan menggunakan Spektrometer UV-Vis. Informasi langsung dan uji optik absorbansi/transmitansi/reflektansi bahan lapisan tipis Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) dan Sn(S_{0,4}Te_{0,6}).

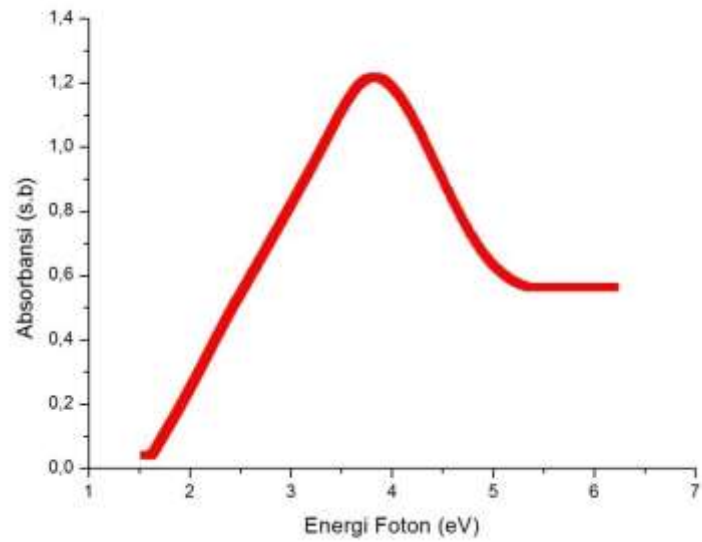
Uji sifat optik dilakukan pada panjang gelombang sinar tampak (200-800 nm) karena sesuai dengan panjang gelombang matahari. Untuk menentukan

besarnya celah energi/band gap bahan, digunakan metode *taue plot* menggunakan software Ms. Origin 6.1. Pada Gambar 11, 12, 13 dan 14 disajikan plot untuk menentukan besarnya band gap.

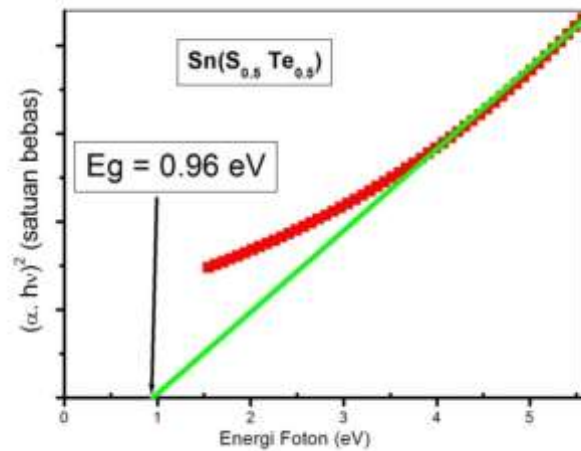
Dari hasil pengujian sampel yang telah dilakukan dengan menggunakan metode UV-Vis, selanjutnya dibuat grafik 11,12,13, dan 14 dengan bantuan software Ma.Origin 6.1 untuk mengetahui besarnya energi gap dari lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dan $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$.



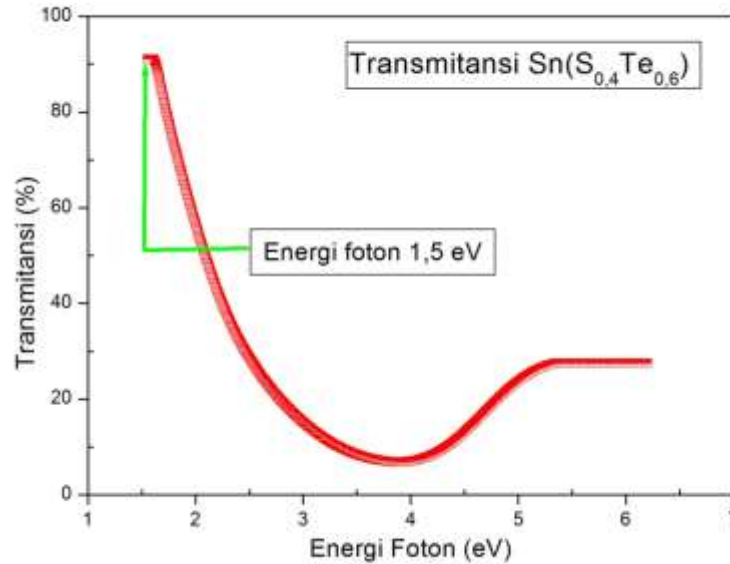
Gambar 11. Grafik Absorbansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$.



Gambar 12. Grafik Absorbansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0.4}\text{Te}_{0.6})$.



Gambar 13. Grafik Koefisien Absorbansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0.5}\text{Te}_{0.5})$.



Gambar 14. Grafik Transmittansi Terhadap Energi Foton untuk Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$.

Dari Gambar 13 diperoleh nilai band gap $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ sebesar 0,96 eV. Selanjutnya dari Gambar 14 kita tidak bisa menentukan secara pasti nilai band gap untuk $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ karena pada energi foton sebesar 1,5 eV menghasilkan transmittansi sebesar 90% hal ini menunjukkan bahwa band gap $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ lebih kecil dari 1,5 eV.

Berdasarkan data hasil karakterisasi sifat optik $\text{Sn}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dan $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ menghasilkan energi gap yang relevan dengan referensi menurut Cheng dan Saini, yaitu energi gap bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_x\text{Te}_x)$ yaitu sekitar 0,35 eV hingga 1,5 eV.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, penulis menyimpulkan bahwa:

1. Sifat listrik lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$ yang terbentuk merupakan semikonduktor tipe P dengan resistivitas $0,492 \Omega.cm$, untuk lapisan tipis bahan $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$ merupakan semikonduktor tipe P dengan resistivitas $0,586 \Omega.cm$, dan $S_n(S_{0,2}Te_{0,8})$ merupakan semikonduktor tipe P dengan resistivitas $(1,035 \times 10^{-2}) \Omega.cm$. Semakin besar fraksi Te maka semakin kecil nilai resistivitasnya.
2. Band gap lapisan tipis $S_n(S_{0,5}Te_{0,5})$ diperoleh yaitu $0,96 eV$ dan untuk lapisan tipis $S_n(S_{0,4}Te_{0,6})$ diperkirakan band gapnya $<1,5 eV$.

B. Saran

Dari penelitian ini, penulis menyarankan bahwa:

1. Memahami petunjuk manual penggunaan FPP-5000, sehingga tidak mengalami kesulitan saat mengkarakterisasi sifat listrik lapisan tipis.
2. Memahami cara mengoperasikan software Ms. Origin sehingga tidak mengalami kesulitan saat melakukan analisis data hasil uji UV-Vis.

Daftar Pustaka

- Ariswan. 2013 . *Semikonduktor*, Handout Kuliah. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Burton. 2013. *Synthesis, Characterization, and Electrical Structure Of Single-Cristal SnS, Sn₂S₂, and Protection*. 9th Mosby Elsevier. Singapore: World Scientific.
- Cheng, L.L, Liu, M.H, 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.
- Istiyono, Edi. 2000. *Fisika Zat Padat*. Yogyakarta : FMIPA UNY.
- Kittel, Charles. 2005. *Introduction to Solid State Physics*. 8th. Ed. Hokoben: John Wiley and Sons.
- Muhammad, Rully Fakhry. 2016. *Studi Pengaruh Suhu Substrat terhadap Sifat Listrik dan Sifat Optik Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Tin Sulfide (SnS) Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Evaporasi*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Nirwanto, Arif. 2007. *Preparasi BahanKonduktor Perak (Ag)dan Tembaga (Cu) dengan Teknik Evaporasi Klasik dan Karakterisasi Struktur Kristalnya*. Skripsi. Yoyakakarta: UNY.
- Ohring, Milton. 2002. *Materials Science of Thin Films Deposition and Structure*. 2nd. Ed. San Diego: Academic Press.
- Parno. 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM.
- Prasetyowati, Rita. 2011. *Kristal Semikonduktor*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ricky, D.K. 2012. *PenghantarSemikonduktor*. Diakses dari <http://rickybagi.blogspot.co.id/2012/11/penghantar-semikonduktor.html>
- Rina, A.W. 2006. *Studi Penumbuhan Membran Polyvinyl Alcohol (Pva) Dengan Variasi Konsentrasi Pva Menggunakan Metode Spin Coating Di Atas Lapisan Elektroda Platinum*. Surakarta: FMIPA UNS.
- Rio, S.R., & Iida. 1982. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Saini, R., Pallavi, Singh, M., Kumar, R., & Jain, G. 2010. *Structural and Electrical Characterization of Sinters SnTe Films*. Chalcogenide Letters. Vol. 7, No.3P. 19-202.Hlm. 1-6.

Saragih, Horasdia, H. Aliah, E. Sustini, A. Limbong, A.M Hutapea. 2010. Sifat Optik Lapisan Tipis In₂O₃ yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD. Journal Matematika dan Sains, Vol.12 Nomor 2, 85 - 92

Schrodinger, K.D. 2006. *Semiconductor Material and Device Characterization*. Canada: Jhon Wiley & Sons, inc.

Seran, Emel. 2011. *Spektrofotometer UV-Vis*. Diakses dari <https://wanibesak.wordpress.com/tag/prinsip-kerja-spektrofotometer/>.

Setianingrum, Mahmudah. 2016. *Studi Tentang Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Setiawan, A. 2008. Uji Sifat Listrik dan Optik Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO₃ yang Didadah Niobium (BSNT) Ditumbuhkan di Atas Substrat Silikon Tipe-P dan Gelas Korning dengan Penerapannya sebagai Fotodiode. Fisika. Bogor: IPB.

Suwitra, Nyoman. 1989. *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Suyoso. 2003. *Listrik Magnet*. Yogyakarta: FMIPA UNY.

Sze, S.M. 1981. *Physics of Semiconductor Devices*. 2nd. Ed. Michigan: John Wiley and Sons.

Vlack, Van. 2004. *Elemen – elemen & Ilmu Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.

Winter, Mark. 2015. *Tin*. Diakses dari http://www.webelements.com/compounds/tin/tin_selenide.html. pada tanggal 08 Januari 2017, Jam 20.00 WIB

Wiyatno, Sugianto., I. Supomo. 2004. Pengaruh Anneling Pada Film Tipis Ta₂O₅. Ditumbuhkan dengan Metode DC magnetron sputtering. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. ISSN 1441-4216, 1-5.

Wulandari, Eka. 2016. *Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(S_{0,4}Te_{0,6}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel Lapisan Tipis



a. Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$



b. Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,4} \text{Te}_{0,6})$



c. Sampel $\text{Sn}(\text{S}_{0,2} \text{Te}_{0,8})$



Lampiran 2. Hasil Karakterisasi menggunakan FPP 5000

Tabel 1. Sampel Sn(S_{0,5}Te_{0,5})

V/I (10 ²) (Ω)	Sheet (10 ³) (Ω/SQ)	Slice (Ω.cm)	Thick (10 ⁻³) (cm)	Type
4,27	1,936	4,92	0,517	P
4,26	1,932	4,91	0,517	P
4,26	1,933	4,91	0,517	P

Tabel 2. Sampel Sn(S_{0,4}Te_{0,6})

V/I (10 ²) (Ω)	Sheet (10 ³) (Ω/SQ)	Slice (Ω.cm)	Thick (10 ⁻³) (cm)	Type
0,519	0,235	0,598	4,25	P
0,502	0,228	0,578	4,39	P
0,507	0,230	0,584	4,35	P

Tabel 3. Sampel Sn(S_{0,2} Te_{0,8})

V/I (Ω)	Sheet (Ω/SQ)	Slice (10 ⁻²) (Ω.cm)	Thick (10 ⁻³) (cm)	Type
0,907	4,11	1.044	2,43	P
0,896	4,06	1.032	2,46	P
0,894	4,05	1.029	2,47	P

Lampiran 3. Hasil Karakterisasi Menggunakan UV-Vis Spektroskopi

λ (nm)	Nilai Absorbansi (%)	
	Sn(S _{0,5} Te _{0,5}) 250°C	Sn(S _{0,4} Te _{0,6}) 250°C
200	2,428	0,564
201	2,428	0,564
202	2,428	0,564
203	2,428	0,564
204	2,428	0,564
205	2,428	0,564
206	2,428	0,564

207	2,428	0,564
208	2,428	0,564
209	2,428	0,564
210	2,428	0,564
211	2,428	0,564
212	2,428	0,564
213	2,428	0,564
214	2,428	0,564
215	2,428	0,564
216	2,428	0,564
217	2,428	0,564
218	2,428	0,564
219	2,428	0,564
220	2,428	0,564
221	2,428	0,564
222	2,428	0,564
223	2,428	0,564
224	2,428	0,564
225	2,428	0,564
226	2,428	0,564
227	2,428	0,564
228	2,428	0,564
229	2,428	0,564
230	2,428	0,564
231	2,428	0,564
232	2,428	0,564
233	2,427	0,567
234	2,426	0,569
235	2,426	0,572
236	2,425	0,575
237	2,424	0,578
238	2,422	0,582
239	2,42	0,585
240	2,418	0,589
241	2,415	0,594
242	2,411	0,599
243	2,407	0,604
244	2,404	0,609
245	2,399	0,615

246	2,394	0,621
247	2,388	0,627
248	2,382	0,633
249	2,376	0,64
250	2,368	0,648
251	2,36	0,655
252	2,353	0,663
253	2,344	0,671
254	2,334	0,679
255	2,324	0,688
256	2,313	0,697
257	2,302	0,706
258	2,289	0,716
259	2,276	0,725
260	2,263	0,735
261	2,249	0,745
262	2,233	0,755
263	2,217	0,765
264	2,201	0,776
265	2,184	0,786
266	2,166	0,797
267	2,147	0,808
268	2,128	0,818
269	2,109	0,829
270	2,089	0,84
271	2,068	0,851
272	2,046	0,862
273	2,025	0,873
274	2,003	0,884
275	1,981	0,895
276	1,958	0,906
277	1,936	0,917
278	1,913	0,928
279	1,89	0,939
280	1,866	0,949
281	1,844	0,96
282	1,821	0,97
283	1,798	0,981
284	1,775	0,991

285	1,752	1,001
286	1,731	1,011
287	1,709	1,021
288	1,687	1,031
289	1,666	1,04
290	1,645	1,049
291	1,625	1,058
292	1,605	1,067
293	1,585	1,076
294	1,566	1,084
295	1,547	1,093
296	1,529	1,101
297	1,511	1,109
298	1,493	1,116
299	1,476	1,124
300	1,46	1,131
301	1,443	1,138
302	1,428	1,144
303	1,412	1,151
304	1,398	1,157
305	1,383	1,163
306	1,369	1,168
307	1,356	1,173
308	1,343	1,178
309	1,331	1,183
310	1,319	1,188
311	1,308	1,192
312	1,297	1,196
313	1,286	1,199
314	1,276	1,202
315	1,266	1,205
316	1,257	1,208
317	1,247	1,21
318	1,239	1,212
319	1,23	1,214
320	1,221	1,215
321	1,213	1,216
322	1,205	1,217
323	1,197	1,218

324	1,189	1,218
325	1,181	1,218
326	1,173	1,217
327	1,165	1,216
328	1,158	1,215
329	1,15	1,214
330	1,143	1,213
331	1,136	1,211
332	1,128	1,209
333	1,121	1,207
334	1,114	1,204
335	1,107	1,201
336	1,1	1,198
337	1,093	1,195
338	1,086	1,192
339	1,079	1,188
340	1,073	1,184
341	1,066	1,18
342	1,059	1,176
343	1,053	1,172
344	1,046	1,167
345	1,04	1,162
346	1,034	1,157
347	1,028	1,152
348	1,021	1,147
349	1,015	1,142
350	1,009	1,137
351	1,004	1,131
352	0,998	1,126
353	0,992	1,12
354	0,986	1,115
355	0,981	1,109
356	0,975	1,103
357	0,969	1,098
358	0,964	1,092
359	0,958	1,086
360	0,953	1,08
361	0,947	1,075
362	0,942	1,069

363	0,936	1,063
364	0,931	1,057
365	0,925	1,052
366	0,92	1,046
367	0,914	1,041
368	0,909	1,035
369	0,904	1,029
370	0,898	1,024
371	0,893	1,018
372	0,888	1,013
373	0,883	1,008
374	0,878	1,002
375	0,873	0,997
376	0,868	0,992
377	0,863	0,986
378	0,857	0,981
379	0,852	0,976
380	0,847	0,971
381	0,842	0,966
382	0,837	0,961
383	0,833	0,956
384	0,828	0,951
385	0,823	0,946
386	0,818	0,941
387	0,813	0,936
388	0,808	0,931
389	0,803	0,927
390	0,798	0,922
391	0,794	0,917
392	0,789	0,913
393	0,784	0,908
394	0,779	0,904
395	0,775	0,899
396	0,77	0,895
397	0,765	0,89
398	0,761	0,886
399	0,756	0,881
400	0,752	0,877
401	0,747	0,872

402	0,743	0,868
403	0,738	0,864
404	0,734	0,86
405	0,73	0,855
406	0,725	0,851
407	0,721	0,847
408	0,717	0,842
409	0,712	0,838
410	0,708	0,834
411	0,704	0,83
412	0,7	0,826
413	0,696	0,821
414	0,692	0,817
415	0,687	0,813
416	0,683	0,809
417	0,679	0,805
418	0,675	0,801
419	0,672	0,797
420	0,668	0,793
421	0,664	0,789
422	0,66	0,785
423	0,656	0,781
424	0,652	0,777
425	0,649	0,774
426	0,645	0,77
427	0,641	0,766
428	0,638	0,762
429	0,634	0,758
430	0,63	0,754
431	0,627	0,751
432	0,623	0,747
433	0,62	0,743
434	0,616	0,74
435	0,613	0,736
436	0,609	0,732
437	0,606	0,729
438	0,603	0,725
439	0,599	0,721
440	0,596	0,718

441	0,592	0,714
442	0,589	0,711
443	0,586	0,707
444	0,583	0,704
445	0,579	0,7
446	0,576	0,697
447	0,573	0,693
448	0,57	0,69
449	0,566	0,686
450	0,563	0,683
451	0,56	0,679
452	0,557	0,676
453	0,554	0,673
454	0,551	0,669
455	0,547	0,666
456	0,544	0,663
457	0,541	0,66
458	0,538	0,656
459	0,535	0,653
460	0,532	0,65
461	0,529	0,647
462	0,526	0,644
463	0,523	0,64
464	0,52	0,637
465	0,517	0,634
466	0,514	0,631
467	0,511	0,628
468	0,508	0,625
469	0,505	0,622
470	0,502	0,619
471	0,499	0,616
472	0,496	0,613
473	0,493	0,61
474	0,49	0,607
475	0,487	0,604
476	0,484	0,601
477	0,481	0,598
478	0,478	0,595
479	0,475	0,592

480	0,473	0,589
481	0,47	0,586
482	0,467	0,583
483	0,464	0,58
484	0,461	0,577
485	0,458	0,574
486	0,456	0,571
487	0,453	0,569
488	0,45	0,566
489	0,447	0,563
490	0,445	0,56
491	0,442	0,557
492	0,439	0,554
493	0,437	0,552
494	0,434	0,549
495	0,431	0,546
496	0,429	0,543
497	0,426	0,54
498	0,423	0,538
499	0,421	0,535
500	0,418	0,532
501	0,416	0,529
502	0,413	0,527
503	0,41	0,524
504	0,408	0,521
505	0,405	0,518
506	0,403	0,516
507	0,4	0,513
508	0,398	0,51
509	0,396	0,508
510	0,393	0,505
511	0,391	0,502
512	0,388	0,5
513	0,386	0,497
514	0,383	0,494
515	0,381	0,492
516	0,379	0,489
517	0,376	0,486
518	0,374	0,484

519	0,372	0,481
520	0,369	0,478
521	0,367	0,476
522	0,365	0,473
523	0,363	0,47
524	0,36	0,468
525	0,358	0,465
526	0,356	0,463
527	0,354	0,46
528	0,351	0,457
529	0,349	0,455
530	0,347	0,452
531	0,345	0,449
532	0,343	0,447
533	0,34	0,444
534	0,338	0,442
535	0,336	0,439
536	0,334	0,437
537	0,332	0,434
538	0,33	0,431
539	0,328	0,429
540	0,326	0,426
541	0,323	0,424
542	0,321	0,421
543	0,319	0,419
544	0,317	0,416
545	0,315	0,414
546	0,313	0,411
547	0,311	0,409
548	0,309	0,406
549	0,307	0,404
550	0,305	0,401
551	0,303	0,399
552	0,301	0,396
553	0,299	0,394
554	0,297	0,391
555	0,295	0,389
556	0,294	0,386
557	0,292	0,384

558	0,29	0,381
559	0,288	0,379
560	0,286	0,376
561	0,284	0,374
562	0,282	0,372
563	0,28	0,369
564	0,278	0,367
565	0,277	0,364
566	0,275	0,362
567	0,273	0,36
568	0,271	0,357
569	0,269	0,355
570	0,268	0,353
571	0,266	0,35
572	0,264	0,348
573	0,262	0,346
574	0,26	0,343
575	0,259	0,341
576	0,257	0,339
577	0,255	0,336
578	0,253	0,334
579	0,252	0,332
580	0,25	0,33
581	0,248	0,327
582	0,247	0,325
583	0,245	0,323
584	0,243	0,321
585	0,242	0,318
586	0,24	0,316
587	0,238	0,314
588	0,237	0,312
589	0,235	0,31
590	0,233	0,307
591	0,232	0,305
592	0,23	0,303
593	0,228	0,301
594	0,227	0,299
595	0,225	0,297
596	0,224	0,295

597	0,222	0,293
598	0,22	0,291
599	0,219	0,289
600	0,217	0,286
601	0,216	0,284
602	0,214	0,282
603	0,213	0,28
604	0,211	0,278
605	0,209	0,276
606	0,208	0,274
607	0,206	0,272
608	0,205	0,27
609	0,203	0,268
610	0,202	0,266
611	0,2	0,264
612	0,199	0,262
613	0,197	0,261
614	0,196	0,259
615	0,194	0,257
616	0,193	0,255
617	0,192	0,253
618	0,19	0,251
619	0,189	0,249
620	0,187	0,247
621	0,186	0,245
622	0,184	0,243
623	0,183	0,242
624	0,182	0,24
625	0,18	0,238
626	0,179	0,236
627	0,177	0,234
628	0,176	0,232
629	0,175	0,231
630	0,173	0,229
631	0,172	0,227
632	0,171	0,225
633	0,169	0,223
634	0,168	0,222
635	0,167	0,22

636	0,165	0,218
637	0,164	0,216
638	0,163	0,214
639	0,161	0,213
640	0,16	0,211
641	0,159	0,209
642	0,157	0,207
643	0,156	0,206
644	0,155	0,204
645	0,153	0,202
646	0,152	0,201
647	0,151	0,199
648	0,15	0,197
649	0,148	0,196
650	0,147	0,194
651	0,146	0,192
652	0,145	0,191
653	0,143	0,189
654	0,142	0,187
655	0,141	0,186
656	0,14	0,184
657	0,138	0,182
658	0,137	0,181
659	0,136	0,179
660	0,135	0,178
661	0,134	0,176
662	0,132	0,174
663	0,131	0,173
664	0,13	0,171
665	0,129	0,17
666	0,128	0,168
667	0,126	0,167
668	0,125	0,165
669	0,124	0,163
670	0,123	0,162
671	0,122	0,16
672	0,121	0,159
673	0,12	0,157
674	0,118	0,156

675	0,117	0,154
676	0,116	0,153
677	0,115	0,151
678	0,114	0,15
679	0,113	0,148
680	0,112	0,147
681	0,111	0,146
682	0,11	0,144
683	0,108	0,143
684	0,107	0,141
685	0,106	0,14
686	0,105	0,138
687	0,104	0,137
688	0,103	0,136
689	0,102	0,134
690	0,101	0,133
691	0,1	0,131
692	0,099	0,13
693	0,098	0,129
694	0,097	0,127
695	0,096	0,126
696	0,095	0,124
697	0,094	0,123
698	0,093	0,122
699	0,092	0,12
700	0,091	0,119
701	0,09	0,118
702	0,089	0,116
703	0,088	0,115
704	0,087	0,114
705	0,086	0,112
706	0,085	0,111
707	0,084	0,11
708	0,083	0,108
709	0,082	0,107
710	0,081	0,106
711	0,08	0,104
712	0,079	0,103
713	0,078	0,102

714	0,077	0,1
715	0,076	0,099
716	0,075	0,098
717	0,074	0,097
718	0,073	0,095
719	0,072	0,094
720	0,071	0,093
721	0,07	0,091
722	0,069	0,09
723	0,068	0,089
724	0,067	0,088
725	0,066	0,086
726	0,065	0,085
727	0,064	0,084
728	0,063	0,082
729	0,062	0,081
730	0,061	0,08
731	0,06	0,079
732	0,06	0,077
733	0,059	0,076
734	0,058	0,075
735	0,057	0,073
736	0,056	0,072
737	0,055	0,071
738	0,054	0,07
739	0,053	0,068
740	0,052	0,067
741	0,051	0,066
742	0,05	0,064
743	0,049	0,063
744	0,048	0,062
745	0,047	0,061
746	0,046	0,059
747	0,045	0,058
748	0,044	0,057
749	0,043	0,056
750	0,042	0,055
751	0,042	0,054
752	0,041	0,053

753	0,04	0,052
754	0,039	0,051
755	0,038	0,05
756	0,038	0,049
757	0,037	0,048
758	0,036	0,047
759	0,036	0,046
760	0,035	0,045
761	0,035	0,045
762	0,034	0,044
763	0,034	0,043
764	0,033	0,043
765	0,033	0,042
766	0,032	0,041
767	0,032	0,041
768	0,031	0,04
769	0,031	0,04
770	0,031	0,04
771	0,031	0,04
772	0,031	0,04
773	0,031	0,04
774	0,031	0,04
775	0,031	0,04
776	0,031	0,04
777	0,031	0,04
778	0,031	0,04
779	0,031	0,04
780	0,031	0,04
781	0,031	0,04
782	0,031	0,04
783	0,031	0,04
784	0,031	0,04
785	0,031	0,04
786	0,031	0,04
787	0,031	0,04
788	0,031	0,04
789	0,031	0,04
790	0,031	0,04
791	0,031	0,04

792	0,031	0,04
793	0,031	0,04
794	0,031	0,04
795	0,031	0,04
796	0,031	0,04
797	0,031	0,04
798	0,031	0,04
799	0,031	0,04
800	0,031	0,04