PENENTUAN *BAND GAP* DAN KONDUKTIVITAS BAHAN SEMIKONDUKTOR LAPISAN TIPIS $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ DAN $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI TERMAL

SKRIPSI

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

Oleh:
TYAS PUSPITANINGRUM
NIM 12306144032

PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
MARET 2017

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul "Penentuan Band Gap dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal" yang disusun oleh Tyas Puspitaningrum, NIM 12306144032 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, 08 Maret 2017

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T.A.P.U	Dr. Ariswan
NIP. 195412291981031005	NIP. 195909141988031003

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Penentuan *Band Gap* dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal" yang disusun oleh Tyas Puspitaningrum, NIM 12306144032 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 22 Maret 2017 dan dinyatakan lulus.

DEWAN PENGUJI:

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T.A.P.U NIP. 19541229 198103 1 005	Ketua Penguji	.....	5/4/2017
Dr. Ariswan NIP. 19590914 198803 1 003	Sekretaris Penguji	.....	5/4-2017
Dr. Warsono NIP.19681101 199903 1 002	Penguji Utama	.....	3/4-17

Yogyakarta, 10-4-2017
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,

Dr. Hartono
NIP.19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	:	Tyas Puspitaningrum
NIM	:	12306144032
Program Studi	:	Fisika
Fakultas	:	Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul	:	Penentuan *Band Gap* dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S0,8Te0,2) dan Sn(S0,6Te0,4) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal.

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 asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi ditunda yudisium pada periode berikutnya.

Yogyakarta, 08 Maret 2017

Yang menyatakan,

Tyas Puspitaningrum
NIM 12306144032

MOTTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan (Q.S, 94: 5-6)

Hanya mereka yang bersedia menempuh kesulitan yang akan menjadi orang besar (History of Alexander The Great)

Bismillah, dengan doa, usaha, dan tawakkal kita pasti bisa ! (Maman Fathurrohman)

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Maha Kuasa, karya sederhana ini penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orangtua yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan tidak pernah lelah mencurahkan kasih sayang serta doa yang selalu mengiringi langkahku hingga aku menjadi seorang yang berhasil.
2. Adik-adikku yang selalu senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan baik moril maupun materil untuk selalu bisa maju dan tidak mudah putus asa.
3. Dosen penasihat akademik, Dosen pembimbing tugas akhir, serta Dosen narasumber tugas akhir yang selalu memberikan doa dan semangat untuk penyusunan tugas akhir.
4. Teman-temanku yang sudah memberikan kritik, saran, dan semangat.

PENENTUAN *BAND GAP* DAN KONDUKTIVITAS BAHAN SEMIKONDUKTOR LAPISAN TIPIS $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ DAN $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI TERMAL

Oleh:
Tyas Puspitaningrum
12306144032

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya *band gap* dan konduktivitas bahan semikonduktor lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal.

Penelitian ini dimulai dari pembuatan lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ menggunakan metode evaporasi termal pada tekanan $2x10^{-5}$ mbar. Hasil preparasi lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ kemudian di uji karakteristiknya. Karakteristik sifat listrik diamati menggunakan FPP (*Four Point Probe*) dan karakteristik sifat optik diamati menggunakan UV-Vis Spectroscopy. Dari uji FPP didapat nilai resistansi, restisivitas, tebal dan tipe konduksi lapisan tipis yang terbentuk data digunakan untuk menentukan besar konduktivitas. Dari uji *Spektrofotometer* UV-Vis berupa nilai absorbansi transmisi, reflektansi sebagai fungsi panjang gelombang untuk menentukan besar *band gap*

Hasil uji UV-Vis yang diolah menggunakan metode *taue plot* dengan bantuan software Ms. Origin 50 diperoleh *band gap* lapisan tipis $Sn(S_{0,8}\ Te_{0,2})$ sebesar 1,25 eV dan *band gap* lapisan tipis $Sn(S_{0,6}\ Te_{0,4})$ sebesar 0,85 eV. Hasil uji sifat listrik menggunakan FPP menunjukan bahwa nilai konduktivitas untuk sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ yang dibuat pada spacer 10 cm sebesar 12,739 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk spacer 15 cm nilai konduktivitasnya sebesar 0,545 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk spacer 25 cm nilai konduktivitasnya sebesar 1,721 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk sampel $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ suhu 250°C nilai konduktivitasnya sebesar 0,536 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk suhu 300°C nilai konduktivitasnya sebesar 0,543 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk suhu 350°C nilai konduktivitasnya sebesar 1,269 $(\Omega.cm)^{-1}$ dan tipe konduksi dari lapisan yang dibuat adalah tipe P.

Kata kunci: *band gap, konduktivitas, evaporasi*, tipe P

DETERMINATION OF BAND GAP AND CONDUCTIVITY OF $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ AND $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ SEMICONDUCTOR THIN FILM MATERIALS PREPARED USING THERMAL EVAPORATION TECHNIQUE

Oleh:
Tyas Puspitaningrum
12306144032

ABSTRACT

The aims of this research are to determine the band gap and the conductivity of $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ and $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ semiconductor thin film materials prepared by using thermal evaporation techniques.

This research is initiated by fabrication of $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ and $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ thin film on glass substrate by using thermal evaporation techniques. at 2×10^{-5} mbar of pressure. These film were then characterized their electrical properties using Four Point Probe (FPP) and their optical properties using UV-Vis Spectrofotometry. From electrical properties characterisation, it's found the resistivity, resistance, thickness and conduction type of the thin film. While from optical properties, it's found the absorbance, transmitace and reflectance of the thin film as a wave length fungtion.

From UV-Vis result then analyzed using taue plot method and Ms. Origin 50 software, it's found that the band gap of $Sn(S_{0,8}\ Te_{0,2})$ thin film is 1.25 eV and 0.85 eV for $Sn(S_{0,6}\ Te_{0,4})$ thin film. From electrical characterisation, it's found that the conductivity of $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ thin film are 12.739 $(\Omega.cm)^{-1}$, 0.545 $(\Omega.cm)^{-1}$, 1.721 $(\Omega.cm)^{-1}$ for spacer of 10 cm, 15 cm and 25 cm.respectively. For 250°C, 300°C and 350°C of temperature the conductivity are 0,536 $(\Omega.cm)^{-1}$, 0,543 $(\Omega.cm)^{-1}$, and 1,269 $(\Omega.cm)^{-1}$ respectivety and the type of thin film is P type.

Keywords: band gap, conductivity, evaporation, P type

KATA PENGANTAR

Segala Puji bagi Allah Rab Semesta Alam Yang Maha Mengetahui segala sesuatu. Sholawat dan salam semoga tetap tercurahkan atas junjungan kita Nabi Muhammad saw beserta keluarga dan sahabat beliau.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Pendidikan di Universitas Negeri Yogyakarta, dengan judul "Penentuan *Band Gap* Dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ Hasil Preparasi Dengan Teknik Evaporasi Termal".

Penulis menyadari mungkin masih ada kekurangan dalam skripsi ini, karena itu penulis berharap masukan dan saran yang membangun demi perbaikan dan manfaat yang lebih baik dimasa yang akan datang. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan 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 Universitas Negeri Yogyakarta besarta seluruh staf atas bantuannya.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendukung dan memberi ilmu pengetahuan selama penulis menempuh studi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.

5. Bapak Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T.A.P.U selaku Pembimbing utama yang telah menyediakan fasilitas, bimbingan, arahan, dan kesabarannya dari awal sampai akhir penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ariswan selaku pembimbing ke dua atas bimbingan dari awal sampai akhir penyusunan sekripsi ini sehingga dapat terselesaikan.
7. Bapak Sumarna, M.Si., M.Eng. selaku penasehat akademik yang telah memberikan nasehat serta mendampingi penulis untuk menyelesaikan studi.
8. Bapak Hartono selaku pembimbing teknis selama penelitian dilaboraturium material dan dilaboratorium FPP Batan yang membimbing dan arahan dalam penelitian.
9. Segenap dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat dengan sebaik-baiknya. Amin.

Yogyakarta, 08 Maret 2017

Penulis,

Tyas Puspitaningrum
NIM 12306144032

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 xi

DAFTAR TABEL xvi

DAFTAR LAMPIRAN xvii

BAB I PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang Masalah 1

B. Identifikasi Masalah 4

C. Batasan Masalah 4

D. Rumusan Masalah 5

E. Tujuan Penelitian 5

F. Manfaat Penelitian 6

BAB II DASAR TEORI 7

A. Lapisan Tipis 7

1. Pengertian Lapisan Tipis 7

2. Pembentukan Lapisan Tipis 8

3. Karakteristik Lapisan Tipis 8

B. Semikonduktor 16

1. Pengertian Semikonduktor 16

2. Sifat-sifat semikonduktor 21

3. Doping pada Semikonduktor 22

4. Jenis Semikonduktor 23

5. Dioda logam-semikonduktor 28

6. Bahan Semikonduktor 37

C. Teknik Vakum Evaporasi 41

D. Spektrofotometer UV-Vis 47

E. Four Point Probe (FPP) 50

BAB III METODE PENELITIAN 54

A. Waktu dan Tempat Penelitian 54

B. Variabel Penelitian 54

C. Bahan dan Peralatan Penelitian 55

D. Langkah Pengambilan Data 56

E. Analisis Data 59

F. Diagram Alur Penelitian 60

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 61

A. Hasil Penelitian 61

B. Pembahasan 62

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 68

A. Kesimpulan 68

B. Saran 68

DAFTAR PUSTAKA 69

LAMPIRAN 72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Intensitas cahaya datang dan Intensitas cahaya setelah melewati sampel 10

Gambar 2. Kurva penyerapan sebagai fungsi energi pada teknik penyerapan langsung 13

Gambar 3. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator..... 19

Gambar 4. Struktur pita pada semikonduktor 20

Gambar 5. Semikonduktor tipe-n dan tipe-p..... 26

Gambar 6. Model jalur energi dari logam dan semikonduktor 28

Gambar 7. Susunan rangkaian Volt-Ampere dari sambungan p-n 29

Gambar 8. Kurva tegangan bias 31

Gambar 9. Elektron bebas pada tipe-p dan lubang pada tipe-n..... 32

Gambar 10. Hubungan p-n dan pembagian ketidakmurniannya..... 33

Gambar 11. Proses pembentukan hubungan p-n (langsung sesudah pembentukan) 34

Gambar 12. Proses pembentukan hubungan p-n (pembawa itu berdifusi dan berekomendasi) 34

Gambar 13. Proses pembentukan hubungan p-n (seimbang)..... 34

Gambar 14. Model jalur dan hubungan tipe p-n dengan bentuk daerah deplesi .. 36

Gambar 15. Daerah kerja suatu pompa 42

Gambar 16. Skema sistem evaporasi 47

Gambar 17. Skema mekanisme spektrofotometer UV-Vis..... 48

Gambar 18. Skema pengukuran Four Point Point..... 51

Gambar 19. Prinsip untuk menentukan tipe konduksi 53

Gambar 20. Diagram Alur Penelitian..... 60

Gambar 21. Grafik hubungan antara suhu substrat dengan konduktivitas $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$..... 64

Gambar 22. Grafik hubungan absorbansi dengan *photon energi* pada $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 65

Gambar 23. Grafik hubungan absorbansi dengan tenaga foton pada $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$65

Gambar 24. Grafik hubungan antara koefisien absorbansi dengan *photon energi* pada $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 66

Gambar 25. Grafik hubungan antara koofisien absorbansi dengan *photon energi* pada $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai resistivitas untuk bahan 15

Tabel 2. *Band gap* pada semikonduktor 18

Tabel 3. Bahan-bahan semikonduktor..... 37

Tabel 4. Spektrum tampak Spektrum tampak dan warna-warna komplementer . 50

Tabel 5. Spesifikasi Alat Ukur FPP 5000 52

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel lapisan tipis 72

Lampiran 2. Hasil FPP 5000 73

Lampiran 3. Hasil spectroscopy UV-Vis 74

Lampiran 4. Gambar FPP 5000..... 104

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Dalam perkembangan dunia yang sangat modern ini penggunaan listrik sangat meningkat. Ilmu fisika khususnya fisika material dan elektronika memiliki peran penting. Teknologi sel surya merupakan teknologi yang dapat menghasilkan enegi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor yang memiliki sambungan p-n.

Semikonduktor adalah bahan yang bersifat setengah konduktor karena energi gap yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih sempit dari energi gap bahan isolator tetapi lebih lebar dari energi gap bahan konduktor. Semikonduktor memiliki konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor. Konduktivitas semikonduktor berkisar antara 10^{3} sampai 10^{-8} $(\Omega cm)^{-1}$. Semikonduktor adalah bahan dengan energi gap sekitar 1–2 eV(Ariswan, 2013:2).

Dalam mempelajari elektronika kita mengenal semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n, kedua jenis semikonduktor tersebut merupakan bahan dari pembuatan komponen semikonduktor seperti diode dan transistor. Semikonduktor tipe p dan n dapat dibuat menggunakan bahan silicon, germanium, dan tellurium. Piranti semikonduktor yang diteliti adalah $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}\,Te_{0,4})$.

Bahan semikonduktor yang pertama kali dieksplorasi adalah germanium dan silikon yang banyak diteliti sampai saat ini. Germanium digunakan untuk bahan baku pembuatan divais elektronik. Silikon sering digunakan untuk optoelektronik. Bahan tersebut memiliki harga yang relatif murah dan mudah didapatkan. Kedua bahan tersebut merupakan bahan semikonduktor golongan IV. Selain itu juga terdapat material yang dipelajari dan diteliti seperti perpaduan material dari golongan II-IV atau III-V baik pada dua unsur maupun perpaduan tiga unsur. Jenis bahan semikonduktor dari paduan golongan IV-VI sangatlah berguna dalam mengembangkan teknologi optoelektronika dibandingkan bahan semikonduktor Si dan GaAs yang tergolong mahal dan sulit mendapatkan kristal yang berkualitas tinggi.

Bahan semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ memiliki koefisien penyerapan lebih tinggi dari pada SnS dan $SnSO_2$. Bahan SnSTe, diharapkan akan membentuk bahan baru yang memiliki *band gap* dan konduktivitas lebih baik dari bahan-bahan yang sudah ada. Untuk mendapatkan lapisan tipis yang baik dan dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal perlu diketahui besarnya *band gap* dan konduktivitas pada semikonduktor.

Menurut (Cheng,2012:7), bahan SnS memiliki *band gap* sebesar 1,5 eV, sedangkan bahan SnTe memiliki *band gap* 0,35 eV (Saini. 2010: 5). Pemberian doping Tellurium (Te) pada SnS dilakukan karna unsur Sulfur dan Tellurium berada pada kolom periodik yang sama diharapkan dapat

menurunkan energi gap dari bahan SnS. Bahan semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}\,Te_{0,4})$ diharapkan menghasilkan *band gap* dengan *range* 0,35 eV- 1,5 eV sehingga dapat diaplikasikan untuk sel surya. Semikonduktor dengan *band gap* antara 1,1 eV sampai 1,8 eV terbukti efektif digunakan pada sel surya (Handini, 2008: 10)

Proses penumbuhan atau preparasi dengan fabrikasi lapisan tipis digunakan untuk mendapatkan hasil lapisan tipis yang baik. Salah satu teknik penumbuhan lapisan tipis yang dilakukan adalah dengan teknik evaporasi vakum (Milton Ohring, 2002: 96).

Teknik vakum evaporasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Penggunaan ini dipilih karena hasil preparasi yang akan dihasilkan lebih baik dan merata pada permukaan substrat, serta substrat yang dihasilkan saat preparasi lebih tipis dibandingkan dengan teknik lain. Teknik yang digunakan diharapkan dapat menghasilkan kristal sempurna dan kemurnian yang tinggi sehingga dapat memperkecil tingkat kecacatan kristal yang diteliti.

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ yang dideposisikan pada substrat kaca dengan teknik vakum evaporasi termal. Parameter yang divariasi dalam penelitian ini untuk mendapatkan lapisan tipis yang baik yaitu suhu substrat dan spacer (jarak materil sumber dengan substrat). Suhu substrat saat proses evaporasi berperan dalam merenggangkan susunan atom. Hal ini akan menyebabkan

atom-atom semakin kuat menempel pada substrat. Pembuatan lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ bertujuan untuk mengetahui besarnya *band gap* dan konduktivitas lapisan tipis tersebut. Untuk mengetahui besar *band gap* pada lapisan tipis ini diamati dengan menggunakan *Spectroscopy* UV-Vis dan untuk mengetahui besar konduktivitas dapat diamati dengan menggunakan *four point probe* (FPP).

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari uraian yang ada pada latar belakang, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Belum diketehuinya besarnya *band gap* pada bahan semikonduktor lapisan tipis yang dihasilkan dengan teknik evaporasi termal.
2. Belum diketahuinya besarnya konduktivitas pada bahan semikonduktor lapisan tipis yang dihasilkan dengan teknik evaporasi termal.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah dibatasi pada:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal.
2. Sifat listrik yang diteliti meliputi resistansi, resistivitas, dan tipe konduksi.

3. Sifat optik yang diteliti meliputi absorbansi, transmitasi, refleksi.
4. Dari data sifat optik dapat dihitung energi gap (*band gap*) dari lapisan tipis yang dibuat.

D. Rumusan Masalah

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

1. Berapakah besarnya *band gap* yang dihasilkan oleh $Sn(S_{0,8}\ Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ lapisan tipis hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal?
2. Berapakah besar konduktifitas yang dihasilkan oleh $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ lapisan tipis hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui besarnya *band gap* lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal.
2. Mengetahui besarnya konduktivitas lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui hasil preparasi lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ dengan teknik vakum evaporasi termal.
2. Dapat menginformasikan besarnya *band gap* dan konduktivitas oleh $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik vakum evaporasi termal.
3. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian berikutnya.

BAB II
DASAR TEORI

A. Lapisan Tipis

1. Pengertian Lapisan Tipis

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang terdiri dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal organik (*organometallic*) dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga µm (mikrometer) yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator. Bahan-bahan dari lapisan tipis dapat memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu mempunyai sifat-sifat bahan unik yang diakibatkan oleh proses pertumbuhan lapisan tipis. Aplikasi lapisan tipis saat ini telah menjangkau hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronika seperti kapasitor, transistor, fotodetektor, rangkaian hybrid, sel surya, dan teknologi mikroelektronika. Dalam bidang optik digunakan pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kacamata pelindung dari cahaya, transmisi daya tinggi, maupun dalam bidang lain yaitu bidang mekanik (Muhammad, 2016: 15).

Metode penumbuhan kristal dalam bentuk lapisan tipis secara garis besar dibedakan menjadi dua yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chimical Vapor Deposition* (CVD).

a. Metode *Physical Vapor deposition* (PVD)

Merupakan deposisi uap dengan reaksi fisika meliputi:

- *Sputtering.*

-*Vacuum Evaporation.*

- *Close Space Vapor Deposition* (CSVD).

b. Metode *Chemical Vapor Deposition* (CVD)

Merupakan deposisi uap dengan reaksi kimia meliputi:

- *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD).

- *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD).

- *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD).

2. Pembentukan Lapisan Tipis

Pembentukan lapisan tipis melewati tiga tahap utama 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 atau elektrokimia untuk membentuk suatu deposisi padatan (Setianingrum, 2016: 25).

3. Karakteristik Lapisan Tipis

a. Sifat Optik

Absorbansi, transmitansi, reflektansi merupakan sifat optik dari suatu material yang ada kaitannya dengan interaksi antara material dengan gelombang elektromagnetik seperti cahaya, khususnya cahaya tampak. Jika cahaya dilewatkan pada suatu bahan, maka sebagian lagi akan diserap (*absorbed*), sebagian akan diteruskan (*transmitted*), dan sebagian akan dipantulkan

(*reflected*). Hal ini menunjukan bahwa intensitas cahaya yang datang (I_0) sama dengan intensitas cahaya yang diserap (I_A), diteruskan (I_T), dipantulkan (I_R) dan disebarkan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A+T+R+S=100\% \quad (1)$$

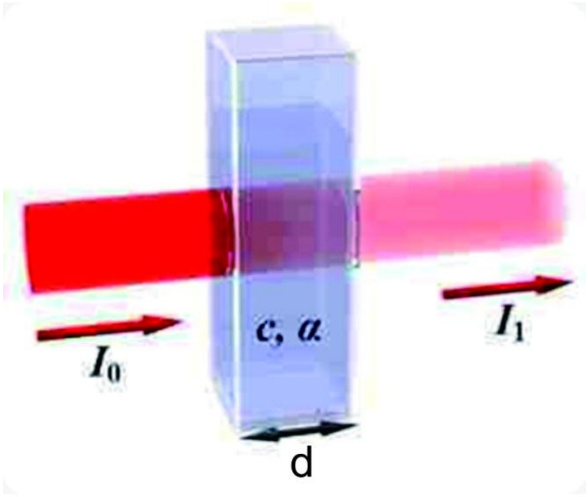
dengan A adalah cahaya yang diserap, T adalah cahaya yang diteruskan, R adalah cahaya yang dipantulkan dan S adalah cahaya yang disebarkan.

Pengukuran sifat optik menggunakan gelombang elektromagnetik dari ultraviolet sampai inframerah. Hubungan antara panjang gelombang dengan *band gap* dirumuskan secara matematis pada persamaan berikut (Muhammad, 2016: 25):

$$Eg = hc/\lambda \quad (2)$$

dengan E_g adalah energi *band gap* (eV), h adalah konstanta planck ($6{,}626\times10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya (3×10^{8} ms^{-1}), λ adalah panjang gelombang cahaya (m).

Absorbansi menyatakan besarnya cahaya yang diserap oleh suatu bahan lapisan tipis dari cahaya total yang dipancarkan. Pengukuran absorbsi cahaya merupakan salah satu teknik yang penting untuk menentukan sifat optik suatu bahan lapisan tipis. Dalam pengukuran absorbsi, intensitas cahaya setelah melewati sampel (I_1) dengan ketebalan *l* sebanding dengan intensitas cahaya yang datang (I_0) (Gambar 1).



Gambar 1. Intensitas cahaya datang dan Intensitas cahaya setelah melewati sampel (https://wanibesak.wordpress.com/2011/07/04/pengertian-dasar-spektrofotometer-vis-uv-uv-vis/)

Hubungan antara keduannya yaitu:

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha d} \quad (3)$$

Banyaknya berkas cahaya datang yang diserap oleh suatu bahan tidak tergantung pada intensitas berkas cahaya datang. Hal ini dapat terjadi karena di dalam bahan tersebut tidak terjadi reaksi kimia atau proses fisis yang dapat dipicu oleh berkas cahaya yang datang.

Transmitansi (T) merupakan interakssi antara intensitas cahaya yang datang. Berdasarkan hukum Lambert-Beer, banyaknya cahaya yang ditransmisikan dapat ditentukan dengan hubungan pada persamaan berikut (Muhammad, 2016: 27):

$$T = \frac{I_1}{I_o} \quad (4)$$

$$= \frac{I_o e^{-\alpha l}}{I_o}$$

$$= e^{-\alpha l}$$

$$\alpha = \frac{1}{l} ln \frac{1}{T} \quad (5)$$

dan absorbansi dinyatakan dengan rumus:

$$A = -\log T \quad (6)$$

rumus yang diturunkan dari Hukum Beer dapat ditulis dengan persamaan berikut (Mukti, 2012):

$$A = \varepsilon . b . C \quad (7)$$

dengan α adalah koofisien absorbsi (α), l adalah ketebalan sampel (m), A adalah absorbansi, b adalah ketebalan larutan, c adalah konsentrasi larutan yang diukur, dan ε adalah tetapan absorpivitas molar.

Koefisien absorpsi (α) merupakan fraksi yang diserap dalam satuan jarak yang dilewati dan merupakan karakteristik suatu lapisan tipis dalam panjang gelombang tertentu (Setiawan Aep, 2008:2)

Absorbsi foton tergantung pada sifat bahan semikonduktor dan panjang gelombang cahaya yang datang. Absorbsi suatu bahan semikonduktor menyebabkan terjadinnya eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Proses transisi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi terdiri dari transisi langgsung dan transisi tidak langsung. Pada transisi langsung, elektron mengabsorbsi foton dan langsung melompat ke dalam pita

konduksi. Energi poton harus sama atau lebih besar dari celah energi.

Transisi untuk bahan semikonduktor di tuliskan pada persamaan sebagai berikut (Muhammad, 2016:30):

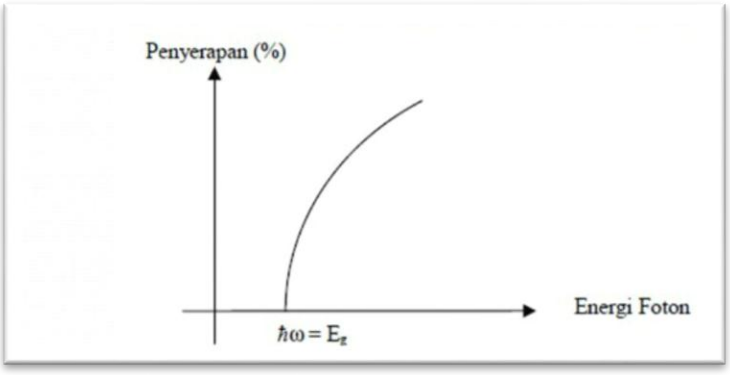
$$Eg = E_{foton} = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\alpha hv = B\,(hv - Eg)^n \qquad (8)$$

dengan $$v = c/\lambda \qquad (9)$$

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

a. Data yang keluar adalah transmitasi (%) terhadap panjang gelombang (nm).
b. Kemudian dibuat grafik hubungan antara αhv^2 terhadap hv.
c. Dengan melakukan ekstapolasi bagian linier αhv^2 terhadap hv memotong absis, maka diperoleh nilai energi yang dinamakan celah energi (*band gap*).



Gambar 2. Kurva penyerapan sebagai fungsi energi pada teknik penyerapan langsung (http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/Rita%20Prasetyowati.pdf)

b. Sifat Listrik

1) Tipe konduksi

Tipe konduksi suatu lapisan tipis merupakan salah satu sifat penting yang harus kita ketahui. Tipe konduksi ada dua macam yakni, konduksi tipe-p dan konduksi tipe-n.

2) Resistivitas dan konduktivitas

Resistivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan arus listrik yang bergantung pada besarnya medan listrik dan kerapatan arus. Semakin besar resistivitas suatu bahan maka semakin besar pula medan listrik yang dibutuhkan untuk menimbulkan sebuah kerapatan arus. Satuan dari resistivitas adalah Ωm.

Konduktivitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik, konduktivitas kebalikan dari resistivitas. Nilai konduktivitas yang baik dimiliki oleh logam.

Nilai konduktivitas adalah perbandingan antara sifat kelistrikan dengan konduktivitas termal. Logam memiliki daya hantar listrik dan kepekaan terhadap perubahan suhu yang baik. Ini dikarenakan dalam logam terdapat banyak elektron bebas yang menyangkut muatan baik dalam konduksi listrik maupun konduksi termal. Satuan dari konduktivitas adalah $(\Omega.m)^{-1}$ (Mafahir, 2015: 23). Nilai konduktivitas juga dapat dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu semakin tinggi pula nilai konduktivitas bahan tersebut.

Sifat listrik dari suatu bahan dapat diketahui dengan melihat nilai konduktivitas (σ) dan resistivitas (ρ). Resistivitas dan konduktivitas adalah suatu besaran yang menggambarkan baik buruknya suatu bahan menghantarkan listrik. Nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas (Suyoso, 2003). Suatu bahan konduktor yang baik akan memiliki nilai resistivitas yang sangat rendah dan konduktivitas tinggi, sedangkan untuk bahan isolator mempunyai resistivitas tinggi dan konduktivitas rendah.

Resistivitas (ρ) dapat dihitung dari pengukuran rapat pembawa muatan dan mobilitas. Mobilitas dan rapat pembawa muatan secara umum tidak diketahui. Untuk itu harus dicari teknik pengukuran yang cocok untuk mengukur resitivitas (Mafahir, 2015: 24).

Semikonduktor merupakan bahan dengan resistivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Semikonduktor memiliki resistivitas (10^{-4} hingga 0,5 Ωm) antara isolator dan konduktor. Semikonduktor memiliki Tabel 1 menunjukan nilai resistivitas dari berbagai bahan.

Tabel 1. Nilai resistivitas untuk bahan (Mafahir, 2015: 7)

Bahan	Klasifikasi	Resistivitas (Ωm)
Tembaga	Konduktor	10^{-6}
Silikon	Semikonduktor	50×10^{-3}
Germanium	Semikonduktor	50
Mika	Isolator	10^{12}

Berdasarkan hukum Ohm resistansi dari material adalah tegangan (V) dibagi dengan arus (I) yang melewati material dan melewati dua elektrode.

$$R=\frac{V}{I} \qquad (10)$$

dengan:

R = resistansi (Ω)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

Konduktivitas dari suatu bahan dapat ditentukan dengan hubungan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma=\frac{1}{\rho} \qquad (11)$$

dengan:

σ = konduktivitas $(\Omega.m)^{-1}$

ρ = resistivitas (Ω.m)

Bila ujung-ujung dari suatu bahan semikonduktor dihubungkan dengan beda potensial maka akan timbul medan listrik *E* pada setiap titik di dalam semikonduktor tersebut. Menurut hukum ohm, rapat arus (*J*) sebanding dengan kuat medan listrik *E*. Rapat arus merupakan hasil kali antara konduktivitas bahan (σ) dengan medan listrik (*E*). Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$J = \sigma . E \qquad (12)$$

dengan *J* merupakan rapat arus (A/m^2), σ merupakan konduktivitas listrik semikonduktor ($\Omega^{-1}m^{-1}$), dan *E* meupakan kuat medan listrik (V/m).

Jadi untuk mengetahui kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik ditunjukkan oleh besarnya harga konduktivitas listrik (σ), yang merupakan kebalikan dari nilai resistivitas listrik (ρ).

B. Semikonduktor

1. Pengertian Semikonduktor

Bahan semikonduktor adalah bahan penghantar listrik yang tidak sebaik konduktor akan tetapi tidak pula seburuk isolator yang sama sekali tidak menghantarkan arus listrik. Pada dasarnya, kemampuan menghantar listrik semikonduktor berada diantara konduktor dan isolator. Semikonduktor dapat menghantarkan listrik atau berfungsi

sebagai konduktor jika diberikan arus listrik tertentu, suhu tertentu dan juga tata cara atau persyaratan tertentu.

Semikonduktor merupakan suatu bahan material yang memiliki nilai koduktivitas listrik diantara bahan isoator dan konduktor. Semikonduktor memiliki struktur pita energi yang sama dengan isolator, akan tetapi celah energi terlalang atau *energi gap* (Eg) pada semikonduktor jauh lebih kecil daripada isolator. Celah energi yang tidak terlalu besar ini yang menyebabkan semikonduktor memiliki perilaku yang berbeda dari bahan isolator.

Sifat-sifat kelistrikan sebuah kristal tergantung pada struktur pita energi dan cara elektron menempati pita energi tersebut. Pita energi dibedakan menjadi 3, yaitu:

a. Pita Valensi

   Penyebab terbentuknya pita valensi adalah adanya ikatan atom-atom yang membangun kristal. Pada pita valensi ini elektron lepas dari ikatan atomnya jika mendapatkan energi.

b. Pita Konduksi

   Pita konduksi merupakan tempat elektron-elektron dapat bergerak bebas karena pengaruh gaya tarik inti tidak diperhatikan lagi. Sehingga elektron dapat bebas menghantarkan listrik.

c. Pita Larangan

   Pita larangan disebut juga *energi gap* (Eg) adalah pemisahan antara pita valensi dengan pita konduksi. Energi gap adalah energi

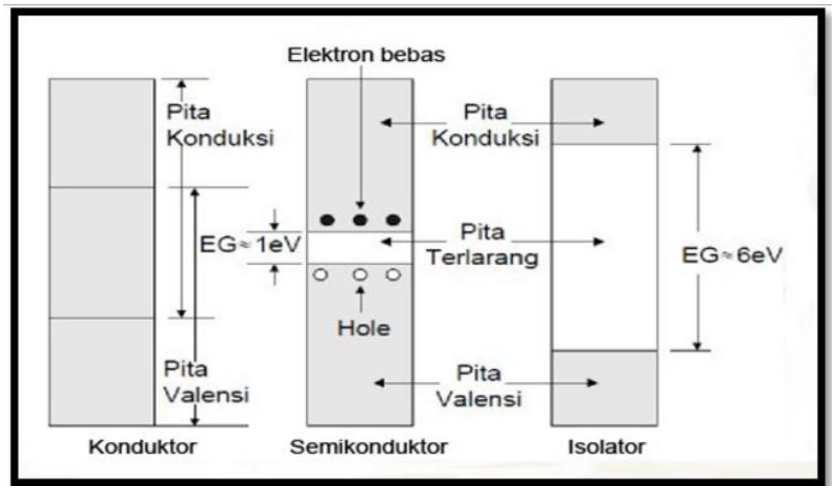
yang diperlukan oleh elektron untuk memecahkan ikatan kovalen sehingga dapat berpindah jalur dari pita valensi menuju pita konduksi. Satuan energi gap adalah elektron volt (eV). Satu elektron volt adalah energi yang diperlukan sebuah elektron untuk berpindah pada beda potensial sebesar 1 volt. Satu elektron setara dengan $1{,}60\times10^{-19}$ joule. *Band gap* untuk berbagai jenis bahan semikonduktor disajikan pada Tabel 2

Tabel 2. *Band gap* pada semikonduktor (Mikrajuddin, 2010: 81)

Bahan	*Band gap* (eV)
Golongan IV	
Si	1,11
Ge	0,67
Sn	0,08
Golongan II-VI	
Cds	2,40
ZnTe	2,26
CdTe	-
CdSe	-
ZnS	-
Golongan III-V	
GaAs	1,40
GaP	2,24
GaSb	0,77
InAs	0,33
InP	1,29
InSb	1,16
Golongan IV-VI	
PbS	0,40

Berdasarkan konsep pita energi, semikonduktor merupakan bahan yang pita valensinya hampir penuh sedangkan pita konduksinya hampir kosong dengan lebar pita terlarang atau (Eg) sangat kecil (±1 hingga 2 eV). Struktur pita energi pada

semikonduktor terdapat pita valensi dan pita konduksi yang disebut dengan energi gap (Eg). Struktur pita energi disajikan pada Gambar (3).



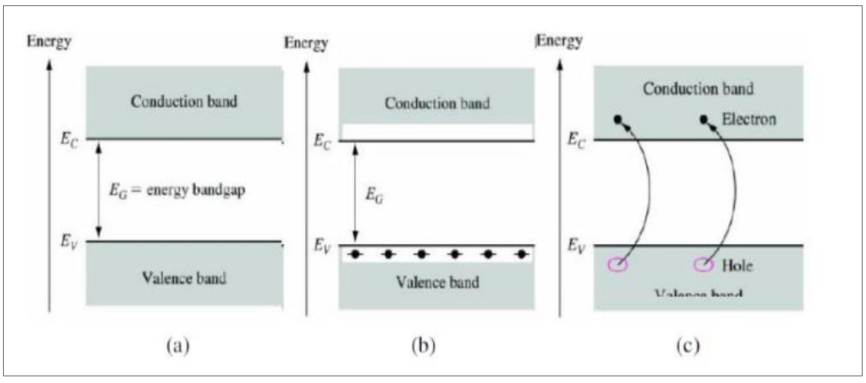
Gambar 3. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator (Ariswan, 2013).

Konduktor merupakan suatu bahan pengahantar listrik yang paling baik dan memiliki nilai resistansi listrik yang kecil yaitu 10^{-5} Ω cm^{-1} (Parno, 2006). Hal ini disebabkan karena konduktor memiliki enegi gap kurang dari 1 eV sehingga dapat dipandang seperti tumpang tindih (*overlap*) antara pita konduksi dan pita valensi. Konduktor memiliki struktur pita energi yang hanya diisi sebagai elektron saja. Pita energi yang terisi sebagian elektron merupakan pita konduksi. Medan listrik eksternal yang dikenakan pada konduktor akan mempangaruhi elektron, sehingga memperoleh tambahan energi dan memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron tersebut seperti elektron bebas yang lincah dan gerakkannya menghassilkan arus listrik. Contoh dari bahan konduktor yaitu tembaga, aluminium, dan besi.

Isolator adalah suatu penghantar listrik yang buruk dan memiliki nilai resistivitasnya antara 10^{-14} - 10^{22} Ω cm^{-1} (Parno, 2006). Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Energi gap isolator sangatlah besar yaitu 6 eV, sehingga energi yang diperoleh dari medan listrik eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati energi gap tersebut, sehingga penghantar listriknya tidak dapat berlangsung.

Semikonduktor adalah material yang memiliki nilai konduktivitas diantara isolator dan konduktor. Material semikonduktor memiliki konduktivitas 10^{-8} – 10^{3} Ω cm^{-1} dan memiliki celah energi dibawah 6 eV. Bahan semikonduktor dapat berubah sifat kelistrikannya apabila temperaturnya berubah.

Celah pita antara pita valensi dan pita konduksi yang sempit memungkinkan elektron akan tereksitasi secara termal pada temperatur ruang dari pita valensi menuju pita konduksi (Muhammad, 2016 :8)



Gambar 4. Struktur pita pada semikonduktor (Ariswan, 2013)

Gambar 4 (a) menunjukkan keadaan elektron terikat dalam ikatan kovalen pada temperatur 0 K dengan tingkat energi Ev, sedangkan tingkat energi pada pita konduksi tidak ada elektron. Apabila suhu kristal semikonduktor dinaikkan maka akan ada penambahan energi termal yang menyebabkan terputusnya ikatan kovalen yang terbentuk. Pemutusan kovalen ini akan menghasilkan elektron bebas yang sudah dalam keadaan konduksi dengan tingkat energi Ec.

Gambar 4 (b) menunjukkan setiap atom penyusun kristal semikonduktor memiliki sejumlah elektron valensi pada kulit terluarnya yang menempati keadaan valensi. Keadaan elektron valensi ini memiliki tingkat energi yang besarnya adalah Ev. Elektron valensi ini mempunyai mempunyai kontribusi pada pembentukan ikatan kovalen antara atom-atom penyusun kristal semikonduktor.

Gambar 4 (c) merupakan keadaan elektron konduksi dimana setelah terjadinya pemutusan ikatan kovalen, elektron valensi pada tingkat energi Ev akan berpindah ke keadaan konduksi dengan tingkat energi Ec. Selisih antara tingkat energi konduksi dengan tingkat energi valensi disebut energi celah pita (*band gap*) yang merupakan energi minimal yang dibutuhkan untuk memutuskan ikatan kovalen pada bahan semikonduktor.

2. Sifat-sifat semikonduktor

Semikonduktor memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Sumarna, 2013:2):

a. Resistivitas semikonduktor lebih kecil daripada isolator tetapi lebih besar dari pada konduktor.
b. Semikonduktor memiliki resistansi dengan koefisien suhu negatif, yaitu bahwa resistansi semikonduktor menurun dengan kenaikan suhu demikian pula sebaliknya. Sebagai contoh, germanium menjadi isolator pada suhu rendah tetapi merupakan konduktor yang baik pada suhu tinggi.
c. Ketika ketidakmurnian metalik yang tepat (seperti arsenik, gallium, dsb) ditambahkan kedalam semikonduktor, maka sifat-sifat konduksi arusnya berubah cukup besar. Ini lah sifat khas yang sangat penting yang harus diketahui.

3. Doping pada Semikonduktor

Untuk meningkatkan konduktivitas suatu bahan semikonduktor itu diberi doping, akibatnya bahan itu akan menjadi tipe-n atau tipe-p tergantung dopingnya. Dopan dikelompokan sebagai (Sastra Kusuma Wijaya, 1992) :

a. Donor → diberi impuritas yang bervalensi +5 (misalnya P, As, Sb) → tipe-n
b. Akseptor → diberi impuritas yang bervalensi +3 (misalnya In, Ga, B) → tipe-p

Sebenarnya banyak bahan-bahan dasar yang dapat digolongkan sebagai bahan semikonduktor, tetapi yang paling sering digunakan untuk bahan dasar komponen elektronika hanya beberapa jenis saja, bahan-bahan semikonduktor tersebut diantaranya adalah silicon,

selenium, germanium dan metal oxides. Untuk memproses bahan-bahan semikonduktor tersebut menjadi komponen elektronika, perlu dilakukan proses "Doping" yaitu proses untuk menambahkan ketidakmurnian (*impurity*) pada semikonduktor yang murni (semikonduktor intrinsik) sehingga dapat merubah sifat atau karakteristik kelistrikannya. Beberapa bahan yang digunakan untuk menambahkan ketidakmurnian semikonduktor antara lain adalah arsenic, indium dan antimony. Bahan-bahan tersebut sering disebut dengan "doping", sedangkan semikonduktor yang telah melalui proses "doping" disebut dengan semikonduktor ekstrinsik.

4. Jenis Semikonduktor

Berdasakan sifat kelistrikanya, bahan semikonduktor dibedakan menjadi dua, yaitu semikonduktor instrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

a. Semikonduktor Instrinsik

Semikonduktor instrinsik adalah suatu bahan semikonduktor murni, dengan sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur yang bersangkutan (Parno, 2006). Pada semikonduktor intrinsik, banyaknya *hole* sama dengan banyaknya elektron bebas. Gerakan termal terus-menerus menghasilkan pasangan elektron *hole* yang baru, sedangkan elektron *hole* yang lain menghilang sebagai akibat proses

rekombinasi. Konsentrasi (rapat) *hole* harus sama dengan konsentrasi elektron n, sehingga:

$$n = p = n_i \quad (13)$$

dimana n_i disebut konsentrasi atau rapat intrinsik.

Energi Fermi (E_f) pada semikonduktor intrinsik terletak antara pita konduksi dan pita valensi yang besarnya adalah:

$$E_f = \frac{E_c + E_v}{2} \quad (14)$$

dengan E_c adalah tingkat energi pada pita konduksi dan E_v adalah tingkat energi pada pita valensi.

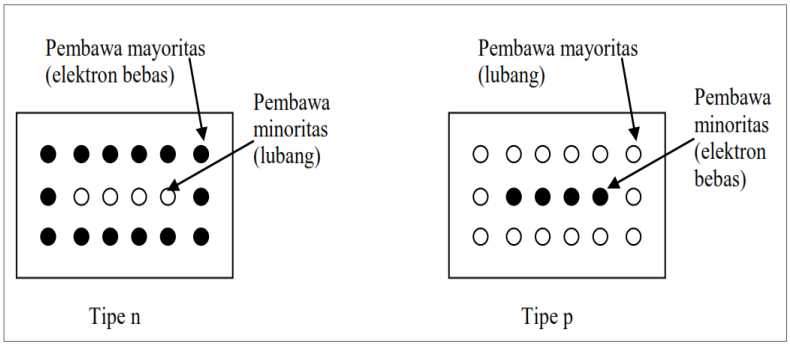
Menurut Parno (2006), semikonduktor intrinsik mempunyai beberapa ciri – ciri sebagai berikut:

1) Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
2) Energi Fermi terletak ditengah – tengah energi gap.
3) Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, tetapi sumbangan *hole* juga berperan penting.
4) Ada sekitar 2 atom diantara 10^9 atom yang memberikan sumbangan terhadap hantaran listrik.

Contoh semikonduktor intrinsik misalnya Si dan Ge. Pada T = 0 K pita valensi semikonduktor terisi penuh elektron, sedangkan pita konduksi kosong. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh celah energi kecil, yakni dalam rentang 0,18 - 3,7 eV. Pada suhu kamar Si dan Ge masing masing memiliki celah energi 1,11 eV dan 0,7 eV (Reka Rio, 1982). Bila mendapat cukup energi, misalnya berasal dari energi panas, elektron dapat melepaskan diri dari ikatan kovalen dan terekstitasi menyebrangi celah energi. Elektron valensi pada atom Ge lebih mudah terekstitasi menjadi elektron bebas dari pada elektron valensi pada atom Si, karena celah energi Si lebih besar dari pada celah energi Ge.

a. Semikonduktor ekstrinsik

Semikonduktor yang telah mengalami proses doping dinamakan semikonduktor yang *impurity* (ketidakmurnian). Telah dijelaskan bahwa elektron-elektron yang saling berikatan kovalen akan menghasilkan pita konduksi saat mereka dalam keadaan anti bonding dan menghasilkan pita valensi saat dalam keadaan bonding (Ariswan,2013). Semikonduktor ekstrinsik yang siap menjadi komponen elektronika dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p yang dapat diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Semikonduktor tipe-n dan tipe-p

- Semikonduktor tipe-n

  Dijelaskan pada Gambar 5 semikonduktor tipe-n, mayoritas pembawa muatan adalah elektron sedangkan hole merupakan pembawa minoritas. 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 sangatlah 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).

Atom-atom golongan V pada tabel periodik menggantikan golongan IV, sehingga disekitar golongan V ikatannya sebagai berikut (Ariswan, 2013):

1. Hanya ada 4 elektron dari golongan V yang dibutuhkan untuk membentuk ikatan kovalen, sehingga disekitar ion golongan V bermuatan positif.
2. Elektron kelebihan akan menjauh, akan tetapi masih terikat oleh gaya coulomb, oleh karena itu membentuk sistem struktur atom H.

- Semikonduktor tipe-p

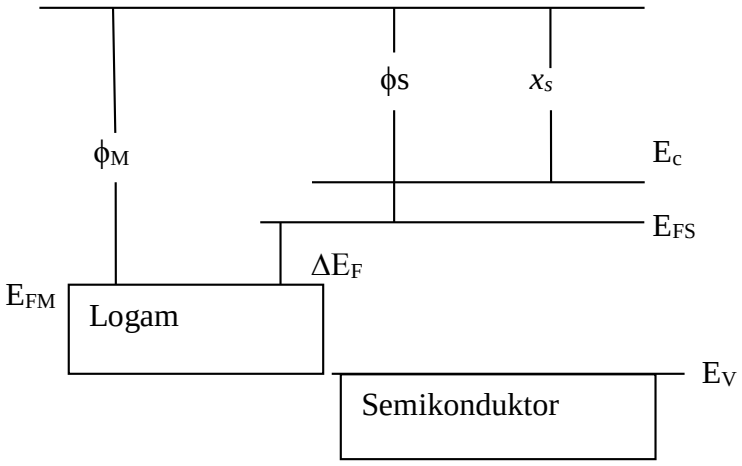
Dikatakan tipe-p karena mayoritas pembawa muatan adalah *hole* didalam pita valensi sedangkan pembawa muatan minoritasnya adalah elektron didalam pita konduksi. Semikonduktor yang didoping dengan atom-atom akseptor dinamakan semikonduktor tipe-p dimana “p” menunjukkan bahwa muatan positif jauh melebihi pembawa muatan negatif.

Dalam semikonduktor tipe-p, ketidak murnian dari golongan III. Ion mempunyai massa yang relatif berat bermuatan negatif dan lubang mempunyai massa efektif kecil dari valensi. Dalam keadaan bebas *hole* dapat bergerak dalam pita valensi (Ariswan, 2013).

5. Dioda logam-semikonduktor

a. Model jalur hubungan (junction) logam dan semikonduktor.

Semua macam bahan mempunyai tingkatan vakum yang sama. Celah energi antara tingkatan fermi dari sebuah bahan dan tingkatan vakum disebut “fungsi kerja”. Dimensinya seperti energi, biasannya digunakan satuan eV.



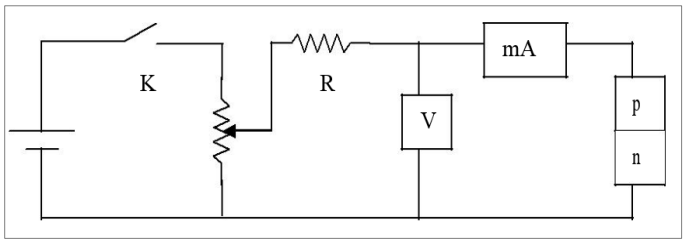
Gambar 6. Model jalur energi dari logam dan semikonduktor

Gambar 6 menunjukkan model jalur logam dan sebuah semikonduktor tipe-n relatif terhadap tingkatan vakum. ϕ_M dan ϕ_S masing-masing adalah fungsi kerja dari logam dan dari semikonduktor. Bila pada logam diberikan energi dari luar yang lebih besaar daripada $\phi_{M.}$ Elektron-elektron dekat E_f (tingkat fermi) akan dinaikkan ke tingkatan vakum dan menjadi elektron bebas. Celah energi dari semikonduktor antara tingkatan vakum dan E_c, yaitu tingkat dasar dari jalur konduksi, disebut “afinitas elektron”

yang dinyatakan oleh x_s pada Gambar 5. Gambar ini menunjukan bahwa logam dan semikonduktor adalah berbeda, dan perbedaan antara tingkat Fermi mereka adalah ΔE_F (Reka Rio, 1982: 55).

b. Sifat Volt-Ampere pada sambungan p-n

Sifat Volt-Ampere atau V-I dari sambungan p-n (juga disebut dioda kristal atau dioda semikonduktor) merupakan kurva antara tegangan yang menyilang pada sambungan dan arus rangkaian itu. Biasanya, tegangan diambil sepanjang sumbu-x dan arus sepanjang sumbu-y. Gambar 7 memperlihatkan susunan rangkaian untuk menentukan sifat V-I dari sambungan p-n. R merupakan resistor pembatas arus yang mencegah arus maju melebihi nilai yang diperbolehkan (Sumarna, 2016).



Gambar 7. Susunan rangkaian Volt-Ampere dari sambungan p-n (Sumarna, 2016)

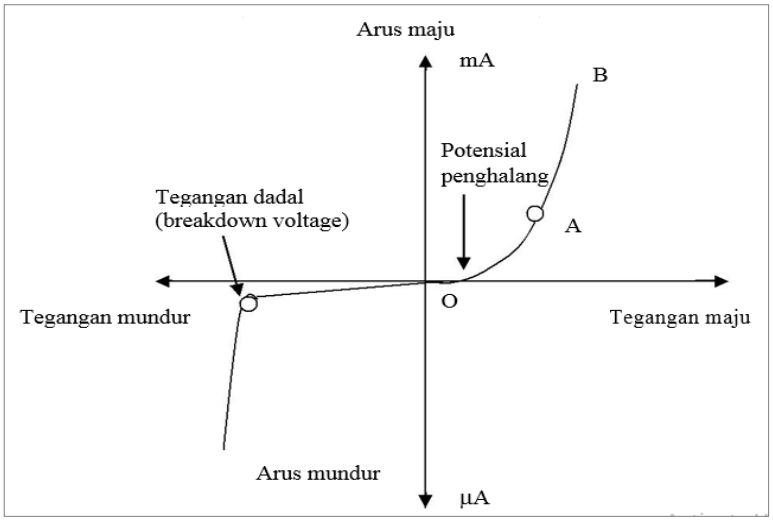
Sifat V-I tersebut dapat dipelajari melalui tiga bagian, sebutlah tegangan luar nol, bias maju, dan bias mundur.

a. Tegangan luar nol

Ketika tegangan luar nol, yakni rangkaian terbuka pada K, penghalang potensial pada persambungan tidak mengijinkan arus mengalir. Sehingga arus rangkaian nol dan ditunjukkan oleh titik O.

b. Bias maju

Dengan bias maju pada persambungan p-n, yakni tipe p dihubungkan dengan terminal positif dan tipe n dihubungkan dengan terminal negatif, maka potensial penghalang ditiadakan. Pada suatu harga tegangan maju (0,7 volt untuk Si dan 0,3 volt untuk Ge), maka potensial penghalang itu seluruhnya dihilangkan dan arus mulai mengalir di dalam rangkaian. Dari keadaan ini makin maju, maka arus meningkat dengan kenaikan tegangan maju. Kemudian, kenaikan kurva OB diperoleh dengan pemberian bias maju. Dari sifat bias maju ini terlihat bahwa yang pertama (daerah OA), arus meningkat dengan sangat lambat dan kurva tidak linier. Ini disebabkan karena tegangan yang dikenakan digunakan untuk mengatasi penghalang potensial. Tetapi ketika tegangan luar melebihi tegangan penghalang potensial, maka sambungan p-n berkelakuan seperti konduktor biasa. Karenanya arus meningkat sangat tajam dengan kenaikan tegangan luar (daerah AB pada kurva). Pada daerah ini kurva sifat hampir linier yang ditunjukkan pada Gambar 8.

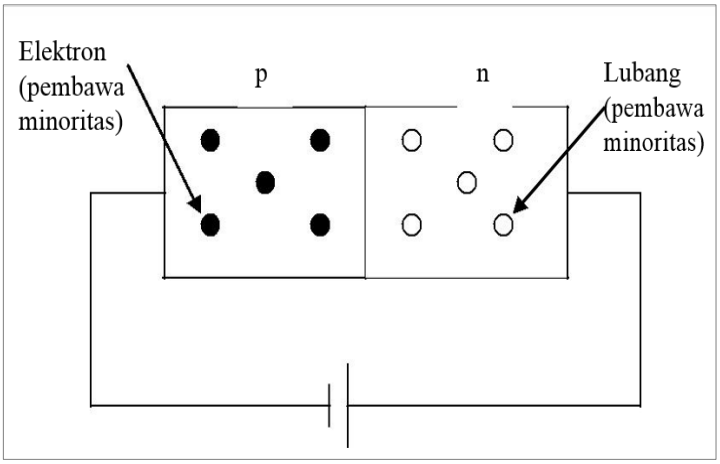


Gambar 8. Kurva tegangan bias (Sumarna, 2016)

c. Bias Mundur

Dengan bias mundur pada sambungan p-n, yaitu tipe p dihubungkan dengan terminal negatif dan tipe n dihubungkan dengan terminal positif, penghalang potensial pada persambungan meningkat. Karena itu resistansi persambungan menjadi sangat tinggi dan secara praktis tidak ada arus yang mengalir melalui rangkaian itu. Tetapi dalam praktek, arus yang sangat kecil (dalam orde µA) mengalir di dalam rangkaian dengan bias mundur seperti ditunjukkan pada watak mundur (balik). Ini disebut sebagai arus mundur (balik) yang terkait dengan pembawa minoritas. Perlu diingat bahwa ada beberapa elektron bebas pada bahan tipe p dan beberapa lubang pada bahan tipe n. Elektron bebas pada tipe p dan lubang pada tipe n yang tidak diinginkan ini disebut pembawa minoritas. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, pada

pembawa minoritas ini, bias balik yang dikenakan nampak sebagai bias maju. Karena itu arus kecil mengalir dalam arah balik. Arus balik meningkat terhadap tegangan balik tetapi secara umum dapat diabaikan ketika mengabaikan kisaran tegangan kerja yang berlebihan.



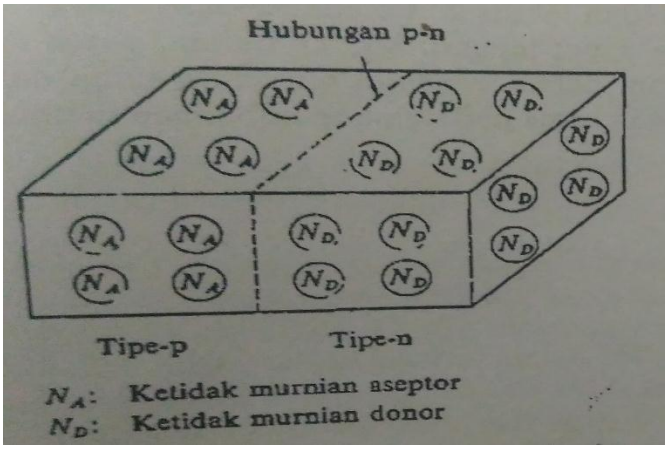
Gambar 9. Elektron bebas pada tipe-p dan lubang pada tipe-n

Jika tegangan balik dinaikkan secara kontinyu, energi kinetik elektron (pembawa minoritas) menjadi cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron-elektron dari atom-atom semikonduktor. Pada tahap terjadi kedadalan (*breakdown*) di persambungan, yang ditunjukkan adanya kenaikan yang mendadak dari arus balik dan resistansinya jatuh secara mendadak pada daerah penghalang. Keadaan ini dapat merusak persambungan secara permanen. Perlu diingat bahwa arus maju yang melewati sambungan p-n terkait dengan pembawa mayoritas yang dihasilkan oleh impuritas. Tetapi arus balik terkait dengan pembawa minoritas yang dihasilkan berkenaan dengan kerusakan beberapa ikatan kovalen pada suhu

kamar.

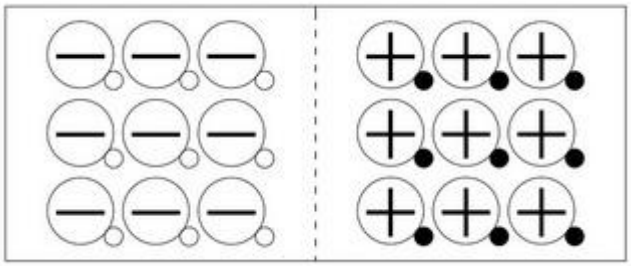
c. Pembentukan hubungan p-n

Hubungan p-n tidak dapat dibentuk hanya dengan menghubungkan semikonduktor tipe-p dan tipe-n begitu saja. Hubungan p-n didapat jika merubah sebagian dari substrat kristal menjadi tipe-n dengan menambah donor dan bagian yang lain menjadi tipe-p dengan menambah aseptor, harus memiliki struktur kristal yang kontinu.

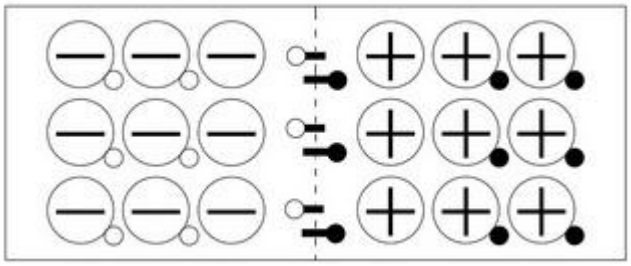


Gambar 10. Hubungan p-n dan pembagian ketidakmurniannya (Reka Rio, 1982)

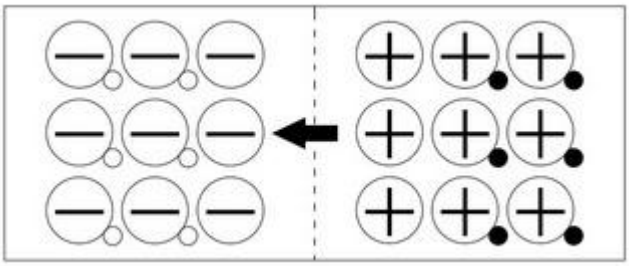
Dari Gambar 10 memberikan sketsa, ada beberapa cara untuk menghasilkan hubungan p-n yang mempunyai konsentrasi ketidak murnian seperti pada gambar, ini akan dibicarakan kemudian. Ditinjau dari apa yang terjadi setelah hubungan p-n itu terbentuk.



Gambar 11. Proses pembentukan hubungan p-n (langsung sesudah pembentukan)



Gambar 12. Proses pembentukan hubungan p-n **(**pembawa itu berdifusi dan berekomendasi)



Gambar 13. Proses pembentukan hubungan p-n (seimbang)

Proses yang disederhanakan daalm bentuk bidang ditunjukan oleh Gambar 11, 12 dan 13. Tanda (-) dan (+) menunjukan masing-masing aseptor yang diionisasikan dan donor yang diionisasikan. Donor dan aseptor tidak dapat berpindah bebas pada temperatur normal .

Pada Gambar 11, menggambarkan hubungan tepat sudah terbentuk. Aseptor membentuk semikonduktor tipe-p dan donor membentuk tipe-n yang disertai dengan jumlah *hole* dan elektron yang sama, daerah itu memiliki sifat listrik yang netral. *Hole* dan elektron itu merupakan pembawa bebas yang dapat dinaikkan tingkatannya ke jalur konduksi dan juga dapat dalam jalur valensi.

Pembawa-pembawa ini berdifusi ke daerah yang mempunyai konsentrasi rendah dan berekombinasi satu sama lain. Misalnya karena *hole* dalam tipe-p lebih tinggi konsentrasinnya daripada hole dalam tipe-n, mereka berdifusi dari daerah tipe-p ke tipe-n. Apabila misalnya pada *hole*, bila ia meninggalkan daerah tipe-p dan hilang ke dalam daerah tipe-n karena berekomendasi, sebuah aseptor akan diionisasikan menjadi negatif dalam daerah tipe-p itu, yang membentuk muatan ruangan negatif. Hal yang sama terjadi pula pada elektron yang meninggalkan muatan ruang positif pada daerah tipe-n, ini membangkitkan medan listrik yang mulai dari ruang yang bermuatan positif, berakhir pada ruang yang bermuatan negatif. Medan listrik ini menghambat *hole* untuk berdifusi dari daerah tipe-p ke tipe-n seperti diperhatikan pada Gambar 12.

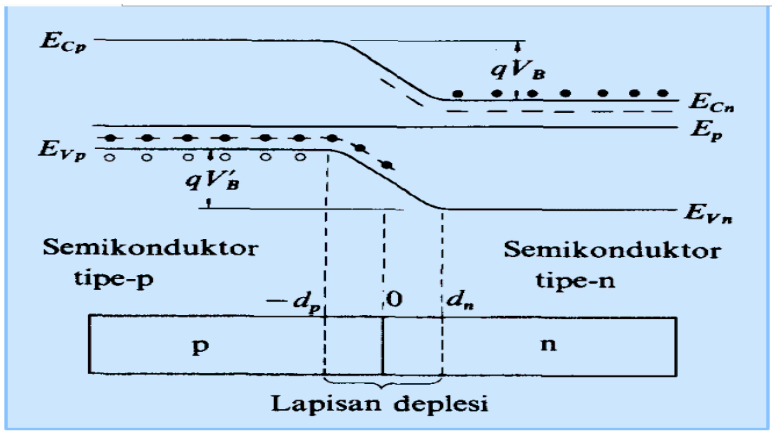
Akhirnya aliran pembawa berhenti setelah terdapat keseimbangan antara difusi dan hanyutan (drift) dari pembawa yang disebabkan oleh medan listrik yang berlawan, keadaan ini

disebut keadaan seimbang dapat dilihat pada Gambar 13. Dalam keadaan seimbang terbentuk daerah:

1) Daerah tipe-p netral: daerah dimana jumlah hole sama dengan jumlah aseptor.
2) Daerah muatan ruang tipe-p: daerah dimana aseptor diionisasikan negatif.
3) Daerah muatan ruang tipe-n: daerah dimana donor diionisasikan positif.
4) Daerah tipe-n netral: daerah dimana jumlah donor sama dengan jumlah elektron.

Daerah 2 dan 3 bersama sama disebut daerah muatan ruang atau lapisan deplesi atau dipole listrik. Dalam daerah ini terdapat medan listrik walaupun pada hubungan p-n tidak diberi tegangan. Medan ini disebut medan dalam atau medan built in.

d. Model pita pada dioda hubungan



Gambar 14. Model jalur dan hubungan tipe p-n dengan bentuk daerah deplesi (Sastra Kusuma Wijaya, 1992)

Model jalur hubungan p-n dalam keadaan seimbang panas dan semikonduktor tipe-n dan tipe-p baru saja diletakkan berhadapan, dengan tingkat ferminya sama. Tingkat fermi Gambar 14 betul tetapi belum mendapat gambaran yang tepat mengenai bentuk dari daerah transisi antara daerah tipe-p dan tipe-n.untuk menentukan bentuk dari daerah ini, harus menentukan distribusi tegangan yang diakibatkan oleh distribusi muatan ruang dalam daerah ini (Reka Rio,1980:63). Hubungan anatara energi elektron dengan tegangan elektrostatis dinyatakan sebagai:

$$E = -qV \qquad (15)$$

6. Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor adalah bahan dengan energi gap sekitar 1 – 2 eV. Bahan ini pada suhu 0 K bersifat isolator, jika suhu dinaikan maka terjadi generasi elektron-hole termal sehingga berubah menjadi bahan konduktor (Ariswan,2013).

Bahan-bahan yang merupakan semikonduktor dapat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Bahan-bahan semikonduktor

II B	III A	IV A	V A	VI A
	B Boron	C Carbon	N Nitrogen	
	Al Alumunium	Si Silicon	P Phosphorus	S Sulfur
Zn Zinc	Ga Gallium	Ge Germanium	As Arsenic	Se Selenium
Cd Cadmium	In Indium	Sn Tin	Sb Antimony	Te Tellurium
Hg Mercury		Pb Lead	Bi Bismuth	

a. *Tin* (Sn)

Tin (Sn) merupakan logam putih keperakan, logam yang mudah ditempa, bersifat fleksibel, dan memiliki struktur kristalin, akan tetapi bersifat mudah patah jika didinginkan. Sn memiliki nomor atom 50, massa atom relatif (Ar) 118,71 gram/mol, dan termasuk golongan IV pada tabel berkala. Sn memiliki titik lebur pada 231,93°C dan titik didih pada 2602°C. *Tin* memiliki struktur kristal tetragonal (Sn Putih) dan kubik diamond (Sn abu-abu).

b. *Sulfide* (S)

Sulfide (S) merupakan logam berwarna kelabu dalam bentuk pelet, termasuk golongan VI pada tabel berkala, memiliki nomer 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 fotovoltaik (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).

c. *Telurium* (Te)

Telurium termasuk golongan VI yang memiliki nomor atom 52, massa atom relatof (Ar) 127,6 gram/mol. Te memiliki titik lebur 449,51°C dan titik didih pada suhu 989,9°C (Mahmudah Setyaningrum, 2016: 23). Telurium memiliki warna putih keperak-perakan, dalam keadaan murninya menunjukkan kilau logam, biasanya terbentuk dengan warna abu-abu gelap dan bersifat semi-logam (metaloid), 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.

d. 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 Å; b = 11,18 Å; dan c = 3,98 Å (Burton, 2013).

Tin Sulfide mempunyai struktur kristal berwarna coklat hitam atau abu-abu yang mempunyai massa molar 150,776 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 eV.

e. 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 eV. Bahan semikonduktor dari grup ini memiliki keunggulan yaitu sensifitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan untuk detektor inframerah (Saini, 2010: 5).

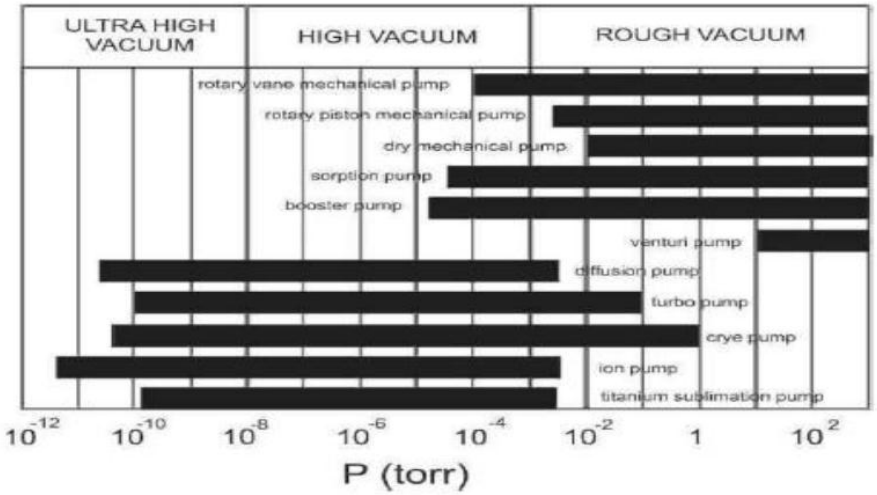
f. SnSTe

SnSTe merupakan material semikonduktor hasil perpaduan dari bahan semikonduktor antara SnS dan SnTe. Berdasarkan (Cheng, 2012: 7), bahan SnS memiliki *band gap* sebesar 1,5 eV. Sedangkan SnTe adalah material termoelektrik yang memiliki *energi gap* sekitar 0,35 eV.

C. Teknik Vakum Evaporasi

Teknik vakum evaporasi merupakan salah satu metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan dalam ruang hampa. Teknik ini merupakan salah satu kelompok dari *Physical Vapor Deposition* (PVD). Preparasi bahan membutuhkan suatu alat preparasi lengkap yang digunakan untuk menguapkan atau menghasilkan suatu hasil preparasi, untuk kali ini dalam bentuk lapisan tipis yang menempel pada substrat kaca (Nirwanto, 2007). 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 bahan 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. Kemudian terjadi proses pelapisan sebagai akibat 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 pompa secara bertahap untuk mendapatkan vakum tinggi. Karena pompa mempunyai daerah kerja tertentu maka dibutuhkan pengetahuan tentang daerah kerja suatu pompa. Seperti yang disajikan pada Gambar (15).



Gambar 15. Daerah kerja suatu pompa (Ariswan, 2013).

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 kerjanya. Pompa yang biasa digunakan adalah pompa vakum difusi dan pompa vakum rotari.

1. Pompa Vakum Difusi

   Pompa vakum difusi biasanya digunakan oleh bahan yang tekanan penguapannya sangat rendah. Pompa vakum difusi bekerja dengan cara mengalirkan uap sangat cepat yang diperoleh dari didihan minyak organik atau merkuri yang kemudian termampatkan ketika bertumbukan dengan dinding pompa yang didinginkan. Pompa vakum difusi berguna untuk menguapkan cairan dan untuk menambah tingkat kevakuman. Pada bagian bawah dari pompa ini adalah *reservoir oil*. Oli tersebut dipanasi sehingga oli akan naik ke atas melalui penyempitan pipa, dengan kecepatan tinggi menumbuk atap dan

dipantulkan ke bawah dengan pantulan menyebar kemudian oli akan menumbuk dinding pompa yang didinginkan sehingga oli mengembun dan begitu seterusnya.

2. Pompa vakum rotari

   Sebelum menggunakan pompa rotari untuk memvakumkan alat destilasi, penting meyakini bahwa zat-zat volatile yang ada dalam sistem hanya dalam jumlah yang kecil, lalu dihubungkan dengan aspirator air untuk mengeluarkan zat-zat volatile tersebut. perangkap yang dingin dapat mengakumulasikan zat-zat volatile dalam jumlah yang kecil, tapi tidak aman untuk membiarkan zat-zat tersebut terakumulasi dalam perangkap air karena berpotensi resiko ledakan pada saat pengisian udara kembali diakhir distilasi. Setelah zat-zat volatile dikeluarkan dari sistem dengan menggunakan aspirator air, selanjutnya pemvakuman dilakukan dengan pompa vakum rotari (Firdaus, 2011: 11).

Pompa vakum dapat dibedakan menjadi 3 kategori berdasarkan daerah kevakumannya yaitu sebagai berikut:

1. *Roughing pumps* yaitu pompa yang bekerja pada tekanan rendah yang berada pada tekanan 10^{3} torr sampai 10^{-3} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini diantaranya *rotary vane pump, root pump, sorption pump*, dan lain sebagainya.
2. *High vacuum pumps* adalah pompa yang bekerja pada vakum tinggi range yang kerjanya pada tekanan udara dari 10^{-3} torr sampai 10^{-8} torr.

Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah oil diffusion pump, turbomolecular, cryo pump, dan lain sebagainya.

3. *Ultrahigh pump*s adalah pompa yang mampu bekerja untuk vakum ultra tinggi yaitu pada tekanan udara lebih kecil dari 10^{-8} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini antara lain *titanium sublimation pump* dan *ion pump*.

Sistem evaporasi menyediakan sebuah sumber pemanas untuk mengevaporassi bahan yang diinginkan. Pada pemanas dilewatkan arus yang cukup tinggi untuk membawa bahan sumber ke suhu evaporasinya yaitu suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendesak keluar uap dari bahan sumber. Pada umumnya sistem evaporasi terdiri atas bagian bagian penting sebagai berikut (Muhammad, 2016: 18).

a. Bejana vakum

   Bejana ini digunakan sebagai tempat pendeposisian, dimana ada *crusssible* sebagai tempat peletakan bahan yang akan di deposisikan dan substrat sebagai tempat menempelnya bahan pada saat terdeposisi. Kedua alat ini dipisahkan oleh *spacer*.

b. Pompa vakum

   Pompa yang digunakan terdiri dari pompa rotari dan pompa difusi.

c. Pompa difusi

   Pompa ini salah satu jenis pompa *high vacuum pumps* yang bekerja pada vakum tinggi. Range daerah kerjannya adalah pada tekanan antara $1{,}33\times10^{-2}$ mbar sampai $2{,}66\times10^{-8}$ mbar.

d. Pompa rotari

Pompa ini adalaah salah satu jenis pompa *roughing pump* yang dapat digunakan secara maksimum untuk memvakumkan suatu ruangan pada tekanan udara dari $1{,}33\times10^{3}$ mbar sampai $1{,}33\times10^{-3}$ mbar.

e. Slide regulator

Merupakan pengatur tegangan.

f. Termokopel

Digunakan sebagai pengukur suhu substrat saat proses preparasi bahan berlangsung. Alat ini dipasang pada pemanas substrat.

g. Pompa pendingin

Digunakan sebagai sirkulasi pendingin substrat saat proses preparasi bahan berlangsung. Alat ini dipasang pada pemanas substrat.

h. Substrat

Substrat digunakan sebagai tempat lapisan tipis logam yang akan ditumbuhkan.

i. Regulator pembangkit panas

Alat ini digunakan untuk membangkitkan arus yang diperlukan untuk memanaskan cawan.

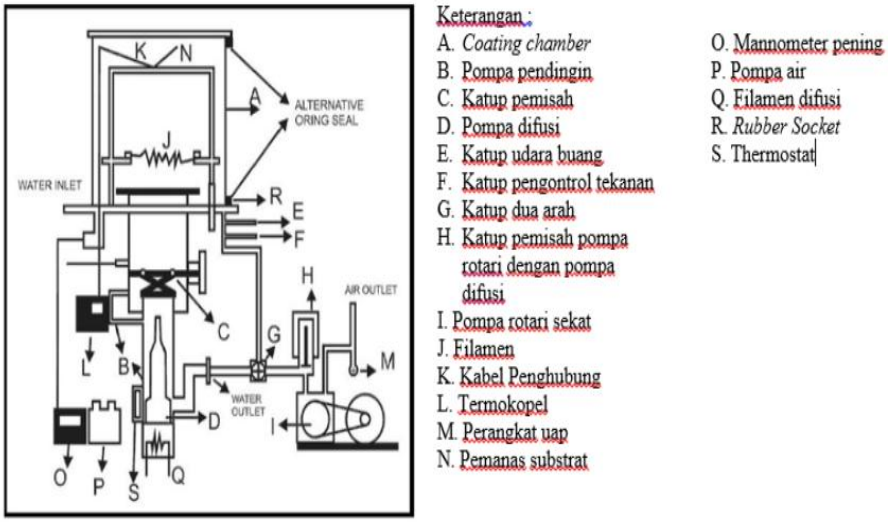
j. Generator variabel

Alat ini digunakan untuk memberi tegangan pada alat regulator pembangkit arus.

k. Mannometer penning

Alat ini berfungsi untuk mengetahui dan mengontrol tekanan pada ruang vakum saat pemompaan baik dengan pompa rotari maupun dengan pompa difusi.

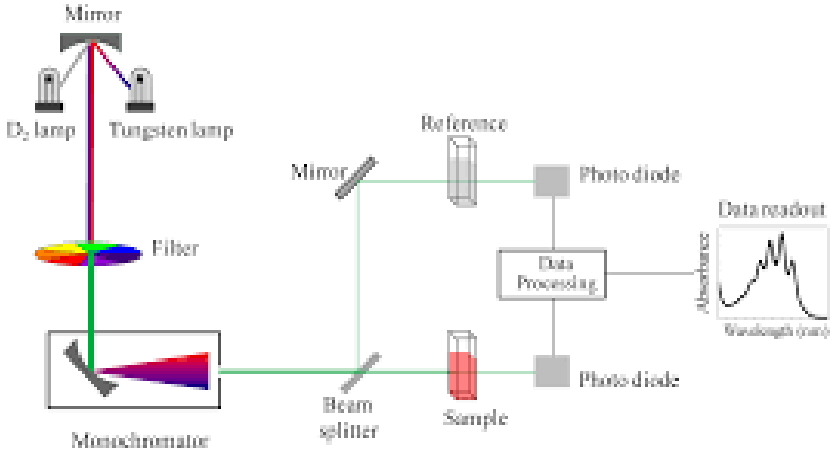
Skema sistem evaporasi vakum disajikan pada Gambar 16. Dalam proses evaporasi, bahan yang digunakan harus padat, karena jika menggunakan cairan akan bereaksi dengan elemen pemanasnya. Bahan sumber yang telah dievaporasi ini selnjutnya bergerak meninggalkan sumber panas dalam bentuk gas. Sifat transpor zat berperan dalam peristiwa ini. Sifat transpor zat adalah kemampuan zat itu untuk memindahkan materi, energi atau sifat yang lainnya dari suatu tempat ke tempat lain. Arah gerakannya ke segala arah tergantung pada jenis sumber yang digunakan. Selanjutnya proses pelapisan mengalami proses kondensasi pada setiap permukaan substrat yang ditimpa atom-atom. Pendeposisian atau preparasi yang digunakan adalah menggunakan metode evaporasi (Ohring, 2002: 96).



Gambar 16. Skema sistem evaporasi (Haryanto, 2013)

D. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer sesuai dengan namanya adalah alat yang terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer ialah menghasilkan sinar dari spektrum dan panjang gelombang tertentu, sedangkan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi. Jadi spektrofotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang (Khopkar, 2003).



Gambar 17. Skema mekanisme spektrofotometer UV-Vis (http://jasakalibrasi.net/spektrofotometer-uv-vis/)

Gambar 17 menunjukkan skema mekanisme dari suatu spektrofotometer UV-Vis. Cahaya yang berasal dari lampu deuterium maupun wolfram yang bersifat polikromatis di teruskan melalui lensa menuju ke monokromator pada spektrofotometer dan filter cahaya pada fotometer. Monokromator kemudian akan mengubah cahaya polikromatis menjadi cahaya monokromatis (tunggal). Berkas-berkas cahaya dengan panjang tertentu kemudian dilewatkan pada sampel yang mengandung suatu zat dalam konsentrasi tertentu. Oleh karena itu, terdapat cahaya yang diserap (diabsorbsi) dan ada pula yang dilewatkan. Cahaya yang dilewatkan ini kemudian di terima oleh detektor. Detektor kemudian akan menghitung cahaya yang diterima dan mengetahui cahaya yang diserap oleh sampel. Cahaya yang diserap sebanding dengan konsentrasi zat yang terkandung dalam sampel sehingga akan diketahui konsentrasi zat dalam sampel secara kuantitatif.

Lampu deuterium memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 190 nm – 282 nm, sedangkan lampu halogen memancarkan cahaya dengan panjang gelombang 282 nm – 1200 nm. Daerah UV sekitar 10 nm – 380 nm, tetapi paling banyak penggunaannya secara analitik dari 200 nm – 380 nm dan disebut sebagai UV pendek (dekat). Di bawah 200 nm, udara dapat mengabsorpsi sehingga instrumen harus dioprasikan kondisi vakum, daerah ini disebut dengan daerah UV vacum. Daerah tampak (visibel) sangat kecil panjang gelombang yang dikaitkan dengan cahaya tampak itu mampu mempengaruhi selaput pelangi pada manusia, dan karenanya menimbulkan kesan subyektif akan ketampakan (vision). λ daerah tampak dari 380 nm – sekitar 780 nm. Daerah infra merah berkisar dari 0,78 μm (780 nm) - 300 μm, tetapi λ yang paling banyak digunakan untuk analisa adalah dari 2,5 – 25 μm (Kristianingrum, 2016).

Secara kualitatif absorpsi cahaya dapat diperoleh dengan pertimbangan absorpsi cahaya pada daerah tampak. Kita "melihat" obyek dengan pertolongan cahaya yang diteruskan atau dipantulkan. Apabila cahaya polikromatis (cahaya putih) yang berisi seluruh spektrum panjang gelombang melewati medium tertentu, akan menyerap panjang gelombang lain, sehingga medium itu akan tampak berwarna. Oleh karena hanya panjang gelombang yang diteruskan yang sampai ke mata maka panjang gelombang ini yang menentukan warna medium. Warna ini disebut warna komplementer terhadap warna yang diabsorpsi. Spektrum tampak dan warna komplementer di tunjukan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spektrum tampak Spektrum tampak dan warna-warna komplementer (Susila Kristianingrum,2016)

Panjang gelombang (nm)	Warna yang diabsorpsi	Warna yang dipantulkan (komplementer)
340-450	Lembayung	Kuning-hijau
450-495	Biru	Kunung
495-570	Hijau	Violet
570-590	Kuning	Biru
590-620	Jingga	Hijau- biru
620-750	Merah	Biru-hijau

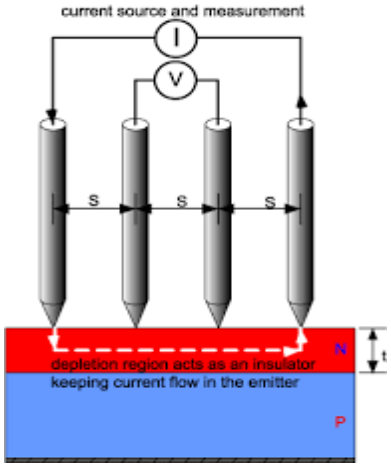
E. Four Point Probe (FPP)

Four Poin Probe (FPP) adalah metode yang paling banyak digunakan untuk mengukur resistivitas semikonduktor. Selain mengukur resistivitas suatu bahan alat ini juga sekaligus digunakan untuk mengukur resistansi, tebal, dan tipe suatu bahan. Teknik *Four Poin Probe* (FPP) dikembangkan oleh Wenner pada tahun 1916 yang digunakan untuk mengukur resistivitas bumi. Dalam ilmu geofisika hal ini dikenal dengan teknik Wenner. Pada tahun 1954 Vades mengadopsi teknik ini untuk mengukur resistivitas wafer semikonduktor. Teknik ini juga diaplikasikan untuk mengkarakterisasi elektrolit dan menganalisi gas (Mafahir, 2015: 27).

Four Poin Probe (FPP) terdiri dari empat ujung logam tungsen yang berjarak sama dengan jari-jari terbatas. Setiap ujung didukung dengan pegas untuk memperkecil kerusakan pada saat penggunaan. Sebuah sumber arus impedansi tinggi digunakan untuk menyuplai arus melalui dua probe terluar, voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan

melewati dua probe terdalam untuk menentukan resistivitas sampel (Mafahir, 2015: 27).

Untuk penentuan besaran-besaran lapisan suatu bahan misalnya bahan semikonduktor hasil implantasi ion atau bahan lapisan yang lain biasanya digunakan alat uji *Four Poin* Probe (FPP) model FPP-5000. Skema alat uji *Four Poin Probe* (FPP) ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Skema pengukuran Four Point Point

Disebut probe empat titik, karena ada empat titik kontak yang disentuhkan pada permukaan sampel. Keempat titik kontak (probe) itu dibuat berderet dalam satu garis lurus dengan jarak antara probe diatur sedemikian rupa sehingga satu sama lain mempunyai jarak yang sama. Arus listrik yang konstan dialirkan sepanjang permukaan sampel melalui dua probe terluar. Jika sampel mempunyai resistansi, maka akan ada penurunan tegangan ketika arus mengalir sepanjang sampel tersebut. Perubahan tegangan tersebut diukur melalui dua probe bagian dalam. Besar listrik yang menunjukan kualitas konduktivitas bahan, seperti

tegangan *output* dan arus *output* dapat ditentukan secara teliti dengan metode *Four Poin Probe*. Alat uji probe empat titik model FPP-5000 buatan Vecco yang beroperasi pada tegangan 220/240 V(AC) /50 Hz dengan spesifikasi jangkau ukur seperti ditunjukan pada Tabel 5.

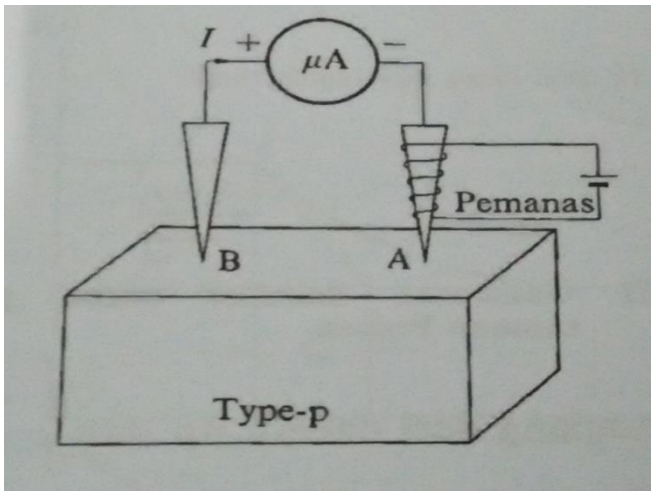
Tabel 5. Spesifikasi Alat Ukur FPP 5000

Pengukuran	Batas Ukur
V/ I (Ω)	$0{,}250\times10^{-3} - 0{,}999\times10^{5}$
Sheet Restivity (Ω/SQR)	$1{,}100\times10^{-4} - 0{,}450\times10^{6}$
Slide (Ω-cm)	$0{,}419\times10^{-4} - 0{,}450\times10^{3}$
Thickness (Å)	$0 \quad - 0{,}243\times10^{8}$
Typeness	N atau P

Dua jarum ditempatkan pada semikonduktor tipe p, jarum A dialirkan kawat Wolfram untuk pemanasan, dan jarum A disebut dengan probe panas, jarum B dibiarkan pada temperatur kamar. Dari kedua jarum dihubungkan pada amperemeter. Bila bahan merupakan semikonduktor tipe p, maka jarum B menunjukan tegangan negatip dan arus ditunjukan oleh Gambar 19 Arah arus akan berlawanan jika yang diukur adalah tipe n, maka tipe konduksi bisa diketahui menggunakan arah arus.

Sebagai contoh semikonduktor tipe-p, misalnya konsentrasi hole dibawah kedua jarum A dan B sama. Bila kedua jarum pada temperatur kamar, tidak akan ada arus yang mengalir pada amperemeter. Bila energi panas diberikan pada hole dengan memanaskan jarum A, *hole* dibawah jarum A diaktifkan pada suatu arah secara homogen. *Hole* dibawah jarum

B tidak aktip. Jika dibandingkan aliran dari jarum A ke jarum B dan sebaliknya, terbukti bahwa aliran pertama lebih besar dari pada aliran kedua. Karena aliran totalnya dalam arah jarum A ke jarum B maka arus mengalir dari jarum yang berlawanan yaitu jarum B ke jarum A jika dihubungkan dengan amperemeter. Untuk semikonduktor tipe-n kebalikan dari tipe-p yang sudah dijelaskan pada penjelasan diatas (Reka Rio,1982: 48).



Gambar 19. Prinsip untuk menentukan tipe konduksi (Reka Rio, 1982)

BAB III
METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

   Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2016 sampai Januari 2017

2. Tempat Penelitian

   a. Tahap preparasi penumbuhan Sn($S_{0,8}$ $Te_{0,2}$) dan Sn($S_{0,6}Te_{0,4}$) lapisan tipis hasil preparasi dengan teknik evaporasi termal dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.

   b. Tahap karakterisasi untuk mengetahui konduktivitas Sn ($S_{0,8}$ $Te_{0,2}$) dan Sn ($S_{0,6}$ $Te_{0,4}$) lapisan tipis dengan menggunakan alat *Four Point Probe* (FPP) dilaksanakan Di Laboratorium Fisika Partikel, Pusat Sains & Teknologi Akselerator (PSTA) Yogyakarta.

   c. Tahap karakterisasi untuk mengetahui *Band Gap* menggunakan Spectroscopy UV-Vis dilaksanakan di Laboraturium Kimia FMIPA Universitas Indonesia.

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas:

   Suhu substrat pada proses penumbuhan lapisan tipis bahan semikonduktor Sn($S_{0,8}$ $Te_{0,2}$) dan spacer substrat pada proses penumbuhan lapisan tipis bahan semikonduktor Sn($S_{0,6}$ $Te_{0,4}$).

2. Variabel terikat:
   a. Konduktivitas, meliputi resistansi, resistivitas, ketebalan dan tipe konduksi.
   b. Sifat optik, meliputi trasmisi, absorbansi maupun refleksi.
3. Variabel kontrol:
   a. Tekanan vakum.
   b. Temperatur crusibel (cawan).
   c. Jarak antara crusibel dan substrat.

C. Bahan dan Peralatan Penelitian

1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik vakum evaporasi termal.
2. Peralatan Penelitian

   Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ yang menggunakan teknik vakum evaporasi termal yang meliputi:
   a. Bahan semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ dengan metode vakum evaporasi termal.
   b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$.

1) Probe Empat Titik (Four Point Probe), FPP digunakan untuk mengetahui konduktivitas Kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ tipe FPP-5000.
2) Spectroscopy UV-Vis, alat ini digunakan untuk mengetahui transmisi, absorbansi dan refleksi. Kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ tipe UV-Vis, Spectrometer Perkin Elmer.

D. Langkah Pengambilan Data

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

1. Pengujian sifat listrik

   Untuk menguji sifat listrik bahan lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ hasil preparasi teknik vakum evaporasi termal menggunakan Metode Four Point Probe (FPP-5000) sehingga diperoleh data berupa resistansi, resistivitas listrik, nilai ketebalan dan tipe konduksi lapisan tipis.

   a. Menyiapkan preparasi yang akan di amati.
   b. Meletakkan sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ pada holder Fpp-5000 dengan permukaan sampel yang diukur menghadap ke bawah dan posisi tegak.

c. Menghidupkan unit FPP-5000 dengan menggeser saklar daya ke posisi on sehingga LED menyala dan pada layar LED menampilkan angka $8{,}888x10^{8.}$
d. Menutup sampel dengan *backing plate* yang sesuai pada FPP-5000.
e. Menekan tombol SELF TEST kemudian setelah itu menekan tombol CLEAR.
f. Memulai pengukuran dengan cara menekan penutup FPP-5000 tepat dimana sampel berada dan menekan tombol TYPE sehingga indicator pada LED tombol V/I menyala dan pada layar FPP-5000 menunjukkan nilai resistansi dan tipe konduksi yang muncul dari sampel.
g. Menekan tombol SHEET sehingga muncul pada layar, untuk mengetahui nilai resistansi lapisan bahan).
h. Menekan tombol SLICE sehingga muncul pada layar, untuk mengetahui nilai resistivitas jenis bahan).
i. Menekan tombol THICK sehingga muncul pada layar, untuk mengetahui ketebalan lapisan tipis).
j. Mencatat hasil yang diperoleh.
k. Melakukan pengukuran sebanyak tiga kali.
l. Melakukan langkah d – j dengan posisi sampel melintang.
m. Mengulangi langkah d – k dengan sampel yang lain.

2. Sifat optis yang diamati adalah absorbansi

Absorbansi sebagai fungsi dari panjang gelombang dari lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ diamati menggunakan *Spectroscopy* UV-Vis 25 Lamda. Data yang diperoleh dari alat ini berupa nilai absorbansi untuk tiap panjang gelombang tertentu.

Untuk tahap pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

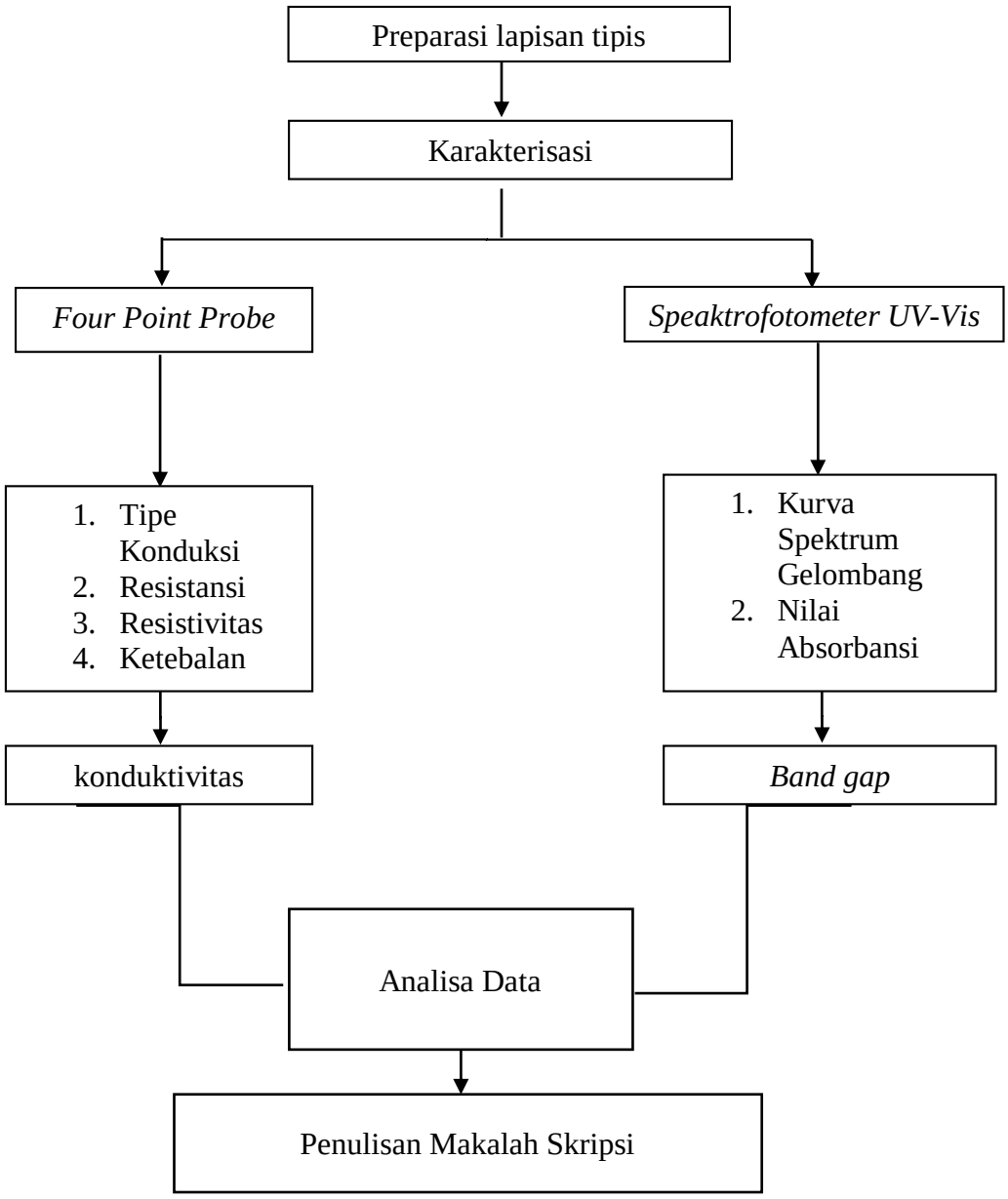
a. Menyiapkan sampel preparasi yang akan diukur.
b. Membersihkan tempat sampel berupa kaca kuarsa berbentuk balok.
c. Menghidupkan alat *Spektrofotometer* UV-Vis pada fungsi uji absorbansi.
d. Mengatur alat *Spektrofotometer* UV-Vis pada fungsi uji absorbansi.
e. Menentukan panjang gelombang yaitu 200-800 nm.
f. Memasukan blangko pada tempat untuk meletakkan blangko atau sampel (kuvet).
g. Memasukan sampel pada kurvet.
h. Menekan *enter* untuk memulai pengukuran secara otomatis.
i. Mengamati hasil pengukuran yang tampak pada layar yaitu berupa nilai absorbansi (A).
j. Mengulangi langkah e-i untuk sampel kedua dan sebagainya.

E. Analisis Data

Data yang diperoleh dari uji sifat optik menggunakan *Spektrofotometer* UV-Vis berupa nilai absorbansi sebagai fungsi panjang gelombang dari nilai absorbansi ini selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai energi gap lapisan tipis yang dibuat. Data yang diperoleh dari pengujian menggunakan FPP 5000 berupa nilai resistansi, restisivitas, tebal dan tipe konduksi lapisan tipis yang terbentuk yang selanjutnya dari data ini digunakan untuk menentukan besar konduktivitas .

F. Diagram Alur Penelitian

Tahap penelitian ditunjukkan dalam diagram alur berikut:



Gambar 20. Diagram Alur Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan sampel $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ dengan menggunakan teknik evaporasi termal. Pada sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dengan suhu tetap 350^{o}C, sampel ini diberi perlakuan dengan jarak 15 cm, 25 cm dan 10 cm. Tiga sampel $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ diperoleh pada kondisi suhu 300^{o}C, 350^{o}C, 250^{o}C.

Untuk mengetahui besar *band gab* dari lapisan tipis tersebut dilakukan karakteristik sifat optik dengan dilakukan uji spectrophotometer. Data yang diperoleh dari uji uv-vis yaitu nilai absorbansi, nilai transmitansi dan nilai refleksi. Untuk mengetahui konduktivitas dari lapisan tipis tersebut dilakukan karakteristik sifat listrik dengan dilakukan uji four point probe (FPP) data yang diperoleh dari uji FPP yaitu nilai resistansi, nilai resitivitas, nilai thick dan type dari lapisan tipis tersebut.

Karakterisasi sifat listrik FPP 5000 dan sifat optis UV-Vis dari lapisan tipis yang dibuat untuk berbagai variasi temperatur (300^{o}C, 350^{o}C, 250^{o}C) serta pada variasi spacer (10 cm, 15 cm dan 25 cm) disajikan pada Tabel 6, 7, 8, 9, 10 dan 11:

Tabel 6. Sampel 3 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350^{o}C/10 cm

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
0,662 x10^{1}	0,300 x10^{2}	0,762 x10^{-1}	0,333 x10^{7}	P
1,771 x10^{1}	0,803 x10^{1}	0,204 x10^{-1}	1,246 x10^{7}	P
1,207 x10^{1}	0,547 x10^{2}	1,390 x10^{-1}	1,828 x10^{6}	P

Tabel 7. Sampel 1 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350^{o}C /15 cm

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
1,596 x10^{2}	0,723 x10^{3}	1,838 x10^{o}	1,383 x10^{5}	P
1,593 x10^{2}	0,722 x10^{3}	1,834 x10^{o}	1,386 x10^{5}	P
1,593 x10^{2}	0,722 x10^{3}	1,834 x10^{o}	1,385 x10^{5}	P

Tabel 8. Sampel 2 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350^{o}C/25 cm

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
0,500 x10^{2}	0.227 x10^{3}	0,576 x10^{0}	0,441 x10^{6}	P
0,502 x10^{2}	0,227 x10^{3}	0,578 x10^{0}	0,440 x10^{6}	P
0,504 x10^{2}	0,228 x10^{3}	0,590 x10^{0}	0,434 x10^{6}	P

Tabel 9. Sampel 3 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 250^{o}C

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
1,627x10^{2}	0,737x10^{3}	1,873x10^{0}	1,356 x10^{5}	P
1,620x10^{2}	0,734x10^{3}	1,865x10^{0}	1,363x10^{5}	P
1,613 x10^{2}	0,731 x10^{3}	1,857x10^{0}	1,368x10^{5}	P

Tabel 10. Sampel 1 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 300^{o}C

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
0,388 x10^{2}	1,758 x10^{2}	0,447 x10^{0}	0,569 x10^{6}	P
0,388 x10^{2}	1,758 x10^{2}	0,447 x10^{0}	0,569 x10^{6}	P
0,386 x10^{2}	1,750 x10^{2}	0,445 x10^{0}	0,571 x10^{6}	P

Tabel 11. Sampel 2 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 350^{o}C

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
1,613 x10^{2}	0,731 x10^{3}	1,857 x10^{1}	1,368 x10^{5}	P
1,629 x10^{2}	0,738 x10^{3}	1,876 x10^{1}	1,354 x10^{5}	P
1,622 x10^{2}	0,735 x10^{3}	1,868 x10^{1}	1,360 x10^{5}	P

B. Pembahasan

Karakteristik sifat listrik menggunakan FPP diperoleh hasil tipe-p untuk lapisan tipis bahan semikonduktor lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$. Dari data yang diperoleh kita dapat mengetahui nilai resistivitas untuk sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ suhu 350°C spacer 10 cm

sebesar 0,762 × 10^{-1} Ω.cm, 0,204 × 10^{-1} Ω.cm, 1,390 × 10^{-1} Ω.cm. Dengan nilai reratanya sebesar 0,785 × 10^{-1} Ω.cm. Dari data resistivitas yang didapatkan kita dapat mengetahui nilai konduktivitas sebesar 12,739 $(\Omega.cm)^{-1}$.

Nilai resistivitas untuk sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ suhu 350°C spacer 15 cm sebesar 1,838 × 10^0 Ω.cm, 1,834 × 10^0 Ω.cm, 1,834 × 10^0 Ω.cm. Dengan nilai reratanya sebesar 1,835 × 10^0 Ω.cm. Dari data resistivitas yang didapatkan kita dapat mengetahui nilai konduktivitas untuk sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ spacer 15 sebesar 0,545 $(\Omega.cm)^{-1}$

Nilai resistivitas untuk sampel $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ suhu 350°C spacer 25 cm sebesar 0,576 × 10^0 Ω.cm, 0,578 × 10^0 Ω.cm, 0,590 × 10^0 Ω.cm. Dengan nilai reratanya sebesar 0,581 × 10^0 Ω.cm. Dari data resistivitas yang didapatkan kita dapat mengetahui nilai konduktivitas sebesar 1,721 $(\Omega.cm)^{-1}$.

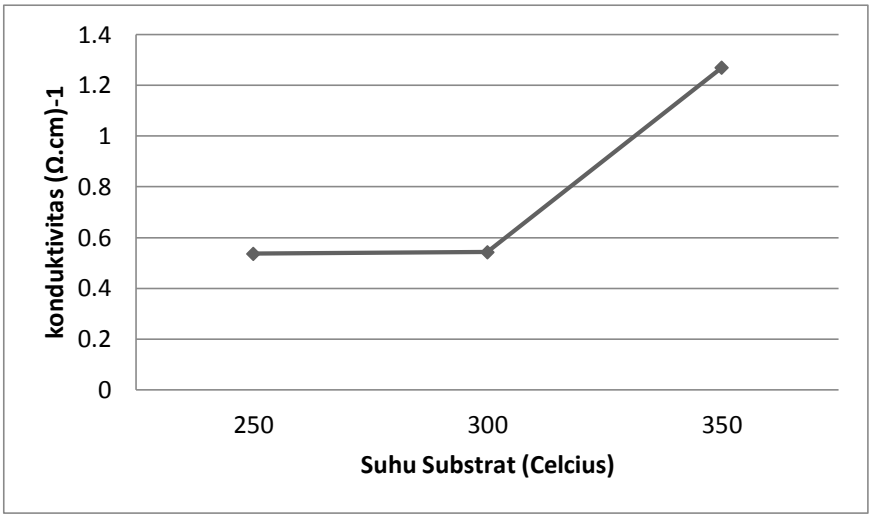
Nilai resistivitas untuk sampel $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ suhu 250° C sebesar 1,873 × 10^0 Ω.cm, 1,865 × 10^0 Ω.cm, 1,857 × 10^0 Ω.cm. Dengan nilai reratanya sebesar 1,865 × 10^0 Ω.cm. Dari data resistivitas yang didapatkan kita dapat mengetahui nilai konduktivitas sebesar 0,536 $(\Omega.cm)^{-1}$.

Nilai resistivitas untuk sampel $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ suhu 300° C sebesar 0,447 × 10^0 Ω.cm, 0,447 × 10^0 Ω.cm, 0,445 × 10^0 Ω.cm. Dengan nilai reratanya sebesar 0,446× 10^0 Ω.cm. Dari data resistivitas yang

didapatkan kita dapat mengetahui nilai konduktivitas sebesar 0,543 $(\Omega.cm)^{-1}$.

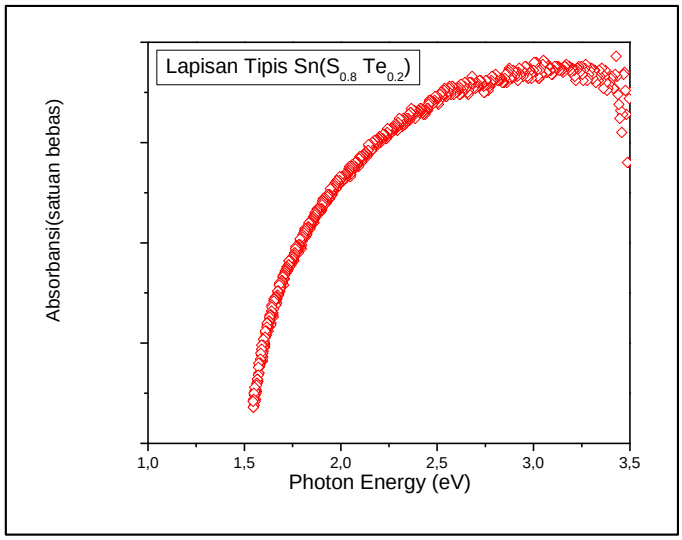
Nilai resistivitas untuk sampel $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ suhu 350° C sebesar sebesar 1,857 × 10^1 Ω.cm, 1,876 × 10^1 Ω.cm, 1,868 × 10^1 Ω.cm. Dengan nilai reratanya sebesar 1,867× 10^1 Ω.cm. Dari data resistivitas yang didapatkan kita dapat mengetahui nilai konduktivitas sebesar 1,269 $(\Omega.cm)^{-1}$.

Hubungan antara suhu substrat terhadap konduktivitas disajikan pada Gambar 21, dan terlihat semakin besar suhu substrat maka semakin besar pula nilai konduktivitas bahan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$.

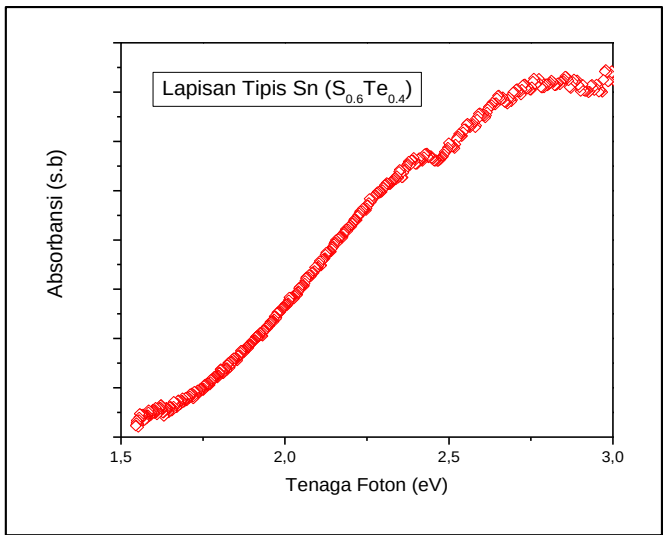


Gambar 21. Grafik hubungan antara suhu substrat dengan konduktivitas $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$

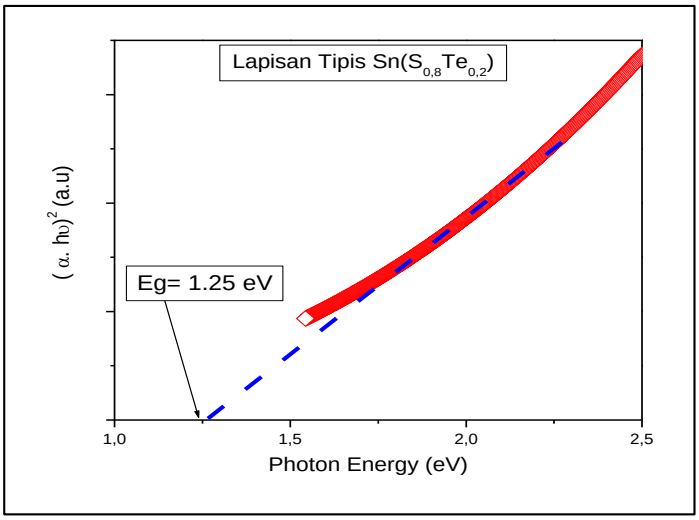
Dari hasil pengujian sampel yang telah dilakukan dengan menggunakan metode UV-Vis, selanjutnya dibuat grafik Gambar 22, 23, 24 dan 25 dengan bantuan software Ms.Origin 50 untuk mengetahui besarnya *band gap* dari lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ dan $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$:



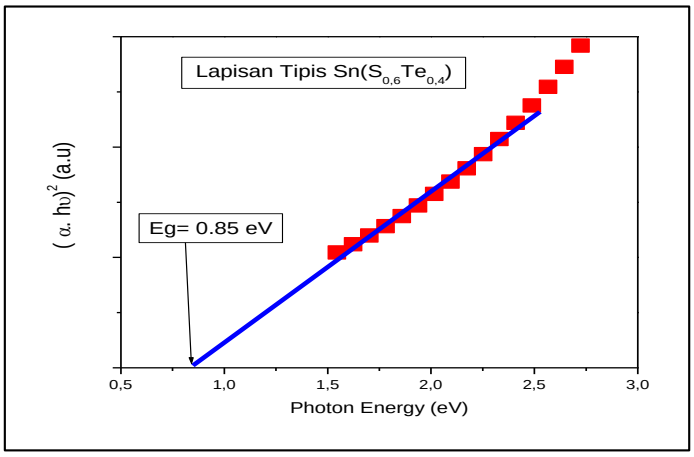
Gambar 22. Grafik hubungan absorbansi dengan *photon energi* pada $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$



Gambar 23. Grafik hubungan absorbansi dengan tenaga foton pada $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$



Gambar 24. Grafik hubungan antara koefisien absorbansi dengan *photon energi* pada $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$



Gambar 25. Grafik hubungan antara koofisien absorbansi dengan *photon energi* pada $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$

Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan metode *taue plot* untuk memperoleh grafik. Dari grafik yang ada diperoleh, besar *band gap* pada $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ sebesar 1,25 eV dan pada $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ sebesar 0,85 eV.

Pada hasil penelitian karakterisasi sifat optik menghasilkan *band gap* yang relevan dengan referensi menurut Saini dan Cheng. Referensi untuk *band gap* bahan semikonduktor lapisan tipis $Sn(S_xTe_x)$ yaitu

sekitar 0,35 eV hingga 1,5 eV. Data hasil penelitian besarnya *band gap* yaitu untuk lapisan tipis $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ sebesar 1,25 eV dan untuk lapisan tipis $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ sebesar 0,85 eV.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil karakterisasi dengan UV-Vis yang telah diolah menggunakan metode *taue plot* dengan bantuan software Ms. Origin 50 diperoleh *band gap* pada lapisan tipis Sn($S_{0,8}$ $Te_{0,2}$) sebesar 1,25 eV dan *band gap* pada lapisan tipis Sn($S_{0,6}$ $Te_{0,4}$) sebesar 0,85 eV.
2. Berdasarkan data karakterisasi dengan FPP didapat nilai konduktivitas sebesar 12,739 $(\Omega.cm)^{-1}$ untuk sampel Sn($S_{0,8}Te_{0,2}$) yang diperoleh pada spacer 10 cm dengan suhu 350°C. Untuk spacer 15 cm dengan suhu 350°C nilai konduktivitasnya sebesar 0,545 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk spacer 25 cm dengan suhu 350°C nilai konduktivitasnya sebesar 1,721 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk sampel Sn($S_{0,6}Te_{0,4}$) yang diperoleh pada suhu 250°C nilai konduktivitasnya sebesar 0,536 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk sampel yang diperoleh pada suhu 300°C konduktivitasnya sebesar 0,543 $(\Omega.cm)^{-1}$. Untuk sampel yang diperoleh pada suhu 350°C nilai konduktivitasnya sebesar 1,269 $(\Omega.cm)^{-1}$.

B. Saran

Saran yang dapat penulis sampaikan berdasarkan hasil penelitian adalah Untuk mendapatkan hasil yang maksimal setelah preparasi lapisan tipis dengan menggunakan teknik evaporasi termal sebaikny sampel langsung diuji supaya tidak terlalu lama sehingga akan mengakibatkan terjadinya proses oksidasi.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. (2016). Tin Sulfid. Diakses dari http://www.webelemen.com/tin/tin_sulphid.html pada tanggal 13 November 2016, pukul 15.50 WIB.

Anonim. (2016). Tin Tellurium. Diakses dari http://www.webelemen.com/tin/tin_telluride.html pada tanggal 13 November 2016, pukul 16.25 WIB.

Abdullah, Mikrajuddin, dan Khairurijal. (2010). Karakterisasi Nano material Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data. Bandung: CV. Rezeki Putra.

Ariswan,(2013). Semikonduktor, Handout Kuliah. Yogyakarta: FMIPA UNY.

Ariswan, (2015). Kristalografi, Handout Kuliah. Yogyakarta: Universitas Negri Yogyakarta.

Beiser, A. (2003). Concepts of Modern Physics, 6^{th}. ed. New York: McGrawHill Kogakusha, Inc.

Burton. (2013). Synthesis, Characterization, and Eletronic Structure Of Single – Cristal Sns, Sn_2S_2, And Protection. 9^{th} Mosby Elsevier. Singapore: World Scientific.

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.

Firdaus, M. S. (2011). Teknik Dalam Laboratorium Kimia Organik. Makasar: Universitas Hasanudin.

Handini, Wulandari. Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO Dengan Variasi Tingkat Pengisian Dan Besar Kristalit TiO_2. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.

Haryanto, Triyo. (2013). Preparasi dan karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis PbSe Dengan Teknik Vakum Evaporasi. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.

Khopkar S. M. (2003). Konsep Dasar Kimia Analitik. Jakarta: UI-Press.

Kittel, Charles. (2005). Introduction to Solid State Physics. 8th. Ed. Hoboken: John Wiley and Sons.

Kristianingrum, Susila. (2016). Spektroskopi Ultra Violet dan Sinar Tampak (Spektroskopi UV-Vis), Handout. Yogyakarta: Universitas Negri Yogyakarta.

Kusumawati, Ira. (2015). Preparasi dan karakterisasi lapisan tipis SnS hasil Preparasi dengan Teknik Vakm Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya. Skripsi. Yoyakarta: FMIPA UNY.

Mafahir, Iim Abdul. (2015). Pengaruh Suhu Substrat Terhadap Sifat-Sifat Listrik Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Pbs, Pbse, Pbte Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Evaporasi. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Masitoh, Hilma Eka. (2016). Pengaruh Temperatur Substrat Terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis $Sn(S_{0,2}Te_{0,8})$ Hasil Preparasi Teknik Evaporasi Vakum. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

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.

Mukti, Kusnanto. (2012). Penentuan Konsentrasi Permanganat ($KMnO_4$). Jurnal. Solo: FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Nirwanto, Arif. (2007). Preparasi Bahan Konduktor Perak (Ag) dan Tembaga (Cu) dengan Teknik Evaporasi Klasik dan Karakterisasi Struktur Kristalnya. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Nyoman, Suwitra. (1982). Pengantar Fisika Zat Padat. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Ohring, Milton. (2002). Materials science of thin films deposition and strukure. 2nd. Ed. San Diego: Academic Press.

Parno. (2006). Fisika Zat Padat. Malang: FMIPA UM.

Prasetyowati, Rita. (2017). Diakses dari http://staff.uny.ac.id pada tanggal 23 Maret 2017, pukul 19.00 WIB.

Rio, S.R.,& M. (1982). Fisika dan Teknologi Semikondukor. 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. 197-202. Hlm. 1-6.

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 Optic $Ba_{0,25}Sr_{0,75}TiO_3$ yang Didadah Niobium (BSNT) Ditumuhkan di Atas Substrat Silikon Tipe–P dan Gelas Korning dengan Penerapanya sebagai Fotodiode. Fisika. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Sumarna. (2016). Bahan Kuliah Semikonduktor. Diakses dari http://staff.uny.ac.id pada tanggal 20 Desember 2016, pukul 20.30 WIB.

Umara, Alvan. (2015). Pengaruh Temperatur Substrat Terhadap Sifat Listrik dan Optic Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Tin Selenide (SnSe) Hasil Preparasi Teknik Vakum Evaporasi. Journal. Yogyakarta: FMIPA UNY.

Suyoso. (2003). Listrik Magnet. Yogyakarta: FMIPA UNY.

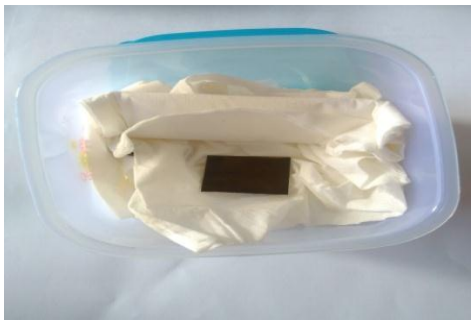
Vlack, Van. (2004). Elemen–Element & Ilmu Rekayasa Material. Jakarta: Erlangga.

Wijaya, Sastra Kusuma. (1992). Semikonduktor, Diktat kuliah elektronika 1. Jakarta: FMIPA UI.

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

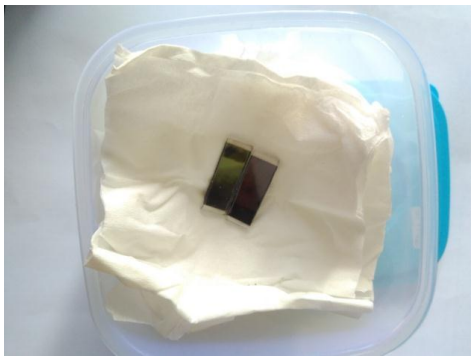
LAMPIRAN

Lampiran 1. Sampel lapisan tipis

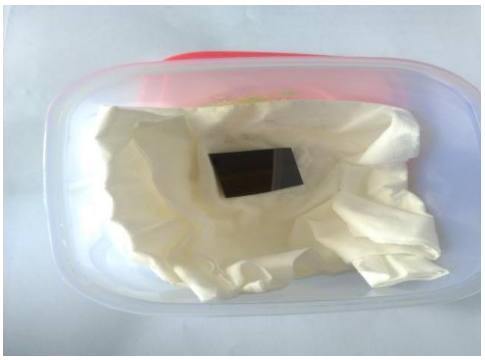


Sampel 1 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350^{o}C /15 cm

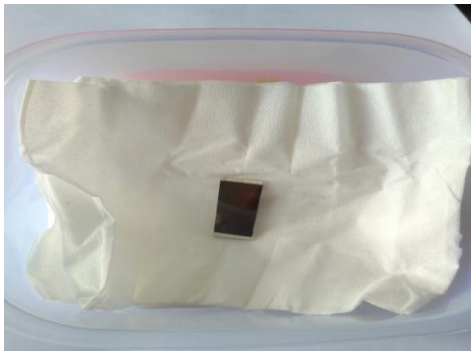
Sampel 2 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350^{o}C/25 cm



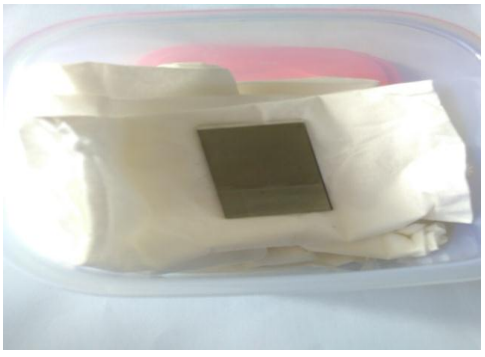
Sampel 3 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350^{o}C/10 cm



Sampel 4 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 300^{o}C



Sampel 5 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 350^{o}C



Sampel 6 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 250^{o}C

Lampiran 2. Hasil FPP 5000

1. Sampel 1 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350ºC /15 cm

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
$1,596 \times 10^{2}$	$0,723 \times 10^{3}$	$1,838 \times 10^{o}$	$1,383 \times 10^{5}$	P
$1,593 \times 10^{2}$	$0,722 \times 10^{3}$	$1,834 \times 10^{o}$	$1,386 \times 10^{5}$	P
$1,593 \times 10^{2}$	$0,722 \times 10^{3}$	$1,834 \times 10^{o}$	$1,385 \times 10^{5}$	P

2. Sampel 2 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350ºC/25 cm

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
$0,500 \times 10^{2}$	0.227×10^{3}	$0,576 \times 10^{0}$	$0,441 \times 10^{6}$	P
$0,502 \times 10^{2}$	$0,227 \times 10^{3}$	$0,578 \times 10^{0}$	$0,440 \times 10^{6}$	P
$0,504 \times 10^{2}$	$0,228 \times 10^{3}$	$0,590 \times 10^{0}$	$0,434 \times 10^{6}$	P

3. Sampel 3 $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$ 350ºC/10 cm

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
$0,662 \times 10^{1}$	$0,300 \times 10^{2}$	$0,762 \times 10^{-1}$	$0,333 \times 10^{7}$	P
$1,771 \times 10^{1}$	$0,803 \times 10^{1}$	$0,204 \times 10^{-1}$	$1,246 \times 10^{7}$	P
$1,207 \times 10^{1}$	$0,547 \times 10^{2}$	$1,390 \times 10^{-1}$	$1,828 \times 10^{6}$	P

4. Sampel 1 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 300ºC

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
$0,388 \times 10^{2}$	$1,758 \times 10^{2}$	$0,447 \times 10^{0}$	$0,569 \times 10^{6}$	P
$0,388 \times 10^{2}$	$1,758 \times 10^{2}$	$0,447 \times 10^{0}$	$0,569 \times 10^{6}$	P
$0,386 \times 10^{2}$	$1,750 \times 10^{2}$	$0,445 \times 10^{0}$	$0,571 \times 10^{6}$	P

5. Sampel 2 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 350ºC

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
$1,613 \times 10^{2}$	$0,731 \times 10^{3}$	$1,857 \times 10^{1}$	$1,368 \times 10^{5}$	P
$1,629 \times 10^{2}$	$0,738 \times 10^{3}$	$1,876 \times 10^{1}$	$1,354 \times 10^{5}$	P
$1,622 \times 10^{2}$	$0,735 \times 10^{3}$	$1,868 \times 10^{1}$	$1,360 \times 10^{5}$	P

6. Sampel 3 $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$ 250ºC

V/I (Ω)	Sheet(Ω /SQ)	Slice (Ω-cm)	Thick (Å)	Type
$1,627 \times 10^{2}$	$0,737 \times 10^{3}$	$1,873 \times 10^{0}$	$1,356 \times 10^{5}$	P
$1,620 \times 10^{2}$	$0,734 \times 10^{3}$	$1,865 \times 10^{0}$	$1,363 \times 10^{5}$	P
$1,613 \times 10^{2}$	$0,731 \times 10^{3}$	$1,857 \times 10^{0}$	$1,368 \times 10^{5}$	P

Lampiran 3. Hasil spectroscopy UV-Vis

λ (nm)	Absorbansi (%) $Sn(S_{0,8}Te_{0,2})$	Absorbansi (%) $Sn(S_{0,6}Te_{0,4})$
200	1,247	1.149
200.5	1,237	1.216
201	1,208	5
201.5	1,248	5
202	1,351	1.672
202.5	5	0.935
203	5	1.106
203.5	5	1.184
204	5	1.204
204.5	5	1.221
205	1,185	1.442
205.5	0,888	1.536
206	1,689	1.625
206.5	2,072	1.762
207	1,325	1.248
207.5	1,235	0.977
208	1,162	1.12
208.5	1,162	1.309
209	1,313	1.231
209.5	1,176	1.115
210	1,207	1.042
210.5	1,436	1.026
211	1,368	1.212
211.5	1,719	1.352
212	1,622	1.434
212.5	1,226	1.297
213	1,182	1.187
213.5	1,126	1.322
214	1,287	1.278
214.5	1,26	1.244
215	1,572	1.546
215.5	1,558	1.537
216	1,215	1.376
216.5	1,343	1.367

217	1,302	1.223
217.5	1,255	1.462
218	1,319	1.545
218.5	1,293	1.231
219	1,567	1.178
219.5	1,558	1.299
220	1,6	1.374
220.5	1,597	1.319
221	1,247	1.282
221.5	1,338	1.375
222	1,488	1.344
222.5	1,438	1.311
223	1,376	1.414
223.5	1,274	1.388
224	1,235	1.316
224.5	1,285	1.395
225	1,327	1.46
225.5	1,439	1.414
226	1,465	1.321
226.5	1,406	1.287
227	1,41	1.482
227.5	1,423	1.564
228	1,341	1.506
228.5	1,323	1.476
229	1,346	1.38
229.5	1,39	1.374
230	1,473	1.436
230.5	1,472	1.403
231	1,351	1.364
231.5	1,339	1.387
232	1,378	1.396
232.5	1,446	1.414
233	1,467	1.479
233.5	1,337	1.452
234	1,322	1.419
234.5	1,345	1.412
235	1,38	1.405
235.5	1,437	1.404
236	1,437	1.398
236.5	1,389	1.4
237	1,401	1.366

237.5	1,455	1.364
238	1,456	1.362
238.5	1,454	1.387
239	1,457	1.503
239.5	1,493	1.448
240	1,434	1.339
240.5	1,45	1.359
241	1,466	1.402
241.5	1,354	1.485
242	1,408	1.47
242.5	1,438	1.378
243	1,471	1.421
243.5	1,517	1.438
244	1,44	1.394
244.5	1,406	1.405
245	1,399	1.405
245.5	1,379	1.432
246	1,458	1.449
246.5	1,53	1.422
247	1,485	1.403
247.5	1,423	1.387
248	1,437	1.39
248.5	1,431	1.429
249	1,417	1.436
249.5	1,453	1.447
250	1,522	1.442
250.5	1,54	1.422
251	1,432	1.425
251.5	1,411	1.405
252	1,454	1.424
252.5	1,416	1.439
253	1,407	1.425
253.5	1,406	1.396
254	1,455	1.378
254.5	1,469	1.381
255	1,464	1.394
255.5	1,488	1.414
256	1,448	1.394
256.5	1,459	1.371
257	1,461	1.372
257.5	1,421	1.394

258	1,413	1.423
258.5	1,441	1.428
259	1,46	1.406
259.5	1,455	1.39
260	1,486	1.419
260.5	1,479	1.438
261	1,432	1.425
261.5	1,432	1.4
262	1,455	1.397
262.5	1,524	1.404
263	1,546	1.431
263.5	1,492	1.439
264	1,467	1.398
264.5	1,468	1.415
265	1,459	1.439
265.5	1,465	1.446
266	1,46	1.43
266.5	1,446	1.408
267	1,486	1.406
267.5	1,525	1.401
268	1,499	1.402
268.5	1,482	1.405
269	1,497	1.414
269.5	1,478	1.405
270	1,446	1.417
270.5	1,455	1.427
271	1,471	1.403
271.5	1,434	1.402
272	1,436	1.399
272.5	1,461	1.403
273	1,444	1.395
273.5	1,488	1.387
274	1,512	1.421
274.5	1,487	1.436
275	1,493	1.431
275.5	1,537	1.429
276	1,546	1.434
276.5	1,494	1.421
277	1,457	1.403
277.5	1,47	1.401
278	1,476	1.395

278.5	1,489	1.406
279	1,56	1.38
279.5	1,549	1.374
280	1,482	1.396
280.5	1,466	1.399
281	1,51	1.393
281.5	1,509	1.406
282	1,489	1.4
282.5	1,483	1.367
283	1,432	1.369
283.5	1,414	1.385
284	1,487	1.375
284.5	1,529	1.344
285	1,48	1.371
285.5	1,433	1.372
286	1,453	1.35
286.5	1,447	1.38
287	1,447	1.4
287.5	1,475	1.372
288	1,495	1.363
288.5	1,494	1.365
289	1,49	1.355
289.5	1,511	1.37
290	1,487	1.388
290.5	1,479	1.378
291	1,46	1.349
291.5	1,488	1.343
292	1,49	1.348
292.5	1,446	1.336
293	1,479	1.329
293.5	1,468	1.325
294	1,467	1.336
294.5	1,482	1.328
295	1,459	1.33
295.5	1,429	1.351
296	1,449	1.346
296.5	1,514	1.324
297	1,488	1.32
297.5	1,469	1.339
298	1,478	1.324
298.5	1,445	1.324

299	1,456	1.336
299.5	1,45	1.325
300	1,441	1.31
300.5	1,458	1.314
301	1,481	1.324
301.5	1,485	1.326
302	1,468	1.32
302.5	1,484	1.305
303	1,489	1.336
303.5	1,482	1.322
304	1,456	1.296
304.5	1,444	1.306
305	1,457	1.295
305.5	1,484	1.305
306	1,491	1.324
306.5	1,436	1.323
307	1,472	1.315
307.5	1,532	1.308
308	1,502	1.289
308.5	1,468	1.281
309	1,491	1.291
309.5	1,5	1.308
310	1,45	1.309
310.5	1,388	1.303
311	1,4	1.291
311.5	1,545	1.279
312	1,585	1.28
312.5	1,493	1.301
313	1,486	1.301
313.5	1,516	1.283
314	1,482	1.296
314.5	1,414	1.292
315	1,426	1.284
315.5	1,456	1.295
316	1,438	1.278
316.5	1,43	1.284
317	1,451	1.305
317.5	1,484	1.292
318	1,437	1.285
318.5	1,462	1.295
319	1,453	1.281

319.5	1,373	1.278
320	1,431	1.288
320.5	1,513	1.265
321	1,531	1.269
321.5	1,451	1.262
322	1,39	1.257
322.5	1,463	1.273
323	1,461	1.272
323.5	1,392	1.273
324	1,413	1.267
324.5	1,424	1.245
325	1,412	1.26
325.5	1,407	1.258
326	1,398	1.234
326.5	1,443	1.262
327	1,423	1.273
327.5	1,396	1.25
328	1,459	1.243
328.5	1,47	1.267
329	1,456	1.265
329.5	1,455	1.252
330	1,446	1.247
330.5	1,444	1.239
331	1,428	1.245
331.5	1,433	1.244
332	1,432	1.242
332.5	1,436	1.246
333	1,446	1.239
333.5	1,438	1.232
334	1,441	1.23
334.5	1,404	1.226
335	1,385	1.225
335.5	1,385	1.225
336	1,398	1.232
336.5	1,401	1.226
337	1,398	1.231
337.5	1,422	1.229
338	1,421	1.23
338.5	1,374	1.228
339	1,359	1.206
339.5	1,375	1.206

340	1,399	1.221
340.5	1,417	1.221
341	1,379	1.214
341.5	1,367	1.231
342	1,377	1.225
342.5	1,353	1.207
343	1,382	1.198
343.5	1,39	1.196
344	1,372	1.181
344.5	1,391	1.172
345	1,387	1.193
345.5	1,373	1.204
346	1,375	1.199
346.5	1,366	1.207
347	1,371	1.22
347.5	1,393	1.211
348	1,37	1.21
348.5	1,37	1.208
349	1,402	1.187
349.5	1,394	1.179
350	1,376	1.201
350.5	1,385	1.216
351	1,386	1.208
351.5	1,39	1.199
352	1,391	1.187
352.5	1,379	1.175
353	1,355	1.171
353.5	1,34	1.192
354	1,376	1.193
354.5	1,388	1.195
355	1,343	1.199
355.5	1,362	1.182
356	1,378	1.185
356.5	1,367	1.167
357	1,375	1.148
357.5	1,355	1.155
358	1,366	1.163
358.5	1,368	1.16
359	1,346	1.172
359.5	1,362	1.189
360	1,371	1.192

360.5	1,371	1.197
361	1,35	1.19
361.5	1,348	1.189
362	1,355	1.189
362.5	1,351	1.187
363	1,351	1.187
363.5	1,347	1.181
364	1,35	1.174
364.5	1,346	1.176
365	1,343	1.18
365.5	1,342	1.172
366	1,34	1.168
366.5	1,34	1.18
367	1,343	1.18
367.5	1,35	1.171
368	1,346	1.166
368.5	1,337	1.162
369	1,328	1.159
369.5	1,335	1.165
370	1,335	1.174
370.5	1,329	1.173
371	1,332	1.165
371.5	1,335	1.162
372	1,332	1.167
372.5	1,328	1.167
373	1,326	1.161
373.5	1,326	1.162
374	1,327	1.161
374.5	1,323	1.158
375	1,318	1.156
375.5	1,319	1.16
376	1,317	1.161
376.5	1,316	1.15
377	1,32	1.145
377.5	1,316	1.151
378	1,313	1.153
378.5	1,317	1.15
379	1,323	1.146
379.5	1,326	1.143
380	1,323	1.145
380.5	1,316	1.146

381	1,317	1.144
381.5	1,318	1.139
382	1,31	1.136
382.5	1,308	1.14
383	1,312	1.142
383.5	1,315	1.141
384	1,314	1.138
384.5	1,31	1.136
385	1,306	1.132
385.5	1,304	1.13
386	1,303	1.132
386.5	1,304	1.13
387	1,306	1.13
387.5	1,307	1.128
388	1,303	1.126
388.5	1,301	1.126
389	1,3	1.126
389.5	1,298	1.128
390	1,299	1.129
390.5	1,297	1.128
391	1,293	1.123
391.5	1,293	1.118
392	1,295	1.118
392.5	1,293	1.119
393	1,289	1.119
393.5	1,289	1.119
394	1,291	1.117
394.5	1,29	1.114
395	1,283	1.113
395.5	1,282	1.11
396	1,282	1.11
396.5	1,279	1.113
397	1,281	1.114
397.5	1,283	1.113
398	1,285	1.111
398.5	1,284	1.109
399	1,281	1.107
399.5	1,278	1.105
400	1,276	1.104
400.5	1,275	1.102
401	1,271	1.099

401.5	1,267	1.098
402	1,267	1.1
402.5	1,271	1.1
403	1,275	1.097
403.5	1,272	1.096
404	1,267	1.096
404.5	1,267	1.096
405	1,268	1.096
405.5	1,267	1.093
406	1,265	1.091
406.5	1,262	1.091
407	1,259	1.089
407.5	1,261	1.085
408	1,26	1.085
408.5	1,257	1.086
409	1,258	1.083
409.5	1,261	1.083
410	1,262	1.084
410.5	1,258	1.082
411	1,256	1.083
411.5	1,258	1.083
412	1,26	1.08
412.5	1,253	1.076
413	1,245	1.075
413.5	1,245	1.076
414	1,247	1.073
414.5	1,247	1.069
415	1,244	1.069
415.5	1,243	1.07
416	1,248	1.073
416.5	1,248	1.075
417	1,247	1.075
417.5	1,246	1.072
418	1,246	1.071
418.5	1,245	1.073
419	1,242	1.071
419.5	1,241	1.069
420	1,239	1.067
420.5	1,241	1.065
421	1,242	1.066
421.5	1,238	1.069

422	1,235	1.066
422.5	1,235	1.062
423	1,233	1.061
423.5	1,234	1.06
424	1,237	1.061
424.5	1,235	1.062
425	1,232	1.059
425.5	1,228	1.058
426	1,226	1.057
426.5	1,224	1.055
427	1,225	1.052
427.5	1,227	1.053
428	1,227	1.055
428.5	1,224	1.053
429	1,221	1.05
429.5	1,223	1.048
430	1,224	1.051
430.5	1,221	1.051
431	1,22	1.051
431.5	1,225	1.049
432	1,221	1.045
432.5	1,217	1.043
433	1,22	1.046
433.5	1,218	1.044
434	1,216	1.042
434.5	1,213	1.044
435	1,213	1.044
435.5	1,212	1.041
436	1,211	1.041
436.5	1,212	1.039
437	1,21	1.039
437.5	1,207	1.04
438	1,207	1.037
438.5	1,206	1.037
439	1,205	1.038
439.5	1,204	1.036
440	1,204	1.035
440.5	1,204	1.036
441	1,203	1.034
441.5	1,201	1.031
442	1,2	1.033

442.5	1,199	1.032
443	1,198	1.029
443.5	1,198	1.029
444	1,196	1.028
444.5	1,195	1.026
445	1,196	1.024
445.5	1,194	1.024
446	1,192	1.023
446.5	1,192	1.024
447	1,191	1.025
447.5	1,188	1.024
448	1,19	1.02
448.5	1,192	1.018
449	1,191	1.018
449.5	1,188	1.019
450	1,185	1.018
450.5	1,185	1.016
451	1,184	1.016
451.5	1,184	1.015
452	1,181	1.014
452.5	1,179	1.012
453	1,181	1.01
453.5	1,183	1.011
454	1,181	1.01
454.5	1,179	1.01
455	1,179	1.009
455.5	1,176	1.007
456	1,173	1.008
456.5	1,172	1.008
457	1,173	1.005
457.5	1,174	1.004
458	1,173	1.002
458.5	1,172	1.002
459	1,172	1.002
459.5	1,171	1.001
460	1,17	0.999
460.5	1,168	1.001
461	1,168	1.002
461.5	1,169	1
462	1,167	0.998
462.5	1,165	0.997

463	1,165	0.995
463.5	1,164	0.993
464	1,164	0.993
464.5	1,162	0.995
465	1,161	0.995
465.5	1,159	0.993
466	1,157	0.993
466.5	1,156	0.992
467	1,155	0.991
467.5	1,155	0.99
468	1,154	0.987
468.5	1,155	0.987
469	1,154	0.988
469.5	1,15	0.987
470	1,15	0.984
470.5	1,152	0.983
471	1,152	0.985
471.5	1,152	0.985
472	1,152	0.983
472.5	1,151	0.982
473	1,15	0.983
473.5	1,148	0.983
474	1,145	0.981
474.5	1,143	0.98
475	1,143	0.978
475.5	1,142	0.976
476	1,142	0.974
476.5	1,142	0.977
477	1,142	0.978
477.5	1,143	0.978
478	1,143	0.978
478.5	1,142	0.977
479	1,14	0.976
479.5	1,137	0.975
480	1,136	0.973
480.5	1,134	0.971
481	1,133	0.969
481.5	1,133	0.969
482	1,132	0.971
482.5	1,131	0.971
483	1,132	0.969

483.5	1,131	0.968
484	1,13	0.966
484.5	1,128	0.965
485	1,127	0.967
485.5	1,128	0.968
486	1,129	0.97
486.5	1,129	0.969
487	1,127	0.966
487.5	1,126	0.964
488	1,125	0.963
488.5	1,124	0.963
489	1,123	0.963
489.5	1,122	0.962
490	1,121	0.961
490.5	1,122	0.961
491	1,122	0.962
491.5	1,121	0.962
492	1,119	0.96
492.5	1,117	0.961
493	1,115	0.96
493.5	1,115	0.958
494	1,115	0.958
494.5	1,114	0.956
495	1,115	0.955
495.5	1,116	0.954
496	1,114	0.954
496.5	1,113	0.953
497	1,113	0.953
497.5	1,112	0.952
498	1,112	0.953
498.5	1,111	0.953
499	1,111	0.951
499.5	1,111	0.951
500	1,11	0.95
500.5	1,109	0.949
501	1,108	0.949
501.5	1,105	0.948
502	1,105	0.947
502.5	1,106	0.946
503	1,105	0.945
503.5	1,103	0.944

504	1,101	0.943
504.5	1,099	0.942
505	1,099	0.942
505.5	1,098	0.941
506	1,096	0.94
506.5	1,096	0.939
507	1,098	0.937
507.5	1,094	0.937
508	1,092	0.935
508.5	1,092	0.935
509	1,09	0.935
509.5	1,089	0.935
510	1,089	0.934
510.5	1,088	0.933
511	1,087	0.931
511.5	1,087	0.93
512	1,087	0.93
512.5	1,086	0.929
513	1,086	0.928
513.5	1,084	0.927
514	1,083	0.927
514.5	1,083	0.927
515	1,081	0.926
515.5	1,078	0.925
516	1,079	0.924
516.5	1,079	0.923
517	1,077	0.922
517.5	1,076	0.922
518	1,075	0.92
518.5	1,074	0.92
519	1,074	0.92
519.5	1,074	0.92
520	1,072	0.919
520.5	1,071	0.918
521	1,07	0.918
521.5	1,07	0.917
522	1,069	0.916
522.5	1,069	0.916
523	1,068	0.915
523.5	1,068	0.914
524	1,068	0.914

524.5	1,066	0.915
525	1,064	0.914
525.5	1,064	0.912
526	1,062	0.912
526.5	1,061	0.912
527	1,06	0.912
527.5	1,059	0.91
528	1,059	0.909
528.5	1,058	0.911
529	1,057	0.91
529.5	1,057	0.908
530	1,057	0.906
530.5	1,057	0.907
531	1,057	0.907
531.5	1,056	0.907
532	1,054	0.907
532.5	1,053	0.905
533	1,054	0.905
533.5	1,053	0.903
534	1,051	0.902
534.5	1,05	0.901
535	1,05	0.9
535.5	1,052	0.901
536	1,049	0.901
536.5	1,046	0.899
537	1,046	0.898
537.5	1,045	0.899
538	1,045	0.897
538.5	1,045	0.895
539	1,044	0.896
539.5	1,042	0.897
540	1,041	0.895
540.5	1,041	0.894
541	1,04	0.894
541.5	1,039	0.894
542	1,04	0.894
542.5	1,038	0.893
543	1,037	0.892
543.5	1,036	0.893
544	1,035	0.892
544.5	1,035	0.891

545	1,037	0.891
545.5	1,035	0.891
546	1,034	0.89
546.5	1,034	0.889
547	1,035	0.889
547.5	1,033	0.888
548	1,03	0.887
548.5	1,029	0.887
549	1,03	0.886
549.5	1,031	0.886
550	1,03	0.885
550.5	1,028	0.884
551	1,026	0.884
551.5	1,025	0.883
552	1,025	0.882
552.5	1,026	0.882
553	1,025	0.883
553.5	1,025	0.882
554	1,024	0.882
554.5	1,023	0.883
555	1,023	0.881
555.5	1,021	0.88
556	1,02	0.879
556.5	1,02	0.88
557	1,019	0.879
557.5	1,017	0.878
558	1,017	0.877
558.5	1,016	0.877
559	1,015	0.876
559.5	1,014	0.875
560	1,014	0.874
560.5	1,015	0.875
561	1,014	0.876
561.5	1,013	0.876
562	1,012	0.875
562.5	1,012	0.873
563	1,011	0.872
563.5	1,01	0.871
564	1,01	0.871
564.5	1,008	0.87
565	1,008	0.869

565.5	1,01	0.87
566	1,01	0.87
566.5	1,008	0.87
567	1,007	0.869
567.5	1,007	0.87
568	1,008	0.869
568.5	1,01	0.868
569	1,007	0.867
569.5	1,005	0.867
570	1,003	0.866
570.5	1,002	0.865
571	1,002	0.865
571.5	1,001	0.864
572	1,001	0.864
572.5	1	0.863
573	0,998	0.862
573.5	0,997	0.863
574	0,997	0.862
574.5	0,998	0.861
575	0,998	0.861
575.5	0,996	0.862
576	0,996	0.861
576.5	0,996	0.861
577	0,995	0.86
577.5	0,993	0.861
578	0,994	0.861
578.5	0,994	0.86
579	0,993	0.859
579.5	0,992	0.859
580	0,99	0.857
580.5	0,99	0.857
581	0,99	0.855
581.5	0,989	0.854
582	0,989	0.855
582.5	0,989	0.855
583	0,987	0.856
583.5	0,987	0.855
584	0,988	0.853
584.5	0,987	0.853
585	0,987	0.853
585.5	0,986	0.852

586	0,984	0.851
586.5	0,983	0.852
587	0,982	0.852
587.5	0,982	0.852
588	0,983	0.85
588.5	0,982	0.849
589	0,981	0.85
589.5	0,98	0.85
590	0,98	0.85
590.5	0,98	0.849
591	0,979	0.848
591.5	0,978	0.848
592	0,978	0.848
592.5	0,977	0.848
593	0,977	0.847
593.5	0,977	0.847
594	0,976	0.846
594.5	0,974	0.845
595	0,974	0.844
595.5	0,974	0.843
596	0,975	0.843
596.5	0,974	0.843
597	0,972	0.843
597.5	0,971	0.843
598	0,97	0.842
598.5	0,969	0.842
599	0,969	0.842
599.5	0,968	0.841
600	0,969	0.842
600.5	0,97	0.841
601	0,968	0.841
601.5	0,966	0.839
602	0,966	0.837
602.5	0,964	0.838
603	0,964	0.839
603.5	0,965	0.838
604	0,965	0.836
604.5	0,965	0.837
605	0,965	0.837
605.5	0,965	0.837
606	0,964	0.837

606.5	0,964	0.835
607	0,963	0.835
607.5	0,961	0.836
608	0,961	0.836
608.5	0,96	0.834
609	0,959	0.833
609.5	0,959	0.834
610	0,958	0.835
610.5	0,957	0.833
611	0,956	0.832
611.5	0,956	0.831
612	0,956	0.831
612.5	0,955	0.831
613	0,954	0.831
613.5	0,954	0.832
614	0,954	0.831
614.5	0,953	0.831
615	0,954	0.83
615.5	0,953	0.83
616	0,951	0.829
616.5	0,95	0.828
617	0,949	0.828
617.5	0,951	0.828
618	0,949	0.828
618.5	0,949	0.826
619	0,949	0.826
619.5	0,948	0.827
620	0,947	0.826
620.5	0,947	0.824
621	0,946	0.823
621.5	0,946	0.825
622	0,946	0.826
622.5	0,946	0.825
623	0,946	0.824
623.5	0,945	0.823
624	0,943	0.823
624.5	0,942	0.823
625	0,942	0.822
625.5	0,943	0.821
626	0,943	0.82
626.5	0,942	0.82

627	0,943	0.82
627.5	0,942	0.82
628	0,941	0.82
628.5	0,941	0.819
629	0,94	0.819
629.5	0,94	0.818
630	0,94	0.818
630.5	0,939	0.818
631	0,937	0.818
631.5	0,937	0.817
632	0,938	0.816
632.5	0,936	0.816
633	0,934	0.816
633.5	0,934	0.817
634	0,934	0.818
634.5	0,934	0.817
635	0,933	0.816
635.5	0,934	0.816
636	0,934	0.815
636.5	0,932	0.813
637	0,931	0.812
637.5	0,932	0.812
638	0,932	0.813
638.5	0,931	0.813
639	0,929	0.812
639.5	0,929	0.811
640	0,929	0.812
640.5	0,929	0.813
641	0,927	0.812
641.5	0,928	0.81
642	0,928	0.809
642.5	0,927	0.809
643	0,927	0.81
643.5	0,927	0.809
644	0,927	0.808
644.5	0,925	0.808
645	0,922	0.808
645.5	0,923	0.808
646	0,922	0.808
646.5	0,923	0.807
647	0,923	0.806

647.5	0,923	0.806
648	0,922	0.806
648.5	0,921	0.806
649	0,922	0.807
649.5	0,921	0.806
650	0,92	0.805
650.5	0,919	0.805
651	0,919	0.804
651.5	0,919	0.803
652	0,918	0.802
652.5	0,917	0.802
653	0,918	0.802
653.5	0,918	0.802
654	0,916	0.803
654.5	0,916	0.802
655	0,915	0.801
655.5	0,915	0.801
656	0,916	0.801
656.5	0,915	0.8
657	0,913	0.8
657.5	0,912	0.8
658	0,913	0.8
658.5	0,913	0.8
659	0,913	0.799
659.5	0,912	0.798
660	0,911	0.798
660.5	0,91	0.8
661	0,91	0.799
661.5	0,91	0.797
662	0,91	0.796
662.5	0,91	0.796
663	0,91	0.796
663.5	0,91	0.794
664	0,908	0.795
664.5	0,905	0.795
665	0,905	0.794
665.5	0,906	0.793
666	0,905	0.793
666.5	0,905	0.794
667	0,905	0.794
667.5	0,905	0.793

668	0,905	0.793
668.5	0,903	0.792
669	0,904	0.79
669.5	0,905	0.79
670	0,902	0.79
670.5	0,901	0.792
671	0,901	0.793
671.5	0,901	0.792
672	0,901	0.791
672.5	0,902	0.79
673	0,901	0.79
673.5	0,9	0.789
674	0,899	0.788
674.5	0,898	0.788
675	0,899	0.788
675.5	0,9	0.788
676	0,899	0.786
676.5	0,898	0.786
677	0,896	0.787
677.5	0,895	0.787
678	0,895	0.785
678.5	0,896	0.785
679	0,894	0.786
679.5	0,892	0.785
680	0,893	0.784
680.5	0,894	0.784
681	0,894	0.785
681.5	0,894	0.785
682	0,893	0.784
682.5	0,892	0.784
683	0,892	0.784
683.5	0,891	0.784
684	0,891	0.784
684.5	0,891	0.783
685	0,891	0.782
685.5	0,891	0.782
686	0,892	0.783
686.5	0,891	0.783
687	0,889	0.782
687.5	0,888	0.781
688	0,886	0.78

688.5	0,886	0.779
689	0,887	0.779
689.5	0,887	0.779
690	0,887	0.779
690.5	0,887	0.78
691	0,886	0.779
691.5	0,886	0.778
692	0,885	0.778
692.5	0,885	0.777
693	0,884	0.776
693.5	0,883	0.776
694	0,882	0.776
694.5	0,881	0.774
695	0,881	0.774
695.5	0,882	0.776
696	0,882	0.776
696.5	0,882	0.774
697	0,881	0.773
697.5	0,879	0.774
698	0,878	0.774
698.5	0,88	0.774
699	0,88	0.774
699.5	0,881	0.774
700	0,88	0.774
700.5	0,878	0.774
701	0,876	0.773
701.5	0,878	0.77
702	0,878	0.77
702.5	0,877	0.771
703	0,875	0.77
703.5	0,877	0.77
704	0,877	0.771
704.5	0,874	0.769
705	0,874	0.768
705.5	0,874	0.77
706	0,875	0.77
706.5	0,875	0.769
707	0,873	0.77
707.5	0,873	0.77
708	0,872	0.769
708.5	0,871	0.769

709	0,872	0.769
709.5	0,871	0.769
710	0,869	0.768
710.5	0,87	0.768
711	0,871	0.769
711.5	0,87	0.769
712	0,869	0.767
712.5	0,869	0.766
713	0,869	0.765
713.5	0,868	0.764
714	0,867	0.764
714.5	0,866	0.764
715	0,866	0.765
715.5	0,866	0.765
716	0,867	0.763
716.5	0,867	0.763
717	0,867	0.764
717.5	0,866	0.764
718	0,865	0.763
718.5	0,865	0.763
719	0,865	0.763
719.5	0,864	0.761
720	0,864	0.761
720.5	0,864	0.761
721	0,861	0.76
721.5	0,861	0.761
722	0,861	0.76
722.5	0,86	0.758
723	0,858	0.757
723.5	0,858	0.758
724	0,86	0.757
724.5	0,859	0.757
725	0,858	0.757
725.5	0,858	0.757
726	0,858	0.758
726.5	0,856	0.758
727	0,856	0.758
727.5	0,858	0.756
728	0,858	0.755
728.5	0,858	0.755
729	0,859	0.755

729.5	0,857	0.755
730	0,855	0.755
730.5	0,855	0.754
731	0,854	0.754
731.5	0,854	0.756
732	0,854	0.756
732.5	0,855	0.753
733	0,854	0.752
733.5	0,853	0.753
734	0,854	0.752
734.5	0,854	0.751
735	0,853	0.752
735.5	0,854	0.751
736	0,854	0.751
736.5	0,852	0.753
737	0,85	0.753
737.5	0,849	0.752
738	0,85	0.751
738.5	0,85	0.75
739	0,85	0.749
739.5	0,848	0.751
740	0,849	0.75
740.5	0,85	0.75
741	0,85	0.751
741.5	0,847	0.749
742	0,844	0.749
742.5	0,848	0.749
743	0,849	0.749
743.5	0,849	0.75
744	0,849	0.747
744.5	0,848	0.746
745	0,845	0.748
745.5	0,843	0.748
746	0,843	0.749
746.5	0,843	0.749
747	0,845	0.748
747.5	0,843	0.749
748	0,842	0.748
748.5	0,843	0.748
749	0,842	0.747
749.5	0,84	0.745

750	0,842	0.745
750.5	0,843	0.745
751	0,842	0.743
751.5	0,842	0.743
752	0,841	0.743
752.5	0,839	0.742
753	0,84	0.742
753.5	0,841	0.744
754	0,837	0.745
754.5	0,836	0.741
755	0,837	0.74
755.5	0,838	0.742
756	0,837	0.741
756.5	0,837	0.743
757	0,838	0.743
757.5	0,838	0.742
758	0,838	0.742
758.5	0,839	0.74
759	0,839	0.739
759.5	0,839	0.74
760	0,834	0.739
760.5	0,832	0.736
761	0,835	0.737
761.5	0,836	0.739
762	0,835	0.738
762.5	0,832	0.735
763	0,83	0.734
763.5	0,828	0.733
764	0,83	0.732
764.5	0,832	0.73
765	0,831	0.73
765.5	0,831	0.735
766	0,831	0.736
766.5	0,831	0.732
767	0,829	0.732
767.5	0,827	0.734
768	0,827	0.734
768.5	0,827	0.734
769	0,827	0.734
769.5	0,826	0.732
770	0,827	0.731

770.5	0,827	0.734
771	0,826	0.734
771.5	0,827	0.732
772	0,828	0.729
772.5	0,826	0.73
773	0,825	0.731
773.5	0,825	0.729
774	0,824	0.73
774.5	0,822	0.729
775	0,821	0.727
775.5	0,821	0.727
776	0,823	0.727
776.5	0,824	0.728
777	0,822	0.727
777.5	0,821	0.724
778	0,822	0.722
778.5	0,821	0.725
779	0,82	0.727
779.5	0,82	0.727
780	0,819	0.725
780.5	0,821	0.725
781	0,822	0.726
781.5	0,82	0.727
782	0,819	0.726
782.5	0,818	0.723
783	0,817	0.722
783.5	0,819	0.723
784	0,821	0.725
784.5	0,82	0.725
785	0,819	0.725
785.5	0,82	0.724
786	0,818	0.726
786.5	0,819	0.725
787	0,822	0.723
787.5	0,819	0.721
788	0,817	0.722
788.5	0,817	0.722
789	0,815	0.72
789.5	0,813	0.719
790	0,814	0.719
790.5	0,813	0.719

791	0,812	0.72
791.5	0,811	0.72
792	0,813	0.721
792.5	0,813	0.721
793	0,809	0.717
793.5	0,81	0.716
794	0,814	0.716
794.5	0,814	0.718
795	0,815	0.719
795.5	0,813	0.719
796	0,807	0.72
796.5	0,805	0.719
797	0,809	0.718
797.5	0,81	0.718
798	0,807	0.716
798.5	0,806	0.715
799	0,808	0.717
799.5	0,808	0.716
800	0,808	0.715

Lampiran 4. Gambar FPP 5000