

**STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA BAHAN SEMIKONDUKTOR
LAPISAN TIPIS $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK
EVAPORASI VAKUM**

SKRIPSI

**Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta untuk memenuhi sebagai Persyaratan Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



Disusun oleh:

SITI KHOIRUNISA'

12306141014

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2017

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “**Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum**” yang disusun oleh Siti Khoirunisa', NIM 12306141014 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.



Yogyakarta, 8 Februari 2017
Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line at the end.

Dr. Ariswan
NIP. 19590914 198803 1 003

SURAT PERNYATAAN

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

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

Yogyakarta, 26 November 2016

Yang menyatakan,




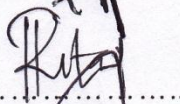
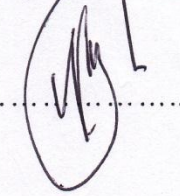
Siti Khoirunisa'

NIM. 12306141014

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8} \text{Te}_{0,2})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum” yang disusun oleh Siti Khoirunisa’, NIM 12306141014 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 24 Februari 2017 dan dinyatakan lulus.



Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Ariswan</u> NIP. 19590914 198803 1 003	Ketua Penguji		13-04/17
<u>Rita Prasetyowati, M.Si</u> NIP. 19640205 199101 1 001	Sekretaris Penguji		27-04-2017
<u>Nur Kadarisman, M.Si</u> NIP. 19640205 199101 1 001	Penguji Utama		29-03-2017

Yogyakarta, 13 April 2017

Fakultas MIPA

Dekan



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

MOTTO

"Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap." (QS. Al-Insyirah,6-8)

"Tugas kita bukanlan untuk berhasil. Tugas kita adalah untuk mencoba, Karena di dalam mencoba itulah kita menemukan dan Membangun kesempatan untuk berhasil" (Mario Teguh)

"if the chance never comes, builds it"

"Aku akan mengejar ketertinggalanku"

"Belajar, berjuang, bertaqwa"

PERSEMBAHAN

Waktu yang telah kulampai dengan jalan hidup yang telah Kau jadikan takdirku, sedih, senang, haru dari pertemuan dengan orang-orang yang telah memberiku jutaan pengalaman dalam hidupku, bersama-sama mewarnai kehidupan ini, kbersujud dihadapan Mu dengan segala kerendahanku, Engaku anugerahkan kepadaku kesempatan untuk bisa sampai di penghujung awal perjuanganku.

Alhamdulillah..Alhamdulillah..Alhamdulillahirobbil' alamin..

Segala puji bagiMu Tuhan yang Maha Agung, atas kasih sayangMu dan kemurahan takdirMu serta keridhoanMu telah kau jadikan aku manusia yang senantiasa berpikir, berilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani kehidupan ini. Semoga keberhasilan ini menjadi satu langkah awal bagiku untuk terus berada di jalanMu.

Bapak Hadi dan Ibu Darsiyem tercinta, yang tiada pernah letih selama ini memberiku semangat, doa, dorongan, nasehat dan kasih sayang serta pengorbanan yang tak tergantikan hingga aku selalu kuat menjalani setiap rintangan yang ada didepanku.., Bapak.. Ibu...terimalah bukti kecil ini sebagai hadiah kecilku untuk membalas semua pengorbananmu.. dalam hidupmu demi hidupku kalian ikhlas mengorbankan segala perasaan tanpa kenal lelah, dalam lapar berjuang separuh nyawa hingga segalanya.. Maafkan anakmu Bapak,, Ibu,, masih saja ananda menyusahkan..

Dalam silah di lima waktu mulai fajar terbit hingga terbenam.. seraya tangaku menadah".. ya Allah ya Rahman ya Rahim... Terimakasih telah kau tempatkan aku diantara kedua malaikatmu yang setiap waktu ikhlas menjagaku,, mendidiku,, membimbingku dengan baik,, ya Allah berikanlah balasan setimpal syurga firdaus untuk mereka dan jauhkanlah mereka nanti dari panasnya sengat hawa api neraka..

Dalam setiap langkahku aku berusaha mewujudkan harapan-harapan yang kalian impikan dari diriku, meski belum semua itu kuraih' insyallah atas dukungan doa dan restu semoga mimpi itu terjawab di masa penuh kehangatan nanti. Untuk itu kupersembahkan ungkapan terimakasihku kepada:

Saudara-saudaraku Mas Mukhlisin, Mbak Amah dan Mas Fat kakakku, terimakasih telah menggenggam tangan ini, sabar menuntun hingga sejauh ini. Untukmu kalian, tetaplah mengenyam erat dengan kasih tulus ikhlasmu, sampai ujung siratih nanti.

"Tanpamu dunia ini terlihat hitam, pekat, gelap, gulita. Kau bagai sorotan cahaya. Warna garismu mampu menerangkan dunia. Begitu pula tugasmu, sungguh amat mulia. Memberantas kebodohan dunia."

Terimakasih untuk Ibu Yuli, alm Bapak Iwan, Kak Dani dan Kak Isro. Sebait puisi diatas adalah semangat yang selalu klian dorong untuk terus belajar, belajar dan belajar. Terimakasih utuk terus mendorong sampai sejauh ini dan menjadikanku seperti ini.

Terimakasih kepada Bapak Dr. Ariswan selaku dosen pembimbing sekaligus Pembimbing Akademik yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing, membina dan mendorong, sehingga karya ini dapat terselesaikan.

"Hidup ini terlalu berat dan sepi untuk kulalui sendiri. Aku butuh sahabat untuk berbagi dan menapaki dunia ini. Tanpamu aku takan menjadi seperti ini."

Terimakasih wahai sahabatku Mas Alif, Sriyatun, Rendi dipertemukan dengan kalian adalah anugrah yang tiada terkira "Bergegaslah kawan, sambut masa depan, tetap berpegang dan saling berpelukan" lirik yang pas untuk menyusul kalian dalam kesuksesan. Dan tak lupa untuk Nuril, Endah, Mahmudah, Yuni dan Aisyah akhirnya aku menyusul kalian juga, meski sedikit terlambat. Terimakasih untuk selalu crewet, hingga akhirnya aku menyelesaikan tugas ini. Wahyu, Eka, Mahmud, Hilama teman seperjuangan dalam melakukan penelitian. Terimakasih banyak telah membantuku menyelesaikan penelitian ini hingga akhir. Teman-teman seperjuangan "YORADAB" Fisika B 2012 selamat melanjutkan perjalanan dan semangat menaklukan dunia.

"Kawan, dalam kebersamaan ini, suka, duka, tawa dan canda kini tanpa terasa telah terlahir sebuah keluarga. Disini kita membangaun rumah bersama, tempat kita berkeluh kesah, menyandarkan keletihan, menumpahkan segala asa dalam dada. Tempat mencari jati diri, belajar menapaki warna-warni dunia ini"
Terimakasih untuk rekan-rekan Karang Taruna Muda Bhakti, DPRB, GKS, Forum Anak dan IPNU-IPPNU

**STRUKTUR DAN KOMPOSISI KIMIA BAHAN SEMIKONDUKTOR
LAPISAN TIPIS Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK
EVAPORASI VAKUM**

Oleh:

**Siti Khoirunisa'
12306141014**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan teknik evaporasi vakum. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan serta komposisi kimia lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

Proses penumbuhan kristal lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) menggunakan teknik evaporasi vakum dilakukan dengan memanaskan bahan masif Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) pada suhu tertentu dengan perbandingan molaritas 1:0,8:0,2. Dalam penelitian ini, penumbuhan kristal lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dibuat tiga sampel dengan memvariasikan

jarak *spacer* yaitu 10 cm, 15 cm dan 25 cm. Lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menentukan struktur kristal dan parameter kisi kristal, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan kristal, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-RD*) untuk mengetahui komposisi kimia pada kristal.

Variasi jarak *spacer* menyebabkan perbedaan kualitas lapisan tipis, yang ditandai dengan perbedaan puncak intensitas. Hasil karakterisasi XRD berupa difaktogram menunjukkan hasil bahwa kristal pada lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) yang terbentuk berstruktur orthorhombik, dengan nilai parameter kisi pada Sampel I (*spacer* 10 cm) secara analitik : $a = 8,932$ (Å); $b = 3,926$ (Å); $c = 13,870$ (Å) dan secara penghalusan $a = 8,897$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 14,070$ (Å). Sampel II (*spacer* 15 cm) secara analitik : $a = 8,551$ (Å); $b = 3,766$ (Å); $c = 14,659$ (Å). dan secara penghalusan $a = 8,588$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 13,907$ (Å). Sampel III (*spacer* 25 cm) secara analitik : $a = 8,882$ (Å); $b = 3,887$ (Å); $c = 14,077$ (Å). dan secara penghalusan $a = 8,867$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 14,010$ (Å). Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan bahwa kristal pada lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) yang terbentuk memiliki keseragaman bentuk dan warna butiran kecil-kecil serta sudah terbentuk *grain* dengan diameter rata-rata sebesar 7,75 nm serta hasil karakterisasi EDAX diperoleh perbandingan unsur Sn:S:Te yaitu 1: 0,80 : 0,14.
Kata kunci: struktur kristal, morfologi permukaan, lapisan tipis, teknik evaporasi vakum, preparasi, *spacer*, komposisi kimia kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2})

**STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF SEMICONDUCTOR
MATERIAL $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ THIN FILM PREPARATION RESULT BY
VACUUM EVAPORATION TECHNIQUES**

By:
Siti Khoirunisa'
12306141014

ABSTRACT

The purpose of the research is to know the effect of variation spacers to the quality of thin film $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ by vacuum evaporation. This research also to determine the crystal structure, lattice parameter, surface morphology and chemical composition of the $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ thin film by vacuum evaporation technique.

The crystal growing process of $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ thin film by vacuum evaporation technique was done by heating the material at a certain temperature and molarity 1: 0.8: 0.2 comparison. In this research, the process of growing crystals of the $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ thin film with the variation of spacer. The spacer was varied for 3 times, i.e 10 cm, 15 cm and 25 cm. Having obtained a thin layer of the desire sampel, the the sampels were characterized by using XRD (X-Ray Diffraction) to determine the crystal structure, Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine the surface morphology and Energy Dispersive X-Ray of Analysis (EDAX) to determine the chemical composition.

The spacer variations caused the difference in thin films quality, marked by the difference intensity. The result of XRD characterization shows that diffractogram from crystalline of the $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ thin film have orthorhombic crystal structure with the values of analitical methede lattice parameter sample I are $a = 8,932$ (Å); $b = 3,926$ (Å); $c = 13,870$ (Å); and the Le Bail methode showed $a = 8,897$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 14,070$ (Å). analitical methede lattice parameter sample II are: $a = 8,551$ (Å); $b = 3,766$ (Å); $c = 14,659$ (Å), and the Le Bail methode showed $a = 8,588$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 13,907$ (Å), analitical methede lattice parameter sample III are: $a = 8,882$ (Å); $b = 3,887$ (Å); $c = 14,077$ (Å), and the Le Bail methode showed $a = 8,867$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 14,010$ (Å). Giving spacer variations lead to differences in the quality of both sampel, that have different atomic regularity. SEM characterization results on the crystal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ showed that the morphology of the sampel surface in the formed has the pieces of grains and homogeneous and the results of EDAX characterization obtained Sn:S:Te molarity ratio is 1:0.80:0.14.

Key words : crystal structure, surface morphology , thin film, vacuum evaporation technique, preparation, spacer, chemical composition $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi dengan judul **“Preparasi dan Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan Teknik Evaporasi Vakum”**.

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta. Penyelesaian penulisan tugas akhir skripsi ini tidak terlepas dari adanya dukungan dan bimbingan dari pihak-pihak lain. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Rochmat Wahab M.Pd,M.A selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan naungan kepada seluruh civitas akademika termasuk penulis.
2. Bapak Dr.Hartono, M.Si selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo,M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
5. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dan kesabarannya dari awal sampai akhir penyusunan tugas akhir skripsi ini.
6. Bapak Hartono selaku asisten Laboratorium Material yang dengan ikhlas membantu dalam penelitian.

7. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
8. Teman-teman Fisika B 2012 atas perjuangan dan pengalaman bersama selama menimba ilmu.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dalam penyelesaian penulisan tugas akhir skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir skripsi ini tidak luput dari kesalahan dan masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun khususnya dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 26 Oktober 2016

Penulis,



Siti Khoirunisa'
12306141014

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8

A. Kristal	8
1. Sistem Kristal	8
2. Indeks Miller	12
3. Parameter Kisi Orthorhombik	13
B. Semikonduktor	14
1. Definisi Semikonduktor	14
2. Macam-Macam Semikonduktor	17
C. Lapisan Tipis	25
D. Karakterisasi Lapisan Tipis	29
1. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	29
2. SEM - EDAX	36
E. Teknik Evaporasi Vakum	39
BAB III METODE PENELITIAN	50
A. Waktu dan Tempat Penelitian	50
B. Bahan dan Alat Penelitian	51
C. Variabel Penelitian	56
D. Prosedur dalam Penelitian	57
E. Analisis Data	60
F. Diagram Alir Tahap Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
A. HASIL PENELITIAN	64
B. PEMBAHASAN	65
1. Analisis Hasil XRD	66
2. Analisis Morfologi Permukaan Hasil SEM	73

3. Analisis Komposisi Kimia Hasil EDAX	75
4. Analisis Perhitungan Rata-Rata Perhitungan Diameter <i>Grain</i> <i>Hasil Software Paint</i>	77
BAB V PENUTUP	79
A. KESIMPULAN	79
B. SARAN	80
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	85

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais.....	10
Tabel 2. Volume Sel Satuan	11
Tabel 3. Jarak antar Bidang dalam Himpunan.....	12
Tabel 4. Energi Ionisasi	18
Tabel 5. Spesifikasi XDR Mini Flex 600	51
Tabel 6. Spesifikasi Mesin SEM-EDAX JEOL JSM-6510LA.....	53
Tabel 7. Parameter Preparasi Lapisan Tipis Sn(S _{0,8} Te _{0,2})	57
Tabel 8. Waktu dan Tegangan pada Slide Regulator	61
Tabel 9. Perbandingan Hasil Perhitungan Parameter Kisi dengan Data JCPDS.....	69
Tabel 10. Perbandingan Hasil Perhitungan Parameter Kisi Hasil Penghalusan Menggunakan Metode <i>Le Bail</i> dengan Data JCPDS.....	69
Tabel 11. Perbandingan Molaritas Unsur Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel III	72

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Sumbu-sumbu dan Sudut-sudut antar Sumbu Kristal.....	9
Gambar2. Empat Belas Kisi Bravais	11
Gambar 3. Perpotongan Bidang dan Sumbu.....	13
Gambar 4. Celah Energi Bahan-Bahan.....	17
Gambar 5. Kondisi Semikonduktor Intrinsik, Normal dan Terstimulasi.....	20
Gambar 6. Elektron dalam Atom Ketidakmurnian Berrvalensi 5	23
Gambar 7. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n	23
Gambar 8. Hole ditimbulkan dalam Orbit dari Ketidakmurnian Bervalensi 3	24
Gambar 9. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p	25
Gambar10. Skema Tabung Sinar-X.....	31
Gambar11. Diagram Sinar-X.....	32
Gambar 12. Difraksi Sinar-X oleh Atom-Atom pada Bidang	34
Gambar 13 Transisi Elektron dan Karakterisasi Radiasi	36
Gambar 14. Skema SEM	37
Gambar15. Skema Sistem Evaporasi Vakum	41
Gambar 16. Skema Pompa Rotari	43
Gambar17. Skema Pompa Difusi	43
Gambar 18. Skema Sistem Evaporasi.....	44
Gambar 19. Sambungan Semikonduktor tipe-n.....	46
Gambar 20. Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 21. Foto Lapisan Tipis Sampel I, II dan III	65
Gambar 22. Difraktogram Sampel I Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	67
Gambar 23. Difraktogram Sampel II Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	68
Gambar 24. Difraktogram Sampel III Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	68
Gambar 25. Difraktogram Lapisan Tipis Sampel I, Sampel II dan Sampel III serta Masif $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$	69
Gambar 26. Hasil Penghalusan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel I.....	71
Gambar 27. Hasil Penghalusan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel II	71
Gambar 28. Hasil Penghalusan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel III.....	71

Gambar 29. Karakterisasi SEM	74
Gambar 30. Grafik Hubungan antar Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel III	76
Gambar 31. Hasil Analisis Perhitungan Rata-Rata Perhitungan <i>Grain</i> menggunakan <i>Software Paint</i>	78

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I. Metode Analitik.....	81
Lampiran II. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) dengan XRD...	88
Lampiran III. Hasil Analisis XRD	91
Lampiran IV Hasil Penghalusan atau <i>Refinement</i> Data XRD dengan Metode <i>Le Bail</i>	92
Lampiran V. JCPDS SnS	97
Lampiran VI. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) dengan EDAX	98
Lampiran VII. Hasil Analitik Perhitungan Rata-Rata Diameter <i>Grain</i>	100
Lampiran VIII. Dokumentasi Penelitian	103

BAB I

PENDAHULUAH

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang sangat pesat dewasa ini tak luput dari peranan energi. Khususnya energi listrik yang sangat mendominasi. Energi listrik untuk saat ini menjadi kebutuhan yang pokok bagi kehidupan. Akan tetapi seiring berkembangnya waktu, beberapa energi terbarukan kian menipis. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan listrik, harus ditambah energi alternatif sebagai cadangan energi. Matahari merupakan sumber energi yang sangat besar dan mempunyai spektrum panjang gelombang dari 250 nm sampai 2500 nm yang dapat diubah menjadi energi terbarukan.

Kebutuhan manusia akan energi sangat besar, cadangan minyak bumi diperkirakan akan habis dalam abad ini. Kebutuhan energi di bumi diperkirakan akan meningkat dua kali lipat dalam 50 tahun kedepan, sehingga akan terjadi kekurangan energi yang besar pula. Kecuali ada energi terbarukan yang mampu menutupi kekurangan pokok yang ditinggalkan oleh bahan bakar fosil (minyak bumi). Untungnya, pasokan energi dari matahari ke bumi sangat besar, yaitu 3×10^{24} Joule setahun atau sekitar 10.000 kali konsumsi populasi global saat ini. Dengan kata lain, andaikan kita dapat menutupi 0,1% permukaan bumi dengan sel surya yang memiliki efisiensi 10%, maka kebutuhan energi saat ini akan terpenuhi (Akhiruddin, 2010). Dalam hal energi surya, Indonesia menerima radiasi energi harian rata-rata persatuan luas persatuan waktu kurang lebih $4,8 \text{ kW/m}^2$ (Ariswan, 2010: 2).

Perkembangan Ilmu Fisika khususnya bidang material memegang peranan penting dalam memacu perkembangan teknologi dewasa ini. Energi surya sebagai energi alternatif, akhir-akhir ini marak diteliti. Teknologi sel surya (*photovoltaic*) merupakan teknologi yang mampu mengubah energi surya menjadi energi listrik secara langsung. Efek fotovoltaiik pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839, dan pada tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori, mekanisme fenomena tersebut, namun masih sebatas eksperimen di laboratorium. Baru setelah perang dunia ke II, yaitu pada tahun 1950 direalisasikan sel surya untuk yang pertama kalinya. Pada tahun 1970 penelitian sel surya dilakukan secara intensif, karena terjadi krisis energi. Sebagai tindak lanjut, maka pada tahun 1979 dibangun listrik tenaga surya hingga mencapai 1 MWatt (Ariswan, 2013).

Berbagai material telah banyak diteliti untuk mengembangkan sel surya. Contohnya bahan semikonduktor golongan IV adalah Germanium dan Silikon. Germanium merupakan bahan semikonduktor pertama kali yang dieksplorasi untuk pembuatan sel surya. Sementara Silikon sering dijadikan bahan baku pembuatan sel surya. Silikon memiliki energi gap 1,1 eV, sehingga mampu menyerap spectrum matahari lebih banyak. (Rio, 1982: 51). Bahan ini sangat diminati karena harganya relatif murah serta cadangannya cukup melimpah di alam. Selain itu, material lain yang banyak dikembangkan adalah perpaduan dari material golongan II-IV atau III-VI baik *binary* (perpaduan 2 unsur) ataupun *terany* (perpaduan 3 unsur) (Setiawan, 2007).

Bahan semikonduktor yang menjadi perhatian saat ini adalah SnS (*Stannum Sulfide*), (*Stannum Telluride*) SnTe dan Sn(STe) yang merupakan

gabungan dari SnS dan SnTe. Ketiga bahan tersebut merupakan bahan semikonduktor tipe-p, yang terbuat dari perpaduan antara golongan IV S (Sn) dan golongan VI A (S dan Te).

Bahan dasar SnS mempunyai bahan dasar untuk aplikasi sel surya. Menurut O.E energi gap SnS sebesar 1,3 eV, dimana besarnya energi gap ini hampir sama dengan Silikon yaitu sebesar 1,1 eV (Ariswan , 2013: 10). Sedangkan untuk energi gap SnTe 0,18 eV. SnS merupakan bahan semikonduktor yang biasanya digunakan dalam aplikasi bahan optoelektronika. Sementara material perpaduan SnTe ini mampu mencuri banyak perhatian karena memiliki sifat fisis yang menarik. Yakni, bahan ini dapat digunakan untuk deteksi inframerah (3-14 μm), detektor foto, dan perangkat termoelektrik (Saini, 2010). Dari bahan SnS yang memiliki energi gap sebesar 1,3 maka dilakukan *doping* dengan bahan SnTe. *Pendopingan* ini diharapkan nilai energi gap turun mendekati 1,1 eV, yang kemudian dapat diaplikasikan sebagai bahan sel surya yang lebih efisien.

Untuk itu, guna mengembangkan sel surya dari berbagai jenis bahan semikonduktor dan paduannya, teknologi lapisan tipis merupakan salah satu metode yang dapat digunakan sebagai upaya meningkatkan nilai efisiensi sel surya. Lapisan tipis merupakan lapisan yang sangat tipis dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun insulator. Untuk mendapatkan lapisan tipis yang baik, diperlukan proses evaporasi yang biasa disebut teknologi fabrikasi lapisan tipis.

Menurut Ohring (2001: 96) secara garis besar teknik dalam pembuatan lapisan tipis dapat dibedakan menjadi dua teknik. Pertama adalah teknik *Physical Vapor Deposition (PVD)*. Contohnya adalah *Vacum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition (CSVD)*, *sputtering* dan teknik yang kedua adalah *Chemical Vapor Deposition (CVD)* yang terdiri dari *Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD)* dan *MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)*. Pada penelitian ini dilakukan preparasi lapisan menggunakan teknik evaporasi vakum dengan variasi jarak *spacer*. Pevakuman tabung ini bertujuan agar tidak terjadi oksidasi dan memperbesar ruang bebas molekul gas.

Beberapa kelebihan dari metode evaporasi vakum antara lain: hasil evaporasi lebih baik dan merata pada permukaan substrat serta lapisannya lebih tipis. Selain itu, teknik ini mampu menstabilisasi struktur bahan yang tetap, tekanan penguapan bahan tidak terlalu rendah sehingga dapat terjangkau dalam skala laboratorium (Mukti, 2013).

Suhu substrat pada saat evaporasi berlangsung, berfungsi untuk merenggangkan susunan atom-atom, sehingga atom-atom yang menguap dari target akan lebih mudah masuk dan mendapati posisi kekosongan pada batas butir untuk membentuk lapisan. Suhu evaporasi yang semakin tinggi, maka susunan atom-atom akan semakin lebar yang menyebabkan atom-atom menguap dan mengisi diantara atom kristal lebih dalam. Sehingga daya adhesi antar lapisan dan substrat lebih tinggi.

Salah satu bahan berbasis sel surya adalah Sn(S, Te). Bahan semikonduktor ini merupakan perpaduan dari bahan SnS dan SnTe. Pada

penelitian ini dilakukan pendeposisian lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan teknik evaporasi vakum. Parameter yang digunakan yaitu suhu, waktu pendeposisian dan tekanan vakum serta variasi jarak *spacer*.

Dewasa ini karakterisasi bahan telah mengalami kemajuan. Karakterisasi lapisan tipis yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *XRD* (*X-Ray Diffraction*) dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal, sedangkan *Scanning Electron Microscopy* (*SEM*) berfungsi untuk mengetahui struktur morfologi permukaan, sementara *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (*EDAX*) untuk mendapatkan informasi komposisi kimia bahan semikonduktor.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Belum diketahui pengaruh jarak *spacer* terhadap kualitas kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.
2. Belum diketahui struktur kristal dan parameter kisi semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum.
3. Belum diketahui bentuk morfologi dan komposisi kimia kristal $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu pada variasi jarak *spacer* 10 cm, 15 cm serta 25 cm, tekanan vakum 5×10^{-5} mbar,

waktu pendosisian 8 menit melalui teknik evaporasi vakum. Karakterisasi menggunakan *XRD (X-Ray Diffraction)* Miniflex 600 Rigaku untuk mendapatkan informasi struktur kristal lapisan tipis, *SEM (Scanning Electron Microscopy)* JEOL JSM-6510LA bermanfaat untuk mengetahui struktur morfologi lapisan tipis dan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis menggunakan *EDAX (Energi Dispersif Analisis of X-Ray)* JEOL JSM-6510LA.

D. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh jarak *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
2. Bagaimana struktur kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
3. Bagaimana komposisi kimia dan morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui:

1. Pengaruh jarak *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Struktur kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
3. Komposisi kimia dan morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

F. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini anatara lain:

1. Memberikan informasi pengaruh jarak terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ teknik evaporasi vakum.
2. Mendapatkan suatu bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dengan teknik evaporasi vakum.
3. Mengetahui struktur kristal, komposisi kimia dan morfologi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ yang terbentuk.
4. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sumber informasi dan referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Kristal

Kristal merupakan bahan di dalam ruang yang tersusun dari deretan atom-atom dengan letak yang teratur serta periodik. Berdasarkan keteraturan panjang jarak susunan atom-atom atau molekul-molekul zat padat, maka kristal dibedakan menjadi tiga, yaitu monokristal, polikristal, dan *amorf* (Istiyono, 2010). Jika atom-atom bergabung membentuk padatan (*solid*), atom-atom itu mengatur dirinya sendiri dalam pola tatanan tertentu yang disebut kristal (Malvino, 1981: 16). Didefinisi lain kristal memperlihatkan keteraturan berjangkauan panjang, sedangkan zat padat *amorf* menunjukkan keteraturan berjangkauan pendek dalam strukturnya (Beiser, 1992: 356).

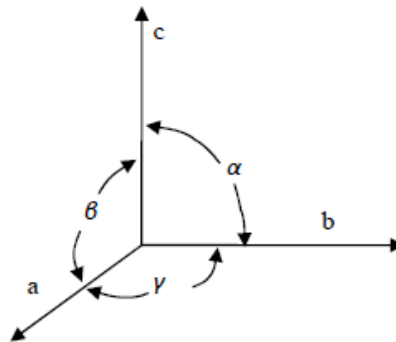
Pada monokristal atau atom tunggal atom penyusunya berstruktur tetap. Karena atom-atom penyusunya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi. Dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang dan tak terhingga. Sedangkan polikristal merupakan kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang mempunyai ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat (Ariswan, 2015).

1. Sistem Kristal

Struktur kristal merupakan susunan dari atom-atom dalam kristal yang tersusun secara teratur dalam kisi ruang. Struktur kristal akan terbentuk ketika susunan atom terletak pada posisi yang sangat dekat dan rapat satu sama lain. Struktur ini terbentuk dari kumpulan sel satuan. Sementara sel satuan terdiri dari sekumpulan atom yang tersusun secara khusus dan periodik tiga dimensi dalam satu kisi kristal. Kumpulan atom

penyusun kristal ini disebut dengan basis dan kedudukan atom-atom di dalam ruang yang dinyatakan oleh kisi (Istiyono, 2010: 1).

Sistem koordinat yang dapat digunakan untuk menggambarkan struktur kristal terdapat tujuh macam. Yang mana arah dari sumbu relatif, antara satu dengan bentuk yang lain dibentuk oleh sudut α , β , dan γ . Sedangkan untuk jarak antar kisinya ditentukan oleh a , b , dan c (Narang, 1981:8-4).



Gambar 1. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal.
(Istiyono, 2010)

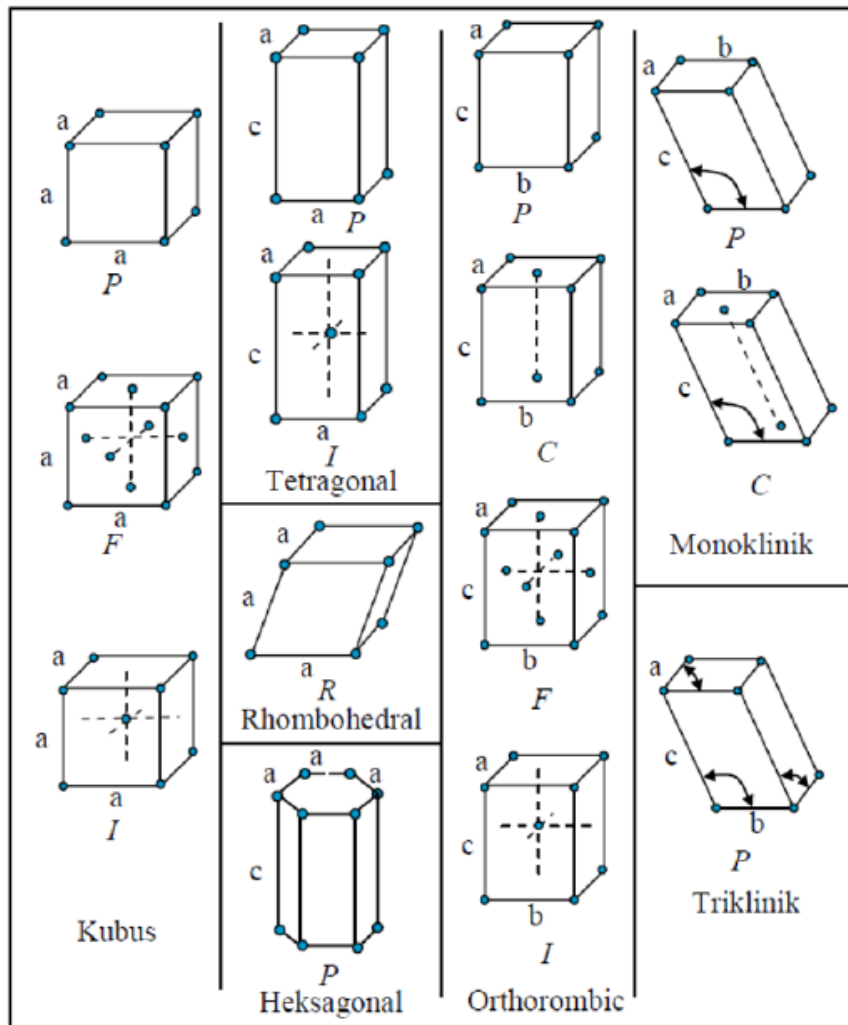
Adapun tujuh sistem kristal dan empat belas kisi bravis dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravis

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravis	Simbol	Maksimal Simetri
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel	P	9 bidang
		pusat badan	I	13 sumbu
		Pusat muka	F	
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel pusat dasar	P C	1 bidang 1 sumbu
Triklirik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	simpel	P	- -
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel pusat badan	P I	3 bidang 5 sumbu
Orthorhombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel	P	3 bidang
		pusat dasar	C	3 sumbu
		pusat badan pusat muka	I F	
Trigonal	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ $\leq 120^\circ$	simpel	P	- -
Haxagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	simpel	P	7 bidang 7 sumbu

(Cullity, 1978: 31)

Simbol P (*primitif*) pada Tabel 1 menunjukkan sel *primitif*. Simbol C (*center*) merupakan simpul kisi yang terletak pada pusat dua bidang sisi yang paralel. Simbol F (*face*) menunjukkan sel yang memiliki simpul kisi di pusat setiap bidang kisi. Dan simbol I (*inti*) menunjukkan sel yang mempunyai kisi di pusat bagian dalam unit sel.



Gambar 2. Empat Belas Kisi Bravis
(Cullity, 1978:32)

Tabel 2. Volume Sel Satuan

No	Sistem Kristal	Volume Sel satuan
1	Kubik	$V = a^3$
2	Monoklinik	$V = ab \sin \beta$
3	Triklinik	$v = abc \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \beta - \cos^2 \gamma + 2\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma}$
4	Tetragonal	$V = a^2 c$
5	Orthorhombik	$V = abc$
6	Trigonal	$V = a^3 \sqrt{1 - 3\cos^2 \alpha - 2\cos^3 \alpha}$
7	Hexagonal	$V = a^3$

(Cullity, 1978:460)

Tabel 3. Jarak antar Bidang dalam Himpunan (*hkl*)

No	Sistem Kristal	Jarak antar Bidang
1	Kubik	$\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2 k^2 l^2}{a^2} \right)$
2	Monoklinik	$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2 \beta} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2 \sin^2 \beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hl \cos \beta}{ac} \right)$
3	Triklinik	$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{V^2} (S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk + 2S_{23}kl + 2S_{13}hl)$
4	Tetragonal	$\frac{1}{d^2} = \left(\frac{h^2 + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$
5	Orthorhombik	$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$
6	Hexagonal	$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + k^2 + hk}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$

(Cullity, 1978:459)

2. Indeks Miller

Sistem Indeks Miller digunakan untuk menyatakan bidang kristal (indeks bidang). Berikut langkah-langkah untuk menentukan bidang kristal:

- Menentukan titik potong pada sumbu koordinat sel satuan (x_1, y_1, z_1).
- Membandingkan nilai titik potong tersebut dengan konstanta kisi $\left(\frac{x_1}{a} \right); \left(\frac{y_1}{b} \right); \left(\frac{z_1}{c} \right)$.
- Mengambil kebalikan nilai dari $\left(\frac{x_1}{a} \right); \left(\frac{y_1}{b} \right); \left(\frac{z_1}{c} \right)$.
- Mendefinisikan $h = \left(\frac{a}{x_1} \right); k = \left(\frac{b}{y_1} \right)$ dan $l = \left(\frac{c}{z_1} \right)$ dan mengalikan dengan angka KPK.

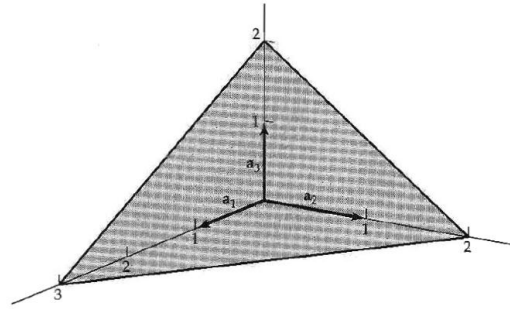
Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa bidang XYZ memotong sumbu-sumbu di $3 a_1; 2 a_2$, serta $2 a_3$. Kemudian perpotongan itu secara umum dinyatakan dengan 3; 2; dan 2. Sehingga parameter numeriknya yaitu 3, 2 dan 2 serta indeks millernya yaitu:

$$hkl = h: k: l = \frac{1}{3} : \frac{1}{2} : \frac{1}{2}$$

$$hkl = h: k: l = \left(\frac{1}{3} : \frac{1}{2} : \frac{1}{2}\right) \times 6 \quad (\text{KPK dari 3,22})$$

jadi nilai $hkl = 233$

Berikut merupakan contoh Indeks Miller:



Gambar 3 . Perpotongan Bidang dan Sumbu
(Kittle. 2012:13)

3. Parameter Kisi Orthorhombik

Kristal orthorhombik mempunyai konstanta kisi a , sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung menggunakan persamaan jarak antar bidang sebagai berikut:

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

Sementara persamaan Hukum *Bragg* adalah

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

Dengan mensubstitusikan persamaan Bragg, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

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

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

$$\sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4^2} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad (5)$$

$$\text{Misal, } A = \frac{\lambda^2}{4a^2}; B = \frac{\lambda^2}{4b^2}; C = \frac{\lambda^2}{4c^2} \quad (6)$$

Maka didapatkan persamaan berikut ini:

$$\sin^2\theta = (Ah^2 + Bk^2 + Cl^2) \quad (7)$$

Sehingga parameter kisi a, b, c dapat ditulis menjadi:

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}}; b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}}; c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} \quad (8)$$

B. Semikonduktor

1. Definisi Semikonduktor

Suatu bahan atau material jika dilihat dari kemampuan dalam menghantarkan listrik dibedakan menjadi 3 macam, yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor.

Konduktor merupakan penghantar listrik yang sangat baik jika dibandingkan dengan isolator dan semikonduktor. Konduktor mempunyai pita valensi yang sangat kecil. Bahkan jika dipandang antara pita valensi dan pita konduksi saling tumpang tindih (*overlap*) sehingga energi gap pada konduktor relatif kecil. Hanya sebagian dari struktur pita energi pada konduktor yang diisi oleh elektron. Pita energi yang terisi elektron sebagian adalah pita konduksi. Medan eksternal yang dikenakan pada konduktor akan mempengaruhi elektron, hingga akan mendapat tambahan energi dan berpindah menuju potensial yang lebih rendah. Elektron tersebut seperti elektron bebas yang lincah dan gerakannya akan

menghasilkan listrik. Contoh bahan yang bersifat konduktor yaitu: besi, tembaga, seng dan aluminium (Ariswan, 2010).

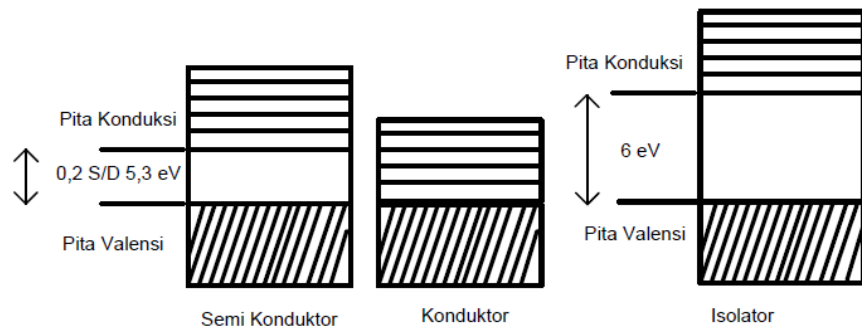
Isolator merupakan penghantar listrik yang buruk atau tidak dapat menghantarkan listrik. Resistivitas isolator cukup besar ($>10^{12} \Omega\text{m}$), hal ini dikarenakan energi gap pada isolator sekitar 6 eV. Jika dipandang jarak antara pita valensi dan pita konduksi keduanya sangat berjauhan. Pada isolator, pita valensi terisi penuh oleh elektron, sedangkan pada pita konduksi dalam keadaan kosong atau tidak ada elektron di dalamnya. Diantara pita valensi dan pita konduksi terdapat pita terlarang. Hal ini menyebabkan energi yang diperoleh dari medan eksternal relatif kecil untuk dapat memindahkan elektron melewati energi gap yang cukup besar, sehingga berakibat penghantaran listrik tidak dapat berlangsung. Secara umum isolator memiliki 2 sifat, yaitu:

- a. Memiliki celah energi yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi.
- b. Tingkat energi fermi terletak pada celah energinya (Suwitra, 1989: 186).

Semikonduktor merupakan bahan yang mempunyai konduktifitas listrik diantara konduktor dan isolator yang berkisar antara $10^{-4} \Omega\text{m}$ sampai $10^{12} \Omega\text{m}$. Pada bahan semikonduktor terdapat pita terlarang seperti pada isolator. Besar energi gap pada semikonduktor sekitar 1 eV. Energi gap ini lebih kecil jika dibandingkan dengan isolator. Energi gap yang tidak terlalu besar ini menyebabkan bahan semikonduktor memiliki perlakuan yang berbeda dibandingkan dengan isolator dan

konduktor. Bahan semikonduktor akan bersifat isolator pada suhu 0 Kelvin. Hal ini dikarenakan pita valensi dalam keadaan penuh dan pita konduksi dalam keadaan kosong. Sedangkan pada suhu kamar, bahan semikonduktor dapat bersifat konduktor. Apabila suhu dinaikan, maka sebagian elektron valensi akan memperoleh panas termal yang lebih besar dari energi gap, elektron-elektron tersebut akan meninggalkan pita valensi menuju pita konduksi. Keadaan elektron akan menjadikan elektron hampir bebas. Elektron-elektron akan meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut dengan lubang *hole*. *Hole* pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi inilah yang berperan sebagai penghantar arus pada semikonduktor, dimana elektron pembawa muatan negatif dan *hole* sebagai pembawa muatan positif. Sehingga hantaran listrik pada semikonduktor sangat bergantung pada suhu dibandingkan dengan hantaran listrik pada konduktor dan isolator (Suwitra, 1989: 187).

Suatu hal yang penting untuk mempelajari semikonduktor yaitu pada proses konduksi elektronik. Konduksi elektronik bahan semikonduktor dipengaruhi oleh jarak pita konduksi dan jarak pita valensi bahan. Pada konduktor, kedua pita tersebut saling menumpuk. Sementara pada isolator jarak antara keduanya cukup jauh. Sedangkan pada semikonduktor jarak antara keduanya tidak terlalu jauh dan tidak terlalu dekat. Dan keadaan ini memungkinkan tumpang tindih jika dipengaruhi. Misalnya panas, medan magnet, atau tekanan yang cukup tinggi. Jarak kedua pita tersebut merupakan pita energi, seperti pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Celah Energi Bahan-Bahan
(Ramadhani, 2012: 10)

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pita energi pada isolator intan adalah 6 eV dan intan merupakan bahan isolator dengan resistivitas yang tinggi. Jarak antara pita valensi dan pita konduksi sudah tereksitasi (terlepas dari orbitnya), elektron-elektron valensi tidak akan meloncat ke pita konduksi. Pada bahan konduktor celah energinya sempit, sehingga jika ada elektron yang lepas dari orbitnya maka pita valensi akan segera mengisinya. Sedangkan bahan semikonduktor mempunyai celah energi yang lebih sempit dari isolator yakni 0,12 eV hingga 1,3 eV. Misalnya Si sebagai salah satu bahan semikonduktor yang mempunyai pita energi 1,1 eV. Oleh karena itu, untuk menjadikan bahan semikonduktor agar dapat menghantarkan listrik diperlukan energi yang tidak terlalu besar.

2. Macam-Macam Semikonduktor

Semikonduktor dari Si (*Silikon*) dan Ge (*Germanium*) banyak digunakan dalam bidang elektronika. Germanium maupun Silikon murni merupakan bahan pelican dan merupakan isolator. Pada semikonduktor

intrinsik timbulnya konduksi pada bahan-bahan tersebut disebabkan oleh proses intrinsik dari bahan dan tanpa adanya pengaruh bahan tambahan.

Cara lain untuk mengubah Ge dan Si dari bahan semikonduktor adalah dengan mengotori bahan tersebut. Misalnya dengan bahan As (*Arsenikum*) atau B (*Boron*). Bahan pengotor dari luar tersebut disuntikan ke Si dan Ge. Proses penyuntikan bahan-bahan tersebut dengan cara *doping*. Penambahan ini dimaksudkan untuk meningkatkan nilai konduktivitasnya.

Dari hasil pengotoran atau *doping* ini akan diperoleh bahan semikonduktor tipe-p dan tipe-n. Bahan semikonduktor yang ditambahkan As akan menjadi semikonduktor tipe-n dan yang mendapatkan tambahan jenis B akan menjadi semikonduktor tipe-p.

Tabel 4. Energi Ionisasi

Bahan Pengotor		Si (eV)	Ge (eV)
Jenis -N	Phospor	0,044	0,012
	Arsen	0,049	0,013
	Antinom	0,039	0,010
Jenis P	Boron	0,045	0,010
	Almumunium	0,057	0,010
	Galium	0,065	0,011
	Indium	0,16	0,011

(blog.umy.ac.id)

a. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik merupakan suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dengan sifat-sifat kelistrikanya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur sendiri (Nyoman Suwitra, 1989: 222). Banyaknya *hole* di pita valensi sama banyaknya dengan jumlah elektron pada pita konduksi. Gerakan

termal terus-menerus menghasilkan pasangan elektron-*hole* yang baru. Sementara pasangan elektron-*hole* yang lain menghilang sebagai akibat proses rekombinasi. Konsentrasi (rapat) *hole* p harus sama dengan konsentrasi (rapat) n , sehingga:

$$p = n = n_i \quad (9)$$

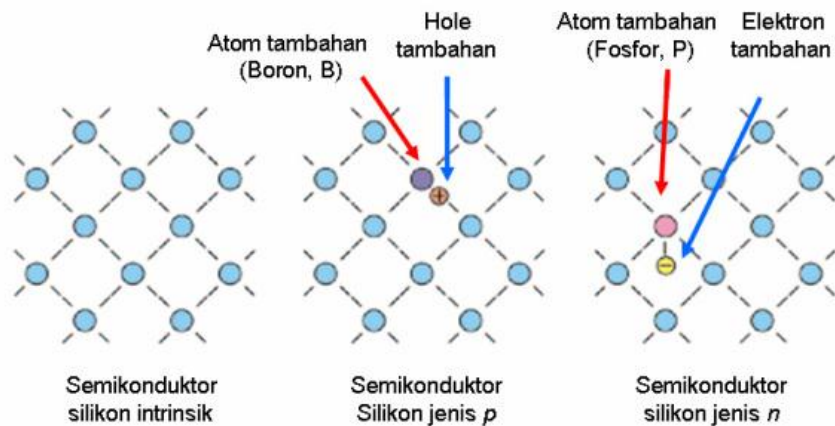
dengan n_i disebut konsentrasi atau rapat intrinsik.

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

$$E_f = \frac{E_c + E_v}{2} \quad (10)$$

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

Pada suhu yang rendah yakni 0 Kelvin, pita valensi terisi penuh oleh elektron-elektron yang saling berikatan membentuk ikatan kovalen. Sedangkan pada pita konduksi dalam keadaan kosong tidak terisi elektron, ini menandakan bahwa pada suhu 0 Kelvin tidak ada hantaran listrik. Kedua pita tersebut dipisahkan oleh energi gap. Bila mendapatkan energi yang cukup, elektron dari pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Dan meninggalkan kekosongan elektron pada pita valensi atau bisa disebut lubang (*hole*). Mekanisme pembentukan semikonduktor intrinsik ini sehingga salah satu elektron valensi akan berpindah ke pita konduksi. Tempat yang ditinggalkan oleh pita valensi ini akan membentuk *hole*. Pasangan *hole* dan elektron ini menjadi pembawa muatan dalam semikonduktor intrinsik. Proses ini diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kondisi Semikonduktor Intrinsik
(Indra, 2012)

Berikut merupakan ciri-ciri dari semikonduktor intrinsik:

1. Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
2. Energi Fermi terletak di tengah-tengah energi gap.
3. Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, namun *hole* juga berperan penting.
4. Ada satu atom diantara 10^9 atom yang memberikan sumbangan terhadap hantaran listrik (Suwitra, 1989: 222-227).

Contoh bahan semikonduktor intrinsik adalah Si dan Ge, dengan atom-atomnya mempunyai empat elektron valensi sehingga dinamakan *tetravalent* dan membentuk kristal *tetrahedral* melalui ikatan kovalennya dengan atom-atom tetangga terdekat.

b. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik merupakan semikonduktor murni yang telah diberi pengotor. Proses pemberian pengotor ini dinamakan *doping*, yaitu dengan memasukkan atom yang bervalensi 5 atau 3 pada

bahan semikonduktor murni. Hal ini dimaksudkan untuk menambah jumlah elektron bebas maupun lubang. Sifat kelistrikan dari semikonduktor ekstrinsik sangat ditentukan oleh jumlah atom pengotor yang ditambahkan ke dalam bahan semikonduktor tersebut.

Proses pemberian atom pengotor ini disebut *doping*, dengan tujuan untuk menambah jumlah elektron bebas maupun lubang (*hole*). Dengan menambahkan atom pengotor, struktur pita dan resistivitasnya akan berubah.

Berdasarkan jenis atom pengotornya, ada dua jenis semikonduktor ekstrinsik yakni semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n (Haryanto, 2013: 18).

1). Semikonduktor tipe-n

Semikonduktor tipe-n merupakan semikonduktor yang memiliki konsentrasi elektron lebih besar dibandingkan konsentrasi *hole*. Semikonduktor tipe ini dibuat dengan menambahkan dengan sejumlah atom pengotor bervalensi lima. Karena atom-atom pengotor ini memiliki lima elektron valensi, sehingga saat sebuah atom pentavalen menempati posisi atom murni maka hanya empat elektron valensi yang dapat membentuk ikatan kovalen lengkap. Dengan demikian tersisa satu elektron yang tidak berpasangan.

Energi termal dalam bahan semikonduktor akan menyebabkan sisa elektron ini menjadi elektron bebas dan menjadi pembawa muatan dalam proses hantaran listrik. Elektron bebas ini berbentuk ion positif yang tidak bergerak. Material yang dihasilkan

dari proses pengotoran ini dinamakan semikonduktor tipe-n. Hal ini dikarenakan membawa muatan negatif. Atom pengotor ini memberikan elektron, sehingga atom pengotor disebut sebagai atom donor.

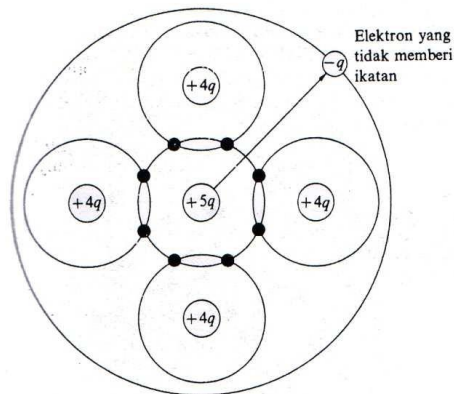
Adanya atom donor ini menambah tingkat energi pada pita konduksi yang berada di atas celah energi sehingga memudahkan elektron untuk menyebrang ke pita konduksi. Pada suhu kamar, sebagian besar atom donor terionisasi dan elektronnya tereksitasi ke dalam pita konduksi. Hal ini mengakibatkan jumlah elektron bebas pada semikonduktor tipe-n jauh lebih banyak daripada *hole*. Oleh karena itu, elektron di dalam semikonduktor tipe-n berperan sebagai pembawa muatan mayoritas, dan *hole* sebagai pembawa minoritas (Haryanto, 2013: 23).

Atom-atom golongan V pada tabel periodik menggantikan golongan IV, sehingga di sekitar golongan V ikatannya sebagai berikut:

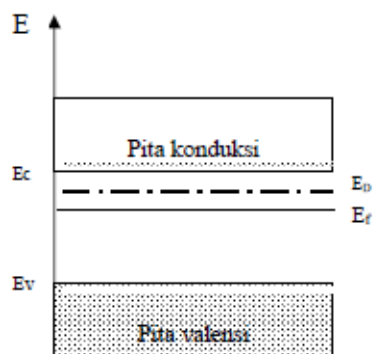
- a. Hanya ada empat elektron dari golongan V yang dibutuhkan untuk membentuk ikatan kovalen, sehingga disekitar ion golongan V bermuatan negatif.
- b. Elektron kelebihan akan menjauh, namun masih terikat oleh gaya Coulomb. Sehingga membentuk sistem struktur atom H.

Misalnya, Si yang di-*doping* dengan As. As merupakan pentavalen, sedangkan Si merupakan tetravalen. Sehingga, kelebihan elektron dari atom As yang tidak terikat dalam ikatan

atom Si akan bergerak bebas dalam kristal sebagai elektron konduksi dalam pita konduksi. Oleh karena ketidakmurnian As menyumbangkan elektron ke dalam pita konduksi, maka As ion positif As^+ (Parno, 2006:154). Berikut merupakan gambar 6 atom Si yang telah di-*doping* dengan As.



Gambar 6. Elektron dalam Atom Ketidakmurnian Bervalensi 5 tidak Memberikan Ikatan.
(Rio, 1982: 12)



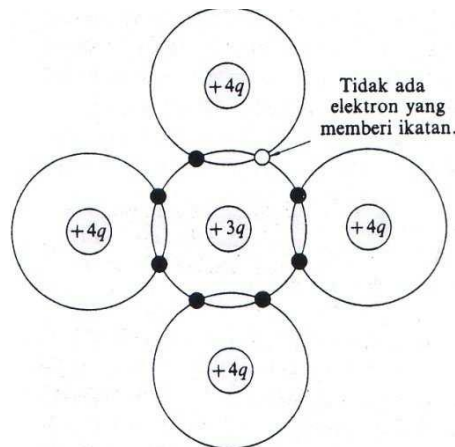
Gambar 7. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n
(Ariswan, 2015)

2). Semikonduktor tipe-p

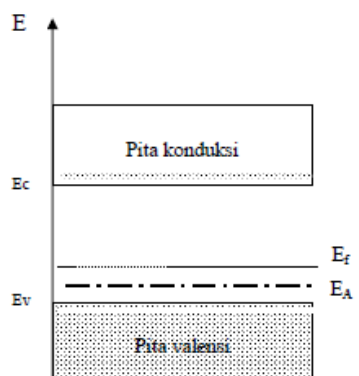
Semikonduktor tipe-p dapat dilihat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor trivalen pada semikonduktor murni. Atom-atom pengotor ini mempunyai tiga elektron valensi, sehingga pada efektifnya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Saat sebuah atom trivalen menempati posisi atom dalam kisi

kristal, bentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan positif dari atom Silikon yang tidak berpasangan, atau disebut dengan lubang (*hole*). Material yang diproses pengotoran ini menghasilkan pembawa muatan negatif pada kristal yang netral. Karena pengotor menerima elektron valensi, maka atom pengotor ini disebut sebagai atom aseptor. Semikonduktor yang *didoping* dengan atom-atom aseptor ini dinamakan semikonduktor tipe-p. Dimana p merupakan pendekatan dari positif. Dimana muatan positif jumlahnya melebihi atom negatif.

Di dalam semikonduktor tipe-p akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan, yang letaknya sedikit diatas pita valensi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini.



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



Gambar 9. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p
(Ariswan, 2015)

Pada Gambar 9 ditunjukkan, energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor sangat kecil, maka hole-hole yang dibentuk oleh elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi. Penambahan unsur-unsur dari golongan IIIB (B, Al, Ga, dan In) pada unsur golongan IV menghasilkan semikonduktor tipe-p.

C. Lapisan Tipis

Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang terbuat dari bahan organik, anorganik metal maupun campuran metal-organik (*organometalic*) yang memiliki mempunyai sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun isolator dan memiliki ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer). Bahan-bahan lapisan tipis akan memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu mempunyai sifat-sifat bahan unik yang diakibatkan oleh proses pertumbuhan lapisan tipis. Ciri-ciri lapisan tipis adalah memiliki permukaan seragam, yaitu melapisi permukaan substrat secara merata dengan cact yang minim, memiliki suhu permukaan yang stabil dan memiliki ketelitian yang tinggi. Aplikasi lapisan tipis saat ini semakin banyak digunakan. Hampir semua bidang industri dalam pembuatan piranti elektronik seperti kapasitor, fotodetektor, sel surya, rangkaian hidrid serta teknologi mikrokontroler. Dalam bidang optik antara lain pembuatan lapisan tipis anti refleksi, filter interferensi, cermin refelektor tinggi, kacamata pelindung cahaya dan transmisi daya tinggi. Sedangkan dalam bidang mekanik dalam pembuatan lapisan keras sebagai bahan pelindung terhadap kausana dan anti korosi.

Pertengahan penggunaan lapisan tipis dimulai pada abad XIX, yaitu pada tahun 1852 ketika Grove melakukan penelitian lucutan listrik dalam gas bertekanan rendah, dimana nampak terbentuk lapisan pada dinding lucutan pijar di sekitar elektroda negatif. Kemudian Faraday berhasil membuat lapisan tipis dengan metode evaporasi pada tahun 1857. Kemudian beberapa penelitian tentang lapisan tipis terus dikembangkan, dan penerapannya sudah merambah pada banyak bidang.

Pada dasarnya proses pembuatan lapisan tipis melalui tiga tahapan, yakni:

- 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 elektronika untuk membentuk suatu deposisi padatan.

Bahan Sn (STe)

Bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ merupakan gabungan dari tiga unsur atom yaitu, *stannum* (Sn) dari golongan IV, *sulfur* (S) dari golongan VI dan *telurium* (Te) dari golongan VI. Bahan ini identik dengan SnS dan SnTe. Pada masing-masing atom ini mempunyai karakteristik dan fungsi yang berbeda-beda yaitu:

1. *Stannum* merupakan logam perak yang berwarna keputih-putihan dan bersifat lunak, mempunyai struktur kristal tetragonal. Sn merupakan logam yang dapat ditempa dan tidak mudah teroksidasi dalam udara sehingga tahan karat, Sn sangat baik digunakan sebagai pelindung logam lain dalam mencegah korosi. Tingkat resistansi dari *Stannum*

dapat ditingkatkan dengan pencampuran logam lain, sehingga manfaatnya baik digunakan secara tunggal maupun sebagai paduan logam dengan logam yang lain. Sn memiliki sifat konduktor dibawah suhu 3,72 K dan termasuk golongan IV dengan:

nomor atom	= 50
masa atom relatif (Ar)	= 118,71 gram/mol
titik lebur	= 505,05 K (231,9°C)
titik didih	= 2543,15 K (2270°C)

2. *Sulfide* merupakan logam padatan kristalin berwarna kuning pucat. Semikonduktor S menunjukkan sifat fotofoltaik dan sifat foto konduktif.

Sulfide merupakan golongan IV A, dengan:

nomor atom	= 16
masa atom relatif (Ar)	= 32,065 gram/mol
titik lebur	= 388,36 K (115,21°C)
titik didih	= 717,8 K (444,6°C)
struktur kristal	= <i>orthorombik</i> (www.webelements.com)

3. *Tellurium* merupakan logam yang berwarna abu-abu kehitaman, berbentuk pellet dengan diameter 1-3 mm. *Sulfide* merupakan golongan IV A, dengan:

nomor atom	= 52
masa atom relatif (Ar)	= 127,6 gram/mol
titik lebur	= 449,51 °C
titik didih	= 988°C

struktur kristal = *trigonal* (www.webelements.com)

4. Semikonduktor SnS adalah semikonduktor yang terdiri dari atom Sn yang telah dikotori dengan atom S.

berat atom = 127,6 gram/mol

titik lebur = 880 °C

titik didih = 1.210°C

energi gap = 1,7 eV (www.webelements.com)

5. Semikonduktor SnTe adalah semikonduktor yang terdiri dari atom Sn yang telah dikotori dengan atom Te.

berat atom = 246,31

titik lebur = 790 °C

titik didih = 6.500 °C

energi gap = 0,4 eV (www.webelements.com)

6. Semikonduktor Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) merupakan merupakan material hasil perpaduan dari tiga unsur yaitu Sn (*Stannum/Tin*), S (*Sulfur*), Te (*Tellerium*).

Dari penelitian ini perbandingan molaritas sebesar 0,8 dan 0,2. Dari perbandingan ini komposisi S lebih besar dari pada Te. Sehingga semikonduktor yang dihasilkan akan cenderung mengarah ke SnS. Sehingga dalam perhiungan parameter kisi dan struktur kristalnya dapat dibandingkan dengan JCPDS dari SnS.

D. Karakterisasi Lapisan Tipis

1. XRD

X-Ray Diffraction merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan masih sering digunakan sampai saat ini. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material. Dengan cara menentukan parameter kisi dan untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mempelajari kisi-kisi ruang dari intensitasnya secara cepat dan akurat (Brindley dan Brown, 1980). Tokoh ilmuwan yang pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895, ketika elektron yang dipercepat dengan tegangan yang tinggi dalam tabung vakum mengenai target yang berupa logam atau gelas, dan kemudian dihamburkan oleh target tersebut (Giancoli, 2001).

Prinsip kerja dari difraksi sinar-X sangat berbeda dengan difraksi pada umumnya (difraksi cahaya). Perbedaan ini dapat dilihat pada teori dan kegunaannya pada masing-masing difraksinya. Menurut Culliti (1978), sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang antara (0,5-2,5) Å. Jika seberkas sinar-X yang mempunyai panjang gelombang λ diarahkan pada permukaan kristal dengan sudut datang θ , maka sinar tersebut akan dihamburkan oleh bidang atom kristal dan menghasilkan puncak-puncak difraksi yang dapat diamati dengan peralatan difraktometer (Cullity, 1978). Cara kerja difraktometer sinar-X berdasarkan pada Hukum Bragg. Pola difraksi, intensitas dan sudut difraksi 2θ berbeda-beda untuk setiap bahan. Interferensi berupa puncak-

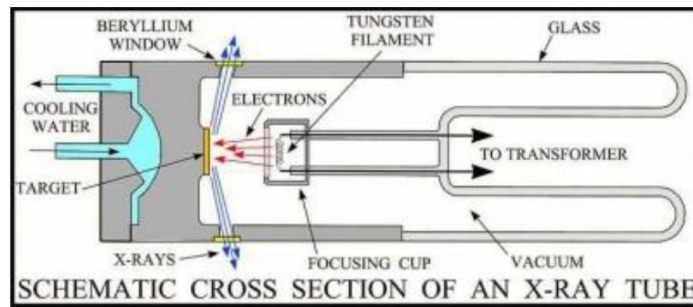
puncak intensitas diperoleh sebagai hasil proses difraksi. Dimana terjadi interaksi antara sinar-X dengan atom-atom pada bidang kristal (Lawrence, 2004).

a. Prinsip Kerja Sinar-X

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan energy berkisar antara 200 eV sampai 1 MeV. Panjang gelombang sinar-X lebih pendek dari pada radiasi ultra ungu yang dihasilkan dari penembakan atom-atom dengan partikel-partikel yang memiliki bilangan kuantum tinggi. Panjang gelombang ini hampir sama dengan jarak antara atom dengan kristal. Hal ini menyebabkan sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisa mineral (Suryanarayana dan Norton, 1998).

b. Pembangkitan Sinar-X

Sinar-X dihasilkan dari penembakan target (logam anoda) oleh elektron berenergi tinggi. Elektron ini berasal dari hasil pemanasan filamen dari tabung sinar-X (Rontgen). Tabung sinar-X ini terdiri dari empat komponen utama, yaitu filamen (katoda) yang merupakan sumber elektron, ruang vakum sebagai pembalasan hambatan, target sebagai anoda, dan sumber tegangan listrik. Keempat komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini:



Gambar 10. Skema Tabung Sinar-X
(Susanto, 2012)

Pada peristiwa pembentukan sinar-X dapat dijelaskan, bahwa elektron menuju anoda dengan kecepatan tinggi. Ketika elektron menumbuk anoda, seluruh energi potensial menjadi energi kinetik, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \quad (11)$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (12)$$

Saat mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang, atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X dengan panjang gelombang minimal. Peristiwa ini biasanya disebut dengan Bremsstrahlung. Besar panjang gelombang minimal dapat diketahui melalui persamaan berikut ini:

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad (13)$$

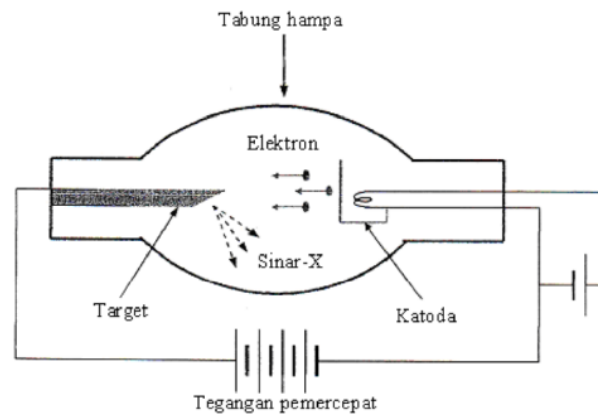
$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \quad (14)$$

dengan $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C dan $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ sehingga,

$$\lambda_{min} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{e = 1,6 \times 10^{-19} V} \quad (15)$$

$$\lambda_{min} = \frac{1,24 \times 10^{-6}}{V} \text{ \AA} \quad (16)$$

Peristiwa Bramstrahlung dapat pula dijelaskan melalui Gambar 11 berikut ini:



Gambar 11. Diagram Sinar-X
(Beiser, 1992: 62)

Pada gambar 11 di atas, digambarkan bahwa proses pembentukan sinar-X diawali dengan katoda yang dipanaskan dengan filamen yang dialiri arus listrik yang menyediakan elektron secara terus-menerus dengan emisi termionik. Sedangkan beda potensial V yang tinggi diantara katoda dan target, sehingga menghasilkan sinar-X.

Jika seberkas sinar-X ditembakkan pada sebuah atom, maka akan terjadi dua proses, yakni:

1. Energi berkas sinar-X terserap oleh atom.
2. Sinar-X dihamburkan oleh atom.

Pada proses yang pertama, berkas sinar-X diserap atom melalui efek fotolistrik yang mengakibatkan atom tereksitasi atau

elektron-elektron atom terlempar. Atom akan kembali pada keadaan dasar dengan memancarkan elektron (melalui *Auger Effect*), atau memancarkan sinar-X yang memiliki panjang gelombang karakteristik atom tereksitasinya.

Sedangkan pada proses yang ke-2, terdapat bagian berkas yang mengalami hamburan tanpa kehilangan energi (panjang gelombang tetap) dan ada bagian yang terhambur dengan kehilangan energi (hamburan *Compton*) atau hamburan tak koheren (Suminar, 2004: 3)

Suatu berkas sinar-X (monokromatik) yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah. Gelombang hambur itu ada yang berinterferensi konstruktif dan ada juga yang destruktif. Atom-atom pada kristal dapat dipandang sebagai unsur yang membentuk keluarga bidang datar. Dengan masing-masing keluarga mempunyai karakterisasi antar bidang-bidang komponen. Analisis ini diusulkan oleh W. L Bragg tahun 1913 (Beiser, 1992: 65). Suatu berkas sinar-X yang ditembakkan pada suatu permukaan material, maka akan terjadi fenomena difraksi gelombang yang memenuhi Hukum Bragg.

Elektron-elektron pada atom akan membiaskan berkas bidang yang tersusun secara periodik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Difraksi sinar-X oleh atom-atom pada bidang atom paralel yang terpisah oleh jarak d . Dianggap bahwa dua berkas sinar-X 1, 2 dan 3 yang bersifat paralel, monokromatik dan

koheren dengan panjang gelombang λ datang pada bidang sudut θ . Jika ke-tiga berkas sinar tersebut berturut-turut terdifraksi oleh A dan C menjadi $2'$, $1'$, $2''$ dan $3'$ yang masing-masing membentuk sudut θ terhadap bidang dan bersifat paralel monokromatik dan koheren. Perbedaan antara $1-A1'$ dengan $2-C-2''$ adalah sama dengan n kali panjang gelombang. Maka persamaan difraksi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n\lambda = BC + CD \text{ atau} \quad (17)$$

$$n\lambda = d \sin \theta + d \sin \theta \quad (18)$$

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (19)$$



Gambar 12. Difraksi Sinar-X oleh Atom-Atom pada Bidang (Zakaria. 2003)

Persamaan (19) dikenal sebagai Hukum Bragg, dengan n sebagai bilangan refleksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, 4, n). karena nilai $\sin \theta$ tidak melebihi 1, maka pengamatan berada pada interval $0 < \theta < \pi/2$, sehingga difraksi untuk nilai n terkecil ($n=1$), persmaanya menjadi:

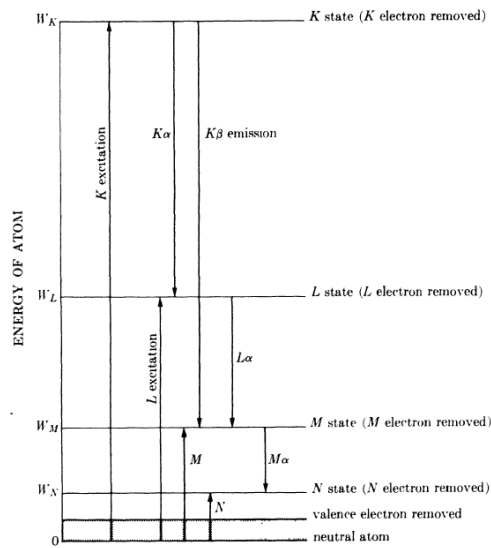
$$\lambda < 2d \quad (20)$$

Persamaan 12 menjelaskan bahwa panjang gelombang sinar-X yang digunakan untuk menentukan struktur kristal harus lebih kecil dari jarak antar atom (Zakaria, 2003).

Difraksi sinar-X merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat seperti struktur (seperti ukuran butur, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan berbagai sudut timbul pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data base internasional (Zakaria, 2003).

c. Sinar-X Karakteristik

Sinar-X dapat pula terbentuk melalui proses perpindahan elektron suatu atom dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Tingkat-tingkat energi dalam atom, digunakan untuk menjelaskan terjadinya spektrum sinar-X dari suatu atom (gambar 13). Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini akan memiliki energi yang sama dengan selisih energi pada kedua tingkat energi pada elektron tersebut.



Gambar 13. Transisi Elektron dan Karakteristik Radiasi (Cullity, 1978: 14)

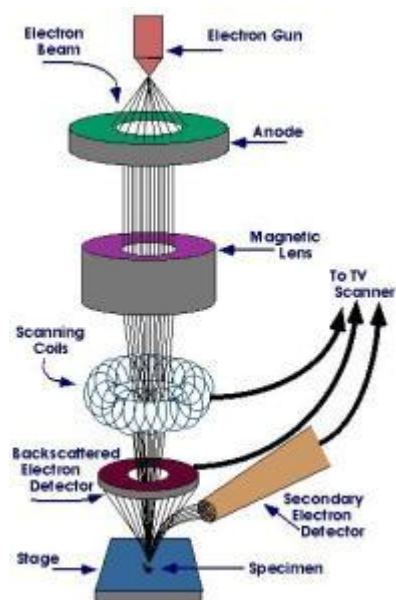
Karakteristik sinar-X terjadi karena elektron yang berada pada kulit K terionisasi sehingga terpental keluar. Kekosongan kulit K ini segera diisi oleh elektron dari kulit luarnya. Jika kekosongan kulit K diisi oleh elektron dari kulit L, maka akan dipancarkan karakteristik sinar-X K_{α} . Jika kekosongan itu diisi oleh elektron dari kulit atom M, maka akan dipancarkan karakteristik sinar-X K_{β} dan seterusnya (Beck, 1977).

2. SEM- EDAX

Scanning Electron of Microscopy (SEM) merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis karakteristik mikrostruktur dari bahan padat, seperti logam, keramik, polimer dan komposit. SEM mempunyai resolusi (daya pisah) dan ketajaman gambar yang tinggi. Selain itu, cara menganalisis tidak akan merusak

struktur bahan. SEM memiliki daya pisah sekitar 0,5 nm dengan perbesaran maximum 500.000 kali (Griffin dan Riessen, 1991).

Karakterisasi menggunakan SEM dilakukan untuk mendapat informasi morfologi sampel dalam berbagai bidang. Prinsipnya yaitu sifat gelombang dari elektron, yakni difraksi pada sudut yang sangat kecil. elektron dapat didifraksikan oleh sampel yang bermuatan. Untuk sampel nonkonduktor dilakukan pelapisan menggunakan karbon, emas ataupun paduan emas. Hal ini dimaksudkan untuk mengalirkan muatan elektron berlebih pada sampel ke *ground* (Verhoeven, 1986). Pola yang terbentuk menggambarkan struktur dari sampel. Kelebihan dari SEM adalah daya pisah yang sangat tinggi serta penggunaan berkas elektron dengan panjang gelombang yang pendek. Gambar 14 merupakan skema dari SEM



Gambar 14. Skema *Scanning Electron Microscope* (SEM)
(materialcerdas.wordpress.com)

Adapun cara kerja dari SEM-EDAX yaitu Elektron Gun merupakan sumber elektron dari bahan material yang menggunakan energi tegangan tinggi, yakni berkisar antara 10-40 kV. Adapun material yang dapat digunakan *tungsten* dan *lanthanum* atau *hexaboride cerium* (LaB₆ atau CeB₆). *Tungsten* yang digunakan sebagai elektron Gun dalam SEM-EDAX merupakan material pertama yang digunakan sebagai sumber elektron karena mempunyai sifat mekanik dan titik lebur yang tinggi, yakni sekitar 3400°C dan sesuai jika diaplikasikan pada tabung sinar-X yang bekerja menggunakan tegangan tinggi.

Adanya energi panas pada bahan-bahan material akan diubah menjadi energi kinetik oleh elektron, sehingga ada pergerakan elektron. Jika energi panas yang diterima besar, maka energi kinetik yang dihasilkan besar pula. Sehingga pergerakan elektron menjadi lebih cepat yang mengakibatkan elektron tersebut terlepas dari permukaan bahan material. Bahan yang digunakan sebagai sumber elektron disebut sebagai emiter, atau sering disebut katoda. Sedangkan bahan yang menerima elektron disebut sebagai anoda atau *plate* dalam instrumen SEM-EDAX.

Lensa magnetik yang terdiri dari dua buah kondensator bekerja untuk memfokuskan arah elektron. Selain itu lensa magnetik juga berfungsi untuk menguatkan elektron, sehingga menghasilkan gambar yang berkualitas. Lensa magnetik terbuat dari kumparan kawat tembaga yang membawa arus langsung dan menghasilkan medan

magnet. Scanning foil, pada instrumen ini berfungsi untuk mengumpulkan berkas sinar elektron, karena pada dasarnya elektron yang dipancarkan ke sampel tidak terjadi secara kontinyu. Namun berupa paket-paket energi. Setelah terjadi tumbukan antara elektron dan sampel, detektor akan merekam interaksi yang terjadi pada sampel.

Detektor SE (*secondary electron*) merupakan sebuah sintilator yang akan menghasilkan cahaya jika mengenai elektron. Cahaya tersebut akan dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh photomultiplier. Dalam sintilator terdapat potensial positif yang digunakan untuk mempercepat aliran SE, sehingga SE yang memiliki energi rendah (beberapa volt) dapat ditangkap detektor dengan baik. Sedangkan detektor BSE yang juga terdapat sintilator dapat menerima sinyal BSE tanpa adanya beda potensial. Hal ini karena BSE sudah mempunyai energi yang cukup tinggi untuk diterima oleh detektor BSE.

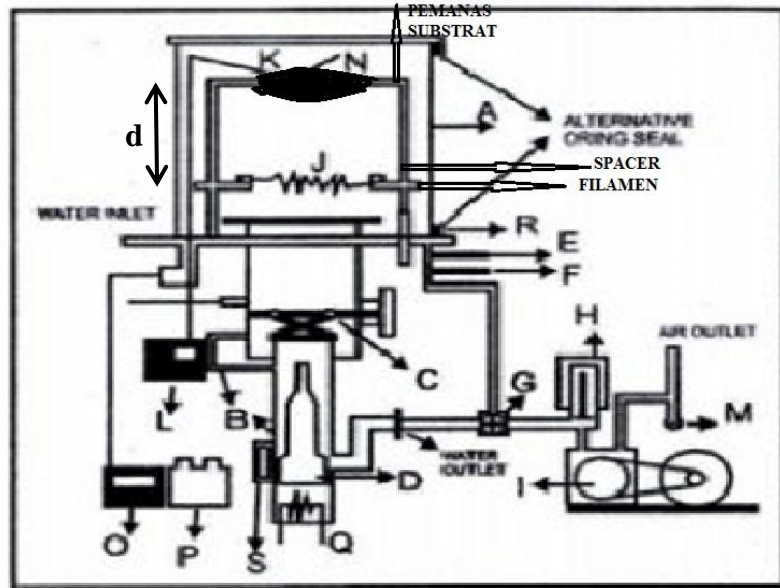
E. Teknik Evaporasi Vakum

Teknik pemvakuman merupakan suatu teknik yang cukup penting dalam bidang fisika. Kerana beberapa proses pengukuran besaran-besaran maupun konstanta-konstanta dilakukan pada keadaan vakum. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi tumbukan molekuler perdetik, sehingga akan memperkecil kontaminasi permukaan ruang yang divakumkan pada lapisan tipis (Syahrul Chaironi, dkk. 2012:2)

Secara garis besar teknik dalam pembuatan lapisan tipis dapat dibedakan menjadi dua teknik. Pertama adalah teknik *Physical Vapor*

Deposition (PVD). Contohnya adalah *Vacum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition (CSVT)*, *sputtering* dan teknik yang kedua adalah *Chemical Vapor Deposition (CVD)* yang terdiri dari *Low Pressure Chemical Vapor Deposition (LPCVD)* dan *MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)*.

Pada penelitian ini dilakukan preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum yang merupakan bagian dari PVD (*Physical Vapor Deposition*). Metode evaporasi vakum ini merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang hampa. Preparasi bahan dibutuhkan suatu alat preparasi lengkap yang akan digunakan untuk menguapkan bahan yang kemudian akan menempel pada preparat (substrat kaca) yang sudah disediakan atau dalam penelitian ini berupa lapisan tipis. Pada sistem evaporasi ini disediakan pemanas yang berfungsi untuk menguapkan bahan yang diinginkan. Pada pemanas dilewatkan arus yang cukup tinggi untuk membawa bahan sumber ke suhu evaporasi yaitu suhu yang tekanannya cukup untuk mendesak keluar uap.



Gambar 15. Skema Sistem Evaporasi Vakum
(Haryanto, 2013: 49)

Keterangan Gambar 15

- A. Coating chamber yang terbuat dari kaca keras
- B. Pompa pendingin
- C. Katup pemisah
- D. Pompa difusi
- E. Katup udara buang
- F. Katup pengontrol tekanan
- G. Katup dua arah
- H. Katup pemisah pompa rotari dengan pompa difusi
- I. Pompa rotari sekat
- J. Crusible
- K. Kabel penghubung
- L. Termokopel
- M. Perangkat uap
- N. Substrat
- O. Manometer pening
- P. Pompa air
- Q. Filament difusi
- R. Rubber socket
- S. Thermostat

$d = \text{jarak spacer (cm)}$

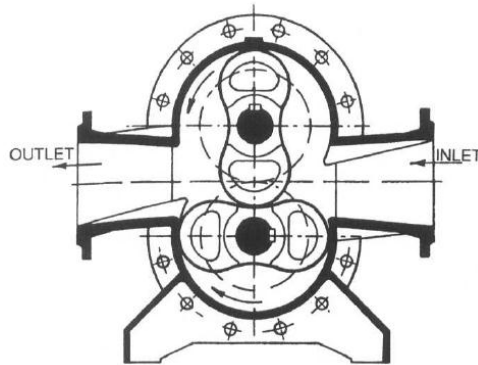
Pompa dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu:

1. *Rough pumps*: 1000 mbar hingga 10^{-3} mbar. Contohnya: *Rotary-vane pump* (pompa rotari geser), *Root's pump*, *sorbtion pump*.
2. *High vakum pump*: 10^{-3} - 10^{-8} mbar. Berikut merupakan beberapa contoh pompa yang masuk dalam kategori *high vakum pump*: *Oil diffusiom pump*, *Turbo molekuller, pump*, *Cryopump* dll.
3. *Ultrahigh vakum pumps*: yang memiliki tekan lebih kecil dari 10^{-8} mbar. *Titanium sublimation pump* dan *Ion pump* merupakan contoh dari vakum jenis ketiga ini (Ariswan, 2013: 17).

Upaya mengosongkan suatu ruangan, mulai dari tekanan atmosfer hingga mencapai 10^{-6} mbar, maka dibutuhkan pompa yang bekerja sesuai dengan daerah kerjanya. Dalam pembuatan lapisan tipis ini dibutuhkan minimal dua pompa untuk mendapatkan vakum tinggi. Yang pertama adalah pompa rotari dan yang kedua adalah pompa difusi.

1. Pompa Rotari Sekat

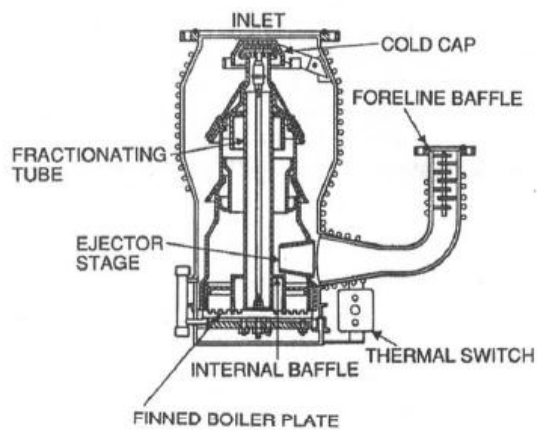
Pompa rotari mampu bekerja hingga 10^{-2} mbar. Sehingga pompa ini layak jika digunakan untuk pemvakumam, yang daerah kerjanya dalam *range* 10^{-6} mbar. Pompa ini termasuk dalam jenis *roughing pump*. Pompa ini terdiri dari rotor yang bentuknya silinder dan suatu stator. Pada rotor terdapat sekat pegas, sehingga ketika rotor berputar sekat selalu mengenai dinding stator yang berbentuk silinder. Rotor berputar tidak pada sumbu rumah pompa. Sementara sekat (vane) bergerak dalam lubang rumah pompa dan tekanan pada stator, sehingga mampu memisahkan dua ruangan yang mempunyai tekanan yang berbeda (Ariswan, 2013: 17).



Gambar 16. Skema Pompa Rotari
(Ohring, 2002: 73)

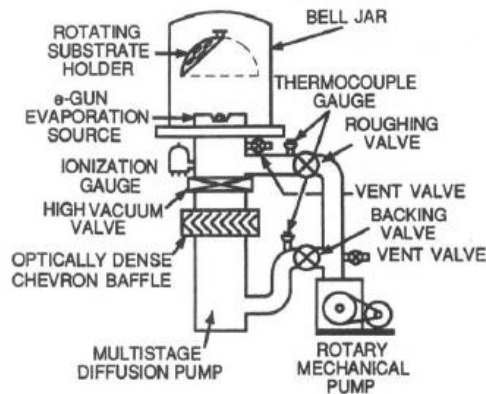
2. Pompa Difusi

Pompa difusi merupakan pompa yang mempunyai daerah kerja pada tekanan uapnya sangat rendah. Prinsip kerja dari pompa difusi yakni dengan cara mengalirkan uap yang diperoleh dari didihan minyak organik atau merkuri kemudian termampatkan saat bertumbukan dengan dinding pompa yang didinginkan (Syahrul Choironi, dkk, 2012:2).



Gambar 17. Skema Pompa Difusi
(Ohring, 2002:75)

Berikut ini merupakan skema sistem evaporasi



Gambar 18 Skema Sistem Evaporasi
(Ohring, 2002:81)

Beberapa tahapan yang terjadi dalam proses penumbuhan lapisan tipis dengan menggunakan metode evaporasi vakum, antara lain:

1. Sintesis material yang dideposisikan:
 - a. Transisi fase terkondensasi dari padat atau cair menjadi fase uap.
 - b. Pada pendeposisian senyawa, reaksi antara komponen beberapa senyawa yang dimasukkan kedalam ruang evaporasi sebagai gas atau uap.
2. Perpindahan uap antara sumber dan substrat.
3. Kondensasi uap dan gas yang diikuti nukleasi dan penumbuhan lapisan tipis (Herlambang: 2012).

Proses evaporasi berlangsung pada ruang hampa $10^{-5} - 10^{-7}$ mbarr, proses evaporasi dimulai uap selain material sumber hampir seluruhnya dihilangkan. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan partikel yang bersifat pengotor serta untuk memperbesar jarak rata-rata. Pada keadaan vakt tanpa bertabrakan dengan partikel gas lain (Ariswan, 2004).

Pada keadaan vakum tidak dapat dilihat oleh kasat mata, karena pengisian ruang berupa gas. Untuk itu dibutuhkan besaran fisis lain yang berkaitan dengan tingkat kevakuman agar dapat dilakukan pengukuran. Pada teknik evaporasi ini, pengukuran dilakukan menggunakan *manometer penning* (alat untuk mengukur kevakuman udara), dimana jika tingkat kevakuman tinggi, maka tekanan udara didalamnya rendah, begitu pula sebaliknya

F. SEL SURYA

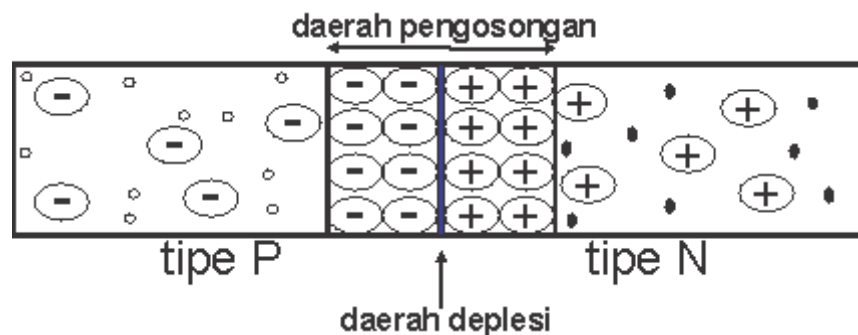
Sel surya merupakan suatu elemen aktif dengan ukuran ketebalan yang sangat tipis, yakni dalam range milimeter yang dapat dimanfaatkan langsung untuk mengubah radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sifat fisis yang menunjukkan penggunaan suatu bahan sel surya secara umum adalah sifat listrik dan sifat listriknya.

Prinsip dasar pembuatan sel surya yaitu memanfaatkan efek fotovoltaiik. Yaitu suatu efek yang mampu mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik. Fotovoltaiik sering diartikan sebagai proses perubahan suatu cahaya menjadi energi listrik. Ahli fisika yang menemukan fotovoltaiik pertama kali adalah Alexander Edmond Becquerel pada tahun 1839 (Ariswan, 2010:3).

Proses perunahan atau konversi dari cahaya menjadi energi listrik ini dikarenakan bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Sel surya yang sederhana ini terdiri dari sambungan dua semikonduktor. Yaitu antar sambungan semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Kedua jenis

semikonduktor ini jika disambungkan akan membentuk sambungan p-n (p-n junction) atau dioda p-n.

Dalam p-n junction tersebut terdapat tiga daerah yang berbeda. Yakni daerah tipe-p, daerah tipe-n serta daerah pengosongan atau deplesi. Pada daerah tipe-p mayoritas pembawa muatannya adalah *hole* (positif). Sedangkan pada daerah tipe-n mayoritas pembawa muatannya adalah elektron (muatan negatif) serta pada daerah deplesi terdapat medan listrik internal yang arahnya dari n ke p. Jika sinar matahari mengenai sel surya tersebut, maka akan terbentuk *hole* dan elektron. Karena pengaruh medan listrik internal, maka *hole* akan bergerak menuju daerah tipe-p. Yang mayoritas pembawa muatannya adalah *hole* dan elektron akan bergerak menuju daerah tipe-n yang mayoritas pembawa muatannya berupa elektron. Sehingga menghasilkan arus difusi (Reka Rio, 1982:59). Proses ini dapat diperjelas dengan Gambar 15 berikut ini:



Gambar 19. Sambungan Semikonduktor p dan n
(www.elektronikakelistrikan.blogspot.com)

Dalam aplikasi sel surya, semikonduktor tipe-n dibuat jauh lebih tipis dari pada semikonduktor tipe-p. Semikonduktor tipe-n ini diletakan di atas lapisan semikonduktor tipe-p yang menghadap ke arah datangnya matahari.

Hal ini dimaksudkan agar cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke arah deplesi dan selanjutnya masuk ke semikonduktor tipe-p. Saat cahaya mengenai sambungan semikonduktor, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan diri dari semikonduktor tipe-n, daerah deplesi maupun dari semikonduktor itu sendiri.

Elektron yang lepas akan meninggalkan *hole*, ini menyebabkan terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari. Serta sambungan p-n terdapat medan listrik E , elektron tertarik ke arah semikonduktor tipe-n. Sementara *hole* tertarik ke arah semikonduktor tipe-p. Ketika kabel dihubungkan kedua bagian semikonduktor tersebut, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Akibat pergerakan elektron ini menimbulkan arus listrik. Jika sebuah lampu dihubungkan ke kabel, lampu akan menyala yang dikarenakan mendapat arus listrik (Wibeng Diputra, 2008: 7).

Absorber merupakan bagian yang paling penting sebagai bagian perubah energi matahari menjadi energi listrik. Sinar matahari yang terdiri dari foton-foton jika mengenai *absorber* (bahan sel surya) maka akan diserap, dipantulkan dan diteruskan. Hanya dengan tingkat energi tertentu, elektron dapat dibebaskan dari ikatan atomnya sehingga mengalirkan energi listrik.

Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalenya, energi foton hanya sedikit lebih besar dari energi gapnya. Agar foton dapat diserap sebanyak banyaknya, maka absorber harus mempunyai energi gap yang lebar, sehingga mampu untuk menyerap sinar matahari (Bahtiar, 2011).

Berikut merupakan beberapa keunggulan sel surya:

1. Sel surya mampu menghasilkan energi listrik tanpa harus membakar bahan bakar fosil ataupun melakukan reaksi nuklir.
2. Sel surya dapat beroperasi dengan baik hampir di seluruh dunia yang tersinari cahaya matahari.
3. Sel surya mampu digunakan tanpa polusi, baik udara maupun suara, serta dapat digunakan di segala cuaca.
4. Sel surya mudah digunakan, sesuai dengan kebutuhan, meskipun sel surya tidak mempunyai bagian yang bergerak.

Menurut kronologi perkembangannya, sel surya dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Sel surya generasi pertama, sel surya ini mempunyai ciri-ciri dengan memanfaatkan water silikon sebagai struktur dasar sel surya.
2. Sel surya generasi kedua, pada generasi ke-dua ini memanfaatkan teknologi deposisi bahan untuk menghasilkan lapisan tipis yang dapat berperilaku sebagai sel surya.
3. Sel surya generasi ketiga, dicirikan memanfaatkan teknologi *band gap engineering* untuk menghasilkan sel surya berefisiensi tinggi dengan konsep tandem atau *multiple stacks*.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Laboratorium Fisika Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta (FMIPA UNY) pada bulan Maret sampai April. (telah dilakukan preparasi pada $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ di Laboratorium Material FMIPA UNY, menggunakan teknik evaporasi vakum) pada bulan Maret sampai April 2016.
2. Laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta (FMIPA UNY). Pada tanggal 21 April 2016 telah dilakukan karakterisasi menggunakan *X-RD (X-Ray Diffraction)* di Laboratorium Kimia FMIPA UNY untuk mengetahui hasil struktur kristal yang terbentuk pada lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ pada variasi jarak *spacer* 10 cm, 15cm, dan 25 cm.
3. Lembaga Pusat Penelitian Terpadu Universitas Gajah Mada pada tanggal 03 Juni 2016 telah dilakukan karakterisasi menggunakan *SEM (Scanning Electron Morfology)* untuk mengetahui struktur morfologi lapisan tipis dan *EDAX (Energi Dispersif Analisis of X-Ray)* untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis pada sampel lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dengan jarak *spacer* 25 cm.

B. Bahan dan Alatan Penelitian

1. Jenis bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - a. Semikonduktor *masif* $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil dipreparasi dengan Teknik Brigman
 - b. Subtrat kaca dengan ketebalan 1mm.
 - c. Aquades, alkohol 98%, , dll
2. Jenis alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - a. Alat-alat yang digunakan dalam proses preparasi bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ adalah:
 - 1) Timbangan digital yang digunakan untuk menimbang bahan yang akan dibuat untuk lapisan tipis. Timbangan ini mempunyai ketelitian 0,001 g.
 - 2) *Furnace* yang digunakan untuk mengeringkan subtrat/ kaca
 - 3) Pompa difusi merupakan salah satu jenis pompa yang mempunyai tekanan yang tinggi. Pompa ini bekerja pada tekanan 10^{-3} mbar sampai 10^{-8} mbar.
 - 4) Pompa Pendingin berfungsi sebagai sirkulator proses pendinginan pada pompa.
 - 5) Pompa Rotari
 - 6) Subtrat Kaca digunakan sebagai tempat menempelnya bahan lapisan tipis yang terdeposisi.
 - 7) Multimeter ini digunakan untuk mengukur pemanas subtrat.
 - 8) Manometer *Penning* digunakan sebagai pengontrol tekanan ruang vakum.

- 9) Sistem Evaporator merupakan alat utama yang digunakan dalam preparasi lapisan tipis pompa sampel bahan.
 - 10) Kaca Transparasi yang digunakan sebagai substrat untuk menempelnya lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.
 - 11) Slide Regulator digunakan sebagai pengatur tegangan.
 - 12) Termokopel digunakan sebagai pengontrol suhu substrat saat terjadi evaporasi.
- b. Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi bahan semikonduktor adalahh:
- i. *X-RD (X-Ray Diffraction)* merupakan perangkat yang digunakan dalam karakterisasi lapisan tipis untuk mengetahui struktur kristal pada lapisan tipis. Mesin XRD yang digunakan bermerk Miniflex 600 Rigaku.

Tabel 5. Spesifikasi XRD Miniflex 600

Mini Flex 600		
Software	Instrument control	Control & Measurement
	Data analysis	PDXL
Generator	Maximum power	600 W
	Tube voltage	40 kV
	Tube current	15 mA
	Shutter	Rotary shutter linked to interlock
	X-ray Tube	Cu, Co, Fe, or Cr
Optics	Divergence slit	Fixed or variable
	Scattering slit	Fixed
	Receiving slit	Fixed
	Filter	K β foil filter
	Monochromator (optional)	Graphite
Goniometer	Soller slit	5.0° or 2.5°
	Type	Vertical
	Radius	150 mm
	Scanning range	-3 to 145° (2 θ)
	Scanning speed	0.01 to 100°/min (2 θ)
	Minimum step width	0.005° (2 θ)
Detector	Accuracy	$\pm 0.02^\circ$
	Scintillation counter	NaI scintillator
Detector	D/teX Ultra (Optional)	High speed silicon strip detector
	Dimensions	Main body
Heat exchanger (Optional)		460W-570H-510D (mm)
Weight	Main body	Approx. 80 kg
	Heat exchanger (Optional)	Approx. 50 kg
Power Suplay	Main body	100 to 240 VAC 1 ϕ $\pm 10\%$
		50/60 Hz $\pm 1\%$ 1.0 kVA
	PC	100 to 240 VAC 1 ϕ $\pm 10\%$
		50/60 Hz $\pm 1\%$ 0.7 kVA
Heat exchanger (optional)	100 to 240 VAC 1 ϕ $\pm 10\%$	
	50/60Hz $\pm 1\%$ 1.1kVA	

(www.rigaku.com)

- ii. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merupakan perangkat karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui struktur morfologi lapisan tipis. Elektron sekunder akan menggambarkan morfologi permukaan lapisan tipis dengan perbesaran ribuan kali.
- iii. EDAX (*Energi Dispersif Analisis of X-Ray*) merupakan perangkat yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis. Mesin SEM-EDAX yang digunakan pada penelitian ini yaitu JEOL JSM-6510LA.

Tabel 6. Spesifikasi Mesin SEM-EDAX JEOL JSM-6510LA

ResolutionHV mode	3.0 nm (30 kV) 、 8 nm (3 kV) 、 15 nm (1 kV)
LV mode ^{*1}	4.0 nm (30 kV)
Magnification	× 5 to × 300,000 (on 128 mm × 96 mm image siza)
Preset magnifications	5 step, user selectable
Standard recipe	Built in
Custom recipe	Operation conditions (Optics, Image mode, LV pressure ^{*1}) Specimen stage
Image mode	Secondary electron image, REF image, Composition ^{*1} , Topography ^{*1} , Shadowed ^{*1}
Accelerating voltage	0.5 kV to 30 kV
Filament	Factory pre-centered filament
Electron gun	Fully automated, manual override
Condenser lens	Zoom condenser lens
Objective lens	Super conical objective lens
Objective lens apertures	3 stages, XY fine adjustable
Stigmator memory	Built in
Electrical image shift	± 50 μm (WD = 10 mm)
Auto functions	Focus, brightness, contrast, stigmator
Specimen stage	Eucentric large-specimen stage X: 80 mm, Y: 40 mm, Z: 5 mm to 48 mm, Tilt: -10° to 90°, Rotation: 360°
Reference image (Navigator ^{*3})	4 images
Specimen exchange	Draw out the stage

Maximum specimen	150 mm diameter
PC	IBM PC/AT compatible
OS	Windows 7
Monitor	19 inch LCD, 1 or 2 ^{*2}
Frame store	640 × 480, 1,280 × 960, 2,560 × 1,920, 5,120 × 3,340
Dual live image	Built in
Full size image display	Built in
Pseudo color	Built in
Multi image display	2 images, 4 images
Digital zoom	Built in
Dual magnification	Built in
Network	Ethernet
Measurement	Built in
Image format	BMP、TIFF、JPEG
Auto image archiving	Built in
Pumping system	Fully automated, DP: 1, RP: 1 or 2 ^{*1}
Switching vacuum mode^{*1}	Through the menu, less than 1 minute
LV Pressure^{*1}	10 to 270 Pa
JED-2300 EDAX^{*2}	Built in

(<http://www.jeol.co>)

C. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel bebas : Jarak *spacer*.
2. Variabel kontrol : *Crucible*, tegangan pemanas subtrat, masa bahan , tekanan vakum, suhu pemanasan subtrat, waktu pendeposisian.

3. Variabel terikat : Struktur kristal, Parameter kisi kristal.

D. Prosedur dalam Penelitian

Pada penelitian ini melalui tiga tahap, yaitu untuk tahap pertama, pembuatan substrat, penelitian tahap II (pembuatan lapisan tipis) dan penelitian tahap III (karakterisasi lapisan tipis)

1. Penelitian Tahap I

Pada penelitian tahap 1 yaitu tahap pembuatan lapisan tipis. Beberapa tahapan dalam proses persiapan yaitu:

a. Tahap Persiapan

- 1) Menyiapkan bahan semikonduktor yang akan dipreparasi, yaitu *masif* $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$, kemudian menggerus bahan tersebut.
- 2) Memotong kaca preparat.
- 3) Mencuci kaca preparat menggunakan *detergen* yang kemudian dibersihkan lagi menggunakan alkohol.
- 4) Mengeringkan preparat menggunakan *furnice* sampai suhu 100°C selama satu jam.
- 5) Menimbang bahan semikonduktor dengan timbangan analitik dengan masa 0,025 gram.
- 6) Membuka *chamber* pada sistem evaporator kemudian memasukan bahan yang akan dipreparasi ke dalam *crucible* yang telah dipasang.
- 7) Meletakkan kaca preparat pada holder.
- 8) Memasang pemanas substrat.

- 9) Menghubungkan kabel dari *slideregulator* ke pemanas substrat.
- 10) Menutup kembali *chamber*.

b. Penelitian Pendeposisian

Penelitian selanjutnya yaitu tahap pendeposisian lapisan tipis yang dilakukan pada substrat kaca dengan tahap-tahap sebagai berikut:

- 1) Menghidupkan pompa *rotary* dan membuka katup pertama pada posisi *rough valve system* dan tunggu sekitar 10 menit.
- 2) Menghidupkan pompa difusi dengan menyetel *slide regulator* pada tegangan 210 volt dan tunggu sekitar 20 menit.
- 3) Membuka katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve system* selama 10 menit.
- 4) Membuka *bypass valve system* selama 10 menit. Setelah 10 menit katup digeser ke posisi *rough valve system* dan 10 menit sebelum membuka *bypass valve system* memutar kembali ke posisi *back valve system*.
- 5) Menghidupkan *manometer penning* serta mengamati tekanan yang terjadi.
- 6) Memanaskan pemanas substrat dengan menghidupkan dan mengatur *slide regulator* untuk mendapatkan/menentukan suhu substrat yang diharapkan dan menghidupkan termokopel.
- 7) Setelah tekanan yang diinginkan tercapai, maka proses pendeposisian siap untuk dimulai.
- 8) Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* sehingga bahan yang berada di *crucible* habis.

Tabel 7. Parameter Preparasi Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2})

Parameter	Sampel I	Samplel II	Sampel III
Jarak penyangga (<i>spacer</i>)	10	15	25
Masa bahan	0,250 gram	0,250 gram	0,250 gram
Pemanas substrat	21 volt	23,5 volt	24 volt
Suhu substrat	350°C	350°C	350°C
Tekanan vakum	5 x 10 ⁻⁵ mbar	5 x 10 ⁻⁵ mbar	5 x 10 ⁻⁵ mbar
Waktu pendeposisian	8 menit	8 menit	8 menit

- 9) Proses pendeposisian selesai, kemudian mengatur *slide* regulator pada posisi nol kemudian mematikannya.
- 10) Menutup katup *bypass valve* system dari posisi O ke F, kemudian memutar slide regulator pada posisi nol kemudian dimatikan.
- 11) Mematikan manometer *penning* dan menunggu sampai pompa difusi dingin.
- 12) Mengatur atau menggeger katup pada posisi stop.
- 13) Mematikan pompa rotary kemudian mematikan pompa airnya.
- 14) Tahap pemdeposisian selesai.

c. Tahap Deposisi Hasil

- 1) Pengambilan membuka *chamber*, sehingga tekanan pada ruangan *chamber* menjadi normal.
- 2) Membuka *chamber* dan melepaskan *chamber* dari dudukanya.
- 3) Melepaskan kabel yang terhubung dengan pemanas substrat.
- 4) Menambil *holder*.

- 5) Memindahkan substrat yang telah terlapisi bahan ke dalam wadah yang tertutup rapat.
- 6) Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan katupnya.

2. Penelitian Tahap II

Penelitian tahap ke-dua yaitu karakteristik lapisan tipis dengan menggunakan X-RD, SEM dan EDAX

a. Karakterisasi menggunakan X-RD

Karakterisasi menggunakan XRD ditujukan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis. Dalam karakterisasi ini, sampel dimasukan ke dalam *specimen chamber* pada mesin XRD. Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram yang menunjukkan antara intensitas (I) dengan sudut hamburan (2θ).

b. Karakterisasi menggunakan SEM dan EDAX

Sampel yang akan dikarakterisasi menggunakan SEM dan EDAX terlebih dahulu dipotong sekitar 0,5 cm. Kemudian direkatkan pada tempat sampel menggunakan lem konduktif. Setelah sampel dikeringkan menggunakan *water heater*, sampel dimasukkan ke dalam mesin SEM-EDAX. Sehingga menghasilkan foto hasil morfologi permukaan dan grafik komposisi kimia bahan semikonduktor.

E. Analisis Data

Karakteristik menggunakan XRD menghasilkan data yang berupa difraktogram. Pada data difraktogram ini menunjukkan data hubungan antara

intensitas (I) terhadap fungsi sudut difraksi (2θ). Selanjutnya hasil difraktogram tersebut dicocokkan dengan data JCPDS (*Joint Committee On Powder Diffraction Standard*) menggunakan program komputer PCPDFWIN. Dari hasil pencocokan ini, kemudian akan didapatkan bidang hkl dari sampel. Penentuan nilai parameter kisi a , b dan c menggunakan dua metode perhitungan. Yang pertama menggunakan metode penghalusan *Le Bail* melalui program komputer LPHM-Rietica. Dan yang selanjutnya menggunakan metode analitik, sehingga dihasilkan yang akurat. Pada ketiga sampel tersebut, kemudian dibandingkan untuk mengetahui variasi jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas kristal lapisan tipis.

Metode *Le Bail* berfungsi untuk *refinement* atau penghalusan data difraktogram hasil XRD. Proses penghalusan berujuan untuk pola atau grafik model yang mirip dengan difraktogram hasil XRD. Pada metode *Le Bail*, intensitas dari berbagai macam pemantulan sinar-X dihitung menggunakan suatu model acuan struktur yang sesuai (Rusli, 2011:1).

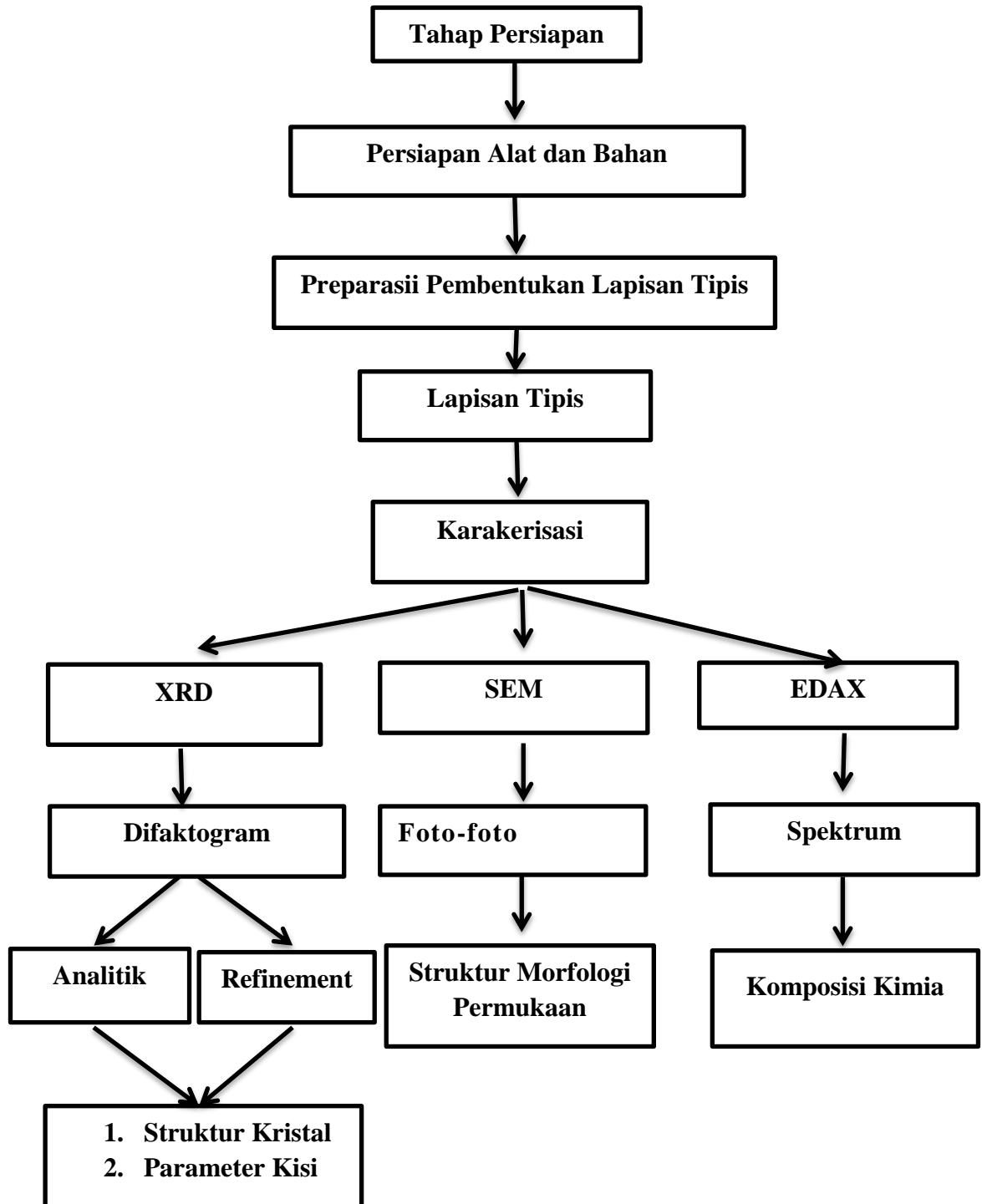
Dalam metode *Le Bail* ini, penghalusan dilakukan dengan melakukan pergeseran nilai-nilai parameter kisi dan parameter yang lain, misalnya: bentuk puncak, sehingga dihasilkan kemiripan struktur yang maksimal antar difraksi sinar-X dari hasil penelitian dengan struktur mode acuan yang digunakan. Kemiripan antara difraksi sinar-X dari hasil penelitian dengan model acuan ditandai dengan adanya grafik residu yang terplot mendekati lurus. Hasil dari penghalusan akan menghasilkan data output tersebut yang terdapat nilai parameter kisi. Nilai parameter kisi hasil dari penghalusan yang dilakukan akan menjadi parameter kisi dari difraksi sinar-X hasil penelitian,

hal ini yang akan dijadikan sebagai pembandingan metode analitik (Rusli,2011:1).

Karakterisasi menggunakan SEM menghasilkan foto yang menunjukkan morfologi permukaan lapisan tipis. Foto yang dihasilkan terdiri dari beberapa perbesaran, sampai terlihat *grain* serta homogenitas kristal terlihat jelas. Sementara EDAX menghasilkan data spektrum yang menunjukkan hubungan antar intensitas terhadap energi. Kemudian dari hasil grafik tersebut, kan didapatkan data yang menunjukkan komposisi kimia bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.

F. Diagram Alir Tahap Penelitian

Berikut merupakan diagram alir tahap penelitian



Gambar 20. Diagram Alir Penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

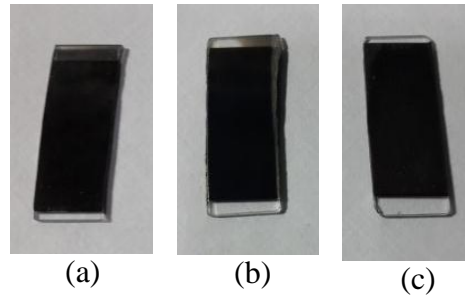
Preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ pada penelitian ini menggunakan teknik evaporasi vakum. Suhu substrat yang dipilih pada pemvakuman ini yakni 350°C serta lama pemvakuman ± 120 menit dan secara keseluruhan pemvakuman pada ketiga sampel hampir sama, yaitu berkisar 5×10^{-5} mbar dengan variasi *spacer*. Dari penelitian ini dihasilkan 3 sampel lapisan tipis dengan jarak *spacer* 10 cm, 15 cm dan 25 cm.

Proses pendeposisian diawali dengan melakukan pemvakuman pada ruangan sekitar bahan substrat. Selah itu, dilakukan pemanasan masif $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ yang telah ditimbang senilai 0,250 gram dengan perbandingan molar 1: 0,8 : 0,2 yang kemudian dimasukkan dalam *crusible*. Pemanasan ini dilakukan sampai seluruh bahan melebur, dan menguap serta menempel pada kaca preparat. Pemanasan ini dilakukan secara bertahap dengan mengatur tegangan pada *slide regulator* serta waktu pendeposisian yang telah ditentukan.

Tabel 8. waktu dan Tegangan pada Side Regulator

Tegangan Input (Volt)	Wktu (menit)	Temperature Substrat ($^\circ\text{C}$)		
		Sampel I	Sampel II	Sampel III
60	2	342	353	307
70	2	352	357	322
80	2	346	355	401
90	1	341	355	477
100	1	361	350	460

Secara keseluruhan, bentuk fisik dari ketiga sampel tidak terlihat perbedaan yang jelas. Ketiganya terlihat hampir sama, seperti pada Gambar 21.



Gambar 21. Foto Lapisan Tipis Hasil Preparasi Sampel I dengan Jarak *Spacer* 10 cm (a), Sampel II dengan Jarak *Spacer* 15 cm (b) dan Sampel III dengan Jarak *Spacer* 25cm (c)

Lapisan tipis ini, kemudian dianalisis menggunakan XRD untuk mendapatkan informasi struktur kristal dan parameter kisi. Setelah itu, baru kemudian dianalisis menggunakan SEM dan EDAX untuk memperoleh gambar morfologi lapisan tipis serta komposisi kimia.

B. Pembahasan

Bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ merupakan bahan semikonduktor perpaduan tiga unsur (*ternary*), yakni unsur Sn, S dan unsur Te. Bahan semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ merupakan gabungan dari semikonduktor SnS dan SnTe.

SnS merupakan gabungan bahan semikonduktor golongan IV-VI. Dimana, bahan semikonduktor ini selama beberapa tahun terakhir mendapat banyak perhatian. Bahan semikonduktor SnS sering diaplikasikan untuk perangkat fotovoltaik, foto-detektor dll. Dalam aplikasi optoelektronik,

bandgap dari semikonduktor SnS berkisar antara 1-1,6 eV, koefisien absorpsi besar ($>10^4/\text{cm}$). Selain karena SnS melimpah, bahan ini harganya relatif murah, tidak beracun dll. efisiensi konversi sel surya yang dibuat dari bahan SnS bisa mencapai 25%.

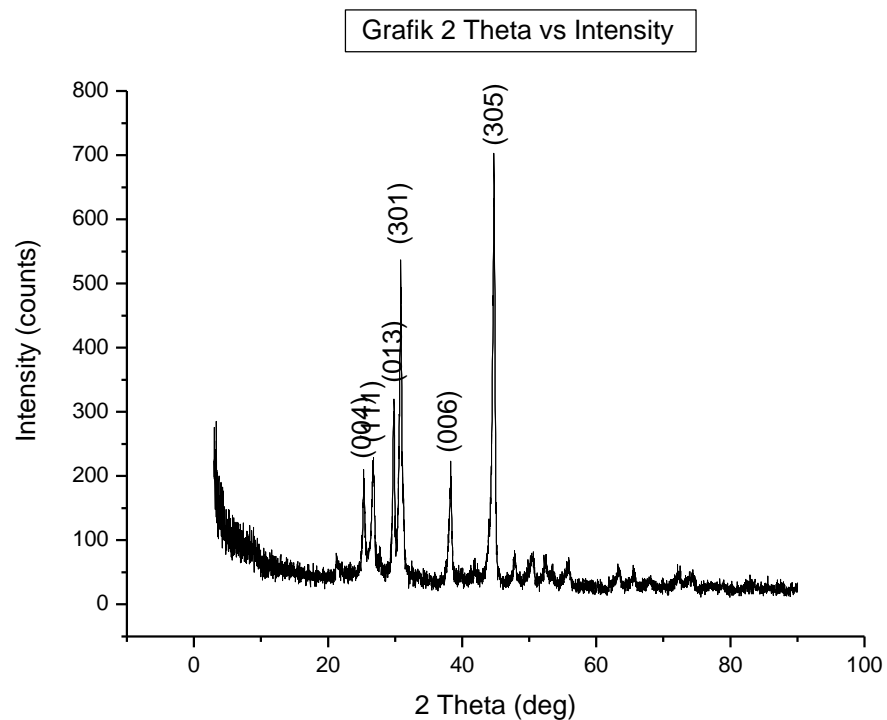
Untuk mengetahui kualitas kristal yang terbentuk, setelah melakukan penumbuhan kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan metode evaporasi vakum, kemudian dilakukan karakterisasi. Untuk yang pertama dilakukan karakterisasi menggunakan XRD, hasil dari XRD berupa difaktogram, yang kemudian dicocokkan dengan data JCPDFWIN. Setelah dicocokkan, data-data yang cocok dianalisis menggunakan metode analitik serta metode penghalusan menggunakan program komputer LPHM-*Rietica* untuk mendapatkan nilai parameter kisi. Setelah itu, kemudian dibandingkan nilai parameter kisi antara JCPDS. Analisis selanjutnya yakni menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui hasil morfologi permukaan kristal. Serta yang terakhir untuk mengetahui informasi komposisi kimia menggunakan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX).

1. Analisis Hasil XRD

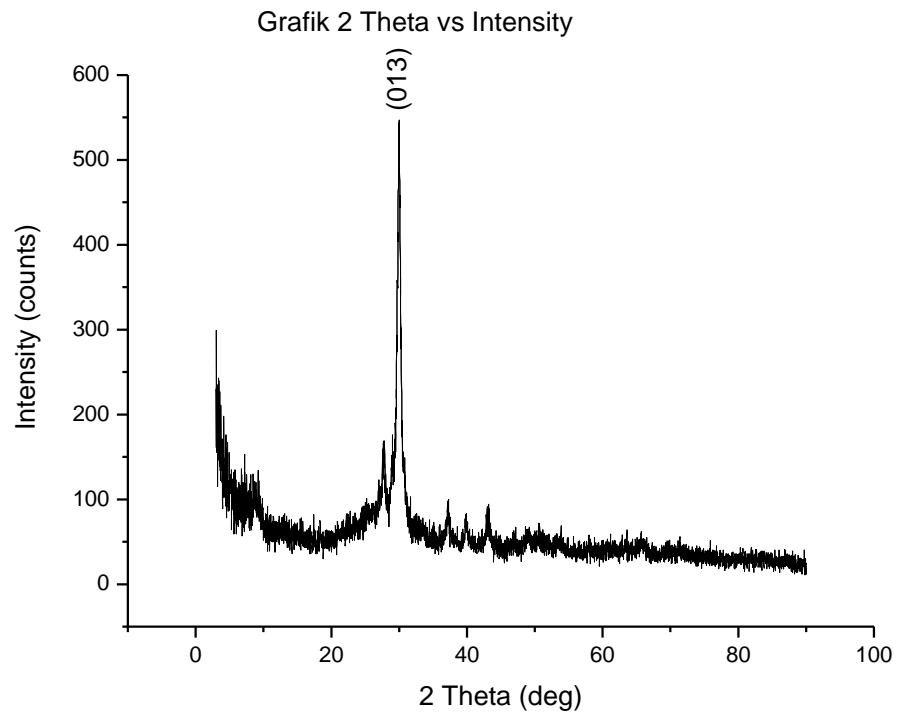
Analisis XRD ini bertujuan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk pada substrat berupa lapisan tipis hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum. Data yang dihasilkan pada analisis XRD ini berupa difaktogram, yaitu grafik hubungan antara sudut hamburan (2θ) dan intensitas (I) puncak spektrum.

Cara kerja XRD diawali dengan menempatkan sampel pada pemegang stasioner, setelah itu sinar X ditembakkan pada sampel dengan

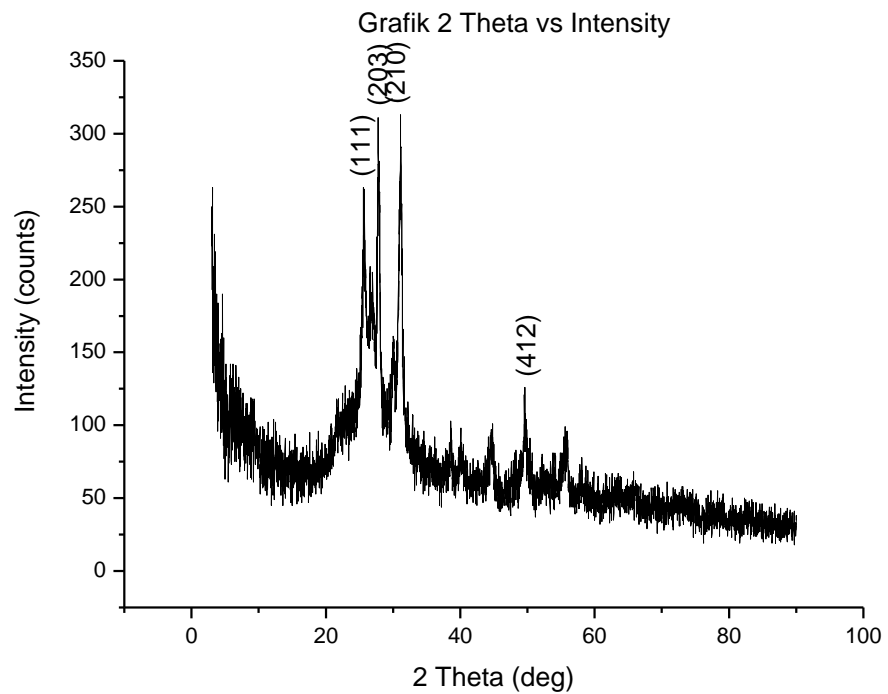
panjang gelombang tertentu. Setelah sinar X dikenakan sampel maka akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang dengan jarak d dan sudut 2θ yang memenuhi hukum difraksi Bragg. Analisis ini menggunakan Cu dengan panjang gelombang $1,54 \text{ \AA}$. Parameter yang digunakan pada XRD yaitu tegangan operasi 40 kV, arus 30 mA serta pada rentang $2\theta = 20^\circ - 90^\circ$. Analisis XRD dilakukan pada ketiga sampel. Dari analisis XRD ini akan didapatkan jarak antar bidang (d_{hkl}). Hasil karakterisasi menggunakan XRD ditunjukkan pada Gambar 22, 23 dan 24.



Gambar 22. Difaktogram Sampel I Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

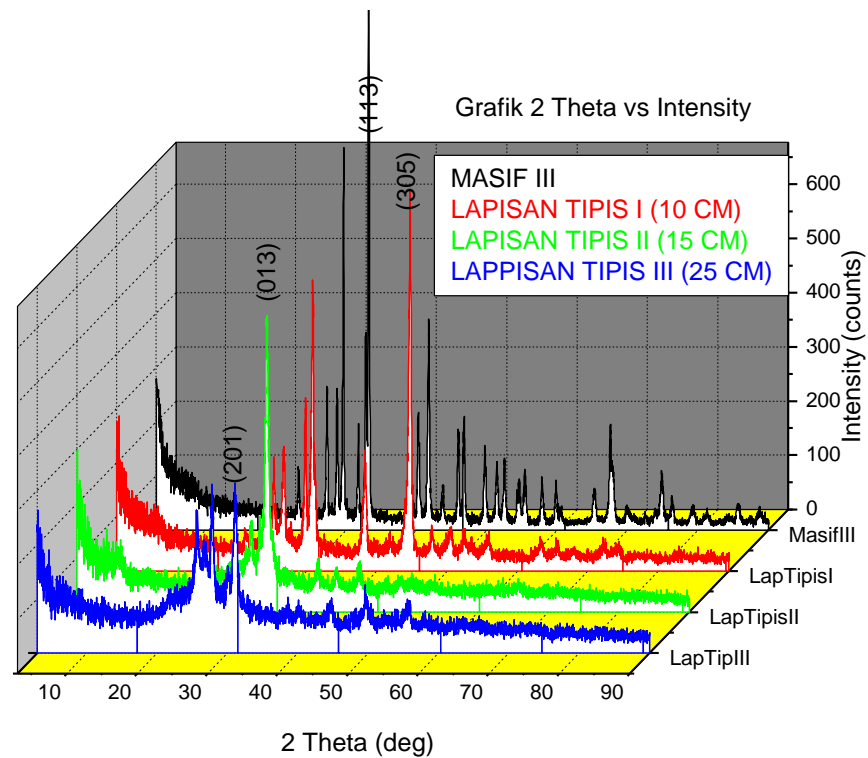


Gambar 23. Difaktogram Sampel II Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$



Gambar 24. Difaktogram Sampel III Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

Dari ketiga sampel tersebut, kemudian digabungkan dengan sampel masif $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan *software origin*. Hal ini dimaksudkan agar mempermudah membandingkan difaktogram hasil analisis XRD dari seluruh sampel lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ maupun masif $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.



Gambar 25. Difaktogram Lapisan Tipis Sampel I, Sampel II, Sampel III dan Masif $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$

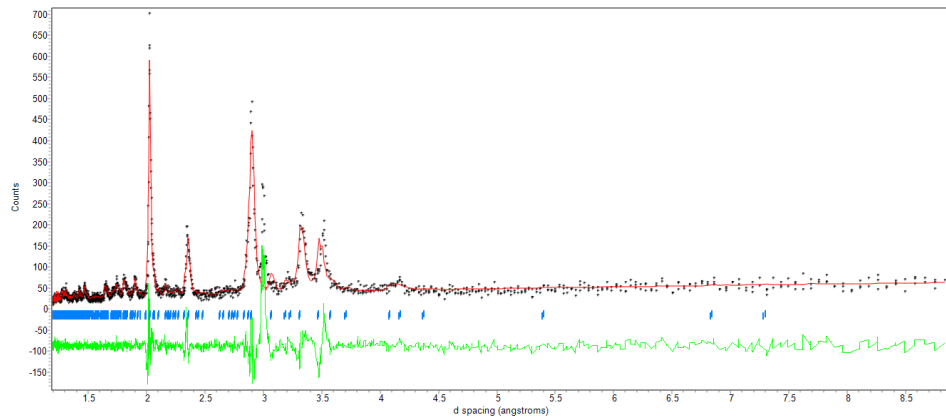
Gambar 25 menunjukkan bahwa puncak tertinggi pada semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ terdapat pada sampel I pada sudut 2θ $44,702^\circ$, sedangkan pada sampel II Intensitas maksimum berada pada sudut 2θ $29,928^\circ$, dan pada sampel III memiliki nilai intensitas maksimumnya pada sudut 2θ $31,130^\circ$.

Berdasarkan puncak-puncak yang muncul dari hasil XRD, dilakukan pencocokan antara data hasil XRD dengan data JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standard*) No. 75-2183. Hasil preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ cenderung pada SnS yang berada dalam *space group* PNMA serta kristal yang dihasilkan berstruktur orthorhombik. Hal ini ditunjukkan nilai intensitas maksimum berada pada sudut 2θ $31,854^\circ$ dengan arah (211). Hasil perncocokan data penelitian dengan data JCPDS ditunjukkan pada lampiran I Metode Analitik pada halaman 86-92.

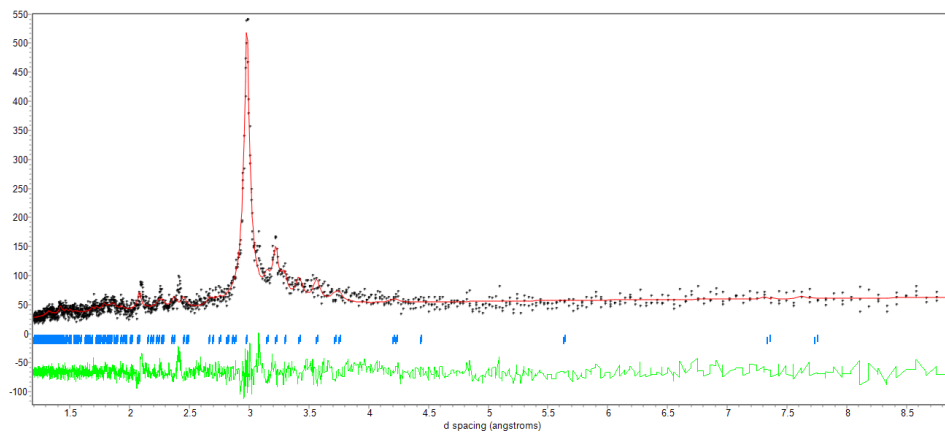
Dari hasil pencocokan tersebut, sampel II, dan sampel III intensitas tertinggi hampir mendekati, yaitu berturut-turut pada sudut 2θ $29,928^\circ$ arah (013) dan $31,130^\circ$ arah (210). Sementara pada sampel I mengalami pergeseran yang cukup jauh, yakni pada sudut 2θ $44,702^\circ$ arah (305). Pergeseran puncak ini, dimungkinkan karena kecepatan atom SnSTe pada saat proses pendeposisian mempunyai kecepatan yang berbeda-beda, ada sebagian atom yang terpental sehingga tidak secara keseluruhan atom-atom tersebut menempel pada kaca preparat. Hal ini mengakibatkan kandungan unsur yang terbentuk menjadi berkurang. Menurut hukum Bragg, pergeseran sudut yang terjadi menunjukkan jarak antar bidang d_{hkl} dari kristal. Pergeseran tersebut juga akan mempengaruhi harga parameter kisi (Muhammad, 2016: 75).

Setelah dilakukan pencocokan dengan data JCPDS, dilakukan perhitungan parameter kisi. Perhitungan menggunakan metode analitik serta metode penghalusan *Le Bail* dengan program komputer *Rietica*. Hasil perhitungan secara analitik ditunjukkan pada Tabel 9. Sedangkan hasil

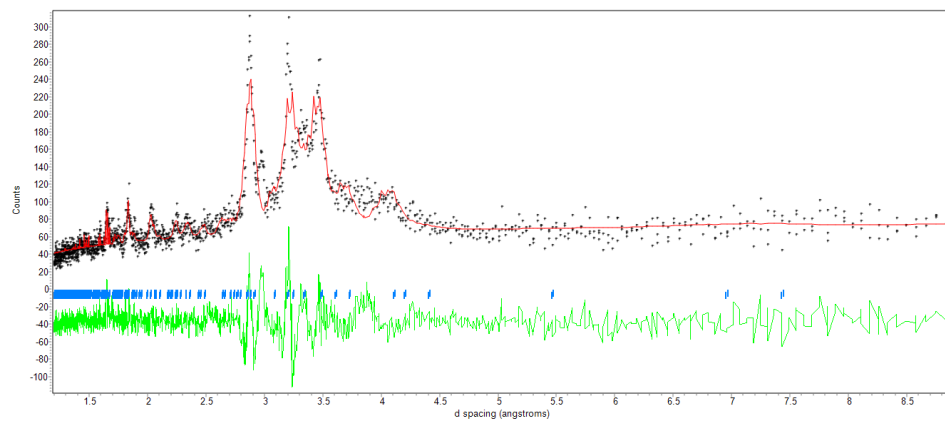
perhitungan parameter kisi menggunakan program *Rietica* ditunjukkan pada Tabel 10, serta Gambar 26, 27 dan 28.



Gambar 26. Hasil Penghalusan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel I



Gambar 27. Hasil Penghalusan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel II



Gambar 28. Hasil Penghalusan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel III

Hasil *refinement* (penghalusan) dengan metode *Le Bail* terhadap data difraksi sinar X SnS pada rentang 2θ 20° - 90° dalam sistem kristal orthorhombik, menunjukkan kecocokan antara data acuan (JCPDS No. 75-2183) hasil karakterisasi XRD. Hal ini dapat terlihat pada Gambar 26 27 dan 28. Dimana data hasil difraksi sinar X (titik hitam) dan kalkulasi (garis merah) titik-titik difraksi terjangkau oleh garis kalkulasi. Selain itu kalkulasi juga dapat dilihat pada hasil *Rp* (faktor profil) dan *Rwp* (faktor profil berbobot) yang nilainya tidak melebihi 20% serta nilai *GoF* (*Godnees of fit*) kurang dari 4 (Eka, 2016:73).

Perbandingan data penelitian dengan data JCPDS No. 75-2183 dapat dilihat pada lampiran 1 serta hasil penghalusan dengan metode *Le Bail* dapat diamati pada Lampiran 3 dengan hasil berturut-turut sebagai berikut:

Tabel 9. Perbandingan Hasil Perhitungan Parameter Kisi dengan Data JCPDS

Parameter Kisi	Hasil Evaporasi Sampel I (Å)	Hasil Evaporasi Sampel II (Å)	Hasil Evaporasi Sampel III (Å)	JCPDS NO. 75-2183 (Å)
<i>a</i>	8,932	8,551	8,882	8,878
<i>b</i>	3,926	3,766	3,887	3,751
<i>c</i>	13,870	14,659	14,077	14,02
Volume sel	486,379	472,065	485,999	466,885

Tabel 10. Perbandingan Hasil Perhitungan Parameter Kisi Hasil Penghalusan Menggunakan Metode *Le Bail* dengan LPHM-*Rietica*

Parameter Kisi	Hasil Evaporasi Sampel I (Å)	Hasil Evaporasi Sampel II (Å)	Hasil Evaporasi Sampel III (Å)	JCPDS NO. 75-2183 (Å)
<i>a</i>	8,897	8,588	8,867	8,878
<i>b</i>	3,751	3,751	3,751	3,751
<i>c</i>	14,070	13,907	14,010	14,02
Volume sel	469.590	448,019	465.493	466,885

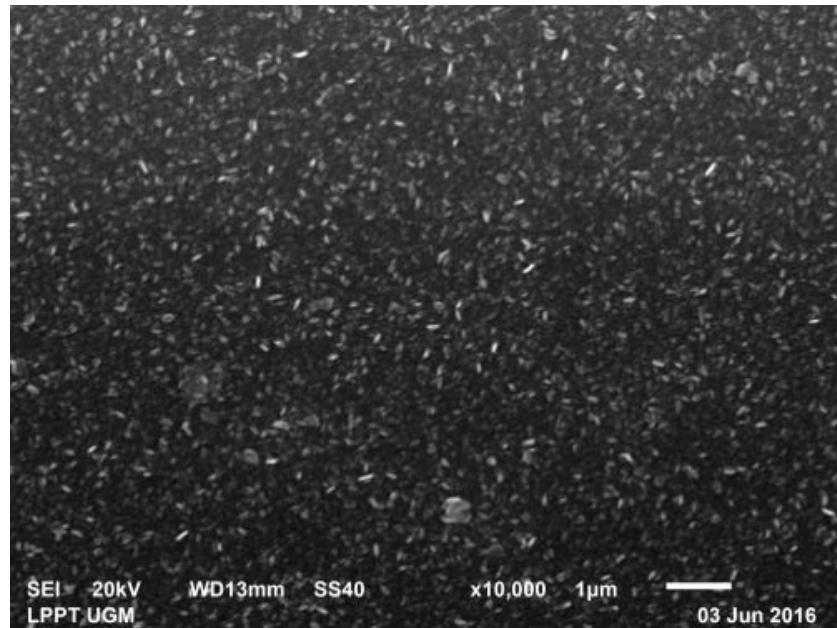
Dari hasil perhitungan parameter kisi semikonduktor lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) baik secara analitik maupun metode penghalusan yang ditunjukkan pada Tabel 9 dan 10, secara keseluruhan hampir mendekati data yang ada pada JCPDS. Dari ketiga sampel, nilai parameter kisi yang paling mendekati secara keseluruhan baik nilai *a*, *b* maupun *c* adalah sampel III baik secara analitik maupun penghalusan menggunakan metode *Le Bail*.

2. Analisis Morfologi Permukaan Hasil SEM

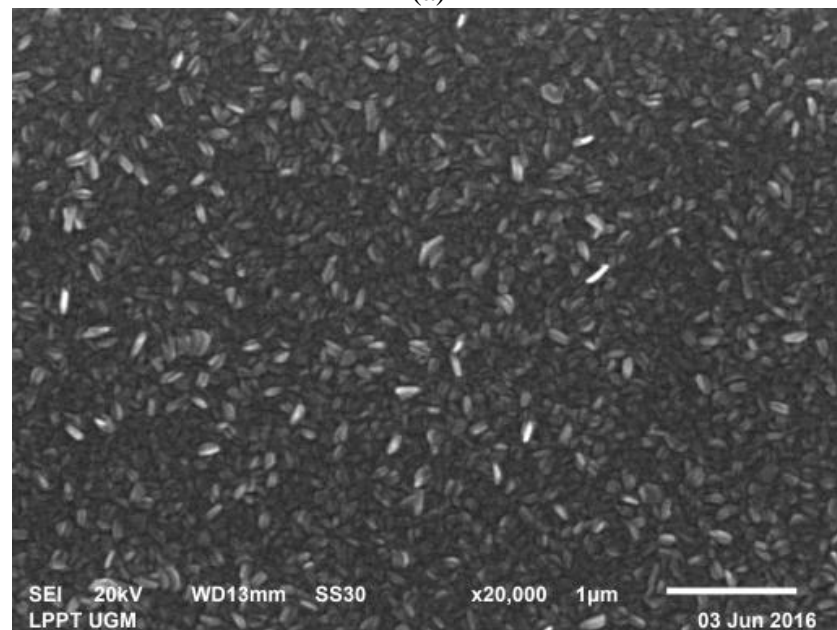
Pada penelitian ini, karakterisasi SEM hanya dilakukan pada satu sampel, yaitu pada sampel III dengan variasi jarak *spacer* 25 cm. Pemilihan ini bukan berdasarkan kualitas kristal yang terbaik atau sampel yang mempunyai puncak intensitas tertinggi. Namun hal ini didasari nilai parameter kisinya yang paling mendekati dengan data JCPDS SnS. Jika sampel yang nilai parameter kisinya mendekati dengan data JCPDS SnS, maka presentase unsur Te ini akan semakin kecil.

Karakterisasi sampel dilakukan di LPPT UGM dengan pengamatan permukaan lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) menggunakan SEM JEOL JSM-6510LA dengan perbesaran 5000, 10000, 20000 dan 50000 kali. Tujuan

dari karakterisasi SEM adalah untuk mengetahui morfologi permukaan kristal. Adapun manfaat yang diperoleh dari karakterisasi ini antara lain untuk mengetahui topografi permukaan, cacat kristal, ukuran grain. Hasil karakterisasi SEM lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ dapat dilihat pada Gambar 28 berikut ini:



(a)



(b)

Gambar 29. (a) Perbesaran 10000 (b) dan Perbesaran 20000

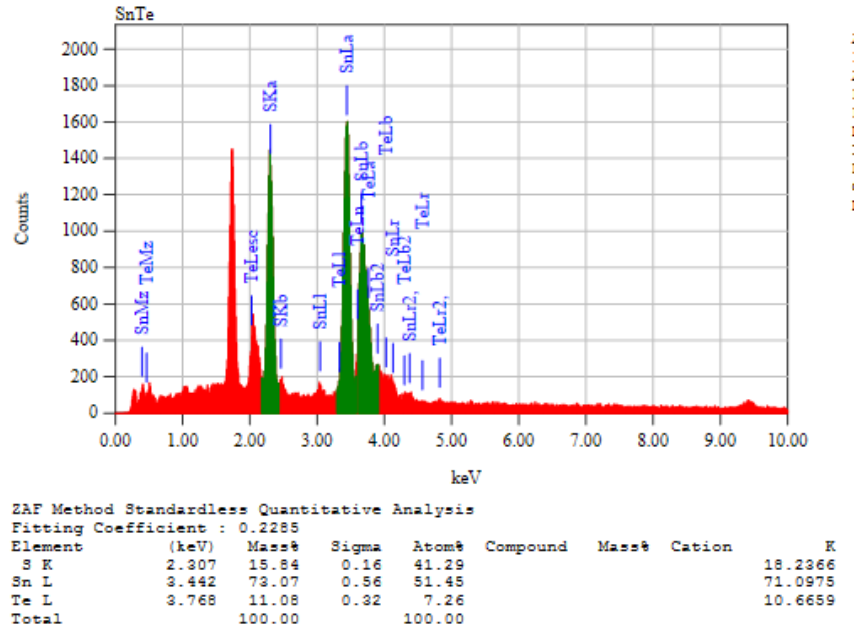
Pada Gambar 29 terlihat bahwa kristal sudah terbentuk yang ditandai dengan bentuk lapisan tipis yang homogen pada tiap-tiap bagiannya serta warna kristal yang seragam. Dari gambar juga terlihat bahwa permukaan kristal yang terbentuk berupa polikristal dengan bentuk orrthorhombik, yaitu bentuk kristal menyerupai balok.

3. Analisa Komposisi Kimia Hasil EDAX

Karakterisasi selanjutnya yaitu karakterisasi EDAX, yang mana karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia penyusun kristal. Karakterisasi sampel dilakukan di LPPT UGM dengan pengamatan permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan SEM JEOL JSM-6510LA. Hasil karakterisasi EDAX berupa grafik hubungan intensitas dengan energi yang menunjukkan komposisi kimia dan grafik hubungan antara intensitas dan energi. Hasil karakterisasi EDAX dapat dilihat pada Gambar 30.

Dari penembakan berkas elektron pada target akan menghasilkan spektrum oleh EDAX. Hal ini akan mengakibatkan atom-atom bahan mengalami ionisasi, sehingga atom-atom bahan akan mengalami ketidakstabilan. Untuk mencapai kestabilan, jumlah elektron dan proton harus sama. Sehingga elektron pada bahan akan melakukan eksitasi, dimana elektron yang memiliki energi lebih tinggi akan melakukan transisi ke tingkat energi yang lebih rendah. Pada peristiwa transisi ini maka akan dilepaskan sejumlah energi yang salah satunya berupa sinar-X. Kemudian

sinar-X akan ditangkap oleh detektor dan ditampilkan dalam bentuk spektrum.



Gambar 30. Grafik Hubungan antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel III

Dari hasil analisis EDAX diatas, dapat dilihat presentase komposisi kimia yang terbentuk yakni:

Tabel 11. Perbandingan Molaritas Unsur Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel III

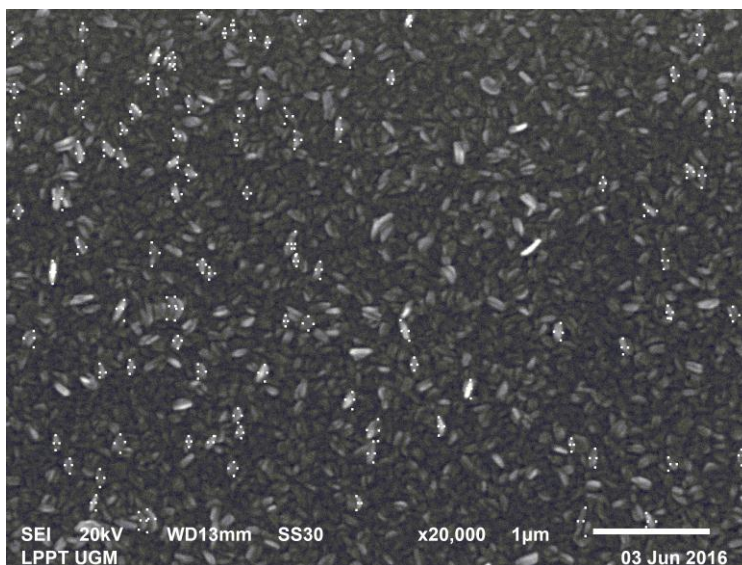
Perbandingan Unsur			Perbandingan Molaritas (%)			Perbandingan Teori (%)		
Sn	S	Sn	S	Te	Te	Sn	S	Te
51,45	41,29	7,26	1	0,80	0,14	1	0,80	0,20

Pada Tabel 11 terlihat perbandingan unsur komposisi kimia lapisan tipis hasil preparasi lapisan tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) sebesar 1: 0,80: 0,14. Sedangkan pada perbandingan molaritas secara toeri yaitu 1: 0,80: 0,20. Jika hasil preparasi dibandingkan dengan toeri hampir sama, hanya

terdapat selisih 0,06 pada perbandingan Te. Dimana pada perhitungan secara teori 0,20 sementara pada hasil preparasi sebesar 0,14. Selisih perbandingan ini terjadi karena kebolehjadian partikel terhambur antara material satu dengan yang lain. Dimana material tersebut bergantung pada energi ikat maupun temperatur. Selain itu, ketidak sesuaian ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain sampel teroksidasi saat proses pendinginan setelah sampel dipanaskan, belum tercampur secara sempurna antara Sn, S dan Te preparasi berlangsung serta temperatur yang tinggi mengakibatkan bahan Te hilang.

4. Analisis Perhitungan Rata-Rata Perhitungan Diameter *Grain* Hasil Software *Paint*

Perhitungan ini menggunakan *software paint*. Pada perhitungan rata-rata diameter *grain*, dilakukan pada sampel analisis SEM dengan perbesaran 20000 kali. Pemilihan gambar ini dikarenakan gambar terlihat cukup jelas dibandingkan yang lain. Sehingga mempermudah dalam pengolahan data. Gambar 31 merupakan gambar pengolahan data serta hasil perhitungannya:



Gambar 31. Gambar Analisis Perhitungan Rata-Rata Diameter *Grain* menggunakan *Software Paint*

Pada gambar 31 di atas, merupakan hasil morfologi permukaan SEM. Kemudian dioalah menggunakan *software paint*. Dari *software* ini kemudian diambil ujung-ujung diameter *grain*, baik secara horizotal maupun vertikal, setelah itu diambil nilai rata-rata.

Setelah mendapatkan rata-rata kemudian dikonversi satuannya dari *pixel* menjadi cm. Dan dari perhitungan tersebut didapatkan ukuran rata-rata diameter partikel yang tertulis dalam Lampiran IV dengan nilai rata-rata *grain* sebesar $\bar{X} = 0,05689 \mu\text{m}$ dan $\bar{Y} = 0,12186\mu\text{m}$.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan teknik evaporasi vakum yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan penelitian, ada pengaruh variasi jarak *spacer* terhadap kualitas hasil preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan teknik evaporasi vakum, dimana semakin dekat jarak antara sumber dengan substrat akan dihasilkan lapisan tipis yang semakin baik. Hal ini ditunjukkan oleh difaktogram pada sampel 1 dengan variasi jarak *spacer* 10 cm mempunyai intensitas lebih tinggi daripada sampel 2 dengan variasi jarak *spacer* 15 cm dan sampel 3 dengan variasi jarak *spacer* 25 cm. Intensitas spektrum yang tinggi menunjukkan susunan atom penyusun lapisan tipis juga memiliki keteraturan yang semakin baik.
2. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum mempunyai struktur kristal orthorhombik dengan nilai parameter kisi sebagai berikut:
 - a. Sampel I (*spacer* 10 cm) secara analitik : $a = 8,932 \text{ (\AA)}$; $b = 3,926 \text{ (\AA)}$; $c = 13,870 \text{ (\AA)}$ dan secara penghalusan $a = 8,897 \text{ (\AA)}$; $b = 3,751 \text{ (\AA)}$; $c = 14,070 \text{ (\AA)}$
 - b. Sampel II (*spacer* 15 cm) secara analitik : $a = 8,551 \text{ (\AA)}$; $b = 3,766 \text{ (\AA)}$; $c = 14,659 \text{ (\AA)}$ dan secara penghalusan $a = 8,588 \text{ (\AA)}$; $b = 3,751 \text{ (\AA)}$; $c = 13,907 \text{ (\AA)}$

- c. Sampel III (*spacer* 25 cm) secara analitik : $a = 8,882$ (Å); $b = 3,887$ (Å); $c = 14,077$ (Å) dan secara penghalusan $a = 8,867$ (Å); $b = 3,751$ (Å); $c = 14,010$ (Å)
3. Dari hasil analisis EDAX diketahui bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ memiliki perbandingan Sn = 51,45 % S = 41,28 % dan Te = 7,26 %. Perbandingan molaritas Sn: S: Te sebesar 1: 0,80: 0,14 hasil ini hampir mendekati perbandingan molaritas secara teoritis yang mempunyai perbandingan Sn: S: Te sebesar 1: 0,80: 0,20. Berdasarkan hasil analisis SEM lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$
4. mempunyai morfologi permukaan yang tersusun atas *grain* yang memperlihatkan adanya keseragaman bentuk, struktur dan warna grain sehingga morfologi permukaan cukup merata dan terdistribusi secara homogen. Dengan bentuk menyerupai balok dengan ukuran $\bar{X} = 0,05689 \mu\text{m}$ dan $\bar{Y} = 0,12186 \mu\text{m}$.

B. Saran

Setelah melakukan penelitian dan pembahasan semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan teknik evaporasi vakum, untuk meningkatkan kualitas penelitian yang lebih baik, penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang struktur kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$. Seperti sifat optic, energi gap, efek hall, resistivitas, ketebalan lapisan tipis dll guna mendapatkan informasi yang lebih banyak tentang lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.

2. Perlu ditambahkan variasi jarak spacer yang lebih banyak. Serta *range* jarak *spacer* yang lebih kecil guna mendapatkan nilai jarak *spacer* yang tepat untuk pembuatan lapisan tipis yang baik.
3. Penelitian ini mendasari penelitian yang lebih lanjut untuk mengembangkan sel surya menggunakan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhiruddin, Maddu (2010). Pengaruh Ketebalan terhadap Lapisan Tipis Cu₂O yang Dideposisikan dengan Metode Chemical Bath Deposition (CBD). Bogor: FMIPA Institut Pertanian Bogor.
- Anonim. (2016). Spesifikasi XRD Miniflex 600. Diakses dari www.rigaku.com/en/products/xrd/miniflex/specs pada tanggal 25 Juli 2016 pukul 14.25.
- Anonim. (2016). Spesifikasi SEM EDAX. Diakses dari www.jeol.co.jp/en/products/detail/JSM-6510series pada tanggal 25 Juli 2016 pukul 15.21
- Anonim. (2016). Scanning Electro Microscopy. Diakses dari <https://materialcerdas.wordpress.com/teori-dasar/scanning-electron-microscopy/> pada 27 Desember 2016 pukul 11.26
- Ansori, Muhammad. (2016). *Pengaruh Temperatur Pemanasan pada Kualitas Kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2}). Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. FMIPA Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. (2015). *Kristalografi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. (2013). *Teknologi vakum*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. (2010). *Semikonduktor*. Yogyakarta. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bahtiar, A dkk. (2011). "Sel Surya Polimer: *State of Art* dan Progress penelitian di Universitas Padjadjaran" *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Hlm. 7-14.
- Beiser, Athur. (1992). *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Beck. 1977. *Principles of Scanning Electron Microscopy*. Jepang. Jeol Hightech co, Ltd.
- Syahrul, Chaironi dkk. (2012). *Teknik Vakum*. Bandung: ITB.
- Cullity, B. D. (1978). *Element of X-Ray Diffraction*. Massachusetts. Addison Wesley Publishing Company. Inc.p555.
- Diputra, Wibeng. (2008). *Sel Surya*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Eka M, Hilma. (2016). *Pengaruh Temperatur Substrat pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum*. FMIPA Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta

- Giancoli, Douglas C. (2001). *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Griffin, B. J., dan Riessen, V.A. 1991. *Scanning Elctron Microscopy Course*. Notes. The University of Western Australia.
- Haryanto, Triyo. (2013). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor*.
- Herlambang, Bambang. (2012). *Pembuatan Beam Splitter dari Lapisan Tipis Aluminium dengan Metode Evaporasi Vakum untuk Alat Bidik Senjata*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Ichwan, Yelfianhar. (2010). Semikonduktor. Diakses dari <http://www.iwan78.files.wordpress.com/2010.html>. pada tanggal 10 November 2016 pukul 11.27
- Indra. (2012). *Semikonduktor*. Diakses dari http://tebeindra.blogspot.co.id/2012_11_01_archive.html pada tanggal 1 Maret pukul 14.33 WIB.
- Istiyono, Edi. (2010). *Fisika Zat Padat 2. Diktat Kuliah*. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kittle, C. (2012). *Introduction too Solid State Physis, 8th Edition*. Hoboken: Jhon Wiley & Sons.
- Lawrence H. Van Vlack. (2004). *Elemen Elemen Ilmu dan Rekayasa Material Edisi Keenem*. Jakarta: Erlangga.
- Malvino. (1981) *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta Erlangga.
- Mukti, Kristanto. (2013). Evaporator. Diakses dari <http://kustantomukti.blog.uns.ac.id/tag/evaporasi>, pada tanggal 18 Agustus pukul 21.33 WIB.
- Narang, B. S. (1981). *Material Science*. New Delhi: CBS Publisher.
- Ohring, Milton: (2001). *Material Science oh Thin Deposition and Structure*. 2nd . ed. Sn Diego: academia Press
- Parno. (2006). *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Ramadhani, Robi. (2012). *Semikonduktor*. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Rio, Reka. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: Departemen Pradya Pramita.
- Rusli, Rolan. (2011). *Petunjuk Refiment Analisis Pola Difraksi Sinar-X Serbuk Menggunakan Metode Le Bail pada Program Rietica*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Saini, R. et. al. (2010). *Structur and Electrical Characterization of Sinters SnTe Films*: Jurnal, Departement of Physics.
- Setiawan, Agus, et. al. (2007). *Modul-4 Semikonduktor*. Bandung: FMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia
- Sumardi, Yos. (2007). *Fisika Zat Padat*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Suminar, Prpto (2004). *Difraksi Sinar-X*. Diakses dari <http://kaisnet.file.wordpress.com/2016/08/bab-i-difraksi-sinar-x-pdf>, pada tanggal 13 Juli pukul 19.33 WIB.
- Suryanarayana, C. M. Grant Norton. (1998). *X Ray Diffraction a Particel Approach*. New York: Springer Science Business Media.
- Susanto, Heru Dwi. (2011). *Skema Tabung Sinar-X*. Diakses dari <http://heruvee.wordpress.com/2012.html>. pada tanggal 15 Juni 2016, pukul 15.22 WIB.
- Suwitra, Nyoman. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Departemen Pedidikan dan Kebudayaan.
- Verhoeven, JD. (1986). *ASM Handbook Material Characterization, Vol 1 Scanning Electron Microscopy*. USA
- Vlack, Van. (2004). *Elemen-Elemen Ilmiu dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Winter, Mark. (2016). *Sulfur*. Diakses dari http://www.webelements.com/coumponds/tin/tin_sulphide.html. Diakses pada tanggal 30 Juni 2016, pukul 11.22 WIB.
- Winter, Martk. (2016). *Tin Compound; Tin Sulphide*. Diakses dari https://www.webelements.com/compounds/tin/tin_sulphide.html. Diakses pada tanggal 30 Juni 2016, pukul 12.05 WIB.
- Zakaria. (2003). *Analisis Kandungan Mineral Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Metode X-Ray Diffraction*. Kendari. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Haluoleo.

LAMPIRAN

A. Lampiran I. Metode Analitik

Tabel Perbandingan antara Data XRD Penelitian Lapisan Tipis Sampel I Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan Data JCDPS Bahan SnS (JCPDS NO. 75-2183)
Material Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Radiasi : CuKα₁ λ_{Kα}=1,5406 Å

Puncak	Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel I		SnS (JCPDS NO. 75-2183)		Hkl
	2 θ	Intensitas	2 θ	Intensitas	
1	25,284	23	25,391	0,1	004
2	26,740	27	26,548	32	111
3	29,818	41	30,535	5	013
4	30,831	66	30,856	21	301
5	38,367	23	38,496	3	006
6	44,702	100	44,475	0,8	305
7	47,810	5	47,565	1	410
8	50,530	4	50,322	1	022
9	52,300	3	52,15	3	008
10	55,840	4	55,75	2	316

Perhitungan parameter kisi untuk sampel pertama Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) pada variasi jarak spacer 10 cm, dipilih pada sudut 29,818° (013); 30,831 (301) serta pada sudut 44,702 (305)

a. Untuk sudut 2 θ = 30,831 (301)

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

$$\sin^2\left(\frac{30,831}{2}\right) = (A \times 9^2) + (B \times 0^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2 15,415 = 9A + C$$

$$0,0707 = 9A + C$$

b. Untuk 2 θ = 44,702 (305)

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

$$\sin^2\left(\frac{44,702}{2}\right) = (A \times 3^2) + (B \times 0^2) + (C \times 5^2)$$

$$\sin^2 22,351 = 9A + 25C$$

$$0,1446 = 9A + 25C$$

Mensubstitusi persamaan antara point (a) dengan persamaan point

(b) menjadi:

$$0,1446 = 9A + 25C$$

$$\underline{0,0707 = 9A + C} \quad \underline{\quad}$$

$$0,0739 = 24C$$

$$C = 3,0796 \times 10^{-3}$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 3,0796 \times 10^{-3}}} = 13,870 \text{ \AA}$$

Dari hasil parameter kisi diatas, maka dapat ditentukan parameter kisi a sebesar:

$$0,0707 = 9A + C$$

$$0,0707 = 9A + 3,0796 \times 10^{-3}$$

$$A = 7,513 \times 10^{-3}$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 7,513 \times 10^{-3}}} = 8,932 \text{ \AA}$$

c. Untuk sudut $2\theta = 29,818^\circ$ (013)

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

$$\sin^2\left(\frac{29,818}{2}\right) = (A \times 0^2) + (B \times 1^2) + (C \times 3)^2$$

$$\sin^2 14,909 = B + 9C$$

$$0,0662 = B + 9C$$

$$B = 38,481 \times 10^{-3}$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 38,481 \times 10^{-3}}} = 3,926 \text{ \AA}$$

Tabel Nilai Parameter Kisi Kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Sampel I terhadap JCPDS NO 75-2183

Parameter Kisi	Hasil Evaporasi Sampel II (Å)	JCPDS No. 75-2183 (Å)
<i>a</i>	8,932	8,878
<i>b</i>	3,926	3,751
<i>c</i>	13,870	14,02

Tabel Perbandingan antara Data XRD Penelitian Lapisan Tipis Sampel II (Jarak Spacer 15 cm) Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan Data JCDPS Bahan SnS (JCPDS NO. 75-2183)

Material Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Radiasi : CuKα1 λ_{Kα}=1,5406 Å

Puncak	Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel I		SnS (JCPDS NO. 75-2183)		hkl
	2θ	Intensitas	2θ	Intensitas	
1	27,71	12	27,695	23	203
2	29,928	100	30,535	5	013
3	37,15	17	37,923	15	205
4	39,83	5	39,862	14	304
5	43,08	15	43,464	2	313
6	46,9542	21	46,878	63	107
7	48,99	3	48,5	29	404
8	51,2	2	51,008	2	315
9	53,87	2	53,613	10	123
10	54,1	0,6	54,673	7	222
11	60,69	2	60,993	0,1	513
12	65,2	2	65,057	1	420

Perhitungan parameter kisi untuk sampel ke-dua Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) yaitu pada variasi jarak spacer 15 cm, dipilih pada sudut 27,710° (203); 29,928° (013) dan pada sudut 37,15° (205)

a. Untuk sudut 2θ = 27,710° (203);

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

$$\sin^2\left(\frac{27,710}{2}\right) = (A \times 2^2) + (B \times 0^2) + (C \times 3^2)$$

$$\sin^2 13,855 = 4A + 9C$$

$$0,0573 = 4A + C$$

b. Untuk $2\theta = 37,15^\circ$ (205)

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

$$\sin^2\left(\frac{37,15}{2}\right) = (A \times 2^2) + (B \times 0^2) + (C \times 5^2)$$

$$\sin^2 18,575 = 4A + 25C$$

$$0,1047 = 4A + 25C$$

Mensubstitusi persamaan antara point (a) dengan persamaan point (b) menjadi:

$$0,1047 = 4A + 25C$$

$$0,0573 = 4A + 9C$$

$$0,0442 = 16C$$

$$C = 2,761 \times 10^{-3}$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 2,761 \times 10^{-3}}} = 14,659 \text{ \AA}$$

Dari hasil parameter kisi diatas, maka dapat ditentukan parameter kisi a sebesar:

$$0,0573 = 4A + C$$

$$0,0573 = 4A + 2,761 \times 10^{-3}$$

$$A = 32,45 \times 10^{-3}$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 32,45 \times 10^{-3}}} = 8,551 \text{ \AA}$$

c. Untuk $2\theta = 29,928^\circ$ (013)

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

$$\sin^2\left(\frac{29,928}{2}\right) = (A \times 0^2) + (B \times 1^2) + (C \times 3^2)$$

$$\sin^2 14,964 = B + 9C$$

$$0,0667 = B + 9C$$

$$0,0667 = B + 9 \times 2,761 \times 10^{-3}$$

$$B = 41,81 \times 10^{-3}$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 41,81 \times 10^{-3}}} = 3,7661 \text{ \AA}$$

Tabel Nilai Parameter Kisi Kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Sampel II terhadap JCPDS NO 75-2183

Parameter Kisi	Hasil Evaporasi Sampel II (Å)	JCPDS No. 75-2183 (Å)
<i>a</i>	8,551	8,878
<i>b</i>	3,766	3,751
<i>c</i>	14,659	14,02

Tabel Perbandingan antara Data XRD Penelitian Lapisan Tipis Sampel III (Jarak Spacer 25 cm) Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan Data JCDPS Bahan SnS (JCPDS NO. 75-2183)

Material Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Radiasi : CuKα1 λ_{Kα}=1,5406 Å

Puncak	Sn(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel I		SnS (JCPDS NO. 75-2183)		Hkl
	2 θ	Intensitas	2 θ	Intensitas	
1	25,6	56	25,391	0,1	004
2	26,72	46	26,548	32	111
3	27,751	94	27,695	23	203
4	31,13	100	31,193	42	210
5	39	3	38,496	3	210
6	40	10	40,118	50	006
7	45	40	44,475	1	305
8	49,7	20	49,413	18	412
9	55,85	19	55,75	2	316

Perhitungan parameter kisi untuk sampel III Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) yaitu pada variasi jarak spacer 25 cm, dipilih pada sudut 25,391° (004); 29,818° (013) dan pada sudut 30,831° (301)

a. Untuk sudut 2 θ = 25,284° (004)

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

$$\sin^2\left(\frac{25,284}{2}\right) = (A \times 0^2) + (B \times 0^2) + (C \times 4^2)$$

$$\sin^2 12,6415 = 16C$$

$$0,04789 = 16C$$

$$C = 2,993 \times 10^{-3}$$

$$c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 2,993 \times 10^{-3}}} = 14,077 \text{ \AA}$$

b. Untuk $2\theta = 29,818^\circ$ (013)

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

$$\sin^2\left(\frac{29,818}{2}\right) = 0 + (B \times 1^2) + (C \times 3^2)$$

$$\sin^2 14,909 = B + 9C$$

$$0,0662 = B + 9C$$

$$B = 39,25 \times 10^{-3}$$

$$b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 39,25 \times 10^{-3}}} = 3,887 \text{ \AA}$$

c. Untuk $2\theta = 30,831^\circ$ (301)

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

$$\sin^2\left(\frac{30,831}{2}\right) = (A \times 3^2) + (B \times 0^2) + (C \times 1^2)$$

$$\sin^2 15,4155 = 9A + C$$

$$0,0575 = 9A + C$$

$$A = 7,518 \times 10^{-3}$$

$$a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}} = \sqrt{\frac{1,5406^2}{4 \times 7,518 \times 10^{-3}}} = 8,882 \text{ \AA}$$

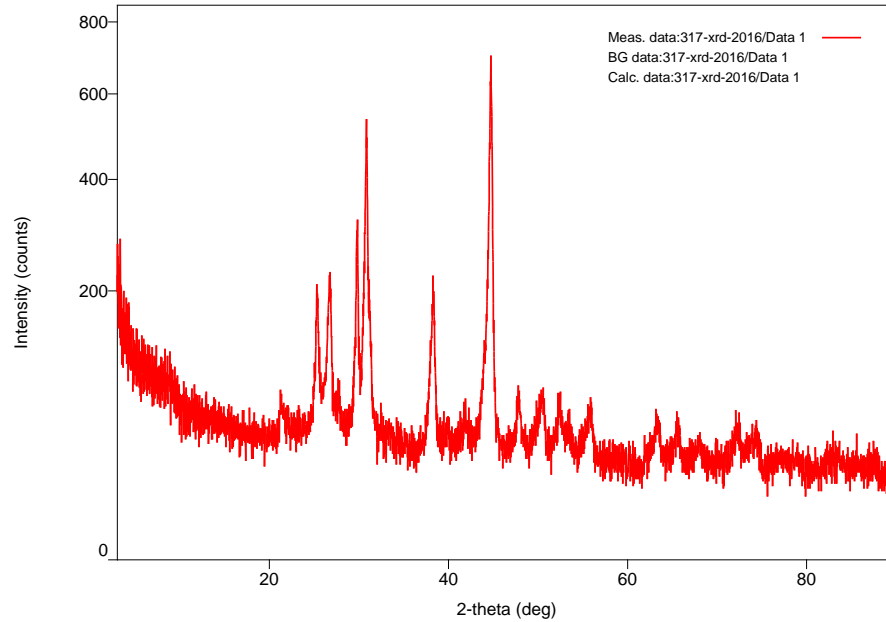
Tabel Nilai Parameter Kisi Kristal Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Vakum Sampel III (jarak spacer 25 cm) terhadap JCPDS NO 75-2183

Parameter Kisi	Hasil Evaporasi Sampel III (Å)	JCPDS No. 75-2183 (Å)
<i>a</i>	8,882	8,878
<i>b</i>	3,887	3,751
<i>C</i>	14,077	14,02

B. Lampiran II. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan XRD

1. Hasil XRD Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel I (jarak spacer 10 cm)

Measurement profile

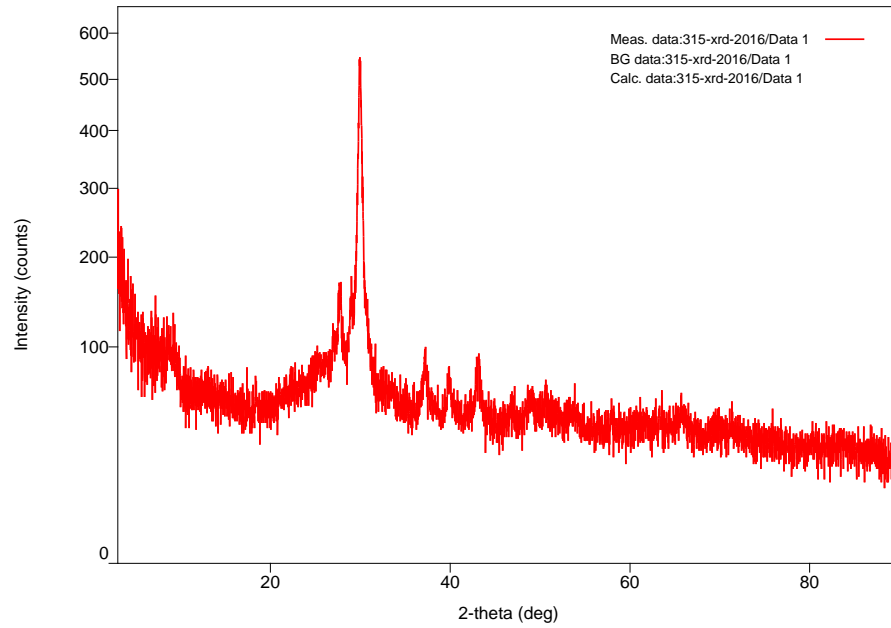


Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height (counts)	FWHM (deg)	Int. (counts deg)	I	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.284(1)	3.520(3)	101(10)	0.30(3)	50.5(14)	0.50(6)	0.6(2)	
2	26.74(3)	3.332(3)	116(11)	0.43(3)	79(2)	0.69(8)	1.5(5)	
3	29.818(9)	2.9939(9)	179(13)	0.234(15)	63(2)	0.35(4)	2.5(4)	
4	30.831(8)	2.8978(8)	287(17)	0.402(13)	177(3)	0.62(5)	1.46(11)	
5	38.367(7)	2.3442(4)	100(10)	0.530(17)	62.1(18)	0.62(8)	4.3(10)	
6	44.702(1)	2.0256(4)	437(21)	0.365(14)	238(3)	0.54(3)	1.12(14)	
7	47.81(7)	1.901(3)	22(5)	0.47(5)	11.7(14)	0.53(18)	1.1(7)	
8	50.53(2)	1.8047(7)	19(4)	0.78(7)	15.6(17)	0.8(3)	3.6(17)	
9	52.30(3)	1.7478(1)	13(4)	1.00(10)	13.6(14)	1.1(4)	0.35(18)	
10	55.84(7)	1.6451(1)	18(4)	0.78(6)	15.2(9)	0.8(2)	2.1(8)	
11	72.1(2)	1.309(3)	8(3)	2.3(2)	20(3)	2.5(12)	0.26(15)	

2. Hasil XRD Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel II (jarak spacer 15 cm)

Measurement profile

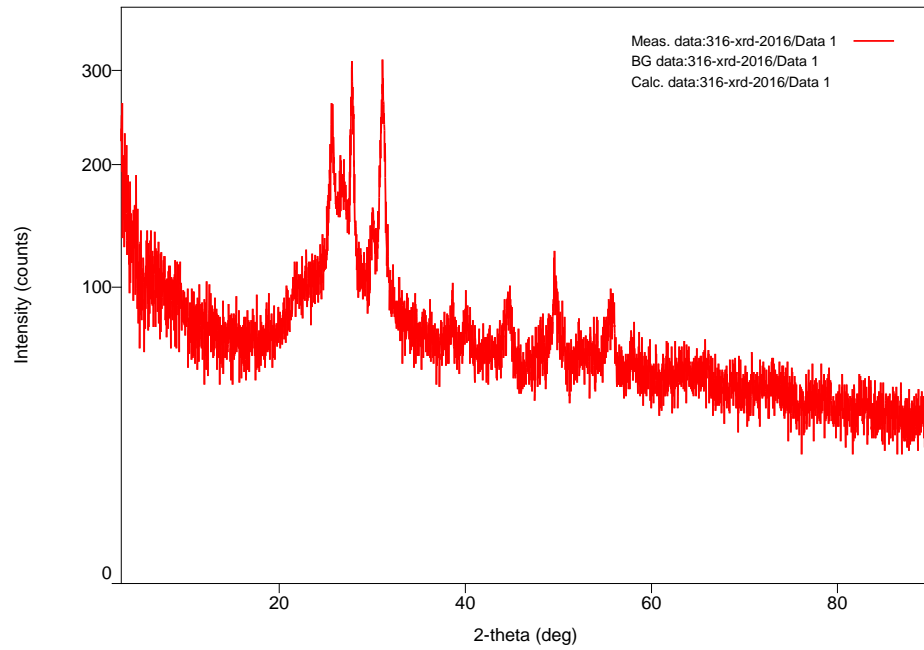


Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height (counts)	FWHM(deg)	Int. I (counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	27.71(2)	3.217(3)	36(6)	0.38(7)	18(2)	0.48(14)	1.1(11)
2	29.928(11)	2.9832(11)	294(17)	0.529(13)	223(8)	0.76(7)	0.85(8)
3	37.15(4)	2.418(3)	50(7)	0.34(4)	26(5)	0.51(17)	0.9(5)
4	39.83(4)	2.261(2)	16(4)	0.49(13)	10.7(19)	0.7(3)	0.8(11)
5	43.08(4)	2.098(2)	44(7)	0.51(5)	35(8)	0.8(3)	1.2(5)
6	46.9542(16)	1.93356(6)	63(8)	0.037(13)	3.6(10)	0.06(2)	5(6)
7	48.99(3)	1.8579(11)	8(3)	0.57(13)	6.0(10)	0.7(4)	1(4)
8	51.2(2)	1.783(8)	5(2)	3.0(8)	16(99)	3(23)	1(5)
9	53.87(13)	1.700(4)	7(3)	1.4(6)	11(6)	1.5(14)	4(13)
10	54.1(7)	1.693(19)	1.8(14)	0.5(8)	1(20)	1(11)	2(49)
11	60.69(16)	1.525(4)	5(2)	0.2(2)	1.0(14)	0.2(4)	3(6)
12	65.2(7)	1.430(14)	7(3)	0.5(7)	4(4)	0.5(7)	0.24(19)
13	70.0(2)	1.343(3)	2.6(16)	0.6(8)	2.2(16)	0.9(12)	5(47)
14	71.34(4)	1.3210(6)	7(3)	0.27(12)	2.7(14)	0.4(3)	0.4(8)
15	75.5(5)	1.258(7)	0.03(18)	0.5(15)	0.0(10)	1(34)	4(928)
16	80.6550(14)	1.190280(18)	70(8)	0.010(4)	1(2)	0.02(3)	3(21)
17	83.55(5)	1.1562(6)	9(3)	0.10(9)	1.2(10)	0.14(16)	0.2(10)
18	87.5(4)	1.114(4)	6(2)	0.0(11)	0.1(2)	0.02(5)	1(230)

3. Hasil XRD Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel III (jarak spacer 25 cm)

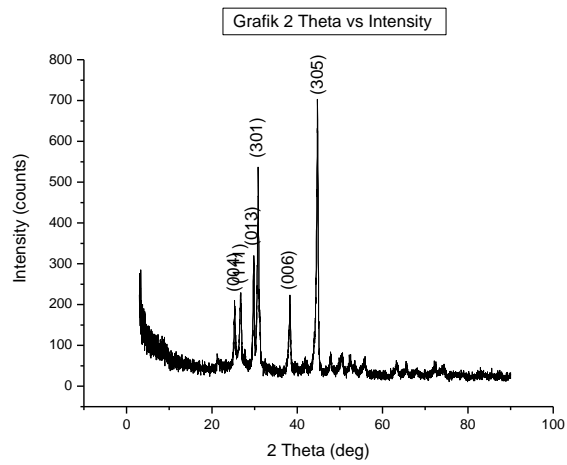
Measurement profile



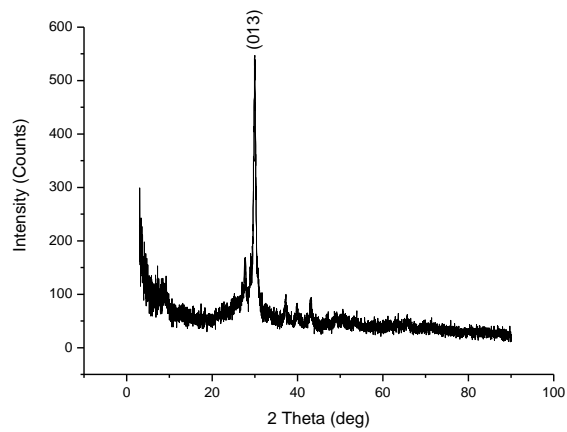
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(counts)	FWHM(deg)	Int. I(counts deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	25.60(2)	3.477(3)	72(8)	0.39(4)	44(4)	0.62(13)	0.57(11)
2	26.72(8)	3.333(10)	59(8)	2.60(10)	267(8)	4.5(7)	1.44(14)
3	27.751(12)	3.2121(14)	120(11)	0.30(2)	55(4)	0.46(7)	0.31(6)
4	31.13(3)	2.870(2)	128(11)	0.71(4)	166(4)	1.29(14)	1.7(4)
5	38.7764	2.3204	3.309582	0.824504	23.073861	6.971836	1.54301
6	40.3065	2.23577	13.384992	0.824504	17.333482	1.294994	1.54301
7	44.7513	2.02349	51.454509	0.824504	29.517302	0.573658	1.54301
8	49.70(10)	1.833(3)	26(5)	0.82(10)	27(3)	1.0(3)	1.5(9)
9	55.85(2)	1.6448(6)	24(5)	0.93(12)	34(2)	1.4(4)	5(3)

C. Lampiran III Hasil Analisis XRD

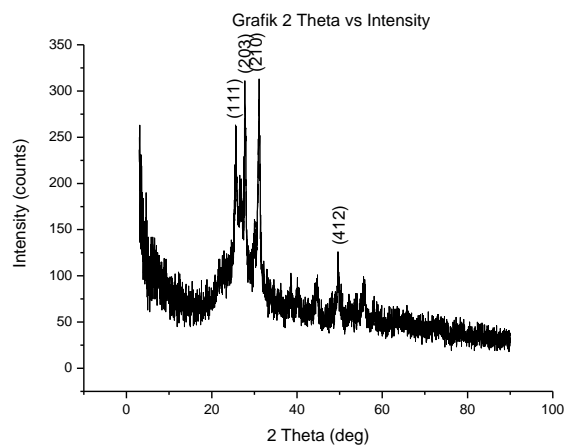
1. Hasil Analisis XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel 1



2. Hasil Analisis XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel 2

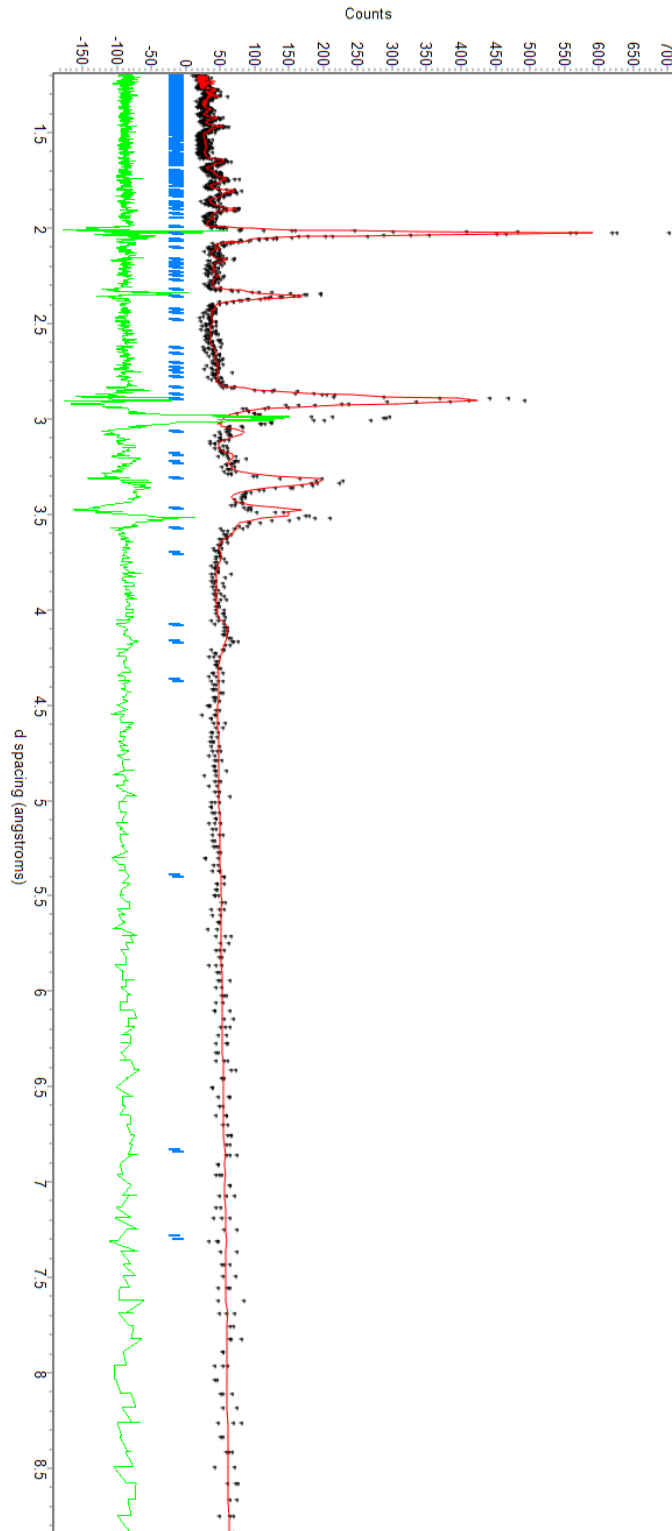


3. Hasil Analisis XRD Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ Sampel 3



D. Lampiran IV. Hasil Penghalusan atau *Refinement* Data XRD dengan Metode *Le Bail*

1. Hasil *Refinement* Difaktogram Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 1



```

+-----+
|                          Phase: 1                          |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.100000E-01      0.000000      0.000000
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS =      8.897341      0.000397      0.001206
                  3.751000      0.000000      0.000000
                  14.070572      0.002419      0.003339
                  90.000008      0.000000      0.000000
                  90.000008      0.000000      0.000000
                  90.000008      0.000000      0.000000
RECIPROCAL CELL = 0.112 0.267 0.071 90.000 90.000 90.000
CELL VOLUME = 469.590240 0.128343
SCALE * VOLUME = 4.695902 0.001283
MOLECULAR WEIGHT = 0.000
DENSITY = 0.000
NOTE: CHECK Z VALUE or N's- DENSITY NOT PHYSICAL
ABSOLUTE PHASE VALUES:
    INC = NEUTRONS ON SAMPLE/CM^2 ( in cm^-2)
    MASS = MASS OF PHASE IN BEAM (in g)
    ls/R = RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR
Then:
    INC*MASS*ls/R = 0.000000

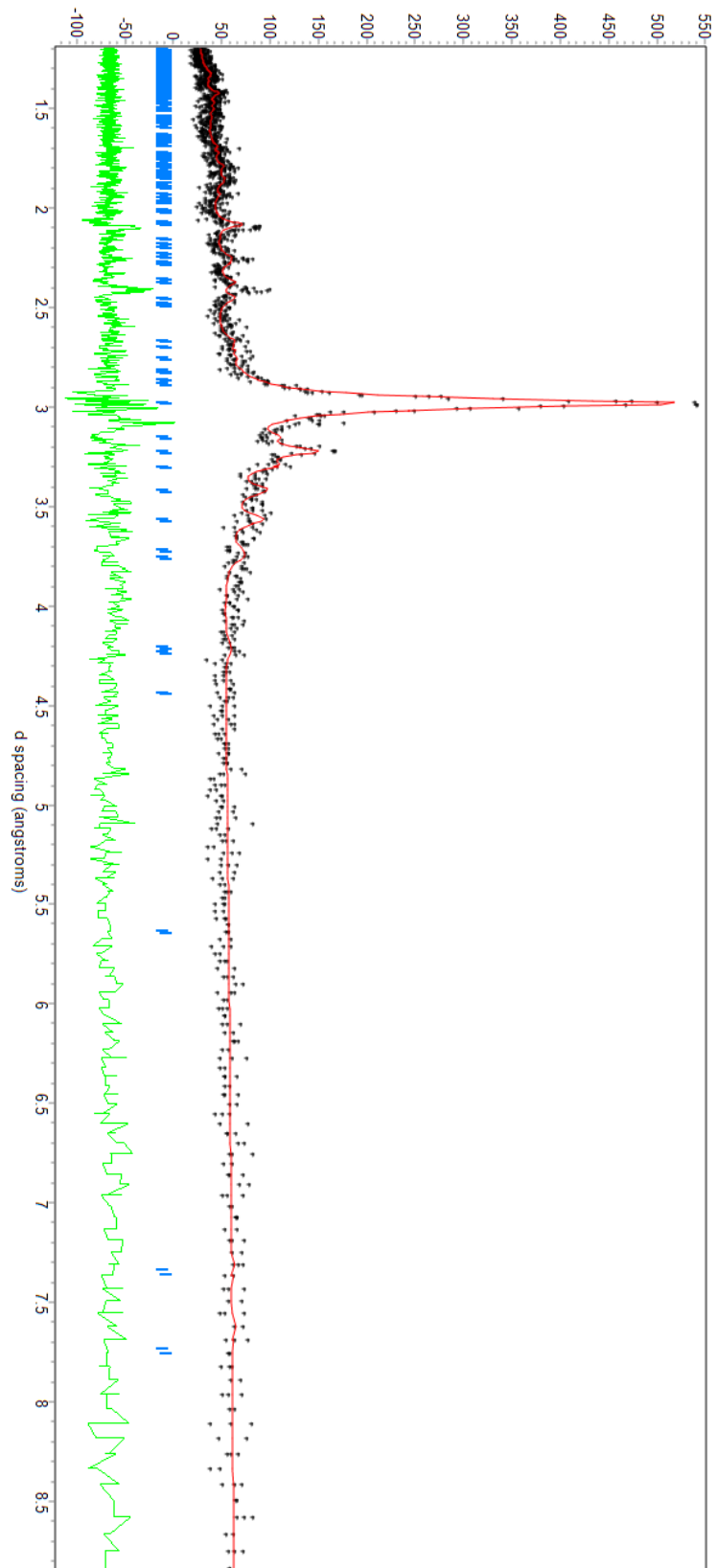
+-----+
|                          Histogram: 1                      |
+-----+
SCALE FACTOR = 1.0000      0.000000      0.000000
ZEROPOINT = 0.35298 0.01006 0.00717

BACKGROUND PARAMETER B 0 = 40.5259      0.981738      3.36400
BACKGROUND PARAMETER B 1 = -0.348300      -0.103966E-01      0.595873E-
01
BACKGROUND PARAMETER B 5 = 250.567      -14.3362      36.2400
PREFERRED ORIENTATION = 1.00000 0.00000 0.00000
ABSORPTION R = 0.00000 0.00000 0.00000
ASYMMETRY PARAMETERS = 0.22772 0.00948 0.00748
                   0.00000 0.00000 0.00000
HALFWIDTH PARAMETERS U = -0.574129      -0.020924
0.022723
                   V = 0.510036      0.017044
0.020802
                   W = -0.046461      -0.000107
0.002259
ANISOTROPIC GAUSSIAN BROADENING = 0.000100      0.000000
0.000000
PEAK SHAPE PARAMETER Gam0 = 1.441497 -0.043681 0.035150
PEAK SHAPE PARAMETER Gam1 = 0.000000 0.000000 0.000000
PEAK SHAPE PARAMETER Gam2 = 0.000000 0.000000 0.000000
EXTINCTION PARAMETER = 0.000000 0.000000 0.000000

+-----+
|-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rp(-b) | Rwp(-b) | Rexp |Durbin Unwght|
| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 16.86 | 25.31 | 440.57 | 43.71 | 38.59 |***** |
| 0.580 | 1740 |
+-----+
|-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSQ | GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.1582E+05| 0.9384E+05| 0.9373E+05| 0.1168E+05| 0.4300E+00| 0.1152E+16 |

```

2. Hasil *Refinement* Difaktogram Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 2



```

+-----+
|           Phase: 1           |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.100000E-01    0.000000    0.000000
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS = 8.588463 -0.001086 0.007930
                  3.751000 0.000000 0.000000
                  13.907011 -0.002051 0.017928
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
                  90.000008 0.000000 0.000000
RECIPROCAL CELL = 0.116 0.267 0.072 90.000 90.000 90.000
CELL VOLUME = 448.0188
60 0.710425
SCALE * VOLUME = 4.480188 0.007104
MOLECULAR WEIGHT = 0.000
DENSITY = 0.000
NOTE: CHECK Z VALUE or N's- DENSITY NOT PHYSICAL
ABSOLUTE PHASE VALUES:
  INC = NEUTRONS ON SAMPLE/CM^2 ( in cm^-2)
  MASS = MASS OF PHASE IN BEAM (in g)
  ls/R = RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR
Then:
  INC*MASS*ls/R = 0.000000

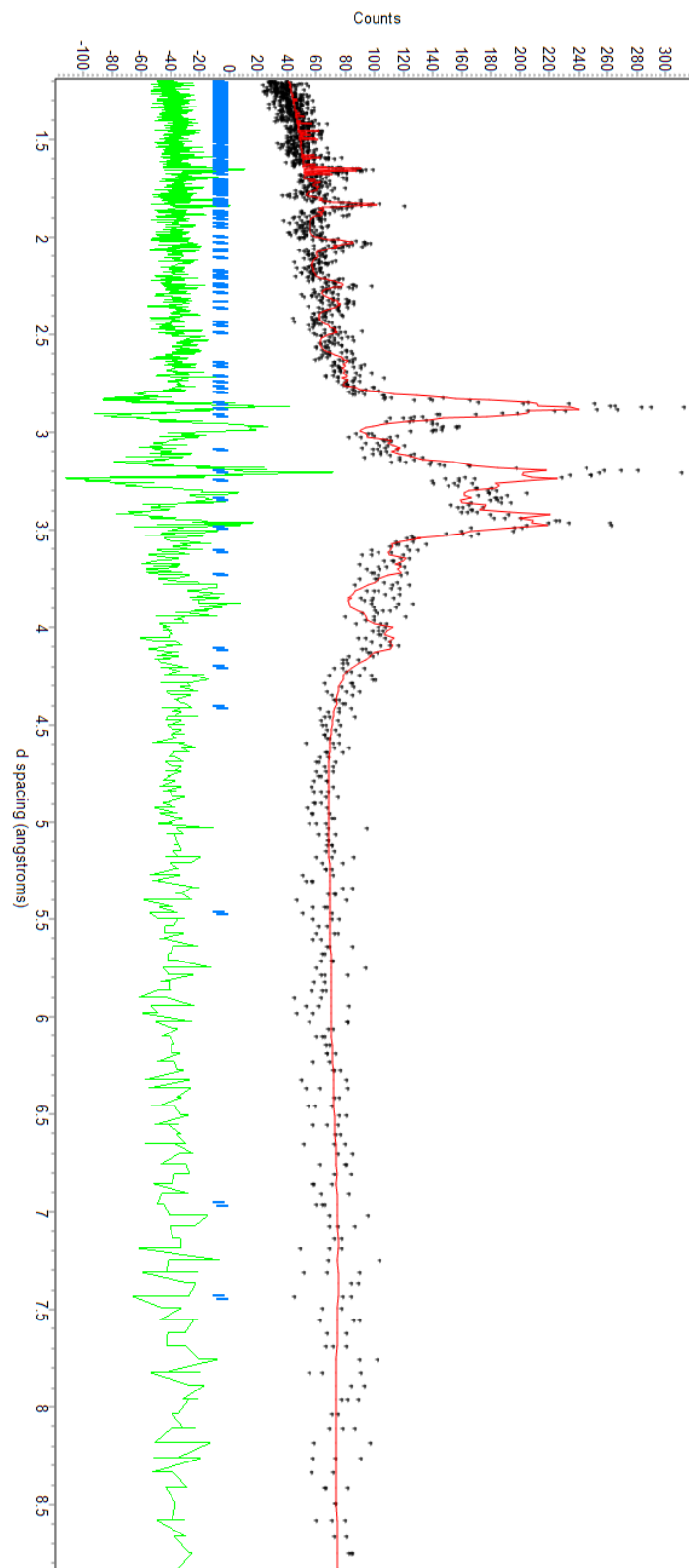
+-----+
|           Histogram: 1           |
+-----+
SCALE FACTOR = 1.0000    0.00000    0.00000
ZEROPOINT = -0.69880 0.02041 0.02381

BACKGROUND PARAMETER B 0 = 59.9524    0.359539E-01    1.80876
BACKGROUND PARAMETER B 1 = -0.446006    0.511705E-03    0.318954E-
01
BACKGROUND PARAMETER B 5 = 67.2914    -1.01255    19.4900
PREFERRED ORIENTATION = 1.00000 0.00000 0.00000
ABSORPTION R = 0.00000 0.00000 0.00000
ASYMMETRY PARAMETERS = -0.03052 0.04149 0.02478
                        0.00000 0.00000 0.00000
HALFWIDTH PARAMETERS U = 0.010000    0.000000
0.000000
                        V = 2.033428    0.134712
0.075463
                        W = -0.237838    -0.015766
0.008438
ANISOTROPIC GAUSSIAN BROADENING = 0.000100    0.000000
0.000000
PEAK SHAPE PARAMETER Gam0 = 1.191250 -0.027368 0.023385
PEAK SHAPE PARAMETER Gam1 = 0.000000 0.000000 0.000000
PEAK SHAPE PARAMETER Gam2 = 0.000000 0.000000 0.000000
EXTINCTION PARAMETER = 0.000000 0.000000 0.000000

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rp(-b) | Rwp(-b) | Rexp | Durbin Unwght |
| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 12.14 | 13.44 | 110.70 | 11.16 | 37.64 | ***** |
| 1.560 | 1741 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSQ | GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.1197E+05 | 0.9864E+05 | 0.9874E+05 | 0.1229E+05 | 0.1274E+00 | 0.7318E+14 |
+-----+

```

3. Hasil *Refinement Difaktogram* Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 3



```

+-----+
|           Phase: 1           |
+-----+
PHASE SCALE FACTOR = 0.100000E-01    0.000000    0.000000
OVERALL TEMP. FACTOR = 0.000000 0.000000 0.000000
CELL PARAMETERS =      8.867596    0.001601    0.003100
                   3.751000    0.000000    0.000000
                   14.010403    0.001817    0.004899
                   90.000008    0.000000    0.000000
                   90.000008    0.000000    0.000000
                   90.000008    0.000000    0.000000
RECIPROCAL CELL = 0.113 0.267 0.071 90.000 90.000 90.000
CELL VOLUME = 465.493469 0.230296
SCALE * VOLUME = 4.654934 0.002303
MOLECULAR WEIGHT = 0.000
DENSITY = 0.000
NOTE: CHECK Z VALUE or N's- DENSITY NOT PHYSICAL
ABSOLUTE PHASE VALUES:
  INC = NEUTRONS ON SAMPLE/CM^2 ( in cm^-2)
  MASS = MASS OF PHASE IN BEAM (in g)
  ls/R = RATIO OF DETECTOR HEIGHT TO SAMPLE-DETECTOR
Then:
  INC*MASS*ls/R = 0.000000

+-----+
|           Histogram: 1           |
+-----+
SCALE FACTOR = 1.0000    0.00000    0.00000
ZEROPOINT = 0.06522    0.00738    0.01759

BACKGROUND PARAMETER B 0 = 72.9644    0.284088E-01    0.832003
BACKGROUND PARAMETER B 1 = -0.405043    0.000000
0.000000
BACKGROUND PARAMETER B 5 = 53.2089    -0.284444    13.4456
PREFERRED ORIENTATION = 1.00000    0.00000    0.00000
ABSORPTION R = 0.00000    0.00000    0.00000
ASYMMETRY PARAMETERS = -0.41594    0.00406    0.02000
                   0.00000    0.00000    0.00000
HALFWIDTH PARAMETERS U = 0.220000    0.000000
0.000000
                   V = -0.491585    0.000152
0.003023
                   W = 0.195636    -0.000056
0.001617
ANISOTROPIC GAUSSIAN BROADENING = 0.000100    0.000000
0.000000
PEAK SHAPE PARAMETER Gam0 = 1.941055 -0.002582 0.037451
PEAK SHAPE PARAMETER Gam1 = 0.000000 0.000000 0.000000
PEAK SHAPE PARAMETER Gam2 = 0.000000 0.000000 0.000000
EXTINCTION PARAMETER = 0.000000 0.000000 0.000000

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rp(-b) | Rwp(-b) | Rexp | Durbin Unwght |
| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 12.31 | 15.86 | 125.58 | 19.01 | 31.80 | ***** |
| 1.144 | 1742 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSQ | GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.1546E+05 | 0.1256E+06 | 0.1256E+06 | 0.1722E+05 | 0.2486E+00 | 0.1431E+15 |

```

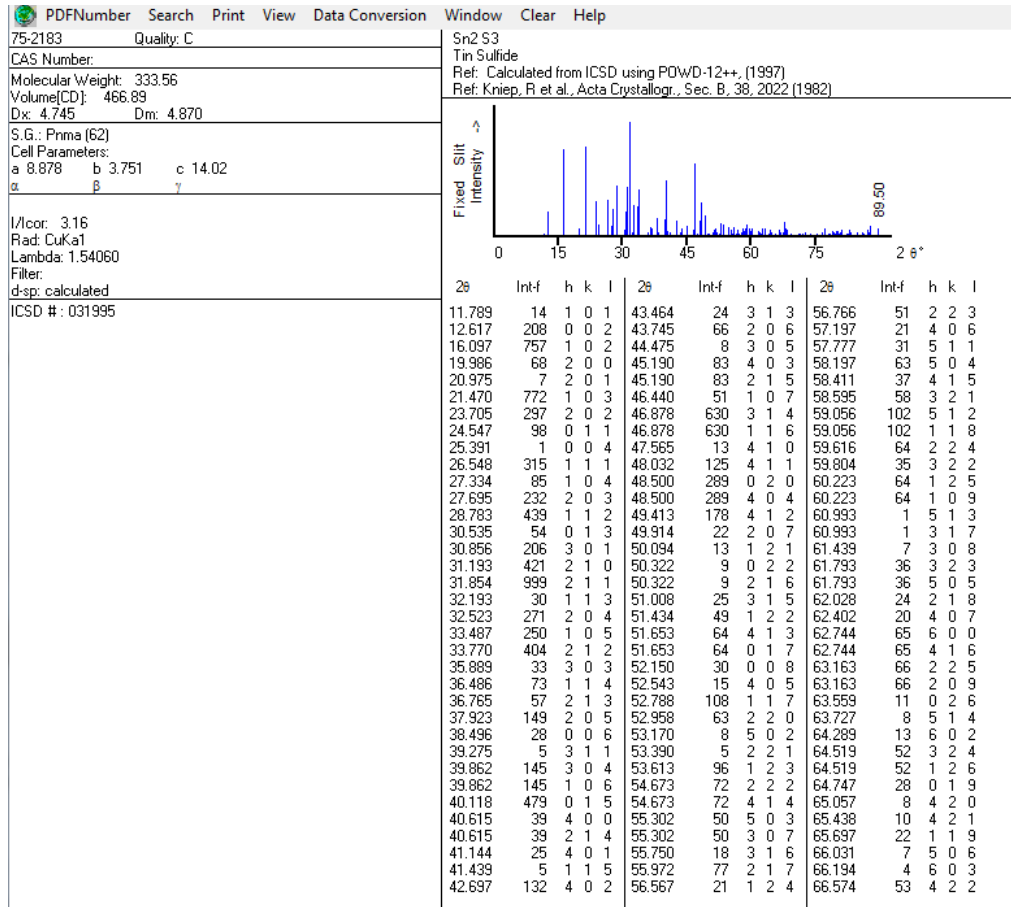
Tabel Perbandingan Hasil Perhitungan Parameter Kisi Hasil Penghalusan Menggunakan Metode *Le Bail* dengan LPHM-Rietica

Parameter Kisi	Hasil Evaporasi Sampel I (Å)	Hasil Evaporasi Sampel II (Å)	Hasil Evaporasi Sampel III (Å)	JCPDS NO. 75-2183 (Å)
<i>a</i>	8,897	8,588	8,867	8,878
<i>b</i>	3,751	3,751	3,751	3,751
<i>c</i>	14,070	13,907	14,010	14,02
Volume sel	469.590	448,019	465.493	466,885

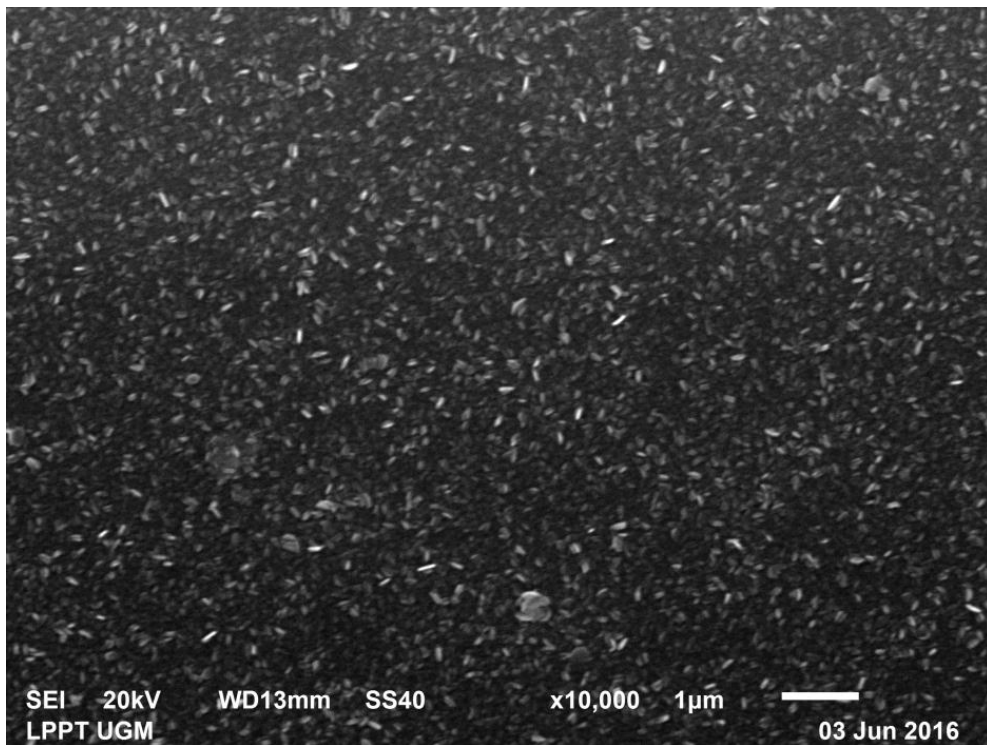
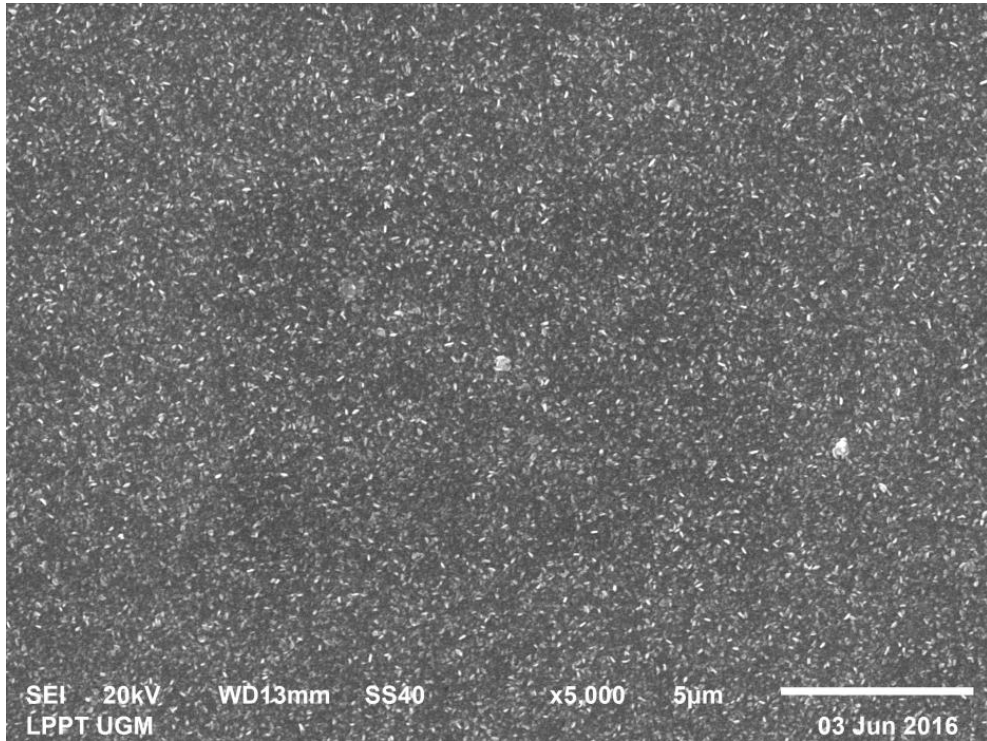
Tabel Perbandingan Nilai *Rp*, *Rw*, serta *GoF* pada Analisis Penghalusan menggunakan Metode *Le Bail*

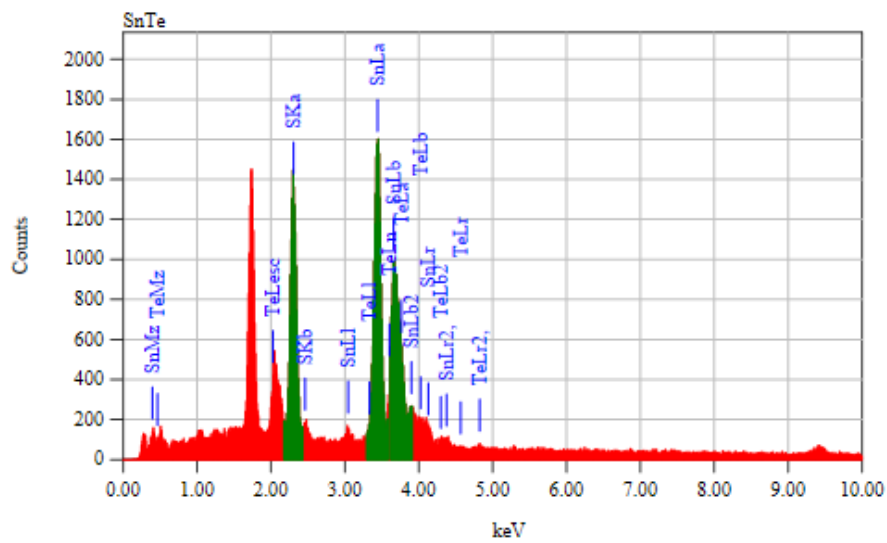
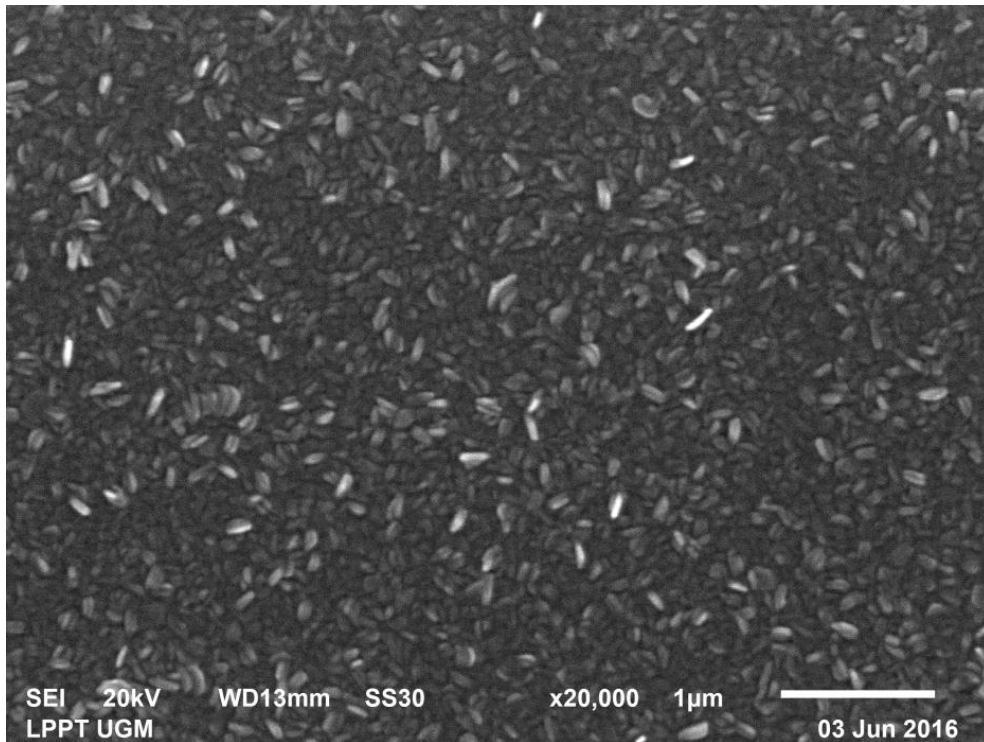
Saampel	Nilai Residu Metode <i>Le Bail</i>		
	<i>Rp</i>	<i>Rw</i>	x^2
1	16,86	25,31	0,43
2	12,14	13,44	0,12
3	12,31	15,86	0,24

E. Lampiran V JCPDS Sn



F. Lampiran VI. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn($S_{0,8}Te_{0,2}$) dengan EDAX





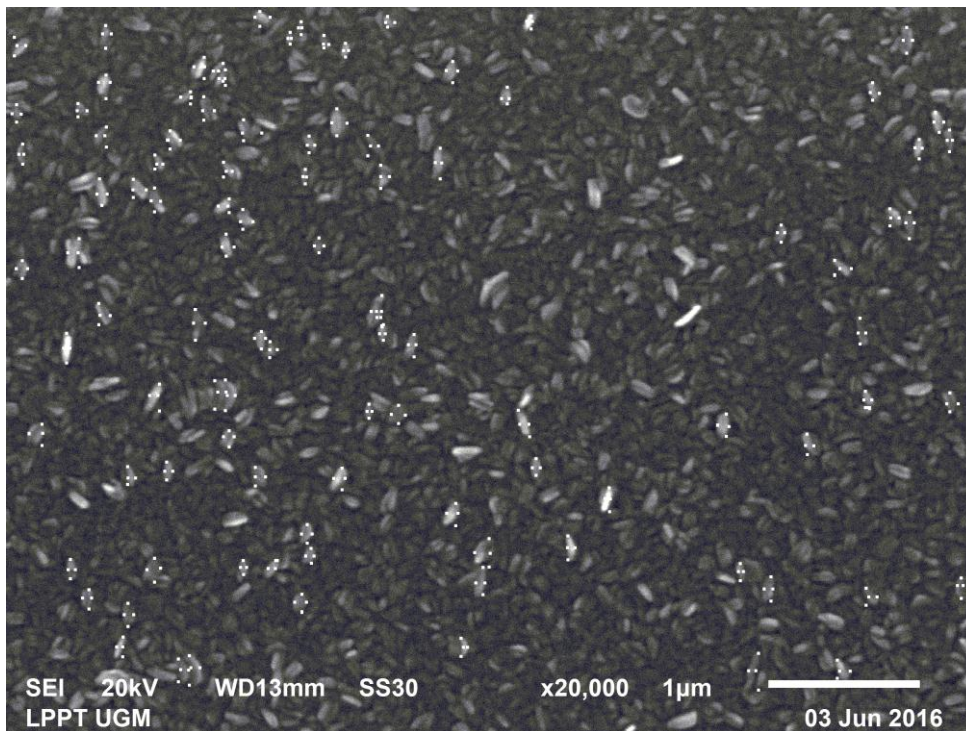
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
 Fitting Coefficient : 0.2285

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
S K	2.307	15.84	0.16	41.29				18.2366
Sn L	3.442	73.07	0.56	51.45				71.0975
Te L	3.768	11.08	0.32	7.26				10.6659
Total		100.00		100.00				

Tabel Perbandingan Molaritas Unsur Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel III

Perbandingan Unsur			Perbandingan Molaritas (%)			Perbandingan Teori (%)		
Sn	S	Sn	S	Te	Te	Sn	S	Te
51,45	41,29	7,26	1	0,80	0,14	1	0,80	0,20

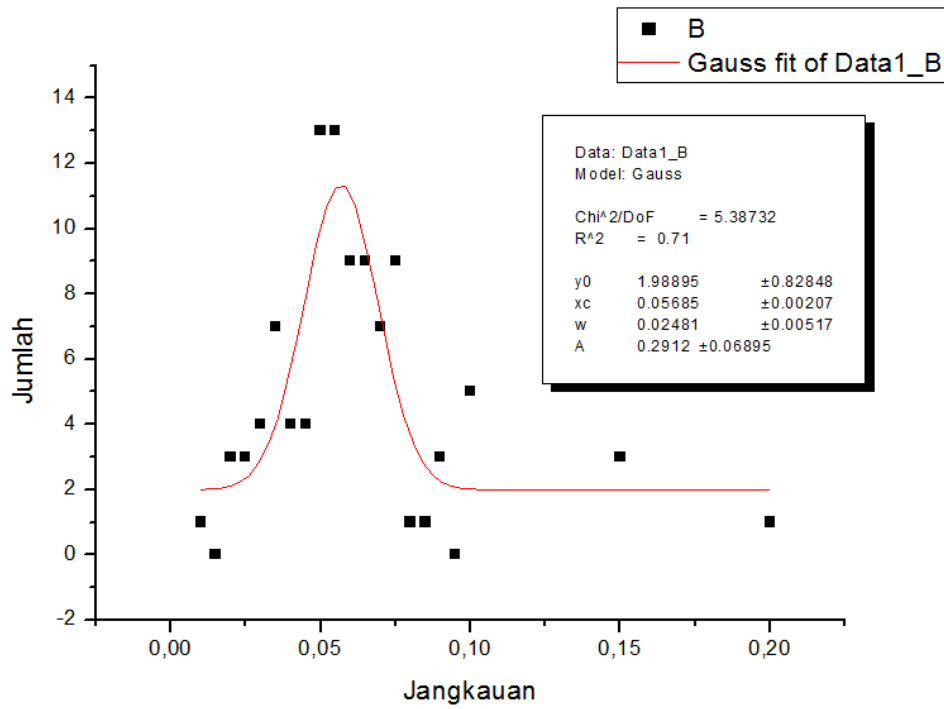
G. Lampiran VII. Hasil Analitik Perhitungan Rata-Rata Diameter *Grain*



Tabel Data Perhitungan Nilai Rata-Rata *Grain* Sumbu X

No	Jangkauan	Jumlah
1	0,01	1
2	0,015	0
3	0,02	3
4	0,025	3
5	0,03	4
6	0,035	7
7	0,04	4
8	0,045	4
9	0,05	13
10	0,055	13
11	0,06	9
12	0,065	9
13	0,07	7
14	0,075	9
15	0,08	1
16	0,085	1
17	0,09	3
18	0,095	0
19	0,1	5
20	0,15	3
21	0,2	1

Grafik Jangkauan vs Jumlah



$$D_p = x_0 = x_c = 0,05685$$

$$\sigma = w = 0,02481$$

$$\bar{D} = D_p \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right)$$

$$\bar{D} = 0,05685 \exp\left(\frac{0,02481^2}{2}\right)$$

$$\bar{D} = 0,05685 \exp(0,3,07768 \times 10^{-4})$$

$$\bar{D} = 0,05685 (1,00071)$$

$$\bar{D} = 0,05689$$

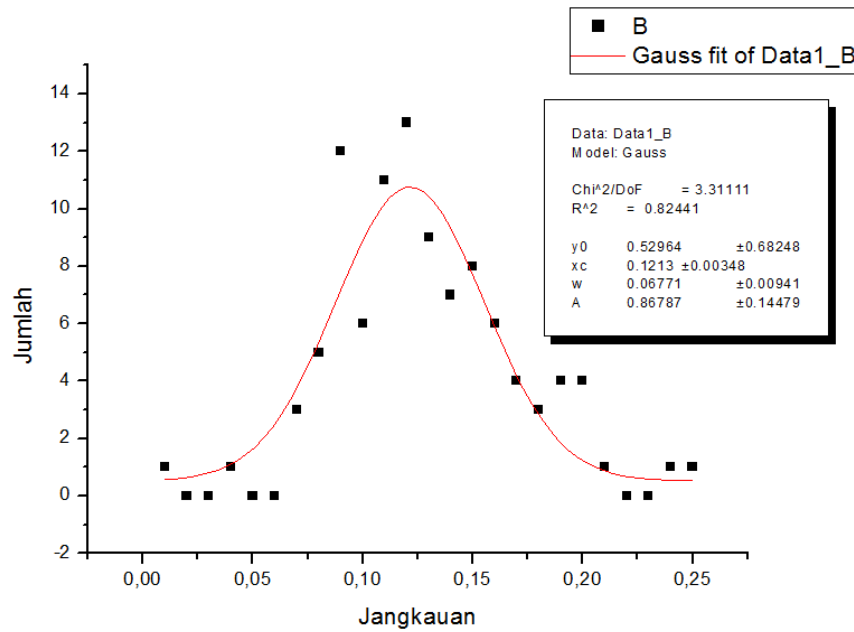
$$\bar{D} = 0,05689 \mu\text{m}$$

$$\bar{X} = 0,05689 \mu\text{m}$$

Tabel Data Perhitungan Nilai Rata-Rata *Grain* Sumbu Y

No	Jangkauan	Jumlah
1	0,01	1
2	0,015	0
3	0,02	3
4	0,025	3
5	0,03	4
6	0,035	7
7	0,04	4
8	0,045	4
9	0,05	13
10	0,055	13
11	0,06	9
12	0,065	9
13	0,07	7
14	0,075	9
15	0,08	1
16	0,085	1
17	0,09	3
18	0,095	0
19	0,1	5
20	0,15	3
21	0,2	1

Grafik Jangkauan vs Jumlah



$$D_{p=} x_0 = x_c = 0,1213$$

$$\sigma = w = 0,06771$$

$$\bar{D} = D_p \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right)$$

$$\bar{D} = 0,1213 \exp\left(\frac{0,06771^2}{2}\right)$$

$$\bar{D} = 0,1213 \exp(4,58464 \times 10^{-3})$$

$$\bar{D} = 0,1213 (1,004595)$$

$$\bar{D} = 0,12186$$

$$\bar{D} = 0,12186 \mu m$$

$$\bar{Y} = 0,12186 \mu m$$

H. Lampiran VIII Alat Penelitian



Timbangan Digital



Furnace



SEM EDAX JEOL



Evaporator



Dudukan *Crucible*



Crucible Pemasukan Bahan dalam *Crucible*

