

**PENGARUH VARIASI *SPACER* TERHADAP KUALITAS KRISTAL
LAPISAN TIPIS $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ DENGAN TEKNIK EVAPORASI VAKUM**

SKRIPSI

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



Disusun Oleh :

FANI ZAKIATI

13306141027

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2017

PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi *Spacer* terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan Teknik Evaporasi Vakum” yang disusun oleh Fani Zakiati, NIM 13306141027 ini telah memenuhi syarat dan disetujui oleh pembimbing untuk diajukan.



Yogyakarta, 14 September 2017

Disetujui,

Dosen Pembimbing,

Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

PENGARUH VARIASI *SPACER* TERHADAP KUALITAS KRISTAL
LAPISAN TIPIS $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ DENGAN TEKNIK EVAPORASI VAKUM

Disusun oleh:

Fani Zakiati

NIM 13306141027

Telah dipertahankan di depan TIM Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi

Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri

Yogyakarta pada tanggal 15 September 2017.

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Dr. Ariswan</u>		17 November 2017
Ketua Penguji/Pembimbing <u>Rita Prasetyowati, M.Si</u>		16 November 2017
Sekretaris <u>Dr. Restu Widiatmono</u>		17 November 2017
Penguji		

Yogyakarta, 21 November 2017

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fani Zakiati

NIM : 13306141027

Program Studi : Fisika

Judul TAS : Pengaruh Variasi *Spacer* terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan Teknik Evaporasi Vakum

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 dan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 14 September 2017

Yang menyatakan,

Fani Zakiati
NIM. 13306141027

MOTTO

**“JANGAN PERNAH BERHENTI JIKA KAMU MASIH BISA
BERUSAHA”**

**“JANGAN JADIKAN MALAS ITU SEBUAH ALASAN UNTUK
MENUNDA KESUKSESAN”**

**“LIHATLAH KE ATAS ADA ALLAH YANG MENGATUR SEGALANYA,
DAN LIHATLAH KEDEPAN ADA KEDUA ORANG TUA YANG
MENANTIMU DALAM KESUKSESAN”**

**“KUNCI ORANG SUKSES ADALAH IBADAHNYA, AHLAQNYA DAN
KESUNGGUHANYA”**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah ya Allah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia sehingga saya bisa berhasil sampai pada tahap ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan Nabi Agung Muhammad SAW. Semoga sebuah karya sederhana ini bisa bermanfaat dan membanggakan orang-orang sekitar.

Karya tulis sederhana ini saya persembahkan sebagai ungkapan syukur, cinta dan terimakasih kepada :

1. Babe dan ibu tercinta (Babe Poniran dan Ibu Titi Daryati), terimakasih telah mengasihi, menyayangi, menyemangati dan selalu mendoakan disetiap langkah anak-anaknya, terimakasih atas segala ilmu, bimbingan, dan pengorbanan untuk anak-anakmu selama ini.
2. Ketiga kakakku (Anisa Ekowati, Ana Mardiana, dan Muhammad Faik) yang selalu menyemangati, mendukung dan mendoakan untuk keberhasilan saya.
3. Kedua adikku (Elisa Septiana dan Muhammad Ariel Akbar) yang senantiasa memberikan semangat dan doa.
4. Dosen pembimbing Bapak Dr. Ariswan yang dengan kemurahan hati, kesabaran dan keiklasan Bapak berkenan untuk membimbing, memotivasi dan meluangkan waktunya.
5. Teman-teman Lapisan Tipis (Zainal, vina dan wida) yang saling menyemangati dan membantu selama proses penyusunan Skripsi.

6. Sahabat PRA NIKAH (Maski, Nanda, Arum, Wida dan buky) yang selalu mengajarkan banyak hal tentang lika liku kehidupan.
7. Untuk pasangan couple saya, Mbak Iin Astari yang selalu mengingatkan, memotivasi dan menyemangati.
8. Penghuni Lab Gelombang (Surya, Bagus) yang selalu berbagi ilmu dan nasihat.
9. Rencang PEMUDI CERIA, yang selalu memberikan banyak pembelajaran dan semangat.
10. Yang selalu memberikan semangat, doa dan kasih sayang setiap saat “Redwan Setiawan”.
11. Kawan FISIKA B 2013 HEBAT yang selalu bahu membahu untuk kebersamaan kita selama ini.

PENGARUH VARIASI *SPACER* TERHADAP KUALITAS KRISTAL LAPISAN TIPIS Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) DENGAN TEKNIK EVAPORASI VAKUM

Oleh :

Fani Zakiati

13306141027

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dan karakteristik kristal lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang dihasilkan melalui teknik evaporasi vakum.

Teknik evaporasi vakum digunakan pada proses penumbuhan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan tekanan $\sim 10^{-5}$ mbar. Variasi *spacer* pada evaporator sebesar 10 cm, 15 cm, dan 25 cm diterapkan pada proses penumbuhan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}). Lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan dan EDAX (*Energi Dispersive Analysis X-Ray*) untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}).

Hasil yang diperoleh memperlihatkan sampel memiliki struktur kristal *orthorombik*, dengan nilai parameter kisi sebagai berikut: variasi *spacer* 10 cm $a=11,89\text{\AA}$, $b=4,52\text{\AA}$, $c=4,4\text{\AA}$; variasi *spacer* 15 cm, $a=11,89\text{\AA}$, $b=4,29\text{\AA}$, $c=4,51\text{\AA}$; dan variasi *spacer* 25 cm, $a=11,62\text{\AA}$, $b=4,57\text{\AA}$, $c=4,64\text{\AA}$. Diameter rata-rata partikel pada koordinat kanan kiri dan atas bawah untuk *spacer* 10 cm adalah $0,1306\ \mu\text{m}$ dan $0,0139\ \mu\text{m}$. Pada koordinat kanan kiri dan atas bawah untuk *spacer* 15 cm adalah $0,1336\ \mu\text{m}$ dan $0,0246\ \mu\text{m}$. Perbandingan presentase atom dan perbandingan molaritas untuk *spacer* 10 cm adalah Sn = 53,68 %, Se = 33,65%, Te = 12,67% dan 1: 0,62: 0,23. Perbandingan presentase atom dan perbandingan molaritas untuk *spacer* 15 cm adalah Sn = 52,02 %, Se = 33,91 %, Te = 14,07% dan 1: 0,65: 0,27. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi *spacer* mempengaruhi kualitas kristal yang terbentuk. Semakin dekat *spacer* maka kualitas kristalnya semakin baik, karena kemungkinan bahan terdeposisi pada substrat semakin tinggi.

Kata kunci : Lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}), stuktur kristal, teknik evaporasi vakum.

**THE EFFECT OF SPACER VARIATION AT QUALITY OF $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$
THIN FILM BY VACUUM EVAPORATION TECHNIQUE**

BY

Fani Zakiati

13306141027

ABSTRACT

The research aimed to determine the effect of spacer variation of the $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ thin films quality and its characteristic. The $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ thin film growing process was used a vacuum evaporation technique at $\sim 10^{-5}$ mbarr. Three spacer variations 10 cm, 15 cm, and 25 cm were used on the $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ thin films growing process. These fabricated $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ thin films were characterized by XRD (X-Ray Diffraction) to determine the fabricated crystal structure and its lattice parameter, SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine the surface morphology and EDAX (Energi Dispersive Analysis X-Ray) to determine the fabricated thin films chemical composition.

The results showed that the $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ thin films were orthotombic and their lattice parameter were as follows: 10 cm spacer variation yielded $a=11,89\text{\AA}$, $b= 4,52\text{\AA}$, $c= 4,4\text{\AA}$; 15 cm spacer variations yielded $a= 11,89\text{\AA}$, $b=4,29\text{\AA}$, $c= 4,51$; and 25 cm spacer variations yielded $a=11,62\text{\AA}$, $b= 4,57\text{\AA}$, $c= 4,64\text{\AA}$. The average diameter of the particles of 10 cm spacer variations for the right-left and top-bottom coordinates were as follows $0,1306 \mu\text{m}$ and $0,0139 \mu\text{m}$ The average diameter of 15 cm spacer variations for the right-left and top-bottom coordinates were as follows $0,1336 \mu\text{m}$ and $0,0246 \mu\text{m}$. The atoms percentage ratio and the molarity ratio of 10 cm spacer variations were as follows Sn = 53,68 %, Se = 33,65%, Te = 12,67% and 1: 0,62: 0,23. The ratio percentage atoms and the ratio molarities of 15 cm spacer variations were as follows Sn = 52.02 %, Se = 33,91 %, Te = 14.07%, and 1: 0,65: 0,27. It can be concluded that the spacer variation will affects the formed crystal quality. Small spacer variations will formed better crystal quality, because of its higher depositions probability.

Keywords: $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ thin films, crystal structure, vacuum evaporation technique

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas skripsi dengan judul **“Pengaruh *Spacer* terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) 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 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.
2. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang banyak memberikan arahan dan bimbingan.
3. 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.
4. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan

arahan, bimbingan dan kesabarannya dari awal sampai akhir penyusunan tugas akhir skripsi ini.

5. Bapak Hartono selaku asisten Laboratorium Material yang dengan ikhlas membantu dalam penelitian.
6. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
7. 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, 20 Agustus 2017

Penulis,

Fani Zakiati
1306141027

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	6
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN TEORI.....	9
A. Kristal.....	9
1. Pengertian Kristal	9
2. Struktur Kristal	10
3. Indeks miller.....	13
4. Jarak Antar Bidang-Bidang Kristal (<i>hkl</i>).....	14
5. Sistem Kristal Orthorombik	15
6. Faktor Struktur Kristal.....	16
7. Cacat Kristal	18
B. Semikonduktor Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$).....	21
1. Bahan Semikonduktor	21

2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik	23
3. Bahan Semikonduktor Sn(Se _{0,6} Te _{0,4})	28
C. Lapisan tipis	29
D. Teknik Evaporasi Vakum	29
E. Sel Surya	33
F. Karakterisasi Kristal	37
BAB III METODE PENELITIAN	50
A. Waktu dan Tempat Penelitian	50
1. Waktu Penelitian	50
2. Tempat Penelitian	50
B. Variabel Penelitian	50
C. Bahan dan Alat Penelitian	51
1. Bahan-bahan penelitian	51
2. Alat penelitian	51
D. Skema Alat Penelitian	55
E. Langkah Penelitian	56
1. Penelitian tahap 1	56
2. Penelitian tahap II	59
F. Teknik Analisis Data	61
G. Diagram Alir Tahap Penelitian	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
A. Hasil Penumbuhan Kristal lapisan tipis Sn(Se _{0,6} Te _{0,4})	64
B. Hasil Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi	65
C. Hasil Morfologi Permukaan Menggunakan SEM	70
D. Hasil Komposisi Kimia Menggunakan EDAX	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	81
A. Kesimpulan	81
B. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85

DAFTAR LAMPIRAN

A.	Perhitungan parameter kisi dengan metode Analitik.....	88
B.	Perhitungan Distribusi ukuran Partikel dengan SEM.....	95
C.	Hasil karakterisasi.....	110
1.	Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(Se _{0,6} Te _{0,4}) dengan XRD	110
2.	Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(Se _{0,6} Te _{0,4}) dengan SEM.....	113
3.	Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(Se _{0,6} Te _{0,4}) dengan EDAX	115
D.	JCPDS SnSe.....	116
E.	Dokumentasi Penelitian	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan alat evaporator	4
Gambar 2. Sumbu dan sudut antar sumbu Kristal	10
Gambar 3. Empat belas kisi Bravais	12
Gambar 4. Perpotongan bidang dan sumbu	13
Gambar 5. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator.	21
Gambar 6. Ikatan kovalen pada semikonduktor ekstrinsik tipe-n.....	25
Gambar 7. Tingkat energi semikonduktor tipe-n	25
Gambar 8. Hole yang muncul dalam orbit dari semikonduktor ekstrinsik	27
Gambar 9. Tingkat energi semikonduktor tipe-p	27
Gambar 10. Daerah Kerja Pompa Vakum	31
Gambar 11. Efisiensi konversi energi surya sebagai fungsi dari energi gap	34
Gambar 12. Spektrum yang dapat diserap oleh absorber dari radiasi matahari....	37
Gambar 13. Diagram sinar-X).	38
Gambar 14. Proses bremsstrahlung.....	40
Gambar 15. Sinar-X bremsstrahlung.....	40
Gambar 16. Spektrum sinar-X karakteristik	41
Gambar 17. Berkas sinar-X pada kristal	42
Gambar 18. Spektrometer sinar-X	43
Gambar 19. Skema dasar SEM	45
Gambar 20. Hamburan dari Elektron yang jatuh pada lembaran tipis.....	47
Gambar 21. Skema Sistem Evaporasi Vakum	55
Gambar 22. Diagram Alir Tahap Penelitian	63
Gambar 23. Hasil preparasi ketiga sampel.....	64
Gambar 24. Difraktogram XRD <i>spacer</i> 10 cm	66
Gambar 25. Difraktogram XRD <i>spacer</i> 15 cm	66
Gambar 26. Difraktogram XRD <i>spacer</i> 25 cm	67
Gambar 27. Difraktogram penggabungan lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$).....	67
Gambar 28. Foto morfologi permukaan <i>spacer</i> 10 cm perbesaran 30.000 kali ...	71
Gambar 29. Foto morfologi permukaan <i>spacer</i> 10 cm perbesaran 40.000 kali ...	71
Gambar 30. Foto morfologi permukaan <i>spacer</i> 15 cm perbesaran 30.000 kali....	72
Gambar 31. Foto morfologi permukaan <i>spacer</i> 15 cm perbesaran 40.000 kali....	72
Gambar 32. Foto morfologi permukaan <i>spacer</i> 10 cm yang diberi tanda	73
Gambar 33. Foto morfologi permukaan <i>spacer</i> 15 cm yang diberi tanda	74
Gambar 34. Grafik hubungan intensitas dengan Energi <i>spacer</i> 10 cm.....	78
Gambar 35. Grafik hubungan intensitas dengan Energi <i>spacer</i> 15 cm.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais	11
Tabel 2. Spesifikasi XRD Miniflex 600.....	53
Tabel 3. Spesifikasi Mesin SEM-EDAX JEOL JSM-6510LA	54
Tabel 4. Perbandingan data XRD <i>spacer</i> 10 cm dengan data JCPDS SnSe.....	68
Tabel 5. Perbandingan data XRD <i>spacer</i> 15 cm dengan data JCPDS SnSe.....	69
Tabel 6. Perbandingan data XRD <i>spacer</i> 25 cm dengan data JCPDS SnSe.....	69
Tabel 7. Parameter kisi <i>spacer</i> 10 cm, 15 cm, dan 25 cm terhadap JCPDS SnSe. 70	
Tabel 8. Perbandingan Molaritas Unsur Sn, Se, dan Te <i>spacer</i> 10 cm.....	79
Tabel 9. Perbandingan Molaritas Unsur Sn, Se, dan Te <i>spacer</i> 15 cm.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia untuk memenuhi hidupnya, namun saat ini, bahan dasar untuk memproduksi energi listrik didominasi oleh bahan bakar fosil terutama batu bara. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui dan proses pembentukannya membutuhkan waktu yang sangat lama. Pemanfaatan bahan bakar fosil yang berkepanjangan akan menimbulkan krisis bahan bakar yang berdampak pada krisis energi. Pemanfaatan bahan bakar fosil di sisi lain menimbulkan polusi yang berdampak pada kualitas lingkungan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan pemanfaatan energi terbarukan guna mengatasi permasalahan tersebut.

Berdasarkan kondisi geografisnya, Indonesia memiliki banyak potensi dalam produksi energi terbarukan, salah satunya energi surya. Teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah energi surya menjadi energi listrik yaitu teknologi fotovoltaik yang menggunakan piranti semikonduktor dengan sambungan p-n (Al Hasbi, 2011). Efek fotovoltaik merupakan fenomena munculnya arus dan tegangan listrik akibat adanya kontak dua lapisan bahan semikonduktor yang dihubungkan di bawah paparan sinar matahari (Wardhani, 2016: 17). Teknologi fotovoltaik

dianggap sebagai teknologi yang dapat mengatasi masalah lingkungan global (Kuwano, 1997: 295).

Pembuatan piranti sel surya membutuhkan bahan semikonduktor sebagai komponen utama. Saat ini, bahan semikonduktor yang ideal sebagai bahan dasar sel surya adalah *silicon* (Si). Pada tahun 1950 sel surya berbahan kristal silikon memiliki efisiensi konversi 4% (Ariswan, 2013), dan sekitar tahun 2030 efisiensi silikon akan naik menjadi 18% (Andreev, 2012). Bahan silikon memiliki *energy gap* 1,1 eV, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap spektrum matahari lebih banyak (Reka, 1982: 51). Akan tetapi, silikon memiliki kekurangan yaitu dalam hal biaya produksi yang mahal. Oleh karena itu, pemanfaatan unsur lain yang lebih terjangkau perlu dikembangkan salah satunya melalui teknik penumbuhan lapisan tipis.

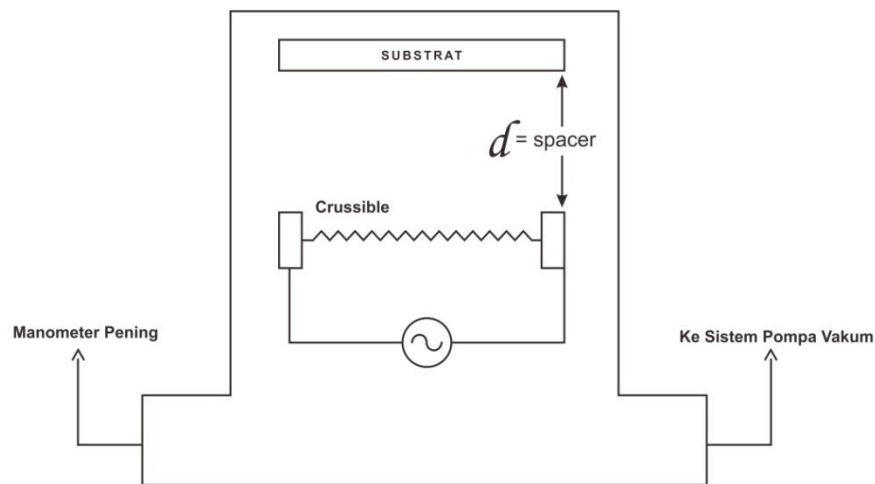
Lapisan tipis adalah lapisan yang sangat tipis yang terbuat dari bahan organik, anorganik, logam atau campuran yang memiliki sifat semikonduktor, konduktor, ataupun isolator (Lestari, 2016: 27). Manfaat lapisan tipis telah menjangkau berbagai bidang. Dalam bidang konstruksi, lapisan tipis digunakan untuk meningkatkan daya anti korosi. Dalam bidang elektronika, lapisan tipis digunakan untuk membuat kapasitor dan sensor. Dalam bidang optik, lapisan tipis digunakan untuk pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, kacamata pelindung cahaya, cermin reflektor tinggi dan transmisi daya tinggi. Dan pada bidang industri hampir

semua menggunakan lapisan tipis untuk pembuatan piranti elektronik, sel surya dan mikroelektronika (Wulandari, 2016).

Pada penelitian ini, lapisan tipis dibuat dari bahan semikonduktor perpaduan unsur SnSe dan SnTe. Kedua unsur bahan semikonduktor tersebut sama-sama merupakan semikonduktor tipe-p. Semikonduktor tipe-p berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaiik. Bahan Sn, Se, Te termasuk dalam golongan IV-VI, dimana bahan tersebut memiliki celah pita energi yang bervariasi sehingga memungkinkan bahan semikonduktor untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum matahari. Selain itu, bahan semikonduktor Sn(Se Te) memiliki sifat optik dan listrik yang cocok untuk bahan pembuatan sel surya (Padha *et al*, 2015).

Bahan SnSe menunjukkan stabilitas kimia yang tinggi serta sifat fisik yang menarik, besar energi gapnya 1,3 eV dan termasuk semikonduktor tipe-p (Reddy, 2016). SnTe merupakan material termoelektrik yang memiliki *energy gap* sekitar 0,18 eV (Askerov, 1994). SnTe memiliki sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan detektor inframerah. SnTe mempunyai struktur kristal kubik (Saini, 2010: 1). Dari perpaduan bahan semikonduktor Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) diharapkan dapat menurunkan energi gap pada SnSe sehingga dapat diperoleh energi gap yang mendekati 1,1 eV untuk dapat diaplikasikan untuk sel surya (Vasudeva, 2016).

Teknik penumbuhan lapisan tipis yang dilakukan pada penelitian ini adalah evaporasi vakum yang menggunakan alat evaporator. Teknik ini memiliki kelebihan yaitu laju penumbuhan yang sangat tinggi karena ditumbuhkan di dalam ruang vakum (Ohring, 2002: 96). Berikut bagan alat evaporator dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan alat evaporator

Evaporator adalah alat yang berfungsi untuk mengubah zat cair menjadi uap dengan penambahan panas (B. Long, 1995), maka pada alat evaporator terdapat sumber pemanas yang digunakan untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Sumber pemanas tersebut menggunakan arus listrik yang cukup tinggi agar material bahan dapat mencapai suhu evaporasi, sehingga diperoleh tekanan uap yang cukup agar material dapat keluar dari bahan sumber. Bahan yang digunakan pada proses ini harus berbentuk padatan agar bahan mudah menempel pada substrat tanpa bereaksi dengan elemen pemanas seperti bahan cair. Lapisan

tipis dari material yang dipanaskan yang akan terbentuk, jika uap material mengalami kondensasi pada permukaan substrat (Mahmudi, 2000). Proses tersebut terjadi pada evaporator yang dijelaskan pada Gambar 1. Pada evaporator terdapat jarak antara sumber bahan dengan substrat yang dinamakan dengan *spacer*. *Spacer* saat proses evaporasi berperan dalam pembentukan struktur kristal lapisan tipis pada substrat kaca. Lapisan tipis memiliki permukaan seragam yang mampu melapisi permukaan substrat secara merata dengan cacat yang minim dan memiliki struktur kristal (Yutaka dan Yohya, 1996). Hasil penelitian Eka Wulandari (2016) memperlihatkan, bahwa pada unsur $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ dengan struktur kubik menyatakan bahwa, semakin dekat *spacer*, maka intensitas yang muncul akan semakin tinggi dan sebaliknya.

Setelah lapisan tipis terbentuk, karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)*. XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis, SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis, dan EDAX digunakan untuk menentukan komposisi kimia lapisan tipis. Dari hasil karakterisasi yang dilakukan, dapat diketahui pengaruh variasi *spacer* terhadap kualitas penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang sudah terbentuk meliputi struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia dari lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka dapat diidentifikasi permasalahannya :

1. Perlu diketahui proses penumbuhan bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang digunakan untuk aplikasi sel surya menggunakan teknik evaporasi vakum.
2. Belum diketahuinya pengaruh jarak *spacer* evaporator terhadap kualitas kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dihasilkan.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah dibatasi pada penumbuhan lapisan tipis dengan perbandingan molaritas Sn: Se: Te yaitu 1: 0,6: 0,4, karena perbandingan molaritas unsur Sn: SeTe harus 1 : 1. Teknik yang digunakan yaitu teknik evaporasi vakum. Variasi *spacer* antara sumber bahan dengan substrat sebesar 10 cm, 15 cm, dan 25 cm, karena evaporator yang digunakan hanya memungkinkan tiga variasi *spacer* tersebut. Variasi *spacer* bertujuan untuk mengetahui *spacer* yang optimal agar memperoleh lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang baik. Untuk mengetahui karakteristik bahan lapisan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk, maka perlu dilakukan karakterisasi XRD, SEM, dan EDAX. XRD menghasilkan difaktogram yang menunjukkan intensitas yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, SEM menghasilkan foto morfologi permukaan yang digunakan untuk menentukan diameter partikel, dan EDAX menghasilkan spektrum yang menunjukkan

perbandingan presentase atom yang digunakan untuk menentukan perbandingan molaritas dan komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
2. Bagaimana karakteristik kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan variasi *spacer* melalui teknik evaporasi vakum?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui pengaruh *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Mengetahui karakteristik kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan variasi *spacer* melalui teknik evaporasi vakum.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh informasi tentang pengaruh *spacer* terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

2. Memperoleh informasi mengenai karakteristik kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan variasi *spacer* melalui teknik evaporasi vakum.
3. Memperoleh lapisan tipis semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang digunakan untuk bahan sel surya.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Kristal

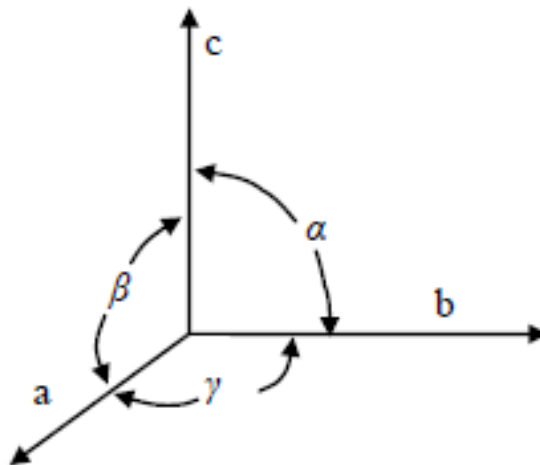
1. Pengertian Kristal

Kristal adalah komposisi atom-atom zat padat yang mempunyai susunan periodik dalam tiga dimensi. Kristal bersifat zat padat, tetapi tidak semua zat padat berstruktur kristal. Zat padat dikatakan berstruktur kristal jika atom-atom penyusunannya tertata secara teratur dan periodik. Ditinjau dari strukturnya zat padat dibagi menjadi tiga yaitu kristal tunggal monokristal, polikristal dan *amorf* (Ariswan, 2008: 1).

Monokristal (kristal tunggal) adalah kristal yang memiliki keteraturan panjang jarak susunan atom-atom tersusun berulang secara teratur (periodik) dan memiliki periodisitas yang tidak berhingga ke segala arah. Polikristal adalah kristal yang memiliki keberaturan, dengan panjang atau jarak susunan atom atau molekul hanya terbatas pada daerah-daerah tertentu di dalam kristal zat padat. Daerah-daerah dengan keberaturan atom-atom ini disebut butiran (*grain*). Lain dengan monokristal dan polikristal, *amorf* memiliki pola susunan atom atau molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya (Utomo, 2014: 8).

2. Struktur Kristal

Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara periodik berulang di dalam kisi ruang. Pada suatu sel satuan, tiga buah sumbu merupakan sumbu kristal teratur yang berhubungan dengan atom atau ion yang sama. Dimensi suatu sel satuan ditentukan oleh perpotongan konstanta sumbu-sumbu a , b dan c (Wardani et al, 2014: 19). Geometri kristal dalam ruang dimensi tiga yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Suatu kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas. Struktur kristal dinyatakan dalam sumbu-sumbu kristal yang dikaitkan dengan parameter kisi dan sudut referensi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sumbu dan sudut antar sumbu Kristal (Suwitra, 1983: 13)

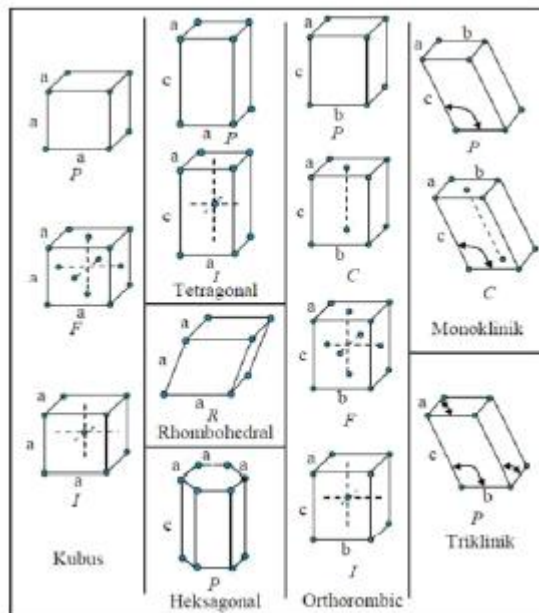
Sumbu- sumbu a , b dan c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi kristal. Untuk α , β dan γ merupakan sudut antara sumbu-sumbu referensi kristal. Menurut Bravais (1848), berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang kristal mempunyai 14 kisi dan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dan hubungan sudut satu dengan yang lain, kristal dikelompokkan menjadi tujuh sistem kristal seperti yang dapat dilihat pada tabel 1.

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	simpel pusat badan pusat muka	P I F
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel pusat dasar	P C
Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel	P
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel pusat badan	P I
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel pusat dasar pusat badan pusat muka	P C I F
trigonal / rhombohedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ < 120^\circ$	Simpel	P
hexagonal / rombus	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simpel	P

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravais (Kittel, 1976: 15)

Pada Tabel 1, simbol P (primitif) menunjukkan sel primitif atau sel sederhana dimana dari kedelapan titik pojok masing-masing yang dimiliki oleh delapan sel tetangganya. Simbol F (*face*) menunjukkan

pusat muka dimana sel dengan titik kisi berada di pusat setiap bidang kisi serta penambahan kedelapan titik pojok masing-masing yang dimiliki oleh delapan sel tetangganya. Simbol I (inti) menunjukkan pusat badan dimana sel dengan titik kisi berada dipusat bagian dalam sel unit serta penambahan kedelapan titik pojok masing-masing yang dimiliki oleh delapan sel tetangganya. Simbol C (*center*) menunjukkan pusat dasar dimana sel dengan titik kisi yang terletak pada dua bidang kisi (pusat dasar sel unit dan paralelnya) serta penambahan kedelapan titik pojok masing-masing yang dimiliki oleh delapan sel tetangganya. Simbol R hanya digunakan untuk sistem kristal rhombohedral dan bisa diartikan sama seperti sebuah sel sederhana atau sel primitif.

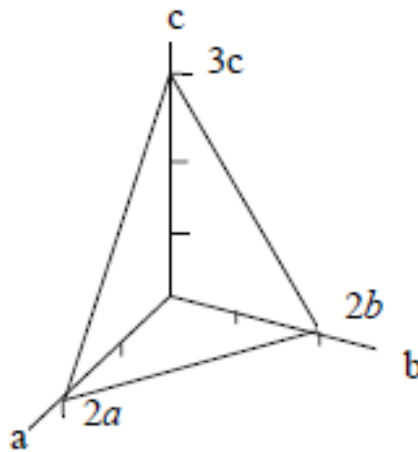


Gambar 3. Empat belas kisi Bravais (Cullity, 1956: 32)

3. Indeks miller

Dua bidang atau lebih dapat tergolong dalam kelompok bidang yang sama. Bidang tersebut biasa diberi lambang (hkl) atau biasa disebut indeks miller. Indeks miller adalah kebalikan dari perpotongan suatu bidang dengan ketiga sumbu, dinyatakan dalam bilangan utuh bukan pecahan atau kelipatan bersama. Indeks miller (hkl) dapat digunakan untuk menggambarkan semua bidang dalam kristal (Smallman dan Bishop, 2000: 16). Langkah-langkah penentuan indeks bidang :

- Menentukan titik potong bidang dengan sumbu koordinat sel satuan.
- Menentukan kebalikan (*reciprocal*) dari bilangan-bilangan tersebut, dan kemudian menentukan tiga bilangan bulat terkecil yang mempunyai perbandingan yang sama.



Gambar 4. Perpotongan bidang dan sumbu (Suwitra, 1983: 48)

Sebagai contoh pada Gambar 4, perpotongan bidang dengan sumbu dinyatakan dengan $2a$, $2b$, dan $3c$ sehingga parameter numeriknya adalah 2, 2, 3 dan Indeks Miller dari bidang adalah:

$(hkl) = h : k : l = \frac{1}{2} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3}$. Bilangan bulat terkecil dari kebalikan perpotongan bidang adalah 3 3 2, maka Indeks Millernya adalah (3 3 2).

4. Jarak Antar Bidang-Bidang Kristal (hkl)

Jarak antar bidang-bidang dalam himpunan (hkl) pada 7 sistem kristal antara lain (Cullity, 1959: 459).

a. Kubik : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2+l^2}{a^2}$ (1)

b. Rombohedral : $\frac{1}{d^2} = \frac{(h^2+k^2+l^2)\sin^2\alpha+2(hk+kl+hl)\cos^2\alpha}{a^2(1-3\cos^2\alpha+2\cos^3\alpha)}$ (2)

c. Tetragonal : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$ (3)

d. Orthorombik : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$ (4)

e. Monoklinik : $\frac{1}{d^2} = \frac{1}{\sin^2\beta} \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2\sin^2\beta}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} - \frac{2hlc\cos\beta}{ac}$ (5)

f. Heksagonal : $\frac{1}{d^2} = \frac{h^2+hk+k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$ (6)

g. Triklinik:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{1}{V^2}(S_{11}h^2 + S_{22}k^2 + S_{33}l^2 + 2S_{12}hk^2 + 2S_{23}kl^2 + 2S_{13}hl^2) \quad (7)$$

dengan V = volume satuan sel

$$S_{11}= b^2c^2\sin^2\alpha \quad S_{12}= abc^2(\cos\alpha\cos\beta - \cos\gamma)$$

$$S_{22}= a^2c^2\sin^2\beta \quad S_{23}= a^2bc(\cos\beta\cos\gamma - \cos\alpha)$$

$$S_{33}= a^2b^2\sin^2\gamma \quad S_{31}= ab^2c(\cos\gamma\cos\alpha - \cos\beta)$$

5. Sistem Kristal Orthorombik

Berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang tergantung pada orientasi dan jarak bidang kristal. Sistem Orthorombik memiliki tiga sumbu simetri dengan kristal yang saling tegak lurus satu dengan yang lainnya. Ketiga sumbu tersebut memiliki panjang yang berbeda dengan ratio $a \neq b \neq c$. Namun memiliki sudut yang sama dan tegak lurus $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Ningsih, 2016: 37-38).

Arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang bergantung pada orientasi dan jarak bidang kristal (Wahyu, 2016). Sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan persamaan jarak antar bidang sebagai berikut :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (8)$$

Dan persamaan Hukum Bragg adalah :

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (9)$$

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4d^2} \quad (10)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (8) kedalam persamaan (10),

maka diperoleh :

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4d^2} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad (11)$$

$$\text{Misal, } A = \frac{\lambda^2}{4a^2}; B = \frac{\lambda^2}{4b^2}; C = \frac{\lambda^2}{4c^2} \quad (12)$$

Maka,

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Bk^2 + Cl^2 \quad (13)$$

Jadi parameter kisi a, b dan c dapat ditulis :

$$a = \frac{\lambda^2}{4A} ; b = \frac{\lambda^2}{4B} ; c = \frac{\lambda^2}{4C} \quad (14)$$

6. Faktor Struktur Kristal

Faktor struktur memiliki peranan penting dalam menentukan bentuk karakteristik dari kisi kristal. Faktor struktur mempengaruhi intensitas yang muncul pada difraktogram. Intensitas difraksi (I) akan bernilai maksimum ketika faktor struktur (F) juga maksimum, dan intensitas difraksi (I) akan bernilai nol ketika faktor struktur (F) juga bernilai nol.

Faktor struktur (F) adalah pengaruh dari struktur kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan (Cullity, 1996: 117-123) besarnya faktor struktur (F) adalah :

$$F = I \propto F_{hkl}^2 = \sum_{j=1}^N f_n e^{2\pi i (hx_n + ky_n + lz_n)} \quad (15)$$

Dengan f_n adalah faktor hamburan atom, (x_n, y_n, z_n) adalah koordinat suatu atom, (h, k, l) adalah nilai indeks miller dan N adalah banyaknya atom dalam sel.

Faktor struktur orthorombik akan menentukan bidang mana yang dapat memberikan intensitas maksimum. Berikut adalah faktor struktur kristal orthorombik sebagai berikut:

- a. Faktor struktur kristal orthorombik sederhana mempunyai sebuah bagian sel satuan yang hanya memiliki satu atom saja dan

mempunyai koordinat 0 0 0, sehingga faktor strukturnya (F) adalah:

$$F = f e^{2\pi i (0)} = f \quad (16)$$

dan

$$F^2 = f^2 \quad (17)$$

Dengan: $e^{n\pi i} = -1^n$

Maka faktor struktur pada kristal orthorombik sederhana,

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

Faktor struktur tidak pernah bernilai nol, sehingga semua bidang (hkl) pada orthorombik sederhana menghasilkan difraksi maksimum. Intensitas selalu muncul pada sembarang nilai (hkl).

- b. Faktor struktur pada pusat badan mempunyai dua atom yang berjenis sama dan berlokasi pada 0 0 0 dan $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$

$$F = f e^{2\pi i (0)} = f e^{2\pi i (h/2 + k/2 + l/2)}$$

$$F = f [1 + e^{\pi i (h+k+l)}] \quad (18)$$

$$F = \begin{cases} 2f; & \text{jika } h, k, l \text{ adalah genap} \\ F^2 = 4f^2 \\ 0; & \text{jika } h, k, l \text{ adalah ganjil} \\ F^2 = 0 \end{cases}$$

Dengan: $e^{n\pi i} = -1^n$

Maka faktor struktur kristal orthorombik pusat badan dapat dituliskan persamaan:

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

Intensitas muncul jika nilai $h+k+l$ genap ($F \neq 0$), dan intensitas tidak akan muncul ketika nilai $h+k+l$ ganjil ($F=0$).

- c. Faktor struktur orthorombik pada pusat muka, diasumsikan untuk mengisi 4 atom pada lokasi $0\ 0\ 0$, $\frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$, $\frac{1}{2}\ 0\ \frac{1}{2}$ dan $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$.

$$F = f e^{2\pi i (0)} + f e^{2\pi i (h/2 + k/2)} + f e^{2\pi i (h/2 + l/2)} + f e^{2\pi i (k/2 + l/2)} \quad (19)$$

$$F = f [1 + e^{\pi i (h+k)} + e^{\pi i (h+l)} + e^{\pi i (k+l)}] \quad (20)$$

$4f$; h, k, l tidak tercampur (genap semua atau ganjil semua)

$$F = \begin{cases} F^2 = 16f^2 & 0; h, k, l \text{ tercampur (genap dan ganjil tercampur)} \\ F^2 = 0 & \end{cases}$$

Dengan: $e^{n\pi i} = -1^n$

$$F = \prod_{j=1}^N f_j^{(1 + \exp -\pi i h+k + \exp -\pi i h+l + \exp -\pi i k+l)}$$

Intensitas muncul jika h, k, l semua ganjil atau semua genap ($F \neq 0$), dan intensitas tidak akan muncul ketika nilai h, k, l campuran antara ganjil dan genap ($F=0$).

7. Cacat Kristal

Kristal ideal yaitu kristal yang setiap atomnya memiliki tempat kesetimbangan tertentu pada kisi yang teratur (Beiser, 1992: 357). Berdasarkan struktur kristal, atom dalam setiap material tersusun secara teratur, tetapi pada kenyataannya dalam kristal terdapat atom yang terletak tidak pada tempatnya, hilang atau tersisipi oleh atom asing, keadaan tersebut dinamakan ketidaksempurnaan atau sering disebut dengan cacat kristal. Untuk membentuk suatu kristal diperlukan berjuta-

juta atom. Oleh karena itu tidak mengherankan jika terdapat cacat kristal. Cacat kristal dapat mempengaruhi sifat bahan secara keseluruhan. Cacat yang terdapat pada kristal memiliki bermacam-macam bentuk diantaranya:

a. Cacat titik

Cacat titik merupakan ketidaksempurnaan kristal yang disebabkan penyimpangan posisi sebuah atau beberapa atom dalam kristal. Cacat titik yang sering terjadi adalah kekosongan. Kekosongan terjadi jika suatu atom berpindah dari lokasi kisinya ke lokasi atomik terdekat yang dapat menampungnya, sehingga atom seakan-akan hilang. Kondisi tersebut disebabkan karena hasil dari penumpukan yang salah sewaktu kristalisasi atau dapat juga terjadi pada suhu yang tinggi oleh karena energi termal meningkat. Bila energi termal tinggi, kemungkinan bagi atom-atom untuk melompat meninggalkan tempatnya juga akan meningkat.

b. Cacat garis

Cacat garis terjadi akibat diskontinuitas struktural sepanjang lintasan kristal (dislokasi), yaitu terdapat sebaris atom dalam kristal yang tidak berada pada tempatnya. Ada dua bentuk dasar dislokasi yaitu dislokasi tepi dan dislokasi sekrup. Pembentukan dislokasi tepi akibat adanya sisipan bidang atom tambahan dalam struktur kristal.

c. Cacat volume

Cacat volume terjadi akibat perlakuan pemanasan, iradiasi atau deformasi, dan sebagian besar energinya berasal dari energi permukaan (1 sampai 3 J/m²) (Beiser, 1992: 361).

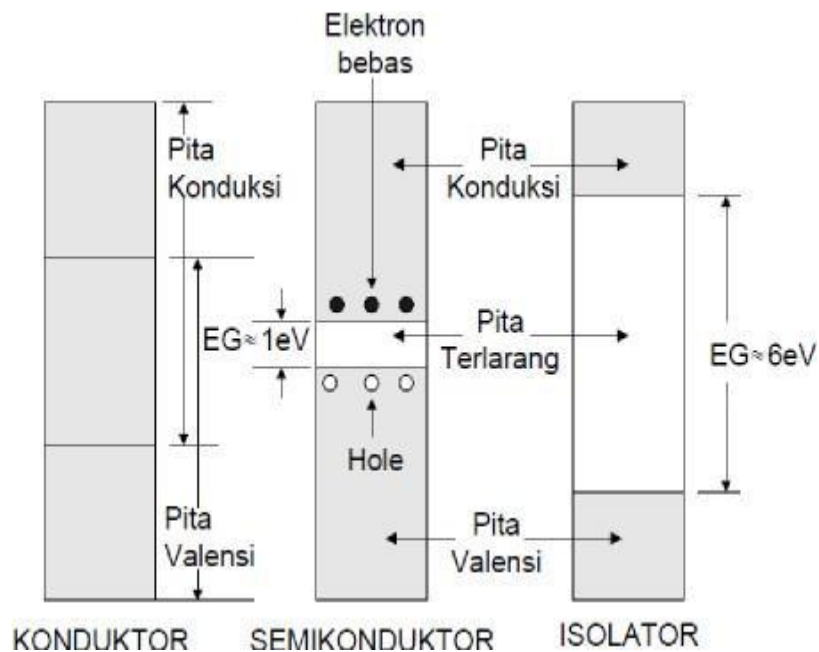
d. Cacat bidang

Pada bahan polikristal, zat padat tersusun oleh kristal-kristal kecil yang disebut butir (*grain*). Pada setiap butir atom tersusun pada arah tertentu. Pada daerah antar butir terjadi perbedaan arah keteraturan atom dan ini menimbulkan cacat pada daerah batas butir, sehingga disebut cacat batas butir.

B. Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

1. Bahan Semikonduktor

Suatu bahan dengan kemampuan menghantarkan listrik diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu: konduktor, semikonduktor, dan isolator. Perbedaan dari ketiga bahan tersebut dapat dilihat dari struktur pita energinya seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur pita energi pada konduktor, semikonduktor, dan isolator (Afdaluddin, 2013).

Konduktor merupakan bahan yang sangat baik sebagai penghantar listrik. Konduktor merupakan bahan yang memiliki resistansi listrik kecil. Hal ini disebabkan dalam bahan konduktor terdapat sejumlah besar elektron bebas. Konduktor memiliki pita konduksi dan pita valensi yang saling tumpang tindih (*overlap*) dan energi gap yang sangat kecil. Konduktor memiliki struktur pita energi yang hanya

sebagian saja yang berisi elektron. Pita energi yang terisi sebagian merupakan pita konduksi. Medan listrik eksternal yang dikenakan pada konduktor akan mempengaruhi elektron, sehingga memperoleh tambahan energi dan memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron tersebut elektron bebas yang lincah dan gerakannya menghasilkan arus listrik (Wahyu, 2016: 18).

Isolator adalah bahan yang tidak memungkinkan arus listrik melewatinya atau suatu penghantar listrik yang buruk. Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Energi gap isolator sangat besar sekitar 6 eV, sehingga energi yang diperoleh dari medan listrik eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati energi gap tersebut, sehingga penghantaran listrik tidak dapat berlangsung. Pada umumnya isolator memiliki dua sifat yaitu: (1) mempunyai celah energi yang cukup besar antara pita valensi (2) pita konduksi dan tingkat energi fermi terletak pada celah energinya (Suwitra 1989: 186).

Semikonduktor merupakan bahan dengan lebar pita terlarang E_g sekitar 1-2 eV. Pada suhu 0 K bahan tersebut bersifat isolator, karena pada suhu tersebut pita valensi penuh dan pita konduksi kosong tanpa ada pembawa muatan (Ariswan, 2014: 14). Dalam suhu kamar, karena celah energinya tidak terlalu besar, maka eksitasi termal sangat memungkinkan untuk melewati celah energi ini. Elektron valensi memperoleh energi termal yang lebih besar dari E_g , sehingga elektron-

elektron tersebut menempati pita konduksi sebagai elektron hampir bebas dan meninggalkan hole di pita valensi. Bahan tersebut bersifat konduktor dengan pembawa muatan berupa elektron dan hole.

2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik

Berdasarkan sifat kelistrikannya, ada dua jenis bahan semikonduktor, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

a. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dengan sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli. Semikonduktor intrinsik mempunyai beberapa ciri sebagai berikut (Nyoman Suwitra, 1989: 222-227):

- 1) Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah hole pada pita valensi.
- 2) Energi fermi terletak ditengah-tengah energi gap.
- 3) Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, tetapi hole juga berperan penting.
- 4) Ada satu atom di antara 10^9 atom yang memberikan sumbangan terhadap energi listrik.

b. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor yang terbentuk oleh ketidakmurnian (pengotor) yaitu dengan cara memasukkan elektron atau *hole* yang berlebih. Semikonduktor jenis ini sifat konduktivitas listriknya ditentukan oleh atom pengotor yang disisipkan pada semikonduktor tersebut.

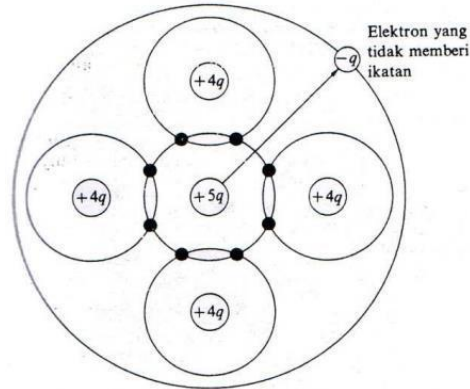
Pada umumnya tidak terdapat semikonduktor yang benar-benar murni. Namun, terdapat semikonduktor yang mengandung donor ataupun akseptor. Elektron di dalam pita konduksi dapat tercipta melalui eksitasi antar pita maupun ionisasi termal donor. *Hole* dalam pita valensi dapat terbentuk melalui eksitasi antar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

Ditinjau dari bahan pengotornya semikonduktor ekstrinsik dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1) Semikonduktor Tipe-n

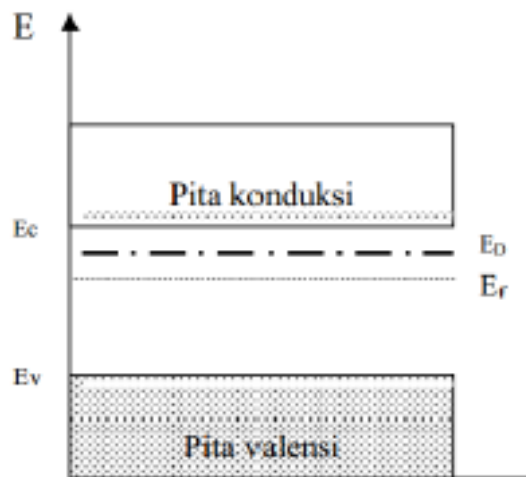
Semikonduktor tipe-n dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor pentavalen (atom bervalensi 5) ke dalam semikonduktor murni (instrinsik) yang memiliki elektron valensi empat. Selain itu, semikonduktor tipe-n dapat terbentuk pula dengan cara

menambahkan unsur-unsur golongan V (N, P, As, dan Sb) pada golongan IV (Si, Sn, Ge, dan Pb) (Reka Rio, 1982: 12).



Gambar 6. Ikatan kovalen pada semikonduktor ekstrinsik tipe-n (Reka Rio, 1982: 12)

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa empat dari lima elektron valensi akan mengisi ikatan kovalen serta menyisakan sebuah elektron yang tidak berpasangan sehingga memudahkan elektron tersebut terlepas. Elektron yang terlepas dinamakan sebagai pembawa muatan bebas.

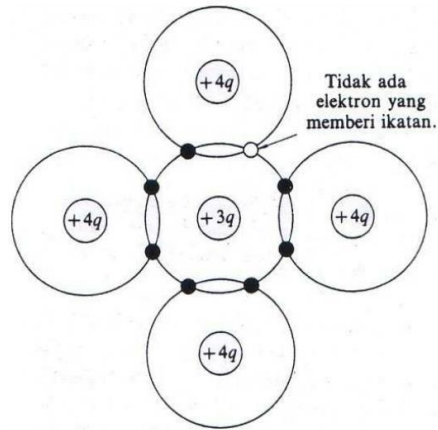


Gambar 7. Tingkat energi semikonduktor tipe-n

Pada Gambar 7, diagram tingkat energi semikonduktor tipe-n, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam energi gap tepat di bawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan elektron untuk menuju pita konduksi menjadi sangat kecil. Maka akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi ini dinamakan dengan aras donor dan elektron pengotor disebut donor karena elektron dengan mudah diberikan ke pita konduksi. Suatu semikonduktor yang telah *didoping* dengan pengotor donor dinamakan semikonduktro tipe-n atau negatif (Wahyu, 2016: 24).

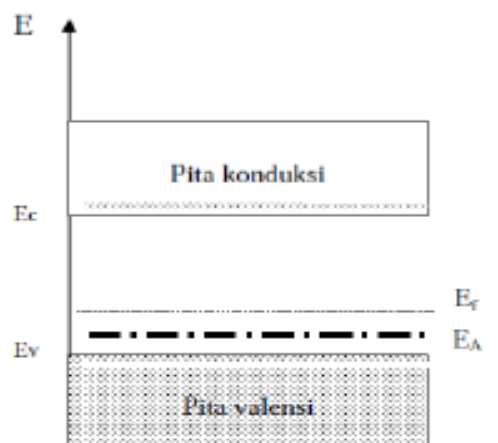
2) Semikonduktor Tipe-p

Semikonduktor tipe-p dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor trivalen pada semikonduktor murni. Atom-atom pengotor (*dopan*) ini mempunyai tiga elektron valensi sehingga secara efektif hanya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Saat sebuah atom trivalen menempati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan dari atom silikon yang tidak berpasangan. Muatan positif ini disebut sebagai lubang atau *hole* (Reka Rio, 1982: 13)



Gambar 8. Hole yang muncul dalam orbit dari semikonduktor tidak murni (ekstrinsik) bervalensi tiga (Reka Rio, 1982: 13)

Material yang dihasilkan dari proses pengotoran merupakan pembawa muatan positif pada kristal yang netral. Atom pengotor akan menerima elektron dari pita valensi, sehingga atom pengotor tersebut dikenal sebagai atom akseptor. Semikonduktor yang diberi *dopping* dengan atom-atom akseptor disebut sebagai semikonduktor tipe-p. Yang dimaksud tipe-p adalah ‘positif’, karena pembawa muatan positif jauh melebihi muatan negatif (Reka Rio, 182: 14).



Gambar 9. Tingkat energi semikonduktor tipe-p

Pada gambar 9, ditunjukkan bahwa di dalam semikonduktor tipe-p terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan yang berada sedikit di atas pita valensi. Karena energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkat energi akseptor sangat kecil, maka hole-hole yang dibentuk oleh elektron-elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron adalah pembawa minoritas di dalam pita valensi.

3. Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

$\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ merupakan material semikonduktor hasil perpaduan dari unsur SnSe yang *didopping* dengan unsur Te.

a. SnSe (*Stannum Selenide*)

Stannum Selenide adalah suatu logam paduan dua unsur antara *Stannum* (Sn) dan *Selenium* (Se). SnSe merupakan kristal berwarna abu-abu. SnSe merupakan semikonduktor tipe-p yang berfungsi sebagai material penyerap cahaya dalam aplikasi fotovoltaik. SnSe mempunyai struktur kristal orthorombik dengan lebar pita terlarang (*Energy gap*) sekitar 1,3 eV (Reddy, 2016).

b. SnTe (*Stannum Telluride*)

Stannum Telluride adalah bahan paduan antara dua unsur yaitu *Stannum* (Sn) dan *Tellurium* (Te). SnTe merupakan kristal berwarna abu-abu. SnTe merupakan material termoelektrik yang memiliki *energy gap* sekitar 0,18 eV (Askerov, 1994). Bahan ini

memiliki sensitivitas yang tinggi dan respon yang cepat, sehingga dikenal sebagai bahan detektor inframerah. SnTe mempunyai struktur kristal kubik (Saini, 2010: 1).

C. Lapisan tipis

Penerapan lapisan tipis diawali pada pertengahan 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 pada tahun 1857, Faraday berhasil membuat lapisan tipis dari logam dengan metode Evaporasi. Lapisan tipis adalah suatu lapisan bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer) yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, maupun isolator (Santi, 2011:2).

D. Teknik Evaporasi Vakum

Teknik evaporasi vakum adalah teknik pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang hampa (vakum). Sistem evaporasi menyediakan sebuah sumber pemanas untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Pada pemanas dilewatkan arus yang cukup tinggi untuk membawa bahan sumber ke suhu evaporasinya yaitu suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendesak keluar uap dari sumber bahan (Mahmudi, 2000).

Salah satu teknik evaporasi vakum adalah teknik klasik, dimana energi listrik diubah menjadi energi panas yang mengakibatkan

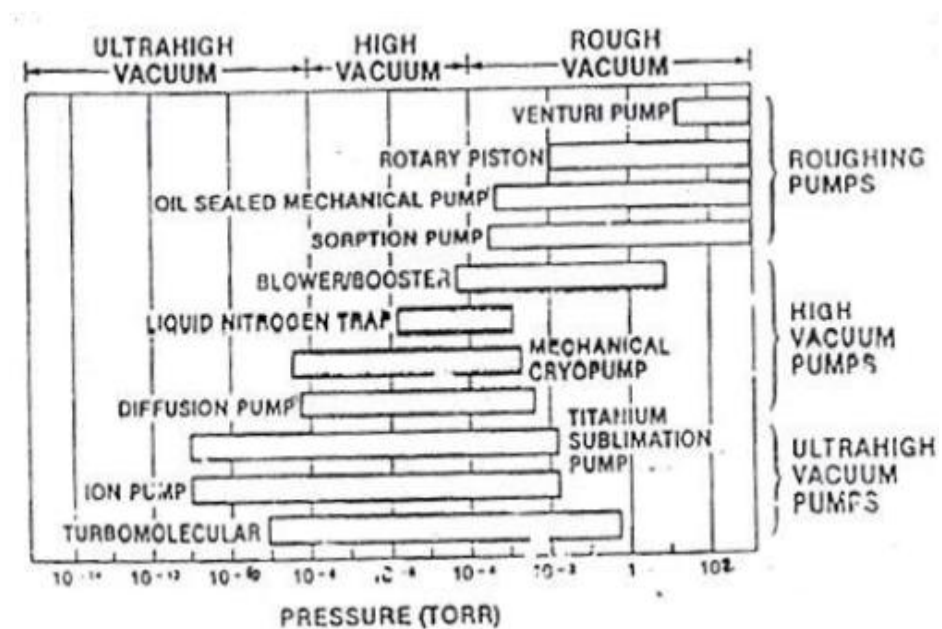
terjadinya panas pada cawan. Bahan yang berada pada cawan tersebut menguap dan terdeposisi pada substrat. Di antara cawan dengan substrat terdapat *Spacer*. *Spacer* saat proses evaporasi berperan dalam pembentukan struktur kristal lapisan tipis pada substrat kaca. Suhu substrat saat evaporasi berfungsi untuk merenggangkan susunan atom-atom sehingga atom-atom yang menguap dari target akan lebih mudah masuk dan menempati posisi kekosongan pada batas butir untuk membentuk suatu lapisan. Kualitas kristal dipengaruhi oleh banyak hal diantaranya adalah kemurnian bahan yang akan dipreparasi. Semakin baik kemurnian suatu bahan maka semakin baik pula struktur kristal bahan semikonduktor. Tekanan pada saat pemvakuman, semakin rendah tekanan yang dihasilkan maka kualitas lapisan tipis akan semakin baik. Massa dari suatu bahan material dan suhu substrat pada saat evaporasi juga mempengaruhi kualitas kristal (Utomo, 2014: 37-38).

Untuk mengosongkan tekanan di dalam suatu ruangan mulai dari tekanan atmosfer misalnya 5×10^{-5} mbarr dibutuhkan dua atau tiga pompa secara bertahap untuk mendapatkan evaporasi vakum yang tinggi. Pompa yang biasa digunakan adalah pompa vakum rotari dan pompa vakum difusi.

1. Pompa Rotari (Primer)

Pompa rotari digunakan untuk memacu kerja dari pompa difusi (Rihatmojo, 2014: 20). Pompa vakum ini menggunakan prinsip destilasi (pemisahan). Prinsip utamanya yaitu terletak pada

penurunan tekanan sehingga pelarut dapat menguap lebih cepat dibawah titik didihnya dan mampu menguapkan pelarut dibawah titik didih sehingga zat yang terkandung di dalam pelarut tidak mudah rusak oleh suhu tinggi. Pompa rotari dapat digunakan secara maksimum untuk memvakumkan suatu ruangan pada tekanan udara dari 1×10^3 torr sampai 1×10^{-3} torr (Rihatmojo, 2014: 37). Daerah kerja suatu pompa pada preparasi dengan metode evaporasi seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Daerah Kerja Pompa Vakum (Na Peng Bo dan Ariswan, 2004:18)

Berdasarkan daerah kevakumannya pompa vakum dapat dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu :

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

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

2. *High vacuum pum*, yaitu pompa yang bekerja pada vakum tinggi range kerjanya pada tekanan udara dari ($1,33 \times 10^{-6}$ – $1,33 \times 10^{-14}$) mbar. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *oil diffusion pump*, *turbomolecular*, *cryopump* dan lain-lain.
3. *Ultrahigh pump*, yaitu jenis pompa yang mampu bekerja untuk vakum ultra tinggi yaitu pada tekanan udara lebih kecil dari ($1,33 \times 10^{-14}$) mbar. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *titanium sublimation* dan *ion pump* (Milton ohring, 2002: 81).

Kelebihan proses evaporasi adalah laju penumbuhan yang sangat tinggi karena ditumbuhkan di dalam ruang vakum yang menggunakan pompa rotari dan tingkat resiko kerusakan substrat sangat kecil (Ohring 2002:96).

2. Pompa Difusi (Sekunder)

Pompa vakum difusi biasanya digunakan untuk bahan yang tekanan penguapannya rendah yaitu pada tekanan 1×10^{-2} torr sampai 2×10^{-8} torr (Rihatmojo, 2014: 37). Prinsip kerja dari pompa difusi adalah dengan cara mengalirkan uap yang diperoleh dari proses pemanasan minyak organik kemudian termampatkan ketika bertumbukan dengan dinding pompa yang didinginkan. Pompa

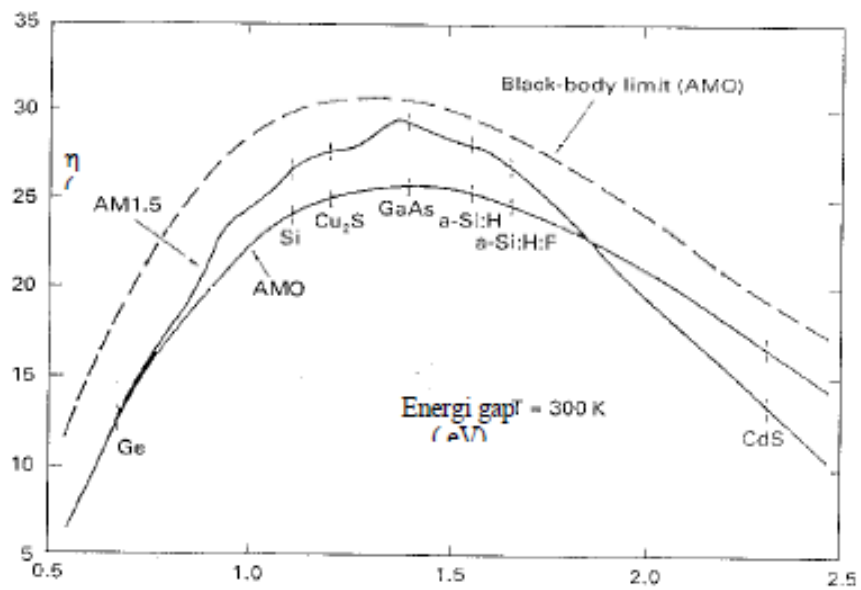
vakum difusi ini berguna untuk menguapkan cairan dan untuk meningkatkan tingkat kevakuman (Mukti, 2012).

Pompa difusi terdiri dari ketel yang berisi oli difusi, pemanas dan cerobong. Oli dalam ketel dipanasi hingga uap oli naik ke atas melalui penyempitan pipa dengan kecepatan tinggi menumbuk atap. Selanjutnya dipantulkan ke bawah kesegala arah dan menumbuk dinding pompa yang diinginkan sehingga oli mengembun kembali dan masuk ketel lagi kemudian dipanasi. Molekul gas yang berada diatas akan terdorong ke bawah oleh molekul oli yang bergerak ke bawah (Ariswan, 2004: 23).

E. Sel Surya

Solar cells atau sel surya merupakan salah satu teknologi yang memanfaatkan cahaya matahari untuk dikonversikan ke energi listrik (Fthenakis, 2012). Efek fotovoltaiik memanfaatkan foton (partikel yang mengandung energi) untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik (Nurcahyadi, 2011: 2).

Studi awal realisasi sel surya berbasis SnSe dilakukan oleh N.A Okereke (2010). Kualitas sel surya ditentukan oleh kemampuan sel surya tersebut menkonversi energi surya langsung menjadi energi listrik. Efisiensi energi surya tergantung pada energi gap (A. Goetzberger, 2000). A. Goetzberger telah menemukan hubungan antara efisiensi konversi energi matahari sebagai fungsi dari energi gap bahan seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Efisiensi konversi energi surya sebagai fungsi dari energi gap (Goetzberger, 2000)

Proses perubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa bahan semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe n dan semikonduktor tipe p. Semikonduktor tipe n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif ($n = \text{negatif}$). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p ($p = \text{positif}$) karena kelebihan muatan positif (Khoirunisa, 2016: 45-46).

Dua jenis semikonduktor n dan p jika disatukan akan membentuk sambungan p-n *junction*. Setelah dua jenis semikonduktor ini disambung terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan hole dari semikonduktor p menuju semikonduktor tipe n. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada

semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang, dan membuat daerah ini lebih bermuatan positif. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi. Karena adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbulah medan listrik internal E 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 adalah elektron. Sehingga akan menghasilkan arus difusi (Reka Rio, 1982: 59). Adanya perbedaan muatan pada daerah deplesi akan mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya arus *drift*. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi sehingga secara keseluruhan tidak ada arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan p-n tersebut (Hagfeldt, Cappel, Boschloo, & Sun, 2012).

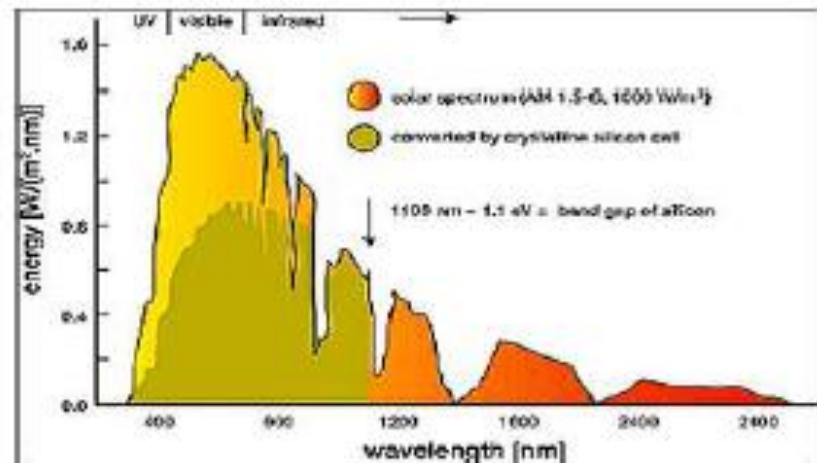
Pelepasan elektron dan hole terjadi saat semikonduktor p-n disinari. Lepasnya pembawa muatan tersebut mengakibatkan penambahan kuat medan listrik di daerah deplesi. Adanya kelebihan muatan ini akan mengakibatkan muatan ini bergerak karena adanya

medan listrik pada daerah deplesi. Pada keadaan ini, arus *drift* lebih besar daripada arus difusi sehingga secara keseluruhan dihasilkan arus berupa arus *drift*, yaitu arus yang dihasilkan karena kemunculan medan listrik. Arus inilah yang kemudian dimanfaatkan oleh sel surya sambungan p-n sebagai arus listrik (Green, 2012).

Sinar matahari yang tersusun dari foton-foton dengan berbagai panjang gelombang akan mengenai *absorber* pada permukaan sel surya yang kemudian akan diteruskan menuju lapisan-lapisan dalam sel surya. Hanya foton dengan nilai energi tertentu yang akan bereksitasi. Jika energi pada foton mengenai lapisan bermuatan negatif dalam sel surya dimana frekuensinya lebih besar daripada frekuensi ambang lapisan bermuatan negatif, maka elektron tersebut akan bereksitasi menuju lapisan bermuatan positif dibawahnya. Hal tersebut yang dapat menimbulkan aliran listrik (Wardhani, 2016: 9).

Energi yang dimiliki foton disebut juga sebagai energi gap. Untuk membebaskan elektron dari ikatan kovalenya, energi foton harus lebih besar dari energi gapnya, agar foton dapat diserap sebanyak-banyaknya. Untuk mampu menyerap sinar matahari dibutuhkan *absorber* yang mempunyai energi gap yang lebar (Bahtiar, 2011). Parameter penting yang berhubungan dengan sel surya adalah intensitas radiasinya, yaitu jumlah daya matahari yang masuk ke permukaan sel surya persatuan luas (Andreev, 2012). Radiasi yang dipancarkan oleh matahari pada

temperatur 6000 K, memberikan distribusi spektrum seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 12. Spektrum yang dapat diserap oleh absorber dari radiasi matahari dengan masing- masing panjang gelombang (Andreev, 2012)

Keunggulan sel surya yaitu ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi, dan tentunya tersedia sepanjang masa.

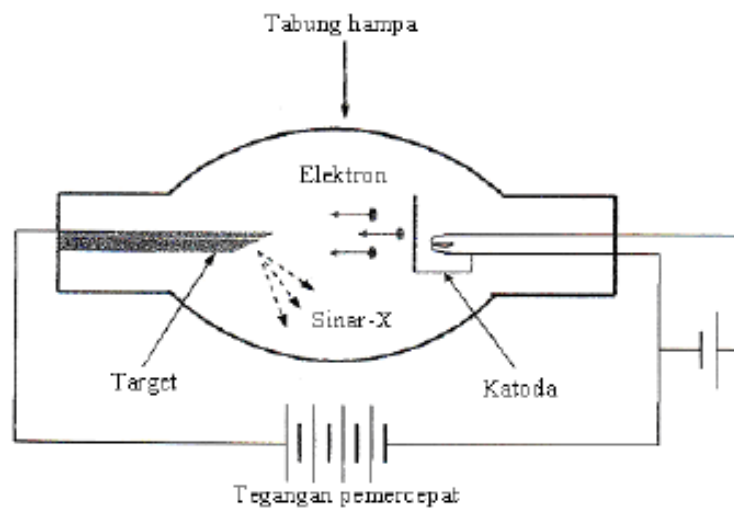
F. Karakterisasi Kristal

Dalam penelitian ini, karakterisasi kristal dilakukan dengan beberapa teknik, yaitu *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)*,

1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) yaitu metode karakterisasi lapisan tipis yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter

kisi kristal. Tidak hanya itu, XRD juga dapat digunakan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dan orientasi kristal. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang ($\lambda = 0,1 \text{ nm}$) yang lebih pendek dari pada gelombang cahaya ($\lambda = 400\text{-}800 \text{ nm}$) (Smallman, 2000:145). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan, karena sinar-X mampu menembus zat padat sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal. Radiasi sinar-X dihasilkan ketika elektron penembak bergerak dengan dipercepat. Hal tersebut mengakibatkan beda tegangan (potensial) anoda yang tinggi, kemudian menumbuk permukaan suatu bahan dalam tabung hampa udara.



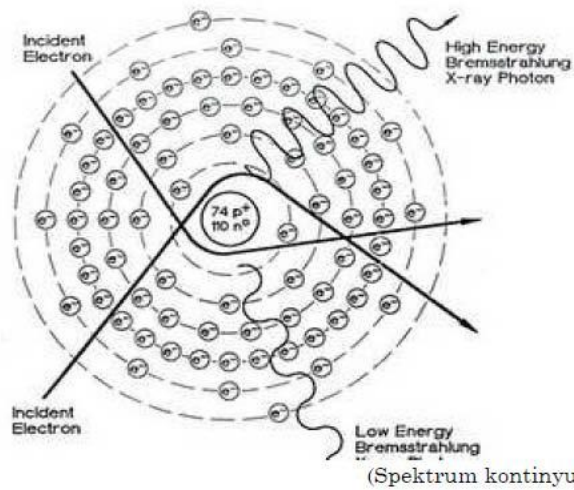
Gambar 13. Diagram sinar-X (Cullity, 1956:5).

Pada Gambar 13, berkas elektron dihasilkan oleh katoda yang dipanaskan dengan filamen, kemudian elektron bermuatan negatif

tertarik menuju muatan positif anoda pada target, hal ini terjadi karena adanya beda potensial antara katoda dan anoda. Apabila beda potensial antara katoda dan anoda diberi lambang V_0 (volt), maka saat elektron mengenai permukaan anoda dapat dihitung besar energinya sebagai berikut:

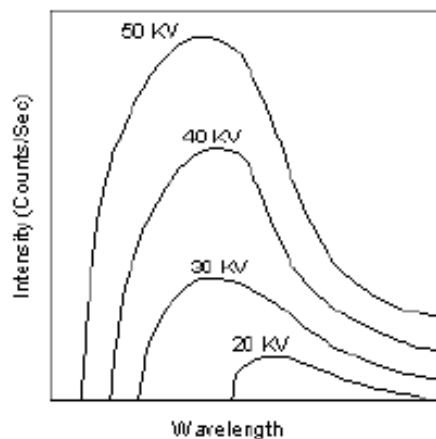
$$E_k = eV_0 \quad (21)$$

Karena adanya interaksi antara elektron berenergi E_k dengan logam anoda maka terjadilah pancaran sinar-X. Pancaran radiasi dari sinar-X yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi dua komponen yaitu spektrum kontinyu dan spektrum garis atau karakteristik. Spektrum kontinyu mempunyai rentang panjang gelombang yang lebar sedangkan spektrum garis merupakan karakteristik dari logam yang ditembak (Smallman, 2000:145). Spektrum sinar-X kontinyu dihasilkan dari peristiwa *bremsstrahlung*. Pada saat elektron menumbuk logam, elektron dari katoda (elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Pada saat mendekati inti atom elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Proses inilah yang dikenal proses *bremsstrahlung*. Energi radiasi pada spektrum kontinyu meningkat dengan bertambahnya nomor atomik target dan berbanding lurus dengan kuadrat tegangan. Proses *bremsstrahlung* disajikan pada Gambar 14.



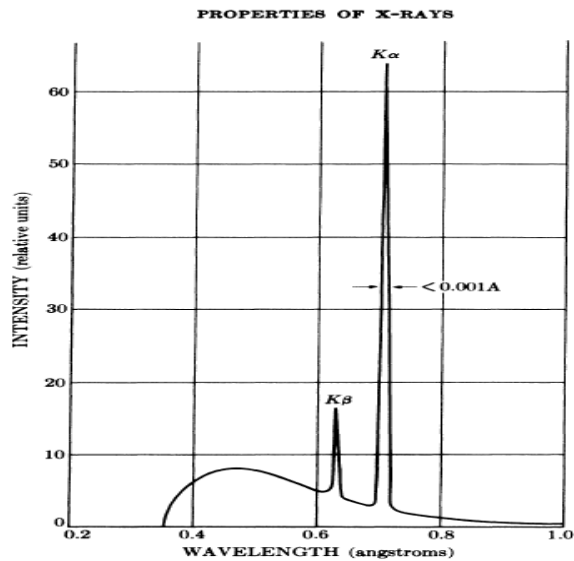
Gambar 14. Proses bremsstrahlung (Thomas dan James, 1990)

Proses *bremsstrahlung* akan menghasilkan radiasi dengan spektrum kontinyu yang memiliki frekuensi atau panjang gelombang yang tergantung pada tegangan akselerasi. Spektrum dari sinar-X *bremsstrahlung* disajikan pada Gambar 15.



Gambar 15. Sinar-X bremsstrahlung (Cullity, 1956:5)

Sedangkan spektrum karakteristik terjadi apabila elektron terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam dari kulitnya. Peristiwa ini menyebabkan terjadinya transisi elektron dan pelepasan energi yang dikenal sebagai foton sinar-X karakteristik.



Gambar 16. Spektrum sinar-X karakteristik (Cullity, 1956:8)

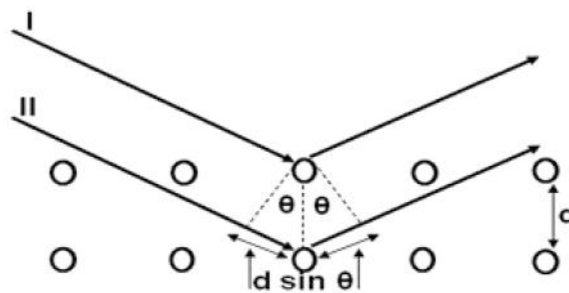
Pada Gambar 16, sepektrum radiasi terlihat jelas bahwa terdapat lebih dari satu sinar-X karakteristik, berarti sinar-X masih bersifat polikromatik. Hal ini terjadi karena adanya transisi antara tingkat energi yang berbeda. Untuk menganalisis struktur kristal dari bahan paduan dibutuhkan sinar-X yang monokromatik atau hanya memiliki satu panjang gelombang saja, maka dilakukan proses penyaringan menggunakan bahan penyaring (*filter*) yang sesuai, yaitu dengan menggunakan logam bernomor atom lebih kecil dari target.

Berkas sinar-X monokromatik yang jatuh pada sebuah kristal akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom, pada arah tertentu gelombang hambur itu akan berinterferensi konstruktif sedangkan yang lain akan berinterferensi destruktif. Atom-atom dalam krsital dapat dipandang sebagai unsur pembentuk keluarga bidang datar dengan masing-masing keluarga

mempunyai jarak karakteristik antara bidang-bidang komponen. Analisis ini dilakukan oleh W.L Bragg pada tahun 1913, sehingga bidang-bidang ini dinamakan bidang Bragg (Beisser, 1992: 65).

Bila sinar-X monokromatis dikenakan pada kristal, akan diperoleh pola difraksi. Pola difraksi ini tergantung pada jarak antar titik kisi yang menentukan gelombang akan berinterferensi konstruktif (saling menguatkan) atau berinterferensi destruktif (saling menghilangkan). Difraksi cahaya terjadi dalam zat bila jarak antar partikel-partikelnya tersusun teratur dan panjang gelombang terdifraksi akan saling menguatkan bila gelombangnya sefasa, tetapi akan saling meniadakan bila tidak sefasa.

Difraksi sinar-X berasal dari susunan atom-atom yang tersusun teratur secara periodik sesuai dengan posisi-posisi tertentu di dalam kristal. Atom-atom didalam kristal dapat dipandang berada pada bidang-bidang yang sejajar satu sama lain yang dipisahkan oleh jarak d , seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Berkas sinar-X pada kristal (Ariswan, 2012)

Bila selisih antara lintasan optik sinar-X yang direfleksikan oleh atom dilapisan pertama dan oleh atom yang ada di lapisan kedua

adalah $2d\sin\theta$, gelombang-gelombang itu akan saling menguatkan atau menghilangkan dan menghasilkan pola difraksi. Intensitas pola difraksi akan bernilai maksimum apabila:

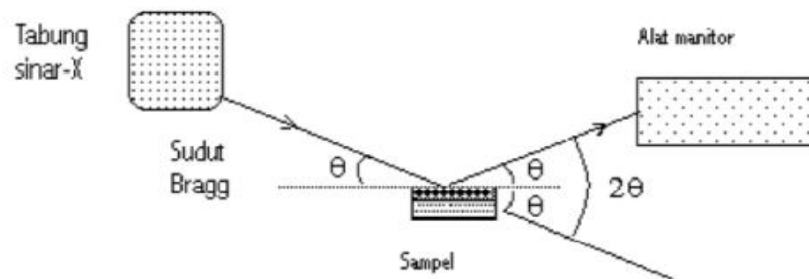
$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (22)$$

Dengan λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi

Persamaan ini disebut dengan persamaan *Bragg*, menurut *Bragg* berkas terdifraksi oleh kristal terjadi jika pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interferensi konstruktif. Rancangan skematik spektrometer sinar-X yang didasarkan analisis *Bragg* dapat digambarkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Spektrometer sinar-X (Beisser, 1922: 66)

Dapat dilihat bahwa seberkas sinar-X yang terarah jatuh pada kristal dengan sudut θ dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburnya juga θ . Setiap sinar-X yang sampai ke detektor memenuhi syarat pertama *Bragg*. Ketika sudut diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde yang dituliskan dalam persamaan 22, jika jarak antar bidang

Bragg yang berdekatan dalam kristal diketahui, maka panjang gelombang sinar-X akan diketahui (Beisser, 1992: 67).

Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. XRD bekerja dengan prinsip dasar mendifraksi sinar-X yang melalui celah kristal yaitu dengan asas hukum *Bragg*. Sampel yang akan dianalisis disinari oleh sinar-X dan terjadi difraksi. Intensitas difraksi ditangkap oleh suatu sensor bergerak mengitari sampel dan diukur intensitas sinar-X pada titik-titik (sudut) yang dilewati. Besaran intensitas pada sudut-sudut tertentu menunjukkan sistem kristal dari sampel.

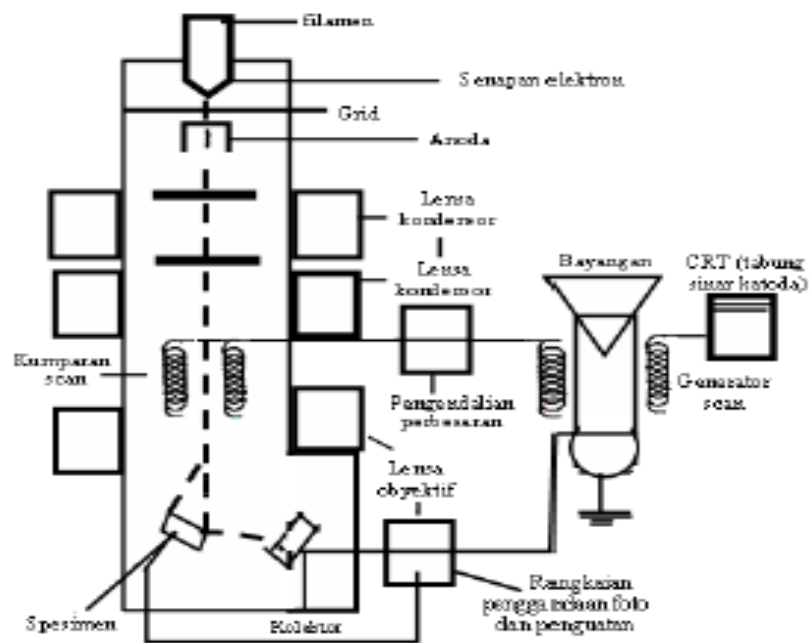
Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai acuan atau data standar. JCPDS (*Join Committee on Powder of Diffraction Standard*) merupakan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material yang digunakan untuk menentukan indeks miller pada puncak difraksi yang terbentuk.

2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Analisis *Scanning Electron Microscopy (SEM)* digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butir, cacat struktural dan komposisi pencemaran suatu bahan.

Hasil yang diperoleh berupa *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan tiga dimensi berupa gambar dan foto. Sumber elektron dari filamen yang terbuat dari *tungsten* memancarkan berkas elektron dan berinteraksi dengan bahan sehingga menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X, kemudian elektron tersebut mengenai permukaan bahan dan proses tersebut disebut dengan *scanning*.

Hasil *scanning* pada permukaan bahan pada titik permukaan yang dikehendaki dapat diatur dengan *scanning generator* dan *scanning coils*. Sinyal sekunder yang dihasilkan dari titik permukaan bahan akan ditangkap dan diubah menjadi sinyal listrik oleh *Secondary Electron* (SE) detektor yang kemudian diolah dan ditampilkan pada monitor sinar katoda.



Gambar 19. Skema dasar SEM (Smallman, 2000:157)

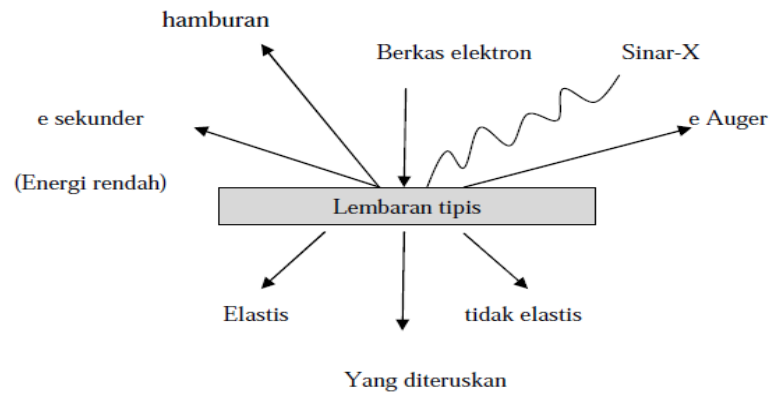
Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (*CRT*) (Smallman, 2000:157). Dari foto hasil SEM, tampak bahwa ukuran partikel bervariasi dari yang sangat kecil hingga cukup besar dan dapat diukur dengan bantuan beberapa program seperti Paint, Ms Excel dan Origin.

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

Energi Dispersive Analysis X-Ray (EDAX) merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu bahan. Prinsip kerja dari teknik ini adalah menangkap dan mengolah sinyal *fluoresensi* sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (*specimen*). Sinar-X tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X.

Berkas elektron yang jatuh sebagian dihamburkan, sedangkan sebagian lagi akan diserap dan menembus spesimen. Bila *specimen*-nya cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan

elektron *auger*, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material.



Gambar 20. Hamburan dari Elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 2000:155)

Dari Gambar 20, menunjukkan hamburan elektron-elektron ketika mengenai *specimen*. Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger* bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material (Smallman, 2000:156).

Elektron sekunder merupakan elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang dihasilkan dari interaksi berkas elektron jatuh pada bahan sehingga mengakibatkan adanya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron *auger* adalah elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan dari atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ketingkat energi yang lebih rendah (Lestari, 2016: 59).

Apabila berkas elektron mengenai sampel padat, maka sebagian lagi akan menembus sampel. Sebagian elektron akan diteruskan untuk

sampel yang tipis maka beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis (Smallman, 2000: 155-156).

G. Kerangka berpikir

Metode yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yaitu teknik evaporasi vakum. Teknik evaporasi vakum merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu *spacer*, tekanan pada saat pemvakuman, suhu substrat, bahan cawan (*crucible*) dan massa bahan.

Spacer pada proses evaporasi vakum berperan dalam pembentukan struktur kristal lapisan tipis pada substrat kaca. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Eka Wulandari (2016), bahwa pada unsur $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang berstruktur kubik dengan variasi jarak 10 cm, 15 cm, dan 25 cm didapatkan, semakin dekat *spacer*, maka intensitas yang muncul akan semakin tinggi, dan semakin jauh *spacer*, maka intensitas yang muncul semakin rendah. Intensitas tinggi menunjukkan bahwa atom-atom yang terdapat pada substrat tersusun secara teratur dan mengalami interferensi konstruktif. Pada saat intensitas rendah mengalami interferensi destruktif (Wulandari, 2016: 65). Variasi *spacer* antara sumber bahan dengan substrat sebesar 10 cm, 15 cm, dan 25 cm. Ini, bertujuan untuk mengetahui *spacer* yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$ yang

baik dan mengetahui pengaruh *spacer* terhadap kualitas kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Te}_{0,6})$.

Lapisan tipis yang terbentuk diharapkan dapat menjadi piranti semikonduktor yang digunakan untuk aplikasi sel surya. Semikonduktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu unsur SnSe dan SnTe. SnSe memiliki energi gap sebesar 1,3 eV (Vasudeva, 2016), dan SnTe memiliki energi gap sebesar 0,18 eV (Askaerov, 1994). Oleh karena itu, dari perpaduan kedua unsur diharapkan dapat menurunkan energi gap SnSe sehingga mendekati energi gap sebesar 1,1 eV yang nantinya digunakan untuk aplikasi sel surya. Energi gap sebesar 1,1 eV merupakan gap optimal untuk sel surya.

Untuk mengetahui karakteristik bahan lapisan $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk, maka perlu dilakukan karakterisasi XRD, SEM, dan EDAX. XRD menghasilkan difraktogram yang menunjukkan intensitas yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, SEM menghasilkan foto morfologi permukaan yang digunakan untuk menentukan diameter partikel, dan EDAX menghasilkan spektrum yang menunjukkan perbandingan presentase atom yang digunakan untuk menentukan perbandingan molaritas dan komposisi kimia lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Februari sampai bulan April 2017.

2. Tempat Penelitian

- a. Tahap preparasi penumbuhan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan teknik evaporasi vakum dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Karakterisasi struktur kristal lapisan tipis menggunakan *X-Ray diffraction* (XRD) dilaksanakan di Laboratorium kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi struktur morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan analisis komposisi kimia lapisan tipis menggunakan *Energy Dispersive Analysis X-ray* (EDAX) dilaksanakan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

B. Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas : *Spacer*
- b. Variabel terikat : Struktur kristal, parameter kisi kristal, morfologi permukaan dan komposisi kimia

- c. Variabel kontrol : Tekanan, suhu substrat, massa bahan dan bahan cawan atau *crucible*

C. Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan-bahan penelitian

- a. Bahan masif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ hasil dipreparasi menggunakan teknik bridgman yang masih berupa batuan kecil hasil penelitian sebelumnya.
- b. Substrat kaca
- c. Alkohol 70%

2. Alat penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi kristal semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terdiri :

a. Perangkat preparasi bahan semikonduktor lapisan tipis

$\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

- 1). Sistem Evaporator, alat ini digunakan untuk preparasi lapisan tipis dengan model coating yang merupakan alat rakitan sendiri yang dikembangkan oleh Ariswan pada tahun 2013, dengan tegangan kerja 210 volt.
- 2). Pompa vakum difusi, alat ini digunakan untuk menghampakan ruang vakum pada tekanan yang lebih

rendah dengan kerja pompa rotari yaitu dengan tekanan maksimum 1×10^{-2} torr sampai 2×10^{-8} torr.

- 3). Pompa vakum rotari merk Robinair Vacum Aster, alat ini digunakan untuk menghampakan ruang vakum sebelum proses preparasi dimulai dengan tekanan maksimum 1×10^3 torr sampai 1×10^{-3} torr.
- 4). Timbangan analitik merk Denver Instrument XE-310 dengan max 310 gram e= 0,001 gram, alat ini digunakan untuk menimbang bahan dengan massa yang dikehendaki.
- 6). Penggerus model mangkok, alat ini digunakan untuk menghaluskan bahan massif yang masih berbentuk batuan kecil.
- 7). *Furnace* merk Barnstread Thermolyne, alat ini digunakan untuk mengeringkan kaca substrat dengan suhu 100° .
- 8). Multimeter digital merk Sanwa, alat ini digunakan untuk mengukur tegangan pada saat pemanasan substrat.
- 9). *Manometer penning* merk Alcatel, alat ini digunakan untuk mengetahui tekanan pada ruang vakum pada saat proses evaporasi.
- 10). *Stopwatch*, alat ini digunakan untuk mencatat waktu yang dikehendaki dalam pembacaan suhu evaporasi berlangsung.

b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis



1). X-ray Diffraction (XRD)

X-RD digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}). Mesin XRD yang digunakan bermerk Miniflex 600 Rigaku .

Tabel 2. Spesifikasi XRD Miniflex 600 (Khourunisa, 2016)

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

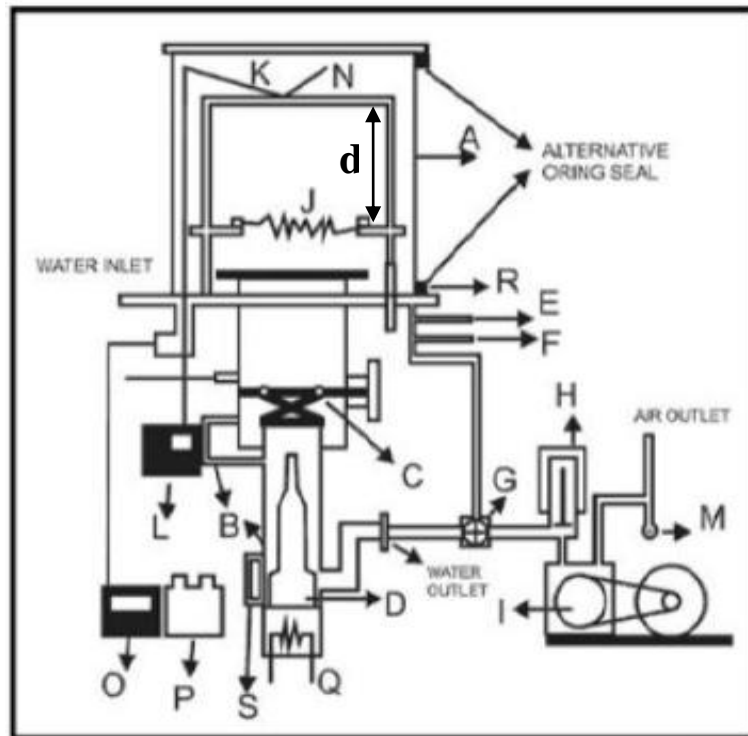
2). *Scanning Elektron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive Analysis X-ray (EDAX)*

SEM digunakan untuk morfologi bahan semikonduktor lapisan tipis Sn(S_{e0,6}Te_{0,4}) dan EDAX digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan semikonduktor lapisan tipis Sn(S_{e0,6}Te_{0,4}). Mesin SEM-EDAX yang digunakan pada penelitian ini yaitu JEOL JSM-6510LA.

Tabel 3. 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 size)
Preset magnifications	5 step, user selectable
Standard recipe	Built in
Custom recipe	Operation conditions (Optics, Image mode, LV pressure ^{*1}) Specimen stage
Image mode	Secondary electron image, REF image, Composition ^{*1} , Topography ^{*1} , Shadowed ^{*1}
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

D. Skema Alat Penelitian



Gambar 21. Skema Sistem Evaporasi Vakum (Haryanto, 2013: 49)

Keterangan Gambar 21:

- 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. *Crussible*
- 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= *Spacer*

E. Langkah Penelitian

Penelitian ini meliputi 2 tahap, yaitu penelitian tahap I dan penelitian tahap II.

1. Penelitian tahap 1

Dalam penelitian tahap 1 yang dilakukan meliputi persiapan, preparasi bahan dan pengambilan hasil preparasi untuk memperoleh lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan teknik evaporasi vakum.

a. Tahap persiapan

- 1) Mempersiapkan bahan yang akan dipreparasi yaitu bahan massif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang telah dibuat dengan Teknik Bridgman.
- 2) Memotong kaca preparat.
- 3) Membersihkan kaca preparat yang telah dipotong-potong dengan menggunakan alkohol.
- 4) Memanaskan potongan-potongan kaca preparat yang telah dibersihkan kedalam *furnace* pada suhu 100° agar preparat bersih dari zat-zat lain.
- 5) Menimbang bahan massif $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang akan dipreparasi menggunakan timbangan analitik sebanyak 0,2 gram.

- 6) Membuka *chamber* pada sistem evaporator kemudian memasukan bahan yang akan dipreparasi ke dalam *crussible* yang telah dipasang.
- 7) Memasang *spacer* yang telah ditentukan (10 cm, 15 cm, dan 25 cm) di antara sumber dengan substrat.
- 8) Memasang pemanas substrat dan menghubungkan kabel dari slide regulator ke pemanas substrat.
- 9) Menutup kembali *chamber* secepat mungkin.

b. Tahap preparasi bahan

- 1) Menghidupkan pompa rotari dan membuka katup pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit.
- 2) Menghidupkan pompa difusi dengan mengatur slide regulator pada tegangan yang ditentukan dan menunggu 30 menit.
- 3) Membuka atau memutar katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve system* selama 10 menit.
- 4) Membuka katup ketiga dan *baypass valve system* selama 10 menit, kemudian sebelum membuka *baypass valve system* memutar kembali ke posisi *back valve system*.
- 5) Mengamati tekanannya pada *manometer penning*.
- 6) Memanaskan pemanas substrat dengan cara menghidupkan dan mengatur slide regulator 1 sampai tegangan 25 volt untuk memperoleh suhu substrat sebesar 350°C. Pemanas

substrat dilakukan untuk mendapatkan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang baik.

- 7) Evaporasi siap dilaksanakan ketika memperoleh tekanan yang stabil yaitu 5×10^{-5} mbarr.
- 8) Menghidupkan dan mengatur slide regulator 2 untuk pemanas, pada tegangan 100 volt bahan di dalam *crucible* akan menguap habis.
- 9) Mengatur tegangan secara bertahap. Dalam penelitian ini tegangan yang dibutuhkan yaitu dimulai dari 60 volt selama 2 menit, 70 volt selama 2 menit, 80 volt selama 2 menit, 90 volt selama 1 menit, dan 100 volt selama 1 menit. Setelah itu mencatat suhu tiap teganganya.
- 10) Mengatur slide regulator 2 ke posisi nol untuk dimatikan setelah bahan habis menguap dan pembaca suhu juga dimatikan.
- 11) Mematikan *mannometer penning* dan menunggu sampai pompa difusi mendingin. Kemudian menggeser katup pada posisi stop.
- 12) Mematikan pompa rotari dan pompa air, kemudian menunggu selama 24 jam untuk melihat hasilnya.

c. Tahap pengambilan hasil preparasi

- 1) Membuka katup sehingga tekanan udara dalam *chamber* menjadi normal kembali. Kemudian membuka *chamber*nya.

- 2) Melepaskan kabel yang terhubung pada pemanas substrat.
- 3) Melepas dan mengambil *holder* yang merupakan tempat atau wadah substrat kaca yang akan dipreparasi.
- 4) Mengambil hasil preparasi lapisan tipis dengan hati-hati agar tidak jatuh dan memasukannya pada wadah tertutup.
- 5) Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan katupnya.

2. Penelitian tahap II

Penelitian tahap II meliputi karakterisasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ untuk mengetahui struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia pada bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan menggunakan X-RD, SEM, dan EDAX.

a. Struktur kristal lapisan tipis dengan menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)*

Alat yang digunakan untuk karakterisasi X-RD. Adapun langkah-langkah karakterisasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ adalah sebagai berikut :

- 1) Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi.
- 2) Membersihkan sampel dan memasukan sampel ke dalam *specimen chamber*. Kemudian mencetak hasil yang keluar.

b. Morfologi permukaan dengan menggunakan SEM dan komposisi kimia dengan menggunakan EDAX.

SEM digunakan untuk morfologi bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dan EDAX digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Dari karakterisasi SEM ini diperoleh hasil data yang berupa gambar atau foto. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam karakterisasi SEM dan EDAX adalah sebagai berikut :

- 1) Memotong sampel hasil preparasi.
- 2) Menempelkan sampel yang sudah dipotong pada tempat sampel dan mengelemnya dengan lem konduktif (pasta perak).
- 3) Memanaskan sampel tersebut dengan menggunakan *water heater* agar lem konduktifnya kering.
- 4) Membersihkan sampel dengan *hand blower*.
- 5) Melapisi sampel dengan gol poladium (Au = 80% dan Pd = 20 %) dengan menggunakan ion sputter JFC 1100.
- 6) Meletakkan sampel kedalam *specimen chamber* pada mesin SEM dan EDAX untuk dilakukan pemotretan.
- 7) Melakukan pengamatan dan pemotretan pada titik yang diinginkan, kemudian menyimpan datanya kedalam file.

- 8) Pengambilan data SEM-EDAX dilakukan oleh pihak operator alat.

F. Teknik Analisis Data

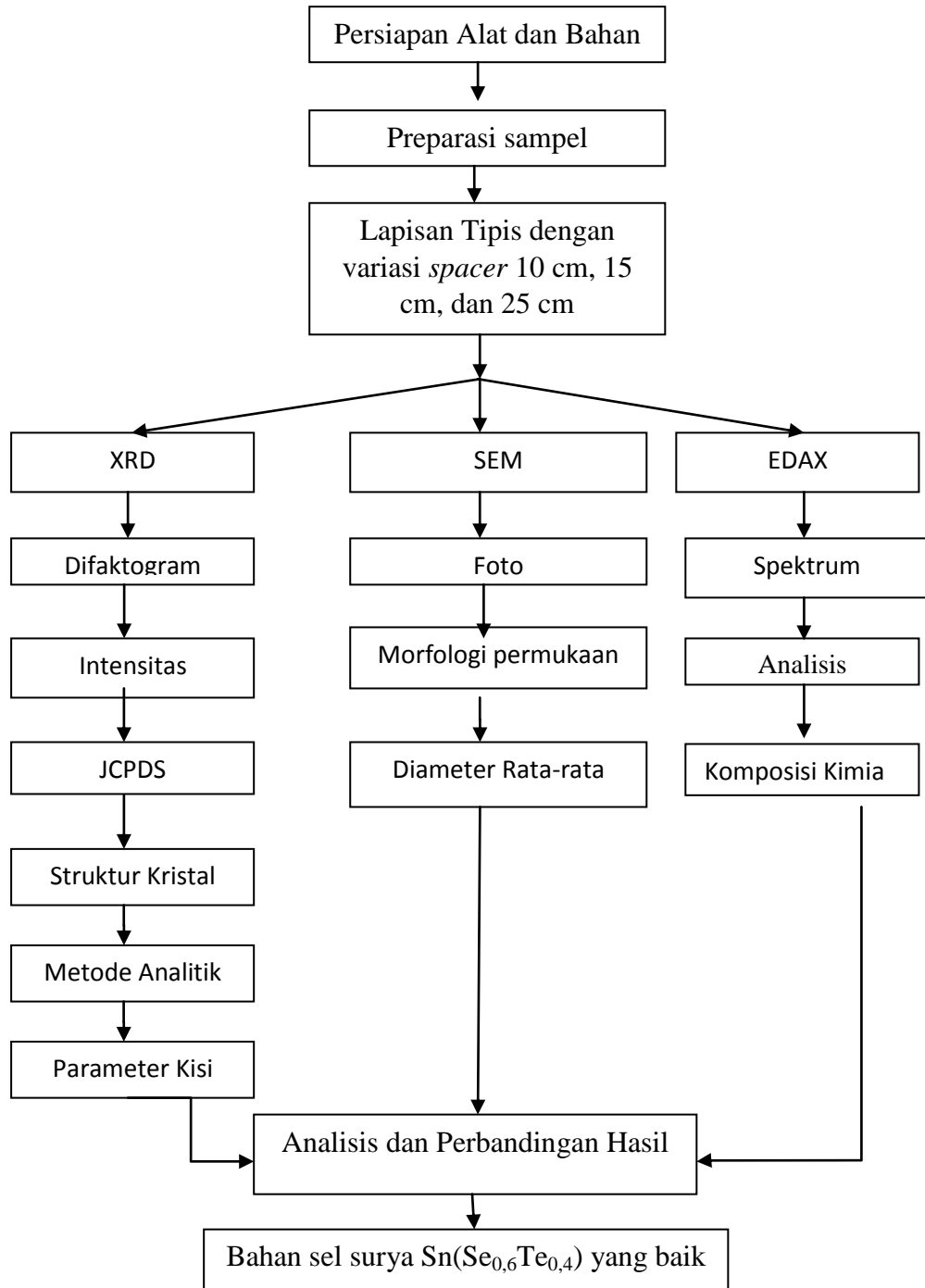
Hasil XRD berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi 2θ . Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan standar data base JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standards*), sehingga diperoleh bidang-bidang hkl dari sampel. Untuk mengetahui indeks miller (hkl) dari sampel, struktur serta nilai parameter kisi a , b dan c yang terbentuk dapat dilakukan perhitungan dengan metode Analitik yang dihitung dengan persamaan 8 dan 10 (hukum Bragg), kemudian disubstitusikan sehingga menghasilkan nilai parameter kisi a , b , dan c .

Hasil SEM berupa citra/foto morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Kemudian dari hasil tersebut dapat ditentukan distribusi partikel yaitu berupa diameter partikel yang menunjukkan struktur orthorombik. Program yang digunakan untuk menentukan ukuran setiap partikel yaitu program windows Paint, dengan memberikan tanda (titik) pada bagian kanan kiri dan atas bawah yang menggunakan penghapus pada Paint, sehingga terbentuk suatu koordinat X dan Y. Setelah didapatkan ukuran partikel dengan jumlah banyak, kemudian memfitting ukuran partikel tersebut dengan Origin dalam bentuk fungsi LogNormal dan didapatkan parameter fungsi distribusi hasil LogNormal yang digunakan untuk menghitung diameter rata-rata partikel.

Selanjutnya menggunakan EDAX dengan hasil EDAX berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas terhadap energi, kemudian didapatkan perbandingan presentase atom yang terdapat pada unsur Sn, Se, dan Te. Kemudian dianalisa untuk mengetahui perbandingan molaritas dari unsur Sn, Se, dan Te.

G. Diagram Alir Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat ditunjukkan melalui diagram alir tahapan penelitian pada Gambar 22 :



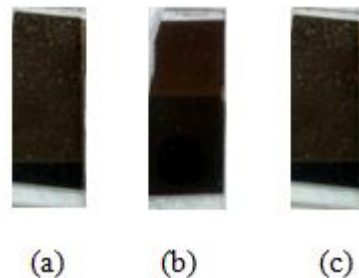
Gambar 22. Diagram Alir Tahap Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penumbuhan Kristal lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan Teknik Evaporasi Vakum.

Penelitian ini menghasilkan tiga sampel lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan menggunakan teknik evaporasi vakum. Variasi *spacer* antara sumber bahan dengan substrat sebesar 10 cm, 15 cm dan 25 cm. Ini, bertujuan untuk mengetahui *spacer* yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang baik dan mengetahui bagaimana pengaruh *spacer* terhadap kualitas kristal yang terbentuk. Lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk bisa dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Hasil preparasi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ (a) spacer 10 cm, (b) spacer 15 cm, dan (C) spacer 25 cm

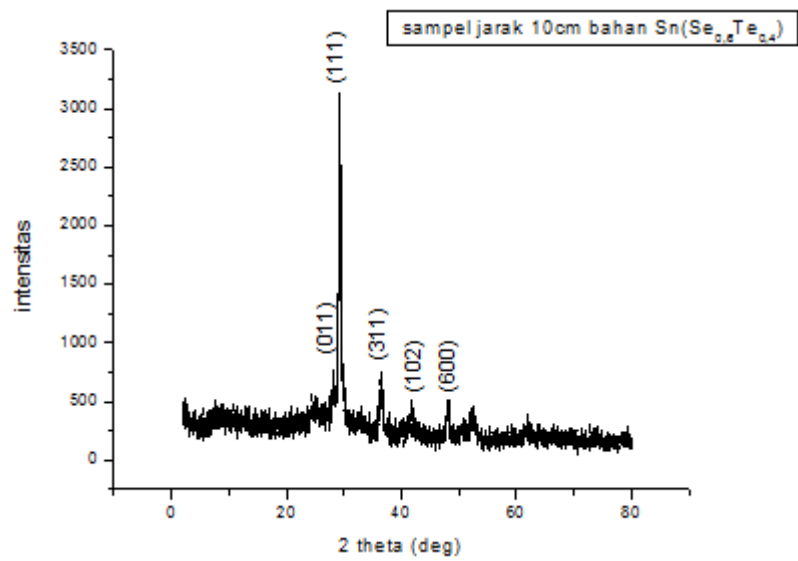
Hasil lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang dihasilkan, bentuk fisiknya tidak jauh berbeda, ketiga sampel berwarna coklat kehitam-hitaman. Lapisan tipis yang terbentuk seharusnya berwarna hitam, karena

semakin hitam lapisan yang terbentuk, maka semakin sempurna bahan menempel pada substrat.

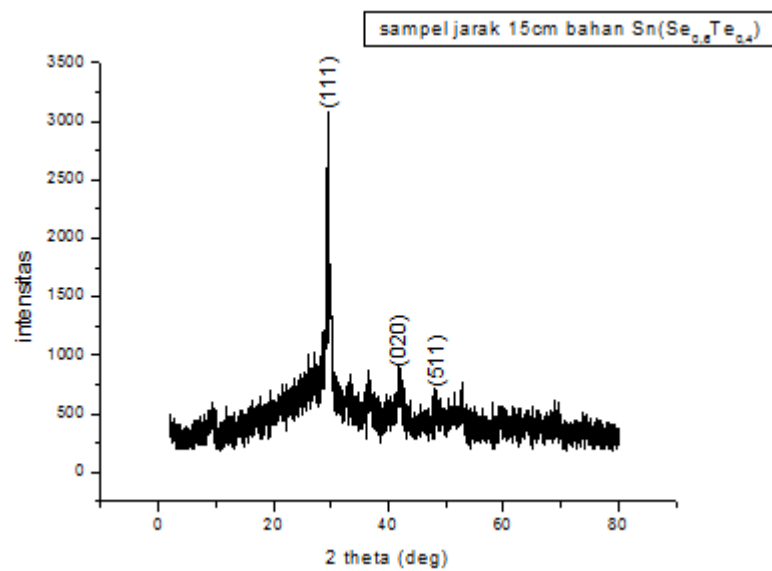
B. Hasil Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) Menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Data yang diperoleh dari XRD adalah grafik hubungan antara sudut difraksi (2θ) dengan intensitas puncak spektrum, dengan 2θ berada disumbu horisontal sebagai variabel bebas, sedangkan intensitas di sumbu vertikal sebagai variabel terikat. Prinsip kerja XRD yaitu sinar-X dikenakan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu sehingga akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang yang berjarak d dan sudut 2θ yang akan memenuhi *diffraksi bragg*. Sumber yang digunakan saat karakterisasi XRD yaitu sumber Cu, yang memiliki panjang gelombang (λ) sebesar $1,54056 \text{ \AA}$, tegangan operasi 40 kV, dan arus operasi 15 mA.

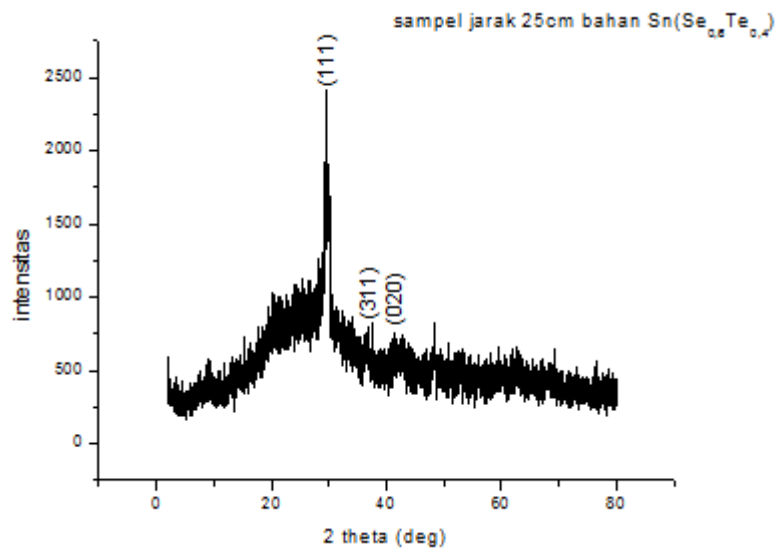
Lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dikarakterisasi menggunakan XRD dengan tujuan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi. Penentuan ini dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Hasil karakterisasi dengan XRD diperoleh difraktogram dari tiga sampel sebagai berikut:



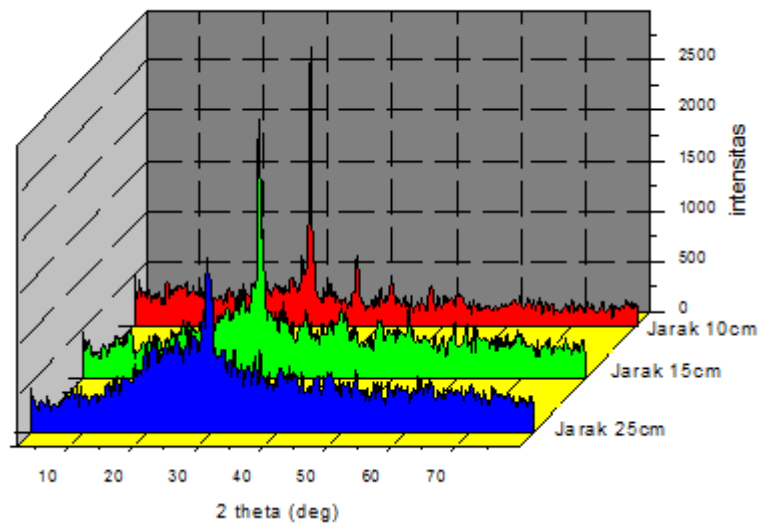
Gambar 24. Difraktogram XRD lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan spacer 10 cm



Gambar 25. Difraktogram XRD lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan spacer 15 cm



Gambar 26. Difraktogram XRD lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan spacer 25 cm



Gambar 27. Difraktogram penggabungan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ spacer 10 cm, spacer 15 cm, dan spacer 25 cm

Dari difraktogram penggabungan ketiga sampel, menunjukkan puncak-puncak spektrum yang muncul pada ketiga sampel. Puncak-puncak tersebut tergantung pada sudut hamburan sinar-X pada kristal. Pada Gambar 27, *spacer* 10 cm intensitas terukur lebih tinggi

dibandingkan dengan *spacer* 15 cm dan 25 cm. Hal tersebut dikarenakan pengaruh variasi *spacer* terhadap substrat. Intensitas pada difraktogram menunjukkan tingkat keteraturan atom pada kristal lapisan tipis yang terbentuk. Semakin tinggi intensitasnya, maka semakin baik pula kualitas kristalnya. *Spacer* 10 cm merupakan *spacer* optimal yang dapat menghasilkan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang baik.

Data penelitian hasil XRD kemudian dicocokkan dengan data standar JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standard*) dari SnSe, karena Se cenderung lebih besar dibanding dengan Te. Pada data standar JCPDS, kristal SnSe memiliki struktur kristal orthorombik. Sistem kristal orthorombik memiliki parameter kisi $a \neq b \neq c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Dari hasil perbandingan dengan JCPDS akan diketahui nilai Indeks Miller (*hkl*) pada puncak-puncak diffraksi yang terbentuk. Berikut data XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan data JCPDS SnSe sebagai berikut:

Tabel 4. Perbandingan data XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) *spacer* 10 cm dengan data JCPDS SnSe.

No	<i>Spacer</i> 10 cm	JCPDS	Hkl
	2 θ (°)	2 θ (°)	
1	28,07	29,243	0 1 1
2	29,239	30,309	1 1 1
3	36,46	37,768	3 1 1
4	41,72	41,282	1 0 2
5	47,92	47,77	6 0 0

Tabel 5. Perbandingan data XRD lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ *spacer* 15 cm dengan data JCPDS SnSe.

No	<i>Spacer</i> 15 cm	JCPDS	Hkl
	2θ (°)	2θ (°)	
1	29,63	30,309	1 1 1
2	42,122	43,183	0 2 0
3	48,26	49,86	5 1 1

Tabel 6. Perbandingan data XRD lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ *spacer* 25 cm dengan data JCPDS SnSe.

No	<i>Spacer</i> 25 cm	JCPDS	Hkl
	2θ (°)	2θ (°)	
1	29,39	30,309	1 1 1
2	36,8	37,768	3 1 1
3	42,28	43,183	0 2 0

Hasil XRD dari ketiga sampel diperoleh, nilai sudut difraksi (2θ) yang tertinggi yaitu sekitar 29° , kemudian data tersebut dicocokkan dengan data standar dari JCPDS. Setelah dicocokkan, nilai puncak-puncak dari variasi *spacer* 10 cm, 15 cm, dan 25 cm yang dihasilkan, memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan data JCPDS. Indeks miller (*hkl*) dari hasil XRD kemudian bisa diketahui dengan melihat nilai *hkl* dari JCPDS. Perhitungan parameter kisi kemudian dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 8 dan 10 setelah struktur kristal diketahui. Berikut parameter kisi pada ketiga sampel yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Parameter kisi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ pada *spacer* 10 cm, 15 cm, dan 25 cm terhadap JCPDS SnSe.

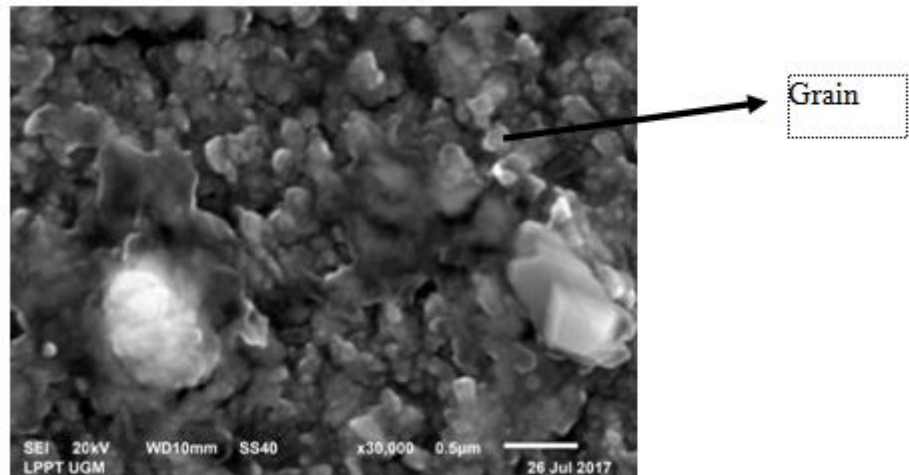
Parameter Kisi	Sampel			JCPDS SnSe
	<i>Spacer</i> 10 cm	<i>Spacer</i> 15 cm	<i>Spacer</i> 25 cm	
a (Å)	11,89	11,89	11,62	11,42
b (Å)	4,52	4,29	4,57	4,19
c (Å)	4,4	4,51	4,64	4,46

Berdasarkan Tabel 7, hasil perhitungan nilai parameter kisi untuk *spacer* 10 cm, 15 cm, dan 25 cm secara analitik terdapat perbedaan yang tidak jauh dengan data JCPDS. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan *spacer* tidak mempengaruhi nilai parameter kisi lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang terbentuk.

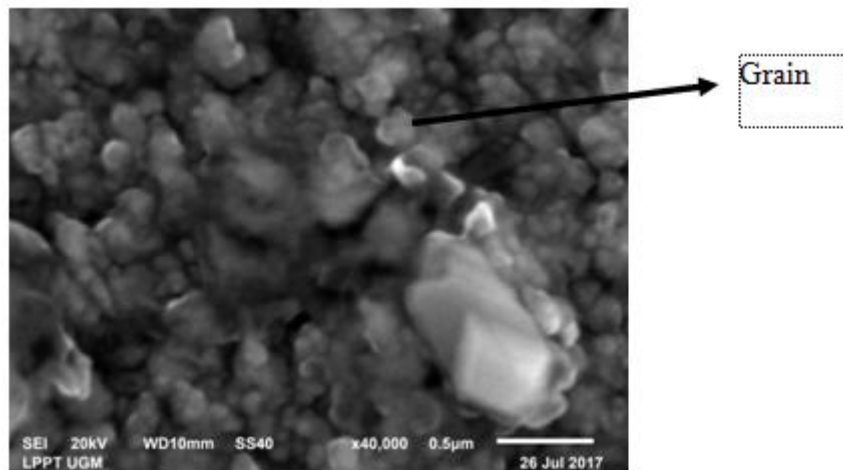
C. Hasil Morfologi Permukaan Lapisan Tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dari suatu bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$. Pada karakterisasi SEM, lapisan tipis yang diuji adalah bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ *spacer* 10 cm dan *spacer* 15 cm. Hasil SEM berupa foto permukaan dari kristal yang terbentuk. Dari hasil foto dengan alat SEM dapat diketahui homogenitas dari kristal $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.

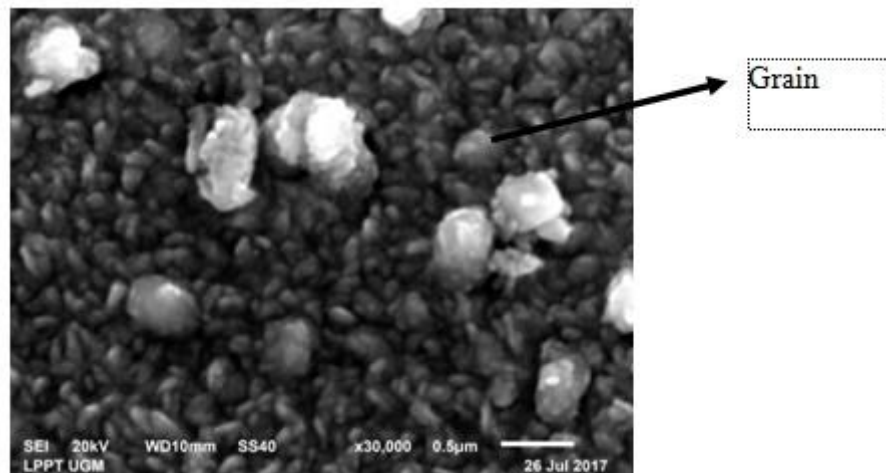
Berikut gambar karakterisasi dari lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan perbesaran 30.000 kali dan 40.000 kali.



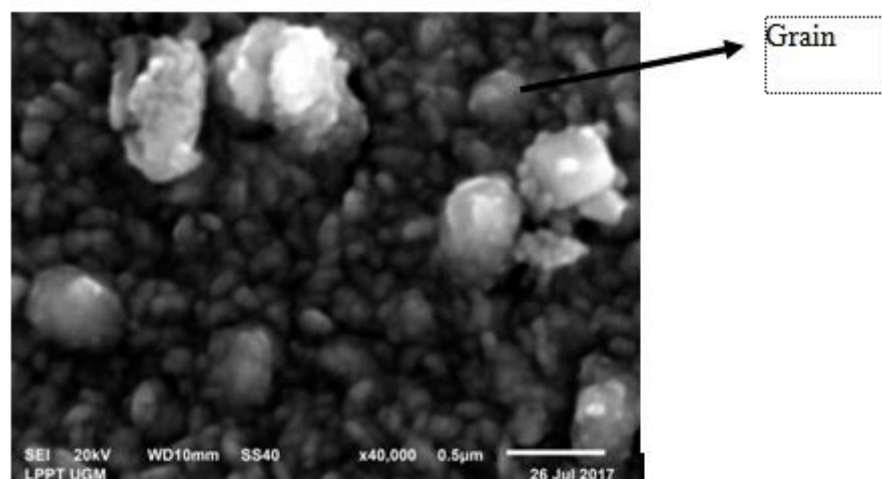
Gambar 28. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) spacer 10 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 30.000 kali.



Gambar 29. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) spacer 10 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 40.000 kali.



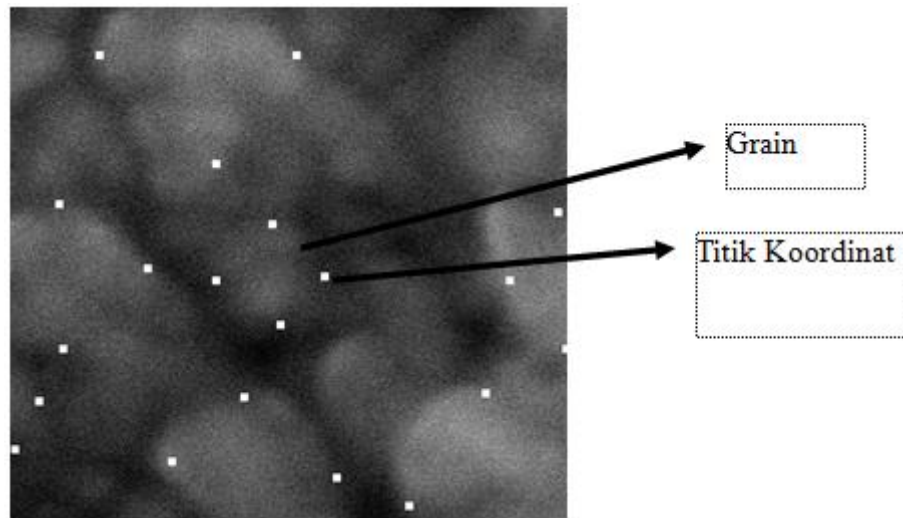
Gambar 30. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) spacer 15 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 30.000 kali



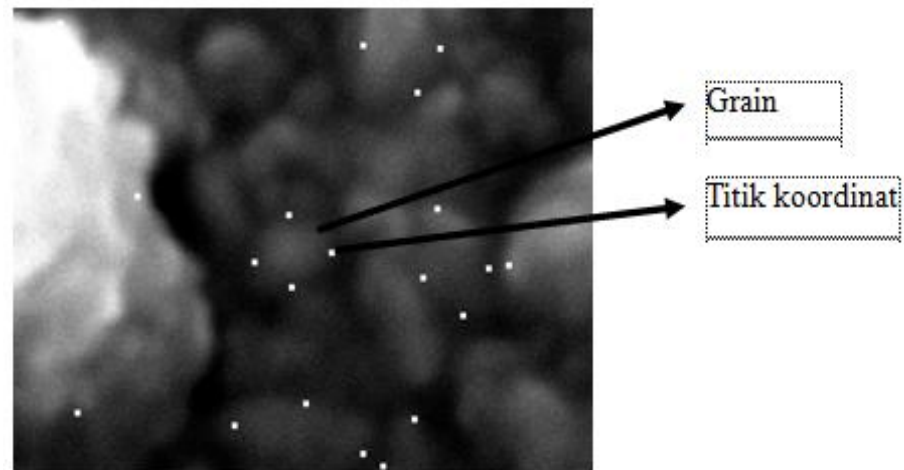
Gambar 31. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) spacer 15 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 40.000 kali

Berdasarkan foto hasil analisis SEM untuk lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) pada gambar-gambar di atas menunjukkan butiran (*grain*) yang terlihat homogenitas dari kristal yang ditunjukkan dari bentuk dan warna kristal yang hampir seragam. Dari hasil foto SEM dapat ditentukan distribusi partikel yaitu berupa diameter dari partikel

tersebut. Untuk menentukan ukuran setiap partikel menggunakan program dalam windows yaitu Paint, Ms Excel, dan Origin. Hasil foto SEM *spacer* 10 cm dan 15 cm, dibuka dengan Paint dan kemudian ditentukan ukurannya dengan memberi tanda. Titik pada bagian kanan kiri dan atas bawah dengan fasilitas menggunakan penghapus pada Paint sehingga terbentuk suatu koordinat titik x dan y.



Gambar 32. Foto morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ pada spacer 10 cm yang sudah diberi tanda pada program paint dan sudah ditentukan ukurannya



Gambar 33. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) pada spacer 15 cm yang sudah diberi tanda pada program paint dan sudah ditentukan ukurannya

Setelah ukuran partikel didapatkan dengan jumlah banyak, ukuran partikel tersebut kemudian *difitting* dengan perangkat lunak Origin dalam bentuk fungsi LogNormal. Dengan demikian dapat diketahui diameter dengan persamaan sebagai berikut:

$$f D = \frac{1}{2\pi D\sigma} \exp -\frac{\ln^2 \frac{D}{D_p}}{2\sigma^2}$$

$$D = D_p \exp \frac{\sigma^2}{2}$$

Dimana pada *spacer* 10 cm:

a) Untuk koordinat kanan dan kiri, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D = 0,12511 \exp \frac{0,29417^2}{2}$$

$$D = 0,12511 \exp \frac{0,086535}{2}$$

$$D=0,12511 \exp 0,04326$$

$$D=0,1306 \mu m$$

- b) Untuk koordinat atas dan bawah, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D=0,0114 \exp \frac{0,63602^2}{2}$$

$$D=0,0114 \exp \frac{0,40452144}{2}$$

$$D=0,0114 \exp 0,20226072$$

$$D=0,0139 \mu m$$

Dimana pada spacer 15 cm:

- a) Untuk koordinat kanan dan kiri, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D=0,12726 \exp \frac{0,3113^2}{2}$$

$$D=0,12726 \exp \frac{0,0969}{2}$$

$$D=0,12726 \exp 0,0484$$

$$D=0,1336 \mu m$$

- b) Untuk koordinat atas dan bawah, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D=0,02134 \exp \frac{0,53753^2}{2}$$

$$D=0,02134 \exp \frac{0,2889385}{2}$$

$$D=0,02134 \exp 0,14446925$$

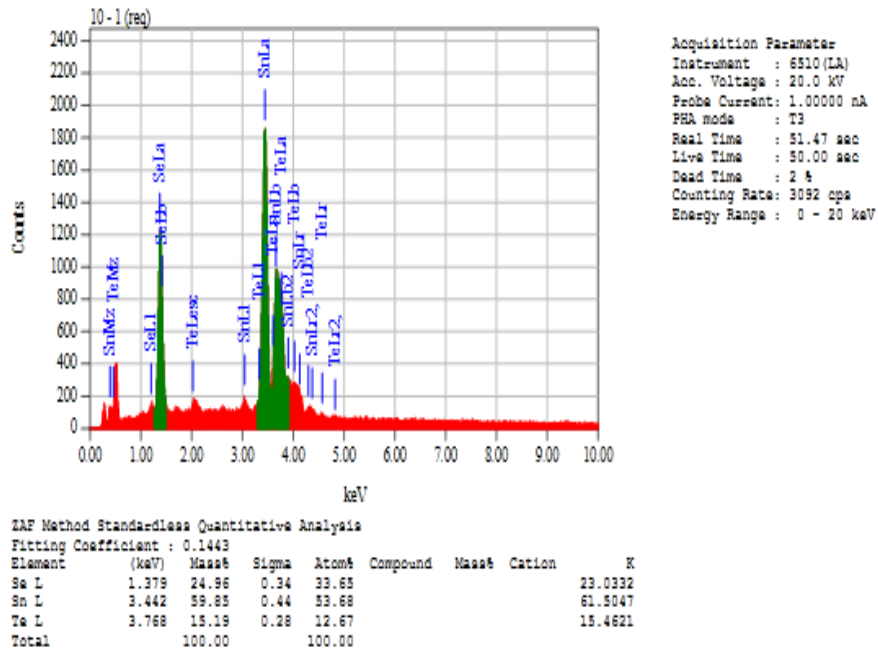
$$D= 0,0246 \mu m$$

Dari analisis di atas diperoleh diameter rata-rata partikel pada koordinat kanan dan kiri untuk *spacer* 10 cm mempunyai ukuran butiran (*grain*) sebesar 0,1306 μm dan untuk kordinat atas dan bawah sebesar 0,0139 μm . Pada koordinat kanan dan kiri untuk *spacer* 15 cm mempunyai ukuran butiran (*grain*) sebesar 0,1336 μm dan koordinat atas dan bawah sebesar 0,0246 μm . Hasil analisis diameter rata-rata dari kedua *spacer* 10 cm dan 15 cm pada koordinat atas bawah dan kanan kiri memiliki perbedaan, hal tersebut menunjukkan bahwa partikel tersebut berbentuk lonjong. Sesuai dengan struktur orthorombik karena memiliki salah satu parameter kisi yang panjang.

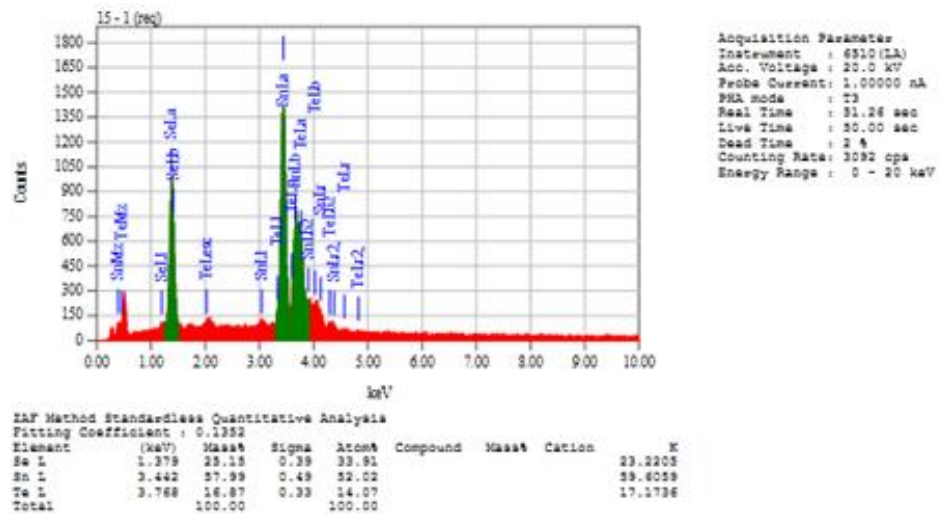
D. Hasil Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) Menggunakan EDAX (*Energi Dispersive Analysis X-Ray*)

Komposisi kimia lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) diketahui dengan menggunakan alat EDAX (*Energi Dispersive Analysis X-Ray*). Sistem analisis EDAX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat berdiri sendiri. Bahan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang diujikan yaitu *spacer* 10 cm dengan intensitas sebesar ± 3250 dan *spacer* 15 cm dengan intensitas sebesar ± 3100 , keduanya memiliki intensitas tinggi. Sedangkan untuk *spacer* 25 cm tidak dikarakterisasi SEM-EDAX karena memiliki intensitas yang rendah sebesar ± 2400 .

Hal tersebut menunjukkan bahwa intensitas pada difraktogram uji XRD juga berpengaruh terhadap SEM-EDAX, karena kualitas lapisan tipis tergantung pada intensitas yang dihasilkan. Semakin tinggi intensitas pada difraktogram, semakin baik pula keteraturan atom-atomnya (semakin baik kualitas kristal lapisan tipisnya). Hasil dari EDAX berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara energi dan intensitas yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-X yang menunjukkan besar presentase atom dari ketiga sampel. Karakterisasi menggunakan EDAX dilakukan setelah mengarakterisasi kristal dengan XRD. Lapisan tipis yang diuji adalah sampel yang sama dengan yang digunakan saat SEM, yaitu bahan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dengan *spacer* 10 cm dan 15 cm. Hasil EDAX tersebut dapat dilihat pada gambar 34 dan 35.



Gambar 34. Grafik hubungan intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) spacer 10 cm dengan Teknik Evaporasi



Gambar 35. Grafik hubungan intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) spacer 15 cm dengan Teknik Evaporasi

Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX untuk lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dapat diketahui bahwa preparasi kristal semikonduktor

lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ mengandung unsur *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te). Perbandingan presentase komposisi kimia untuk *spacer* 10 cm perbandingan komposisi kimia bahan dasarnya yaitu Sn : 53,68 %, Se : 33,65%, dan Te : 12,67%, untuk 15 cm bahan dasarnya yaitu unsur Sn : 52.02 %, Se : 33,91 %, dan Te : 14.07%. Dan untuk jarak Perbandingan molaritas Sn, Se dan Te pada *spacer* 10 cm dan 15 cm dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan Molaritas Unsur Sn, Se, dan Te pada lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ *spacer* 10 cm dari hasil karakterisasi EDAX

Unsur	Konsentrasi (%)	Hasil EDAX	Hasil secara Teori
Sn	53,68	1	1
Se	33,65	0,62	0,6
Te	12,67	0,23	0,4

Tabel 9. Perbandingan Molaritas Unsur Sn, Se, dan Te pada lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ *spacer* 15 cm dari hasil karakterisasi EDAX

Unsur	Konsentrasi (%)	Hasil EDAX	Hasil secara Teori
Sn	52,02	1	1
Se	33,91	0,65	0,6
Te	14,07	0,27	0,4

Berdasarkan tabel 8 dan tabel 9, dapat dilihat bahwa perbandingan molaritas lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ dari masing-masing unsur Sn: Se: Te pada *spacer* 10 cm adalah 1: 0,62: 0,23, untuk *spacer* 15 cm adalah 1: 0,65: 0,27, sedangkan menurut teori 1: 0,6: 0,4. Jika dibandingkan terdapat perbedaan perbandingan molaritas unsur Sn: Se:

Teori dari hasil penelitian dengan teori. Pada *spacer* 10 cm memiliki perbandingan molaritas yang lebih kecil dibandingkan dengan *spacer* 15 cm, hal tersebut tidak sesuai dengan teori, karena semakin dekat *spacernya* maka unsur yang terbentuk pada lapisan tipis akan semakin baik. ketidaksesuaian tersebut menunjukkan bahan tersebut mengalami *non stoichiometry*, yang artinya tidak menempelnya bahan pada substrat dengan sempurna.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pengaruh variasi *spacer* terhadap kualitas kristal yaitu semakin dekat *spacer* maka intensitas yang muncul semakin tinggi. Semakin jauh *spacer* maka intensitas yang muncul semakin rendah. Dan semakin tinggi intensitasnya maka semakin baik pula keteraturan atom-atomnya, sehingga bisa dikatakan kualitas kristal akan semakin baik jika intensitas yang dihasilkan itu tinggi. Dari ketiga variasi *spacer* (10 cm, 15 cm, dan 25 cm), *spacer* optimal yang menghasilkan lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) yang baik yaitu *spacer* 10 cm.
2. Karakteristik kristal lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan variasi *spacer* melalui teknik evaporasi vakum:
 - a) Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) menggunakan teknik evaporasi vakum mempunyai struktur kristal orthorombik, dengan nilai parameter kisi sebagai berikut:
Spacer 10 cm, $a=11,89\text{\AA}$, $b=4,52\text{\AA}$, dan $c=4,4\text{\AA}$
Spacer 15 cm, $a=11,89\text{\AA}$, $b=4,29\text{\AA}$, dan $c=4,51\text{\AA}$
Spacer 25 cm, $a=11,62\text{\AA}$, $b=4,57\text{\AA}$, dan $c=4,64\text{\AA}$

Dari hasil tersebut terlihat bahwa variasi *spacer* tidak berpengaruh terhadap parameter kisi, struktur kristalnya, dan lapisan tipis yang dihasilkan baik, karena parameter kisi yang dihasilkan tidak jauh berbeda dengan data JCPDS.

- b) Berdasarkan hasil karakterisasi dengan SEM dapat diketahui bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ memiliki morfologi permukaan yang tersusun atas butiran (*grain*) yang menunjukkan adanya keseragaman bentuk, struktur, dan warna kristal sehingga morfologi permukaannya homogen dengan diameter rata-rata partikel pada koordinat kanan dan kiri untuk *spacer* 10 cm mempunyai ukuran butiran (*grain*) sebesar $0,1306 \mu\text{m}$ dan untuk kordinat atas dan bawah sebesar $0,0139 \mu\text{m}$. Pada koordinat kanan dan kiri untuk *spacer* 15 cm mempunyai ukuran butiran (*grain*) sebesar $0,1336 \mu\text{m}$ dan koordinat atas dan bawah sebesar $0,0246 \mu\text{m}$. Hasil analisis diameter rat-rata dari kedua *spacer* 10 cm dan 15 cm pada koordinat atas bawah dan kanan kiri memiliki perbedaan, hal tersebut menunjukan bahwa partikel tersebut berbentuk lonjong. Sesuai dengan struktur orthorombik karena memiliki salah satu parameter kisi yang panjang.
- c) Berdasarkan hasil karakterisasi dengan EDAX dapat diketahui bahwa lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ mempunyai komposisi kimia *Stannum* (Sn), *Selenium* (Se), dan *Tellurium* (Te) dengan Perbandingan presentase komposisi kimia untuk *spacer* 10 cm

perbandingan komposisi kimia bahan dasarnya yaitu Sn : 53,68 %, Se : 33,65%, dan Te : 12,67% dan untuk *spacer* 15 cm bahan dasarnya yaitu unsur Sn : 52.02 %, Se : 33,91 %, dan Te : 14.07%. Perbandingan molaritas lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dari masing-masing unsur Sn: Se: Te pada *spacer* 10 cm adalah 1: 0,62: 0,23, untuk *spacer* 15 cm adalah 1: 0,65: 0,27, sedangkan menurut teori 1: 0,6: 0,4. Jika dibandingkan terdapat perbedaan perbandingan molaritas unsur Sn: Se: Te dari hasil penelitian dengan teori. Pada *spacer* 10 cm memiliki perbandingan molaritas yang lebih kecil dibandingkan dengan *spacer* 15 cm, hal tersebut tidak sesuai dengan teori, karena semakin dekat *spacernya* maka unsur yang terbentuk pada lapisan tipis akan semakin baik. Ketidaksesuaian tersebut menunjukkan bahan tersebut mengalami kondisi *non stoichiometry*, yang artinya tidak menempelnya bahan pada substrat dengan sempurna. Hal ini menunjukkan lapisan tipis yang terbentuk belum memenuhi komposisi Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$), tetapi adanya komponen Sn, Se, dan Te pada substrat menyatakan bahwa fase Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) telah terbentuk dalam sampel.

B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan agar dihasilkan kristal dengan kualitas yang baik adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut mengenai penentuan energi gap dan konduktivitas agar diperoleh informasi yang lebih banyak mengenai lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi jarak (*spacer*) agar menghasilkan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ yang berkualitas baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreev, V. M. (2012). *GaAs and High-Efficiency Space Cells. Practical Handbook of Photovoltaics* (pp. 397–416). Elsevier Ltd. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-385934-1.00012-X>, proceedings of the World Electrotechnology Congress. Moskow.
- Al Hasibi, Rahmat Adiprasetya. (2010). Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO₂ di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Volume 13* (No 2 tahun 2010). Hlm. 155.
- Ariswan. (2013). *Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan. (2014). *Kristalografi, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan, & Na Peng Bo. (2004). *Teknologi Vakum, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY
- Ayu, Kusuma Wardhani. (2016). Analisis Perilaku Difusi dan Rapat Arus Sel Surya *Multijunction* Semikonduktor Golongan III-V Terhadap Ketebalan Susunan Sel. *Thesis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bahtiar, A dkk. (2011). “Sel Surya Polimer: *State of Art* dan Progress penelitian di Universitas Padjadjaran” *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Hlm. 7-14.
- Bambang Rihatmojo, (2014). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis SnSe Hasil Preparasi Dengan Metode Vakum Evaporasi*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Beiser, Arthur. (1992). *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Bravais, Augusts. (1948). *Referred to “Une Correlation”, Worked on Bivariate Normal Distribution. French Naval of Ficer and Astronomer*.
- Cullity, B.D. (1959). *Elements of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company.
- Firdaus, M. S. (2011). *Teknik Dalam Laboratorium Kimia Organik*. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Haryanto, Triyo. (2013). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor*.

- Khoirunisa, Siti. (2016). 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*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta. Hlm 45-46.
- Mahmudi. (2000). *Studi Tentang Uniformitas Lapisan Tipis Aluminium pada Substrat Kaca Terhadap Jarak Deposit Menggunakan Metode Evaporasi Termal Tipe Ladd Research*. Surakarta: FMIPA UNS.
- Najib, Muhammad dan Teddy Nurcahyadi. (2011). Teknologi Fotovoltaik. *Workshop Teknologi Fotovoltaik, 20 Desember 2011*. Yogyakarta.
- Naresh Padha et al. (2015). Effect of Changed Structure as Well as Composition on the Behaviour of $\text{Sn}(\text{Se},\text{Te})$ Compound Semiconductor Thin Films and Schottky Diodes for Solar Cell Applications. *The Electrochemical Society*.
- Ningsih, Sheryl Kasuma Warda. (2016). *Sintesis Organik*. Padang: Universitas Negeri Padang Press.
- Ohring, Milton. (2012). *Materials Science of Thin Films Deposition and Structure*. 2nd.Ed. San Diego: Academic Press.
- Parno. (2006). *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM.
- Reka Rio, & Lida Masamori. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: PT.Pradnya Paramita.
- Susanti, Lilik. (2013). *Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,4}\text{Se}_{0,6})$ Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Smallman, R.E & Bishop, J.R. (2000). *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Suwitra, Nyoman. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Utomo, Joko. (2014). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor $\text{Sn}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Lapisan Tipis Hasil Preparasi Teknik Vakum Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

- Vasudeva R. M. R et al. (2016). Prespective on SnSe-based Thin Film Solar Cells: a Comprehensive Review. *Journal of Materials Science : Materials inElectronics, Volume 27, Issue 6*.
- Lestari, Wahyu. (2016). Preparasi dan Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) dengan Teknik Evaporasi Vakum. *Skripsi*. Yogyakarta: UNY
- Wardani, Melinda et al. (2014). Pengaruh Temperatur terhadap Struktur Dunit Jorong Tongar Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat. *Pilar of Physics, Volume 4*. Hlm. 19.
- Wulandari, Eka. (2016). Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(S_{0,4}Te_{0,6}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum. *Skripsi*. Yogyakarta: UNY

LAMPIRAN

A. Perhitungan parameter kisi Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan metode Analitik.

Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) mempunyai struktur kristal orthorombik. Jarak antar bidang struktur orthorombik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Dan persamaan Hukum Bragg adalah :

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

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

Dengan memsubstitusikan persamaan (1) kedalam persamaan (3) ,maka diperoleh :

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

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

Maka,

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

Jadi parameter kisi a, b dan c dapat ditulis :

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

1. *Spacer* 10 cm

Tabel Perbandingan data XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) *spacer* 10cm dengan data JCPDS SnSe.

Rad = CuKα

λ = 1,54188

No	<i>spacer</i> 10 cm	JCPDS		Hkl
	2θ (°)	2θ (°)	I relatif	
1	28,07	29,243	17	0 1 1
2	29,239	30,309	100	1 1 1
3	36,46	37,768	33	3 1 1
4	41,72	41,282	9	1 0 2
5	47,92	47,77	1	6 0 0

Perhitungan parameter kisi untuk *spacer* 10 cm, dipilih sudut 29,239 (1 1 1), 36,46 (3 1 1), dan 41,72 (1 0 2).

a) Untuk 2θ = 29,239 (1 1 1)

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

$$\sin^2 \frac{29,239}{2} = A \times 1 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2 (14,619) = A + B + C$$

$$0,0637 = A + B + C$$

b) Untuk 2θ = 36,46 (3 1 1)

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

$$\sin^2 \frac{36,46}{2} = A \times 9 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2 (18,23) = 9A + B + C$$

$$0,0978 = 9A + B + C$$

Mengeliminasi untuk persamaan pada point (a) dan (b)

$$9A + B + C = 0,0978$$

$$A + B + C = 0,0637$$

$$8A = 0,0341$$

$$A = 0,0042$$

$$a = \frac{\lambda^2}{4A} = \frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0042} = \frac{2,3773}{0,0168} = 141,5 = 11,89 \text{ \AA}$$

c) Untuk $2\theta = 41,72$ (1 0 2)

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

$$\sin^2 \frac{41,72}{2} = A \times 1 + B \times 0 + C \times 4$$

$$\sin^2(20,86) = A + 4C$$

$$0,1267 = 0,0042 + C$$

$$4C = 0,1225$$

$$C = 0,0306$$

$$c = \frac{\lambda^2}{4C} = \frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0306} = \frac{2,3773}{0,1225} = 19,4 = 4,4 \text{ \AA}$$

Mensubstitusikan nilai A dan C pada persamaan point (a) sehingga didapatkan hasil:

$$A + B + C = 0,0637$$

$$0,0042 + B + 0,0306 = 0,0637$$

$$0,0348 B = 0,0637$$

$$B = 0,0289$$

$$b = \frac{\lambda^2}{4B} = \frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0289} = \frac{2,3773}{0,1156} = 20,5 = 4,52 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	<i>spacer</i> 10 cm	JCPDS SnSe
a (Å)	11,89	11,42
b (Å)	4,52	4,19
c (Å)	4,4	4,46

2. *Spacer* 15 cm

Tabel Perbandingan data XRD lapisan tipis Sn(Sn_{0,6}Te_{0,4}) *spacer* 15 cm dengan data JCPDS SnSe.

No	<i>spacer</i> 15 cm	JCPDS		Hkl
	2θ (°)	2θ (°)	I relatif	
1	29,63	30,309	100	1 1 1
2	42,122	43,183	18	0 2 0
3	48,26	49,86	22	5 1 1

a) Untuk $2\theta = 29,63$ (1 1 1)

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

$$\sin^2 \frac{29,63}{2} = A \times 1 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2 (14,815) = A + B + C$$

$$0,0653 = A + B + C$$

d) Untuk $2\theta = 48,26$ (5 1 1)

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

$$\sin^2 \frac{48,26}{2} = A \times 25 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2 (24,13) = 25A + B + C$$

$$0,1671 = 25A + B + C$$

Mengeliminasi untuk persamaan pada point (a) dan (b)

$$25A + B + C = 0,1671$$

$$A + B + C = 0,0653$$

$$24A = 0,1018$$

$$A = 0,0042$$

$$a = \frac{\overline{\lambda^2}}{4A} = \frac{\overline{(1,54188)^2}}{4 \times 0,0042} = \frac{\overline{2,3773}}{0,0168} = \overline{141,5} = 11,89 \text{ \AA}$$

b) Untuk $2\theta = 42,122$ (0 2 0)

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

$$\sin^2 \frac{42,122}{2} = A \times 0 + B \times 4 + C \times 0$$

$$\sin^2 (21,061) = B \times 4$$

$$0,1291 = 4B$$

$$B = 0,0322$$

$$b = \frac{\overline{\lambda^2}}{4B} = \frac{\overline{(1,54188)^2}}{4 \times 0,0322} = \frac{\overline{2,3773}}{0,1291} = \overline{18,41} = 4,29 \text{ \AA}$$

Mensubsitusikan nilai A dan B pada persamaan point (a) sehingga

didapatkan hasil:

$$A + B + C = 0,0653$$

$$0,0042 + 0,0322 + C = 0,0653$$

$$0,0362 C = 0,0637$$

$$C = 0,0291$$

$$c = \frac{\overline{\lambda^2}}{4C} = \frac{\overline{(1,54188)^2}}{4 \times 0,0291} = \frac{\overline{2,3773}}{0,1164} = \overline{20,42} = 4,51 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	<i>spacer</i> 15 cm	JCPDS SnSe
a (Å)	11,89	11,42
b (Å)	4,29	4,19
c (Å)	4,51	4,46

3. *Spacer* 25 cm

Tabel Perbandingan data XRD lapisan tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) *spacer* 25 cm dengan data JCPDS SnSe.

No	<i>spacer</i> 25 cm	JCPDS		Hkl
	2θ (°)	2θ (°)	I relatif	
1	29,39	30,309	100	1 1 1
2	36,8	37,768	33	3 1 1
3	42,28	43,183	18	0 2 0

a) Untuk $2\theta = 29,39$ (1 1 1)

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

$$\sin^2 \frac{29,39}{2} = A \times 1 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2 (14,695) = A + B + C$$

$$0,0643 = A + B + C$$

b) Untuk $2\theta = 36,8$ (3 1 1)

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

$$\sin^2 \frac{36,8}{2} = A \times 9 + B \times 1 + C \times 1$$

$$\sin^2 (18,4) = 9A + B + C$$

$$0,0996 = 9A + B + C$$

Mengeliminasi untuk persamaan pada point (a) dan (b)

$$9A + B + C = 0,0996$$

$$A + B + C = 0,0643$$

$$8A = 0,0353$$

$$A = 0,0044$$

$$a = \frac{\lambda^2}{4A} = \frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0044} = \frac{2,3773}{0,0176} = 135,07 = 11,62 \text{ \AA}$$

c) Untuk $2\theta = 42,28$ (0 2 0)

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

$$\sin^2 \frac{42,28}{2} = A \times 0 + B \times 4 + C \times 0$$

$$\sin^2(21,14) = B \times 4$$

$$0,13 = 4B$$

$$B = 0,0325$$

$$b = \frac{\lambda^2}{4B} = \frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0325} = \frac{2,3773}{0,13} = 18,2 = 4,57 \text{ \AA}$$

Mensubsitusikan nilai A dan B pada persamaan point (a) sehingga didapatkan hasil:

$$A + B + C = 0,0643$$

$$0,0044 + 0,0325 + C = 0,0643$$

$$0,0369 C = 0,0643$$

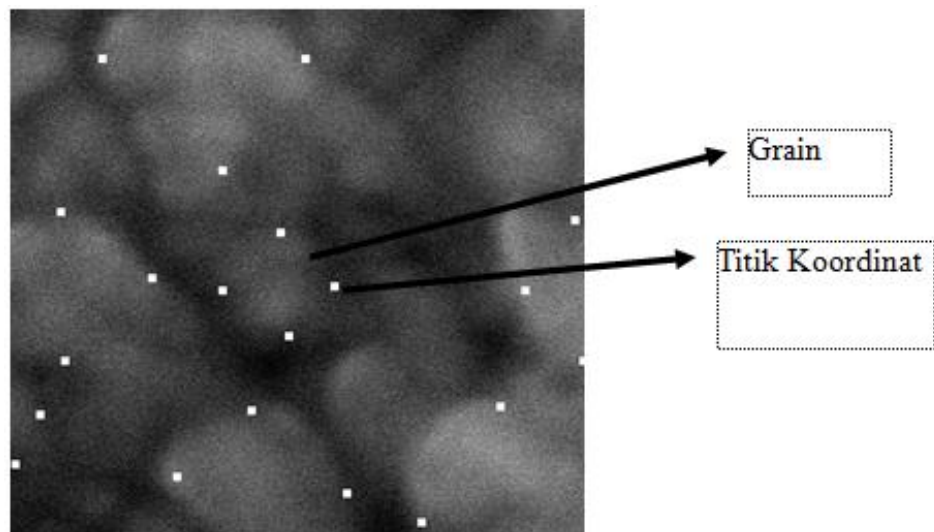
$$C = 0,0274$$

$$c = \frac{\lambda^2}{4C} = \frac{(1,54188)^2}{4 \times 0,0274} = \frac{2,3773}{0,1096} = 21,6 = 4,64 \text{ \AA}$$

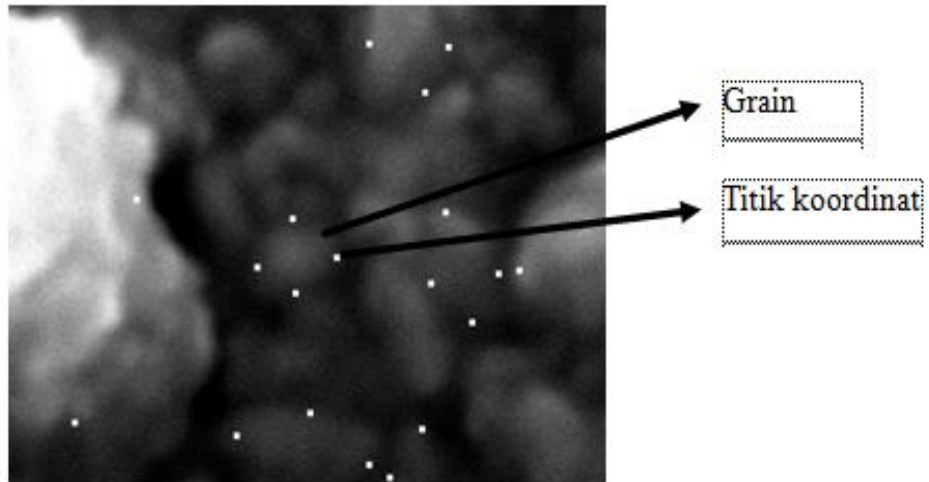
Parameter Kisi	spacer 25 cm	JCPDS SnSe
a (Å)	11,62	11,42
b (Å)	4,57	4,19
c (Å)	4,64	4,46

B. Perhitungan Distribusi ukuran Partikel dengan SEM

. Dari hasil foto SEM dapat ditentukan distribusi partikel yaitu berupa diameter dari partikel tersebut. Untuk menentukan ukuran setiap partikel menggunakan program dalam windows yaitu Paint, Ms Excel, dan Origin. Dari hasil SEM *spacer* 10 cm dan 15 cm yang berupa foto dibuka dengan Paint, yang kemudian untuk menentukan ukuran dengan memberi tanda. Dengan memberikan titik pada bagian kanan kiri dan atas bawah dengan menggunakan penghapus pada Paint sehingga terbentuk suatu koordinat titik x dan y.



Gambar. Foto morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Sn}(\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{0.4})$ pada *spacer* 10 cm yang sudah diberi tanda pada program paint dan sudah ditentukan ukurannya



Gambar. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) pada *spacer* 15 cm yang sudah diberi tanda pada program paint dan sudah ditentukan ukurannya.

Tabel data hasil pengukuran *spacer* 10 cm yang diolah dalam Ms Excel untuk koordinat kanan dan kiri.

No	koordinat		ukuran partikel	
	X kiri	X kanan	(pixel)	ukuran mikron (µm)
1	386	510	124	0,151960784
2	829	908	79	0,096813725
3	348	423	75	0,091911765
4	2138	2358	220	0,269607843
5	785	1017	232	0,284313725
6	2149	2285	136	0,166666667
7	450	602	152	0,18627451
8	256	336	80	0,098039216
9	543	617	74	0,090686275
10	644	720	76	0,093137255
11	486	558	72	0,088235294
12	473	610	137	0,167892157
13	1437	1581	144	0,176470588
14	589	669	80	0,098039216
15	953	1069	116	0,142156863
16	829	905	76	0,093137255
17	2437	2513	76	0,093137255
18	2431	2512	81	0,099264706
19	206	314	108	0,132352941
20	925	1145	220	0,269607843

21	1749	1909	160	0,196078431
22	2057	2249	192	0,235294118
23	1478	1738	260	0,318627451
24	764	840	76	0,093137255
25	1641	2037	396	0,485294118
26	1282	1454	172	0,210784314
27	18	122	104	0,12745098
28	593	717	124	0,151960784
29	1061	1197	136	0,166666667
30	345	411	66	0,080882353
31	1690	1758	68	0,083333333
32	1673	1829	156	0,191176471
33	216	289	73	0,089460784
34	1461	1721	260	0,318627451
35	793	1149	356	0,43627451
36	345	414	69	0,084558824
37	1233	1497	264	0,323529412
38	698	770	72	0,088235294
39	1481	1549	68	0,083333333
40	685	765	80	0,098039216
41	1908	1982	74	0,090686275
42	1190	1321	131	0,160539216
43	917	1029	112	0,137254902
44	1925	1992	67	0,082107843
45	1689	1769	80	0,098039216
46	537	625	88	0,107843137
47	169	301	132	0,161764706
48	965	1037	72	0,088235294
49	2450	2516	66	0,080882353
50	376	443	67	0,082107843
51	649	725	76	0,093137255
52	269	541	272	0,333333333
53	967	1033	66	0,080882353
54	435	512	77	0,094362745
55	1180	1258	78	0,095588235
56	630	806	176	0,215686275
57	1465	1561	96	0,117647059
58	1305	1431	126	0,154411765
59	1545	1661	116	0,142156863
60	937	1077	140	0,171568627

<i>spacer</i> 10cm	
X	Y
0,08	12
0,09	16
0,1	20
0,2	6
0,3	4
0,4	2

Tabel. intensitas yang sering muncul

Tabel data hasil pengukuran *spacer* 10 cm yang diolah dalam Ms Excel untuk koordinat atas dan bawah.

No	koordinat		ukuran partikel	
	X Atas	X Bawah	(pixel)	mikron (μm)
1	1973	1977	4	0,004901961
2	969	973	4	0,004901961
3	585	589	4	0,004901961
4	533	537	4	0,004901961
5	657	661	4	0,004901961
6	1005	1009	4	0,004901961
7	2017	2021	4	0,004901961
8	1121	1125	4	0,004901961
9	381	385	4	0,004901961
10	1757	1761	4	0,004901961
11	2169	2173	4	0,004901961
12	2517	2521	4	0,004901961
13	437	445	8	0,009803922
14	77	85	8	0,009803922
15	877	885	8	0,009803922
16	1365	1373	8	0,009803922
17	321	329	8	0,009803922
18	1233	1241	8	0,009803922
19	2229	2237	8	0,009803922
20	2473	2481	8	0,009803922
21	737	745	8	0,009803922
22	565	573	8	0,009803922
23	1017	1025	8	0,009803922

24	317	325	8	0,009803922
25	67	75	8	0,009803922
26	134	142	8	0,009803922
27	973	981	8	0,009803922
28	1833	1849	16	0,019607843
29	1569	1581	12	0,014705882
30	781	797	16	0,019607843
31	685	697	12	0,014705882
32	2481	2493	12	0,014705882
33	2357	2369	12	0,014705882
34	269	281	12	0,014705882
35	1785	1795	10	0,012254902
36	1597	1613	16	0,019607843
37	849	865	16	0,019607843
38	485	497	12	0,014705882
39	2201	2217	16	0,019607843
40	75	89	14	0,017156863
41	327	340	13	0,015931373
42	856	871	15	0,018382353
43	231	243	12	0,014705882
44	2256	2269	13	0,015931373
45	1143	1159	16	0,019607843
46	2123	2135	12	0,014705882
47	1897	2125	228	0,279411765
48	165	189	24	0,029411765
49	2441	2461	20	0,024509804
50	993	1013	20	0,024509804
51	617	641	24	0,029411765
52	2441	2461	20	0,024509804
53	993	1013	20	0,024509804
54	105	137	32	0,039215686
55	1143	1174	31	0,037990196
56	2215	2245	30	0,036764706
57	534	566	32	0,039215686
58	2297	2353	56	0,068627451
59	1593	1645	52	0,06372549
60	327	382	57	0,069852941

Spacer 10 cm	
X	Y
0,004	12
0,009	15
0,01	19
0,02	7
0,03	4
0,06	3

Tabel. intensitas yang sering muncul

Tabel data hasil pengukuran *spacer* 15 cm yang diolah dalam Ms Excel untuk koordinat kanan dan kiri.

No	koordinat		ukuran partikel	
	X kiri	X kanan	(pixel)	mikron (μm)
1	489	557	68	0,083333333
2	1873	1945	72	0,088235294
3	657	746	89	0,109068627
4	1365	1445	80	0,098039216
5	790	921	131	0,160539216
6	725	809	84	0,102941176
7	1481	1549	68	0,083333333
8	953	1029	76	0,093137255
9	853	933	80	0,098039216
10	385	521	136	0,166666667
11	597	673	76	0,093137255
12	825	901	76	0,093137255
13	985	1090	105	0,128676471
14	993	1093	100	0,12254902
15	1257	1337	80	0,098039216
16	1609	1701	92	0,112745098
17	2377	2477	100	0,12254902
18	1245	1317	72	0,088235294
19	1041	1113	72	0,088235294
20	861	941	80	0,098039216
21	1317	1449	132	0,161764706
22	1677	1745	68	0,083333333
23	2117	2189	72	0,088235294
24	257	389	132	0,161764706
25	41	117	76	0,093137255
26	1465	1669	204	0,25

27	1805	1949	144	0,176470588
28	1489	1562	73	0,089460784
29	325	417	92	0,112745098
30	425	501	76	0,093137255
31	1573	1649	76	0,093137255
32	1489	1562	73	0,089460784
33	1253	1457	204	0,25
34	1002	1125	123	0,150735294
35	465	578	113	0,138480392
36	42	122	80	0,098039216
37	1525	1717	192	0,235294118
38	2273	2521	248	0,303921569
39	905	990	85	0,104166667
40	493	637	144	0,176470588
41	785	1053	268	0,328431373
42	1869	2077	208	0,254901961
43	53	445	392	0,480392157
44	2057	2341	284	0,348039216
45	2069	2446	377	0,462009804
46	1758	2054	296	0,362745098
47	541	781	240	0,294117647
48	417	493	76	0,093137255
49	1077	1441	364	0,446078431
50	1961	2125	164	0,200980392

<i>spacer 15cm</i>	
X	Y
0,08	10
0,09	12
0,1	15
0,2	6
0,3	4
0,4	3

Tabel. Intensitas yang sering muncul

Tabel data hasil pengukuran *spacer* 15 cm yang diolah dalam Ms Excel untuk koordinat kanan dan kiri.

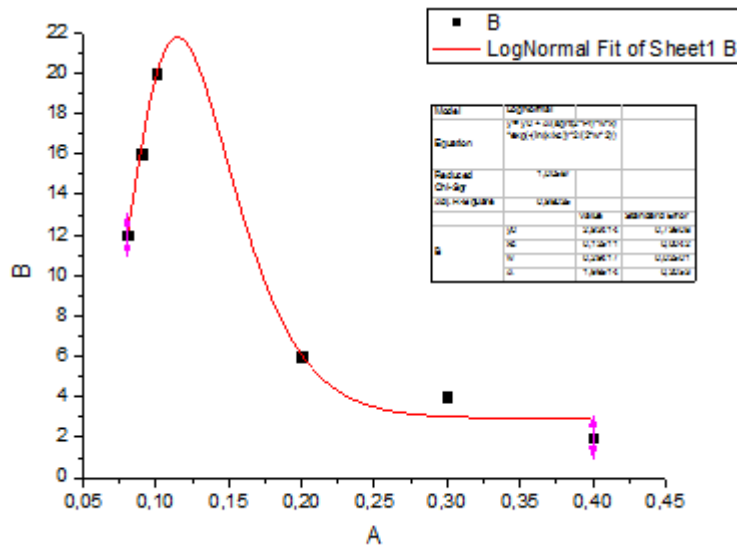
No	koordinat		ukuran partikel	
	X Atas	X Bawah	(pixel)	mikron (μm)
1	1609	1625	16	0,01960784
2	541	553	12	0,01470588
3	461	473	12	0,01470588
4	1233	1245	12	0,01470588
5	1301	1313	12	0,01470588
6	941	953	12	0,01470588
7	1065	1077	12	0,01470588
8	101	113	12	0,01470588
9	2433	2445	12	0,01470588
10	1425	1437	12	0,01470588
11	1753	1765	12	0,01470588
12	1649	1661	12	0,01470588
13	1581	1597	16	0,01960784
14	205	229	24	0,02941176
15	2441	2461	20	0,0245098
16	1237	1261	24	0,02941176
17	77	97	20	0,0245098
18	1377	1397	20	0,0245098
19	1721	1741	20	0,0245098
20	2125	2145	20	0,0245098
21	1397	1417	20	0,0245098
22	1733	1753	20	0,0245098
23	1629	1649	20	0,0245098
24	673	693	20	0,0245098
25	197	217	20	0,0245098
26	2209	2229	20	0,0245098
27	1249	1269	20	0,0245098
28	745	765	20	0,0245098
29	1877	1897	20	0,0245098
30	853	173	20	0,0245098
31	2501	2521	20	0,0245098
32	177	209	32	0,03921569
33	1369	1401	32	0,03921569
34	413	445	32	0,03921569

35	893	921	28	0,03431373
36	1645	1673	28	0,03431373
37	273	301	28	0,03431373
38	89	119	30	0,03676471
39	546	576	30	0,03676471
40	1167	1196	29	0,03553922
41	1765	1801	36	0,04411765
42	1717	1753	36	0,04411765
43	929	965	36	0,04411765
44	245	280	35	0,04289216
45	97	135	38	0,04656863
46	1021	1065	44	0,05392157
47	1501	1545	44	0,05392157
48	121	169	48	0,05882353
49	269	325	56	0,06862745
50	1909	1961	52	0,06372549

<i>Spacer 15 cm</i>	
X	Y
0,01	13
0,02	17
0,03	10
0,04	5
0,05	3
0,06	2

Tabel . Intensitas yang sering muncul

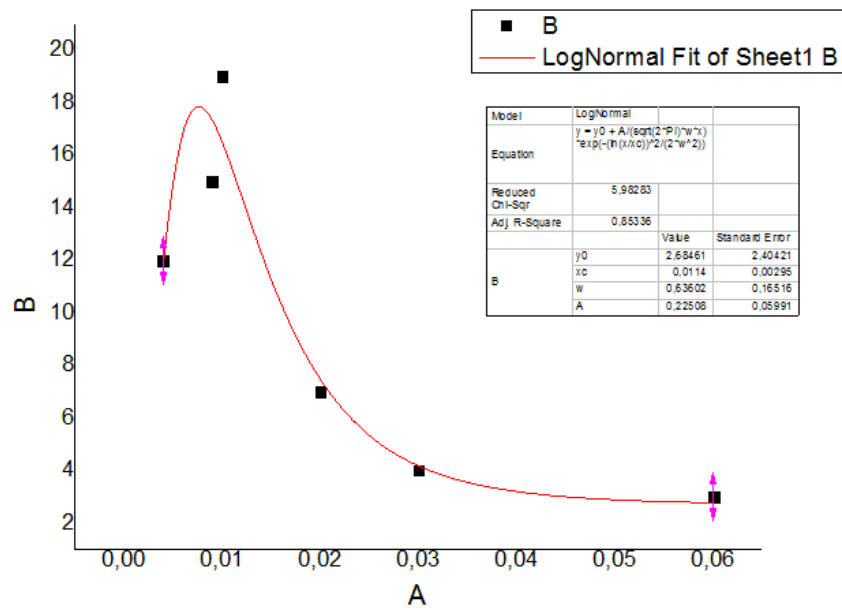
Setelah didapatkan ukuran partikel dengan jumlah banyak, kemudian mem*fitting* ukuran partikel tersebut dengan Origin dalam bentuk fungsi LogNormal . Maka muncul grafik seperti pada gambar berikut:



Grafik hubungan antara jumlah partikel dan ukuran partikel pada koordinat kanan dan kiri untuk *spacer* 10 cm.

Model	LogNormal		
Equation	$y = y_0 + A / (\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot w \cdot x) \cdot \exp(-(\ln(x/x_c))^2 / (2 \cdot w^2))$		
Reduced Chi-Sqr	1,00587		
Adj. R-Square	0,98035		
B		Value	Standard Error
	y0	2,92414	0,73608
	x _c	0,12511	0,0042
	w	0,29417	0,02501
	A	1,66514	0,2053

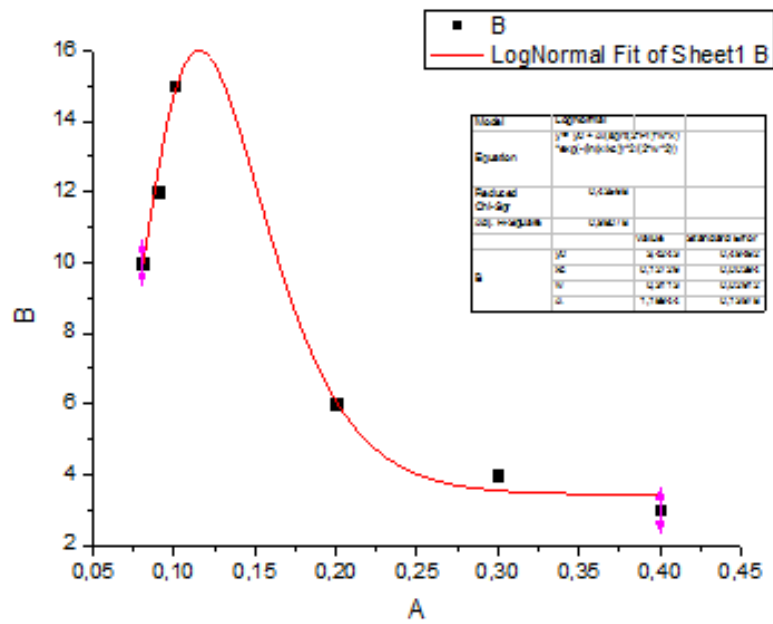
Tabel..Parameter fungsi distribusi hasil LogNormal



Grafik hubungan antara jumlah partikel dan ukuran partikel pada koordinat atas dan bawah untuk *spacer* 10 cm.

Model	LogNormal		
Equation	$y = y_0 + A / (\sqrt{2 \cdot \pi}) \cdot w^{-x} \cdot \exp(-(\ln(x/x_c))^2 / (2 \cdot w^2))$		
Reduced Chi-Sqr	5.98283		
Adj. R-Square	0.85336		
		Value	Standard Error
B	y0	2.68461	2.40421
	x0	0.0114	0.00295
	w	0.63602	0.16516
	A	0.22508	0.05991

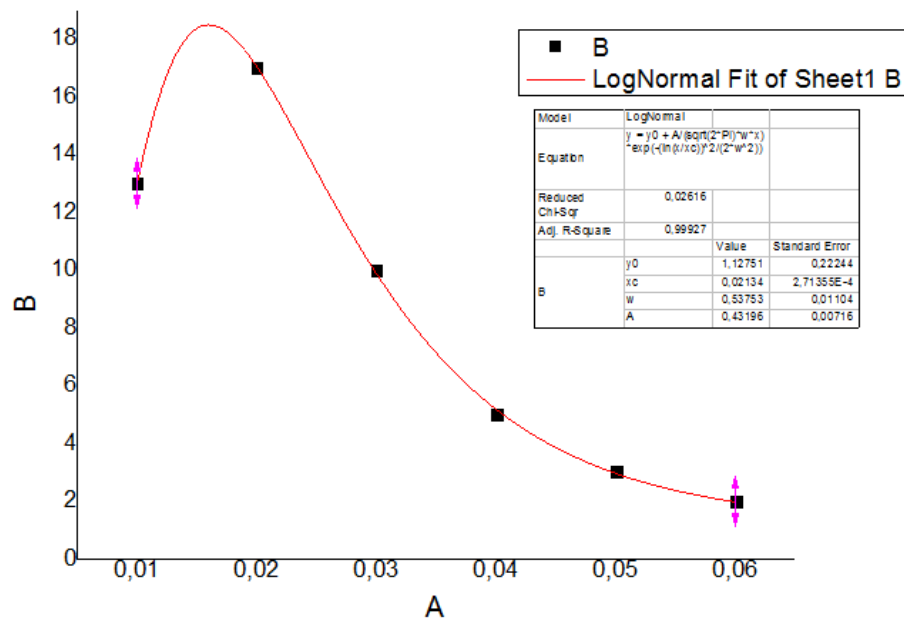
Tabel..Parameter fungsi distribusi hasil LogNormal



Grafik hubungan antara jumlah partikel dan ukuran partikel pada koordinat kanan dan kiri untuk *spacer* 15 cm.

Model	LogNormal		
Equation	$y = y0 + A / (\sqrt{2 * \pi} * w * x) * \exp(-(\ln(x/xc))^2 / (2 * w^2))$		
Reduced Chi-Sqr	0.43668		
Adj. R-Square	0.98078		
		Value	Standard Error
B	y0	3.4243	0.49462
	xc	0.12726	0.00394
	w	0.3113	0.02612
	A	1.18944	0.13978

Tabel..Parameter fungsi distribusi hasil LogNormal



Grafik hubungan antara jumlah partikel dan ukuran partikel pada koordinat atas dan bawah untuk *spacer* 15 cm.

Model	LogNormal		
Equation	$y = y_0 + A / (\sqrt{2 \cdot \pi}) \cdot w \cdot x \cdot \exp(-(\ln(x/x_c))^2 / (2 \cdot w^2))$		
Reduced Chi-Sqr	0,02616		
Adj. R-Square	0,99927		
		Value	Standard Error
B	y0	1,12751	0,22244
	xc	0,02134	2,71355E-4
	w	0,53753	0,01104
	A	0,43196	0,00716

Tabel..Parameter fungsi distribusi hasil LogNormal

Parameter fungsi hasil *fitting* LogNormal, dimana x_c adalah lokasi puncak fungsi distribusi, dan w adalah simpangan deviasi geometri. Dengan demikian dapat diketahui diameter rata-rata dengan persamaan sebagai berikut:

$$f D = \frac{1}{2\pi D\sigma} \exp -\frac{\ln^2 \frac{D}{D_p}}{2\sigma^2}$$

$$D = D_p \exp \frac{\sigma^2}{2}$$

Dimana pada *spacer* 10 cm:

a) Untuk koordinat kanan dan kiri, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D = 0,12511 \exp \frac{0,29417^2}{2}$$

$$D = 0,12511 \exp \frac{0,086535}{2}$$

$$D = 0,12511 \exp 0,04326$$

$$D = 0,1306 \mu m$$

b) Untuk koordinat atas dan bawah, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D = 0,0114 \exp \frac{0,63602^2}{2}$$

$$D = 0,0114 \exp \frac{0,40452144}{2}$$

$$D = 0,0114 \exp 0,20226072$$

$$D = 0,0139 \mu m$$

Dimana pada *spacer* 15 cm:

c) Untuk koordinat kanan dan kiri, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D=0,12726 \exp \frac{0,3113^2}{2}$$

$$D=0,12726 \exp \frac{0,0969}{2}$$

$$D=0,12726 \exp 0,0484$$

$$D= 0,1336 \mu m$$

d) Untuk koordinat atas dan bawah, $D_p = x_c$, $\sigma = w$

$$D=0,02134 \exp \frac{0,53753^2}{2}$$

$$D=0,02134 \exp \frac{0,2889385}{2}$$

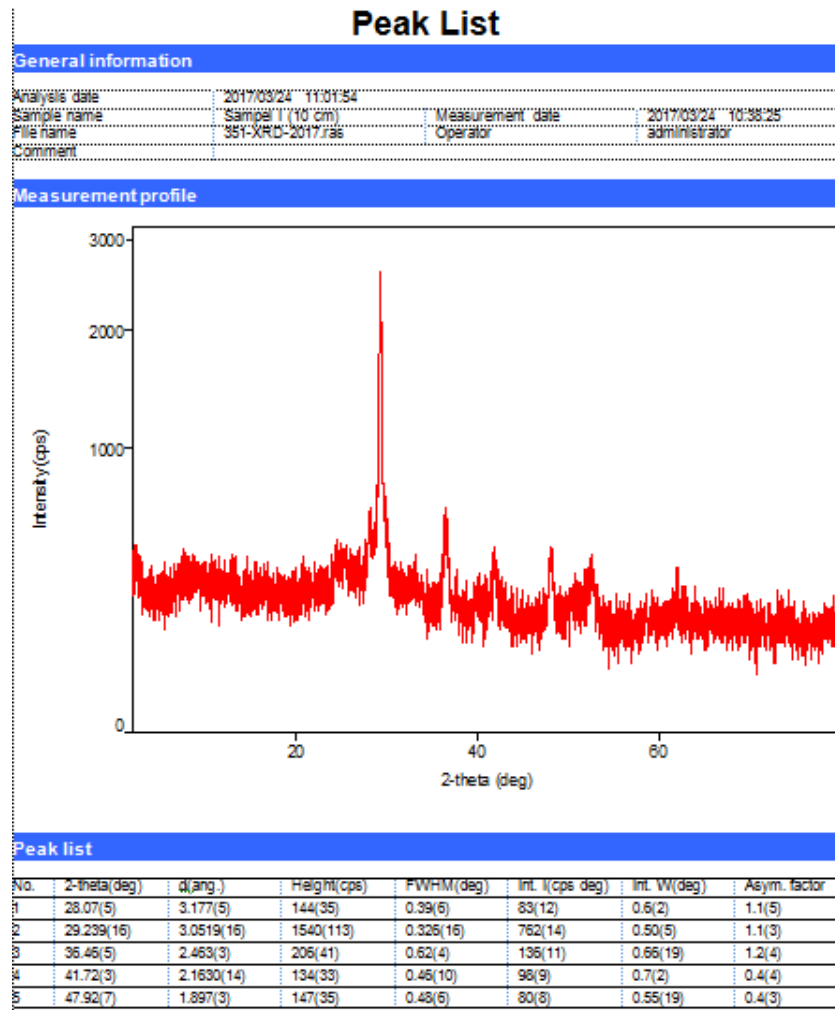
$$D=0,02134 \exp 0,14446925$$

$$D= 0,0246 \mu m$$

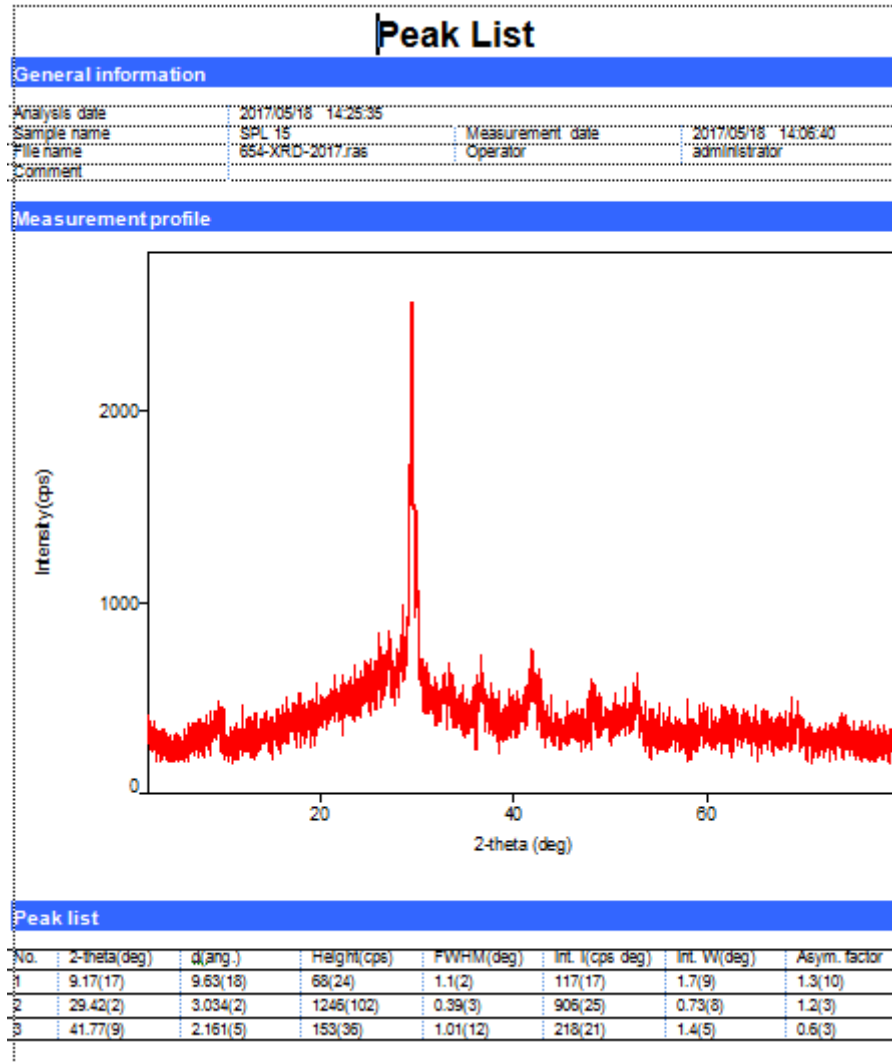
C. Hasil karakterisasi

1. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan XRD

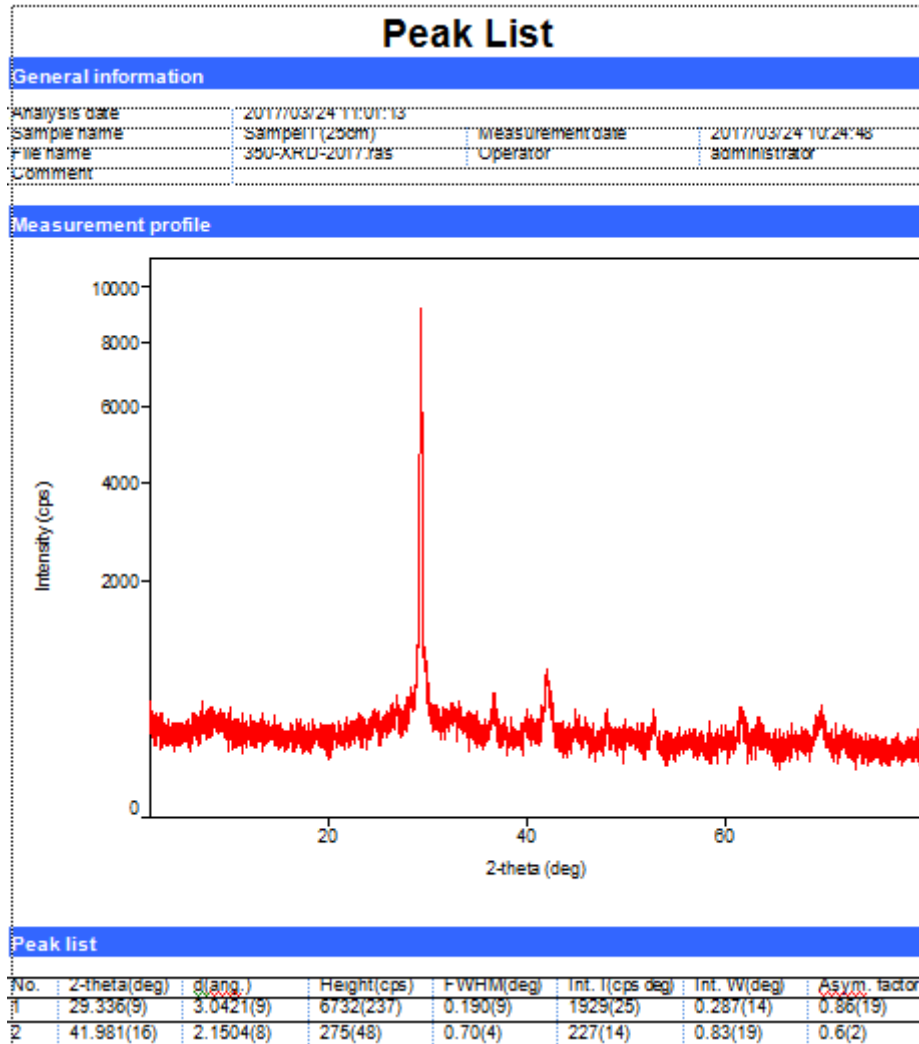
a). Hasil XRD Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) *spacer* 10 cm



b). Hasil XRD Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) spacer 15 cm

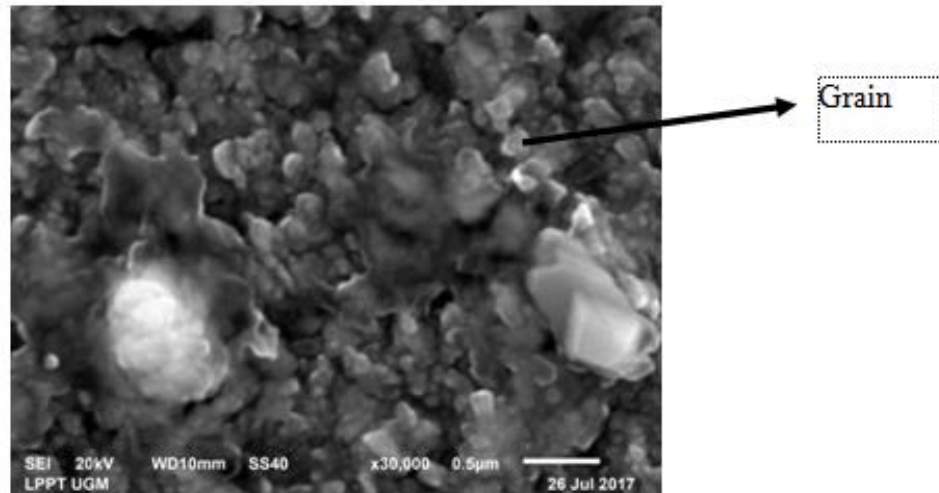


c). Hasil XRD Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) spacer 25 cm

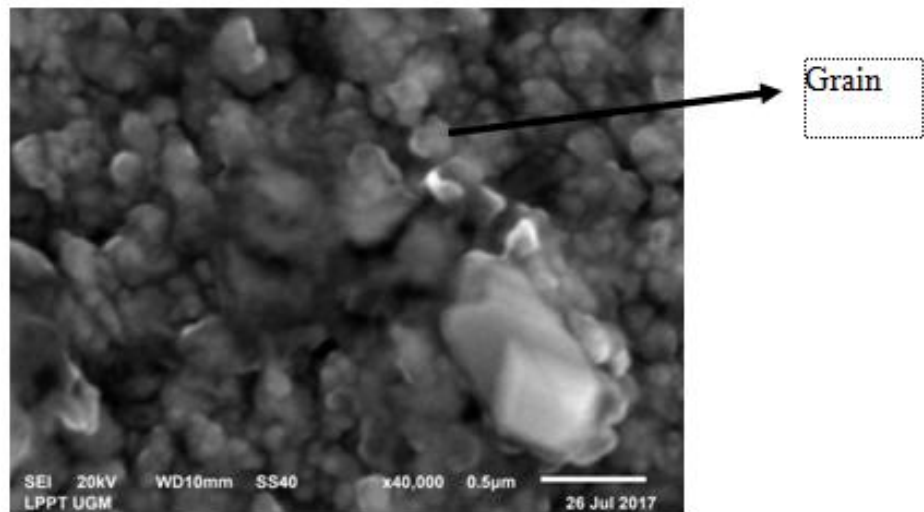


2. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dengan SEM

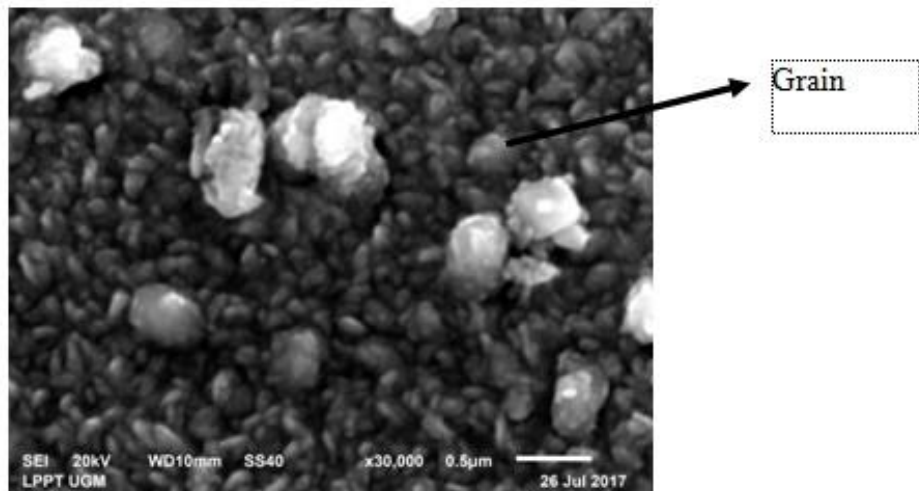
Berikut gambar karakterisasi dari lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dengan perbesaran 30.000 kali dan 40.000 kali.



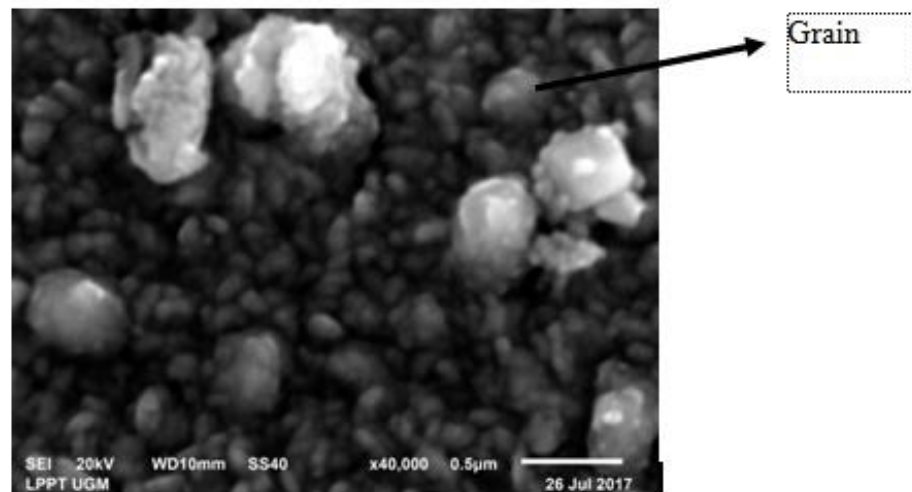
Gambar. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) spacer 10 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 30.000 kali.



Gambar. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) spacer 10 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 40.000 kali.

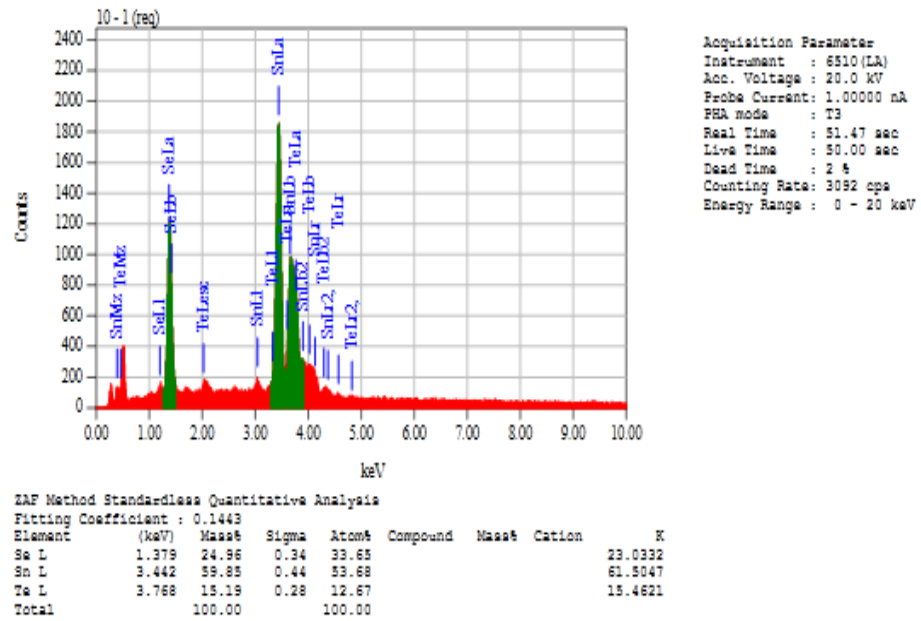


Gambar Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) spacer 15 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 30.000 kali

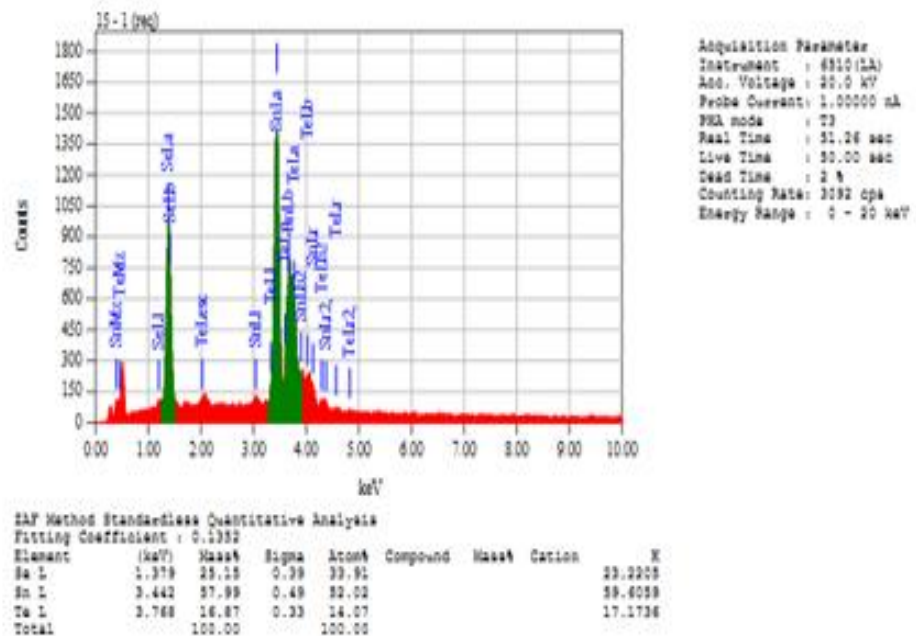


Gambar. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Sn(Se_{0.6}Te_{0.4}) spacer 15 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 40.000 kali

3. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) dengan EDAX

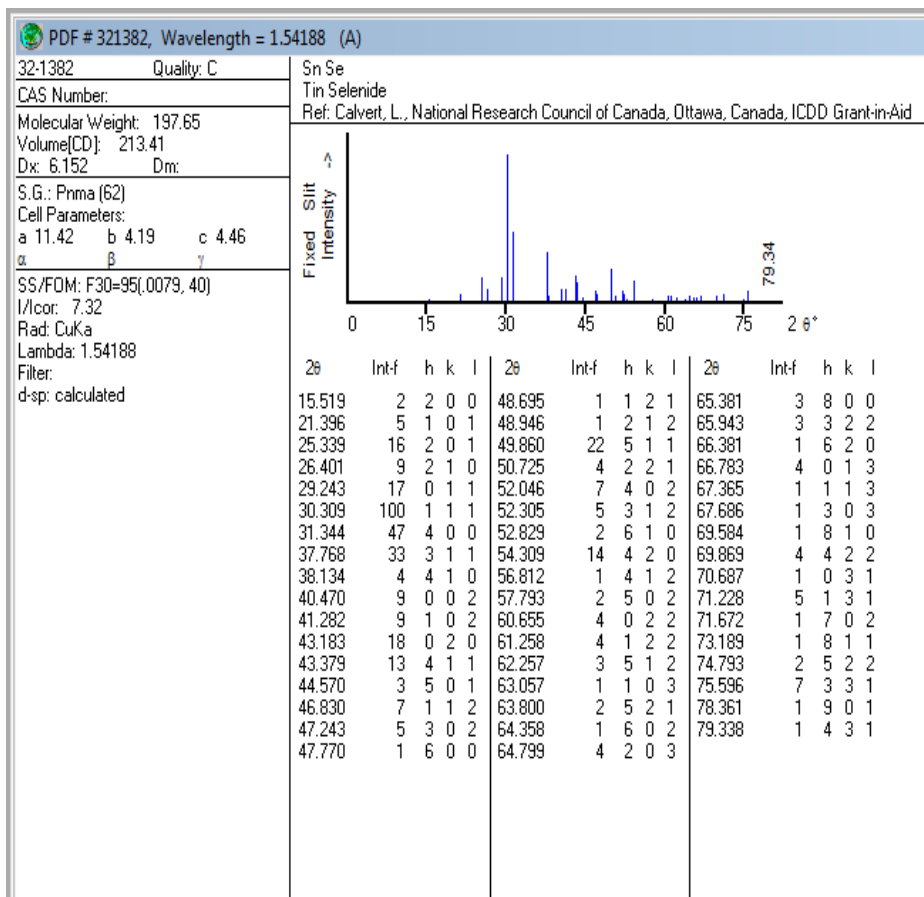


(1). Grafik hubungan intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) *spacer* 10cm dengan Teknik Evaporasi.



(2). Grafik hubungan intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDAX Lapisan Tipis Sn($\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{0,4}$) *spacer* 15cm dengan Teknik Evaporasi.

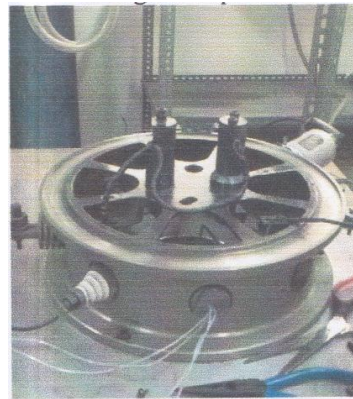
D. JCPDS SnSe



E. Dokumentasi Penelitian



Timbangan Digital



dudukancrucible



Perangkat Evaporasi



furnace



Multimeter Digital



Penggerus



Bahan Sn (*Stannum*)



Bahan Te (*Tellurium*)



Bahan Se (*Selenium*)



Manometer Penning



Mesin XRD



Mesin SEM-EDAX



Alat pemanas