

**PENGARUH *SPACER* PADA KUALITAS KRISTAL LAPISAN TIPIS  
Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI  
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

**SKRIPSI**

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



Oleh :

NONI HENDRIANI

15306141054

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

**2019**

## LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**Pengaruh *Spacer* pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya.**

Disusun Oleh:

Noni Hendriani

NIM 15306141054

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

Yogyakarta, 12 Juni 2019

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Disetujui,

Dosen Pembimbing

  
Drs. Nur Kadarisman, M.Si

NIP. 196402051991001

  
Dr. Ariswan

NIP. 19590914 198803 1 003

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**Pengaruh *Spacer* pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya.**

Disusun Oleh:

Noni Hendriani

NIM 15306141054

telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta pada tanggal 20 Juni 2019.

**TIM PENGUJI**

<b>Nama</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Tanda Tangan</b>	<b>Tanggal</b>
<u>Dr. Ariswan</u> NIP.19590914 198803 1 003	<b>Ketua Penguji</b>		25-06-2019
<u>Rita Prasetyowati, M.Si</u> NIP. 198007282 00604 2 001	<b>Sekretaris Penguji</b>		25-06-2019
<u>Dr. Warsono</u> NIP. 19681101 199903 1 002	<b>Penguji Utama</b>		25-06-2019

Yogyakarta, 28-6-2019

FAKULTAS MIPA

Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Hastono  
NIP. 19620329 198702 1 002

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Noni Hendriani

NIM : 15306141054

Program Studi : Fisika

Judul Skripsi : Pengaruh *Spacer* pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis  
 $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi  
Vakum untuk Aplikasi Sel Surya.

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri dibawah tema penelitian payung dosen atas nama Dr. Ariswan, Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Tahun 2019. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, 14 Mei 2019

Yang menyatakan,



Noni Hendriani

NIM. 15306141054

## **MOTTO**

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

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

“Smile is a simple way of enjoying life”

“Berbuat baiklah kepada orang lain seperti berbuat baik kepada diri sendiri” (Nabi Muhammad SAW)

“Our parents are the greatest gift in a life”

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, 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 terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta (Bapak Sarwono dan Ibu Yuni Astuti), terima kasih telah mengasahi, menyayangi, menyemangati dan selalu mendoakan di setiap langkah anak-anaknya, terima kasih atas segala ilmu, bimbingan dan pengorbanan untuk anak-anakmu selama ini.
2. Adikku tersayang (Ade Liana Rulianti) yang memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Dosen pembimbing Bapak Dr. Ariswan yang dengan kemurahan hati, kesabaran dan keikhlasan Bapak berkenan untuk membimbing, memotivasi dan meluangkan waktunya.
4. Teman-teman Lapisan Tipis (Riyan, Udin dan Hadi) yang saling menyemangati dan membantu selama proses penyusunan skripsi.
5. Soulmate saya di kelas (Emi Kurnia Sari) yang selalu memberikan semangat dan mengingatkan saya untuk terus berusaha dalam menyelesaikan skripsi.
6. Kawan FISIKA E 2015 ( $E=mc^2$ ) yang selalu bahu-membahu untuk kebersamaan kita selama ini.

**STUDI TENTANG PENGARUH *SPACER* PADA KUALITAS KRISTAL  
LAPISAN TIPIS Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK  
EVAPORASI VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

**Oleh :  
Noni Hendriani  
15396141054**

**ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum dan mengetahui karakteristik kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan variasi jarak penyangga (*spacer*) melalui teknik evaporasi vakum.

Proses preparasi kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dilakukan menggunakan teknik evaporasi vakum dengan memvariasi *spacer* yaitu 10 cm, 15 cm, dan 25 cm. Ketiga sampel lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dikarakterisasi menggunakan XRD (X-Ray Diffraction) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi permukaan, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>).

Pengaruh variasi *spacer* terhadap kualitas kristal yaitu semakin dekat *spacer* maka intensitas sinar X yang terdifraksi yang muncul semakin tinggi. Jika semakin tinggi intensitas yang muncul, maka semakin baik pula keteraturan atom-atomnya sehingga bisa dikatakan kualitas kristal akan semakin baik jika intensitas yang dihasilkan tinggi. Dari ketiga variasi *spacer*, *spacer* yang optimal dalam menghasilkan lapisan tipis yaitu *spacer* 10 cm karena memiliki intensitas sinar X terdifraksi yang paling tinggi diantara yang lainnya. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) memiliki struktur kristal kubik. Nilai parameter kisi sampel 1 dengan *spacer* 10 cm adalah  $a = 6,218 \text{ \AA}$ , sampel 2 dengan *spacer* 15 cm adalah  $a = 6,181 \text{ \AA}$ , dan sampel 3 dengan *spacer* 25 cm adalah  $a = 6,001 \text{ \AA}$ . Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) memiliki morfologi permukaan homogen yang terdiri atas butiran (*grain*) yang memiliki diameter rata-rata 0,278  $\mu\text{m}$ . Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan perbandingan presentase komposisi kimia dan molaritas untuk sampel 1 yaitu Cd = 38,44 %, S = 3,11%, dan Te = 58,45% dan 1:0,08:1,5

Kata kunci : lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>), semikonduktor, evaporasi vakum



**STUDY ABOUT THE EFFECT OF SPACER TO CRYSTAL QUALITY  
Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) THIN FILMS PREPARATION RESULTS BY VACUUM  
EVAPORATION TECHNIQUE FOR SOLAR CELL APPLICATION**

**By :  
Noni Hendriani  
15306141054**

**ABSTRACT**

*This research aimed to know the effect of variation the distance between the source and the substance (spacer) to crystal quality Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films preparation results by vacuum evaporation technique and know the characteristics of thin films crystal with variation of spacer by vacuum evaporation technique.*

*The preparation process of the Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films is performed using vacuum evaporation technique with spacer variations are 10 cm, 15 cm and 25 cm. These Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films were characterized by XRD (X-Ray Diffraction) to determine the crystal structure and lattice parameter, SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine surface morphology and EDS (Energy Dispersive Spectrometry) to determine chemical composition of Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films.*

*The effect of spacer variation to crystal quality is the closer spacer is, the more diffracted X-ray intensity that appears. If the higher intensity that appears, so that it can be said that the quality of the crystal will be better if the intensity of the will be better if the intensity is produce by this. The results of XRD characterization showed that Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films were cubic crystal structure. The lattice parameter of sample 1 with spacer 10 cm is  $a=6,218\text{\AA}$ , sample 2 with spacer 15 cm is  $a=6,181\text{\AA}$ , and sample 3 with spacer 25 cm is  $a=6,001\text{\AA}$ . The results of SEM characterization showed that the surface morphology of Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films consisted of cubic grains and had average diameter 0,278  $\mu\text{m}$ . The results of EDAX showed chemical composition percentages and the molarities ratio of sample 1 as follows Cd = 38,44 %, S = 3,11%, and Te = 58,45% and 1:0,08:1,5*

*Keywords: Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) thin films, semiconductor, vacuum evaporation.*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi dengan judul **“Pengaruh *Spacer* pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya”**.

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

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

7. Dosen-dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
8. Teman-teman Fisika E 2015 atas perjuangan dan pengalaman bersama selama menimba ilmu.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu dalam penyelesaian penulisan tugas akhir skripsi ini.

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

Yogyakarta, 23 Mei 2019

Penulis,



Noni Hendriani  
15306141054

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi

### BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	6

### BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Bahan Padat.....	7
B. Bahan Kristal.....	10
1. Struktur Kristal.....	10
2. Indeks Miller.....	13
3. Sistem Kristal Kubik.....	15
a. Jarak Antar Bidang Kubik.....	16
b. Parameter Kisi Kubik.....	16
4. Faktor Struktur Kristal.....	17
5. Ketidaksempurnaan pada Kristal.....	20
C. Semikonduktor.....	22
1. Bahan Semikonduktor.....	22
2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik.....	22
a. Semikonduktor Intrinsik.....	22
b. Semikonduktor Ekstrinsik.....	24
1) Semikonduktor tipe-n.....	25
2) Semikonduktor tipe-p.....	26
3. Bahan Semikonduktor Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ).....	27
D. Lapisan Tipis.....	28
E. Teknik Evaporasi Vakum.....	29
1. Pompa Difusi.....	30

2. Pompa Rotari.....	31
F. <i>Spacer</i> .....	33
G. Sel Surya.....	33
1. Perkembangan Sel Surya.....	34
2. Prinsip Kerja Sel Surya.....	38
H. Karakterisasi Kristal.....	41
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	41
2. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	47
3. <i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i> (EDAX).....	48
I. Kerangka Berpikir.....	50
 <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	53
B. Variabel Penelitian.....	54
C. Alat dan Bahan Penelitian.....	54
D. Skema Alat Penelitian.....	56
E. Langkah Penelitian.....	58
F. Teknik Analisis Data.....	63
G. Diagram Alir Tahap Penelitian.....	65
 <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Penumbuhan Kristal Lapisan Tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ).....	66
B. Hasil Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi .....	67
C. Hasil Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) .....	74
D. Hasil Komposisi Kimia Lapisan Tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) .....	77
 <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
A. Kesimpulan.....	83
B. Saran.....	84
 <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	 85

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur pita energi.....	7
Gambar 2. Skema susunan atom.....	10
Gambar 3. Empat Belas Kisi Bravais.....	13
Gambar 4. Perpotongan bidang dan sumbu.....	14
Gambar 5. Sistem kristal kubik.....	15
Gambar 6. Keadaan Pita Energi Bahan Semikonduktor Intrinsik.....	24
Gambar 7. Daerah kerja pompa vakum.....	32
Gambar 8. Bentuk sel surya.....	34
Gambar 9. Pembuatan sel surya (a) sel surya dari bahan polikristal dan (b) sel surya dari bahan kristal tunggal.....	35
Gambar 10. Pembuatan sel surya dari lapisan tipis.....	36
Gambar 11. Sel Surya Graetzel.....	37
Gambar 12. Sambungan semikonduktor tipe-p dengan tipe-n.....	38
Gambar 13. Skema sel surya.....	40
Gambar 14. Spektrum yang dapat diserap oleh absorber dari radiasi matahari dengan masing-masing panjang gelombang.....	41
Gambar 15. Diagram Sinar-X.....	42
Gambar 16. Sinar-X <i>bremsstrahlung</i> .....	44
Gambar 17. Berkas sinar-X pada kristal.....	45
Gambar 18. Spektrometer sinar-X.....	46
Gambar 19. Skema dasar SEM.....	48
Gambar 20. Hamburan dari elektron yang jatuh pada lembaran tipis.....	49
Gambar 21. Skema Sistem Evaporasi Vakum.....	56
Gambar 22. Skema Sistem Evaporator.....	59
Gambar 23. Diagram Alir Tahap Penelitian.....	65
Gambar 24. Hasil preparasi lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ).....	66
Gambar 25. Difraktogram XRD lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) dengan spacer 10 cm.....	68
Gambar 26. Difraktogram XRD lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) dengan spacer 15 cm.....	68
Gambar 27. Difraktogram XRD lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) dengan spacer 25 cm.....	69
Gambar 28. Hasil <i>smoothing</i> dan perbesaran sampel Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ).....	69
Gambar 29. Difraktogram penggabungan lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ).....	70
Gambar 30. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) perbesaran 30.000 kali.....	74
Gambar 31. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) pada spacer 10 cm yang sudah diberi garis melintang pada program ImageJ dan sudah ditentukan ukurannya.....	75
Gambar 32. Grafik hubungan antara diameter partikel dengan jumlah Partikel.....	76
Gambar 33. Grafik hubungan intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX masif Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) spacer 10 cm.....	79
Gambar 34. Grafik hubungan intensitas dengan energi hasil karakterisasi	

EDAX lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) spacer 10 cm.....80

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais.....	12
Tabel 2. Perbandingan data XRD lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) spacer 10 cm dengan data JCPDS CdTe.....	71
Tabel 3. Perbandingan data XRD lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) spacer 15 cm dengan data JCPDS CdTe.....	72
Tabel 4. Perbandingan data XRD lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) spacer 25 cm dengan data JCPDS CdTe.....	72
Tabel 5. Parameter kisi lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) pada spacer 10 cm, 15 cm dan 25 cm terhadap JCPDS CdTe.....	73
Tabel 6. Parameter fungsi distribusi LogNormal .....	76
Tabel 7. Perbandingan molaritas unsur Cd, S, dan Te pada masif Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) spacer 10 cm dari hasil karakterisasi EDAX.....	80
Tabel 8. Perbandingan molaritas unsur Cd, S, dan Te pada lapisan tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) spacer 10 cm dari hasil karakterisasi EDAX.....	81



## DAFTAR LAMPIRAN

A. Perhitungan Parameter Kisi dengan Metode Analitik.....	87
B. Perhitungan Distribusi Ukuran Partikel dengan SEM.....	94
C. Hasil Karakterisasi	
1. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) dengan XRD.....	99
2. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Cd(S <sub>0,6</sub> Te <sub>0,4</sub> ) dengan SEM.....	101
3. Hasil Karakterisasi EDAX.....	102
D. JCPDS CdTe.....	103
E. Dokumentasi Penelitian.....	104

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang menjadi kebutuhan pokok bagi manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Kebutuhan energi listrik di Indonesia meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Meningkatnya kebutuhan energi ini diakibatkan oleh berkembangnya kemajuan teknologi yang begitu pesat. Sementara bahan bakar untuk memproduksi energi listrik masih didominasi oleh bahan bakar fosil terutama batu bara. Batu bara merupakan bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui dan proses pembentukannya pun membutuhkan waktu yang sangatlah lama.

Penggunaan bahan bakar fosil yang terus-menerus dilakukan dalam waktu yang lama akan mengakibatkan krisis bahan bakar yang akhirnya berdampak pada krisis energi listrik. Selain itu juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Krisis energi yang terjadi membuat manusia berusaha mencari energi alternatif yang bersifat terbarukan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembangan tentang sumber bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yaitu energi terbarukan yang ramah lingkungan.

Berdasarkan kondisi geografisnya, Indonesia terletak di garis khatulistiwa yang menjadikan Indonesia sebagai negara tropis sehingga mendapat radiasi surya sepanjang tahun. Energi surya ini mempunyai potensi untuk dijadikan sumber produksi energi terbarukan. Teknologi yang dapat

mengubah energi matahari langsung menjadi energi listrik adalah teknologi fotovoltaik atau sel surya. Teknologi ini menggunakan piranti semikonduktor dengan sambungan p-n atau *p-n junction* (Al Hasbi, 2011). Efek fotovoltaik merupakan fenomena munculnya arus dan tegangan listrik akibat adanya kontak dua lapisan bahan semikonduktor yang dihubungkan dibawah paparan sinar matahari (Wardhani, 2016 : 17). Teknologi fotovoltaik dianggap teknologi yang dapat mengatasi masalah lingkungan (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 termasuk dalam golongan IV A dan 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 sel surya yang mahal. Oleh karena itu, pemanfaatan unsur lain yang lebih terjangkau dikembangkan salah satunya melalui teknik penumbuhan lapisan tipis.

Penelitian yang telah dilakukan terkait dengan pembuatan sel surya, lapisan tipis dibuat dari bahan semikonduktor perpaduan unsur CdS dan CdTe karena menghabiskan biaya yang lebih murah untuk ukuran laboratorium. Unsur CdS merupakan semikonduktor tipe-n sedangkan CdTe merupakan semikonduktor tipe-p. Bahan CdS memiliki energi gap sebesar

2,42 eV dan CdTe mempunyai energi gap sebesar 1,56 eV. Jika dilakukan penambahan atom Te pada CdS, sehingga terbentuk paduan Cd(S,Te) diharapkan dapat menurunkan energi gap CdS agar dapat menyerap spektrum matahari dalam pembuatan sel surya, sehingga dihasilkan sel surya dengan efisiensi lebih tinggi.

Penumbuhan lapisan tipis pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik evaporasi vakum dan alat yang berupa evaporator. Teknik evaporasi vakum merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Teknik ini memiliki kelebihan yaitu laju penumbuhan lapisan tipis yang sangat tinggi karena ditumbuhkan di dalam ruang vakum dan hasil preparasi yang dihasilkan lebih baik dan merata pada permukaan substrat sehingga hasil preparasi lebih tipis (Ohring, 2002 : 96).

Evaporator adalah alat yang berfungsi untuk mengubah dari bentuk padat menjadi cair dan seterusnya akan menjadi uap, yaitu dengan mempertinggi temperatur (B.Long, 1995). Pada alat evaporator mempunyai sumber pemanas yang berfungsi untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Alat evaporator membutuhkan arus listrik yang tinggi dalam pengoperasiannya. Hal ini dikarenakan pada arus listrik yang tinggi material bahan akan mencapai titik uapnya sehingga material tersebut akan keluar dari bahan sumber dalam bentuk uap dan menempel pada substrat. Bahan yang akan dievaporasikan harus berbentuk padat agar dapat langsung menempel pada substrat tanpa bereaksi dengan elemen pemanas.

Parameter kualitas kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang baik meliputi distribusi ukuran partikel, kemurnian kristal, dan bentuk kristal. Kualitas kristal tersebut dapat dicari dengan melakukan beberapa karakterisasi yaitu *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)*. XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis, SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis dan EDAX bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan tipis. Dari hasil karakterisasi yang dilakukan, dapat diketahui pengaruh variasi jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang terbentuk meliputi struktur kristal, morfologi permukaan dan komposisi kimia dari lapisan tipis tersebut.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian dari latar belakang masalah, dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Belum diketahuinya pengaruh variasi jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang dihasilkan dengan teknik evaporasi vakum.
2. Belum diketahuinya karakteristik kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dengan variasi jarak penyangga (*spacer*) melalui teknik evaporasi vakum.
3. Mahalnya biaya produksi dalam pembuatan sel surya dari bahan semikonduktor silikon, sehingga perlu dicari bahan semikonduktor lain yang lebih terjangkau harganya.
4. Keterbatasan alat pada teknik CSVT di Laboratorium Universitas,

sehingga perlu digunakan teknik lain untuk menumbuhkan lapisan tipis.

### C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini masalah dibatasi pada penumbuhan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) menggunakan teknik evaporasi vakum dengan perbandingan molaritas Cd: S: Te yaitu 1: 0,6: 0,4. Variasi jarak penyangga (*spacer*) antara sumber bahan dengan substrat dilakukan pada jarak 10 cm, 15 cm dan 25 cm pada tekanan  $3 \times 10^{-5}$  mbar.

### D. Rumusan Masalah

Seperti yang ditulis pada uraian latar belakang dan batasan masalah, pada penelitian ini dilakukan penumbuhan kristal lapisan tipis Cd(Te<sub>0,4</sub>S<sub>0,6</sub>). Berdasarkan hal tersebut dapat dirumuskan permasalahan:

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
2. Bagaimana karakteristik kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan variasi jarak penyangga (*spacer*) melalui teknik evaporasi vakum?

### E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Mengetahui karakteristik kristal lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan variasi jarak penyangga (*spacer*) melalui teknik evaporasi vakum.

## **F. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh informasi tentang pengaruh jarak penyangga (*spacer*) terhadap kualitas kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Memperoleh informasi mengenai karakteristik kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dengan variasi jarak penyangga (*spacer*) melalui teknik evaporasi vakum.
3. Memperoleh lapisan tipis semikonduktor  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang dapat digunakan untuk bahan sel surya.

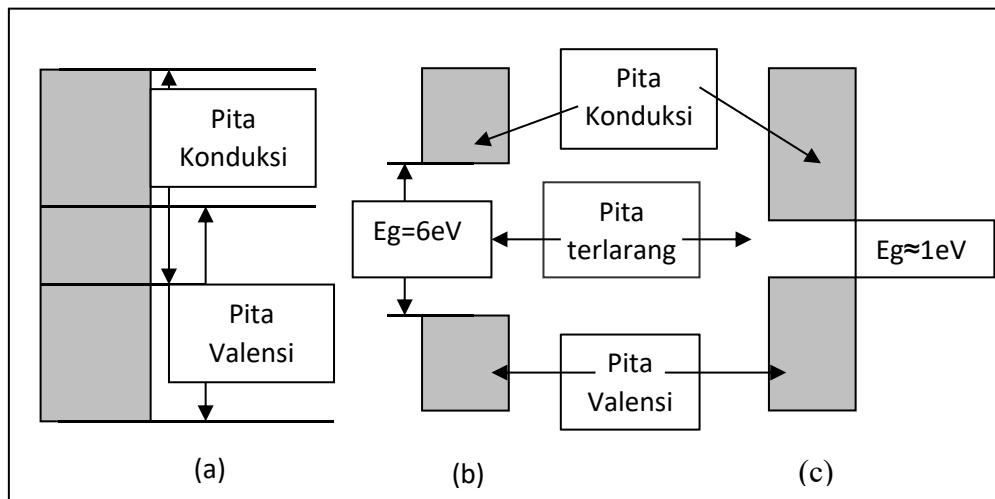


## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Bahan Padat

Bahan padat dibedakan menjadi 3 macam berdasarkan kemampuan menghantarkan arus listrik dan struktur pita energi, yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Gambar 1 menunjukkan perbedaan dari ketiga bahan tersebut :



Gambar 1. Struktur pita energi (a). Konduktor (b). Isolator dan (c). Semikonduktor

Konduktor merupakan bahan yang dapat menghantarkan listrik dengan sangat baik dan memiliki resistansi listrik yang kecil. Hal ini disebabkan karena konduktor memiliki energi gap yang sangat kecil. Selain itu konduktor juga memiliki pita valensi dan pita konduksi yang saling tumpang tindih (overlap), dimana pita energinya hanya terisi oleh sebagian elektron. Pita energi yang terisi hanya sebagian elektron tersebut 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 seperti elektron bebas yang lincah dan gerakannya menghasilkan arus listrik. Jika suhunya diperbesar hambatan listriknya bertambah pula. Hal ini disebabkan karena elektron-elektron yang bebas mendapatkan energi termal sehingga tidak lagi mudah untuk digerakkan (Ariswan, 2014: 5).

Isolator merupakan bahan penghantar listrik yang buruk. Celah pita energi pada bahan isolator dapat dikatakan cukup besar, sehingga elektron dari celah pita energi yang penuh tidak dapat melompat menuju celah pita energi yang kosong. Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Energi gap yang dimiliki isolator sangat besar sekitar 6 eV. Hal ini menyebabkan energi dari medan listrik eksternal terlalu kecil sehingga tidak mampu memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Tidak adanya penghantar elektron di dalam pita konduksi membuat penghantaran listrik tidak dapat berlangsung. Umumnya isolator memiliki dua sifat yaitu :

1. Mempunyai celah energi yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi.
2. Tingkat energi fermi terletak pada celah energinya (Nyoman Suwitra, 1989: 186).

sedangkan semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor.

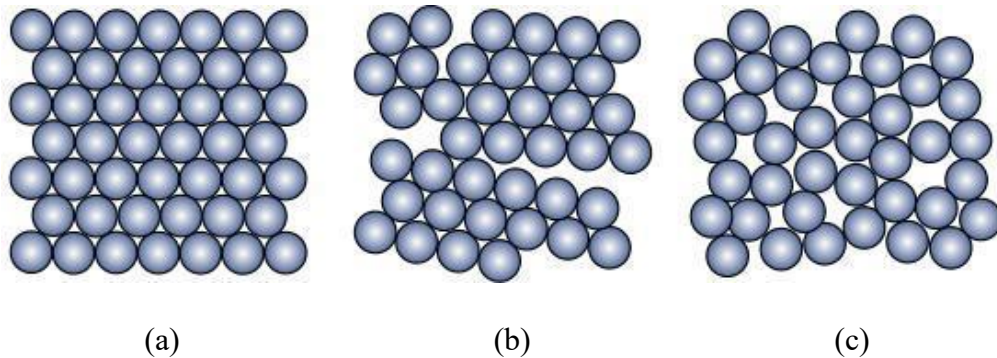
Bahan padat dapat dibedakan menjadi 3 macam berdasarkan keteraturan susunan atom-atom, ion-ion atau molekul penyusunnya. Bahan yang tersusun oleh atom-atom yang letaknya teratur dalam tiga dimensi dan berulang (periodik) disebut bahan kristal. Bahan kristal mempunyai keteraturan atom berjangkauan panjang dalam pola tiga dimensi sehingga menghasilkan rentang yang panjang sebagai karakteristik dan bentuk kristal tersebut. Sebaliknya, zat padat yang tidak memiliki keteraturan atom disebut bahan *amorf* atau bukan kristal (Ariswan, 2015: 1).

Berdasarkan struktur atom penyusunnya, bahan padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan *amorf*. Pada kristal tunggal (*monocrystal*), atom penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak berhingga ke segala arah.

Polikristal (*polycrystal*) dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari kristal-kristal tunggal beraturan yang memiliki ukuran sangat kecil dengan jarak susunan atom atau molekul hanya terbatas pada daerah-daerah tertentu dan saling menumpuk membentuk benda padat. Daerah-daerah dengan keberaturan atom-atom ini disebut butiran (*grain*).

*Amorf* merupakan suatu padatan yang memiliki pola struktur atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak mempunyai keteraturan dalam jangka pendek. Amorf terbentuk akibat adanya proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atomnya tidak dapat menempati lokasi kisinya

dengan tepat. Gambar 2 menunjukkan perbedaan susunan atom dalam bahan padat.



Gambar 2. Skema susunan atom (a)*monocrystal*, (b)*polycrystal*, dan (c)*amorf* ( Smallman dan Bishop, 1999: 13)

## B. Bahan Kristal

Kristal didefinisikan sebagai komposisi atom-atom zat padat yang memiliki susunan teratur dan periodik dalam pola tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom yang berarah dan susunan yang rapat. Atom-atom bergabung membentuk padatan (*solid*), atom-atom itu mengatur dirinya sendiri dalam pola tatanan tertentu yang disebut kristal (Malvino, 1981: 16). Kumpulan atom penyusun kristal sering juga disebut dengan basis dan kedudukan atom-atom di dalam ruang dinyatakan oleh kisi. Kristal bersifat zat padat, tetapi tidak semua zat padat berstruktur kristal.

### 1. Struktur Kristal

Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Sebuah kristal disusun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan satuan-satuan struktur identik secara berulang-ulang yang tidak terhingga di dalam ruang.

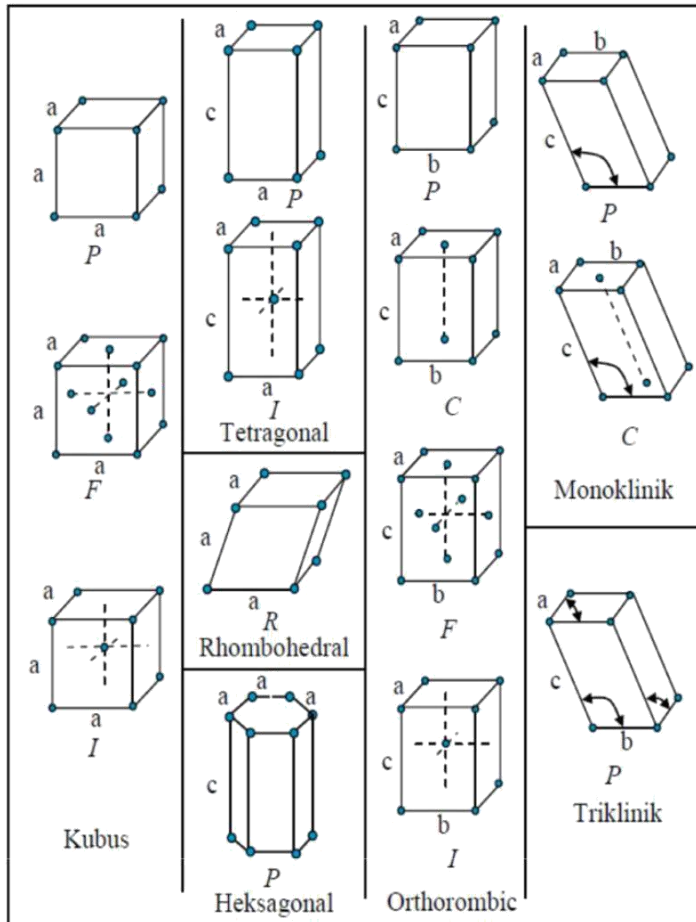
Semua struktur kristal dapat digambarkan atau dijelaskan dalam istilah *lattice* (kisi) yaitu sebuah susunan titik yang teratur dan periodik di dalam ruang dan sebuah basis atau sekumpulan atom-atom yang ditempelkan pada setiap titik *lattice* (kisi). Pada dasarnya struktur kristal disusun oleh kisi dan basis.

Geometri kristal dalam ruang tiga dimensi yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Sumbu  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  merupakan sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi bidang kristal atau kisi bravais. Kisi ruang kristal dikaitkan dengan sudut-sudut antara sumbu referensi kristal disebut  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  (Bravais, 1948). Oleh karena itu, kisi ruang merupakan suatu susunan titik-titik dalam ruang tiga dimensi, dimana setiap titik mempunyai lingkungan yang serupa. Kisi bravais merupakan titik pada lingkungan serupa tersebut memiliki simpul kisi yang hanya dapat disusun menjadi 14 susunan yang berbeda. Apabila terdapat atom-atom yang tersusun dalam kristal secara teratur, maka susunan tersebut adalah salah satu dari 14 kisi bravais (Kittel, 1979 : 8). Menurut Bravais (1848), berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang, kristal mempunyai 14 kisi, sedangkan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dan hubungan sudut satu dengan sudut lainnya, kristal dapat dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais

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

(Cullity, 1956: 31)



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

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

## 2. Indeks Miller

Indeks Miller merupakan suatu bidang parameter dari dua bidang atau lebih yang tergolong dalam kelompok bidang yang sama untuk kemudian

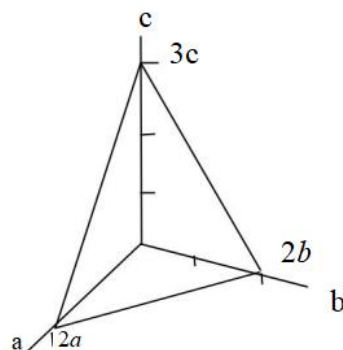


direduksi menjadi bilangan utuh yang paling sederhana. Bidang-bidang tersebut biasanya diberi tanda atau simbol ( $hkl$ ). Perpotongan bidang-bidang dengan sumbu kristalografi secara umum sama.

Perpotongan itu biasa disebut sebagai  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  berturut-turut sepanjang sumbu  $x$ ,  $y$ , dan  $z$  (Sherly Kasuma Warda Ningsih, 2016: 51). Indeks miller ( $hkl$ ) digunakan untuk menggambarkan semua bidang di dalam kristal (Kittel, 1979 : 12). Selain itu, hubungan ketiga Indeks Miller ( $hkl$ ) tersebut akan membentuk bidang yang dikenal sebagai bidang Bragg (Sitti Ahmiatri Saptaro, 2013 : 27).

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam menentukan indeks miller :

- a. Menentukan titik potong bidang dengan sumbu koordinat sel satuan.
- b. Menentukan kebalikan dari bilangan-bilangan tersebut, kemudian menentukan tiga bilangan bulat terkecil yang mempunyai perbandingan yang sama.



Gambar 4. Perpotongan bidang dan sumbu (Nyoman Suwitra, 1989: 48)

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 tersebut adalah :

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

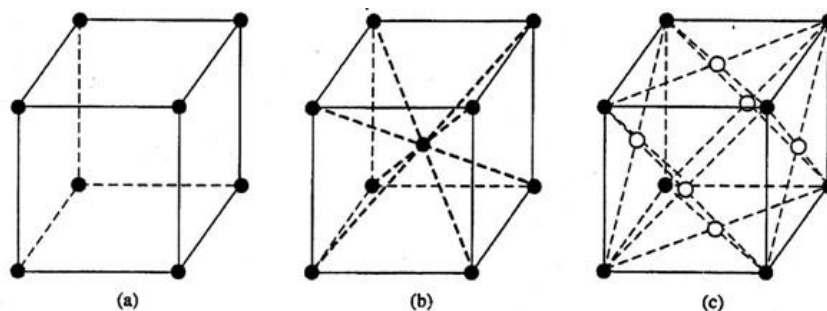
Maka Indeks Millernya adalah bilangan bulat terkecil dari kebalikan perpotongan bidangnya yaitu (3 3 2).

### 3. Sistem Kristal Kubik

Sistem kristal kubik adalah suatu sistem yang mempunyai tiga sumbu simetri dengan kristal yang saling tegak lurus satu dengan lainnya. Ketiga sumbu tersebut mempunyai panjang yang sama. Sistem kristal kubik memiliki panjang sumbu yang sama dengan ratio  $a = b = c$  dan memiliki sudut kristalografi yang sama, yaitu  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ , sehingga pada sistem kristal kubik semua sudut kristal ( $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ ) tegak lurus satu sama lain ( $90^\circ$ ) (Sherly Kasuma Warda Ningsih, 2016: 37-38).

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Gambar 5. Sistem kristal kubik (a) Sempel Kubik, (b) Kubik Pusat Badan, dan (c) Kubik Pusat Muka (Irul Bullet,2017)

**a. Jarak Antar bidang Kubik**

Pada sistem kristal kubik, jarak antar bidangnya mempunyai persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

**b. Parameter Kisi Kubik**

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

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{1}$$

Sementara persamaan Bragg adalah

$$2d \sin \theta = n\lambda \tag{2}$$

Dimana  $n$  adalah orde difraksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, ...). Karena pengamatan dilakukan hanya untuk orde 1, maka nilainya  $n$ .

Dengan mensubstitusikan persamaan Bragg, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \tag{3}$$

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{4}$$

Maka didapatkan persamaan berikut ini :

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}, A = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (5)$$

$$\sin^2 \theta = A(h^2 + k^2 + l^2) \quad (6)$$

$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad (7)$$

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

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{4A}} \quad (8)$$

Dimana nilai a = b = c

#### 4. Faktor Struktur Kristal

Faktor struktur ( $F$ ) adalah pengaruh struktur kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan (Cullity, 1956: 117-123). Faktor struktur memiliki peran penting dalam menentukan bentuk karakteristik dari kisi kristal. Faktor struktur mempengaruhi intensitas yang muncul pada difraktogram. Intensitas ( $I$ ) akan bernilai maksimum ketika faktor struktur ( $F$ ) juga maksimum, dan intensitas difraksi ( $I$ ) akan bernilai nol ketika faktor struktur ( $F$ ) juga bernilai nol. Besarnya faktor struktur ( $F$ ) adalah:

$$F_{hkl} = \sum_n^N f_n e^{2\pi i(hx_n + ky_n + lz_n)} \quad (9)$$

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

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

- a) Faktor struktur kristal kubik sederhana mempunyai sebuah bagian sel satuan yang hanya memiliki satu atom saja dan mempunyai koordinat 0 0 0, sehingga faktor strukturnya (F) adalah:

$$F = fe^{2\pi(0)} = f \quad (10)$$

dan

$$F^2 = f^2 \quad (11)$$

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

Maka faktor struktur pada kristal kubik sederhana yaitu:

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f_j e^{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)} \quad (12)$$

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

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

$$\begin{aligned} F &= fe^{2\pi(0)} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{l}{2})} \\ &= f[1 + e^{\pi i(h+k+l)}] \end{aligned} \quad (13)$$

$$F = \begin{cases} 2f; \text{ jika } (h+k+l) \text{ adalah genap.} \\ F^2 = 4f^2 \\ \\ 0; \text{ jika } (h+k+l) \text{ adalah ganjil.} \\ F^2 = 0 \end{cases}$$

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

Maka faktor struktur kristal kubik pusat badan dapat dituliskan persamaan :

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^N f e^{\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)} + 1 \quad (14)$$

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 kubik 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  $0\ \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}$ .

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

$$F = f [1 + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}] \quad (15)$$

$$F = \begin{cases} 4f; \text{ h, k, l tidak tercampur (genap} \\ \text{semua atau ganjil semua.} \\ F^2 = 16f^2 \\ \\ 0; \text{ h, k, l tercampur (genap dan} \\ \text{ganjil tercampur).} \\ F^2 = 0 \end{cases}$$

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

$$F = \sum_{j=1}^N f_j^{(1+\exp-\pi(h+k)+\exp-\pi(h+l)+\exp-\pi(k+l))} \quad (16)$$

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 ( $F=0$ ).

## 5. Ketidaksempurnaan pada Kristal

Dipandang dari struktur kristalnya, atom dalam setiap material tersusun secara teratur. Meskipun begitu, pada kenyataannya terdapat atom di dalam kristal yang terletak tidak pada tempatnya, hilang atau tersisipi oleh atom asing mengakibatkan ketidaksempurnaan pada kristal yang sering disebut dengan cacat kristal. Cacat kristal dapat mempengaruhi sifat bahan secara keseluruhan. Cacat yang terjadi pada kristal terbagi menjadi bermacam-macam bentuk, diantaranya :

### a) Cacat Titik

Cacat titik disebabkan oleh adanya penyimpangan posisi atom dalam kristal. Cacat titik ini dapat berupa kekosongan (vacancy), penyisipan (self-interstitial), dan ketidakmurnian (impurity). Kekosongan terjadi jika suatu atom berpindah dari lokasi kisinya ke lokasi atomik terdekat yang dapat menampungnya, sehingga atom seakan-akan hilang. Hal ini disebabkan karena hasil dari penumpukan yang salah saat proses

kristalisasi atau dapat juga terjadi akibat energi termal yang tinggi. Bila energi termal tinggi, kemungkinan bagi atom-atom untuk meninggalkan tempatnya juga akan meningkat. Sisipan adalah kesalahan sebuah atom dalam menempati posisinya. Sedangkan ketidakmurnian adalah hadirnya atom asing yang menempati titik kisi.

b) Cacat Garis

Cacat garis disebabkan akibat diskontinuitas struktural sepanjang lintasan kristal (dislokasi), atau cacat akibat salah susun struktur kristal, yaitu terdapat sebaris atom dalam kristal yang tidak berada pada tempatnya. Terdapat dua bentuk dasar dislokasi yaitu dislokasi tepi dan dislokasi sekrup.

c) Cacat Volume

Cacat volume disebabkan akibat adanya perlakuan pemanasan, iradiasi atau deformasi dimana sebagian berasal dari energi permukaan (1 sampai 3 J/m<sup>2</sup>) (Beiser, 1992: 361).

d) Cacat Bidang

Cacat bidang erat kaitannya dengan butir yang terdapat dalam zat padat. Butir (grain) adalah kristal-kristal kecil yang menyusun suatu zat padat pada bahan polikristal. Saat di daerah antar butir terjadi perbedaan arah keteraturan atom sehingga menimbulkan cacat pada daerah batas butir yang disebut cacat batas butir.



## **C. Semikonduktor**

### **1. Bahan Semikonduktor**

Semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Semikonduktor memiliki lebar pita terlarang  $E_g$  yang relatif kecil (sekitar 1 eV). Semikonduktor memiliki celah pita energi yang relatif kecil, selain itu struktur pita energi pada bahan semikonduktor hampir menyerupai bahan isolator. Akan tetapi, semikonduktor memiliki celah pita energi yang lebih kecil dibandingkan dengan isolator. Selain itu energi gap pada semikonduktor juga lebih kecil dibandingkan dengan energi gap pada isolator. Karena energi gap yang terlalu kecil, maka menyebabkan perilaku semikonduktor berbeda dari isolator.

### **2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik**

Berdasarkan sifat kelistrikannya, ada dua jenis bahan semikonduktor, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut :

#### **a. Semikonduktor Intrinsik**

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dengan sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri (Nyoman Suwitra,1989: 222). Semikonduktor jenis ini memang sudah tersusun dari atom- atom yang bersifat sebagai bahan semikonduktor.

Pada semikonduktor intrinsik, jika terjadi kekosongan yang disebabkan karena ikatan kovalen terputus maka menyebabkan kelebihan muatan positif, dan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Sehingga banyaknya *hole* pada pita valensi sama dengan banyaknya elektron pada pita konduksi. Gerakan termal terus menerus menghasilkan pasangan elektron-*hole* yang lain menghilang sebagai akibat proses rekombinasi. Konsentrasi (rapat) *hole- p* harus sama dengan konsentrasi (rapat) elektron *n*.

Semikonduktor intrinsik mempunyai beberapa ciri sebagai berikut (Suwitra,1989: 222-227).

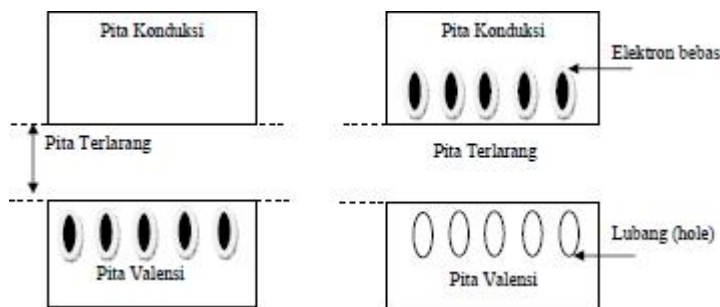
- 1) Jumlah elektron pada pita konduksi sama dengan jumlah *hole* pada pita valensi.
- 2) Energi Fermi terletak di tengah-tengah *energy gap*.
- 3) Elektron memberikan sumbangan besar terhadap arus, tetapi *hole* juga berperan penting.
- 4) Ada 1 atom diantara  $10^9$  atom yang memberikan sumbangan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

Jenis semikonduktor intrinsik terdiri dari atom-atom gol IV sistem periodik yaitu Silikon (Si) dan Germanium (Ge).

Pada suhu 0 K sifat bahan semikonduktor berubah menjadi bersifat isolator. Hal ini dikarenakan pada suhu tersebut elektron terikat kuat dengan ikatan kovalen dan tidak ada elektron yang bebas bergerak, sehingga keadaan pada pita valensi terisi penuh dan pita konduksi kosong sama sekali, bahan

bersifat isolator. Jika suhu kristal dinaikkan maka kemungkinan terjadi eksitasi thermal sangat besar karena celah energi relatif kecil, sehingga memudahkan elektron-elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi melewati daerah terlarang (Ariswan, 2014: 14).

Elektron-elektron tersebut meninggalkan kekosongan pada pita valensi yang disebut dengan lubang atau *hole*. *Hole* pada pita valensi dan elektron hampir bebas pada pita konduksi itulah yang berperan sebagai penghantar arus semikonduktor, dimana elektron merupakan pembawa muatan negatif dan *hole* merupakan pembawa muatan positif (Ali Mukti, 2009:16). Keadaan pita energi tersebut ditunjukkan pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. (a) Keadaan pita energi bahan Semikonduktor Intrinsik pada suhu 0 K dan (b) pada suhu diatas 0 K.(Thomas Sri Widodo, 2002: 45)

## b. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik disebut juga sebagai semikonduktor tidak murni, karena pada semikonduktor ekstrinsik terbentuk oleh ketidakmurnian (pengotor) dengan cara memasukkan elektron atau hole berlebih. Proses pemberian atom pengotor tersebut dinamakan *dopping*. Semikonduktor jenis ini mempunyai sifat konduktivitas listrik yang ditentukan oleh atom pengotor yang disisipkan pada semikonduktor tersebut. Dengan menambahkan pengotor, struktur pita dan resistivitasnya akan berubah.

Pada umumnya tidak terdapat semikonduktor yang benar-benar murni. Namun, terdapat semikonduktor yang mengandung donor atau 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. Berdasarkan jenis atom pengotor yang ditambahkan (*dopping*), semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu tipe-*n* dan tipe-*p* (Parno, 2002: 131).

#### **1) Semikonduktor tipe-*n***

Semikonduktor tipe-*n* dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor pentavalen (atom bervalensi 5) ke dalam semikonduktor murni (intrinsik) yang memiliki elektron valensi 4. 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).

Pada semikonduktor tipe ini, bahwa intrinsik seperti silikon memerlukan ketidakmurnian atom yang mempunyai elektron valensi lebih dari empat. Ini dimaksudkan ada elektron sisa dalam membentuk ikatan dan dengan demikian elektron tersebut dapat berkonduksi (menjadi elektron bebas). Atom-atom pengotor dalam hal ini sering dipakai fosfor (P) atau arsen (As) yang bervalensi lima dalam konsentrasi berorde ppm (*part per million*).

Pada diagram tingkat energi semikonduktor tipe-*n*, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam *energy gap* tepat di bawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan

elektron ini untuk bergerak menuju pita konduksi menjadi sangat kecil.

Dengan demikian, akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi elektron ini dinamakan aras donor dan elektron pengotor disebut donor karena elektron dengan mudah diberikan ke pita konduksi. Suatu semikonduktor yang telah di *dopping* dengan pengotor donor dinamakan semikonduktor tipe-*n* atau negatif (Wahyu, 2016: 24).

## 2) Semikonduktor tipe-p

Kebalikan dari semikonduktor tipe-*n*, pada semikonduktor tipe-*p* atom-atom yang ditambahkan sebagai ketidakmurnian adalah atom dengan valensi yang lebih kecil dari empat. Apabila bahan semikonduktor murni (intrinsik) di-*dopping* dengan bahan impuritas (ketidakmurnian) bervalensi tiga, maka akan diperoleh semikonduktor tipe-*p*. Bahan *dopping* yang bervalensi tiga tersebut misalnya *boron*, *galium*, dan *indium*. Saat sebuah atom *trivalen* menepati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan yang disebut lubang (*hole*). Bahan yang dihasilkan dari proses pengotoran ini menghasilkan pembawa muatan negatif pada kristal yang netral. Karena atom pengotor menerima elektron dari pita valensi, maka atom pengotor disebut sebagai atom akseptor (*acceptor*)(Wahyu, 2016: 22).

Di dalam semikonduktor tipe-*p* akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan yang letaknya sedikit di atas pita valensi. Karena energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali, maka *hole-hole* yang dibentuk oleh elektron-

elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron pembawa minoritas di dalam pita valensi. Penumbuhan unsur-unsur dan golongan III (B, Al, Ga, dan In) pada unsur-unsur golongan IV menghasilkan semikonduktor tipe-*p*.

### 3. Bahan Semikonduktor Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>)

#### a. CdS (*Cadmium Sulfide*)

*Cadmium Sulfide* adalah salah satu anggota dalam campuran golongan II - VI (ternary). *Cadmium Sulfide* berwujud padatan, merupakan paduan antara dua unsur yaitu *Cadmium* dan *Sulfur*. *Cadmium Sulfide* memiliki titik leleh pada suhu 1750 °C dan titik didih pada suhu 980 °C. CdTe memiliki energi gap 2,42 eV pada suhu 300 °K.

*Cadmium Sulfide* adalah senyawa anorganik berwarna kuning hingga oranye, kristalin, yang membentuk asap beracun dari kadmium oksida saat dipanaskan. *Cadmium Sulfide* digunakan sebagai pigmen dalam cat, plastik, tekstil, keramik dan kaca dan juga digunakan dalam sel surya, detektor asap dan radiasi, dioda pemancar cahaya dan photomultipliers.

#### b. CdTe (*Cadmium Telluride*)

*Cadmium Telluride* adalah salah satu anggota dalam campuran golongan II - VI (ternary). *Cadmium Telluride* berwujud padatan, merupakan paduan antara dua unsur yaitu *Cadmium* dan *Tellurium*. *Cadmium Telluride* memiliki titik leleh pada suhu 1092 °C dan titik didih pada suhu 1130 °C. CdTe memiliki energi gap 1,56 eV pada suhu

300 °K. CdTe digunakan untuk membuat sel surya film tipis, terhitung sekitar 6 % dari semua sel surya terpasang pada tahun 2010. Lapisan tipis CdTe termasuk yang paling rendah biayanya untuk jenis sel surya, meskipun perbandingan biaya total terpasang tergantung pada instalasi, ukuran dan faktor lainnya, dan berkembang sangat pesat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2010, sekitar 1,5 GWP sel surya dari CdTe diproduksi. Selain dijadikan sebagai sel surya CdTe pun bisa diaplikasikan menjadi detektor infra merah, yaitu dengan paduan menggunakan merkuri.

**c.  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$**

Bahan paduan  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  merupakan bahan semikonduktor paduan tiga unsur, yaitu *Cadmium* (Cd) golongan II B, *Sulfur* (S) dan *Tellurium* (Te) golongan VI A. Bahan ini identik dengan bahan semikonduktor CdS dan CdTe. Pada bahan semikonduktor  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan photodetector dan perangkat termoelektrik.

**D. Lapisan Tipis**

Lapisan tipis adalah suatu lapisan dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik (*organometallic*) dengan ketebalan dalam orde-nm (nanometer) hingga  $\mu\text{m}$  (mikrometer) yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator. Bahan-bahan lapisan tipis akan memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu mempunyai sifat-sifat bahan unik yang diakibatkan oleh proses pertumbuhan lapisan tipis.

Aplikasi lapisan tipis saat ini telah menjangkau hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronik seperti kapasitor, transistor, foto detektor, sel surya, rangkaian hidrid, dan teknologi mikroelektronika; bidang optik dalam pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kaca pelindung cahaya, transmisi daya tinggi, maupun bidang mekanik dalam pembuatan lapisan keras sebagai bahan pelindung terhadap keausan dan anti korosi.

Penerapan lapisan tipis diawali pada pertengahan abad XIX yakni 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. Dalam perkembangan berikutnya, penerapan teknologi lapisan tipis sudah menjangkau semua bidang dan semakin banyak diteliti.

#### **E. 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. Diantara cawan dengan substrat terdapat *spacer*. Saat proses evaporasi, *spacer* 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  $5 \times 10^{-5}$  mbarr dibutuhkan dua atau tiga pompa secara bertahap untuk mendapatkan evaporasi vakum yang tinggi. Pompa yang biasa digunakan adalah pompa vakum difusi dan pompa vakum rotari.

### **1. Pompa Difusi**

Pompa vakum difusi biasanya digunakan untuk bahan yang tekanan penguapannya rendah yaitu pada tekanan  $1 \times 10^{-2}$  torr sampai  $2 \times 10^{-8}$

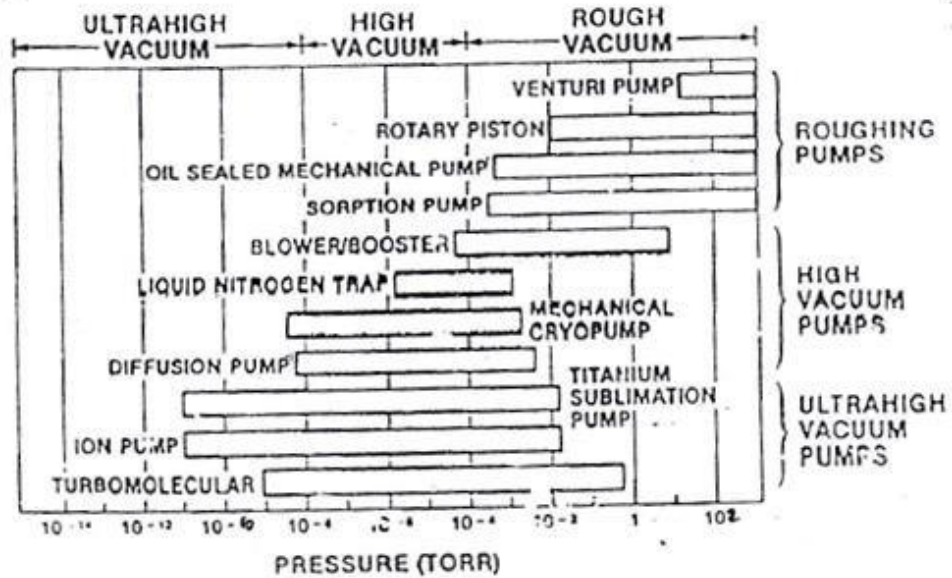
torr (Rihatmojo, 2014: 37). Prinsip kerja dari pompa difusi adalah dengan cara mengalirkan uap yang diperoleh dari proses pemanasan minyak organik kemudian termampatkan ketika bertumbukan dengan dinding pompa yang didinginkan. Pompa vakum difusi berguna untuk menguapkan cairan dan untuk meningkatkan 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 ke segala arah dan menumbuk dinding pompa yang diinginkan sehingga oli mengembun kembali dan masuk ketel lagi kemudian dipanasi. Molekul gas yang berada di atas akan terdorong ke bawah oleh molekul oli yang bergerak ke bawah (Ariswan, 2004: 23).

## **2. Pompa Rotari**

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  $1 \times 10^3$  torr sampai  $1 \times 10^{-3}$  torr (Rihatmojo, 2014: 37). Daerah kerja suatu pompa pada preparasi

dengan metode evaporasi seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Daerah kerja pompa vakum (Na Peng Bo dan Ariswan, 2004)

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

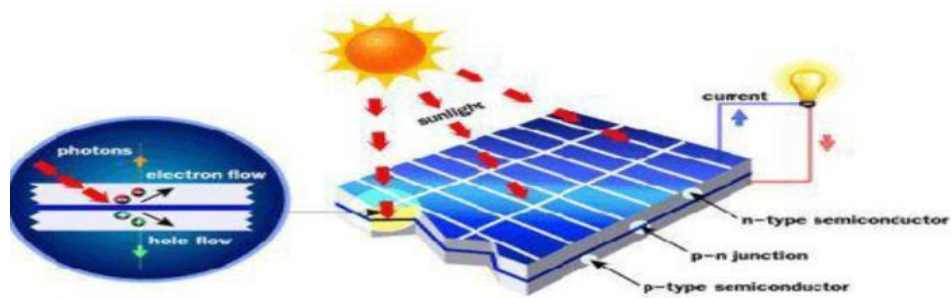
1. Roughing pump, yaitu pompa yang dapat bekerja pada tekanan rendah ( $1,33 - 1,33 \times 10^{-6}$ ) mbar. Pompa yang bekerja pada tekanan ini yaitu : *rotary vane pump*, *root pump*, *sorption pump* dan lain-lain.
2. High vacuum pump, yaitu pompa yang bekerja pada vakum tinggi yang memiliki *range* pada tekanan udara dari ( $1,33 \times 10^{-6} - 1,33 \times 10^{-14}$ ) mbar. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *oil diffusion pump*, *turbomolecular*, *cryopump* dan lain-lain.
3. Ultrahigh 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*.

## **F. *Spacer***

*Spacer* adalah jarak penyangga yang terdapat pada alat evaporator dalam teknik evaporasi vakum. *Spacer* berfungsi untuk memberi jarak antara bahan yang berada pada cawan dengan substrat tempat menempelnya bahan. Pada saat evaporasi, *spacer* berperan dalam pembentukan struktur kristal lapisan tipis. Ukuran panjangnya *spacer* mempengaruhi ketebalan lapisan tipis yang terbentuk pada substrat kaca. Ketebalan lapisan tipis yang terbentuk ditunjukkan oleh warna yang dihasilkan pada bahan yang telah menempel pada substrat.

## **G. Sel Surya**

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang dapat mengubah cahaya matahari langsung menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut diperoleh dari sel surya yang menerima cahaya langsung dari matahari dan memunculkan efek fotovoltaiik (Sri Yusmiati, 2014). Sel surya merupakan suatu semikonduktor sambungan *p-n* dari silikon kristal tunggal. Dengan menggunakan efek fotoelektrik dari bahan semikonduktor, sel surya dapat langsung mengkonversi sinar matahari menjadi listrik searah. Bentuk sel surya ditunjukkan oleh gambar 8 seperti berikut:



Gambar 8. Bentuk sel surya (<http://www.solarproductsstore.com>)

Pada umumnya, sel surya merupakan sebuah hamparan semikonduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Pada sel surya terdapat sambungan (*junction*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing yang diketahui sebagai semikonduktor tipe-*p* merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung *junction*. Bagian *p* ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian *p* terdapat bagian jenis *n* yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif (Sinamo,2007).

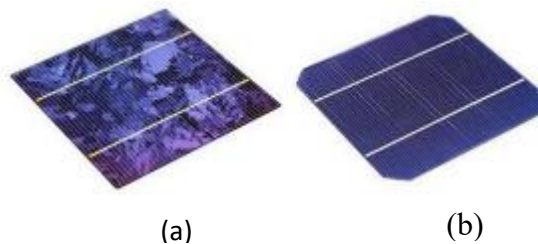
## 1. Perkembangan Generasi Sel Surya

### a) Generasi Pertama

Teknologi pertama yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti adalah teknologi yang menggunakan bahan silikon kristal tunggal. Teknologi ini mampu menghasilkan sel surya dengan efisiensi yang sangat tinggi.

Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan silikon kristal tunggal ini adalah bahwa untuk dapat diproduksi secara komersial sel surya ini harganya sangat mahal sehingga membuat panel sel surya yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif.

Teknologi yang kedua adalah dengan menggunakan *wafer* silikon polikristal. Saat ini, hampir sebagian besar panel sel surya yang beredar di pasar komersial berasal dari *screen printing* jenis silikon polikristal ini. *Wafer* silikon polikristal dibuat dengan teknologi casting berupa balok silikon dan dipotong-potong dengan metode *wire-sawing* menjadi kepingan (*wafer*), dengan ketebalan sekitar 250 – 350 micrometer. Melalui teknologi ini bisa diperoleh sel surya lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal. Berikut adalah sel surya yang dihasilkan pada generasi pertama seperti yang ditunjukkan oleh gambar 9 dibawah ini:



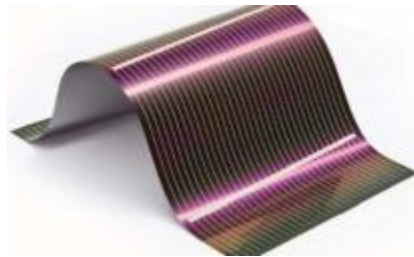
Gambar 9. Pembuatan sel surya (a) sel surya dari bahan polikristal dan (b) sel surya dari bahan kristal tunggal

#### b) Generasi Kedua

Generasi kedua adalah sel surya yang dibuat dengan teknologi lapisan tipis (*thin film*). Teknologi pembuatan sel surya dengan lapisan tipis ini dimaksudkan untuk mengurangi biaya pembuatan sel surya mengingat

teknologi ini hanya menggunakan kurang dari 1% dari bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon *wafer*.

Metode yang paling sering dipakai dalam pembuatan silikon jenis lapisan tipis ini adalah dengan *Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition (PECVD)* dari gas silane dan hidrogen. Lapisan yang dibuat dengan metode ini menghasilkan silikon yang tidak memiliki arah orientasi kristal atau yang dikenal sebagai *amorphous silicon* (non kristal) seperti yang ditunjukkan oleh gambar 10.



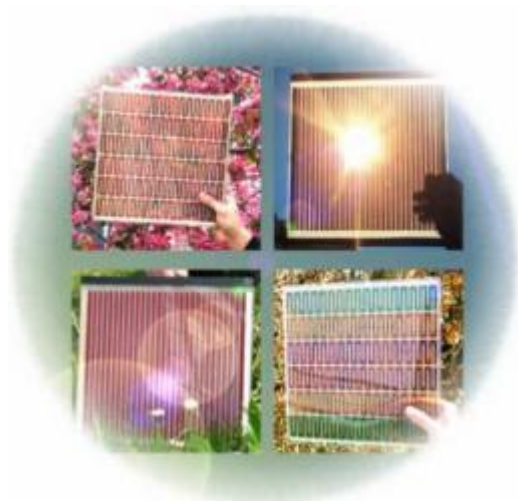
Gambar 10. Pembuatan sel surya dari lapisan tipis

Selain menggunakan material dari silikon, sel surya lapisan tipis juga dibuat dari bahan semikonduktor lainnya yang memiliki efisiensi sel surya tinggi seperti Cadmium Telluride (CdTe) dan Copper Indium Gallium Selenide (CIGS). Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh jenis sel surya lapisan tipis ini adalah sebesar 19,5% yang berasal dari sel surya CIGS. Keunggulan lainnya dengan menggunakan tipe lapisan tipis adalah semikonduktor sebagai lapisan sel surya bisa dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan divais sel surya yang fleksibel.

#### c) Generasi Ketiga

Penelitian agar harga sel surya menjadi lebih murah selanjutnya memunculkan teknologi generasi ketiga yaitu teknologi pembuatan sel surya

dari bahan polimer atau disebut juga dengan sel surya organik dan sel surya foto elektrokimia. Sel surya organic dibuat dari bahan semikonduktor organik seperti *polyphenylene vinylene* dan *fullerene*. Pada sel surya generasi ketiga ini foton yang datang tidak harus menghasilkan pasangan muatan seperti halnya pada teknologi sebelumnya melainkan membangkitkan eksiton. Eksiton inilah yang kemudian berdifusi pada dua permukaan bahan konduktor (yang biasanya di rekatkan dengan organik semikonduktor berada di antara dua konduktor) untuk menghasilkan pasangan muatan dan akhirnya menghasilkan keping efek arus foto (*photocurrent*). Sedangkan sel surya photokimia merupakan jenis sel surya eksiton yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya titanium dioksida) yang di endapkan dalam sebuah perendam. Teknologi ini pertama kali diperkenalkan oleh Profesor Graetzel pada tahun 1991 sehingga jenis sel surya ini sering juga disebut dengan Graetzel sel atau *dye-sensitized solar cells* (DSSC) yang ditunjukkan pada gambar 11.

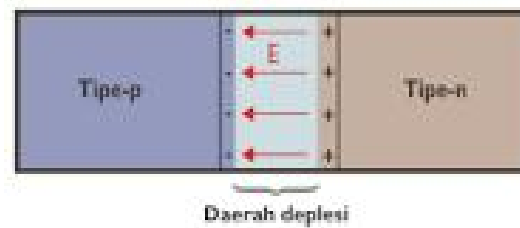


Gambar 11. Sel Surya Graetzel



## 2. Prinsip Kerja Sel Surya

Prinsip kerja dari sel surya merupakan persambungan antara semikonduktor tipe-n dengan semikonduktor tipe-p seperti ditunjukkan oleh gambar 12 dibawah ini:



Gambar 12. Sambungan semikonduktor tipe-p dengan tipe-n

Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor 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. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*).

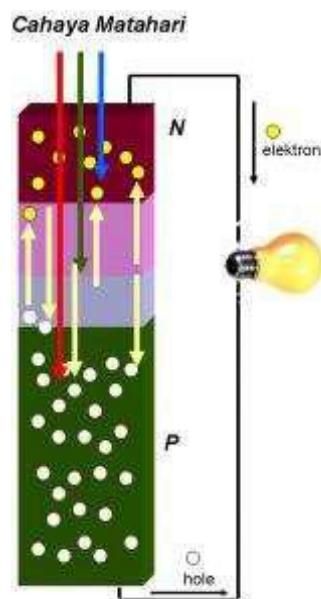
Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan

listrik internal  $E$  dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.

Jika sinar matahari mengenai sel surya, 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*. 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).

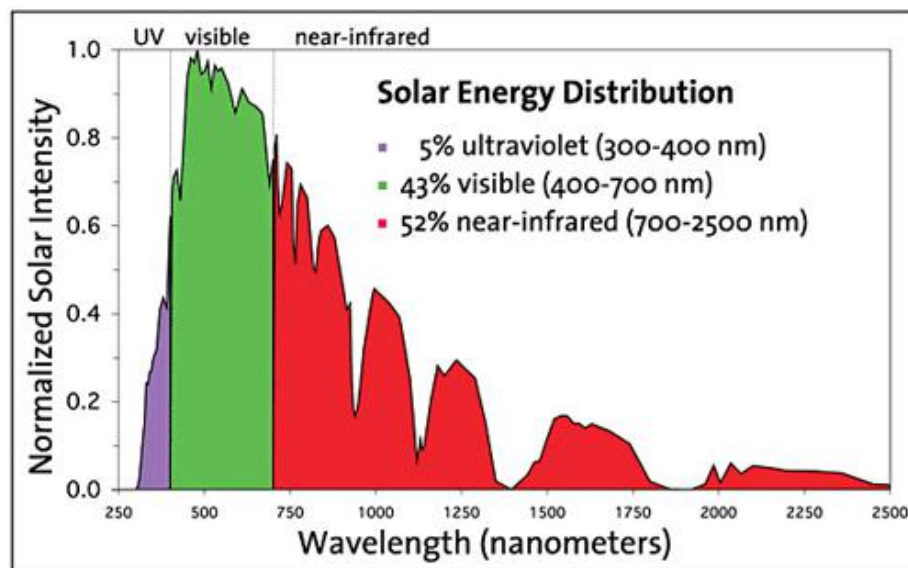
Sinar matahari yang tersusun dari foton-foton dengan berbagai panjang gelombang akan mengenai *absorber* pada permukaan sel surya yang kemudian akan diteruskan menuju lapisan-lapisan dalam sel surya. Hanya foton dengan nilai energi tertentu yang akan bereksitasi. Jika energi pada foton mengenai lapisan 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) seperti yang ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Skema Sel Surya

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 14 berikut:



Gambar 14. Spektrum yang dapat diserap oleh absorber dari radiasi matahari dengan masing-masing panjang gelombang

## H. Karakterisasi Kristal

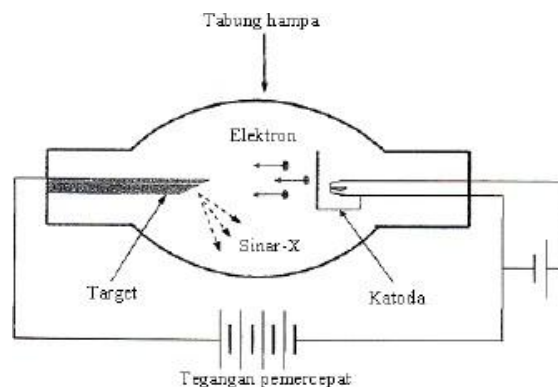
Penentuan karakter material, baik dalam bentuk pejal atau partikel, dan kristal, dalam penelitian ini menggunakan beberapa teknik, yaitu XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*).

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

*X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan metode untuk mengetahui struktur mikroskopis dari suatu bahan, yaitu stuktur kristal, susunan berbagai jenis atom dalam kristal, orientasi kristal dan cacat kristal. Dalam metode ini digunakan sinar-X karena panjang gelombang sinar-X

seorde dengan tetapan kisi kristal.

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang  $\lambda = 0.1 \text{ nm}$  yang lebih pendek dibandingkan dengan panjang  $\lambda = 400\text{-}800 \text{ nm}$  (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. Hamburan sinar-X dihasilkan apabila elektron-elektron berkecepatan tinggi menembak suatu bahan dalam tabung hampa udara.

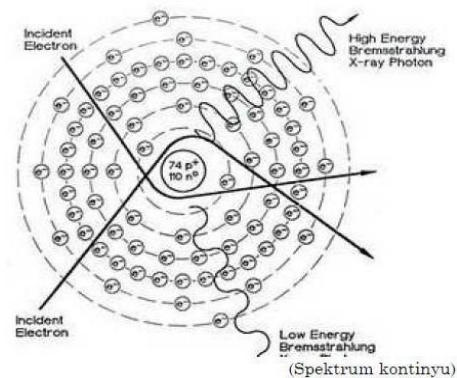


Gambar 15. Diagram Sinar-X (Cullity, 1956).

Pada Gambar 15, 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 anoda dan katoda. Apabila beda potensial antara katoda dan anoda diberi lambang  $V_0$ (volt), maka saat elektron mengenai permukaan anoda dapat dihitung besar energinya sebagai berikut:

$$E_k = eV_0 \quad (17)$$

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). Spektrum sinar-X kontinyu dihasilkan dari peristiwa *bremstrahlung*. Pada saat elektron menumbuk logam, elektron dari katoda (elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati kulit inti atom. Pada saat mendekati inti atom, elektron ditarik mendekati inti atom yang bermuatan positif, sehingga lintasan elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Proses inilah yang dikenal dengan proses *bremstrahlung*. Energi radiasi pada spektrum kontinyu meningkat dengan bertambahnya nomor atomik target dan berbanding lurus dengan kuadrat tegangan. Proses dihasilkannya sinar-X *bremstrahlung* disajikan pada Gambar 16.

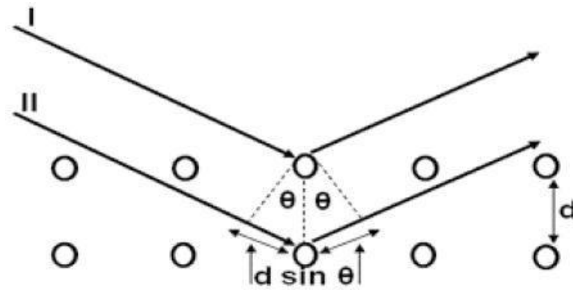


Gambar 16. Sinar-X *bremsstrahlung*

Proses *bremsstrahlung* akan menghasilkan radiasi dengan spektrum kontinyu yang memiliki frekuensi atau panjang gelombang yang tergantung pada tegangan akselerasi.

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

Jadi 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 ditunjukkan oleh Gambar 17.



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

Bila selisih antara lintasan optik sinar-X yang direfleksikan oleh atom di lapisan pertama dan oleh atom yang ada di lapisan kedua adalah  $2 \sin \theta$ , gelombang-gelombang itu akan saling menguatkan atau melemahkan dan menghasilkan pola difraksi. Intensitas pola difraksi akan bernilai maksimum apabila:

$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad (18)$$

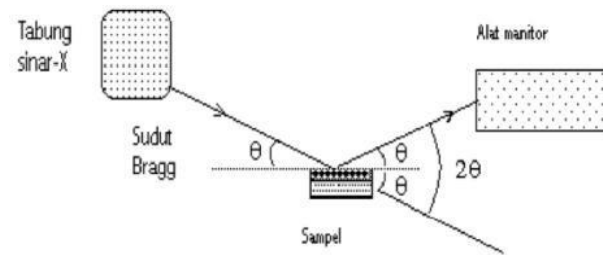
dengan  $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X

$d$  = jarak antar bidang

$\theta$  = sudut difraksi

Persamaan ini disebut dengan kondisi *Bragg*. Menurut Bragg berkas yang 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 (Beisser, 1992: 66).





Gambar 18. Spektrometer sinar-X. (Beisser, 1992: 66).

Berdasarkan Gambar 18 diatas, dapat dilihat bahwa seberkas sinar-X yang terarah jatuh pada kristal dengan sudut dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburnya juga . Setiap sinar-X yang sampai ke detektor memenuhi persyaratan pertama Bragg. Ketika sudut diubah, detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde yang dituliskan dalam persamaan . 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 olehsinar-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 (Wahyu Lestari, 2016: 55).

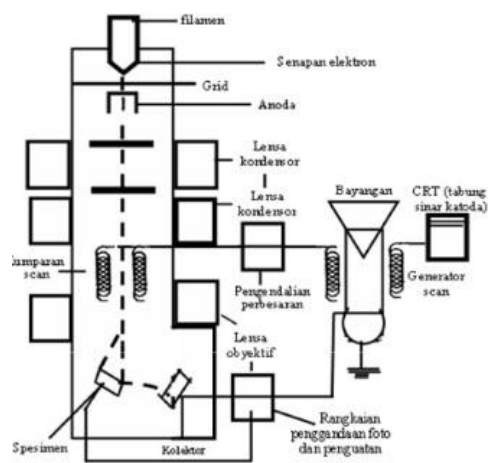
Penentuan orientasi kristal dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Untuk XRD, pola

difraksi diamati sebagai fungsi sudut  $2\theta$  . Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan JCPDS sebagai data standar.

## 2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Untuk mengetahui struktur morfologi permukaan, ukuran butiran, dan cacat struktural suatu bahan, maka dilakukan karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Hasil SEM yang berupa gambar morfologi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan lekukan dan tonjolan. Gambar ini dihasilkan dari pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan oleh bahan.

Prinsip kerja SEM adalah elektron sekunder yang dihasilkan oleh filamen, akan menyapu permukaan bahan titik demi titik dengan sapuan membentuk garis-garis (*scanning*). Sinyal sekunder yang dihasilkan dari titik permukaan bahan akan ditangkap dan diubah menjadi sinyal listrik oleh SE (*secondary electron*) detektor yang kemudian diolah dan ditampilkan pada monitor sinar katoda (CRT). Gambar hasil *scanning* dapat diperbesar karena pada alat ini dilengkapi mikroskop dengan perbesaran (1.000 - 40.000) kali. Skema dasar dari SEM disajikan pada Gambar 19.



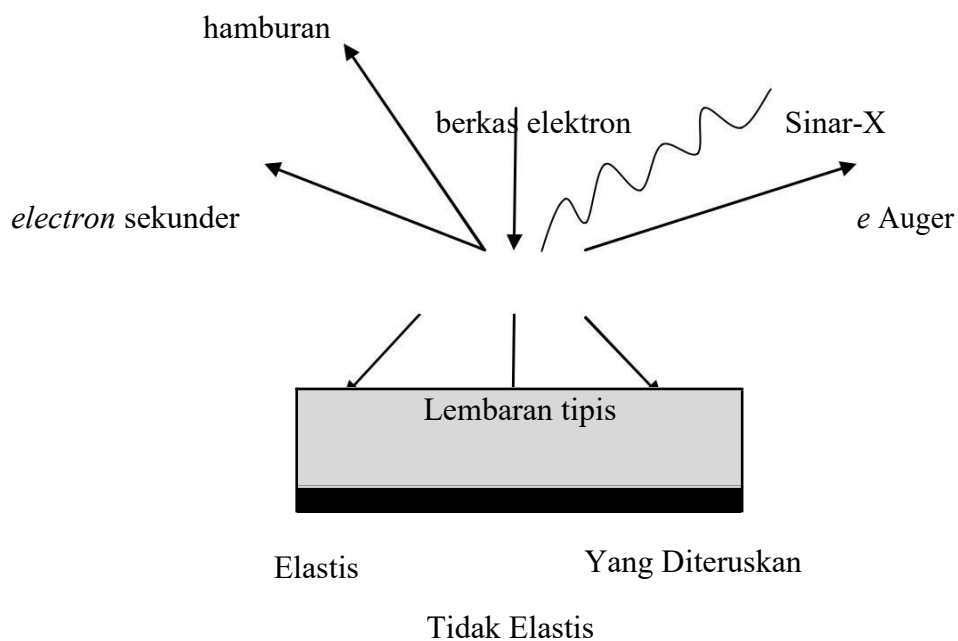
Gambar 19. Skema dasar SEM (Smallman, 2000: 157)

### 3. *Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX)*

Teknik EDAX (*Energi Dispersive Analysis X-Ray*) dapat digunakan untuk mengetahui kandungan berbagai unsur kimia dari suatu material. Sistem analisis EDAX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Apabila Teknik EDAX dan SEM digabungkan sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang dimiliki oleh fasa yang terlihat pada struktur mikro. Prinsip kerja *Energi Dispersive Analysis X-Ray* yaitu dengan menangkap dan mengolah sinyal *flourensensi* 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.

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan sebagian

lagi akan diserap dan menembus specimen. Bila *specimennya* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron akan dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. Gambar 20 menunjukkan elektron-elektron apabila mengenai *specimen*.



Gambar 20 . Hamburan dari elektron yang jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 1999)

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang kesemuanya bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material. (Smallman, 1999). Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit atom terluar yang

dihasilkan dari interaksi berkas elektron jatuh dengan padatan sehingga mengakibatkan terjadinya 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 ke tingkat energi yang lebih rendah.

Apabila berkas elektron mengenai sampel padat, maka sebagian berkas yang jatuh tersebut akan dihamburkan kembali dan sebagian lagi akan menembus sampel. Untuk sampel yang tipis maka sebagian besar elektron akan diteruskan, beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis. Teknik ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kualitatif dan semi kuantitatif. Hal ini karena masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang spesifik.

## **I. Kerangka Berpikir**

Metode yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis 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. Hal ini bertujuan untuk mengetahui spacer yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang baik dan mengetahui pengaruh spacer terhadap kualitas kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ .

Lapisan tipis yang terbentuk diharapkan dapat menjadi piranti semikonduktor yang digunakan untuk aplikasi sel surya. Semikonduktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu unsur CdS dan CdTe. CdS memiliki energi gap sebesar 2,42 eV dan CdTe memiliki energi gap sebesar 1,56 eV. Dengan dilakukannya penambahan atom Te pada CdS, sehingga terbentuk paduan  $\text{Cd}(\text{S},\text{Te})$  diharapkan dapat menurunkan energi gap CdS agar dapat menyerap spektrum matahari dalam pembuatan sel surya, sehingga dihasilkan sel surya dengan efisiensi lebih tinggi.

Untuk mengetahui karakteristik bahan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  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 persentase atom yang digunakan untuk menentukan perbandingan molaritas dan komposisi kimia lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ .

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

##### 1. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2018 sampai dengan bulan Februari 2019.

##### 2. Tempat Penelitian

- a. Tahap pembuatan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dengan Teknik Evaporasi Vakum dilakukan di Laboratorium Fisika Material, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang terbentuk dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan karakterisasi komposisi kimia menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis of X-Ray*) dilakukan di BPTBA LIPI, Gunung Kidul.



## **B. Variabel Penelitian**

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel Bebas : Jarak penyangga (spacer)
2. Variabel Terikat : Struktur kristal, parameter kisi kristal, morfologi permukaan dan komposisi kimia
3. Variabel Kontrol : Tekanan, suhu substrat, massa bahan dan bahan cawan atau crussible

## **C. Alat dan Bahan Penelitian**

### **1. Bahan-bahan penelitian**

- a. Bahan masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  hasil preparasi dengan metode Bridgman
- b. Substrat kaca

### **2. Alat penelitian**

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

#### **a. Perangkat preparasi bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$**

##### **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  $1 \times 10^{-2}$  torr sampai  $2 \times 10^{-8}$  torr.

3) Pompa Vakum Rotary

Pompa vakum rotary yang digunakan merk Robinair Vacum Aster. Alat ini digunakan untuk menghampakan ruang vakum sebelum proses preparasi dimulai dengan tekanan maksimum  $1 \times 10^3$  torr sampai  $1 \times 10^{-3}$  torr.

4) Timbangan Analitik

Timbangan analitik yang digunakan merk Denver Instrument XE-310 dengan max 310 gram  $e = 0,001$  gram. Alat ini digunakan untuk menimbang massa sesuai dengan yang dikehendaki.

5) Penggerus Model Mangkok

Alat ini digunakan untuk menggerus bahan masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang masih berupa batuan-batuan kecil supaya menjadi serbuk-serbuk halus.

6) Furnace

Furnace yang digunakan merk Barnstread Thermolyne. Alat ini digunakan untuk mengeringkan kaca substrat dengan suhu  $100^{\circ}\text{C}$ .

7) Multimeter Digital

Multimeter digital yang digunakan merk Sanwa. Alat ini digunakan untuk mengukur tegangan yang dipakai saat pemanasan substrat berlangsung.

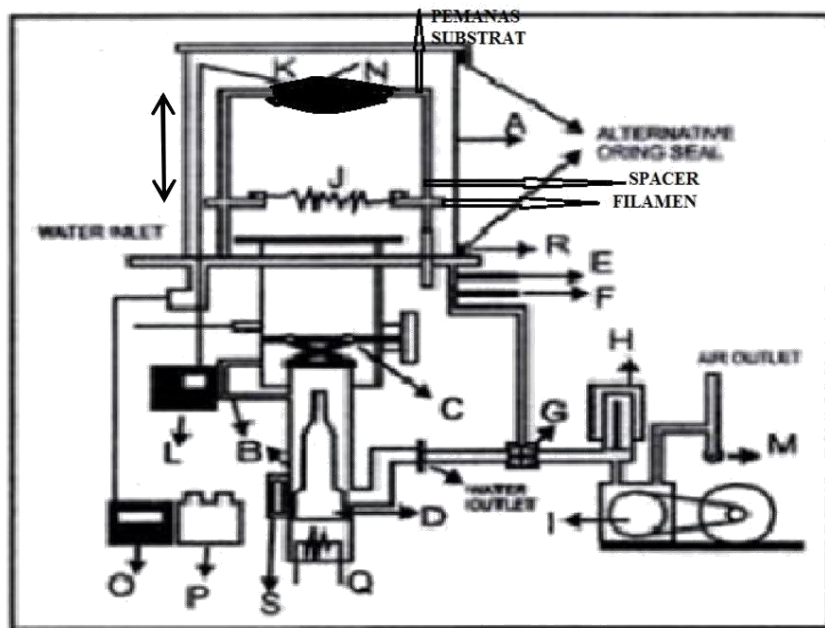
8) Manometer Penning

Manometer penning yang digunakan merk Alcatel. Alat ini digunakan untuk mengetahui tekanan pada ruang vakum saat terjadi proses evaporasi.

9) Stopwatch

Alat ini digunakan untuk mencatat waktu yang dikehendaki saat proses evaporasi berlangsung.

D. Skema Alat Penelitian



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

Pada Gambar 21, setiap bagian alat pada sistem evaporasi vakum diberi simbol dengan huruf alfabet.

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 Penning*
- P. Pompa air
- Q. Filament difusi
- R. *Rubber socket*
- S. Thermostat
- c. *Spacer*

## **E. Langkah Penelitian**

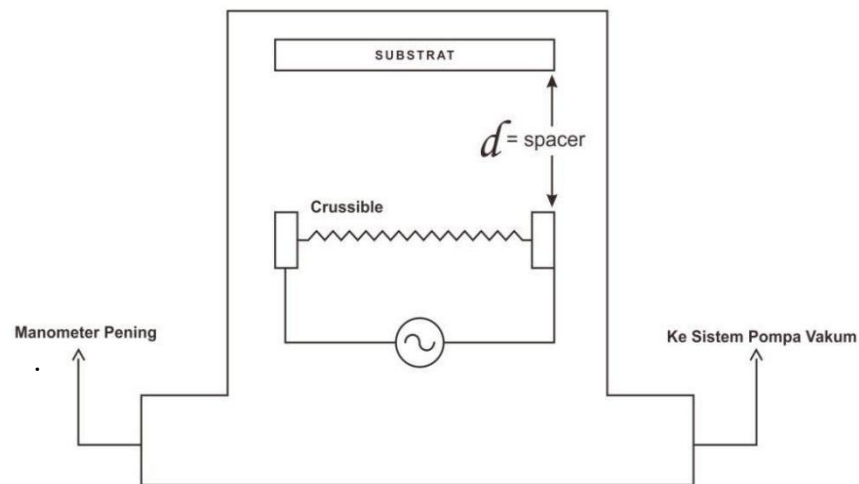
Penelitian ini terdiri dari 2 tahap, yaitu penelitian tahap 1 dan penelitian tahap 2.

### **1. Penelitian Tahap 1**

Dalam penelitian tahap 1, hal-hal yang dilakukan meliputi persiapan, preparasi bahan dan pengambilan hasil preparasi yang telah terbentuk lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dengan teknik evaporasi vakum.

#### **a. Tahap Persiapan**

- 1) Mempersiapkan bahan yang akan dipreparasi yaitu bahan masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ .
- 2) Mempersiapkan kaca preparat besar 1 buah dan kaca preparat kecil 5 buah..
- 3) Menimbang massa bahan masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang akan dipreparasi menggunakan timbangan digital sebanyak 0,1 gram
- 4) Membuka chamber pada sistem evaporator kemudian memasukkan bahan masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang telah ditimbang ke dalam crussible yang telah terpasang.
- 5) Memasang spacer yang telah ditentukan (10 cm, 15 cm dan 25 cm) diantara sumber dengan substrat secara bergantian yang ditunjukkan pada Gambar 22 :



Gambar 22. Skema Sistem Evaporator

- 6) Memasang pemanas substrat dan menghubungkan kabel dari slide regulator ke pemanas substrat.
  - 7) 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 *bypass valve system* selama 10 menit, kemudian sebelum membuka *bypass 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 24 volt untuk memperoleh suhu substrat sebesar 350°C. Pemanas substrat dilakukan untuk mendapatkan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang baik.
- 7) Evaporasi dilaksanakan ketika memperoleh tekanan sebesar 3 x 10<sup>-5</sup> mbar.
- 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 setiap tegangannya.
- 10) Mengatur slide regulator 2 ke posisi nol untuk dimatikan setelah bahan menguap habis dan pembaca suhu juga dimatikan.
- 11) Mematikan manometer 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 chambernya.
- 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 memasukkannya pada wadah tertutup.
- 5) Menutup kembali chamber dan mengencangkan katupnya.

**2. Penelitian Tahap 2**

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

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

Langkah-langkah karakterisasi struktur kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan sampel berupa lapisan tipis yang akan dikarakterisasi.
2. Membersihkan sampel dan memasukkan sampel ke dalam specimen chamber. Kemudian mencetak hasil yang keluar.



**b. Morfologi permukaan lapisan tipis dengan menggunakan SEM dan komposisi kimia dengan menggunakan EDAX**

Langkah-langkah yang dilakukan dalam karakterisasi SEM dan EDAX adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan sampel berupa lapisan tipis yang akan dikarakterisasi.
2. Memasang sampel lapisan tipis dan masif ke dalam tempat berbentuk piringan.
3. Memasang piringan berisi sampel lapisan tipis dan masif ke dalam alat sputtering yang bermerk MCIOOO HITACHI.
4. Setelah dilakukan sputtering, mengeluarkan piringan tersebut dan memasukkannya ke dalam alat SEM bermerk SU3500 HITACHI.
5. Menjalankan alat SEM dan EDAX.
6. Melakukan pengamatan dan pemotretan pada titik yang diinginkan, kemudian menyimpan datanya ke dalam folder.
7. Setelah beberapa saat akan keluar gambar berupa morfologi masing-masing sampel dan gambar berupa puncak-puncak unsur-unsur yang terkandung dalam sampel dilengkapi dengan komposisi kimianya.
8. Pengambilan data SEM-EDAX dilakukan oleh pihak operator.

## F. Teknik Analisis Data

Hasil XRD berupa difraktogram yang menunjukkan hubungan antara besar intensitas dengan sudut difraksi  $2\theta$ . Hasil yang telah diperoleh kemudian dibandingkan dengan data base JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). 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 hukum Bragg, kemudian disubstitusikan sehingga menghasilkan nilai parameter kisi a, b, dan c.

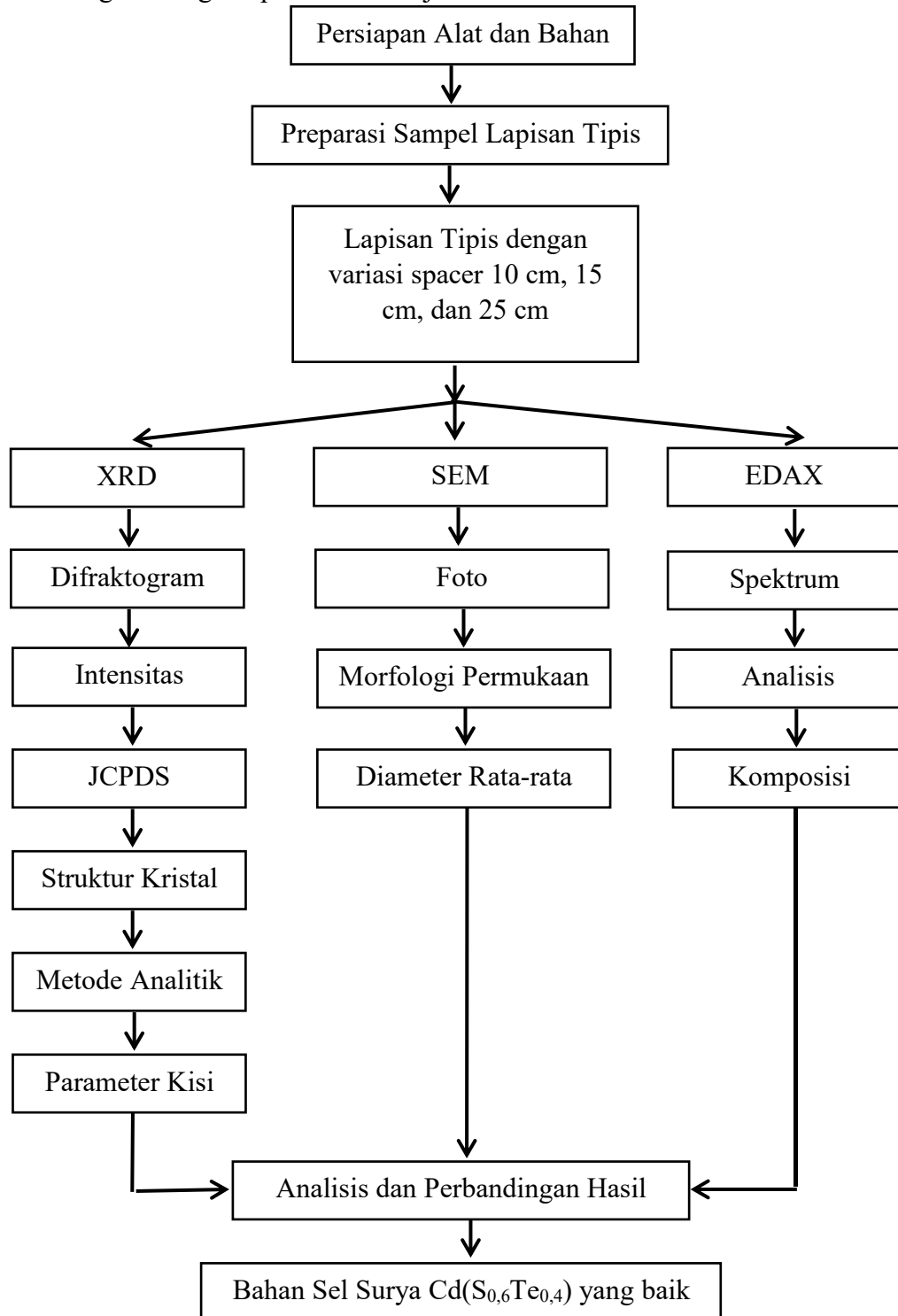
Hasil SEM yang diperoleh berupa foto morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>). Dari hasil tersebut, dapat ditentukan distribusi partikel yaitu berupa diameter partikel yang menunjukkan struktur kubik. Program yang digunakan untuk menentukan ukuran setiap partikel yaitu program ImageJ, dengan memberikan garis melintang pada setiap grain (butiran) yang terlihat pada hasil SEM akan diperoleh banyak data berupa Feret yang mana menunjukkan besar diameter partikel. Setelah didapatkan ukuran partikel dengan jumlah banyak, kemudian memfitting data-data tersebut menggunakan Origin dalam bentuk fungsi LogNormal dan didapatkan parameter fungsi distribusi hasil LogNormal yang digunakan untuk menghitung diameter rata-rata partikel.

Hasil EDAX berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas terhadap energi dan diperoleh perbandingan presentase atom yang

terdapat pada unsur Cd, S, dan Te. Kemudian dianalisis untuk mengetahui perbandingan molaritas dari unsur Cd, S, dan Te.

### G. Diagram Alir Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian disajikan dalam Gambar 23 berikut:



Gambar 23. Diagram Alir Tahap Penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penumbuhan Kristal Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan Teknik Evaporasi Vakum

Penelitian ini menghasilkan tiga sampel lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan menggunakan teknik evaporasi vakum. Variasi *spacer* antara sumber bahan dengan substrat sebesar 10 cm, 15 cm dan 25 cm. Hal ini bertujuan untuk mengetahui *spacer* yang optimal dalam memperoleh lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang baik dan mengetahui bagaimana pengaruh *spacer* terhadap kualitas kristal pada lapisan tipis yang terbentuk. Lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 24 dibawah ini:



(a) (b) (c)  
Gambar 24. Hasil preparasi lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) (a) *spacer* 10 cm, (b) *spacer* 15 cm, dan (c) *spacer* 25 cm

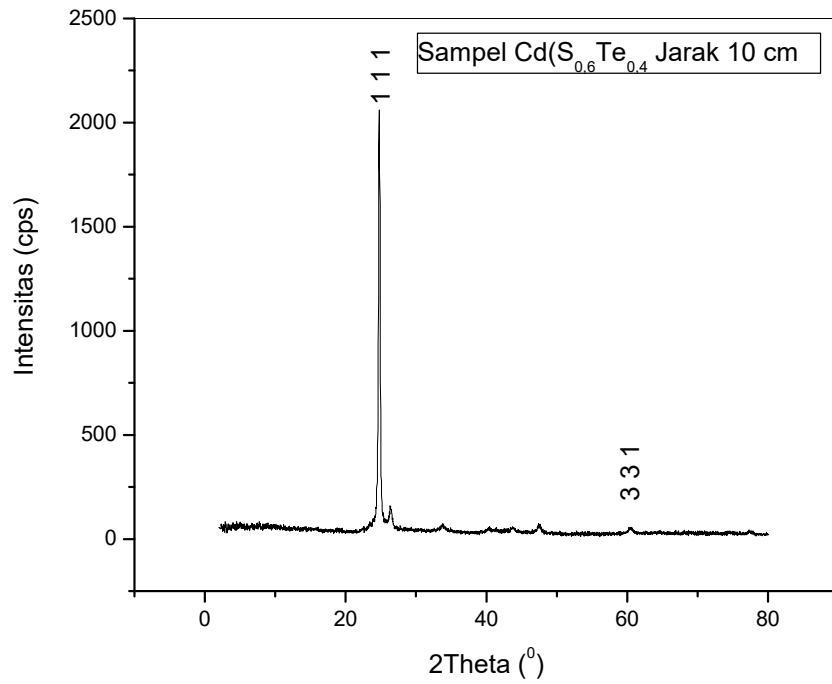
Hasil lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang terbentuk mempunyai warna yang sedikit berbeda. Sampel (a) berwarna coklat kehitam-hitaman, sampel (b) berwarna coklat tua sedangkan sampel (c) berwarna coklat muda. Lapisan tipis yang berwarna hitam adalah lapisan tipis yang terbentuk dengan baik,

karena semakin hitam lapisan yang terbentuk, maka semakin sempurna bahan menempel pada substrat. Pada ketiga sampel tersebut lapisan yang paling mendekati hitam warnanya adalah sampel yang terbentuk pada *spacer* 10 cm. Semakin dekat jarak antara sumber bahan dengan substrat maka akan semakin banyak bahan yang menempel pada substrat.

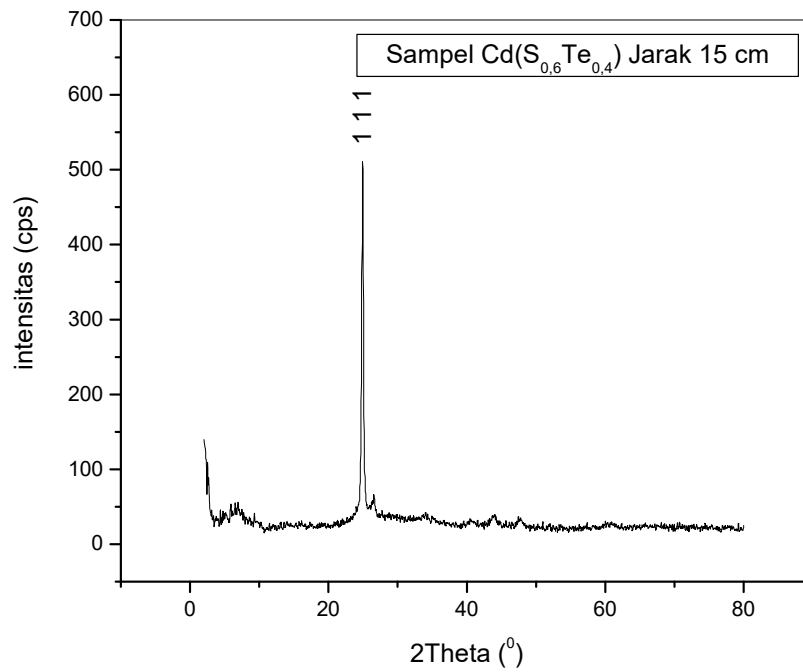
## **B. Hasil Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*)**

Data yang diperoleh dari XRD berupa difraktogram yaitu grafik hubungan antara sudut difraksi ( $2\theta$ ) dengan intensitas puncak spektrum, dengan  $2\theta$  berada di sumbu horisontal sebagai variabel bebas, sedangkan intensitas di sumbu vertikal sebagai variabel terikat. Prinsip XRD yaitu sinar-X dikenakan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu sehingga akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang yang berjarak  $d$  dan sudut  $2\theta$  yang akan memenuhi *hukum difraksi Bragg*. Sumber yang digunakan saat karakterisasi XRD yaitu Cu, yang memiliki panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebesar 1,54056 Å, tegangan operasi 40 kV dan arus operasi 15 mA.

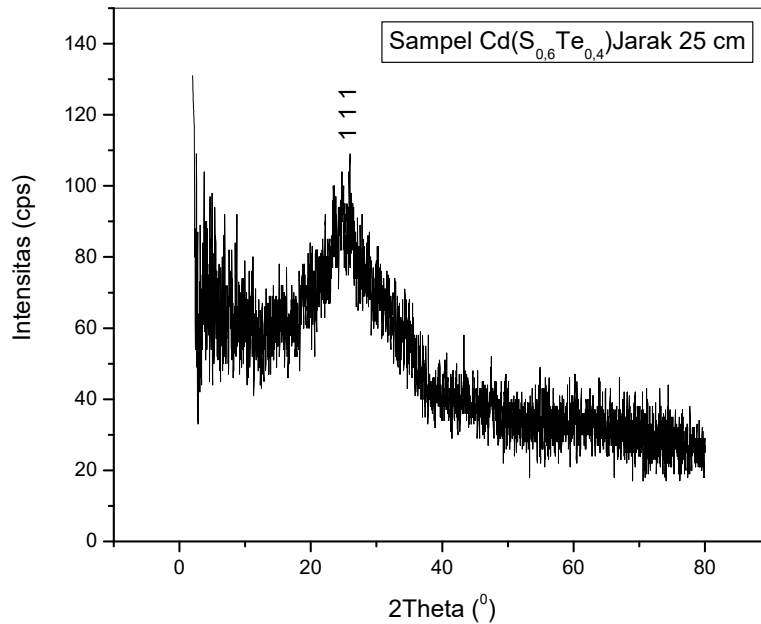
Karakterisasi lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi. Penentuan ini dilakukan dengan mengamati pola berkas difraksi sinar-X yang dipantulkan oleh kristal. Hasil karakterisasi dengan XRD berupa difraktogram dari tiga sampel disajikan dalam Gambar 25, Gambar 26, dan Gambar 27 sebagai berikut:



Gambar 25. Difraktogram XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0.6</sub>Te<sub>0.4</sub>) dengan *spacer* 10 cm

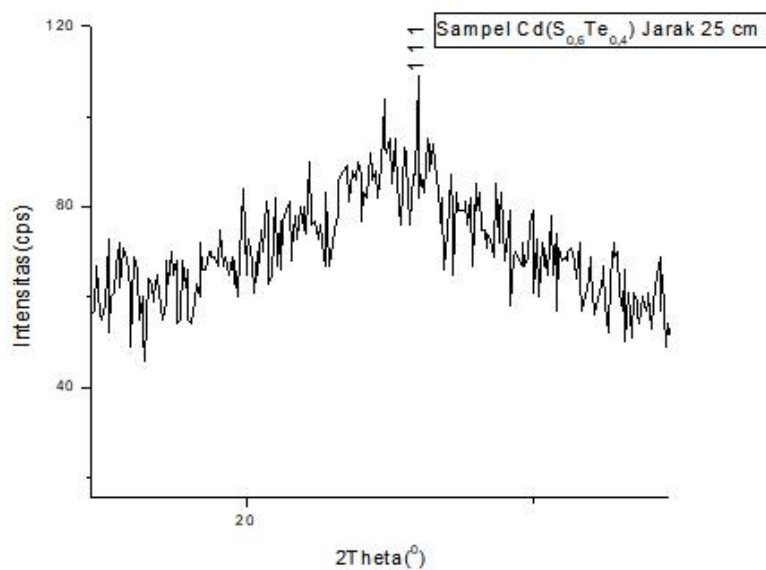


Gambar 26. Difraktogram XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0.6</sub>Te<sub>0.4</sub>) dengan *spacer* 15 cm



Gambar 27. Difraktogram XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0.6</sub>Te<sub>0.4</sub>) dengan *spacer* 25 cm

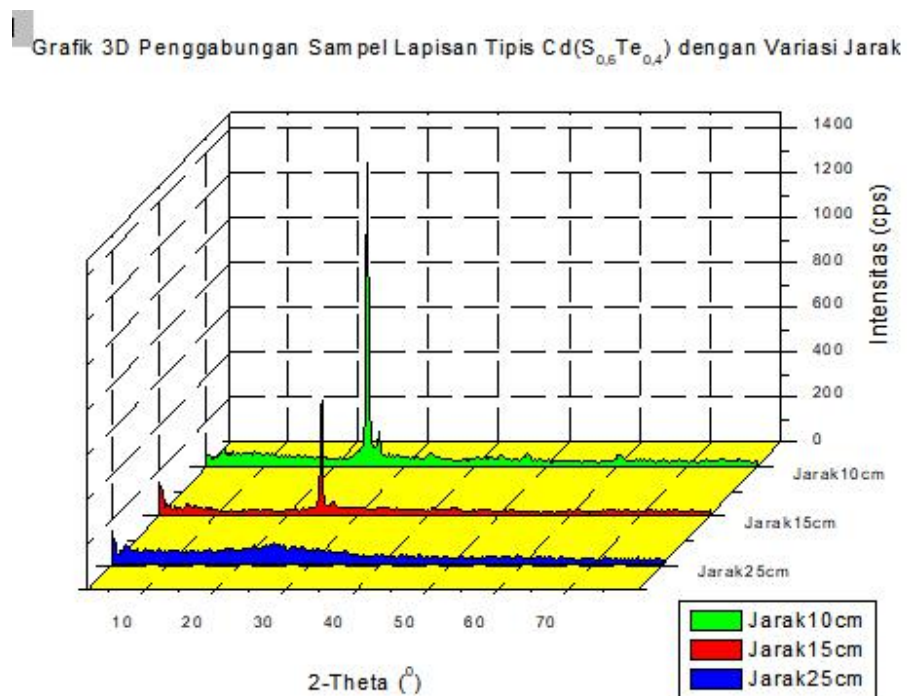
Jika dilihat dari gambar 27 secara sekilas, grafik yang terbentuk tidak menunjukkan lapisan tipis, tetapi berbentuk amorf. Oleh karena itu dilakukan *smoothing* dan perbesaran menggunakan aplikasi Origin, menghasilkan grafik pada gambar 28 seperti dibawah ini:



Gambar 28. Hasil *smoothing* dan perbesaran sampel Cd(S<sub>0.6</sub>Te<sub>0.4</sub>)



Masing-masing grafik kemudian di gabungkan menjadi satu dengan menggunakan aplikasi Origin untuk membandingkan puncak-puncak yang terbentuk.



Gambar 29. Difraktogram penggabungan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) *spacer* 10 cm, 15 cm, dan 25 cm

Berdasarkan difraktogram penggabungan ketiga sampel pada Gambar 29, menunjukkan puncak-puncak spektrum yang muncul pada ketiga sampel. Puncak-puncak tersebut tergantung pada sudut berhamburan sinar-X pada kristal. Pada gambar 29, *spacer* 10 cm memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *spacer* 15 cm dan *spacer* 25 cm. Hal tersebut disebabkan oleh 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 kristal yang terbentuk. *Spacer* 10 cm merupakan *spacer* optimal yang dapat menghasilkan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang baik.

Data yang diperoleh dari hasil XRD kemudian dicocokkan dengan data standar JCPDS (Joint Commite on Powder Diffraction Standard) dari CdTe, karena hasil pengujian menunjukkan bahwa Te cenderung lebih besar dibandingkan dengan S. Pada data standar JCPDS, kristal CdTe memiliki struktur kristal kubik. Sistem kristal kubik memiliki parameter kisi a=b=c dan  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ . Dari hasil perbandingan dengan JCPDS akan diketahui nilai Indeks Miller (hkl) pada puncak-puncak difraksi yang terbentuk. Berikut data XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan data JCPDS CdS yang disajikan dalam Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 2. Perbandingan data XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) *spacer* 10 cm dengan data JCPDS CdTe

No	<i>Spacer</i> 10 cm	JCPDS	hkl
	2 $\theta$ ( $^\circ$ )	2 $\theta$ ( $^\circ$ )	
1	24,777	23,757	1 1 1
2	26,35	-	-
3	33,63	-	-
4	41,05	-	-
5	60,42	62,348	3 3 1

Tabel 3. Perbandingan data XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) *spacer* 15 cm dengan data JCPDS CdTe

No	<i>Spacer</i>	JCPDS	hkl
	15 cm		
	2θ (°)	2θ (°)	
1	24.930	23,757	1 1 1
2	26,60	-	-
3	28,80	-	-

Tabel 4. Perbandingan data XRD lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) *spacer* 25 cm dengan data JCPDS CdTe

No	<i>Spacer</i>	JCPDS	hkl
	25 cm		
	2θ (°)	2θ (°)	
1	25.69	23.757	1 1 1
2	26,60	-	-
3	28,80	-	-

Berdasarkan hasil XRD dari ketiga sampel didapatkan nilai sudut difraksi (2θ) yang tertinggi yaitu sekitar 25°. Intensitas sudut difraksi yang muncul tertinggi terdapat pada sampel lapisan tipis *spacer* 10 cm. Semakin tinggi intensitasnya maka semakin baik pula keteraturan atom-atomnya, sehingga kualitas kristal akan semakin baik jika intensitas yang dihasilkan tinggi. Hal

ini menunjukkan bahwa lapisan tipis pada *spacer* 10 cm merupakan lapisan tipis yang mempunyai kualitas kristal paling baik diantara yang lainnya.

Data-data dari hasil XRD kemudian dicocokkan dengan data standar JCPDS. Setelah dicocokkan, nilai-nilai 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. Setelah struktur kristal diketahui, untuk menghitung parameter kisi dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 6 dan 7, sehingga dihasilkan parameter kisi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter kisi lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) pada *spacer* 10 cm, 15 cm dan 25 cm terhadap JCPDS CdTe

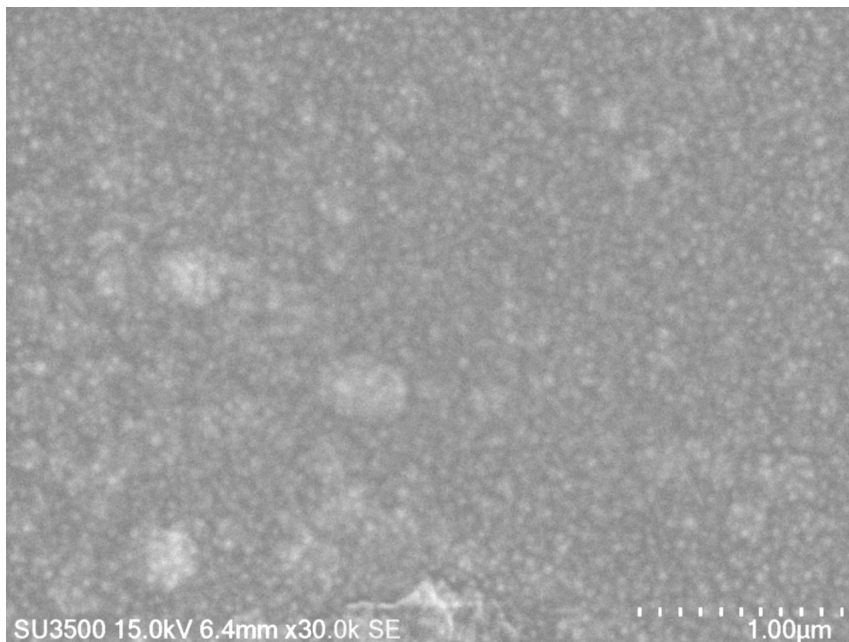
Parameter Kisi	Sampel			JCPDS CdTe
	<i>Spacer</i> 10 cm	<i>Spacer</i> 15 cm	<i>Spacer</i> 25 cm	
a(Å)	6,218	6,181	6,001	6,481
b(Å)	6,218	6,181	6,001	6,481
c(Å)	6,218	6,181	6,001	6,481

Berdasarkan Tabel 5., hasil perhitungan nilai parameter kisi untuk *spacer* 10 cm, 15 cm dan 25 cm secara analitik tidak begitu jauh berbeda dengan data JCPDS. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan *spacer* tidak berpengaruh besar terhadap nilai parameter kisi lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang terbentuk.

Nilai parameter kisi hasil XRD ketiga sampel yang mendekati data JCPDS CdTe adalah sampel pada *spacer* 10 cm.

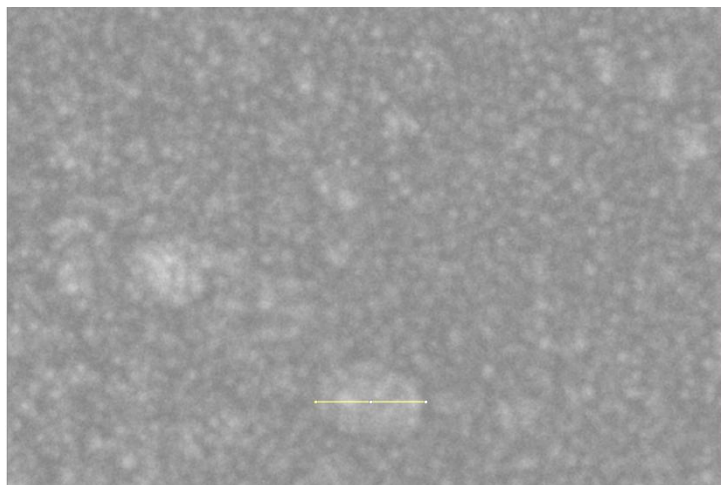
### C. Hasil Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dari suatu bahan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>). Pada karakterisasi SEM, lapisan tipis yang diuji adalah bahan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang mempunyai kualitas paling baik yaitu lapisan tipis pada *spacer* 10 cm. Hasil SEM berupa foto permukaan dari kristal yang terbentuk. Dari hasil foto dengan alat SEM dapat diketahui homogenitas dari kristal Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>). Gambar 30 merupakan karakterisasi dari lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan perbesaran 30.000 kali :



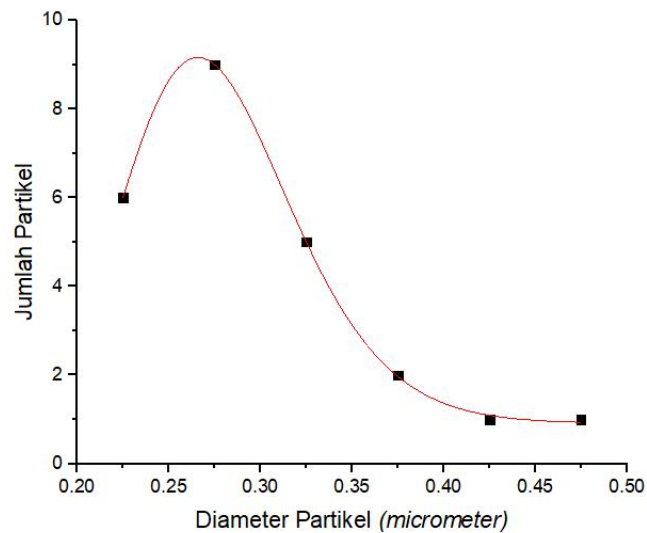
Gambar 30. Foto morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) *spacer* 10 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 30.000 kali

Berdasarkan foto morfologi permukaan hasil analisis SEM untuk lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  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 dengan menggunakan aplikasi dalam windows yaitu ImageJ, Ms Excel, dan Origin. Hasil foto SEM lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  pada spacer 10 cm dibuka dengan ImageJ dan ditentukan ukurannya dengan memberi garis melintang pada setiap grain yang tampak secara bergantian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 31. Setelah garis melintang terbentuk kemudian menekan Ctrl + M pada keyboard, maka muncullah hasil berupa Feret yang mana merupakan diameter dari grain yang diinginkan.



Gambar 31. Foto morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  pada *spacer* 10 cm yang sudah diberi garis melintang pada program ImageJ dan sudah ditentukan ukurannya.

Setelah data ukuran partikel didapatkan dalam jumlah banyak, data tersebut di copykan ke dalam Ms. Excel kemudian data difitting dengan program Origin dalam bentuk fungsi LogNormal seperti pada Gambar 32.



Gambar 32. Grafik hubungan antara diameter partikel dengan jumlah partikel

Pada fungsi LogNormal terdapat tabel parameter fungsi distribusi yang digunakan sebagai perhitungan dalam menentukan diameter partikel seperti pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Tabel parameter fungsi distribusi LogNormal

Model	LogNormal
Equation	$y = y_0 + A / (\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot w \cdot x) \cdot \exp(-(\ln(x/x_c))^2 / (2 \cdot w^2))$
Plot	Counts
y0	0.91127 ± 0.06352
x <sub>c</sub>	0.27362 ± 5.68537E-4
w	0.16968 ± 0.00257
A	0.94651 ± 0.01116
Reduced Chi-Sqr	0.00684
R-Square (COD)	0.99974
Adj. R-Square	0.99934

Dengan demikian dapat diketahui diameter partikel dengan persamaan sebagai berikut :

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

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

Dimana pada *spacer* 10 cm diameternya diperoleh :

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

$$D = 0,27362 \exp\left[\frac{0,16968^2}{2}\right]$$

$$D = 0,27362 \exp\left[\frac{0,02879}{2}\right]$$

$$D = 0,27362 \exp[0,01439]$$

$$D = 0,27362 \times 1,014494$$

$$D = 0,27759 \mu\text{m}$$

Dari data diatas diperoleh diameter rata-rata butiran (grain) sebesar 0,27759  $\mu\text{m}$

#### **D. Hasil Komposisi Kimia Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) Menggunakan EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray)**

Komposisi kimia lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) diketahui dengan menggunakan alat EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray). Sistem

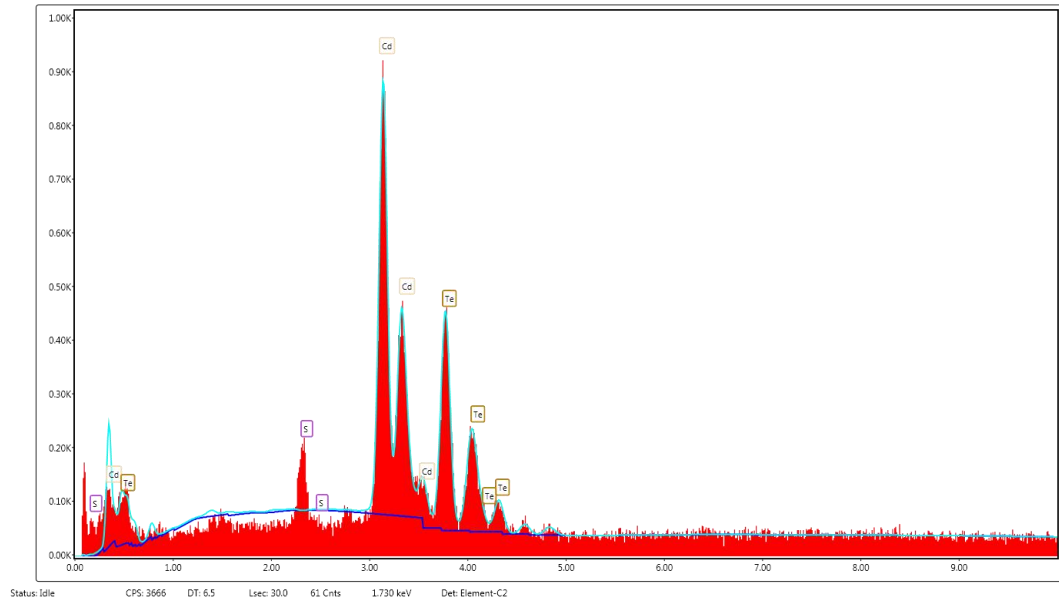


analisis EDAX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat berdiri sendiri. Bahan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  yang diujikan yaitu spacer 10 cm karena merupakan sampel terbaik yang dihasilkan. Hasil dari EDAX berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara energi dan intensitas yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-X yang menunjukkan besar presentase atom dari ketiga sampel. Karakterisasi menggunakan EDAX dilakukan setelah mengkarakterisasi kristal dengan XRD.

Pada pengujian EDAX, digunakan 2 jenis sampel uji yaitu sampel masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dari penelitian sebelumnya dan sampel lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ . Dalam pengujian ini sampel masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  juga ikut diuji karena lapisan tipis yang dihasilkan terbentuk dari bahan masifnya, sehingga dapat diketahui perbandingan molaritas dari sumbernya yang sesungguhnya dan dibandingkan dengan lapisan tipisnya apakah terjadi perbedaan dalam perbandingan molaritasnya atau tidak.

Gambar 33 merupakan hasil EDAX pada sampel masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$

yaitu:



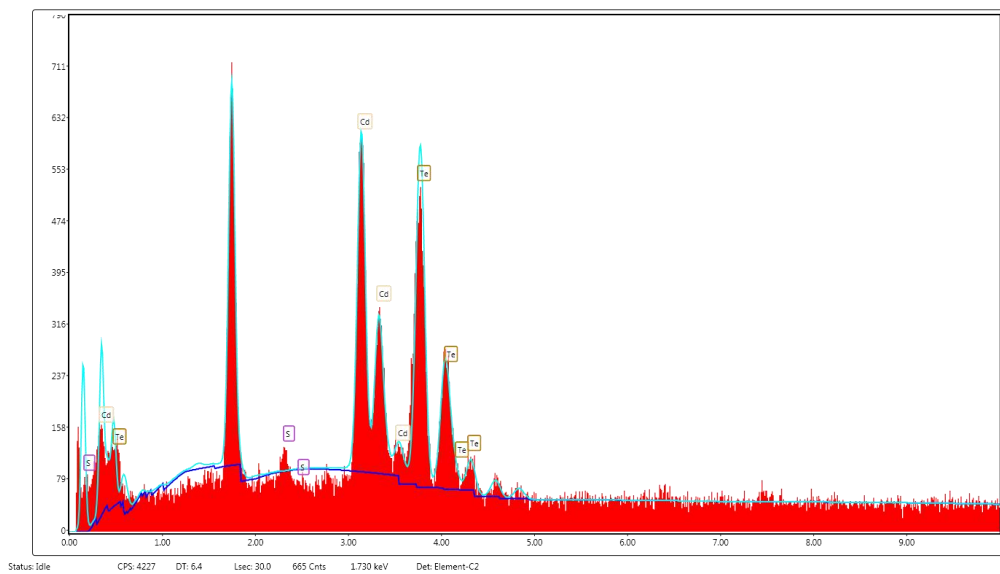
Gambar 33. Grafik hubungan intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  spacer 10 cm

Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX untuk masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dapat diketahui bahwa preparasi kristal semikonduktor masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  mengandung unsur Cadmium (Cd), Sulfur (S), dan Tellurium (Te). Perbandingan persentase komposisi kimia bahan dasarnya yaitu Cd : 49,87% , S : 10,71% , dan Te : 39,42%. Dibawah ini terdapat tabel 7 yang merupakan tabel perbandingan molaritas Cd, S, dan Te pada lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  :

Tabel 7. Perbandingan molaritas unsur Cd, S, dan Te pada massif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  *spacer* 10 cm dari hasil karakterisasi EDAX

Unsur	Konsentrasi %	Hasil EDAX	Hasil Secara Teori
Cd	10,71	1	1
S	49,87	0,2	0,6
Te	39,42	0,8	0,4

Lapisan tipis yang diuji adalah sampel yang sama dengan yang digunakan saat pengujian SEM, yaitu bahan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dengan *spacer* 10 cm. Hasil EDAX tersebut dapat dilihat pada gambar 34.



Gambar 34. Grafik hubungan intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  *spacer* 10 cm

Berdasarkan hasil karakterisasi EDAX untuk lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dapat diketahui bahwa preparasi kristal lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  mengandung unsur Cadmium (Cd), Sulfur (S), dan Tellurium (Te). Perbandingan komposisi kimianya yaitu Cd : 38,44% , S : 3,11% , dan Te : 58,45%. Dibawah ini terdapat Tabel 8 yang merupakan tabel perbandingan molaritas Cd, S, dan Te pada lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  :

Tabel 8. Perbandingan molaritas unsur Cd, S, dan Te pada lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  spacer 10 cm dari hasil karakterisasi EDAX

Unsur	Konsentrasi %	Hasil EDAX	Hasil Secara Teori
Cd	38,44	1	1
S	3,11	0,08	0,6
Te	58,45	1,5	0,4

Berdasarkan tabel 8, dapat dilihat bahwa perbandingan Cd: S: Te yang diperoleh dari hasil EDAX adalah 1: 0,08: 1,5, sedangkan secara teori perbandingannya 1: 0,6: 0,4. Perbandingan molaritas hasil EDAX ini juga memiliki perbedaan yang cukup banyak dengan teorinya.

Dari hasil EDAX masif dan lapisan tipis yang telah diperoleh, terdapat perbedaan yang jauh antara perbandingan molaritas hasil EDAX dengan teorinya. Bahkan perbandingan molaritas antara sumbernya yang berupa masif dengan lapisan tipisnya juga berbeda. Pada  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  unsur S seharusnya menjadi unsur yang dominan. Tetapi kenyataannya setelah dilihat

hasil EDAXnya unsur Te lah yang justru menjadi unsur dominan pada kedua sampel tersebut. Bahkan perbandingan molaritas antara hasil EDAX dengan teorinya pun memiliki perbedaan yang jauh.

Selisih perbedaan yang jauh tersebut dapat terjadi karena pada saat proses evaporasi, suhu crussible yang sangat tinggi yaitu sekitar  $1000^{\circ}\text{C}$  membuat partikel pada unsur Cd yang memiliki titik didih  $767^{\circ}\text{C}$  dan partikel pada unsur S yang memiliki titik didih  $447^{\circ}\text{C}$  bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi karena suhunya melebihi jauh dari titik didih mereka. Pergerakan partikel pada unsur Cd dan S yang sangatlah cepat menyebabkan banyak partikel pada Cd dan S yang terpental dan tidak menempel pada substrat, sehingga membuat lapisan tipis mengalami kondisi *non stoichiometry* (tidak sesuai dengan teori) yaitu tidak menempelnya bahan pada substrat dengan sempurna. Hal ini menunjukkan lapisan tipis yang terbentuk belum memenuhi komposisi  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$ , tetapi adanya komponen Cd, S, dan Te pada substrat menyatakan bahwa fase  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  telah terbentuk dalam sampel.

## 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. 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 Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) yang baik yaitu spacer 10 cm.
2. Karakteristik lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan variasi *spacer* melalui teknik evaporasi vakum :
  - a) Hasil karakterisasi dengan XRD menunjukkan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) menggunakan teknik evaporasi vakum mempunyai struktur kristal kubik, dengan nilai parameter kisi sebagai berikut :  
Spacer 10 cm,  $a = 6,218 \text{ \AA}$   
Spacer 15 cm,  $a = 6,181 \text{ \AA}$   
Spacer 10 cm,  $a = 6,001 \text{ \AA}$
  - b) Berdasarkan hasil karakterisasi SEM dapat diketahui bahwa lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) memiliki morfologi permukaan homogen yang

tersusun atas butiran (grain) dengan diameter rata-rata partikelnya yaitu 0,27759  $\mu\text{m}$ .

- c) Berdasarkan hasil karakterisasi dengan EDAX dapat diketahui bahwa lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  mempunyai komposisi kimia Cadmium (Cd), Sulfur (S), dan Tellurium (Te) dengan perbandingan presentase komposisi kimia bahan dasarnya untuk spacer 10 nm yaitu Cd : 38,44% , S : 3,11% , dan Te : 58,45%. Perbandingan molaritas lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  dari masing-masing unsur Cd: S: Te adalah 1: 0,08: 1,5, sedangkan menurut teori 1: 0,6: 0,4. dimana terdapat ketidaksesuaian antara hasil karakterisasi EDAX dengan teorinya. Ketidaksesuaian tersebut menunjukkan bahan tersebut mengalami kondisi *non stoichiometry* (tidak sesuai teori), yang artinya tidak menempelnya bahan pada substrat dengan sempurna.

## B. Saran

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

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

## DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, Muhammad. (2016). *Pengaruh Temperatur Pemanasan pada Kualitas Kristal Sn(S<sub>0,8</sub>Te<sub>0,2</sub>). Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman* . FMIPA Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. (2015). *Kristalografi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. (2013). *Teknologi vakum*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. (2010). *Semikonduktor*. Yogyakarta. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bahtiar, A dkk. (2011). “Sel Surya Polimer: *State of Art* dan Progres penelitian di Universitas Padjadjaran” *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Hlm. 7-14.
- Beiser, Athur. (1992). *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Beck. 1977. *Principles of Scanning Electron Microscopy*. Jepang. Jeol Hightech co, Ltd.
- Syahrul , Chaironi dkk. (2012). *Teknik Vakum*.. Bandung: ITB.
- Cullity, B. D. (1978). *Elemen of X-Ray Diffraction*. Massachusetts. Addison Wesley Publishing Company. Inc.p555.
- Diputra, Wibeng. (2008). *Sel Surya*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Eka M, Hilma. (2016). *Pengaruh Temperatur Substrat pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(S<sub>0,8</sub>Te<sub>0,2</sub>) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum* . FMIPA Fisika: Universitas Negeri Yogyakarta
- Giancoli, Douglas C. (2001). *Fisika Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.



- Griffin, B. J., dan Riessen, V.A. 1991. *Scanning Elctron Microscopy Course*. Notes. The University of Western Australia.
- Haryanto, Triyo. (2013). *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor*.
- Istiyono, Edi. (2010). *Fisika Zat Padat 2. Diktat Kuliah*. FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Malvino. (1981) *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta Erlangga.
- Ohring, Milton: (2001). *Material Science oh Thin Deposition and Structure*.ed. Sn Diego: academia Press
- Parno. (2006). *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Ramadhani, Robi. (2012). *Semikonduktor*. Malang: FMIPA Universitas Negeri Malang.
- Rio, Reka. (1982). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: Departemen Pradya Pramita.
- Rusli, Rolan. (2011). *Petunjuk Refimnt Analisis Pola Difraksi Sinar-X Serbuk Menggunakan Metode Le Bail pada Program Rietica*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Saini, R. et. al. (2010). *Structur and Electrical Characterization of Sinters SnTe Films*: Jurnal, Departemen of Physics.
- Setiawan, Agus, et. al. (2007). *Modul-4 Semikonduktor*. Bandung: FMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia
- Sumardi, Yos. (2007). *Fisika Zat Padat*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Suryanarayana, C. M. Grant Norton. (1998). *X Ray Diffraction a Particel Approach*. New York: Springer Science Business Media.
- Suwitra, Nyoman. (1989). *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Departemen Pedidikan dan Kebudayaan.

## LAMPIRAN

### A. Perhitungan Parameter Kisi Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan Metode Analitik

Lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) mempunyai struktur kristal kubik. Jarak antar bidang struktur kubik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Dan persamaan Hukum Bragg adalah :

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

Dengan mensubstitusikan persamaan Hukum Bragg, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$
$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

Maka diperoleh persamaan:

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} (h^2 + k^2 + l^2), A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

$$\sin^2 \theta = A(h^2 + k^2 + l^2)$$

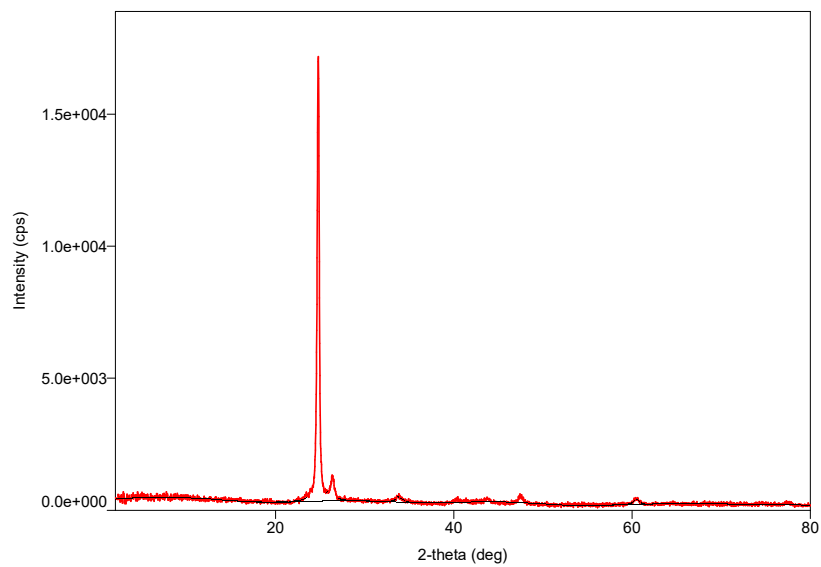
$$A = \frac{\lambda^2}{4a^2}$$

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

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{4A}}$$

Dimana nilai a=b=c

### 1. *Spacer* 10 cm



#### Peak list

N	2- o. theta(deg)	d(ang.)	Height(cp s)	FWHM(de g)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.777(4)	3.5905(6)	11970(31)	0.239(3)	4106(23)	0.343(11)	1.39(11)
2	26.35(2)	3.379(3)	586(70)	0.47(3)	443(11)	0.76(11)	0.9(2)
3	33.63(2)	2.6626(17)	134(33)	0.86(4)	151(7)	1.1(3)	0.30(4)
4	60.42(3)	1.5310(7)	134(33)	0.77(5)	125(7)	0.9(3)	0.88(16)

Rad = CuKa

$\lambda=1,5405$

No	Spacer	JCPDS	hkl
	10 cm		
	$2\theta (^{\circ})$	$2\theta (^{\circ})$	
1	24,777	23,757	1 1 1
2	26,35	-	-
3	33,63	-	-
4	41,05	-	-
5	60,42	62,348	3 3 1

Dipilih sudut yang besarnya  $24,777^{\circ}$  (1 1 1)

$$\sin^2 \theta = A(h^2 + k^2 + l^2)$$

$$\sin^2\left(\frac{24,777}{2}\right) = A(1^2 + 1^2 + 1^2)$$

$$\sin^2(12.3885) = 3A$$

$$0.04603 = 3A$$

$$A = \frac{0.04603}{3}$$

$$A = 0.01534236$$

Hasil dari nilai A bersesuaian dengan tabel berikut :

$2\theta$	$\theta$	$\sin \theta$	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{3}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{11}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$
24.777	12.38	0.21453	0.0460271	0.0153423	0.0057533	0.0041842	0.0028766
	85	9292	08	69	88	83	94
41.05	20.52	0.35061	0.1229316	0.0409772	0.0153664	0.0111756	0.0076832
	5	6048	13	04	52	01	26

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{4A}}$$

$$a = \frac{1.54050}{\sqrt{4 \times 0.0153}}$$

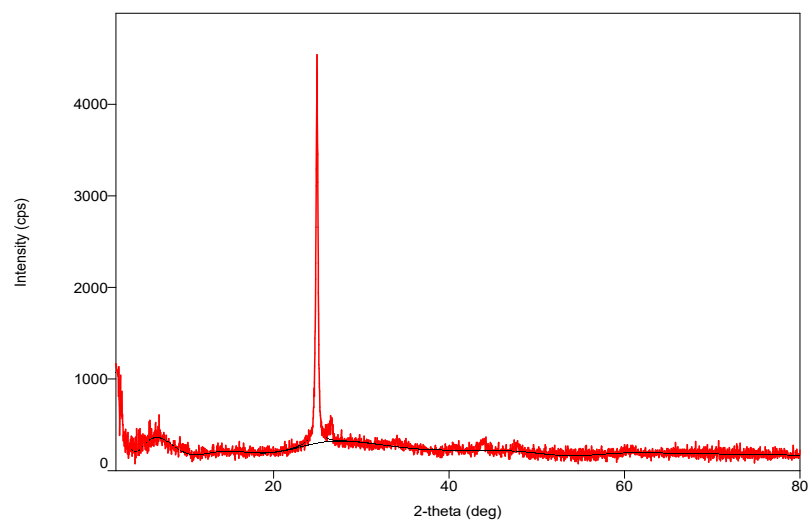
$$a = \frac{1.54050}{\sqrt{0.123864318}}$$

$$a = \frac{1.54050}{0.247728636}$$

$$a = 6.218497885 \text{ \AA} \approx 6,218 \text{ \AA}$$

$$a = b = c$$

## 2. Spacer 15 cm



## Peak list

N	2- o. theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(de g)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.930(7)	3.5688(10)	2842(154)	0.266(6)	1107(32)	0.39(3)	1.24(15)

No	<i>Spacer</i> 15 cm	JCPDS	hkl
	2θ (°)	2θ (°)	
1	24,930	23,757	1 1 1
2	26,60	-	-
3	28,80	-	-
4	41,3	-	-
5	56,60	-	-

Dipilih sudut yang besarnya 24,930° (1 1 1)

$$\sin^2 \theta = A(h^2 + k^2 + l^2)$$

$$\sin^2 \left( \frac{24.930}{2} \right) = A(1^2 + 1^2 + 1^2)$$

$$\sin^2(12.465) = 3A$$

$$0.04659 = 3A$$

$$A = 0.015529427$$

Hasil dari nilai A bersesuaian dengan tabel berikut :

$2\theta$	$\theta$	$\sin \theta$	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{3}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{11}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$
24.930	12.46	0.21584	0.0465882	0.0155294	0.0058235	0.0042352	0.0029117
	5	3188	82	27	35	98	68
41.3	20.65	0.35265	0.1243679	0.0414559	0.0155459	0.0113061	0.0077729
		838	33	78	92	76	96

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{4A}}$$

$$a = \frac{1.54050}{\sqrt{4 \times 0.0155}}$$

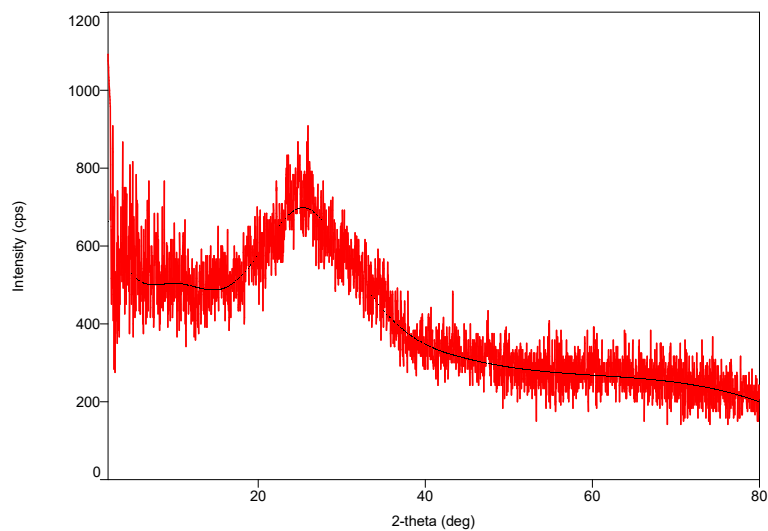
$$a = \frac{1.54050}{\sqrt{0.124617123}}$$

$$a = \frac{1.54050}{0.249234246}$$

$$a = 6.180932301 \text{ \AA} \approx 6,181 \text{ \AA}$$

$$a = b = c$$

### 3. *Spacer 25 cm*



## Peak list

No	<i>Spacer</i>	JCPDS	hkl
	25 cm	CdTe	
	$2\theta$ ( $^{\circ}$ )	$2\theta$ ( $^{\circ}$ )	
1	25,69	23,757	1 1 1
2	40,402	-	-
3	42,5	-	-
4	60,5	62,348	3 3 1

Dipilih sudut yang besarnya  $25,6^{\circ}$  (1 1 1)

$$\sin^2 \theta = A(h^2 + k^2 + l^2)$$

$$\sin^2\left(\frac{25.69}{2}\right) = A(1^2 + 1^2 + 1^2)$$

$$\sin^2(12.845) = 3A$$

$$0.049423652 = 3A$$

$$A = 0.016474551$$

Hasil dari nilai A bersesuaian dengan tabel berikut:

$2\theta$	$\theta$	$\sin \theta$	$\sin^2 \theta$	$\frac{\sin^2 \theta}{3}$	$\frac{\sin^2 \theta}{8}$	$\frac{\sin^2 \theta}{11}$	$\frac{\sin^2 \theta}{16}$
25.69	12.845	0.222314	0.0494236	0.01647455	0.0061779	0.00449305	0.00308897
		31	52	1	57	9	8
42.5	21.25	0.362438	0.1313613	0.04378711	0.0164201	0.01194193	0.00821008
		038	32	1	66	9	3



$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{4A}}$$

$$a = \frac{1.54050}{\sqrt{4 \times 0.0164}}$$

$$a = \frac{1.54050}{\sqrt{0.128353227}}$$

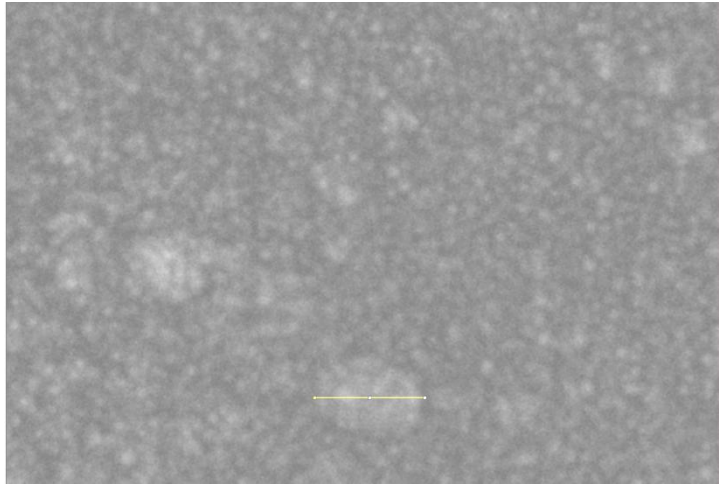
$$a = \frac{1.54050}{0.256706453}$$

$$a = 6.001017821 \text{ \AA} \approx 6,001 \text{ \AA}$$

$$a = b = c$$

## 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 diameter partikel menggunakan program dalam windows yaitu ImageJ, Ms Excel, dan Origin. Sampel yang dipilih adalah sampel dengan kualitas yang paling bagus yaitu sampel pada spacer 10 cm. Dari hasil SEM spacer 10 cm yang berupa foto dibuka dengan ImageJ, yang kemudian menentukan diameter partikel dengan memberi garis melintang pada setiap butiran (grain).



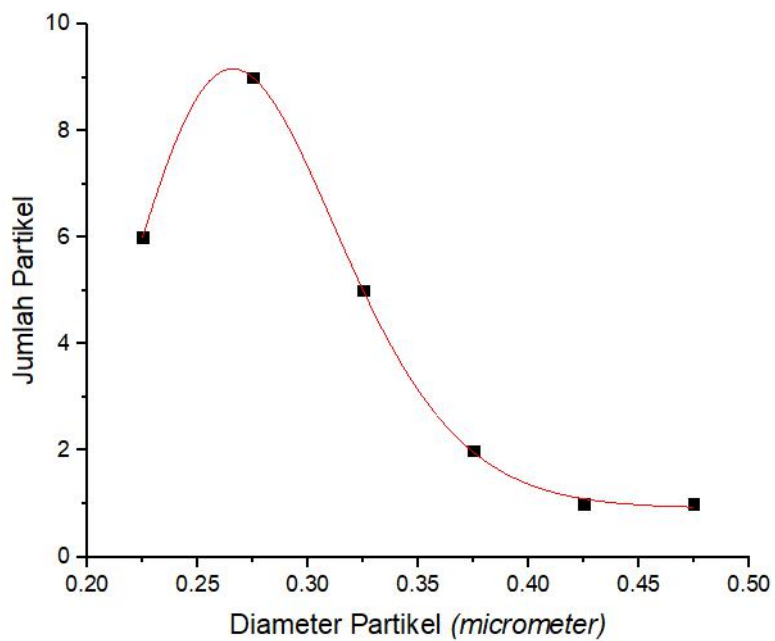
Gambar. Foto morfologi permukaan lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  pada spacer 10 cm yang sudah diberi garis melintang pada program ImageJ dan sudah ditentukan ukurannya.

Tabel data hasil pengukuran spacer 10 cm yang sudah diolah dalam Ms Excel

No	Feret (Diameter)
1	0,485
2	0,405
3	0,371
4	0,355
5	0,29
6	0,29
7	0,33
8	0,327
9	0,346
10	0,258

11	0,346
12	0,272
13	0,251
14	0,243
15	0,248
16	0,26
17	0,266
18	0,232
19	0,273
20	0,328
21	0,271
22	0,228
23	0,244
24	0,233

Setelah diperoleh ukuran partikel dengan jumlah banyak, kemudian memfitting ukuran partikel tersebut dengan Origin dalam bentuk fungsi LogNormal. Maka muncul grafik seperti gambar berikut:



Grafik hubungan antara jumlah partikel dengan ukuran partikel

Model	LogNormal
Equation	$y = y_0 + A / (\sqrt{2 \cdot \pi}) \cdot w^{-1} \cdot \exp(-(\ln(x/x_c))^2 / (2 \cdot w^2))$
Plot	Counts
y0	0.91127 ± 0.08352
xc	0.27362 ± 5.68537E-4
w	0.16968 ± 0.00257
A	0.94651 ± 0.01116
Reduced Chi-Sqr	0.00684
R-Square (COD)	0.99974
Adj. R-Square	0.99934

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 berikut:

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

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

Dimana pada sapcer 10 cm diameternya diperoleh sebagai berikut :

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

$$D = 0,27362 \exp\left[\frac{0,16968^2}{2}\right]$$

$$D = 0,27362 \exp\left[\frac{0,02879}{2}\right]$$

$$D = 0,27362 \exp[0,01439]$$

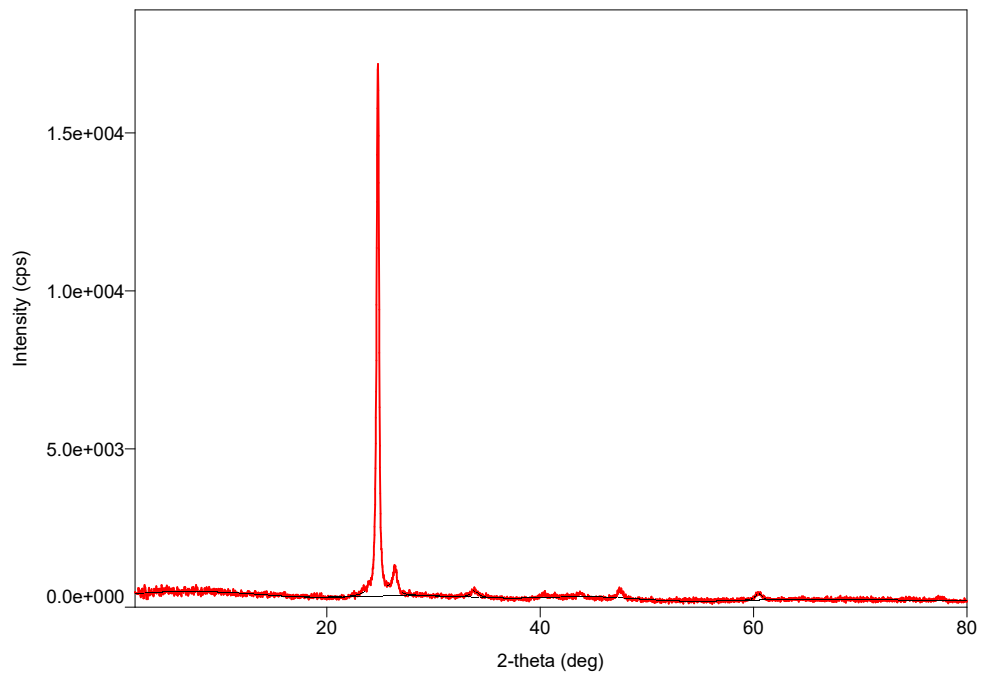
$$D = 0,27362 \times 1,014494$$

$$D = 0,27759 \mu\text{m}$$

## C. Hasil Karakterisasi

### 1. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan XRD

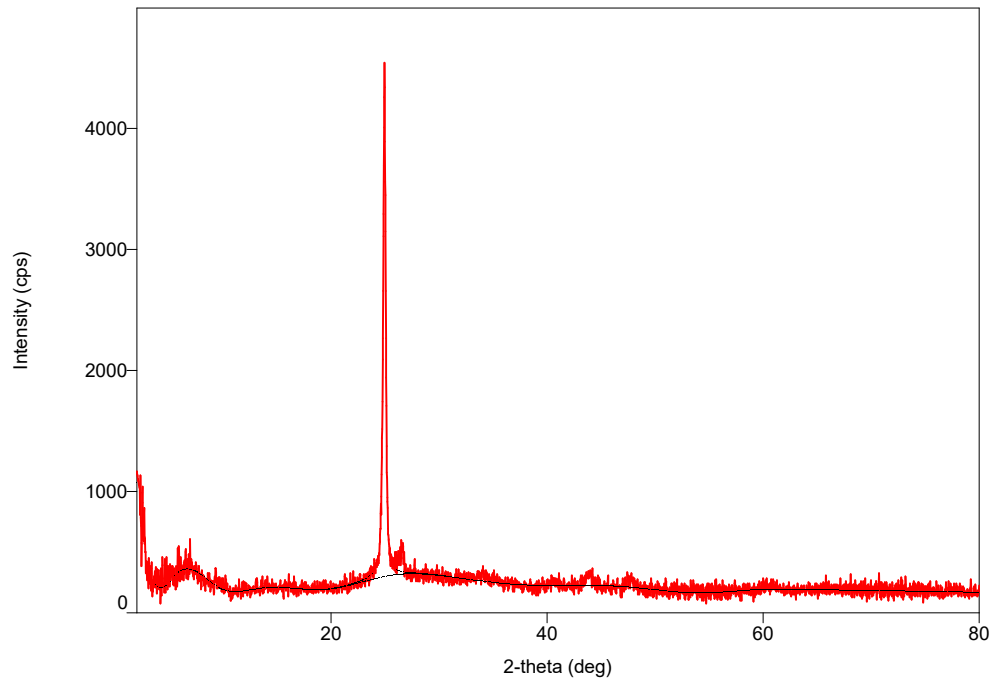
a) Hasil XRD Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) spacer 10 cm



#### Peak list

N	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps)	Int. W(deg)	Asym. Factor
1	24.777(4)	3.5905(6)	11970(31)	0.239(3)	4106(23)	0.343(11)	1.39(11)
2	26.35(2)	3.379(3)	586(70)	0.47(3)	443(11)	0.76(11)	0.9(2)
3	33.63(2)	2.6626(17)	134(33)	0.86(4)	151(7)	1.1(3)	0.30(4)
4	60.42(3)	1.5310(7)	134(33)	0.77(5)	125(7)	0.9(3)	0.88(16)

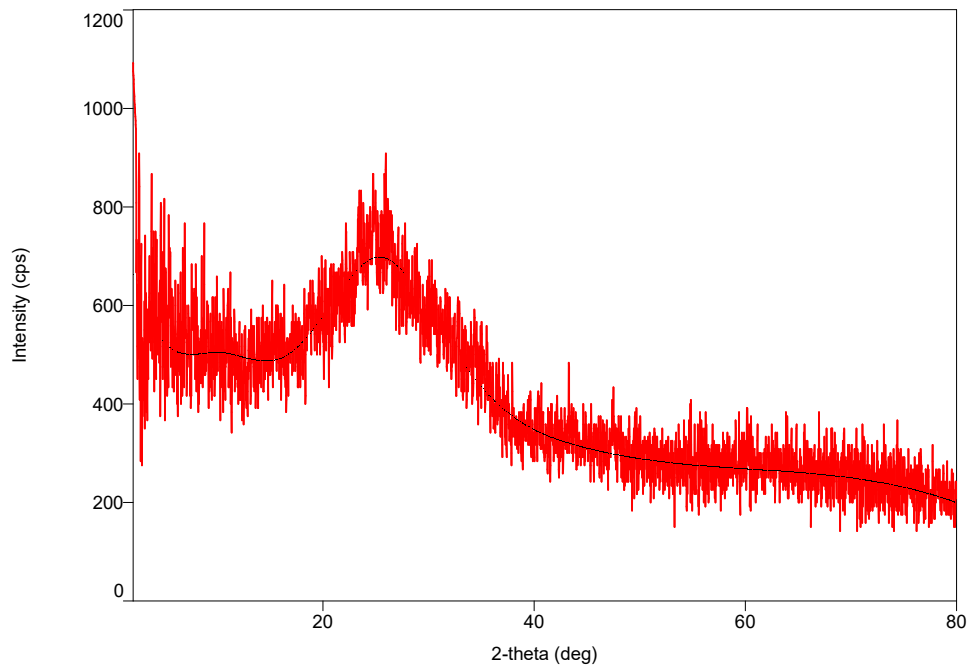
b) Hasil XRD Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) spacer 15 cm



**Peak list**

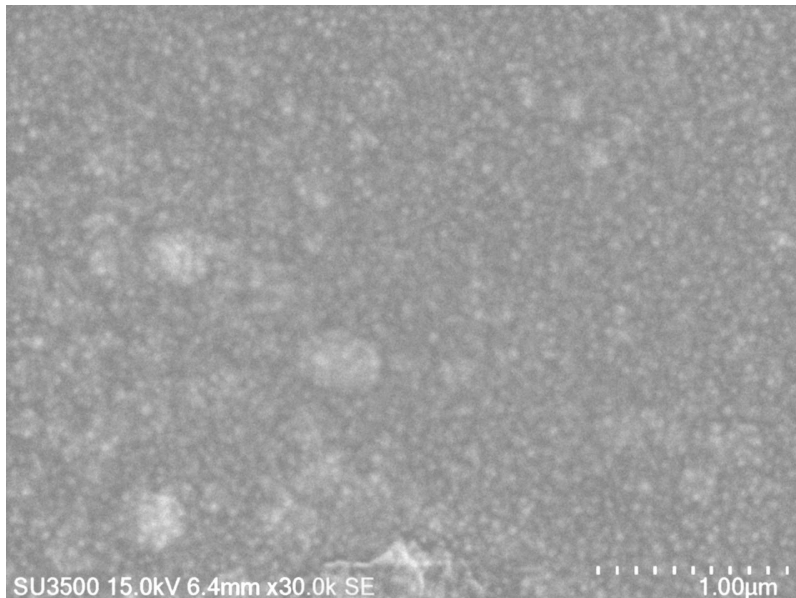
N	2- o. theta(deg)	d(ang.)	Height(cp s)	FWHM(de g)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. Factor
1	24.930(7)	3.5688(10)	2842(154)	0.266(6)	1107(32)	0.39(3)	1.24(15)

c) Hasil XRD Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) spacer 25 cm



### Peak list

## 2. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) dengan SEM

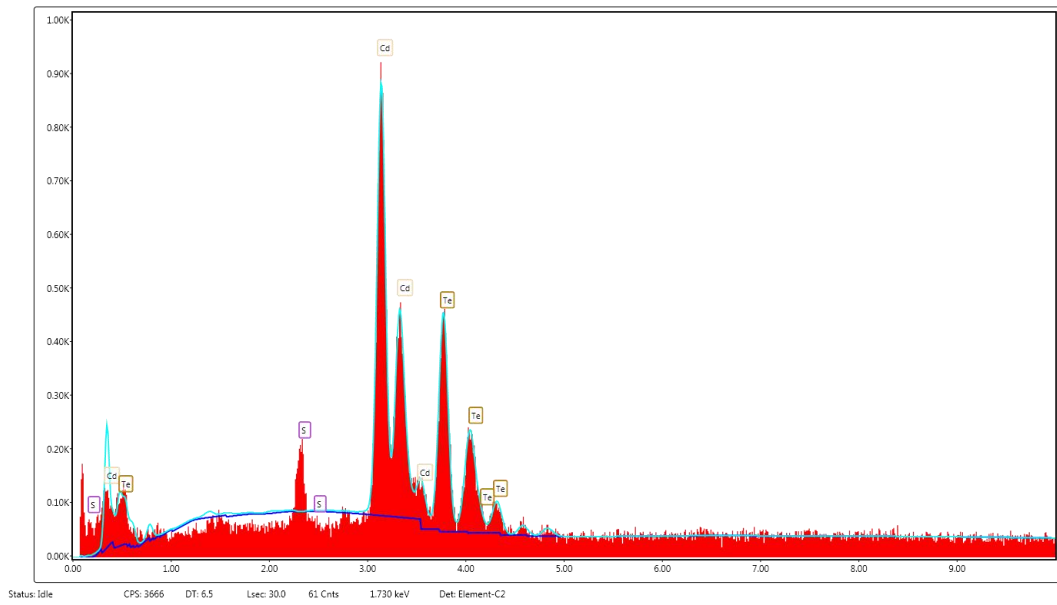


Gambar Foto morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S<sub>0,6</sub>Te<sub>0,4</sub>) spacer 10 cm karakterisasi SEM dengan perbesaran 30.000 kali



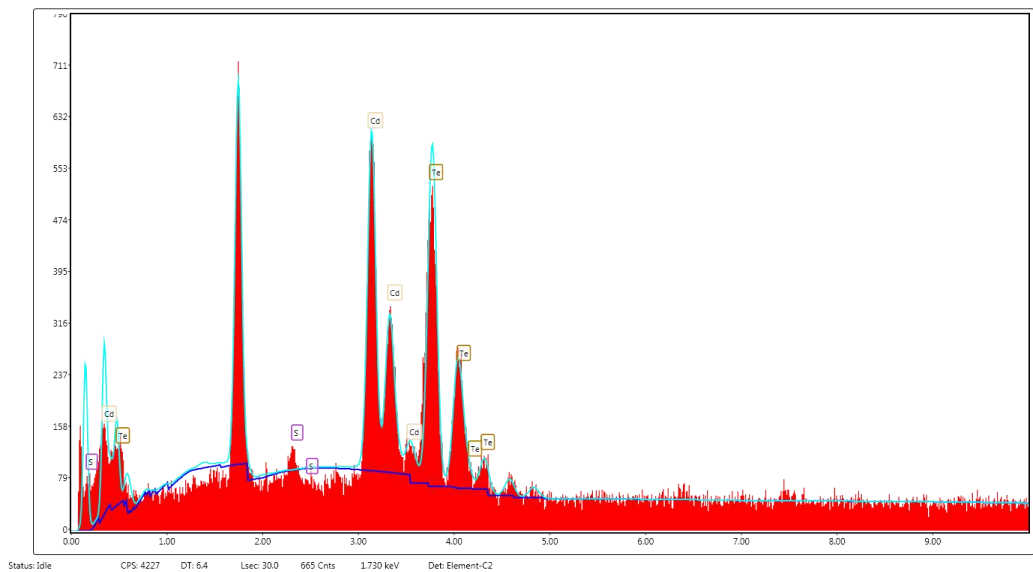
### 3. Hasil Karakterisasi EDAX

#### a) Masif $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$



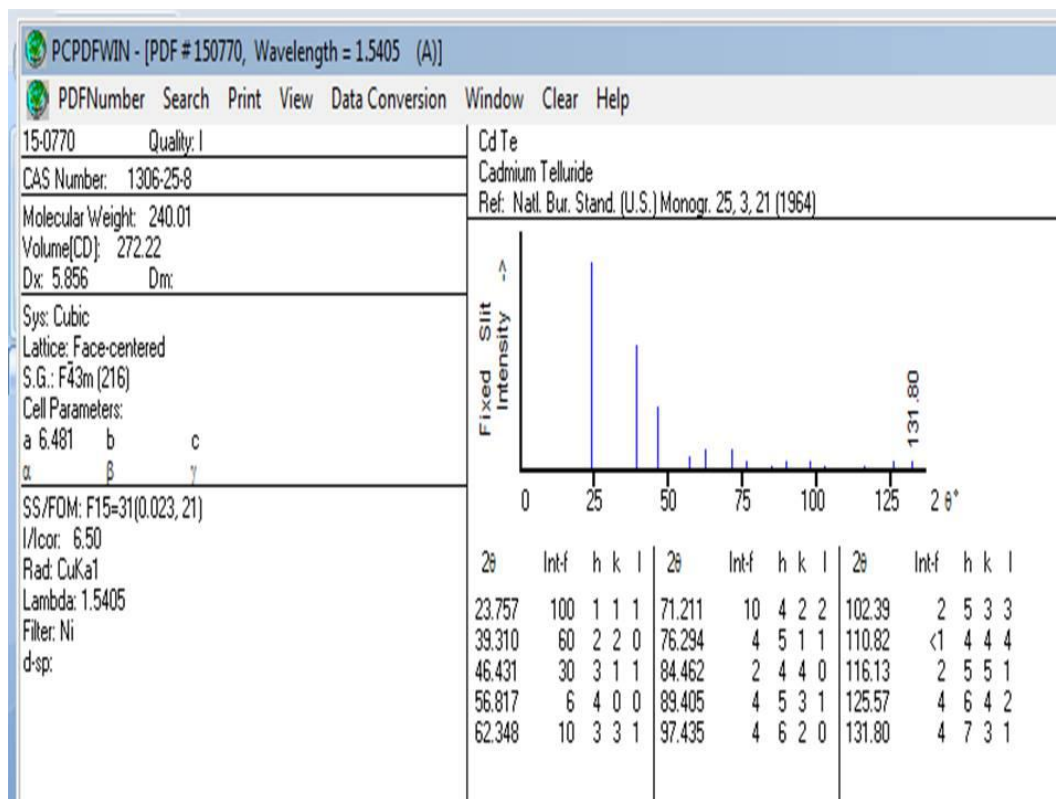
Gambar. Grafik hubungan intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  spacer 10 cm

#### b) Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$



Gambar. Grafik hubungan intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX lapisan tipis  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$  spacer 10 cm

## D. JCPDS CdTe



## E. Dokumentasi Penelitian



Serbuk Masif  $\text{Cd}(\text{S}_{0,6}\text{Te}_{0,4})$



Penyangga (*Spacer*)



Timbangan Digital



Pemanas (*Furnace*)



Evaporator



Alat Sputtering



Alat SEM EDAX



Regulator

