

**PENGARUH MASSA BAHAN MASIF PADA KRISTAL LAPISAN TIPIS
Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

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



Disusun oleh :
HADI SISWOYO
NIM 15306141043

PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2019

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**PENGARUH MASSA BAHAN MASIF PADA KRISTAL LAPISAN TIPIS
Cd(S_{0.8}Te_{0.2}) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**



Disusun oleh:

Hadi Siswoyo

NIM 15306141043

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

Yogyakarta, 29-08-2019

Mengetahui,
Ketua Program Studi


Drs. Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 19640205 199101 1 001

Disetujui,
Pembimbing


Dr. Ariswan
NIP. 19590914 198803 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

**PENGARUH MASSA BAHAN MASIF PADA KRISTAL LAPISAN TIPIS
Cd(S_{0.8}Te_{0.2}) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

Disusun oleh:

Hadi Siswoyo

NIM 15306141043

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri

Yogyakarta

Pada tanggal 26.08.2019

TIM PENGUJI

Tanda Tangan

Tanggal

Nama/Jabatan

Dr. Ariswan

Ketua Penguji / Pembimbing

Dr. Restu Widiatmono, M.Si

Penguji Utama

Rita Prasetyowati, M.Si

Sekretaris Penguji

 26 - 08 - 2019

 27 - 08 - 2019

 28 - 08 - 2019



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hadi Siswoyo

NIM : 15306141043

Program Studi: Fisika

Judul TAS : Pengaruh Massa Bahan Masif pada Kristal Lapisan Tipis
Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi
Vakum untuk Aplikasi Sel Surya

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri di bawah 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 kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta,

Yang menyatakan,

Hadi Siswoyo

NIM. 15306141043

MOTTO

“Temukan kepribadianmu dengan melakukan tiga hal; pertama, jadilah manusia paling baik di sisi Allah. Kedua, jadilah manusia paling buruk dalam pandangan dirimu. Ketiga, jadilah manusia biasa di hadapan sesama manusia.”

(Ali bin Abi Thalib)

“My powers are ordinary. Only my application brings me success. “

(Isaac Newton)

“It doesn’t matter if I failed. At least I passed the concept on to others. Even if I don’t succeed, someone will succeed.”

(Jack Ma)

“Nothing lasts forever, we can change the future. “

(Alucard)

“Jika kita memiliki keinginan yang kuat dari dalam hati, maka seluruh alam semesta akan bahu membahu mewujudkannya. “

(Soekarno)

PERSEMBAHAN

Karya tulis sederhana ini dengan senang hati saya persembahkan kepada:

1. Bapak dan ibu tercinta (Warsono dan Ruswati), terimakasih atas doa dan dukungan yang selalu diberikan kepada putranya ini.
2. Kakaku (Yuyun Yuningsih, M.Pd), terimakasih atas doa dan pembelajarannya selama ini.
3. Adeku (Susanto), terimakasih karena sering memberi motivasi.
4. Dosen pembimbing akademik (Bapak Agus Purwanto, M.Sc), terimakasih telah membimbing saya dengan ikhlas selama kurang lebih 4 tahun hingga suksesnya rencana studi dan skripsi ini.
5. Dosen pembimbing Tugas Akhir Skripsi (Bapak Dr. Ariswan), terimakasih telah bersedia membimbing, memberikan arahan, masukan dan semangat hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Teman satu penelitian dan bimbingan bapak Dr. Ariswan (Riyan, Udin, Noni) yang selalu memberikan semangat dan saling berbagi ilmu.
7. Teman kelas Fisika E 2015 yang selalu memberi inspirasi, motivasi, dan dukungan.

**PENGARUH MASSA BAHAN MASIF PADA KRISTAL LAPISAN TIPIS
Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI
VAKUM UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

**Oleh:
Hadi Siswoyo
NIM 15306141043**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan karakteristik bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) melalui teknik evaporasi vakum, (2) menentukan pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) berdasarkan struktur, morfologi permukaan, dan komposisi kimia, dan (3) menentukan massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

Preparasi kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dilakukan menggunakan teknik evaporasi vakum dengan variasi massa bahan masif yaitu 0,1 gram; 0,15 gram dan 0,2 gram. Lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk menentukan struktur kristal, SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk menentukan morfologi permukaan, dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-ray*) untuk menentukan komposisi kimia. Berdasarkan kualitas lapisan tipis yang diperoleh dari masing-masing variasi massa bahan masif, maka dapat ditentukan variasi massa bahan masif yang paling baik.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa ketiga sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) memiliki struktur ortorombik, dengan nilai parameter kisi pada sampel 1 (0,1 gram) diperoleh $a = 14,329 \text{ \AA}$; $b = 14,075 \text{ \AA}$; dan $c = 14,811 \text{ \AA}$, sampel 2 (0,15 gram) diperoleh $a = 14,410 \text{ \AA}$; $b = 14,492 \text{ \AA}$; dan $c = 14,604 \text{ \AA}$, dan sampel 3 (0,2 gram) diperoleh $a = 14,458 \text{ \AA}$; $b = 13,584 \text{ \AA}$; dan $c = 14,264 \text{ \AA}$. Hasil karakterisasi SEM perbesaran 20.000 kali menunjukkan bahwa lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 memiliki keseragaman ukuran pada *grain* dengan ukuran diameter rata-rata *grain* $(0,21 \pm 0,03) \mu\text{m}$. Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 memiliki persentase komposisi kimia Cd = 11,3 %, S = 10,69 %, dan Te = 7,61 %. Perbandingan molaritas Cd : S : Te diperoleh 1 : 0,95 : 0,67. Variasi massa bahan masif tidak mempengaruhi struktur kristal yang terbentuk, melainkan berpengaruh pada kualitas kristal. Semakin banyak massa bahan masif maka semakin baik pula kualitas kristal ditinjau dari morfologi permukaan dan komposisi bahan. Massa 0,2 gram adalah massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

Kata kunci: Struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan, komposisi kimia, evaporasi vakum, lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}).

THE EFFECT OF MASSIVE MATERIALS MASS TO CRYSTAL Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) THIN FILMS PREPARATION RESULTS BY VACUUM EVAPORATION TECHNIQUE FOR SOLAR CELL APPLICATION

By:
Hadi Siswoyo
NIM 15306141043

ABSTRACT

This research aimed to: (1) determine the characteristics of Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films by vacuum evaporation technique, (2) determine the effect of massive materials mass to the crystal quality of Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films based on structure, surface morphology, and chemical composition, and (3) determine the optimal mass of the massive material to obtain a Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films with the best crystal quality as a candidate solar cell materials.

The preparation of crystal Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films performed using vacuum evaporation technique with massive materials mass variations are 0,1 grams; 0,15 grams and 0,2 grams. The Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films obtained are characterized using XRD (x-ray Diffraction) to determine the crystal structure, SEM (Scanning Electron Microscopy) to determine the morphology of the surface, and EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray) to determine chemical compositions. Based on the thin films quality of each variation of massive materials mass, then it can be determined mass variations of the most massive materials either.

The results of XRD characterization showed that all of the thin films samples had an orthorhombic structure, with a lattice parameter values in sample 1 (0,1 grams) obtained $a = 14,329 \text{ \AA}$; $b = 14,075 \text{ \AA}$; and $c = 14,811 \text{ \AA}$, sample 2 (0,15 grams) obtained $a = 14,410 \text{ \AA}$; $b = 14,492 \text{ \AA}$; and $c = 14,604 \text{ \AA}$, and sample 3 (0,2 grams) obtained $a = 14,458 \text{ \AA}$; $b = 13,584 \text{ \AA}$; and $c = 14,264 \text{ \AA}$. The results of SEM characterization with 20.000 times magnification showed that the sample 3 of Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films had uniformity of size on grain with an average grain diameter size $(0,21 \pm 0,03) \mu\text{m}$. The results of EDAX characterization showed that the sample 3 of Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films had a percentage of the chemical composition of Cd = 11,3 %, S = 10,69 %, and Te = 7,61%. Comparison of the molarity of Cd : S : Te retrieved 1 : 0,95 : 0,67. Massive materials mass variations did not affect the structure of crystals that are formed, but rather the effect on the crystal quality. The more massive materials mass then the better the quality of the crystals also in terms of surface morphology and composition of materials. Massive material mass 0,2 grams was optimal to obtain Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films with the best quality as the candidate solar cell materials.

Keywords: Crystal structure, lattice parameters, surface morphology, chemical composition, vacuum evaporation, Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) thin films.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, karena-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi (TAS) yang berjudul **“Pengaruh Massa Bahan Masif pada Kristal Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya”**.

Penyusunan Tugas Akhir Skripsi (TAS) ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan Tugas Akhir Skripsi (TAS) ini tentunya tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, arahan, bantuan, dan kerjasama dengan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan naungan kepada seluruh civitas akademik termasuk penulis.
2. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya dalam memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin untuk penelitian ini.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin untuk penelitian ini.
5. Bapak Agus Purwanto, M.Sc selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan izin, beserta masukan dan arahan dalam pelaksanaan skripsi ini.

6. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir Skripsi (TAS) yang telah banyak memberikan masukan, semangat, dorongan, dan bimbingan secara intensif selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi (TAS) ini.
7. Bapak Hartono selaku Teknisi Laboratorium Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah banyak membantu selama proses penelitian ini.
8. Seluruh dosen Program Studi Fisika beserta jajaran staf Laboratorium Fisika yang telah banyak membantu selama kuliah, praktikum, dan penelitian.
9. Kedua orang tua dan saudara saya yang telah banyak memberikan doa, semangat, dan kasih sayangnya.
10. Keluarga besar Fisika E 2015 yang saling mendukung dan menyemangati selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir Skripsi ini.
11. Teman satu penelitian dan bimbingan bapak Dr. Ariswan yang telah banyak berbagi ilmu dan saling menyemangati hingga penyelesaian Tugas Akhir Skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Maka dari itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga karya tulis penelitian Tugas Akhir Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan semua pembaca pada umumnya.

Yogyakarta,

Penulis,

Hadi Siswoyo

NIM 15306141043

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
MOTTO.....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Kristal.....	7
1. Struktur Kristal.....	8
2. Indeks Miller.....	10
3. Parameter Kisi Orthorombik.....	12
B. Semikonduktor.....	14
1. Semikonduktor Intrinsik.....	16
2. Semikonduktor Ekstrinsik.....	17

a.	Semikonduktor Tipe n.....	18
b.	Semikonduktor Tipe p.....	18
3.	Pembuatan Hubungan p-n.....	19
a.	Metode Paduan.....	20
b.	Metode Difusi.....	21
c.	Metode Epitaksi.....	21
d.	Metode Pencangkokan Ion.....	22
C.	Bahan Semikonduktor	23
1.	<i>Cadmium</i> (Cd).....	23
2.	<i>Sulfur</i> (S).....	24
3.	<i>Tellurium</i> (Te).....	24
4.	<i>Cadmium Sulfide</i> (CdS).....	24
5.	<i>Cadmium Telluride</i> (CdTe).....	25
D.	Bahan Masif	25
E.	Lapisan Tipis.....	25
F.	Teknik Evaporasi Vakum.....	26
G.	Karakterisasi Bahan.....	34
1.	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	34
2.	SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>)	41
3.	EDAX (<i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i>)	43
H.	Sel Surya.....	44
1.	Radiasi Matahari.....	44
2.	Prinsip Dasar Sel Surya.....	46
3.	Perkembangan Tipe Sel Surya.....	47
I.	Kerangka Berpikir	48

BAB III METODE PENELITIAN

A.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	50
B.	Alat dan Bahan	50
C.	Variabel Penelitian.....	53
D.	Langkah Penelitian.....	53

1.	Penelitian Tahap I.....	53
2.	Penelitian Tahap II.....	56
E.	Teknik Analisis Data.....	57
F.	Diagram Alir Tahap Penelitian.....	59

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A.	Hasil Preparasi Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}).....	60
B.	Hasil Karakterisasi.....	61
1.	Hasil Karakterisasi Struktur Kristal Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Menggunakan XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	61
2.	Hasil Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3 Menggunakan SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	68
3.	Hasil Komposisi Kimia Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3 Menggunakan EDAX (<i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i>)	71

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A.	Kesimpulan	74
B.	Saran	75

DAFTAR PUSTAKA.....76

LAMPIRAN.....83

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Jenis Kisi Bravais.....	9
Tabel 2. Bahan-Bahan Semikonduktor.....	23
Tabel 3. Parameter Pembuatan Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}).....	53
Tabel 4. Perbandingan Hasil XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 1 dengan JCPDS No.47-1179.....	66
Tabel 5. Perbandingan Hasil XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 2 dengan JCPDS No.47-1179.....	66
Tabel 6. Perbandingan Hasil XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3 dengan JCPDS No.47-1179.....	66
Tabel 7. Parameter Kisi Hasil Metode Analitik Sampel 1, 2, dan 3 terhadap Data JCPDS No.47-1179.....	67
Tabel 8. Tabulasi Data Histogram.....	70
Tabel 9. Data Komposisi Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3.....	72
Tabel 10. Hasil Perbandingan Konsentrasi Atomic, Perbandingan Molaritas, dan Perbandingan Teori.....	72

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Material Silikon Oksida (SiO_2) dalam Bentuk Kristal.....	7
Gambar 2. Tiga Bentuk Kristal Kubus.....	8
Gambar 3. Satu Unit Sel dalam Tiga Dimensi.....	8
Gambar 4. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal.....	8
Gambar 5. Empat Belas Jenis Kisi Bravais.....	10
Gambar 6. Penandaan Bidang oleh Indeks Miller.....	11
Gambar 7. Perpotongan Bidang dan Sumbu.....	11
Gambar 8. Struktur Pita Energi (a). Logam (Konduktor) (b). Isolator dan (c). Semikonduktor	15
Gambar 9. Semikonduktor Intrinsik.....	17
Gambar 10. Struktur Pita Tipe n.....	18
Gambar 11. Konduktivitas Tipe n.....	18
Gambar 12. Struktur Pita Tipe p.....	19
Gambar 13. Konduktivitas Tipe p.....	19
Gambar 14. Proses Paduan Bahan p-n dari In dan Ge.....	20
Gambar 15. Alat Difusi Ketidak murnian.....	21
Gambar 16. Tabung Reaksi untuk Pertumbuhan Lapisan Epitaksi.....	22
Gambar 17. Skematis dari Alat Pencangkukan Ion.....	22
Gambar 18. Daerah Kerja Pompa Vakum.....	27
Gambar 19. Skema <i>Rotary Vane Pump</i>	28
Gambar 20. Skema <i>Roots Pump</i>	28
Gambar 21. Skema <i>Diffusion Pump</i>	29
Gambar 22. Skema <i>Turbomolecular Pump</i>	29
Gambar 23. Skema <i>Cryopump</i>	30
Gambar 24. Skema <i>Ion Pump</i>	31
Gambar 25. Skema Sistem Evaporasi Vakum.....	33
Gambar 26. Spektru Elektromagnetik.....	35
Gambar 27. Pembentukan Sinar-X.....	35
Gambar 28. Spektrum Sinar-X Kontinyu Mo	36

Gambar 29. Spektrum Sinar-X Karakteristik Mo pada 35kV.....	37
Gambar 30. Skema Transisi Elektron pada Atom	39
Gambar 31. Berkas Difraksi Sinar-X	40
Gambar 32. Skema Dasar XRD.....	41
Gambar 33. Skema Dasar SEM	42
Gambar 34. Prinsip Dasar EDAX.....	44
Gambar 35. Penyebaran Panjang Gelombang Cahaya Surya di atas Atmosfer (garis titik-titik) dan di Permukaan Bumi (garis hitam).....	45
Gambar 36. Sambungan Semikonduktor Tipe p dan Tipe n	46
Gambar 37. Diagram Alir Tahap Penelitian	59
Gambar 38. Hasil Preparasi Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) (a) Sampel 1 dengan massa bahan masif 0,1 gram; (b) Sampel 2 dengan massa bahan masif 0,15 gram; dan (c) Sampel 3 dengan massa bahan masif 0,2 gram.....	60
Gambar 39. Difraktogram XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 1 dengan Massa Bahan Masif 0,1 gram.....	61
Gambar 40. Difraktogram XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 2 dengan Massa Bahan Masif 0,15 gram.....	62
Gambar 41. Difraktogram XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3 dengan Massa Bahan Masif 0,2 gram.....	62
Gambar 42. Difraktogram XRD Bahan Masif Cd(S _{0,8} Te _{0,2})	63
Gambar 43. Difraktogram XRD Gabungan Lapisan Tipis Sampel 1, Sampel 2, Sampel 3, dan Masif Cd(S _{0,8} Te _{0,2})	63
Gambar 44. Data JCPDS pada CdS.....	64
Gambar 45. Data JCPDS pada CdTe.....	64
Gambar 46. SEM Perbesaran 20.000 Kali	68
Gambar 47. SEM Perbesaran 30.000 Kali	69
Gambar 48. SEM Perbesaran 40.000 Kali	69

Gambar 49. Grafik Histogram Hubungan antara Jumlah dengan Ukuran Diameter <i>Grain</i>	70
Gambar 50. Spektrum EDAX Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Hasil Karakterisasi XRD Bahan Masif dan Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2})	83
Lampiran 2. Analisis Hasil XRD	87
Lampiran 3. Proses Mengukur Diameter <i>Grain</i> Hasil SEM Perbesaran 20.000 Kali pada Lapisan Tipis Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) Sampel 3	96
Lampiran 4. Hasil EDAX Bahan Masif Cd(S _{0,8} Te _{0,2})	101
Lampiran 5. JCPDS CdS No.47-1179	102
Lampiran 6. Gambar Alat	103
Lampiran 7. Bahan	105

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan zaman yang semakin modern ini merupakan hasil dari kemajuan teknologi yang pesat dari berbagai bidang keilmuan, apalagi pada bidang elektronika. Piranti elektronika yang kita lihat sehari-hari seperti handphone, laptop, komputer, lampu, printer, dan lainnya merupakan perkembangan sistem peralatan yang dapat digunakan untuk memenuhi berbagai keperluan kehidupan manusia. Selain itu juga sudah banyak berdiri industri-industri elektronika yang dapat memproduksi piranti tersebut dalam jumlah banyak atau skala besar. Perkembangan sistem peralatan elektronika ini tidak luput dari kebutuhan energi, khususnya energi listrik, maka energi listrik untuk saat ini menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia (Ningrum, 2017: 1).

Kebutuhan manusia akan energi sangatlah besar dan akan semakin meningkat setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan pertumbuhan populasi manusia yang sangat cepat, mengingat Indonesia yang merupakan negara dengan populasi manusia terbanyak keempat di dunia. Seiring berkembangnya waktu, cadangan minyak bumi, gas alam, batu bara sebagai sumber energi fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan akan kian menipis, sehingga terjadi kekurangan energi yang besar. Suatu sumber energi alternatif yang terbarukan diperlukan sebagai cadangan energi untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Matahari merupakan salah satu sumber energi yang sangat besar dan mempunyai spektrum dengan panjang gelombang dari 250 nm sampai 2500 nm yang memiliki potensi besar untuk diubah menjadi energi terbarukan (Khoirunisa', 2017: 1). Pasokan energi dari matahari ke bumi sangat besar, yaitu 3×10^{24} Joule setahun atau sekitar 10.000 kali konsumsi untuk populasi global saat ini. Jika kita menutupi 0,1 % permukaan bumi dengan sel surya yang efisiensinya 10 %, maka kebutuhan energi saat ini akan terpenuhi dengan mudah (Akhiruddin, 2010). Indonesia merupakan negara dengan wilayah negara terluas menerima radiasi energi surya

harian rata-rata persatuan luas persatuan waktu kurang lebih sebesar $4,8 \text{ kW/m}^2$ (Ariswan, 2010: 2).

Energi surya yang sangat berpotensi sebagai energi alternatif telah marak diteliti akhir-akhir ini. Perkembangan ilmu fisika khususnya pada bidang material dan elektronika memiliki peranan penting dalam memacu perkembangan teknologi pembangkit listrik tenaga surya yang biasa disebut teknologi sel surya (*photovoltaic*). Teknologi sel surya (*photovoltaic*) adalah teknologi yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan piranti semikonduktor yang memiliki sambungan p-n. Semikondutor adalah bahan yang memiliki sifat setengah konduktor karena energi gap nya lebih sempit dari bahan isolator namun lebih lebar dari bahan konduktor. Konuktivitas bahan semikondutor sebesar 10^3 sampai $10^{-8} \text{ } 1/\Omega\text{cm}$ (Ariswan, 2013).

Efek fotovoltaik pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839. Einstein menjelaskan secara teori, mekanisme fenomena tersebut dalam eksperimennya di laboratorium pada tahun 1912. Sel surya baru bisa direalisasikan untuk pertama kalinya pada tahun 1950 setelah perang dunia ke II. Penelitian sel surya dilakukan secara intensif pada tahun 1970, karena mengalami krisis energi. Tahun 1979 dibangunlah pembangkit listrik tenaga surya yang telah mencapai 1 MWatt (Ariswan, 2013).

Berbagai bahan material telah diteliti untuk perkembangan teknologi sel surya, terdapat dua bahan semikondutor golongan IV, yaitu Germanium dan Silikon yang baik untuk bahan pembuatan sel surya. Germanium merupakan bahan yang pertama kali dicoba untuk pembuatan sel surya, namun silikon yang sering digunakan saat ini sebagai bahan pembuatan sel surya, karena silikon memiliki energi gap sebesar 1,1 eV yang dapat menyerap spektrum matahari lebih banyak (Rio, 1982: 51). Bahan material lainnya yang banyak dikembangkan adalah perpaduan dari bahan material golongan II dengan golongan IV, golongan II dengan VI baik *binary* (perpaduan dua unsur) ataupun *ternary* (perpaduan tiga unsur) (Setiawan, 2007).

Bahan semikonduktor yang menjadi perhatian saat ini dan memiliki potensi untuk diaplikasikan pada piranti sel surya adalah Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Bahan semikonduktor Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dapat dibuat dengan memperhatikan perbandingan molaritas dari masing-masing bahan. Penelitian ini menggunakan bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang memiliki perbandingan molaritas bahan Cd : S : Te sebesar 1 : 0,8 : 0,2. Arti kata masif adalah utuh dan padat. Bahan masif yang dimaksud adalah bahan dasar Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang berbentuk serbuk dan belum menjadi lapisan tipis, meskipun dalam bentuk serbuk tidak mengubah sifat fisik dan strukturnya. Perbandingan molaritas bahan Cd : S : Te sebesar 1 : 0,8 : 0,2 digunakan, mengikuti aturan pembuatan bahan semikonduktor dengan paduan tiga unsur (*ternary*) yaitu Cd(S_xTe_{1-x}). Unsur Cd dan S lebih dominan daripada Te diharapkan menghasilkan bahan semikonduktor yang memiliki sifat dan struktur bahan CdS. Doping Te pada CdS yang memiliki energi gap sebesar 2,4 eV diharapakan akan menurunkan nilai energi gap CdS nya pada nilai antara 1,5 eV - 2,4 eV, supaya bahan dapat menyerap spektrum panjang gelombang matahari lebih banyak dan berpotensi sebagai kandidat bahan sel surya. CdS (semikonduktor tipe-n) dan CdTe (semikonduktor tipe-p) merupakan bahan semikonduktor perpaduan antara golongan IIB (Cd) dan golongan VIA (S, Te). Menurut Asyari D. Yunus (2010), CdS memiliki energi gap sebesar 2,40 eV. CdTe memiliki energi gap sebesar 1,51 eV menurut G. Fonthal, dkk (2000). Rentang energi gap 1,5 eV - 2,4 eV dianggap cocok untuk aplikasi sel surya, karena energi gap tersebut termasuk dalam rentang energi gap untuk bahan semikonduktor yang dapat menyerap energi surya pada spektrum panjang gelombang matahari antara 250 nm sampai 2500 nm (Ariswan, 2011).

Perkembangan proses pembuatan lapisan tipis hingga saat ini sudah menjangkau pada berbagai bidang keilmuan, antara lain pada bidang material dan elektronika. Metode penumbuhan kristal dalam bentuk lapisan tipis secara garis besar ada dua teknik, yaitu *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD). Pada *Physical Vapor Deposition* (PVD) terdapat teknik-teknik meliputi *Vacuum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition*

(CSVD), dan *Sputtering* sedangkan pada *Chemical Vapor Deposition* (CVD) meliputi *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) dan *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD) (Setianingrum, 2016: 24).

Vacuum Evaporation atau teknik evaporasi vakum merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk membuat lapisan tipis dengan cara penguapan bahan pada ruang atau tabung vakum. Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik ini dapat dipengaruhi oleh temperatur substrat, temperatur cawan bahan, tekanan gas ruang vakum, laju deposisi, dan *spacer* atau jarak antara cawan dengan substrat. Beberapa kelebihan dari teknik evaporasi vakum antara lain: hasil evaporasi lebih baik dan merata pada permukaan substrat serta lapisannya lebih tipis. Teknik ini juga mampu menstabilisasi struktur bahan yang tetap, tekanan penguapan bahan tidak terlalu rendah, sehingga dapat terjangkau dalam skala laboratorium (Khoirunisa', 2017: 4).

Parameter kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) ditunjukkan oleh struktur kristal, parameter kisi kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia. Kualitas kristal tersebut dapat diketahui dengan melakukan beberapa karakterisasi yaitu karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX). Karakterisasi XRD untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal, SEM untuk mengetahui struktur morfologi permukaan, dan EDAX untuk mengetahui komposisi kimia secara kuantitatif. Pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang terbentuk, dapat diketahui dari hasil karakterisasi yang dilakukan. Karakterisasi XRD, SEM, dan EDAX merupakan karakterisasi tahap awal pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}), yang bertujuan untuk mengetahui kualitas pembentukan lapisan tipis. Pada penelitian ini dilakukan variasi massa bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) pada pembentukan lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum. Hal ini perlu dilakukan, karena belum diketahui massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, identifikasi masalahnya sebagai berikut:

1. Dibutuhkan informasi terkait karakteristik bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) melalui teknik evaporasi vakum yang berpotensi sebagai kandidat bahan sel surya.
2. Belum diketahui pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) berdasarkan struktur, morfologi permukaan, dan komposisi kimia dari hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum.
3. Belum diketahui massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini, dibatasi pada proses preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan teknik evaporasi vakum menggunakan jarak penyangga (*spacer*) antara sumber bahan pada cawan (*crucible*) dengan substrat sepanjang 15 cm, suhu substrat 360 °C, dan tekanan vakum 3×10^{-5} mbar. Masalah penelitian ini dibatasi pada upaya memperoleh bahan sel surya terbaik berbasis lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}).

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) melalui teknik evaporasi vakum yang berpotensi sebagai kandidat bahan sel surya?
2. Bagaimana pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) berdasarkan struktur, morfologi permukaan, dan komposisi kimia dari hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum?
3. Berapa massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya?

E. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan karakteristik bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) melalui teknik evaporasi vakum yang berpotensi sebagai kandidat bahan sel surya.
2. Menentukan pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) berdasarkan struktur, morfologi permukaan, dan komposisi kimia dari hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum.
3. Menentukan massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

F. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

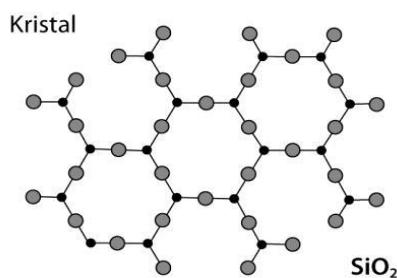
1. Menambah wawasan keilmuan dan bisa digunakan sebagai bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.
2. Memperoleh bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang berkualitas baik.
3. Bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) ini dapat digunakan sebagai bahan sel surya.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kristal

Kristal dapat didefinisikan sebagai padatan yang terdiri dari atom, ion atau molekul yang tersusun dalam pola periodik dalam tiga dimensi. Kristal berbeda secara fundamental dari gas dan cairan karena pengaturan atom, ion atau molekul tidak memiliki persyaratan esensial dari periodisitas. Kristal yang terdiri dari banyak kristal disebut polikristalin (Cullity and Stock, 2014: 31).

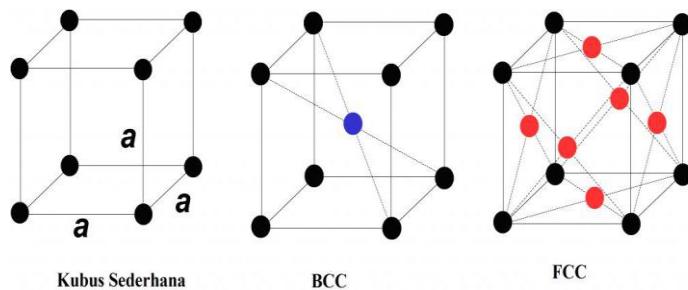


Gambar 1. Material Silikon Oksida (SiO₂) dalam Bentuk Kristal
(Astra, 2015)

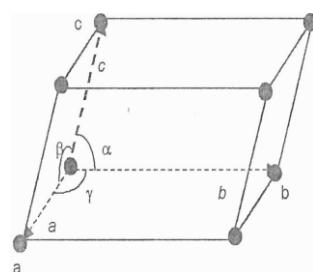
Berdasarkan strukturnya, kristal terdapat tiga jenis yaitu monokristal, polikristal, dan amorf. Monokristal dapat diartikan sebagai kristal tunggal yang merupakan kristal dimana atom-atomnya tersusun secara teratur dengan pola berulang dan periodik. Polikristal adalah kumpulan dari banyaknya monokristal yang berukuran sangat kecil dan saling menumpuk sehingga membentuk benda padat. Sedangkan untuk amorf, amorf memiliki atom-atom penyusun yang acak atau tidak teratur dan juga tidak periodik (Ariswan, 2015).

1. Struktur Kristal

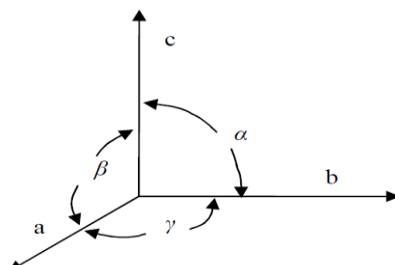
Pembagian ruang oleh tiga kumpulan bidang-bidang akan menghasilkan unit sel yang bermacam-macam bentuk. Misalnya jika bidang-bidang dalam ketiga kumpulan semua jaraknya sama dan saling tegak lurus, maka unit sel tersebut akan berbentuk kubus atau kubik. Dalam hal ini vektor-vektor \vec{a} , \vec{b} , dan \vec{c} adalah sama, atau $a = b = c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ (Suud, 1998). Sistem kristal kubus dapat dibagi menjadi tiga bentuk, yakni kubus sederhana (*simple cubic* atau SC), kubus berpusat badan (*body centered cubic* atau BCC), dan kubus berpusat muka (*face centered cubic* atau FCC) (Rusli, 2017).



Gambar 2. Tiga Bentuk Kristal Kubus (Rusli, 2017)



Gambar 3. Satu Unit Sel dalam Tiga Dimensi (Suud, 1998)

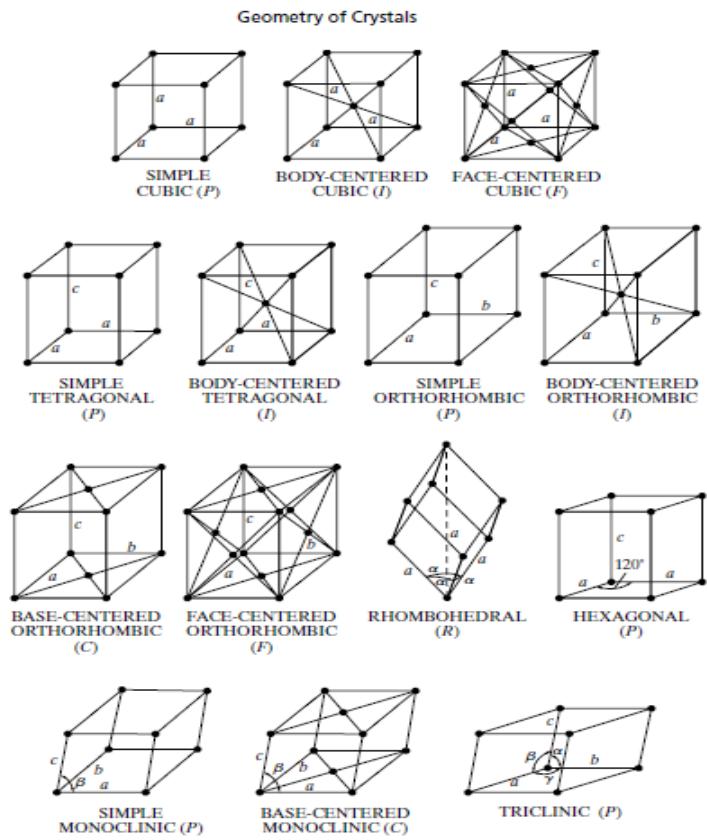


Gambar 4. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal
 (Istiyono, 2000)

Penentuan suatu harga pada panjang sumbu dan besar sudut, maka terdapat bermacam bentuk unit sel dan bermacam jenis dari kisi-kisi tertentu. Bentuk ini hanya menghasilkan tujuh macam jenis yang disebut tujuh sistem kristal. Ada 14 jenis kisi-kisi Bravais yang berbeda. Landasan penjenisan yang relatif kecil ini jumlahnya adalah sebagai konsekuensi dari translasi simetri yang dituntut dari kisi (Suud, 1998).

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Jenis Kisi Bravais
 (Cullity, 1956: 31)

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	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \gamma \neq \beta \neq 90^\circ$	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



Gambar 5. Empat Belas Jenis Kisi Bravais

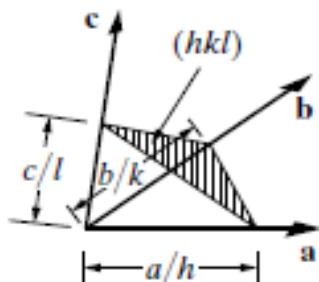
(Cullity and Stock, 2014: 45)

2. Indeks Miller

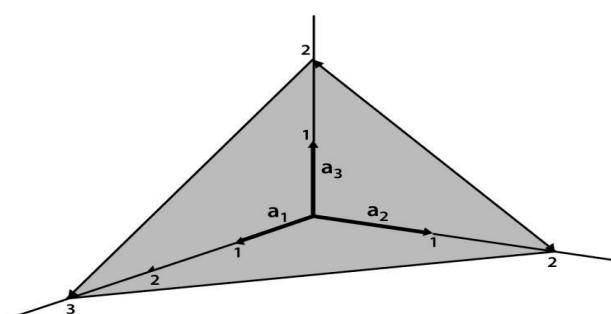
Orientasi bidang dalam kisi dapat direpresentasikan secara simbolis, menurut sistem yang dipopulerkan oleh Miller seorang ahli kristalografi dari Inggris. Pada umumnya, bidang yang diberikan akan dimiringkan sehubungan dengan kristalografi sumbu dan karena sumbu ini membentuk kerangka acuan yang nyaman, orientasi bidang bisa digambarkan dengan memberikan jarak aktual, diukur dari titik asal di mana ia mencegat tiga sumbu. Lebih baik lagi dengan menyatakan jarak ini sebagai pecahan dari panjang aksial, bilangan menjadi independen dari panjang aksial yang terlibat dalam kisi yang diberikan. Tetapi kemudian muncul kesulitan ketika bidang yang diberikan sejajar dengan sumbu kristalografi tertentu, karena bidang tersebut tidak memotong sumbu itu, "intersep"-nya hanya dapat digambarkan sebagai "tak terbatas". Untuk menghindari pengenalan *infinity* ke dalam deskripsi orientasi bidang, timbal balik

dari intersepsi fraksional digunakan, timbal balik ini menjadi nol ketika bidang dan sumbu parallel (Cullity and Stock, 2014: 35 – 36).

Simbolisme yang bisa diterapkan menghasilkan orientasi sebuah bidang dalam kisi. Indeks Miller yang didefinisikan sebagai kebalikan dari fraksional memotong, yang dibuat bidang dengan sumbu kristalografi. Sebagai contoh, jika indeks Miller dari sebuah bidang adalah (hkl) , ditulis dalam tanda kurung, maka bidang tersebut membuat penyimpangan fraksional dari $1/h$, $1/k$, $1/l$ dengan sumbu, dan jika panjang aksial adalah a , b , c , bidang membuat penyadapan aktual a/h , b/k , c/l , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Paralel dengan bidang apa pun dalam kisi apa pun, ada seluruh rangkaian persamaan paralel bidang, salah satunya melewati asal. Indeks Miller (hkl) biasanya merujuk ke set bidang yang terdekat dengan asalnya, meskipun mungkin diambil sebagai mengacu pada bidang lain di set atau seluruh set yang diambil bersama (Cullity and Stock, 2014: 36).



Gambar 6. Penandaan Bidang oleh Indeks Miller
(Cullity and Stock, 2014: 36)



Gambar 7. Perpotongan Bidang dan Sumbu (Astra, 2015)

Secara singkat langkah-langkah untuk menentukan Indeks Miller, antara lain sebagai berikut ini:

1. Menentukan titik potong (*intercepts*) pada sumbu koordinat sel satuan (x, y, z) yang memiliki konstanta kisi (a, b, c).
2. Membandingkan nilai titik potongnya dengan konstanta kisi, sehingga menjadi $(\frac{x}{a}); (\frac{y}{b}); (\frac{z}{c})$.
3. Mengambil kebalikan nilai (*reciprocals*) dari $(\frac{x}{a}); (\frac{y}{b}); (\frac{z}{c})$, sehingga menjadi $(\frac{a}{x}); (\frac{b}{y}); (\frac{c}{z})$. Hal ini perlu dilakukan untuk mengantisipasi jika ada nilai titik potong yang berupa nilai tak hingga (∞).
4. Mendefinisikan $h = (\frac{a}{x})$; $k = (\frac{b}{y})$; dan $l = (\frac{c}{z})$ dan mengalikannya dengan angka KPK saat nilai hkl nya masih ada yang berupa pecahan (*fraction*).

Suatu bidang XYZ memotong sumbu-sumbu di 1a, 2b, dan ∞ c. Kemudian nilai titik perpotongannya secara umum dinyatakan dengan 1; 2; dan ∞ . Maka indeks millernya yaitu:

$$hkl = h : k : l = 1 : \frac{1}{2} : 0$$

$$hkl = h : k : l = (1 : \frac{1}{2} : 0) \times 2$$

Sehingga nilai hkl nya adalah 2 1 0 (*clear fractions*) (Suryanarayana dan Norton, 1998: 43).

3. Parameter Kisi Orthorombik

Persamaan dasar untuk nilai $\sin^2 \theta$ pada sistem ortorombik adalah:

$$\sin^2 \theta = (Ah^2 + Bk^2 + Cl^2) \quad (1)$$

, masalah pengindeksan jauh lebih sulit di sini, karena ketiganya tidak diketahui konstanta A , B , dan C , dan harus ditentukan. Prosedur umum, yang juga panjang untuk menggambarkannya di sini adalah mencari perbedaan yang signifikan antara berbagai pasang nilai. Sebagai contoh, perhatikan dua baris yang memiliki indeks $hk0$ dan $hk1$, dengan hk yang sama untuk masing-masing, seperti 120 dan 121; perbedaan antara mereka adalah nilai C . Demikian pula, perbedaan antara nilai-nilai dua garis tersebut 310 dan 312 adalah C , dan seterusnya. Jika strukturnya demikian maka ada banyak garis hilang dari pola, karena faktor

struktur nol untuk yang sesuai bidang, maka kesulitan pengindeksan sangat meningkat, sejauh itu garis yang hilang mungkin merupakan jalur yang paling mudah dikenali petunjuk jika mereka ada. Meskipun kesulitan seperti itu, metode analitik ini telah berhasil diterapkan ke sejumlah pola ortorombik. Satu syarat untuk sukses adalah akurasi yang cukup tinggi dalam nilai-nilai (setidaknya $\pm 0,0005$). Oleh karena itu harus memperbaiki semua pengamatan untuk kesalahan sistematis sebelum mencoba mengindekskan (Cullity and Stock, 2014: 315).

Struktur kristal orthorombik mempunyai konstanta kisi a, b, c dimana $a \neq b \neq c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan jarak antar bidang sebagai berikut:

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

sementara persamaan Hukum Bragg adalah

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3)$$

mensubstitusikan persamaan Bragg, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

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

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

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4} \left(\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2} \right) \quad (6)$$

$$\text{misal, } A = \frac{\lambda^2}{4a^2} ; B = \frac{\lambda^2}{4b^2} ; C = \frac{\lambda^2}{4c^2} \quad (7)$$

, maka didapatkan persamaan berikut ini:

$$\sin^2 \theta = (Ah^2 + Bk^2 + Cl^2) \quad (8)$$

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

1. Saat nilai $h \neq 0, k = 0$, dan $l = 0$, maka

$$A = \frac{\sin^2 \theta}{h^2} \text{ dan } a = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4A}} \quad (9)$$

2. Saat nilai $h = 0$, $k \neq 0$, dan $l = 0$, maka

$$B = \frac{\sin^2 \theta}{k^2} \quad \text{dan } b = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4B}} \quad (10)$$

3. Saat nilai $h = 0$, $k = 0$, dan $l \neq 0$, maka

$$C = \frac{\sin^2 \theta}{l^2} \quad \text{dan } c = \sqrt{\frac{\lambda^2}{4C}} \quad (11)$$

4. Saat nilai

a. $h = 0$, $k \neq 0$, dan $l \neq 0$ misal $hkl = 0\ 3\ 7$

$$\sin^2 \theta = (Bk^2 + Cl^2); \quad (12)$$

b. $h \neq 0$, $k = 0$, dan $l \neq 0$ misal $hkl = 3\ 0\ 3$

$$\sin^2 \theta = (Ah^2 + Cl^2); \quad \text{dan} \quad (13)$$

c. $h \neq 0$, $k \neq 0$, dan $l = 0$ misal $hkl = 3\ 2\ 0$

$$\sin^2 \theta = (Ah^2 + Bk^2); \quad (14)$$

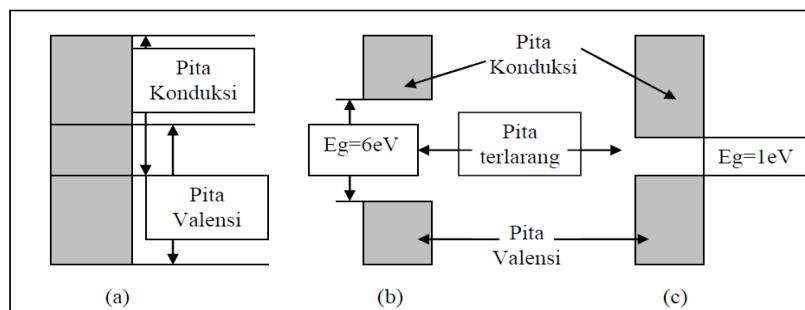
maka perlu dilakukan suatu eliminasi persamaan dan juga substitusi untuk menentukan nilai parameter kisi a , b , c nya satu persatu. Eliminasi persamaan dilakukan untuk dua persamaan $\sin^2 \theta$ yang memiliki pola hkl yang sama, misalnya $hkl = 3\ 2\ 0$ dengan $4\ 2\ 0$; $3\ 0\ 3$ dengan $3\ 0\ 2$; lalu $0\ 2\ 2$ dengan $0\ 2\ 1$. Kemudian substitusi dilakukan saat diketahui salah satu nilai dari parameter kisi a , b , c nya (Khoirunisa', 2017: 13-14).

B. Semikonduktor

Suatu bahan zat padat berdasarkan kemampuannya untuk menghantarkan arus listrik, dapat dibedakan menjadi tiga macam. Logam adalah suatu pengantar listrik yang baik dan disebut konduktor. Konduktor tersusun oleh atom-atom yang memiliki elektron terluar yang tidak berpasangan dengan elektron lain. Elektron-elektron tersebut bersifat hampir bebas sehingga memungkinkan sangat mudahnya untuk bisa menghantarkan arus listrik. Dalam penggambaran pita energi suatu konduktor, struktur pitanya hanya sebagian saja yang berisi elektron. Pita energi yang terisi elektron hampir bebas tersebut dan hanya menempati sebagian pita energi disebut pita konduksi (Ariswan, 2015).

Suatu bahan yang sangat buruk dalam hal menghantarkan listrik disebut isolator. Isolator merupakan bahan yang tersusun oleh atom-atom yang seluruh elektronnya pada tingkatan-tingkatan energi atomnya telah berpasangan. Struktur pita energi isolator memiliki daerah terlarang yang tidak mengandung keadaan kuantum dengan besar band gap sekitar 6 eV. Pita terlarang ini memisahkan pita valensi yang berisi elektron berpasangan dengan pita konduksi yang kosong. Energi dari medan eksternal terlalu kecil untuk memindahkan elektron melewati band gapnya sehingga tidak terjadi proses penghantaran arus listrik (Ariswan, 2015).

Sedangkan bahan dengan lebar pita terlarang E_g yang relatif kecil sekitar 1 eV disebut semikonduktor. Pada suhu nol kelvin, bahan semikonduktor bersifat isolator. Bahan tersebut merupakan bahan dasar untuk komponen aktif dalam piranti elektronik seperti diode, transistor dan piranti-piranti teknologi konversi seperti Sel Surya. Grafit misalnya adalah karbon berbentuk kristal dengan simetri kristal berbeda dengan intan, memiliki band gap yang lebih kecil dengan intan dan grafit bersifat semikonduktor. Semikonduktor yang sangat banyak dipakai adalah silikon dan germanium yang memiliki E_g berturut-turut 1,21 eV dan 0,785 eV pada suhu 0 K. Energi sebesar itu biasanya tidak dapat diperoleh dari medan yang diterapkan. Oleh karena pita valensi tetap penuh dan pita konduksi kosong sehingga pada suhu tersebut bahan bersifat isolator. Apabila temperatur dinaikkan sebagian elektron valensi memperoleh panas termal yang lebih besar dari E_g , oleh karena itu elektron-elektron itu memasuki pita konduksi sebagai elektron hampir bebas dan meninggalkan hole di pita valensi. Bahan tersebut bersifat sebagai konduktor dengan pembawa muatannya berupa elektron dan hole (Ariswan, 2015).



Gambar 8. Struktur Pita Energi (a). Logam (Konduktor) (b). Isolator dan
(c). Semikonduktor (Ariswan, 2015)

Pada umumnya, semikonduktor didefinisikan berdasarkan konduktivitas listriknya, yakni semikonduktor merupakan bahan yang memiliki resistivitas sebesar (10^{-4} sampai dengan $0,5 \Omega\text{m}$) antara konduktor dan isolator, contohnya germanium, silikon, karbon, selenium, dan lainnya (Sumarna, 2015).

Sifat-sifat semikonduktor:

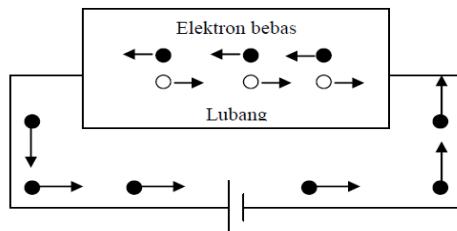
- a. Resistivitas semikonduktor lebih kecil dari pada isolator tetapi lebih besar dari pada konduktor.
- b. Semikonduktor memiliki resistansi dengan koefisien suhu negatif, yaitu bahwa resistansi semikonduktor menurun dengan kenaikan suhu dan sebaliknya. Sebagai contoh, germanium menjadi isolator pada suhu rendah tetapi merupakan konduktor yang baik pada suhu tinggi.
- c. Ketika ketidak murnian metalik yang tepat (seperti arsenik, gallium, dsb) ditambahkan ke dalam semikonduktor, maka sifat-sifat konduksi arusnya berubah cukup besar. Inilah sifat yang paling khas dan penting.

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor dalam bentuk yang paling murni dikenal sebagai semikonduktor intrinsik. Dalam semikonduktor intrinsik, pada suhu kamar, pasangan lubang-elektron tercipta. Ketika medan listrik di kenakan menyilang semikonduktor intrinsik, konduksi arus terjadi melalui dua proses, sebutlah oleh elektron bebas dan lubang. Elektron bebas dihasilkan karena patahnya beberapa ikatan kovalen oleh energi termal. Pada saat yang sama lubang terbentuk dalam ikatan kovalen itu. Di bawah pengaruh medan listrik pengkonduksian yang melalui semikonduktor itu karena elektron dan lubang. Karena itu, arus total di dalam semikonduktor merupakan jumlah dari arus oleh elektron bebas dan lubang (Sumarna, 2015).

Ingin bahwa arus dalam kawat di luar semikonduktor sepenuhnya karena elektron. Lubang yang merupakan muatan positif bergerak menuju terminal negatif pencatu daya. Ketika lubang mencapai terminal negatif, maka elektron masuk ke dalam kristal semikonduktor dekat terminal itu dan bergabung dengan

lubang, kemudian saling menghapuskan. Pada saat yang sama, elektron yang terikat longgar dekat terminal positif ditarik menjauh dari atom-atomnya menuju terminal positif. Hal ini menciptakan lubang baru dekat terminal positif yang akan bergeser lagi menuju terminal negatif (Sumarna, 2015).



Gambar 9. Semikonduktor Intrinsik (Sumarna, 2015)

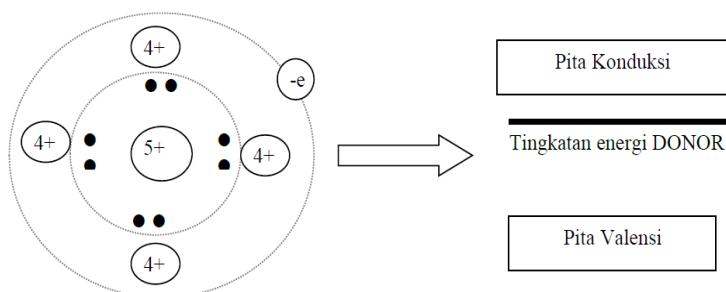
2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor intrinsik mempunyai kemampuan konduksi arus kecil pada suhu kamar. Untuk menjadi berguna sebagai piranti elektronik, semikonduktor murni harus diubah sedemikian hingga secara signifikan menaikkan sifat konduksinya. Ini dicapai dengan menambahkan sedikit impuritas (ketidak murnian) yang sesuai ke dalam semikonduktor itu. Ini kemudian disebut semikonduktor ekstrinsik atau tak murni. Proses penambahan impuritas ke dalam semikonduktor dikenal sebagai doping. Jumlah dan jenis impuritas itu dikendalikan dengan teliti selama pengolahan semikonduktor intrinsik (Sumarna, 2015).

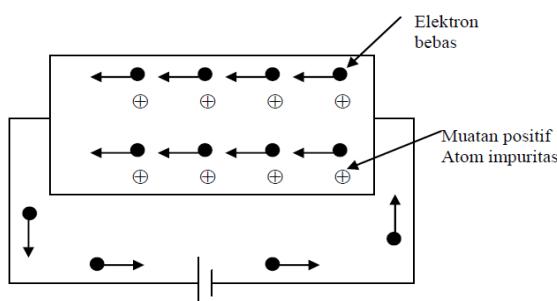
Pada umumnya 10^8 atom semikonduktor dengan satu atom impuritas yang ditambahkan. Maksud penambahan impuritas adalah untuk menaikkan jumlah elektron bebas atau lubang dalam kristal semikonduktor. Jika impuritas pentavalen (memiliki 5 elektron valensi) ditambahkan ke dalam semikonduktor, maka dihasilkan sejumlah besar elektron bebas di dalam semikonduktor itu. Dengan kata lain, penambahan impuritas trivalen (memiliki 3 elektron valensi) menciptakan sejumlah lubang dalam kristal semikonduktor. Tergantung pada jenis impuritas yang ditambahkan, semikonduktor ekstrinsik dikelompokkan ke dalam (a) semikonduktor tipe n dan (b) semikonduktor tipe p (Sumarna, 2015).

a. Semikonduktor Tipe n

Ketika sejumlah kecil impuritas pentavalen ditambahkan pada semikonduktor murni akan dihasilkan semikonduktor tipe n. Penambahan impuritas pentavalen menyediakan sejumlah besar elektron bebas dalam kristal semikonduktor. Contoh khas impuritas pentavalen adalah arsen dan antimon. Impuritas yang menghasilkan semikonduktor tipe n dikenal sebagai impuritas donor karena ia memberikan atau menyediakan elektron bebas kepada kristal semikonduktor (Sumarna, 2015).



Gambar 10. Struktur Pita Tipe n (Ariswan, 2015)

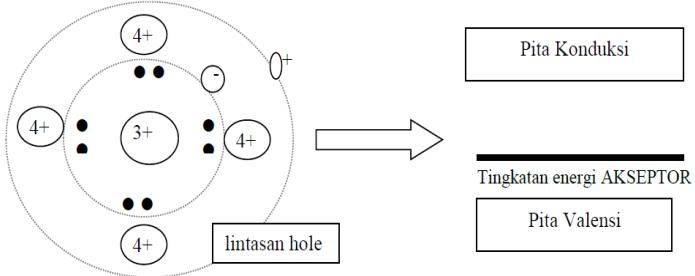


Gambar 11. Konduktivitas Tipe n (Sumarna, 2015)

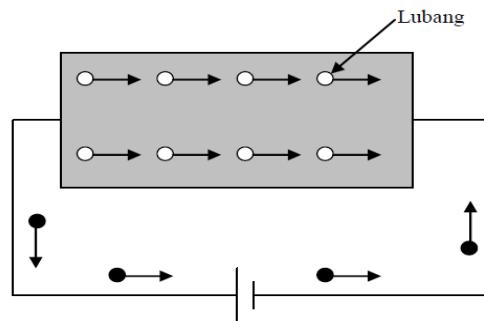
b. Semikonduktor Tipe p

Ketika sejumlah kecil impuritas trivalen ditambahkan pada semikonduktor murni, itu disebut semikonduktor tipe p. Penambahan impuritas trivalen menyediakan sejumlah besar lubang dalam semikonduktor itu. Contoh khas dari impuritas trivalen adalah gallium dan indium. Impuritas tersebut akan

menghasilkan semikonduktor tipe p yang dikenal sebagai impuritas ekseptor karena lubang yang dihasilkan dapat menerima elektron (Sumarna, 2015).



Gambar 12. Struktur Pita Tipe p (Ariswan, 2015)



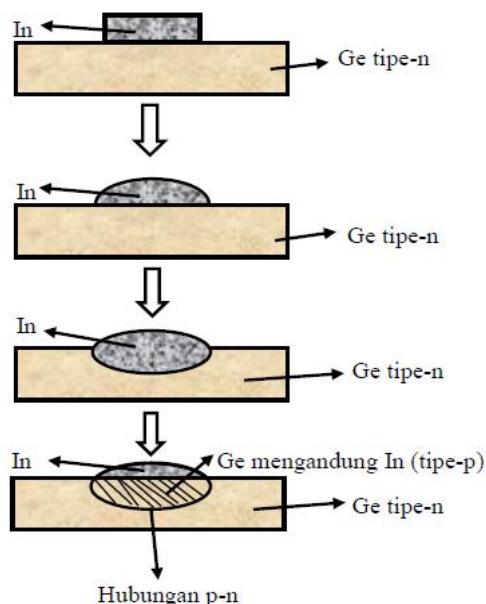
Gambar 13. Konduktivitas Tipe p (Sumarna, 2015)

3. Pembuatan Hubungan p-n

Ketika semikonduktor tipe n dihubungkan secara tepat dengan semikonduktor tipe p, maka permukaan singgungnya (kontak) disebut hubungan p-n. Kebanyakan piranti semikonduktor terdiri dari satu atau lebih hubungan p-n. Hubungan p-n tersebut merupakan hal yang sangat penting karena efek suatu unsur kendali untuk piranti semikonduktor. Pemahaman yang mantap mengenai pembentukan dan sifat-sifat hubungan p-n merupakan dasar untuk menguasai piranti semikonduktor. Dalam praktek yang sebenarnya, sifat-sifat khas dari hubungan p-n tidak akan kelihatan jelas jika balok tipe p hanya ditempelkan pada balok tipe n. Ternyata hubungan p-n difabrikasi dengan metode tertentu (Sumarna, 2015). Berikut ada empat metode pembuatan hubungan p-n yang bisa dilakukan (Rio dan Lida, 1980: 162).

a. Metode Paduan

Dalam metode paduan sepotong kecil bahan logam untuk memberi ketidak murnian yang akan bekerja sebagai donor atau aseptor, ditempatkan di atas bahan kristal semikonduktor yang akan bertindak sebagai substrat, kemudian dipanasakan dan terbentuklah hubungan p-n. Cara ini sangat efektif pada pembuatan hubungan p-n dari Ge. Hal ini karena adanya In yang merupakan bahan dengan titik leleh yang rendah, bekerja sebagai aseptor. Itu sebuah contoh yang menggambarkan fabrikasi dari hubungan p-n (Rio dan Lida, 1980: 162).



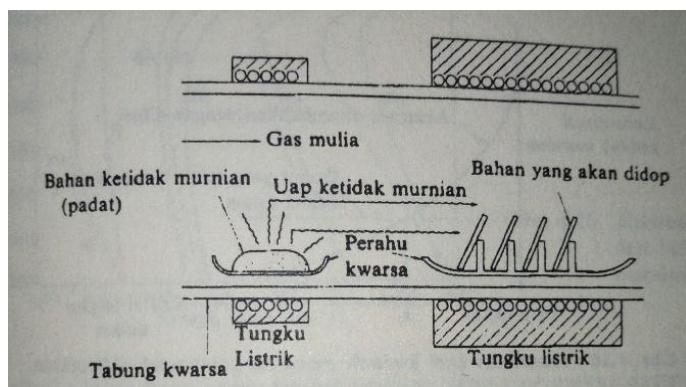
Gambar 14. Proses Paduan Bahan p-n dari In dan Ge
(Rio dan Lida, 1980: 163)

Berdasarkan Gambar 14, menunjukkan proses paduan bahan p-n dari In dan Ge. Pertama-tama, sepotong kecil In ditempatkan di atas keping Ge tipe-n (substrat) dan dimasukkan ke dalam tungku listrik (alat pemaduan). Lalu temperatur tungku listrik dinaikkan, potongan In mulai meleleh pada suhu 157 °C (titik lelehnya), tetapi Ge belum meleleh. Selanjutnya, temperatur dinaikkan sampai 550 °C, beberapa bagian Ge mulai larut ke dalam In cair. Pada saat pendinginan, terjadi pengkristalan kembali dari Ge yang mengandung In dengan

konsentrasi tinggi, menjadi tipe-p. Hasilnya, terbentuk hubungan p-n (Rio dan Lida, 1980: 162).

b. Metode Difusi

Dalam metode ini ketidak murnian yang ditambahkan didifusikan pada permukaan dari kristal semikonduktor yang dipanaskan dalam temperature tinggi, maka terbentuklah hubungan p-n. Prosesnya yaitu dimana tungku listrik yang mempunyai daerah penguapan bahan ketidak murnian, dan daerah untuk memanaskan semikonduktor. Gas mulia dialirkan melalui tabung kwarsa, membawa uap dari bahan ketidak murnian yang disampaikan ke semikonduktor. Bila substrat adalah kristal tipe n, didifusi dengan bahan ketidak murnian tipe p, maka akan terbentuk hubungan p-n di dekat permukaan dari kristal tipe n tadi (Rio dan Lida, 1980: 164).

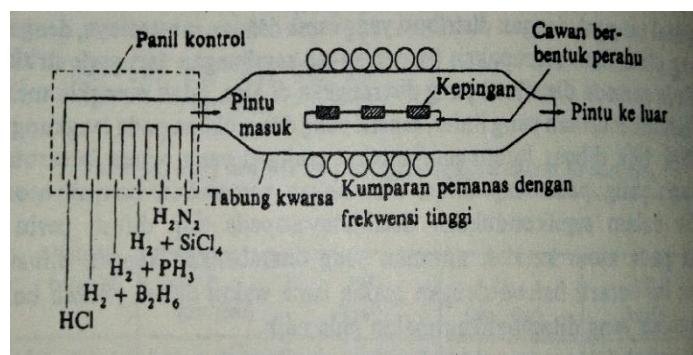


Gambar 15. Alat Difusi Ketidak murnian (Rio dan Lida, 1980: 165)

c. Metode Epitaksi

Epitaksi didefinisikan sebagai penyusun atom-atom di atas substrat kristal tunggal, dengan distribusi yang sama dengan substratnya, dengan susunan lapisan yang dihasilkan merupakan perpanjangan atau sambungan dari garis struktur kristal substrat. Prosesnya yaitu sebuah tabung kwarsa yang panjang mempunyai pintu masuk dan keluar pada ujung-ujungnya, kumparan pemanas dengan frekuensi tinggi dililitkan pada tabung itu. Mula-mula keping-keping substrat yang telah diolah secara mekanis dan kimia permukaannya, dan telah dicuci akhir, ditempatkan pada cawan berbentuk perahu, dan perahu itu ditempatkan dalam tungku reaksi. Sistem ini ditutup, dan gas N₂ dialirkan untuk menghalau udara

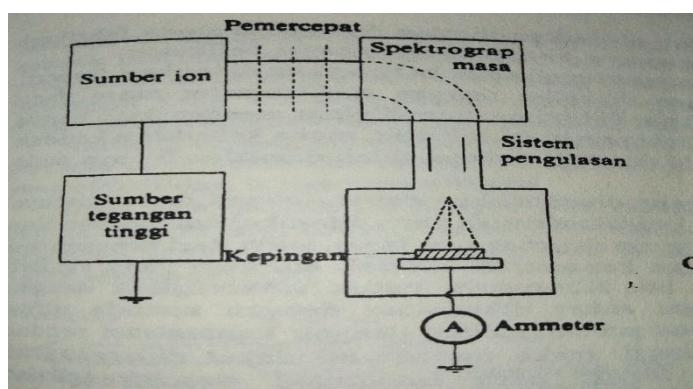
yang ada dalam tabung. Lalu H_2 dialirkan ke dalam tabung (dengan kecepatan 50 l/min) dan keping substrat dipanaskan hingga $1200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ oleh kumparan pemanas induksi frekuensi tinggi. Bila temperatur sudah naik hingga konstan, kemudian gas HCl dialirkan ke dalam tabung. Terbentuk lapisan tipe n pada substrat dengan tebal 25 μm . Bila substrat memiliki tipe konduksi yang berlainan dengan lapisan epitaksinya maka terbentuklah hubungan p-n (Rio dan Lida, 1980: 174).



Gambar 16. Tabung Reaksi untuk Pertumbuhan Lapisan Epitaksi
(Rio dan Lida, 1980: 174)

d. Metode Pencangkokan Ion

Dalam metode pencangkokan ion, ketidak murnian yang aktif diionkan dan dipercepat dengan energi yang tinggi dan dicangkokan langsung ke dalam substrat. Karena ada ion yang tidak dikehendaki juga ikut ditimbulkan disamping ion ketidak murnian dalam proses ionisasi ini, maka dipergunakan spektrograf massa untuk hanya mengambil ketidak murnian yang dikehendaki saja. Berkas dari ion diulaskan dengan alat pengulas untuk menghasilkan pencangkokan yang uniform pada target (Rio dan Lida, 1980: 176).



Gambar 17. Skematis dari Alat Pencangkokan Ion
 (Rio dan Lida, 1980: 177)

C. Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor adalah bahan dengan energi gap sekitar 1–2 eV. Bahan ini pada suhu nol kelvin bersifat isolator, jika suhu dinaikkan maka terjadi generasi elektron-hole termal sehingga bahan berubah menjadi konduktor (Ariswan, 2015). Bahan-bahan yang merupakan semikonduktor disajikan pada Tabel 2 ini.

Tabel 2. Bahan-Bahan Semikonduktor (Puspitaningrum, 2017: 37)

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

1. *Cadmium (Cd)*

Cadmium (Cd) merupakan logam perak dengan semburat kebiruan ke permukaannya. *Cadmium* sering digunakan untuk melapisi baja dan melindunginya dari korosi (RSC, 2019). *Cadmium* merupakan bahan untuk semikonduktor pada golongan II B, dengan:

titik lebur = 321,069 °C, 609,924 °F, 594,219 K

titik didih = 767 °C, 1413 °F, 1040 K

kepadatan = 8,69 g cm⁻³

nomor atom = 48
massa atom relatif = 112,414 gram/mol
kekerasan = 1 - 2
sistem kristal = Heksagonal (Ralph, 2019).

2. *Sulfur* (S)

Sulfur (S) merupakan logam berwarna kelabu dalam bentuk pellet. Bahan ini menunjukkan sifat fotovoltaik dan sifat fotokonduktif yang berpotensi untuk sel surya (Fatmasari, 2018). *Sulfur* (S) termasuk bahan yang termasuk golongan VI A, dengan:

nomor atom = 16
massa atom relatif = 32,07 gram/mol
titik lebur = 115,21 °C
titik didih = 444,6 °C
sistem kristal = Orthorombik (Winter, 2019).

3. *Tellurium* (Te)

Tellurium (Te) merupakan bahan semikonduktor yang memiliki warna putih keperak-perakan, dalam keadaan murninya terlihat kilau logam, dan biasanya terbentuk dengan warna abu-abu gelap. *Tellurium* (Te) memiliki sifat konduktivitas listrik yang sedikit meningkat jika dikenai cahaya (Puspitaningrum, 2017). Bahan *Tellurium* (Te) termasuk golongan VI A, dengan:

nomor atom = 52
massa atom realtif = 127,6 gram/mol
titik lebur = 449,51 °C
titik didih = 989,9 °C
sistem kristal = Trigonal (Winter, 2019).

4. *Cadmium Sulfide* (CdS)

Cadmium Sulfide (CdS) merupakan semikonduktor yang terbentuk oleh perpaduan dari dua unsur yakni *Cadmium* (Cd) golongan II B dan *Sulfide* (S) golongan VI A. *Cadmium Sulfide* (CdS) berbentuk bubuk padat dengan warna kuning atau coklat, dan tidak dapat larut dalam air. Semikonduktor tipe n ini dapat

berfungsi sebagai *window* bagi material absorber lainnya (Makhnunah, 2011: 11).

Bahan CdS ini memiliki sifat konduktivitas listrik yang baik, dengan:

berat molekul = 144,46 gram/mol

titik lebur = 980 °C

gravitasi spesifik = 4,82 gram/cm³

energi gap = 2,45 eV

sistem kristal = 1. Heksagonal (Ariswan, 2013).

2. Orthorombik (Ariswan, 2011).

5. Cadmium Telluride (CdTe)

Cadmium Telluride (CdTe) merupakan semikonduktor yang terbentuk oleh perpaduan dari dua unsur yakni *Cadmium* (Cd) golongan II B dan *Tellurium* (Te) golongan VI A. *Cadmium Telluride* (CdTe) biasanya dalam bentuk bubuk atau kristal, kelarutannya sangat rendah dalam air, dan tergores oleh banyak asam. Bahan semikonduktor tipe p ini memiliki konduktivitas listrik yang baik, sifat pengabsorbsi, dan sifat afinitas elektron tinggi, dengan:

berat molekul = 240,01 gram/mol

kepadatan = 5,85 gram/cm³

titik lebur = 1092 °C

titik didih = 1130 °C

energi gap = 1,44 eV

sistem kristal = Kubik dan Heksagonal (Makhnunah, 2011: 9).

D. Bahan Masif

Bahan masif adalah istilah untuk bahan semikonduktor kristal tunggal dalam bentuk bulk atau ingot yang merupakan hasil penumbuhan teknik Bridgman. Bahan ini terbentuk dari paduan beberapa bahan yang telah dimurnikan (Istiyono, 2007: 3). Biasanya berbentuk serbuk bila untuk proses deposisi lapisan tipis, meskipun dalam bentuk serbuk tidak mengubah sifat fisik dan strukturnya (Ariswan, 2013).

E. Lapisan Tipis

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang terbuat dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal-organik (*organometallic*) dengan

ketebalan dalam orde nm (nanometer) sampai μm (mikrometer) yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator. Bahan-bahan lapisan tipis akan memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu memiliki sifat-sifat bahan yang diakibatkan oleh proses pertumbuhan lapisan tipis (Fatmasari, 2018). Proses pembuatan lapisan tipis dapat dilakukan dengan dua jenis metode, seperti *Physical Vapor Deposition* (PVD) dan *Chemical Vapor Deposition* (CVD). Metode PVD meliputi *Closed Space Vapor Deposition* (CSV), *sputtering*, dan *evaporation vacum*. Metode CVD meliputi *Metalorganic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD), *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD), *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD), dan *Photo Chemical Vapor Deposition* (PCVD) (Ohring, 1992: 80).

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

- a. Pembentukan jenis atom, molekul, atau ion.
- b. *Transport* jenis atom, molekul, atau ion.
- c. Kondensasi pada permukaan substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia atau elektronika untuk membentuk suatu deposisi padatan.

Aplikasi lapisan tipis saat ini telah menjangkau hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronika seperti kapasitor, transistor, fotodetektor, sel surya, rangkaian hybrid, dan teknologi mikroelektronika (Fatmasari, 2018: 18).

F. Teknik Evaporasi Vakum

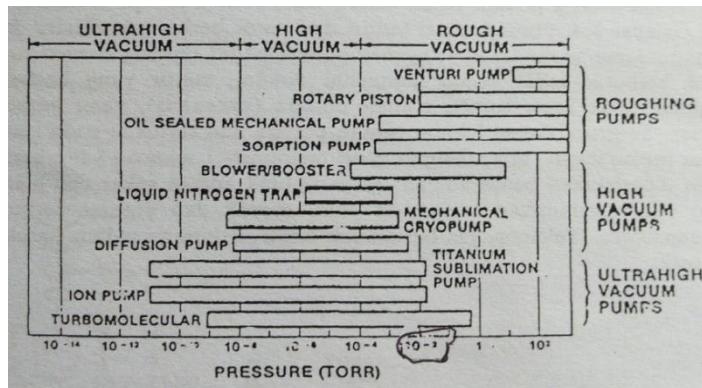
Teknik evaporasi vakum adalah salah satu metode dari *Physical Vapor Deposition* (PVD) untuk pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang hampa (vakum). Preparasi bahan membutuhkan suatu alat preparasi yang lengkap untuk dapat menghasilkan suatu hasil preparasi dan untuk metode ini hasilnya dalam bentuk lapisan tipis yang menempel pada substrat kaca (Nirwanto, 2007: 4). Mesin evaporasi atau evaporator adalah alat pendepositi yang bekerja dengan menggunakan penguapan dalam ruang hampa (vakum). Pada sistem evaporasi terdapat sumber pemanas untuk mengevaporasi bahan yang diinginkan. Pemanas tersebut dialiri oleh arus yang cukup tinggi untuk mendapatkan suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendesak keluar uap-uap dari bahan sumber.

Dalam proses ini, bahan yang digunakan harus berbentuk padat karena jika menggunakan cairan akan bereaksi dengan elemen pemanasnya. Bahan sumber yang telah dievaporasi kemudian bergerak meninggalkan sumber panas dalam bentuk gas. Setelah itu terjadi proses pelapisan dengan proses kondensasi pada setiap permukaan substrat kaca yang ditimpa atom-atom (Fatmasari, 2018: 33).

Kualitas lapisan tipis yang dihasilkan dengan metode evaporasi vakum ini dipengaruhi oleh beberapa hal, yakni:

1. Kemurnian bahan yang akan dipreparasi.
2. Tekanan pada saat proses pemvakuman.
3. Jarak (*spacer*) material sumber dengan substrat kaca.
4. Temperatur substrat saat evaporasi.
5. Massa bahannya (Ningrum, 2017).

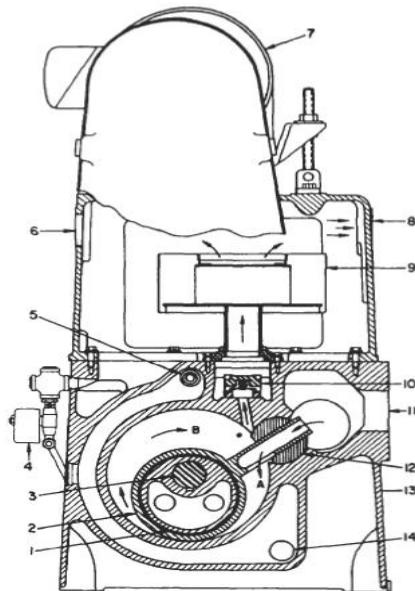
Proses mengosongkan suatu ruangan mulai dari tekanan atmosfer misalnya sampai 5×10^{-5} torr dibutuhkan dua atau tiga pompa secara bertahap untuk mendapatkan vakum tinggi. Karena pompa mempunyai daerah kerja tertentu maka dibutuhkan pengetahuan tentang daerah kerja suatu pompa (Puspitaningrum, 2017). Seperti yang disajikan pada Gambar 18.



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

Menurut Milton Ohring (2002: 81), berdasarkan daerah kerja vakumnya pompa vakum dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu:

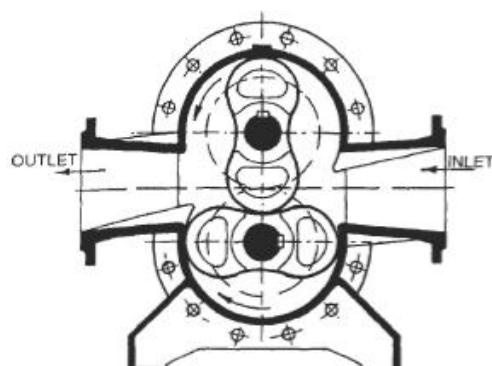
1. *Roughing pumps*, yakni pompa yang dapat bekerja pada tekanan rendah yang berada pada tekanan 10^3 torr sampai 10^{-3} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini yaitu *rotary vane pump*, *root pump*, *sorption pump*, dan lain-lain.



Gambar 19. Skema *Rotary Vane Pump* (Ohring, 1992: 63)

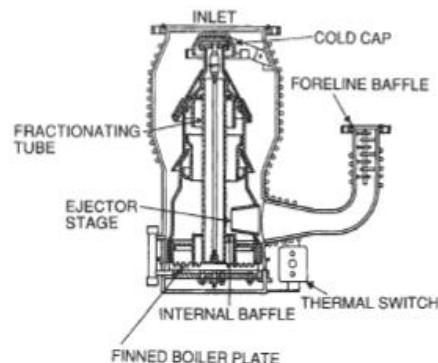
Keterangan Gambar 19:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. Eksentrik | 8. Pembuangan |
| 2. Piston | 9. Pemisah kabut minyak |
| 3. Poros | 10. Katup popet |
| 4. Ballast gas | 11. Saluran masuk |
| 5. Saluran masuk air pendingin | 12. Engsel bar |
| 6. Knalpot opsional | 13. Casing |
| 7. Motor | 14. Saluran keluar air pendingin |

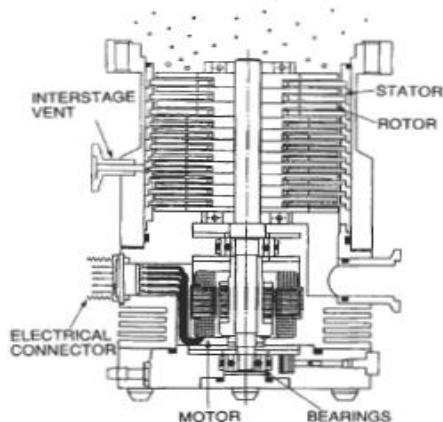


Gambar 20. Skema *Roots Pump* (Ohring, 1992: 64)

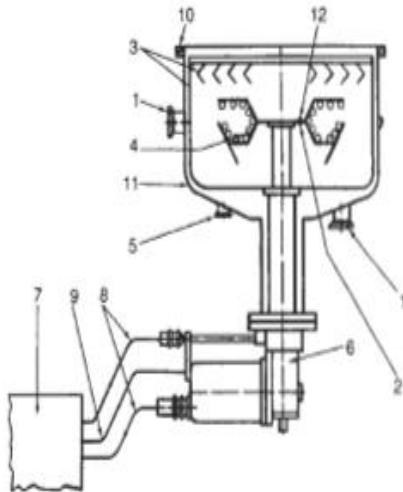
2. *High vacuum pumps*, yakni pompa yang bekerja pada vakum tinggi range yang berada pada tekanan udara dari 10^{-3} torr sampai 10^{-8} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *oil diffusion pump*, *turbomolecular*, *cryopump* dan lain-lain.



Gambar 21. Skema *Diffusion Pump* (Ohring, 1992: 65)



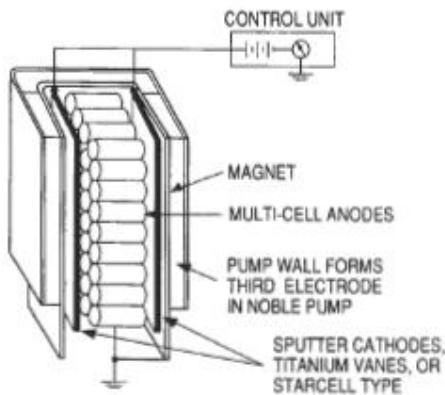
Gambar 22. Skema *Turbomolecular Pump* (Ohring, 1992: 67)



Gambar 23. Skema Cryopump (Ohring, 1992: 69)

Keterangan Gambar 23:

1. Port vakum depan
 2. Sensor suhu
 3. 77 K perisai
 4. 20 K kondensor dengan arang aktif
 5. Port untuk mengukur kepala dan katup pelepas tekanan
 6. Kepala dingin
 7. Unit kompresor
 8. Jalur pasokan dan pengembalian helium
 9. Kabel pasokan listrik
 10. Flensa vakum tinggi
 11. Rumah pompa
 12. Alat pengukur suhu.
-
3. *Ultrahigh pums*, yakni pompa yang mampu bekerja untuk vakum ultra tinggi yaitu pada tekanan udara lebih lecil dari 10^{-8} torr. Pompa yang bekerja pada tekanan ini adalah *titanium sublimation* dan *ion pump* (Ningrum, 2017).



Gambar 24. Skema *Ion Pump* (Ohring, 1992: 71)

Dalam pembuatan lapisan tipis ini dibutuhkan minimal dua pompa untuk mendapatkan vakum tinggi yakni *Rotary Vane Pump* (Pompa Rotari Sekat) dan *Diffusion Pump* (Pompa Difusi) (Khoirunisa', 2017).

1. *Rotary Vane Pump* (Pompa Rotari Sekat)

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

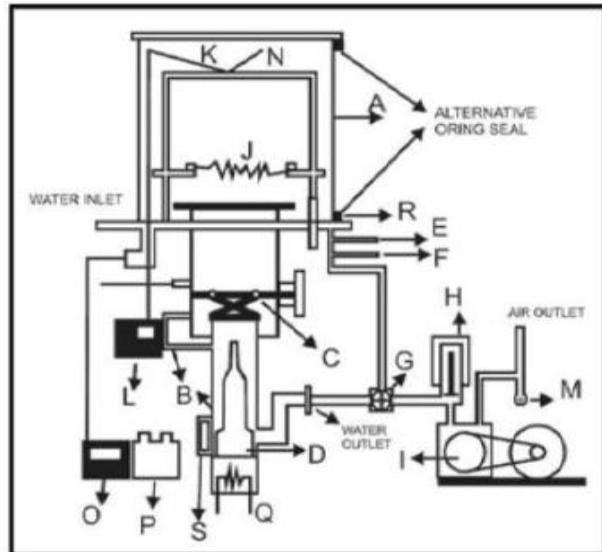
2. *Diffusion Pump* (Pompa Difusi)

Pompa difusi terdiri dari ketel yang berisi oli difusi, pemanas, dan satu atap. Oli dalam ketel dipanasi hingga uap oli naik ke atas melalui penyempitan pipa dengan kecepatan tinggi menumbuk atap. Selanjutnya dipantulkan kebawah kesegala arah dan menumbuk dinding pompa yang didinginkan sehingga oli mengembun kembali dan masuk ketel lagi dan dipanasi begitupun seterusnya (Ariswan dan Bo, 2004: 22).

Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan evaporasi vakum:

1. Menghidupkan pompa rotari (pompa primer) dan membuka katup pertama pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit.
2. Menghidupkan pompa difusi (pompa sekunder) dengan mengatur *slide regulator* pada tegangan 210 volt dan menunggu selama 30 menit.
3. Membuka atau memutar katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve system* selama 10 menit.
4. Membuka katup ketiga atau *bypass valve system* dari F ke O selama 10 menit.
5. Menggeser katup ke posisi semula, yaitu *rough valve system* dan 10 menit sebelum membuka *bypass valve system* kembali ke posisi *back valve system*.
6. Menghidupkan *manometer penning* dan amati tekanannya.
7. Memanaskan pemanas substrat dengan cara menghidupkan dan mengatur tegangan dengan memutar *slide regulator* 1 untuk memperoleh suhu substrat.
8. Setelah memperoleh tekanan yang stabil, maka evaporasi telah siap untuk dilaksanakan.
9. Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* 2 untuk pemanasan sehingga bahan yang berada di dalam *crucible* menguap habis.
10. Menutup katup ketiga atau *bypass valve system* ke posisi F dari posisi O.
11. Memutar *slide regulator* 1 ke posisi nol lalu mematikannya.
12. Mematikan *manometer penning* dan menunggu selama 45 menit sampai pompa difusi mendingin. Setelah pompa difusi dingin, lalu mengatur katup pada posisi stop.
13. Mematikan pompa rotari sekat dan pompa air (Ningrum, 2017: 39).

Sistem evaporasi vakum tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. Skema Sistem Evaporasi Vakum (Puspitaningrum, 2017: 47)

Keterangan Gambar 25:

- | | |
|---|-----------------------------|
| A. <i>Coating chamber</i> | J. Filamen |
| B. Pompa pendingin | K. Kabel penghubung |
| C. Katup pemisah | L. Termokopel |
| D. Pompa difusi | M. Perangkat uap |
| E. Katup udara buang | N. Pemanas substrat |
| F. Katup pengontrol tekanan | O. <i>Manometer penning</i> |
| G. Katup dua arah | P. Pompa air |
| H. Katup pemisah pompa rotari dengan pompa difusi | Q. Filamen difusi |
| I. Pompa rotari sekat | R. <i>Rubber socket</i> |
| | S. Thermostat |

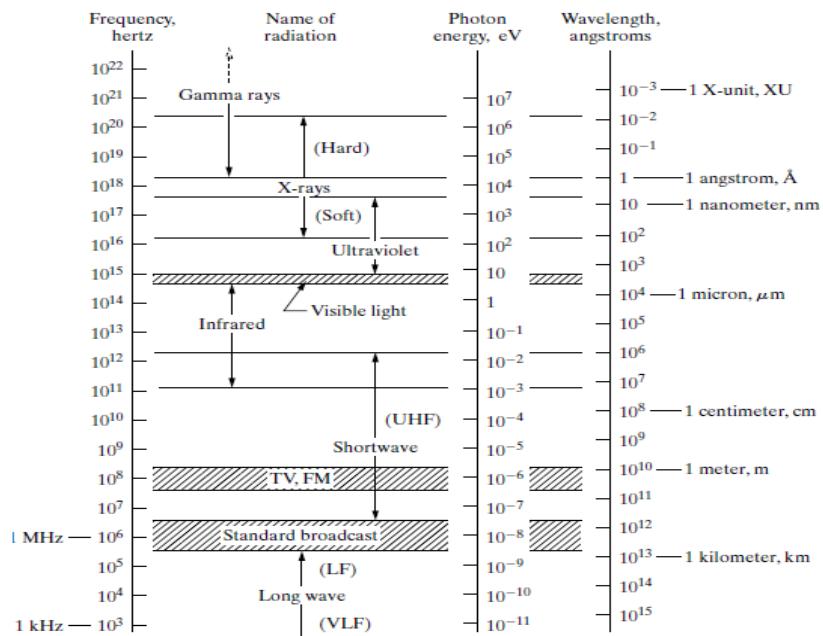
G. Karakterisasi Bahan

Penentuan karakter suatu bahan atau material, baik partikel maupun kristal dapat dilakukan melalui karakterisasi, dalam penelitian ini menggunakan beberapa teknik karakterisasi, yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray* (EDAX).

1. XRD (*X-Ray Diffraction*)

Sinar-X ditemukan pada tahun 1895 oleh Rontgen seorang fisikawan Jerman, dinamai demikian memang karena sifatnya tidak diketahui pada saat itu. Tidak seperti cahaya biasa, sinar ini tidak terlihat, tetapi bergerak dalam garis lurus dan mempengaruhi fotografi atau memfilmkan dengan cara yang sama seperti cahaya. Sinar-X jauh lebih tajam dari cahaya dan dapat dengan mudah melewati tubuh manusia, kayu, potongan yang cukup tebal dari logam, dan benda-benda padat lainnya (Cullity and Stock, 2014: 1).

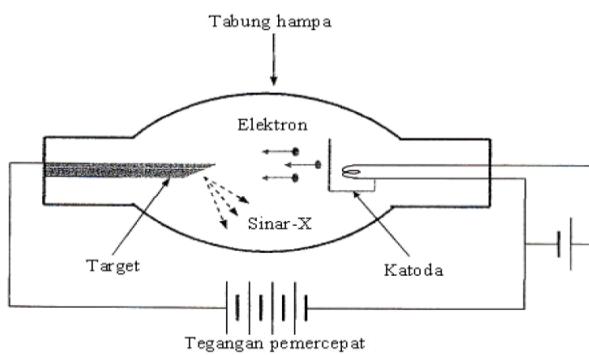
Sinar-X bisa digunakan oleh siapa saja yang ingin mempelajari struktur internal objek benda padat. Tahun 1912 fenomena difraksi sinar-X pada kristal ditemukan, membuktikan sifat gelombang sinar-X dapat digunakan untuk menyelidiki struktur materi yang halus (kristal). Radiografi memiliki bidang penerapan yang luas dan biasanya terbatas pada detail internal ukuran 10^{-3} mm, namun difraksi dapat mengungkapkan detail internal struktur ukuran sampai 10^{-7} mm (Cullity and Stock, 2014: 1).



Gambar 26. Spektrum Elektromagnetik

(Cullity and Stock, 2014: 3)

Berdasarkan Gambar 26, sinar-X adalah radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang sangat pendek. Satuan pengukuran di daerah sinar-X adalah angstrom (\AA), sama dengan 10^{-10} m, dan sinar-X yang digunakan dalam difraksi memiliki panjang gelombang yang berada di kisaran $0,5 \text{ \AA}$ sampai $2,5 \text{ \AA}$, sedangkan panjang gelombang cahaya tampak adalah 6000 \AA . Sinar-X berada diantara gamma dan sinar ultraviolet dalam spektrum elektromagnetik. Unit SI yang disetujui untuk panjang gelombang di wilayah sinar-X adalah nanometer: $1 \text{ nanometer} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{ \AA}$ (Cullity and Stock, 2014: 2).

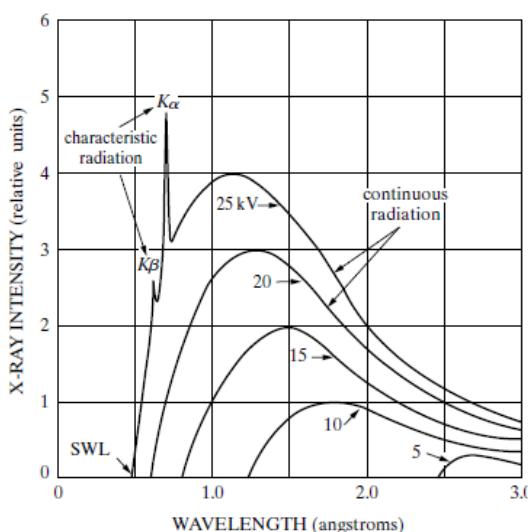


Gambar 27. Pembentukan Sinar-X (Beiser, 1992: 62)

Berdasarkan Gambar 27, dijelaskan bahwa sinar-X diproduksi ketika ada partikel bermuatan listrik dari kinetik yang cukup dan energi melambat dengan cepat. Elektron biasanya digunakan untuk keperluan ini, radiasi diproduksi dalam tabung x-ray yang berisi sumber elektron dan dua logam elektroda. Tegangan tinggi dipertahankan di seluruh elektroda ini. Properti Sinar-X ribuan volt dengan cepat menarik elektron ke anoda atau target. Sebagian elektron ada yang berinteraksi dengan medan energi pada inti atom target dan sebagian ada yang berinteraksi dengan elektron pada tiap-tiap kulit atom target sehingga membentuk sinar-X kontinyu dan sinar-X karakteristik. Jika e adalah muatan elektron ($1,60 \times 10^{-19}$ coulomb) dan V tegangan melintasi elektroda, maka energi kinetik (dalam joule) dari elektron diberikan oleh persamaan (Cullity and Stock, 2014: 4-5).

$$E_k = eV = \frac{1}{2} m v^2 \quad (15)$$

a. Sinar-X Kontinyu atau sinar-X *Bremstrahlung*



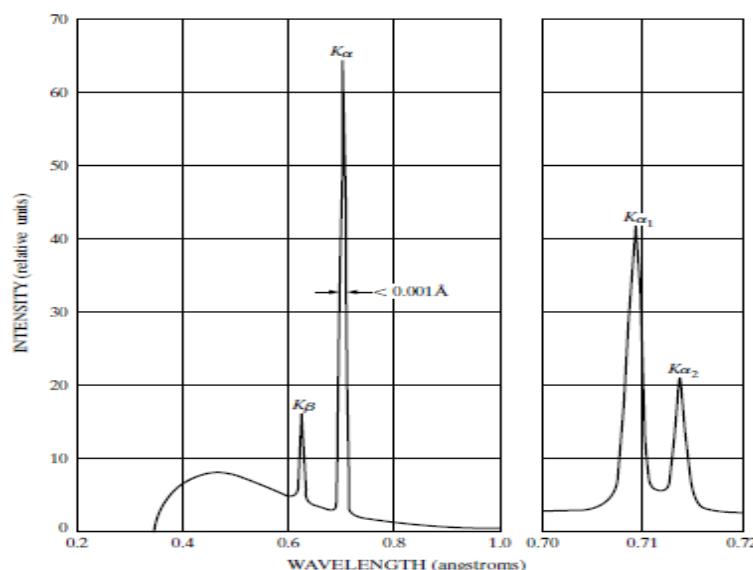
Gambar 28. Spektrum Sinar-X Kontinyu Mo
(Cullity and Stock, 2014: 5)

Pertimbangkan kurva halus pada Gambar 28, yang sesuai untuk menerapkan tegangan 20 kV atau kurang dalam kasus target molybdenum. Radiasi yang ditunjukkan oleh kurva tersebut disebut polikromatik, kontinyu, atau radiasi putih, karena tersusun seperti cahaya putih dari sinar dengan banyak panjang gelombang. Radiasi putih juga disebut *Bremsstrahlung* (Jerman) yang artinya

"radiasi pengerman", karena disebabkan oleh perlambatan elektron. Spektrum kontinyu dihasilkan dari perlambatan cepat elektron yang mengenai target karena, sebagaimana disebutkan di atas, muatan yang melambat memancarkan energi (Cullity and Stock, 2014: 5).

b. Sinar-X Karakteristik

Ketika tegangan pada tabung sinar-X dinaikkan di atas nilai kritis tertentu, karakteristik dari logam target, intensitas maksimum muncul pada panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang karakteristik logam target yang digunakan begitu sempit, disebut karakteristik baris. Baris ini jatuh ke dalam beberapa set yang disebut sebagai K, L, M, dan lain-lain. Dalam urutan panjang gelombang, semua garis membentuk spektrum karakteristik logam yang digunakan sebagai target. Untuk target molibdenum, garis K memiliki panjang gelombang sekitar $0,7 \text{ \AA}$, garis L sekitar 5 \AA , dan garis M memiliki panjang gelombang yang lebih panjang. Biasanya hanya garis K yang berguna dalam difraksi sinar-X, panjang gelombang yang lebih panjang terlalu mudah diserap. Ada beberapa baris dalam set K, tetapi hanya tiga terkuat yang diamati dalam difraksi, yaitu $K_{\alpha 1}$, $K_{\alpha 2}$, dan $K_{\beta 2}$, dan untuk molybdenum (Mo) panjang gelombangnya kira-kira: $K_{\alpha 1} = 0,709 \text{ \AA}$, $K_{\alpha 2} = 0,71 \text{ \AA}$, dan $K_{\beta 2} = 0,632 \text{ \AA}$ (Cullity and Stock, 2014: 7).

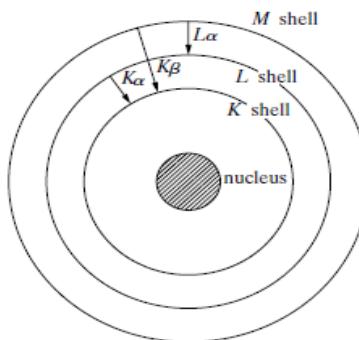


Gambar 29. Spektrum Sinar-X Karakteristik Mo pada 35 kV

(Cullity and Stock, 2014: 8)

Komponen α_1 dan α_2 memiliki panjang gelombang yang sangat berdekatan sehingga tidak selalu diselesaikan sebagai jalur terpisah, jika diselesaikan maka disebut doublet K_α , jika tidak terselesaikan maka cukup garis K_α . Doublet K_α ditunjukkan pada Gambar 29 bagian kanan skala panjang gelombang. $K_{\beta 1}$ biasanya disebut sebagai garis K_β . $K_{\alpha 1}$ selalu sekitar dua kali lebih kuat dari $K_{\alpha 2}$, sedangkan rasio intensitas $K_{\alpha 1}$ ke $K_{\beta 1}$ tergantung pada nomor atom tetapi rata-rata sekitar 5/1. Garis-garis karakteristik kemungkinan dapat dilihat pada kurva paling atas dari Gambar 28, karena tegangan eksitasi kritis K yaitu tegangan yang diperlukan untuk membangkitkan karakteristik K radiasi adalah 20,01 kV untuk molybdenum, garis K tidak muncul di bawah kurva Gambar 28. Gambar 29 menunjukkan spektrum molybdenum pada 35 kV pada skala vertikal terkompresi relatif terhadap Gambar 28. Peningkatan voltase telah bergeser dan meningkatkan intensitas dari garis karakteristik relatif terhadap spektrum kontinyu tetapi tidak mengubah panjang gelombangnya (Cullity and Stock, 2014: 7).

Gambar 29 juga menunjukkan bahwa dalam spektrum sinar-X tidak hanya radiasi K_α yang kuat namun juga timbul radiasi K_β yang lemah. Hal ini berarti sinar-X masih bersifat polikromatik dan terjadi karena transisi antara tingkat energi yang berbeda. Untuk menganalisis struktur kristal dari suatu bahan paduan dibutuhkan sinar-X monokromatik yang hanya memiliki satu panjang gelombang saja, sehingga dilakukan proses penyaringan menggunakan bahan penyaring (*filter*) yang sesuai. Dengan melewatkannya sinar-X pada material *filter* maka radiasi K_β yang tidak diinginkan akan terabsorbsi sedangkan radiasi K_α yang cukup kuat akan diteruskan, sehingga diperoleh sinar-X monokromatik. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai *filter* adalah material yang memiliki nomor atom lebih kecil dari nomor atom target (Auliasari, 2017: 25).



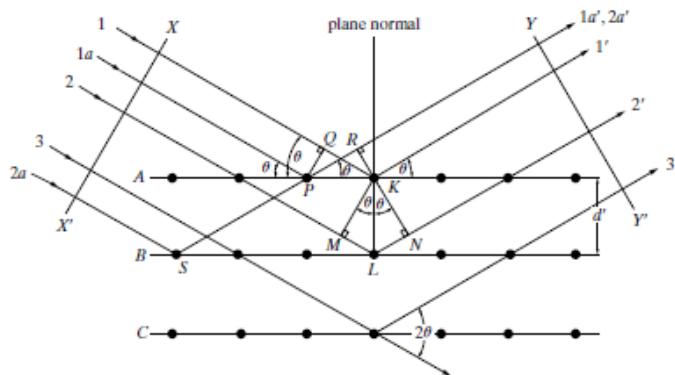
Gambar 30. Skema Transisi Elektron pada Atom

(Cullity and Stock, 2014: 10)

Asal usul spektrum karakteristik terletak pada atom-atom target materi itu sendiri. Untuk memahami fenomena ini, cukup dengan mempertimbangkan atom terdiri dari inti pusat yang dikelilingi oleh elektron yang terletak di berbagai kulit (Gambar 30), dimana penunjukan K, L, M, ..., sesuai dengan bilangan kuantum utama $n = 1, 2, 3, \dots$. Jika salah satu elektron membombardir target dengan energi kinetik yang cukup, ia dapat menjatuhkan elektron dari kulit K, meninggalkan atom dalam keadaan berenergi tinggi. Salah satu elektron luar segera mengisi kekosongan di kulit K dan memancarkan energi. Energi dipancarkan dalam bentuk radiasi yang panjang gelombangnya pasti, disebut karakteristik radiasi K. Kekosongan kulit K dapat diisi oleh elektron dari salah satu kulit luar misalnya kulit L atau M, sehingga memunculkan serangkaian garis K: Garis K_α dan K_β . Dimungkinkan kekosongan kulit K akan diisi oleh elektron dari kulit L daripada oleh elektron dari kulit M, dan nyatanya garis K_α lebih kuat dari garis K_β (Cullity and Stock, 2014: 10).

Intensitas berkas sinar-X monokromatik yang mengenai kristal akan lebih rendah dibandingkan dengan intensitas sinar yang datang, karena terjadi penyerapan oleh bahan dan penghamburan atom-atom dalam bahan tersebut. Keteraturan letak atom pada arah tertentu, menyebabkan gelombang hamburnya akan berinterferensi konstruktif sedangkan yang lain berinterferensi destruktif. Karena memiliki fase yang sama berkas difraksi akan saling menguatkan (konstruktif), dan untuk berkas sinar-X yang memiliki fase berlawanan akan saling menghilangkan (destruktif) (Auliasari, 2017: 26).

Menurut Bragg, berkas yang terdifraksi oleh kristal terjadi apabila pemantulan oleh bidang sejajar atom menghasilkan interferensi konstruktif. Bragg menunjukkan bahwa bidang yang berisi atom di dalam kristal yang disebut bidang Bragg, akan memantulkan radiasi dengan cara yang sama persis dengan peristiwa pemantulan cahaya di bidang cermin (Auliasari, 2017: 26), seperti ditunjukkan pada Gambar 31.



Gambar 31. Berkas Difraksi Sinar-X

(Cullity and Stock, 2014: 94)

Suatu berkas sinar-X yang panjang gelombangnya λ jatuh pada kristal dengan sudut θ dan jarak antar bidang kisinya d . Agar mengalami interferensi konstruktif maka kedua berkas harus memiliki beda jarak $n\lambda$, sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas (berkas 1 dan berkas 2) adalah $2d \sin \theta$. Interferensi konstruktif dapat terjadi saat beda jalan kedua sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang λ , sehingga dapat dinyatakan:

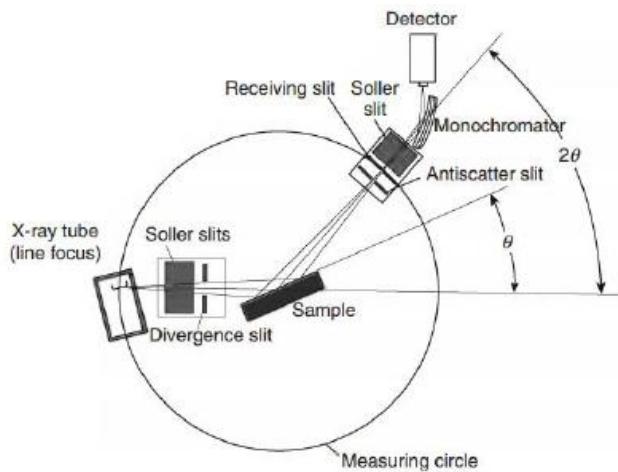
$$2 d \sin \theta = n\lambda \quad (16)$$

dengan, λ = panjang gelombang sinar-X

d = jarak antar bidang

θ = sudut difraksi

Persamaan ini dikenal dengan Hukum Bragg.

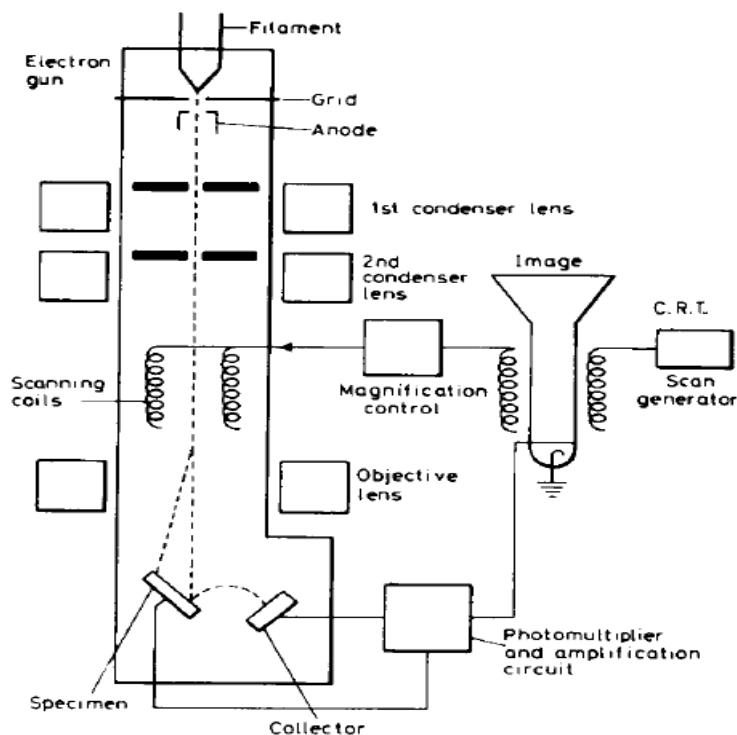


Gambar 32. Skema Dasar XRD (Leng, 2013: 62)

Sinar-sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka akan semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ dimana tiap puncak yang muncul mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan database JCPDS (*Joint Sommite on Powder Diffraction Standart*) sebagai data sumber yang bisa diperoleh melalui website atau program komputer JCPDFWIN (Auliasari, 2017: 28).

2. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dapat digunakan untuk melihat bentuk tiga dimensi dari suatu *specimen* dengan gambar yang diperoleh disebut *scanning electron micrograph*. Mikroskop jenis ini bermanfaat untuk mempelajari struktur permukaan, objek secara umum diperbesar 1.000 – 40.000 kali. SEM dapat digunakan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butir, komposisi pencemaran dan cacat struktural material (Auliasari, 2017: 29).



Gambar 33. Skema Dasar SEM
(Smallman and Bishop, 1999: 144)

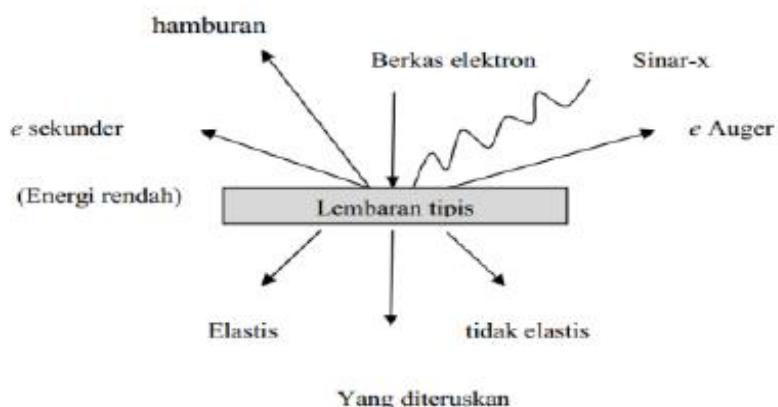
Prinsip kerja dari SEM adalah elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten akan memancarkan elektron sekunder dan sinar-X. Berkas elektron yang jatuh akan dihamburkan, sedangkan sebagian lagi akan diserap dan menembus *specimen*. Jika elektron mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan, yaitu pantulan elastis dan non elastis. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi, sementara sebagian lagi dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam *specimen* menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger*, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material (Ariswan, 2009).

Elektron sekunder yaitu 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 pada 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 (Auliasari, 2017: 29).

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

EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*) merupakan alat yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu bahan atau material. Sistem analisis EDAX bekerja sebagai alat yang terpadu atau terintegrasi dengan SEM menggunakan akselerasi 25 KeV dan berkas elektron 100-200 nm. Prinsip kerja EDAX yaitu ketika elektron berinteraksi dengan bahan, maka elektron tersebut sebagian akan diteruskan dan sebagian dihamburkan. Elektron yang dihamburkan akan mengelilingi inti atom bahannya. Elektron tersebut akan terpental keluar dari sistem, sehingga terjadi kekosongan yang akan diisi oleh elektron dari kulit luarnya (Setianingrum, 2016: 40).

Elektron yang berada di luar memiliki energi lebih besar, sehingga pada waktu perpindahan orbit ke energi yang lebih rendah akan melepaskan energi dalam bentuk foton yang dikenal sebagai sinar-X dan elektron *auger* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 34. 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 (Setianingrum, 2016: 40).



Gambar 34. Prinsip Dasar EDAX

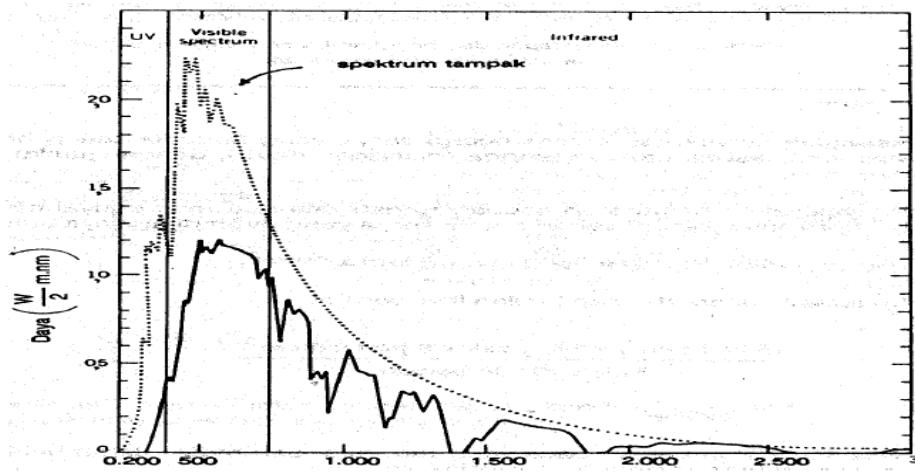
(Smallman dan Bishop, 1999: 151)

Sinar-X yang dipancarkan dapat dideteksi dengan detektor zat padat yang dapat menghasilkan spektrum energi sinar-X. Spektrum tersebut merupakan hasil penembakan berkas elektron pada bahan target yang menyebabkan atom-atom pada bahan mengalami eksitasi dan ionisasi sehingga atom-atom pada target menjadi tidak stabil. Hasil dari EDAX berupa spektrum *Energy-Dispersive* yang disajikan dalam bentuk histogram dimana sumbu horizontal mempresentasikan energi dan sumbu vertikal menunjukkan intensitas. Puncak energi pada histogram menunjukkan intensitas atom pada unsur tertentu, sehingga semakin tinggi spektrum pada suatu puncak energi, maka semakin tinggi konsentrasi unsur tersebut pada sampel (Vaughan, 1999: 33).

H. Sel Surya

1. Radiasi Matahari

Matahari adalah salah satu bintang dan sebagai pusat dari sistem tata surya. Matahari merupakan sumber energi utama bagi kehidupan di bumi. Reaksi fusi atom-atom Hidrogen menjadi Helium yang disebabkan oleh tekanan dan suhu yang sangat tinggi akan menghasilkan energi yang sangat besar, selain itu temperatur inti matahari bisa mencapai sekitar 15 juta kelvin. Energi matahari dipancarkan sampai ke bumi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Berikut spektrum panjang gelombang pancaran energi surya yang ditunjukkan pada Gambar 35 (Ariswan, 2011: 2).



Gambar 35. Penyebaran Panjang Gelombang Cahaya Surya di atas Atmosfer (garis titik-titik) dan di Permukaan Bumi (garis hitam)
 (Ariswan, 2011: 3)

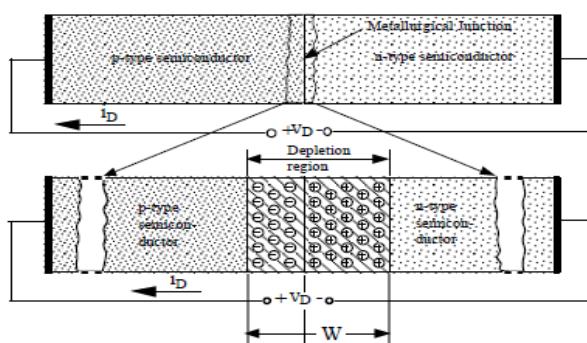
Spektrum panjang gelombangnya meliputi bentangan antara 250 nm dan 2500 nm. Spektrum panjang gelombang yang cukup panjang tersebut memungkinkan direalisasikan berbagai piranti-piranti yang bekerja pada panjang gelombang tertentu. Salah satu piranti untuk mengubah tenaga surya langsung menjadi listrik disebut sel surya. Proses konversi energi surya menjadi energi lain pada umumnya terdapat tiga proses, yakni proses *heliochemical*, *heliotermal*, dan *helioelectrical*. Proses heliochemical terjadi pada proses fotosintesis yang merupakan sumber dari semua bahan bakar fosil. Proses heliotermal adalah penyerapan (absorbsi) radiasi matahari dan menjadi energi termal secara langsung, sedangkan proses helioelectrical yang merupakan proses utama adalah produksi listrik oleh sel-sel surya dan disebut juga efek fotovoltaik (Ariswan, 2011: 3).

Efek fotovoltaik pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839. Pada tahun 1912 Einstein dapat menjelaskan fotovoltaik tersebut secara teori dan mekanisme fenomena dalam eksperimen di laboratorium. Sel surya akhirnya dapat direalisasikan pertama kali pada tahun 1950 setelah perang dunia ke II. Sel surya tersebut menggunakan bahan kristal silikon dan sudah memiliki efisiensi konversi sebesar 4 % (Ariswan, 2011: 3).

2. Prinsip Dasar Sel Surya

Proses konversi dari cahaya menjadi energi listrik ini dikarenakan bahan material yang menyusun sel surya berupa bahan semikonduktor. Sel surya yang sederhana ini terdiri dari sambungan dua bahan semikonduktor yang berbeda jenis, yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Kedua jenis semikonduktor ini disambungkan dan membentuk sambungan p-n (*p-n junction*) (Khoirunisa', 2017: 45).

PHYSICAL ASPECTS OF THE PN JUNCTION



Gambar 36. Sambungan Semikonduktor Tipe p dan Tipe n

(Allen, 2000: 2)

Berdasarkan Gambar 36, sambungan p-n tersebut terbentuk tiga daerah yang berbeda. Pertama daerah tipe p, yang mayoritas pembawa muatannya adalah hole, kedua daerah tipe n dengan mayoritas pembawa muatan adalah elektron, dan ketiga adalah daerah deplesi (pengosongan) yang pada daerah ini terdapat medan listrik internal yang arahnya dari n ke p. Ketika radiasi sinar surya mengenai sel surya maka akan terbentuk elektron dan hole, sehingga karena pengaruh medan listrik internal tersebut, maka hole akan bergerak menuju ke p dan elektron akan bergerak ke n, sehingga keduanya menghasilkan arus difusi. Sedangkan pada daerah deplesi dapat pula terjadi pasangan hole dan elektron yang karena pengaruh medan listrik internal yang sama akan bergerak menuju ke arah mayoritasnya, sehingga menghasilkan arus generasi (Ariswan, 2011: 5).

3. Perkembangan Tipe Sel Surya

a. Generasi Pertama

Generasi pertama yang telah berhasil dikembangkan adalah jenis wafer. Tipe pertama generasi pertama ini adalah tipe wafer silikon kristal tunggal. Tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi hingga mencapai 12 %. Selanjutnya termasuk dalam generasi pertama ini dikembangkan tipe wafer silikon polikristal, jenis sel surya tipe ini memiliki pembiayaan pembuatan yang lebih murah meskipun tingkat efisiensinya lebih rendah jika dibandingkan dengan silikon kristal tunggal (Ariswan, 2013: 1).

b. Generasi Kedua

Sel surya generasi kedua adalah sel surya tipe lapisan tipis. Ide pembuatan jenis sel surya lapisan tipis adalah untuk mengurangi biaya pembuatan sel surya. Efisiensi tertinggi saat ini yang bisa dihasilkan oleh jenis sel surya lapisan tipis ini adalah sebesar 19,5 % yang berasal dari sel surya CIGS (menurut M. Contreras, 1999). Keunggulan lainnya dengan menggunakan tipe lapisan tipis adalah semikonduktor sebagai lapisan sel surya bisa dideposisi pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan piranti sel surya yang fleksibel. Sel surya generasi kedua yang sampai sekarang terus dikembangkan adalah sel surya berbahan *Cadmium Telluride* (CdTe) dan *Cadmium Sulfide* (CdS). CdTe adalah bahan semikonduktor tipe p, sedangkan CdS adalah bahan semikonduktor tipe n (Ariswan, 2013: 1). Sel surya generasi kedua inilah yang dikembangkan pada penelitian ini.

c. Generasi Ketiga

Sel surya generasi ketiga merupakan penelitian lanjutan agar harga sel surya menjadi lebih murah dengan efisiensi konversi lebih tinggi. Pada generasi ini sel surya berbentuk polimer (sel surya organik) dan sel surya foto- elektrokimia. Sel surya organik dibuat dari bahan semikonduktor organik seperti *polyphenylene vinylene* dan *fullerene*. 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 (dye). Termasuk sel surya generasi ketiga adalah sistem tandem yaitu sel surya yang terdiri dari beberapa lapisan

dengan energi gap yang berbeda dimulai dari energi gap paling besar ke energi gap paling kecil dan lapisan terakhir adalah substrat. Tujuannya agar serapan energi surya meningkat dan efisiensi meningkat hingga dapat mencapai 40 % (Ariswan, 2013: 2).

Berikut merupakan beberapa keunggulan sel surya:

1. Sel surya mampu menghasilkan energi listrik tanpa harus membakar bahan bakar fosil ataupun melakukan reaksi nuklir.
2. Sel surya mampu digunakan tanpa polusi, baik udara maupun suara, serta dapat digunakan di segala cuaca.
3. Sel surya dapat beroperasi dengan baik hampir diseluruh dunia yang terkena sinar matahari.
4. Sel surya mudah untuk digunakan, sesuai dengan kebutuhan, meski sel surya tidak memiliki bagian yang bergerak (Khoirunisa', 2017: 48).

I. Kerangka Berpikir

Bahan Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) terbentuk dari unsur Cd dan S yang lebih dominan fraksi molnya daripada Te. Bahan ini dapat digunakan sebagai bahan semikonduktor yang memiliki sifat dan struktur bahan CdS. Doping Te pada CdS akan menurunkan nilai energi gap CdS nya pada rentang 1,5 eV - 2,4 eV, sehingga bahan dapat menyerap spektrum panjang gelombang matahari lebih banyak dan lebih mudah untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi.

Metode penumbuhan lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) dilakukan dengan teknik evaporasi vakum. *Vacuum Evaporation* atau teknik evaporasi vakum merupakan salah satu metode *Physical Vapor Deposition* (PVD) yang digunakan untuk memperoleh suatu lapisan tipis dengan cara penguapan bahan di dalam ruang vakum (hampa). Karakteristik bahan semikonduktor lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain massa bahan masif, tekanan pada saat pemvakuman, *spacer* (jarak material sumber dengan substrat), suhu substrat, dan temperatur cawan (*crucible*).

Massa bahan masif pada proses preparasi lapisan tipis menggunakan teknik evaporasi vakum, memiliki peran penting dalam hal kristalinitas Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$)

yang berhubungan dengan kualitas kristalnya. Parameter kualitas kristal ditunjukkan oleh struktur kristal, parameter kisi kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia. Kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dapat diketahui dengan melakukan beberapa karakterisasi yaitu karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scaning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Analysis of X-Ray* (EDAX). Karakterisasi XRD menghasilkan difraktogram yang menunjukkan intensitas pada sudut hamburan 2Θ tertentu yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi kristal, SEM menghasilkan foto morfologi permukaan dengan perbesaran tertentu untuk mengetahui morfologi permukaan dalam hal homogenitas *grain* dan ukuran diameter *grain*, dan EDAX menghasilkan spektrum yang menunjukkan perbandingan persentase atom yang digunakan untuk menentukan perbandingan molaritas dan komposisi kimia lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) secara kuantitatif.

Pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang terbentuk, dapat diketahui dari hasil karakterisasi yang dilakukan. Karakterisasi XRD, SEM, dan EDAX merupakan karakterisasi tahap awal pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}), yang bertujuan untuk mengetahui kualitas pembentukan lapisan tipis. Pada penelitian ini dilakukan variasi massa bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) pada pembentukan lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum, yang bertujuan untuk menentukan massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

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. Pembuatan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) menggunakan teknik evaporasi vakum dilakukan di Laboratorium Fisika Material, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Karakterisasi pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) untuk menentukan struktur kristalnya, menggunakan XRD bermerk Miniflex 600 Rigaku dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) untuk menentukan morfologi permukaan dan komposisi kimianya, menggunakan SEM dan EDAX bermerk HITACHI SU3500 dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTBA LIPI), Gunung Kidul, Yogyakarta.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi bahan.

a. Perangkat preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

1. Sistem Evaporasi Vakum

Sistem evaporasi vakum merupakan alat utama yang digunakan untuk preparasi lapisan tipis dengan model *coating* dan bekerja pada tegangan 220 volt. Alat ini merupakan alat rakitan sendiri yang dikembangkan oleh Dr. Ariswan

(Ariswan, 2013). Seperti yang sudah dijelaskan pada Gambar 25 (bab kajian pustaka), sistem evaporasi vakum terdiri dari:

a. *Pompa Vakum Rotari*

Pompa vakum rotari yang digunakan merk Robinair Vacum Master, model C55JXHJE-4071. Alat ini digunakan untuk proses penghampaan tingkat tinggi, dengan tekanan udara maksimum 1×10^3 torr sampai 1×10^{-3} torr.

b. *Pompa Vakum Difusi*

Pompa vakum difusi digunakan untuk membantu proses penghampaan ruang vakum pada tekanan yang lebih rendah, dengan tekanan udara maksimum 1×10^{-2} torr sampai 2×10^{-8} torr.

c. *Slide Regulator*

Slide regulator merupakan bagian dari sistem evaporasi yang berguna sebagai pengatur tegangan pada pemanas substrat dan pemanas cawan (*crucible*). *Slide regulator* yang digunakan merk Delux Slide Regulator, model SD-2610M dengan tegangan input 220 V dan tegangan output 0 V hingga 260 V.

d. *Manometer Penning*

Manometer Penning yang digunakan merk Alcatel ACF 101. Alat ini digunakan untuk mengukur dan mengontrol tekanan pada ruang vakum saat proses pemvakuman, baik pada pompa rotari atau pun pompa difusi. Alat ini memiliki batas ukur pada tekanan 1×10^{-2} mbar sampai 1×10^{-7} mbar.

2. Neraca Digital

Neraca digital digunakan untuk menimbang massa bahan. Neraca digital yang digunakan merk Denver Instrument XE-310 dengan batas ukur maksimum 310 gram dan ketelitian 0,001 gram.

3. *Furnace* (oven)

Furnace (oven) digunakan untuk mengeringkan kaca substrat dan *spacer* pada tahap persiapan dengan suhu 100 °C. *Furnace* yang digunakan merk Gemmy YCO-NO1 (Digital), dengan suhu maksimum 180 °C dan resolusi 1 °C.

4. Multimeter Digital

Multimeter digital yang digunakan merk Sanwa CD800a. Alat ini digunakan untuk mengukur tegangan pada saat pemanasan substrat. Alat ini memiliki rentang pengukuran DCV (400 mV sampai 600V dengan resolusi 0,1 mV), ACV (4 V sampai 600 V dengan resolusi 0,001 mV), dan DCA (40 mA sampai 400 mA dengan resolusi 0,01 mA).

b. Perangkat karakterisasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

1. XRD

XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). XRD yang digunakan bermerk Miniflex 600 Rigaku, dengan spesifikasi yakni daya maksimum 600 W, tegangan tabung 40 kV, arus tabung 15 mA, tabung sinar-X (Cu, Co, Fe, atau Cr), monokromator grafit, dan rentang pemindaian -3 ° hingga 145 ° (2θ) dengan akurasi 0,02 ° (2θ) (Shimura, 2018).

2. SEM dan EDAX

SEM digunakan untuk menentukan morfologi permukaan dan EDAX untuk menentukan komposisi kimia pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). SEM dan EDAX yang digunakan merupakan alat terpadu bermerk HITACHI SU3500, dengan spesifikasi yakni tegangan akselerasi 0,3 kV hingga 30 kV, variabel tekanan 6 Pa hingga 650 Pa, ukuran maksimum sampel 200 mm (diameter), rotasi tempat sampel 360 °, resolusi elektron sekunder 3 nm pada 30 kV, dan perbesaran foto mulai dari 5 kali hingga 300.000 kali (Miyazaki, 2014).

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

- a. Bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dalam bentuk serbuk, dari hasil preparasi menggunakan metode Bridgman.
- b. Substrat kaca dengan ketebalan 1 mm.

C. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Variabel bebas: massa dari bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}).
2. Variabel terikat: struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia.
3. Variabel kontrol (tetap): suhu substrat, tekanan vakum, jarak antara material sumber dengan substrat (*spacer*), dan temperatur cawan (*crucible*).

D. Langkah Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan yakni tahap I dan tahap II. Tahap I meliputi persiapan, preparasi, dan pengambilan hasil preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Tahap II yakni karakterisasi pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) untuk menentukan kualitas lapisan tipis yang terbentuk berdasarkan struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimianya.

1. Penelitian Tahap I

Tahap I meliputi proses persiapan, preparasi lapisan tipis, dan pengambilan hasil preparasi.

Tabel 3. Parameter Pembuatan Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
Massa Bahan	0,1 gram	0,15 gram	0,2 gram
Suhu Substrat	360 °C	360 °C	360 °C
Tekanan Vakum	3 x 10 ⁻⁵ mbar	3 x 10 ⁻⁵ mbar	3 x 10 ⁻⁵ mbar
Spacer	15 cm	15 cm	15 cm

a. Tahap Persiapan

1. Mempersiapkan bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}).
2. Menghaluskan bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang masih berbentuk butiran kasar dengan menggunakan alat penggerus.
3. Menimbang bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang sudah menjadi serbuk menggunakan neraca digital sebanyak tiga variasi, yakni 0,1 gram; 0,15

gram dan 0,2 gram. Variasi massa bahan 0,1 gram; 0,15 gram dan 0,2 gram mengikuti acuan ukuran massa untuk pembuatan lapisan tipis yang sudah berhasil dilakukan pada penelitian sebelumnya (Zakiati, 2017; Ningrum, 2017; Hendriani, 2019; dan Bahtiar, 2019).

4. Menyiapkan beberapa kaca preparat, membersihkannya menggunakan air dan mengeringkannya menggunakan tissue.
5. Membersihkan lagi kaca preparat tersebut dengan menggunakan alkohol supaya menjadi lebih steril.
6. Mengeringkan kaca preparat yang telah dibersihkan tersebut di dalam alat *furnace* pada suhu 100°C selama 30 menit.
7. Membuka *chamber* pada sistem evaporator kemudian memasukkan bahan yang akan dipreparasi ke dalam *crucible* yang telah dipasang pada bagian bawah.
8. Memasang *spacer* yang panjangnya 15 cm. Panjang *spacer* ini sebagai variabel tetap atau kontrol yang berlaku untuk ketiga sampel pada proses preparasi. *Spacer* 15 cm merupakan panjang *spacer* antara minimum (10 cm) dan maksimum (25 cm) yang dapat menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas cukup baik (Afosma, 2017: 81).
9. Menempelkan kaca preparat pada *holder* pertama, kemudian menempatkannya pada *holder* kedua.
10. Memasang pemanas substrat.
11. Menghubungkan kabel dari *slide regulator* ke pemanas substrat.
12. Menutup kembali *chamber* serapat mungkin.
13. Langkah 4 sampai dengan 12 berlaku untuk ketiga sampel.

b. Tahap Preparasi Bahan

1. Menghidupkan pompa rotari (pompa primer) dan membuka katup pertama pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit.
2. Menghidupkan pompa difusi (pompa sekunder) dengan mengatur *slide regulator* pada tegangan 210 volt dan menunggu selama 30 menit.
3. Membuka atau memutar katup dari posisi *rough valve system* ke posisi *back valve system* dan menunggu selama 10 menit.

4. Membuka katup ketiga atau *bypass valve system* dari F ke O selama 10 menit. Setelah itu katup digeser ke posisi semula, yaitu *rough valve system* dan 10 menit sebelum membuka *bypass valve system* kembali ke posisi *back valve system*.
5. Menghidupkan *manometer penning* dan mengamati tekanannya.
6. Memanaskan pemanas substrat dengan cara menghidupkan *slide regulator* 1 dan mengatur tegangan pada tegangan 24 volt untuk memperoleh suhu substrat 360 °C.
7. Setelah memperoleh tekanan yang stabil dan suhu substrat yang diharapkan, maka proses evaporasi telah siap dimulai.
8. Menghidupkan dan mengatur *slide regulator* 2 untuk pemanasan *crucibel* sehingga bahan Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang berada pada *crucible* dapat menguap habis.
9. Setelah proses evaporasi selesai atau bahan Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) telah menguap habis, *slide regulator* 2 diatur ke posisi nol lalu dimatikan. Pembaca suhu juga dimatikan.
10. Menutup katup ketiga atau *bypass valve system* ke posisi F dari posisi O. Kemudian memutar *slide regulator* 1 ke posisi nol lalu mematikannya.
11. Mematikan *manometer penning* dan menunggu selama 45 menit sampai pompa difusi mendingin.
12. Setelah pompa difusi dingin, lalu mengatur katup pada posisi stop.
13. Mematikan pompa rotari sekat dan pompa air.
14. Hasil lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) diperoleh.

c. Tahap Pengambilan Hasil Preparasi

1. Membuka dan mengendorkan katup sehingga tekanan udara di dalam *chamber* menjadi normal.
2. Membuka penutup *chamber* dan melepas *chamber* dari dudukannya.
3. Melepaskan kabel yang terhubung pada pemanas substrat.
4. Melepaskan pemanas substrat.
5. Melepaskan *holder* 1 dari *holder* 2.

6. Mengambil hasil preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dan memasukkannya ke dalam wadah yang telah dialasi tissue lalu menutupnya dengan sangat rapat supaya tidak terjadi reaksi oksidasi pada hasil preparasi tersebut.
7. Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan katupnya.

2. Penelitian Tahap II

Penelitian tahap II merupakan karakterisasi pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dari hasil preparasi teknik evaporasi vakum menggunakan XRD, SEM, dan EDAX.

a. Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD digunakan untuk menentukan struktur kristal pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Langkah-langkah yang dilakukan untuk karakterisasi menggunakan XRD, sebagai berikut:

1. Mempersiapkan sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang akan dikarakterisasi.
2. Membersihkan tempat sampel dari debu dan memasang sampel yang akan dikarakterisasi pada *specimen chamber* mesin XRD dan mencetak hasilnya.
3. Menganalisis data yang diperoleh dari hasil XRD. Hasilnya berupa difraktogram yang menunjukkan hubungan antara intensitas (*I*) dengan sudut hamburan (2 Θ).

b. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM digunakan untuk menentukan morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Data hasil yang diperoleh berupa foto-foto morfologi permukaan kristal pada perbesaran 20.000 hingga 40.000 kali. Langkah-langkah yang dilakukan untuk karakterisasi menggunakan SEM, sebagai berikut:

1. Menempelkan sampel pada tempat sampel dengan cara mengelemnya menggunakan lem konduktif.
2. Membersihkan sampel dari debu yang menempel dengan menggunakan *hand blower*.
3. Melapisi sampel dengan ion dengan menggunakan ion sputter dari alat HITACHI MC1000. Berguna untuk meningkatkan sifat konduktif dari sampel lapisan tipis tersebut, sehingga sampel dapat dikarakterisasi dengan baik.

4. Meletakkan sampel pada *specimen chamber* mesin SEM untuk dilakukan pemotretan.
5. Melakukan pengamatan dan pemotretan pada titik yang diinginkan dengan perbesaran 20.000 kali hingga 40.000 kali, kemudian menyimpan data gambar atau foto dalam bentuk file.

c. **Karakterisasi EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*)**

EDAX digunakan untuk menentukan komposisi kimia pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Data yang diperoleh berupa spektrum energi yang menunjukkan komposisi bahan penyusunnya. Langkah-langkah nya sama dengan SEM pada langkah 1 sampai 4, karena EDAX merupakan alat terpadu dari mesin SEM-EDAX, yang membedakan EDAX dengan SEM adalah cara memperoleh datanya.

E. Teknik Analisis Data

Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram yang menunjukkan hubungan antara intensitas (cps) dengan sudut difraksi 2θ (derajat). Difraktogram tersebut dicocokkan dengan data standar pada database JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*). JCPDS yang digunakan berupa JCPDS No. 47-1179 untuk bahan CdS, karena bahan Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) memiliki pola sudut difraksi 2θ yang mendekati pola pada bahan CdS. Hasil pencocokan data diperoleh nilai bidang-bidang *hkl* dan struktur kristalnya. Nilai parameter kisi *a*, *b*, dan *c* ditentukan menggunakan metode analitik. Puncak-puncak intensitas pada difraktogram dan parameter kisi antara ketiga sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dibandingkan untuk menentukan pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) berdasarkan struktur kristal. Hal tersebut juga bertujuan untuk menentukan massa bahan masif yang optimal upaya memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) kualitas terbaik sebagai kandidat bahan sel surya. Lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas terbaik inilah yang dilakukan karakterisasi SEM dan EDAX.

Hasil karakterisasi SEM pada sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) kualitas terbaik berupa foto morfologi permukaan dengan perbesaran 20.000 kali hingga 40.000 kali. Foto tersebut dapat diamati homogenitas permukaan sampel dan bentuk butiran (*grain*) kristalnya. Ukuran diameter rata-rata *grain* dapat

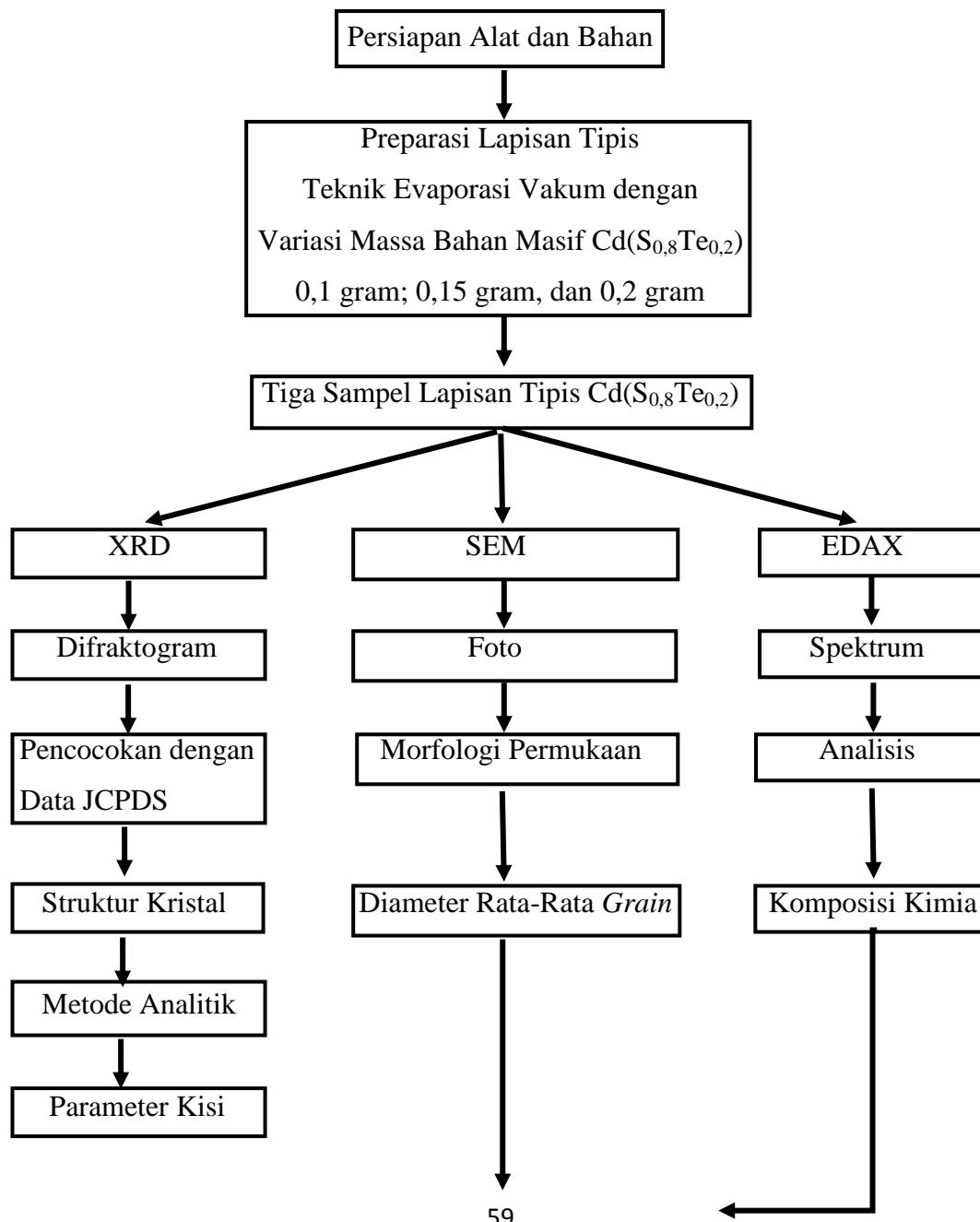
ditentukan dengan melakukan pengukuran diameter *grain* pada salah satu perbesaran hasil SEM. Pengukuran diameter *grain* dilakukan menggunakan *software* ImageJ. ImageJ merupakan salah satu *software* untuk *image processing*. Hal utama yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengukuran yakni melakukan kalibrasi ukuran pixel gambar terhadap ukuran acuan hasil SEM yang ukurannya berkisar nm hingga μm . Hasil pengukuran diameter *grain* dapat diolah menggunakan Ms. Excel dan Origin untuk menentukan ukuran diameter rata-rata *grain*.

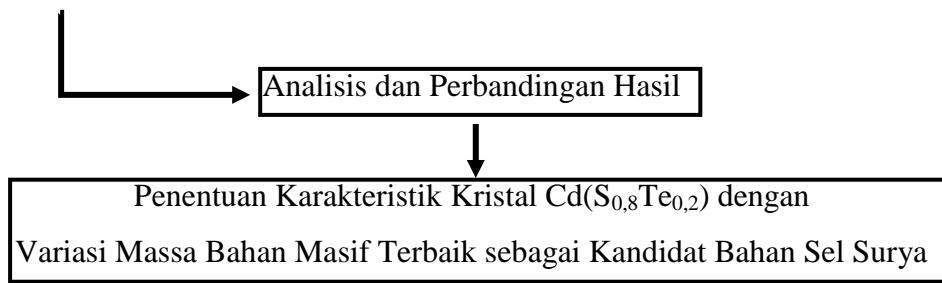
Hasil karakterisasi EDAX pada sampel lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) kualitas terbaik berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas terhadap energi. Berdasarkan spektrum tersebut dapat dilakukan analisis kualitatif untuk mengetahui jenis unsur yang terkandung dalam sampel lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) dan analisis kuantitatif untuk menentukan komposisi atom unsur-unsur, sehingga memperoleh perbandingan persentase atom pada unsur Cd, S, dan Te. Perbandingan persentase atom dapat digunakan untuk menentukan perbandingan molaritas dari unsur Cd, S, dan Te.

Bahan Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) dalam bentuk lapisan tipis berpotensi sebagai kandidat bahan sel surya. Massa bahan masif terbaik untuk memperoleh lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) dapat dilihat dari hasil karakterisasi XRD, SEM, EDAX. Berdasarkan karakteristik lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) seperti struktur kristal, morfologi permukaan dan komposisi kimia, maka dapat ditentukan variasi massa bahan masif paling baik. Hal ini ditentukan dengan melihat kualitas lapisan tipis yang diperoleh dari masing-masing variasi massa bahan masif.

F. Diagram Alir Tahap Penelitian

Berikut langkah-langkah penelitian yang disajikan dalam bentuk diagram alir.



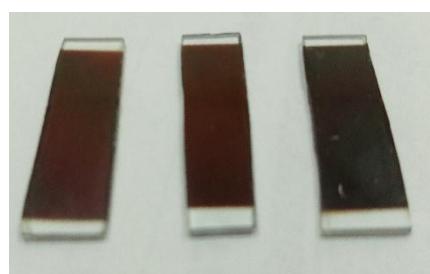


Gambar 37. Diagram Alir Tahap Penelitian

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Preparasi Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

Hasil preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan menggunakan teknik evaporasi vakum memperoleh tiga sampel. Sampel lapisan tipis dengan variasi massa bahan masif sebesar 0,1 gram; 0,15 gram dan 0,2 gram. Variasi massa bahan masif dilakukan, bertujuan untuk menentukan massa bahan masif yang optimal upaya memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas pembentukan paling baik dan menentukan pengaruh massa bahan masif terhadap kualitas kristal yang terbentuk berdasarkan struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia. Lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 38.



(a) (b) (c)

Gambar 38. Hasil Preparasi Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) (a) Sampel 1 dengan massa bahan masif 0,1 gram; (b) Sampel 2 dengan massa bahan masif 0,15 gram; dan (c) Sampel 3 dengan massa bahan masif 0,2 gram

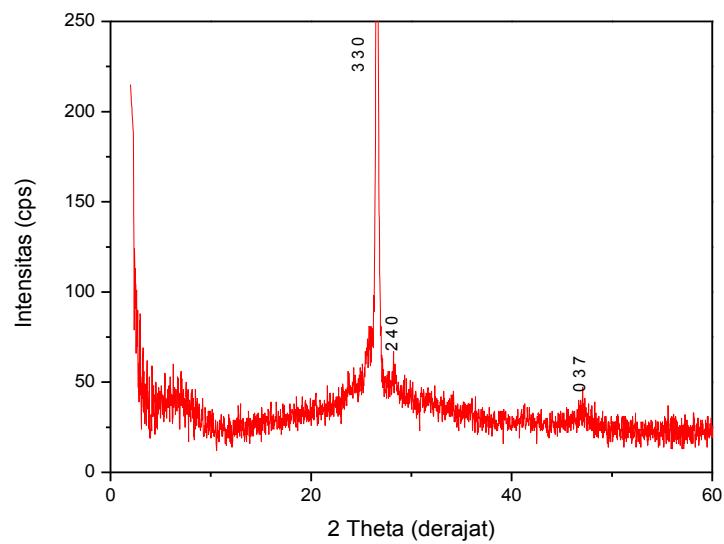
Hasil preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) terlihat mempunyai ciri-ciri fisik yang hampir sama dari segi bentuk dan warna. Ketiga sampel berwarna kehitam-

hitaman. Warna kehitaman menunjukkan bahwa bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) telah terdeposisi merata pada substrat. Pada ketiga sampel lapisan tipis dilakukan karakterisasi XRD. Sampel lapisan tipis terbaik dipilih berdasarkan puncak intensitas tertinggi pada difraktogram hasil XRD. Pada sampel lapisan tipis terbaik dilakukan karakterisasi SEM dan EDAX.

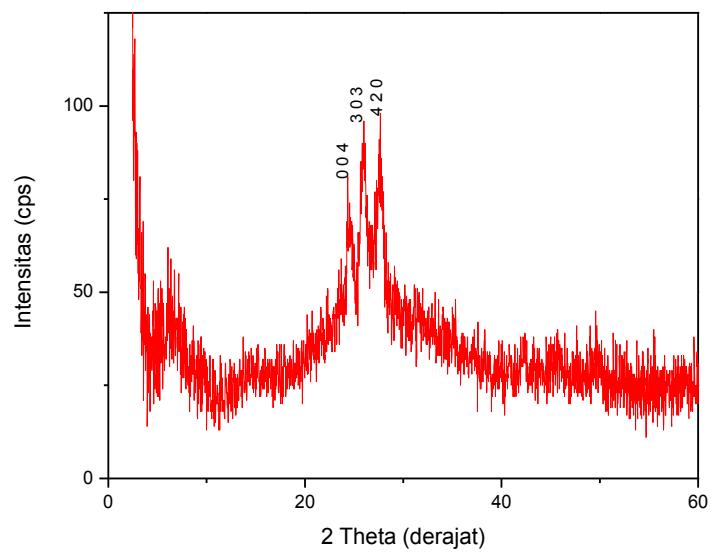
B. Hasil Karakterisasi

1. Hasil Karakterisasi Struktur Kristal Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*)

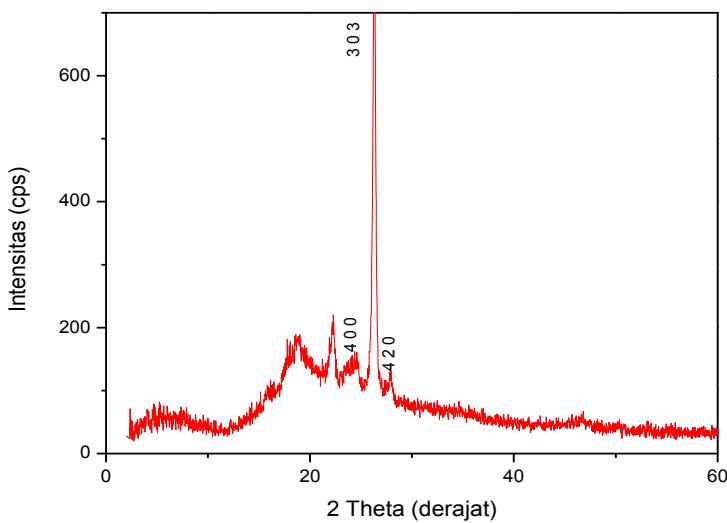
Karakterisasi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) menggunakan XRD bertujuan untuk menentukan struktur kristal dan parameter kisinya. Karakterisasi sampel dilakukan di Laboratorium Kimia Organik, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, dengan menggunakan XRD bermerk Miniflex 600 Rigaku. Karakterisasi XRD dilakukan pada ketiga sampel supaya dapat ditentukan pengaruh massa bahan masif pada kualitas pembentukan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) berdasarkan struktur kristal dan parameter kisi. Data hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram, yakni grafik hubungan antara sudut hamburan (2θ) dan intensitas puncak spektrum (I). Karakterisasi XRD ini menggunakan sinar-X dari Cu dengan panjang gelombang (λ) sebesar 1,5406 Å. Difraktogram hasil XRD dari ketiga sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dan bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) ditunjukkan pada Gambar 39, 40, 41, dan 42.



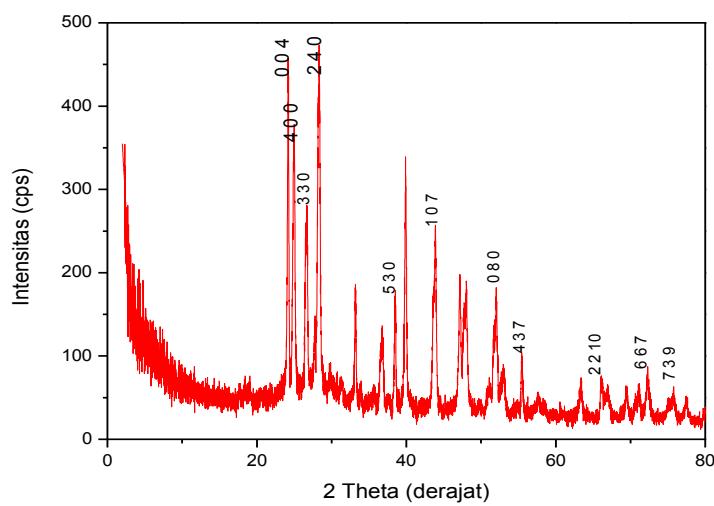
Gambar 39. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ Sampel 1 dengan Massa Bahan Masif 0,1 gram



Gambar 40. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ Sampel 2 dengan Massa Bahan Masif 0,15 gram

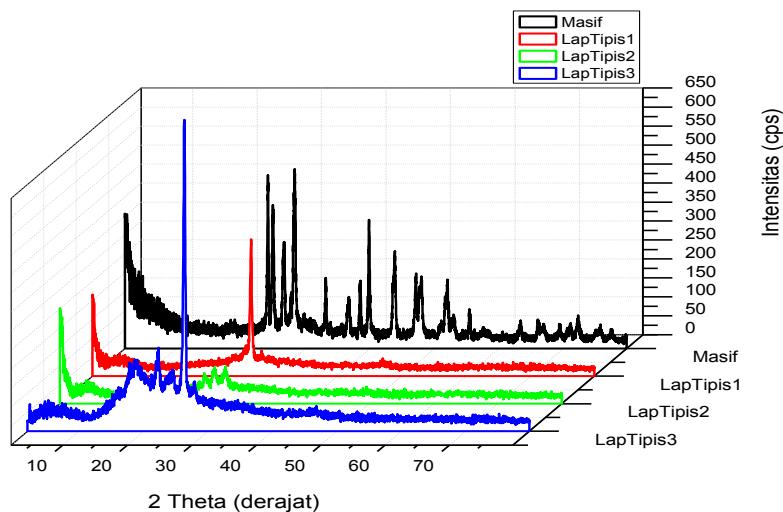


Gambar 41. Difraktogram XRD Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ Sampel 3 dengan Massa Bahan Masif 0,2 gram



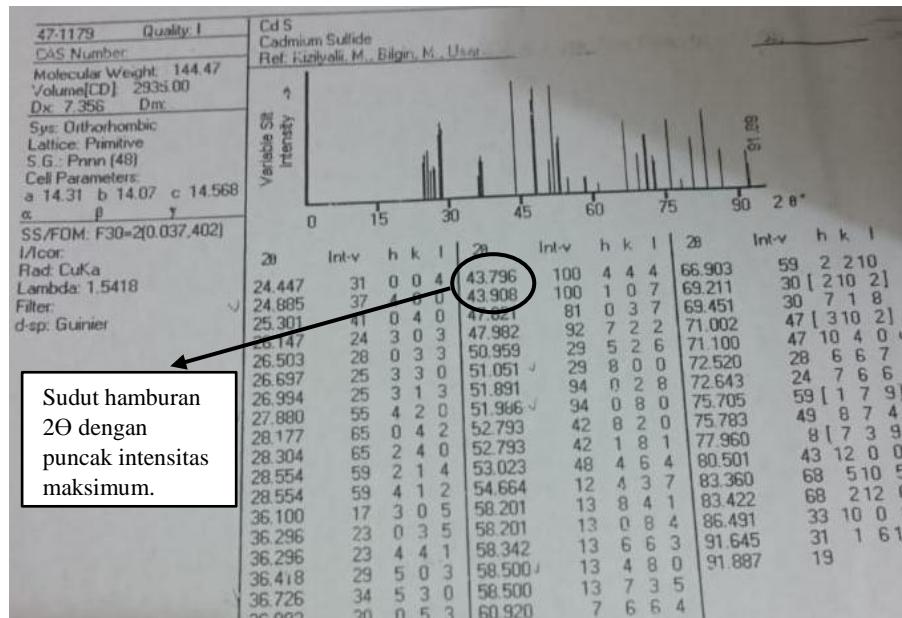
Gambar 42. Difraktogram XRD Bahan Masif $\text{Cd}(\text{S}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$
Difraktogram ketiga sampel lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ digabungkan dengan difraktogram sampel bahan masif $\text{Cd}(\text{S}_{0.8}\text{Te}_{0.2})$ menggunakan *software* Origin.

Hal ini perlu dilakukan, supaya lebih mudah untuk membandingkan difraktogram hasil XRD dari seluruh sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) maupun bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Selain itu, puncak dengan sudut hamburan (2θ) yang muncul pada sampel lapisan tipis merupakan sebagian kecil dari pola difraksi pada bahan masif (Ariswan, 2011). Hasil penggabungan difraktogram ditunjukkan pada Gambar 43.

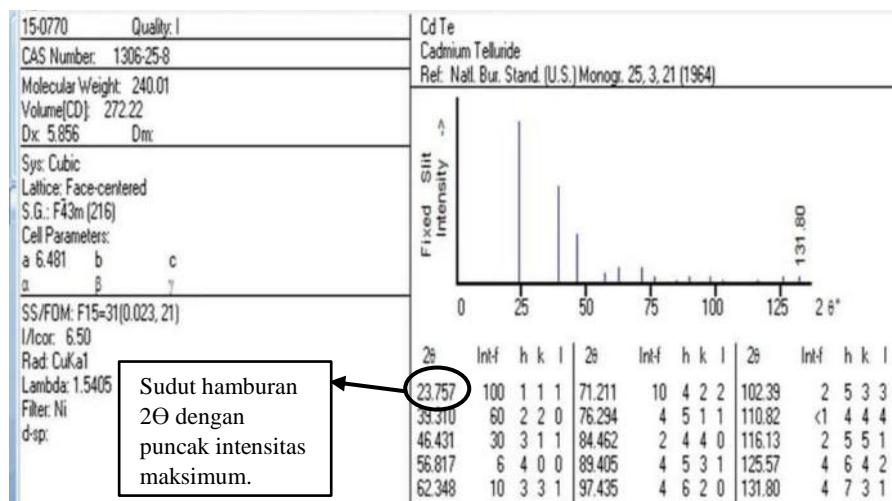


Gambar 43. Difraktogram XRD Gabungan Lapisan Tipis Sampel 1, Sampel 2, Sampel 3, dan Bahan Masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

Berdasarkan data JCPDS, bahan CdS murni yang memiliki intensitas maksimum pada sudut 2θ 43,796° (Gambar 44) dan bahan CdTe murni yang memiliki intensitas maksimum pada sudut 2θ 23,757° (Gambar 45), maka puncak-puncak intensitas maksimum pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) terdapat di antara sudut 2θ 23,757° dan 43,796°.



Gambar 44. Data JCPDS pada CdS (Kizilyalli, 1989)



Gambar 45. Data JCPDS pada CdTe (Zachariasen, 1964)

Sudut difraksi 2θ dengan intensitas maksimum untuk sampel 1 pada sudut $2\theta = 26,611^\circ$, sampel 2 pada sudut $2\theta = 27,63^\circ$, dan sampel 3 pada sudut $2\theta = 26,31^\circ$, mengalami pergeseran yang cukup jauh dari bahan CdS yang intensitas maksimumnya pada sudut $2\theta = 43,796^\circ$. Pergeseran puncak maksimum tersebut bisa terjadi, karena adanya pengaruh unsur Te (*Tellurium*) dimana bahan

$\text{Cd}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ bukanlah CdS murni melainkan bahan CdS yang didoping dengan Te . Puncak intensitas tertinggi dari ketiga sampel lapisan tipis dimiliki oleh sampel 3 pada sudut $2\theta = 26,31^\circ$. Intensitas puncak semakin tinggi pada difraktogram hasil XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis yang terbentuk telah memiliki keteraturan atom-atom kristal yang semakin baik (Ningrum, 2017: 67). Berdasarkan hal tersebut, maka lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ sampel 3 dengan massa bahan masif 0,2 gram memiliki susunan atom-atom kristal yang lebih teratur daripada sampel 1 dan sampel 2. Sehingga, dapat ditentukan bahwa variasi massa bahan masif sebesar 0,2 gram menghasilkan kualitas pembentukan lapisan tipis yang paling baik.

Berdasarkan puncak-puncak yang muncul dari hasil karakterisasi XRD, maka dapat dilakukan pencocokan antara data hasil XRD dengan data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*). Hasil preparasi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ menggunakan teknik evaporasi vakum cenderung memiliki pola difraksi bahan CdS (*Cadmium Sulfide*). Hal ini juga diperkuat dengan adanya hasil karakterisasi XRD pada bahan masif yang memiliki pola difraksi lebih banyak dan cenderung pada bahan CdS . CdS memiliki struktur kristal berbentuk ortorombik (*orthorhombic*) menurut data JCPDS No.47-1179 (Gambar 44). Oleh karena itu, lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ memiliki struktur ortorombik (*orthorhombic*) dengan nilai parameter kisi $a \neq b \neq c$. Lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ memiliki struktur kristal berbentuk ortorombik (*orthorhombic*), juga bisa dikarenakan dua hal ini:

1. Bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,8}\text{Te}_{0,2})$ terbentuk dari bahan Cd dan S yang fraksi molnya lebih dominan daripada fraksi mol Te , sehingga bahan dapat memiliki sifat dan struktur CdS .
2. Pemanas substrat 360°C merupakan ukuran suhu yang mendekati titik didih bahan *Sulfur* (S) yakni $444,6^\circ\text{C}$, dimana *Sulfur* (S) memiliki struktur ortorombik. Berbeda halnya bila suhu substrat mendekati titik didih bahan *Cadmium* (Cd) yakni 767°C , maka bahan akan memiliki struktur heksagonal seperti pada penelitian yang sudah berhasil dilakukan oleh Dr. Ariswan dengan suhu substrat 600°C (Ariswan, 2013).

Hasil pencocokan data XRD sampel 1, 2, dan 3 dengan data JCPDS No.47-1179, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Perbandingan Hasil XRD Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 1 dengan JCPDS No.47-1179

Puncak	Sampel 1		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})		2θ (°)	I (%)	hkl
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	I (%)	hkl
1	26,611	100	26,697	25	3 3 0
2	28,232	19	28,304	65	2 4 0
3	47,078	13	47,821	81	0 3 7

Tabel 5. Perbandingan Hasil XRD Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 2 dengan JCPDS No.47-1179

Puncak	Sampel 2		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})		2θ (°)	I (%)	hkl
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	I (%)	hkl
1	24,36	83	24,447	31	0 0 4
2	26,04	95	26,147	24	3 0 3
3	27,63	100	27,88	55	4 2 0

Tabel 6. Perbandingan Hasil XRD Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 3 dengan JCPDS No.47-1179

Puncak	Sampel 3		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})		2θ (°)	I (%)	hkl
	2θ (°)	I (%)	2θ (°)	I (%)	hkl
1	18,63	-	-	-	-
2	22,24	-	-	-	-
3	24,61	20	24,885	37	4 0 0
4	26,31	100	26,147	24	3 0 3
5	27,94	16	27,88	55	4 2 0

Berdasarkan Tabel 4, 5, dan 6, masing-masing puncak terletak pada sudut hamburan (2θ) yang mendekati data JCPDS No.47-1179. Indeks miller (hkl) dari hasil karakterisasi XRD dapat diketahui dengan melihat indeks miller (hkl) dari

data JCPDS. Diketahuinya nilai indeks miller (hkl), maka nilai parameter kisi bisa ditentukan. Cara menentukan nilai parameter kisi pada ketiga sampel lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}), yakni dengan melakukan analisis secara analitik sesuai hukum Bragg dan persamaan jarak antar bidang pada struktur ortorombik (*orthorhombic*). Hasil parameter kisi yang diperoleh, ditampilkan pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Parameter Kisi Hasil Metode Analitik Sampel 1, 2, dan 3

terhadap data JCPDS No.47-1179

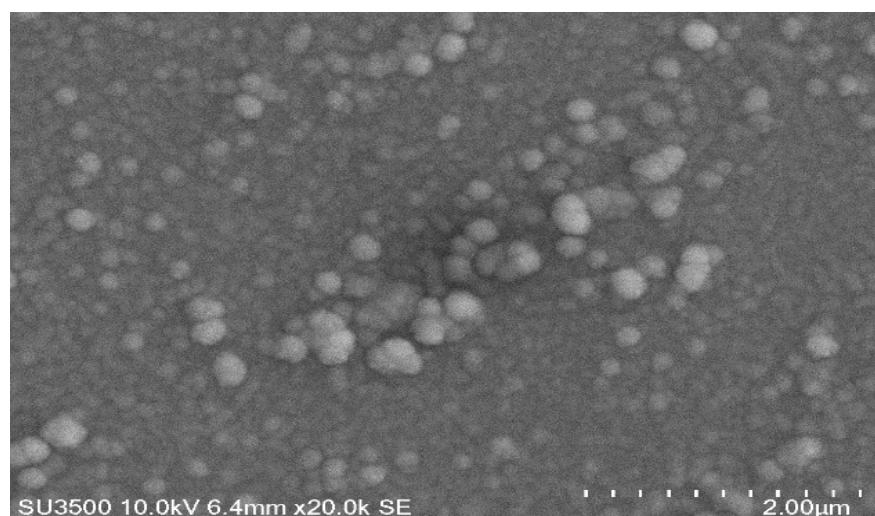
Parameter Kisi	Sampel 1 (Å)	Sampel 2 (Å)	Sampel 3 (Å)	JCPDS No.47-1179 (Å)
<i>a</i>	14,329	14,410	14,458	14,310
<i>b</i>	14,075	14,492	13,584	14,070
<i>c</i>	14,811	14,604	14,264	14,568
Volume sel	2987,092	3049,749	2801,414	2933,146

Berdasarkan hasil perhitungan nilai parameter kisi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) secara analitik yang ditunjukkan pada Tabel 7, nilai parameter kisi dari ketiga sampel sudah mendekati data pada JCPDS No.47-1179 dan tidak terdapat perbedaan yang cukup besar. Hal ini menunjukkan bahwa variasi massa bahan masif tidak mempengaruhi struktur kristal beserta nilai parameter kisi lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang terbentuk, melainkan berpengaruh pada intensitas puncak difraktogramnya. Intensitas puncak tertinggi terdapat pada sampel 3 dengan massa bahan masif 0,2 gram. Semakin tinggi intensitasnya maka semakin baik pula keteraturan atom-atom kristalnya, sehingga kualitas pembentukan lapisan tipis akan semakin baik jika intensitas yang dihasilkan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan tipis dengan massa bahan masif 0,2 gram, merupakan lapisan tipis yang memiliki kualitas pembentukan paling baik diantara yang lainnya. Pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 dengan massa bahan masif 0,2 gram inilah dilakukan karakterisasi SEM dan EDAX.

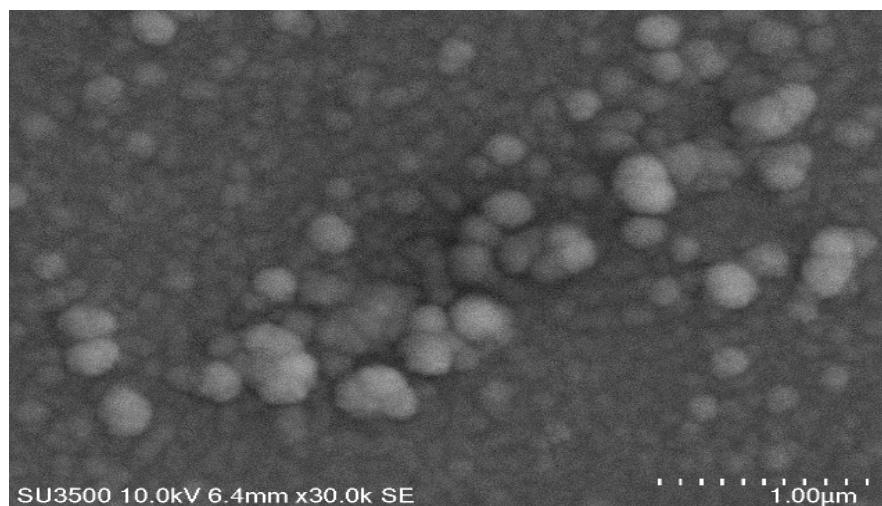
2. Hasil Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 3 Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Karakterisasi menggunakan SEM bertujuan untuk menentukan morfologi permukaan kristal pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}), dalam hal homogenitas *grain*

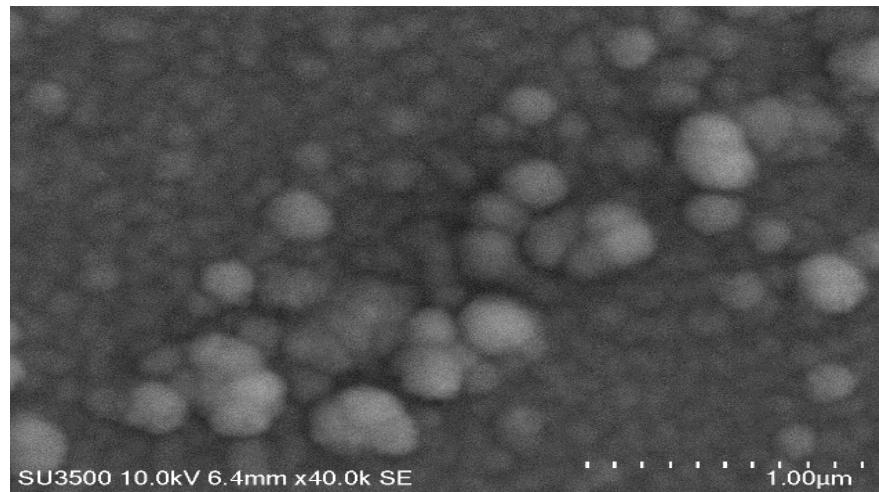
yang ditunjukkan oleh ukuran diameter rata-rata *grain*. Karakterisasi sampel dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTBA LIPI), Yogyakarta, dengan menggunakan mesin terpadu SEM-EDAX bermerk HITACHI SU3500. Sampel yang dikarakterisasi menggunakan SEM adalah sampel yang berkualitas paling baik, sampel tersebut adalah sampel 3 dengan massa bahan masif sebesar 0,2 gram. Perbesaran SEM yang dipilih ada tiga, yakni 20.000 kali, 30.000 kali, dan 40.000 kali. Hasil dari karakterisasi SEM ini berupa foto, seperti pada Gambar 46, 47, dan 48.



Gambar 46. SEM Perbesaran 20.000 Kali

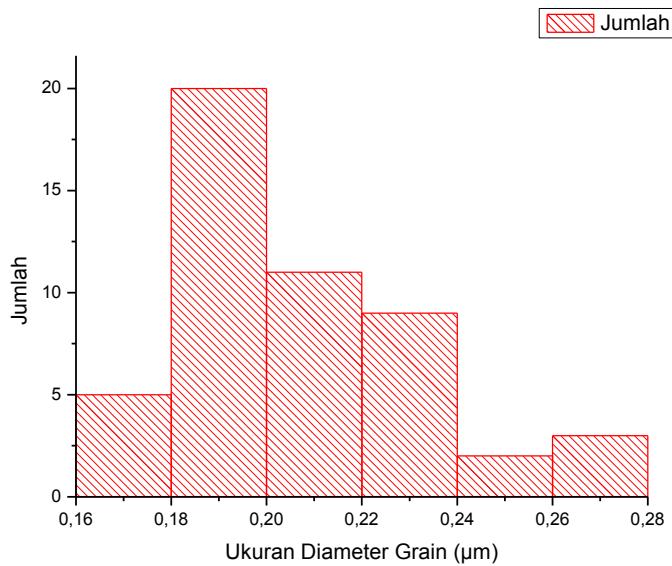


Gambar 47. SEM Perbesaran 30.000 Kali



Gambar 48. SEM Perbesaran 40.000 Kali

Berdasarkan Gambar 46, 47, dan 48, sudah terlihat jelas adanya *grain* (butiran-butiran) kristal yang terbentuk. Morfologi permukaan kristal lapisan tipis dalam hal homogenitas *grain* terlihat dari bentuk, struktur, dan warna *grain* kristal yang hampir seragam. Bentuk *grain* tidak bulat simetris, terlihat bahwa permukaan kristal yang terbentuk berupa polikristal dengan bentuk ortorombik (*orthorhombic*) (Khoirunisa, 2017: 75). Pengukuran diameter *grain* dilakukan menggunakan *software* ImageJ dan analisisnya menggunakan *software* Ms. Excel dan Origin. Pengukuran diameter *grain* dilakukan pada hasil SEM perbesaran 20.000 kali. Hasil SEM dengan perbesaran 20.000 kali dipilih karena *grain* terlihat lebih jelas dan mudah untuk diukur. Memilih 50 sampel *grain* (butir) yang terlihat jelas untuk dilakukan pengukuran diameter. Setiap butir dilakukan pengukuran 10 kali dan ukuran diameter tersebut dirata-rata tiap butirnya menggunakan Ms. Excel, sehingga memperoleh 50 data ukuran diameter *grain* yang merupakan hasil rata-rata. Distribusi jumlah ukuran diameter *grain* pada data tersebut, diplot menggunakan Origin dalam bentuk histogram.



Gambar 49. Grafik Histogram Hubungan antara Jumlah dengan Ukuran Diameter *Grain*

Tabel 8. Tabulasi Data Histogram

Ukuran Diameter <i>Grain</i> (x_i) μm	Jumlah (f_i)
0,16 – 0,18	5
0,18 – 0,20	20
0,20 – 0,22	11
0,22 – 0,24	9
0,24 – 0,26	2
0,26 – 0,28	3

Penentuan nilai rata-rata ukuran diameter *grain* dilakukan menggunakan metode analitik. Analisis yang dilakukan terdapat pada Lampiran 3. Perhitungan nilai tersebut menggunakan persamaan 17 dan 18.

Nilai rata-rata pengukuran dari masing-masing *grain* secara berulang adalah

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \quad (17)$$

dan deviasi standar dari nilai rata-rata di atas adalah

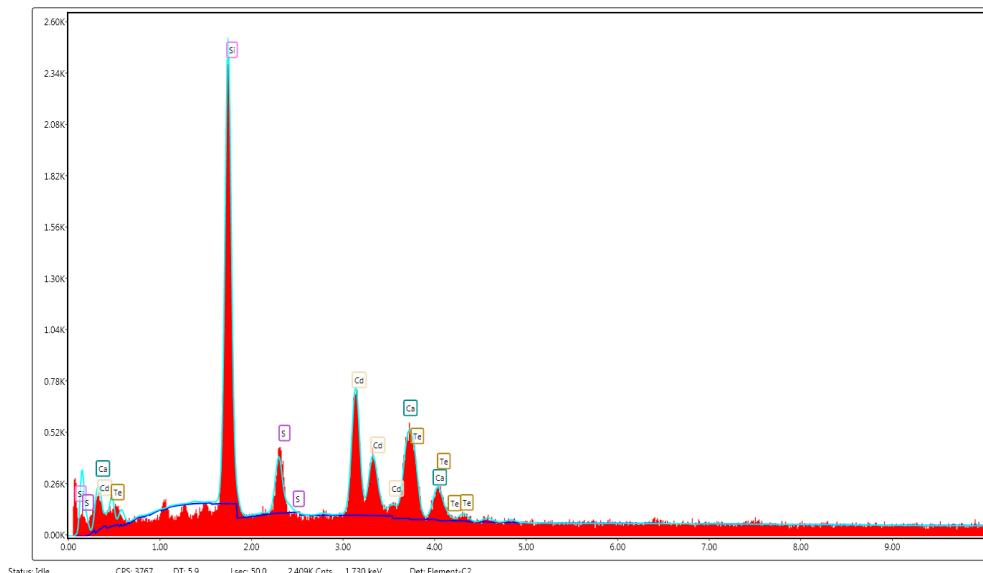
$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k f_i x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (18)$$

Persamaan tersebut untuk menentukan rata-rata hitung dari data yang sudah dikelompokkan dalam distribusi frekuensi (Wibowo, 2014: 5).

Nilai rata-rata ukuran diameter *grain* adalah $(0,21 \pm 0,03) \mu\text{m}$, menunjukkan adanya homogenitas (keseragaman) ukuran pada grain yang menggambarkan keteraturan atom-atom yang baik pada kristal lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 dengan massa bahan masif 0,2 gram.

3. Hasil Komposisi Kimia Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 3 Menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*)

Karakterisasi menggunakan EDAX bertujuan untuk menentukan komposisi kimia pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}). Karakterisasi dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTBA LIPI), Yogyakarta, dengan menggunakan mesin terpadu SEM-EDAX bermerk HITACHI SU3500. Sampel yang dikarakterisasi menggunakan EDAX merupakan sampel yang berkualitas paling baik diantara lainnya, sampel tersebut adalah sampel 3 dengan massa bahan masif sebesar 0,2 gram. Hasil karakterisasi EDAX berupa spektrum, ditunjukkan dalam bentuk grafik yang memperlihatkan hubungan antara energi dan intensitas dari bahan yang dikarakterisasi. Hasil karakterisasi EDAX ditampilkan pada Gambar 50 dan Tabel 9.



Gambar 50. Spektrum EDAX Lapisan Tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) Sampel 3

Tabel 9. Data Komposisi Lapisan Tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) Sampel 3

Element	Weight %	Atomic %	Error %	Net Int.	K Ratio
Si K	36,01	60,07	6,46	398,12	0,2259
S K	7,31	10,69	9,11	65,98	0,0431
Cd L	27,1	11,3	5,14	136,69	0,2179
Ca K	8,84	10,33	9,91	71,35	0,0703
Te L	20,74	7,61	12,57	68,62	0,1447

Berdasarkan Gambar 50 dan Tabel 9, diketahui bahwa hasil preparasi lapisan tipis Cd($S_{0,8}Te_{0,2}$) sampel 3 sudah mengandung fasa atom atau unsur *Cadmium* (Cd), *Sulfide* (S), dan *Tellurium* (Te). Unsur lain seperti Si dan Ca yang muncul, merupakan unsur yang berasal dari substrat (kaca preparat). Ketiga unsur Cd, S, dan Te dapat dilihat konsentrasi atomic unsurnya (%). Perbandingan molaritas unsur hasil EDAX dapat dibandingkan dengan perbandingan molaritas unsur secara teori. Hasil perbandingan ditampilkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perbandingan Konsentrasi Atomic, Perbandingan Molaritas, dan Perbandingan Teori

Konsentrasi Atomic (%)			Perbandingan Molaritas			Perbandingan Teori		
Cd	S	Te	Cd	S	Te	Cd	S	Te
11,30	10,69	7,61	1	0,95	0,67	1	0,80	0,20

Berdasarkan Tabel 10, terlihat bahwa komposisi kimia lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 memiliki perbandingan molaritas secara eksperimen dari masing-masing unsur Cd : S : Te sebesar 1 : 0,95 : 0,67. Hasil ini berbeda dengan perbandingan molaritas secara teori yang bernilai 1 : 0,8 : 0,2. Hasil tersebut menunjukkan keadaan *non-stoichiometry* yang terjadi karena setiap unsur mempunyai karakteristik titik didih tertentu. Proses pemanasan bahan masif menjadi uap menghasilkan atom dengan kecapatan yang berbeda-beda dan menyebabkan adanya sebagian atom yang terpental, sehingga tidak menempel pada substrat secara sempurna. Perbedaan ini tidak mempengaruhi sifat bahan, karena komposisi unsur Cd dan S tetap lebih banyak daripada unsur Te dan bahan tetap memiliki sifat CdS sesuai yang diharapkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan variasi massa bahan masif melalui teknik evaporasi vakum yang berpotensi sebagai kandidat bahan sel surya:

- a. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) memiliki struktur ortorombik, dengan nilai parameter kisi sebagai berikut:

Sampel 1 (massa bahan masif 0,1 gram), diperoleh $a = 14,329 \text{ \AA}$; $b = 14,075 \text{ \AA}$; dan $c = 14,811 \text{ \AA}$

Sampel 2 (massa bahan masif 0,15 gram), diperoleh $a = 14,410 \text{ \AA}$; $b = 14,492 \text{ \AA}$; dan $c = 14,604 \text{ \AA}$

Sampel 3 (massa bahan masif 0,2 gram), diperoleh $a = 14,458 \text{ \AA}$; $b = 13,584 \text{ \AA}$; dan $c = 14,264 \text{ \AA}$

- b. Hasil karakterisasi SEM dengan perbesaran 20.000 kali menunjukkan bahwa bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 (massa bahan masif 0,2 gram) memiliki morfologi permukaan yang homogen dengan ukuran diameter rata-rata *grain* sebesar $(0,21 \pm 0,03) \mu\text{m}$. Adanya keseragaman ukuran pada *grain*, menggambarkan keteraturan atom-atom yang baik pada kristal lapisan tipis.

- c. Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 (massa bahan masif 0,2 gram) sudah mengandung fasa atom atau unsur *Cadmium* (Cd), *Sulfide* (S), dan *Tellurium* (Te) dengan persentase komposisi kimia Cd sebesar 11,3 %, S sebesar 10,69 %, dan Te sebesar 7,61 %. Perbandingan molaritas unsur dari Cd : S : Te yang diperoleh sebesar 1 : 0,95 : 0,67. Hasil tersebut menunjukkan

keadaan *non-stoichiometry* yang terjadi karena setiap unsur mempunyai karakteristik titik didih tertentu. Perbedaan ini tidak mempengaruhi sifat bahan, karena komposisi unsur Cd dan S tetap lebih banyak daripada unsur Te dan bahan tetap memiliki sifat CdS sesuai yang diharapkan.

2. Variasi massa bahan masif pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) tidak mempengaruhi struktur kristal yang terbentuk, melainkan berpengaruh pada kualitas kristal. Semakin banyak massa bahan masif maka semakin baik pula kualitas kristal ditinjau dari morfologi permukaan dan komposisi bahan.
3. Massa bahan masif sebesar 0,2 gram adalah massa bahan masif yang optimal untuk memperoleh lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dengan kualitas kristal terbaik sebagai kandidat bahan sel surya.

B. Saran

Setelah melakukan penelitian dan pembahasan tentang semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum, sebagai upaya meningkatkan kualitas penelitian menjadi lebih baik, penulis menyarankan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dalam hal karakterisasi, seperti karakterisasi untuk menentukan resistivitas, sifat optik, ketebalan lapisan tipis, dan lainnya guna memperoleh informasi lebih banyak tentang lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) hasil preparasi teknik evaporasi vakum.
2. Perlu ditambahkan variasi massa bahan masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) yang lebih banyak guna memperoleh nilai massa bahan yang lebih optimal untuk pembentukan lapisan tipis yang lebih baik.
3. Penelitian ini dapat digunakan untuk mendasari penelitian yang lebih lanjut dalam mengembangkan teknologi sel surya menggunakan bahan lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}).

DAFTAR PUSTAKA

- Afosma, Wida. (2017). *Studi tentang Pengaruh Jarak (Spacer) terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn($Se_{0,2}Te_{0,8}$) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Allen, P. E. (2000). *Depletion Region of A PN Junction.* Handout. Georgia: Georgia Institute of Technology.
- Ariswan. (2009). *Struktur dan Respon Spektral Ultra Violet-Visible (UV-Vis) pada Lapisan Tipis Tembaga, Aurum, Indium, Perak, dan Aluminium Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Klasik.* Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2010). *Semikonduktor.* Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2011). *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia.* Artikel HFI Fotovoltaik.pdf. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2011). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Cd (Se, S) Masif Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman.* Artikel Fundamental_08.pdf. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2013). *Karakterisasi Lapisan Tipis Cadmium Sulfida (CdS) Hasil Preparasi dengan Teknik Close Space Vapor Transport (CSVT) untuk Aplikasi Sel Surya.* Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2013). *Semikonduktor.* Handout. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2015). *Kristalografi.* Handout. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. (2015). *Modul 1 Kuliah Semikonduktor.* Modul. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan, & Bo, N.P. (2004). *Teknologi Vakum.* Handout. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Astra, I Made. (2015). *Modul 1 Struktur Kristal*. Modul. Jakarta: Universitas Terbuka.

Astuti, S.Y. (2011). *Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe: Cu yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

Auliasari, A.D. (2017). *Pengaruh Variasi Massa Bahan terhadap Kualitas Kristal Semikonduktor Sn($Se_{0,2}Te_{0,8}$) Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

AZo Materials. (2019). *Cadmium Sulfide*. Diakses dari <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=5816>. Pada tanggal 21 April 2019, pukul 19.47 WIB.

AZo Materials. (2019). *Cadmium Telluride (CdTe) Semiconductors*. Diakses dari <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8408>. Pada tanggal 21 April 2019, pukul 19.52 WIB.

Bahtiar, Riyanto. (2019). *Pengaruh Temperatur Substrat pada Kristal Lapisan Tipis Cd($S_{0,2}Te_{0,8}$) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Beiser, Arthur. (1992). *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. (Alih Bahasa: DR The Houw Liong). Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.

Cullity. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. USA: Addison-Wesley Publishing Company. Inc.

Cullity, B.D and Stock, S.R. (2014). *Elements of X-Ray Diffraction*. 3rd. Ed. USA: Pearson Education Limited.

Fatmasari, Kurnia. (2018). *Sifat Listrik dan Optik Lapisan Tipis Bahan Semikonduktor Sn($S_{0,5}Te_{0,5}$), Sn($S_{0,4}Te_{0,6}$), Sn($S_{0,2}Te_{0,8}$) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

- Fonthal, G., Mejia, L.T., Hurtado, J.I.M., Calderon, H.A., Alvarez, J.G.M. (2000). *Temperature Dependence of Band Gap Energy of Cristalline CdTe*. Journal of Physics and Chemistry of Solids, 61, 579-583.
- Gautreau, R & William, S. (2006). *Schaum's Outline of Modern Physics*. Jakarta: Erlangga.
- Hendriani, Noni. (2019). *Pengaruh Spacer pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Cd(S_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Istiyono, Edi. (2000). *Fisika Zat Padat 1*. Handout. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Istiyono, Edi. (2007). *Bridgman Kelebihan dan Kekurangannya Sebagai Teknik Penumbuhan Kristal*. Karya Ilmiah. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Khoirunisa', Siti. (2017). *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kittel, Charles. (2005). *Introduction to Solid State Physics*. 8Th. Ed. Berkeley: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Kizilyalli, M., Bilgin, M., and Usanmaz, A. (1989). *Synthesis of A New Orthorhombic Metastable Form of CdS through Solid-State Reactions*. JCPDS Cards No.47-1179.
- Makhnunah, Khoidatul. (2011). *Performansi Kelistrikan Heterojunction CdTe/CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Miyazaki, Masahiro. (2014). *Specifications of SU3500*. Diakses dari https://www.hitachihihitech.com/file/us/pdf/library/literature/SU3500_B_rochureHTD-E203P_resized_singlepage.pdf. Pada tanggal 12 Agustus 2019, pukul 20.30 WIB.

Ningrum, V.H.T. (2017). *Studi tentang Pengaruh Suhu Substrat terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(Se_{0,4}Te_{0,6}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

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

Ohring, Milton. (1992). *The Materials Science of Thin Films.* San Diego: Academic Press.

Ohring, Milton. (2002). *Material Science of Thin Film Desposition and Structure.* 2nd. Ed. San Diego: Academic Press.

Pratiwi, Z.R. (2013). *Pengaruh Suhu Annealing Lapisan Aktif Polimer P3ht: Pcbm terhadap Unjuk Kerja Sel Surya Polimer yang Ditumbuhkan di Atas Substrat Gelas.* Skripsi. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.

Puspitaningrum, Tyas. (2017). *Penentuan Band Gap dan Konduktivitas Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,2}) dan Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Termal.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Ralph, Jolyon. (2019). *Cadmium.* Diakses dari <https://www.mindat.org/min-842.html>. Pada tanggal 10 Agustus 2019, pukul 15.45 WIB.

Rio, S. R & Lida, M. (1980). *Fisika dan Teknologi Semikonduktor.* Jakarta: P.T. Dainippon Gitakarya Printing.

Royal Society of Chemistry. (2019). *Cadmium.* Diakses dari <http://www.rsc.org/periodic-table/element/48/cadmium>. Pada tanggal 21 April 2019, pukul 19.34 WIB.

- Rusli, Rolan. (2017). *Sistem Kristal dan Kisi Bravais*. Handout. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Setainingrum, Mahmudah. (2016). *Studi tentang Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Setiawan, Agus. (2007). *Modul 4 Semikonduktor*. Modul. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Shimura, Hikaru. (2018). *MiniFlex Specifications*. Diakses dari www.rigaku.com/en/products/xrd/miniflex/specs. Pada tanggal 12 Agustus 2019, pukul 20.15 WIB.
- Smallman, R. E & Bishop, R.J. (2000). *Metalurgi Fisika Modern & Rekayasa Material*. Terjemahan Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.
- Sugianto, Hendarto, N., Marwoto, P., Wibowo, E. (2010). *Pengaruh Daya Plasma pada Struktur Mikro dan Sifat Optik Film Tipis CdTe yang Ditumbuhkan dengan DC Magnetron Sputtering*. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV Jateng dan DIY, 134-138. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Sumarna. (2015). *Bahan Kuliah Fisika Semikonduktor*. Handout. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Suryanarayana, C. & Norton, M.G. (1998). *X-Ray Diffraction a Practical Approach*. New York: Plenum Press.
- Suud, Ibnu. (1998). *Struktur dan Ikatan Kristal*. Handout. Padang: IKIP Padang.
- Vaughan, Douglass. (1999). *An Introduction Energy Dispersive X-Ray Microanalysis*. Middleton: NORAN Instrument.

Wibowo, Arif. (2014). *Bab 3: Nilai Ringkasan Data*. Modul. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Winter, Mark. (1993). *Sulfur*. Diakses dari www.webelements.com/sulfur/. Pada tanggal 10 Agustus 2019, pukul 15.50 WIB.

Winter, Mark. (1993). *Tellurium*. Diakses dari www.webelements.com/tellurium/. Pada tanggal 10 Agustus 2019, pukul 16.05 WIB.

Yunus, A.D. (2010). *Struktur dan Sifat Material*. Jakarta: Universitas Darma Persada.

Zachariasen, W. H. (1964). *Cadmium Telluride (CdTe)*. JCPDS Cards No.15-0770. National Bureau of Standards.

Zakiati, Fani. (2017). *Pengaruh Variasi Spacer Terhadap Kualitas Kristal Lapisan Tipis Sn(Se_{0,6}Te_{0,4}) dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Karakterisasi XRD Bahan Masif dan Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

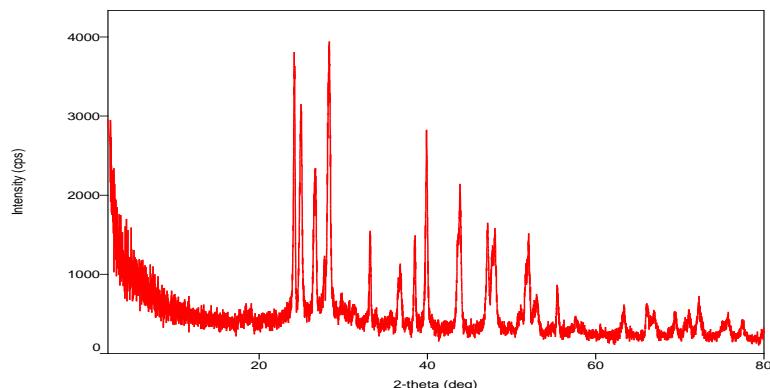
a. Bahan Masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

Peak List

General information

Analysis date	2018/11/06 10:27:06		
Sample name	Samlpel 2	Measurement date	2018/11/06 08:38:51
File name	708XRD18.raw	Operator	
Comment			

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(d deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	18.77(19)	4.72(5)	51(21)	1.32(18)	71(14)	1.4(8)	2.2(14)
2	24.187(5)	3.6767(7)	2178(135)	0.204(4)	539(7)	0.248(19)	1.70(15)
3	24.952(6)	3.5657(8)	1751(121)	0.309(5)	652(8)	0.37(3)	1.25(9)
4	26.664(9)	3.3405(1)	1169(99)	0.333(7)	429(10)	0.37(4)	1.9(2)
5	27.76(2)	3.211(3)	342(53)	0.21(2)	82(8)	0.24(6)	1.9(10)
6	28.309(7)	3.1500(8)	2223(136)	0.357(6)	909(18)	0.41(3)	1.47(12)
7	33.172(1)	2.6985(1)	821(83)	0.170(10)	168(6)	0.20(3)	1.2(4)
8	36.75(2)	2.4438(1)	449(61)	0.438(18)	229(9)	0.51(9)	1.6(3)
9	38.494(1)	2.3368(8)	786(81)	0.200(10)	174(6)	0.22(3)	1.6(4)
10	39.915(8)	2.2568(4)	1683(118)	0.238(8)	501(8)	0.30(3)	2.4(5)

11	43.895(1)	2.0609(6)	1098(96)	0.463(10)	567(10)	0.52(5)	3.3(5)
12	47.176(1)	1.9250(4)	815(82)	0.261(11)	257(10)	0.32(4)	3.6(7)
13	48.020(1)	1.8931(6)	765(80)	0.66(2)	607(13)	0.79(10)	3.6(5)
14	52.039(1)	1.7560(3)	933(88)	0.263(19)	438(16)	0.47(6)	2.1(4)
15	52.62(4)	1.7378(1)	122(32)	0.19(8)	40(14)	0.3(2)	1.7(14)
16	52.990(1)	1.7267(5)	301(50)	0.29(5)	141(15)	0.47(13)	1.1(7)
17	55.435(1)	1.6562(4)	431(60)	0.188(14)	89(5)	0.21(4)	0.9(3)
18	57.48(3)	1.6020(8)	81(26)	0.82(9)	80(8)	1.0(4)	0.20(19)
19	63.37(3)	1.4665(6)	226(43)	0.37(3)	105(6)	0.46(11)	3.2(16)
20	66.197(1)	1.4106(3)	157(36)	1.05(5)	176(10)	1.1(3)	0.43(12)
21	69.395(1)	1.35320(215(42)	0.21(2)	62(3)	0.29(7)	0.50(11)
22	70.69(7)	1.3315(1)	101(29)	0.82(6)	88(6)	0.9(3)	0.30(13)
23	72.25(4)	1.3066(6)	226(43)	0.50(3)	121(5)	0.54(12)	1.0(3)
24	75.62(6)	1.2565(9)	123(32)	0.92(5)	121(7)	1.0(3)	1.90(16)
25	77.43(7)	1.2316(9)	112(31)	0.45(5)	54(4)	0.48(16)	1.2(6)

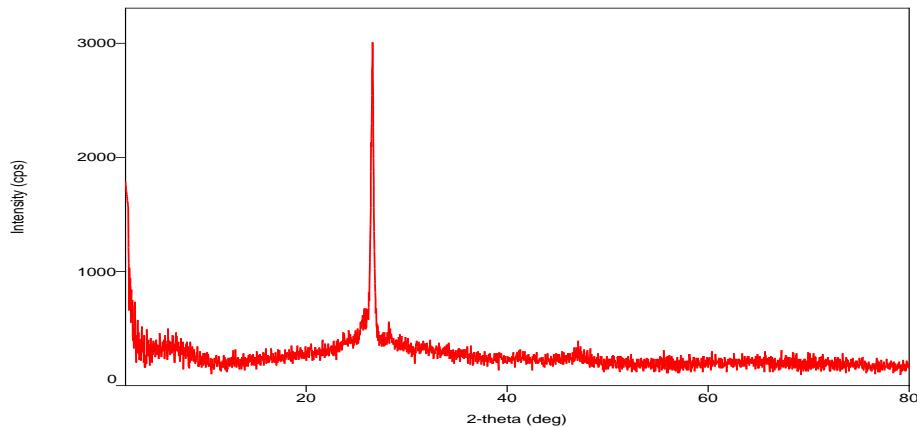
b. Lapisan Tipis Cd(S_{0.8}Te_{0.2}) Sampel 1

Peak List

General information

Analysis date 2018/11/06 11:42:50
 Sample name Sampel 8 Measurement date 2018/11/06 11:08:27
 File name 714XRD2018_Theta Operator
 _2-Theta.raw
 Comment

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	26.611(6)	3.3471(7)	1803(123)	0.262(11)	737(16)	0.41(4)	2.3(2)

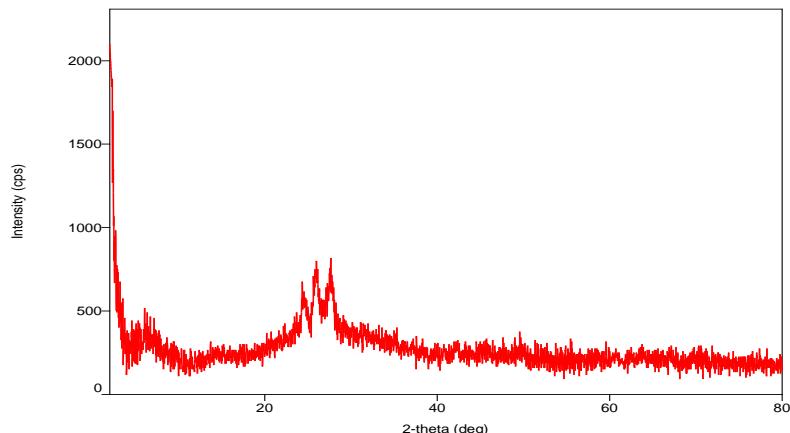
c. Lapisan Tipis Cd(S_{0.8}Te_{0.2}) Sampel 2

Peak List

General information

Analysis date 2018/11/06 11:43:45
Sample name Samlpel 9 Measurement date 2018/11/06 11:24:47
File name 715XRD18.raw Operator
Comment

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	26.04(18)	3.42(2)	349(54)	8.8(5)	6136(444)	18(4)	1.20(16)
2	27.63(5)	3.226(5)	223(43)	0.16(10)	70(14)	0.31(12)	0.9(4)

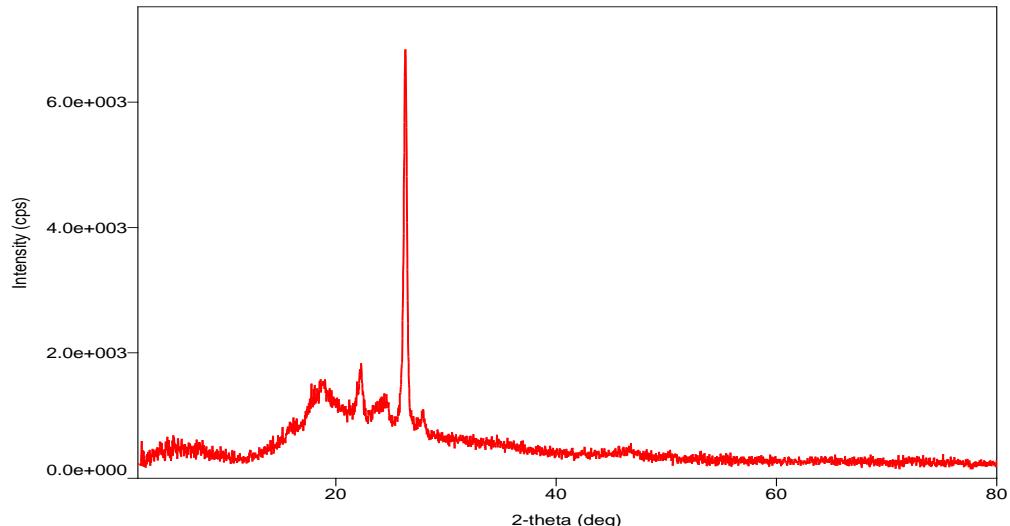
d. Lapisan Tipis Cd(S_{0.8}Te_{0.2}) Sampel 3

Peak List

General information

Analysis date 2019/01/07 11:01:59
Sample name XRD no.22 Measurement date 2019/01/07 10:51:54
File name 0127119.ras Operator administrator
Comment

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	18.63(11)	4.76(3)	272(48)	2.05(10)	658(31)	2.4(5)	1.3(3)
2	22.24(4)	3.993(6)	372(56)	0.42(3)	185(12)	0.50(11)	1.3(4)
3	24.61(9)	3.615(13)	142(34)	0.79(11)	137(17)	1.0(4)	4(3)
4	26.310(6)	3.3846(8)	4010(183)	0.325(5)	1642(18)	0.41(2)	1.32(10)

Lampiran 2. Analisis Hasil XRD

a. Bahan Masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2})

Puncak	Sampel Masif		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})				
	2θ	I	2θ	I	hkl
1	18,77	17	x	x	x
2	24,187	100	24,447	31	0 0 4
3	24,952	84	24,885	37	4 0 0
4	26,664	62	26,697	25	3 3 0
5	27,76	32	27,88	55	4 2 0
6	28,309	99	28,304	65	2 4 0
7	33,172	43	x	x	x
8	36,75	31	36,726	34	5 3 0
9	38,494	38	x	x	x
10	39,915	73	x	x	x
11	43,895	57	43,908	100	1 0 7
12	47,176	45	47,821	81	0 3 7
13	48,02	42	47,982	92	7 2 2
14	52,039	38	51,986	94	0 8 0
15	52,62	20	52,793	42	8 2 0
16	52,99	20	53,023	48	4 6 4
17	55,435	23	54,664	12	4 3 7
18	57,48	14	58,201	13	8 4 1
19	63,37	14	x	x	x
20	66,197	17	66,903	59	2 2 10
21	69,395	14	69,451	30	7 1 8
22	70,69	13	71,002	47	3 10 2
23	72,25	17	72,52	28	6 6 7
24	75,62	14	75,705	59	1 7 9
25	77,43	13	77,96	8	7 3 9

No	2θ	θ	sin θ	(sin θ) ²
1	24,187	0,211071	0,209508	0,043893
2	24,952	0,217747	0,216031	0,046669
3	26,664	0,232687	0,230593	0,053173
4	27,76	0,242252	0,239889	0,057547
5	28,309	0,247043	0,244537	0,059799

6	36,75	0,320704	0,315235	0,099373
7	43,895	0,383056	0,373757	0,139694
8	47,176	0,411688	0,400157	0,160126
9	48,02	0,419054	0,406896	0,165564
10	52,039	0,454126	0,438677	0,192438
11	52,62	0,459196	0,443228	0,196451
12	52,99	0,462425	0,44612	0,199023
13	55,435	0,483762	0,465112	0,21633
14	57,48	0,501608	0,480836	0,231203
15	66,197	0,577678	0,54608	0,298203
16	69,395	0,605586	0,569244	0,324038
17	70,69	0,616887	0,578498	0,33466
18	72,25	0,6305	0,589549	0,347568
19	75,62	0,659909	0,613045	0,375824
20	77,43	0,675704	0,625447	0,391184

Perhitungan parameter kisi untuk sampel masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) dipilih pada sudut 24,187 ° (004); 24,952 ° (400); dan 52,039 ° (080).

a. Untuk sudut 2θ = 24,952 ° (400)

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

$$0,046669 = A(4)^2 + B(0)^2 + C(0)^2$$

$$A = \frac{0,046669}{16}$$

$$A = 0,002917$$

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

$$a = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,002917}}$$

$$a = 14,26279 \text{ \AA}$$

$$a = 14,26 \text{ \AA}$$

b. Untuk sudut 2θ = 52,039 ° (080)

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

$$0,192438 = A(0)^2 + B(8)^2 + C(0)^2$$

$$B = \frac{0,192438}{64}$$

$$B = 0,003007$$

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{4B}}$$

$$b = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,003007}}$$

$$b = 14,04769 \text{ \AA}$$

$$b = 14,05 \text{ \AA}$$

c. Untuk sudut $2\Theta = 24,187^\circ$ (004)

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

$$0,043893 = A(0)^2 + B(0)^2 + C(4)^2$$

$$C = \frac{0,043893}{16}$$

$$C = 0,002743$$

$$c = \frac{\lambda}{\sqrt{4C}}$$

$$c = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,002743}}$$

$$c = 14,70686 \text{ \AA}$$

$$c = 14,71 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	Sampel Masif Cd(S _{0,8} Te _{0,2}) (\text{\AA})	JCPDS CdS (\text{\AA})
a	14,26	14,31
b	14,05	14,07
c	14,71	14,568

b. Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 1

Puncak	Sampel I		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})		2\Theta	I	hkl
	2\Theta	I			
1	26,611	100	26,697	25	3 3 0
2	28,232	19	28,304	65	2 4 0
3	47,078	13	47,821	81	0 3 7

Puncak	2\Theta	\Theta	\sin \Theta	(\sin \Theta)^2
1	26,611	0,232225	0,230143	0,052966

2	28,232	0,246371	0,243886	0,05948
3	47,078	0,410833	0,399373	0,159499

Perhitungan parameter kisi untuk Lapisan tipis sampel I (0,1 gram) pada sudut $26,611^\circ$ (330); $28,232^\circ$ (240); dan $47,078^\circ$ (037).

a. Untuk sudut $2\theta = 26,611^\circ$ (330)

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

$$0,052966 = A(3)^2 + B(3)^2 + C(0)^2$$

$$0,052966 = 9A + 9B$$

b. Untuk sudut $2\theta = 28,232^\circ$ (240)

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

$$0,05948 = A(2)^2 + B(4)^2 + C(0)^2$$

$$0,05948 = 4A + 16B$$

Mensubstitusi persamaan (a) dengan persamaan (b)

$$\begin{array}{l|l} 0,05948 = 4A + 16B & | \times 9 \\ 0,052966 = 9A + 9B & | \times 4 \end{array}$$

Menjadi

$$0,535323 = 36A + 144B$$

$$0,211863 = 36A + 36B$$

$$0,323459 = 108B$$

$$B = \frac{0,323459}{108}$$

$$B = 0,002995$$

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{4B}}$$

$$b = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,002995}}$$

$$b = 14,07544 \text{ \AA}$$

$$0,052966 = 9A + 9B$$

$$0,052966 - 9B = 9A$$

$$A = \frac{0,052966 - 9B}{9}$$

$$A = \frac{0,052966 - 9(0,002995)}{9}$$

$$A = 0,00289$$

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

$$a = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,00289}}$$

$$a = 14,32858 \text{ \AA}$$

$$a = 14,329 \text{ \AA}$$

c. Untuk sudut $2\theta = 47,078^\circ$ (037)

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

$$0,159499 = A(0)^2 + B(3)^2 + C(7)^2$$

$$0,159499 = 9B + 49C$$

$$C = \frac{0,159499 - 9B}{49}$$

$$C = \frac{0,159499 - 9(0,002995)}{49}$$

$$C = 0,002705$$

$$c = \frac{\lambda}{\sqrt{4C}}$$

$$c = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,002705}}$$

$$c = 14,81078 \text{ \AA}$$

$$c = 14,811 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	Lapisan Tipis Sampel I (Å)	JCPDS CdS (Å)
<i>a</i>	14,329	14,310
<i>b</i>	14,075	14,070
<i>c</i>	14,811	14,568

c. Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 2

Puncak	Sampel II		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})		2θ	I	hkl
	2θ	I			
1	24,36	83	24,447	31	0 0 4
2	26,04	95	26,147	24	3 0 3
3	27,63	100	27,88	55	4 2 0

Puncak	2θ	Θ	sin Θ	(sin Θ) ²
1	24,36	0,212581	0,210984	0,044514
2	26,04	0,227242	0,225291	0,050756
3	27,63	0,241117	0,238788	0,05702

Perhitungan parameter kisi untuk Lapisan tipis sampel II (0,15 gram) pada sudut 24,36 °(004); 26,04 °(303); dan 27,63 °(420).

a. Untuk sudut 2θ = 24,36 °(004)

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

$$0,044514 = A(0)^2 + B(0)^2 + C(4)^2$$

$$0,044514 = 16C$$

$$C = \frac{0,044514}{16}$$

$$C = 0,002782$$

$$c = \frac{\lambda}{\sqrt{4C}}$$

$$c = \frac{1,5406}{\sqrt{4*0,002782}}$$

$$c = 14,60398 \text{ Å}$$

$$c = 14,604 \text{ Å}$$

b. Untuk sudut 2θ = 26,04 °(303)

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

$$0,050756 = A(3)^2 + B(0)^2 + C(3)^2$$

$$0,050756 = 9A + 9C$$

$$A = \frac{0,050756 - 9C}{9}$$

$$A = \frac{0,050756 - 9(0,002782)}{9}$$

$$A = 0,002857$$

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

$$a = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,002857}}$$

$$a = 14,41025 \text{ \AA}$$

$$a = 14,410 \text{ \AA}$$

c. Untuk sudut $2\theta = 27,63^\circ$ (420)

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

$$0,05702 = A(4)^2 + B(2)^2 + C(0)^2$$

$$0,05702 = 16A + 4B$$

$$B = \frac{0,05702 - 16A}{4}$$

$$B = \frac{0,05702 - 16(0,002857)}{4}$$

$$B = 0,002825$$

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{4B}}$$

$$b = \frac{1,5406}{\sqrt{4 * 0,002825}}$$

$$b = 14,49238 \text{ \AA}$$

$$b = 14,492 \text{ \AA}$$

Parameter Kisi	Lapisan Tipis Sampel II (Å)	JCPDS CdS (Å)
a	14,410	14,310
b	14,492	14,070
c	14,604	14,568

d. Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Sampel 3

Puncak	Sampel III		JCPDS CdS		
	Cd(S _{0,8} Te _{0,2})		2θ	I	hkl
	2θ	I			
1	18,63	x	x	x	x
2	22,24	x	x	x	x
3	24,61	20	24,885	37	4 0 0
4	26,31	100	26,147	24	3 0 3
5	27,94	16	27,88	55	4 2 0

Puncak	2θ	θ	sin θ	(sin θ) ²
3	24,61	0,214763	0,213116	0,045418
4	26,31	0,229598	0,227586	0,051795
5	27,94	0,243822	0,241414	0,058281

Perhitungan parameter kisi untuk Lapisan tipis sampel III (0,2 gram) pada sudut 24,61 ° (400); 26,31 ° (303); dan 27,94 ° (420).

a. Untuk sudut 2θ = 24,61 ° (400)

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

$$0,045418 = A(4)^2 + B(0)^2 + C(0)^2$$

$$0,045418 = 16A$$

$$A = \frac{0,045418}{16}$$

$$A = 0,002839$$

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

$$a = \frac{1,5406}{\sqrt{4*0,002839}}$$

$$a = 14,45788 \text{ Å}$$

$$a = 14,458 \text{ Å}$$

b. Untuk sudut 2θ = 26,31 ° (303)

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

$$0,051795 = A(3)^2 + B(0)^2 + C(3)^2$$

$$0,051795 = 9A + 9C$$

$$C = \frac{0,051795 - 9A}{9}$$

$$C = \frac{0,051795 - 9(0,002839)}{9}$$

$$C = 0,002916$$

$$c = \frac{\lambda}{\sqrt{4C}}$$

$$c = \frac{1,5406}{\sqrt{4*0,002916}}$$

$$c = 14,26382 \text{ \AA}$$

$$c = 14,264 \text{ \AA}$$

- a. Untuk sudut $2\theta = 27,94^\circ$ (420)

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

$$0,058281 = A(4)^2 + B(2)^2 + C(0)^2$$

$$0,058281 = 16A + 4B$$

$$B = \frac{0,058281 - 16A}{4}$$

$$B = \frac{0,058281 - 16(0,002839)}{4}$$

$$B = 0,003216$$

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{4B}}$$

$$b = \frac{1,5406}{\sqrt{4*0,003216}}$$

$$b = 13,58406 \text{ \AA}$$

$$b = 13,584 \text{ \AA}$$

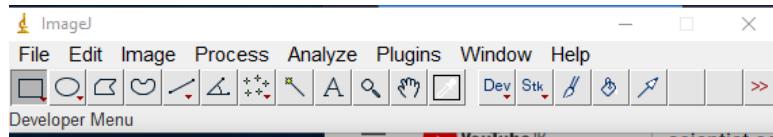
Parameter Kisi	Lapisan Tipis Sampel III (Å)	JCPDS CdS (Å)
a	14,458	14,310
b	13,584	14,070
c	14,264	14,568

*Struktur Kristal: Ortorombik

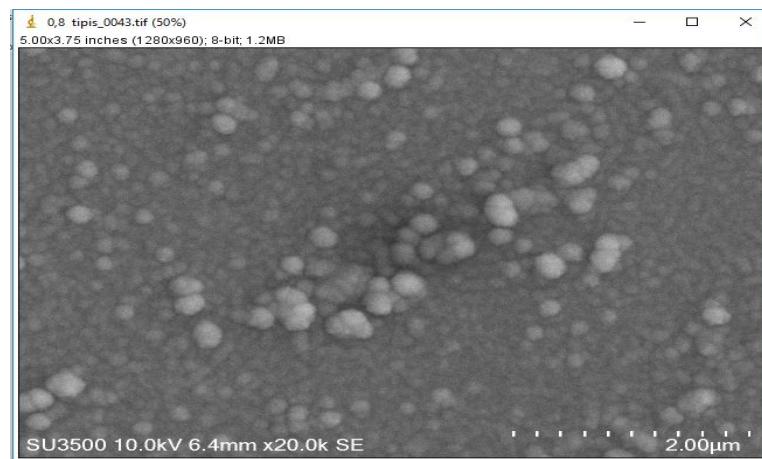
Lampiran 3. Proses Mengukur Diameter *Grain* Hasil SEM Perbesaran

20.000 Kali pada Lapisan Tipis Cd(S_{0.8}Te_{0.2}) Sampel 3

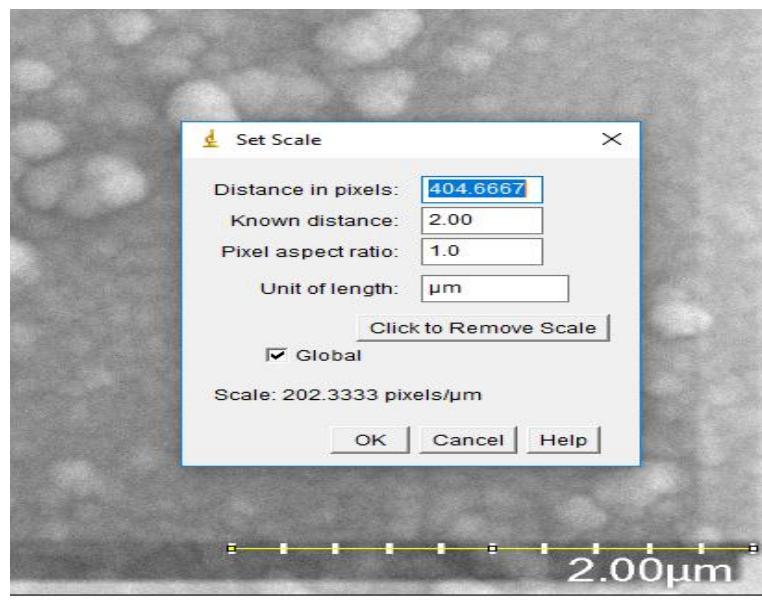
1. Membuka ImageJ



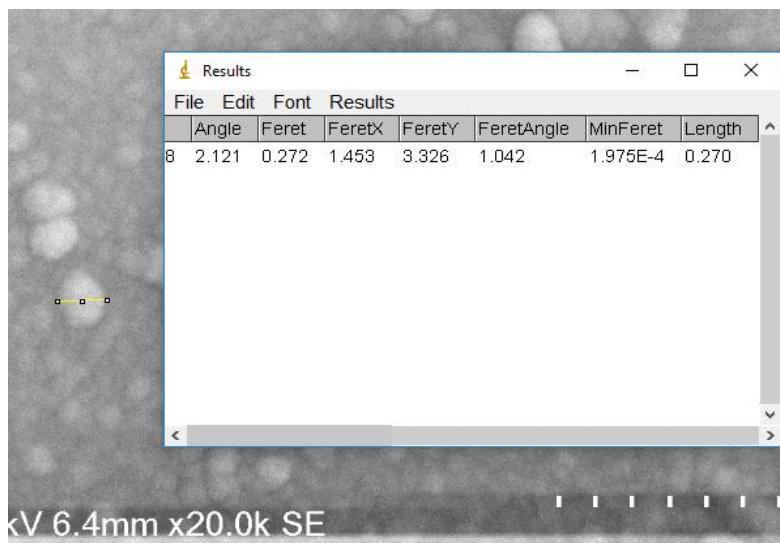
2. Membuka file gambar hasil SEM lapisan tipis sampel 3 perbesaran 20.000 kali



3. Mengatur skala dari pixel ke μm



4. Mengukur diameter *grain* menggunakan *Straight Tools* dan perintah CTRL+M.



5. Data hasil pengukuran 50 butir atau *grain* (10 kali tiap butir)

Data ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,210	0,192	0,233	0,230	0,166	0,189	0,182	0,173	0,202	0,188
2	0,231	0,182	0,239	0,249	0,248	0,221	0,218	0,224	0,165	0,218
3	0,291	0,240	0,297	0,317	0,238	0,240	0,273	0,252	0,287	0,347
4	0,288	0,238	0,242	0,209	0,277	0,238	0,252	0,238	0,282	0,248
5	0,188	0,253	0,252	0,252	0,206	0,220	0,219	0,204	0,232	0,217
6	0,192	0,221	0,200	0,298	0,217	0,197	0,269	0,204	0,245	0,214
7	0,217	0,173	0,204	0,200	0,240	0,186	0,223	0,213	0,232	0,198
8	0,229	0,155	0,210	0,146	0,184	0,218	0,208	0,170	0,161	0,158
9	0,213	0,191	0,238	0,198	0,260	0,197	0,238	0,230	0,210	0,234
10	0,295	0,197	0,208	0,228	0,266	0,224	0,238	0,197	0,219	0,218
11	0,323	0,240	0,297	0,258	0,301	0,228	0,295	0,283	0,308	0,217
12	0,183	0,175	0,186	0,178	0,169	0,182	0,177	0,226	0,197	0,182
13	0,212	0,177	0,266	0,208	0,188	0,252	0,224	0,228	0,209	0,169
14	0,238	0,141	0,203	0,127	0,228	0,169	0,169	0,155	0,198	0,157
15	0,208	0,257	0,212	0,198	0,238	0,260	0,190	0,175	0,208	0,178
16	0,185	0,207	0,188	0,178	0,198	0,226	0,189	0,199	0,208	0,202
17	0,284	0,242	0,277	0,248	0,262	0,232	0,262	0,195	0,258	0,220
18	0,217	0,155	0,220	0,212	0,204	0,204	0,207	0,173	0,210	0,188
19	0,175	0,155	0,203	0,202	0,189	0,230	0,198	0,159	0,149	0,169

20	0,199	0,190	0,216	0,245	0,182	0,224	0,199	0,228	0,229	0,210
21	0,169	0,282	0,173	0,278	0,200	0,282	0,184	0,169	0,298	0,264
22	0,218	0,173	0,169	0,159	0,149	0,181	0,200	0,190	0,173	0,188
23	0,204	0,169	0,199	0,292	0,210	0,217	0,190	0,209	0,200	0,207
24	0,176	0,196	0,195	0,202	0,199	0,182	0,160	0,169	0,163	0,173
25	0,212	0,175	0,190	0,200	0,157	0,191	0,178	0,175	0,161	0,208
26	0,206	0,173	0,178	0,179	0,195	0,168	0,170	0,178	0,165	0,176
27	0,200	0,171	0,195	0,177	0,192	0,226	0,185	0,189	0,190	0,235
28	0,186	0,165	0,188	0,189	0,175	0,217	0,208	0,184	0,234	0,183
29	0,238	0,188	0,182	0,176	0,184	0,189	0,164	0,165	0,178	0,162
30	0,202	0,214	0,226	0,195	0,189	0,178	0,179	0,198	0,178	0,179
31	0,199	0,238	0,234	0,217	0,214	0,219	0,202	0,229	0,235	0,179
32	0,203	0,218	0,209	0,228	0,214	0,252	0,240	0,238	0,238	0,218
33	0,198	0,233	0,200	0,226	0,266	0,238	0,178	0,208	0,226	0,182
34	0,257	0,276	0,291	0,280	0,258	0,267	0,245	0,286	0,258	0,289
35	0,221	0,177	0,192	0,155	0,184	0,154	0,217	0,178	0,158	0,169
36	0,214	0,171	0,173	0,179	0,213	0,185	0,206	0,154	0,200	0,151
37	0,209	0,171	0,160	0,169	0,157	0,173	0,155	0,163	0,165	0,150
38	0,209	0,208	0,198	0,196	0,197	0,178	0,200	0,190	0,182	0,220
39	0,195	0,168	0,161	0,178	0,179	0,177	0,186	0,231	0,160	0,214
40	0,183	0,183	0,190	0,175	0,141	0,166	0,178	0,176	0,204	0,155
41	0,235	0,160	0,220	0,188	0,173	0,218	0,200	0,219	0,254	0,173
42	0,186	0,155	0,186	0,191	0,165	0,168	0,204	0,161	0,155	0,151
43	0,260	0,191	0,284	0,190	0,287	0,179	0,187	0,184	0,235	0,182
44	0,192	0,178	0,204	0,190	0,209	0,208	0,182	0,185	0,155	0,164
45	0,219	0,210	0,267	0,239	0,260	0,248	0,238	0,252	0,238	0,219
46	0,236	0,192	0,250	0,204	0,188	0,218	0,208	0,259	0,226	0,279
47	0,249	0,228	0,212	0,192	0,213	0,197	0,248	0,216	0,220	0,197
48	0,179	0,178	0,141	0,210	0,198	0,197	0,210	0,207	0,202	0,197
49	0,239	0,210	0,199	0,178	0,198	0,219	0,200	0,233	0,204	0,284
50	0,159	0,238	0,212	0,176	0,179	0,149	0,195	0,157	0,188	0,188

Jumlah	Rata-rata
1,965	0,197
2,195	0,220
2,782	0,278
2,512	0,251
2,243	0,224
2,257	0,226
2,086	0,209

1,839	0,184
2,209	0,221
2,290	0,229
2,750	0,275
1,855	0,186
2,133	0,213
1,785	0,179
2,124	0,212
1,980	0,198
2,480	0,248
1,990	0,199
1,829	0,183
2,122	0,212
2,299	0,230
1,800	0,180
2,097	0,210
1,815	0,182
1,847	0,185
1,788	0,179
1,960	0,196
1,929	0,193
1,826	0,183
1,938	0,194
2,166	0,217
2,258	0,226
2,155	0,216
2,707	0,271
1,805	0,181
1,846	0,185
1,672	0,167
1,978	0,198
1,849	0,185
1,751	0,175
2,040	0,204
1,722	0,172
2,179	0,218
1,867	0,187
2,390	0,239
2,260	0,226
2,172	0,217
1,919	0,192

2,164	0,216
1,841	0,184

6. Analisis diameter rata-rata *grain* dan ralat (standar deviasi)

Ukuran Diameter <i>Grain</i> (x_i) μm	Jumlah (f_i)
0,16 – 0,18	5
0,18 – 0,20	20
0,20 – 0,22	11
0,22 – 0,24	9
0,24 – 0,26	2
0,26 – 0,28	3

x_i	f_i	$x_i f_i$
0,17	5	0,85
0,19	20	3,80
0,21	11	2,31
0,23	9	2,07
0,25	2	0,50
0,27	3	0,81
0,29	0	0,00

Nilai rata-rata (*Mean*)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{\sum_{i=1}^k f_i}$$

$$\bar{x} = \frac{10,34}{50}$$

$$\bar{x} = 0,21 \mu\text{m}$$

f_i	x_i	x_i^2	$f_i * x_i$	$f_i * x_i^2$
5	0,17	0,0289	0,85	0,1445
20	0,19	0,0361	3,80	0,7220
11	0,21	0,0441	2,31	0,4851
9	0,23	0,0529	2,07	0,4761
2	0,25	0,0625	0,50	0,1250
3	0,27	0,0729	0,81	0,2187
0	0,29	0,0841	0,00	0

Standar deviasi (ralat)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k f_i x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

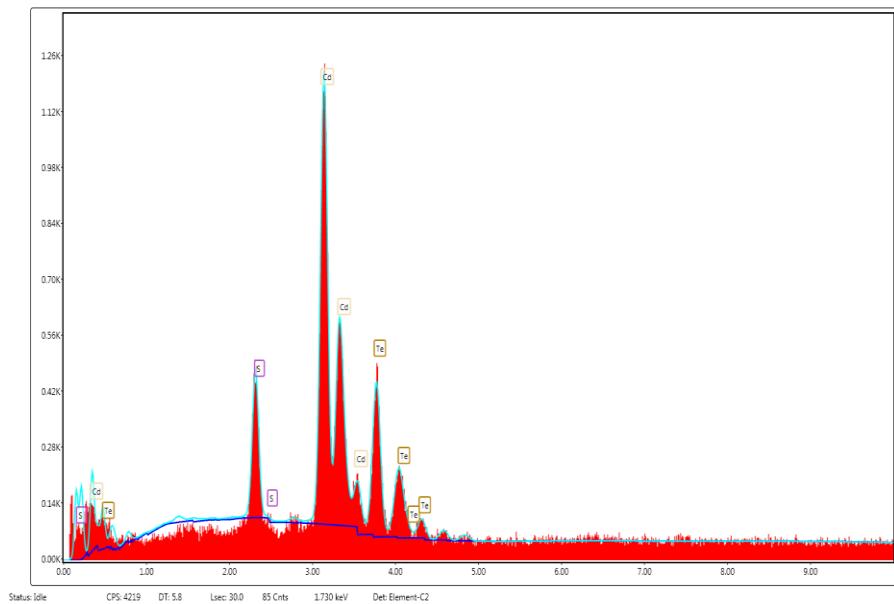
$$S_d = \sqrt{\frac{2,1714 - 2,1383}{49}}$$

$$S_d = \sqrt{0,000675}$$

$$S_d = 0,03 \mu\text{m}$$

Hasil pengukuran diameter *grain* pada lapisan tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) sampel 3 adalah (0,21 ± 0,03) μm.

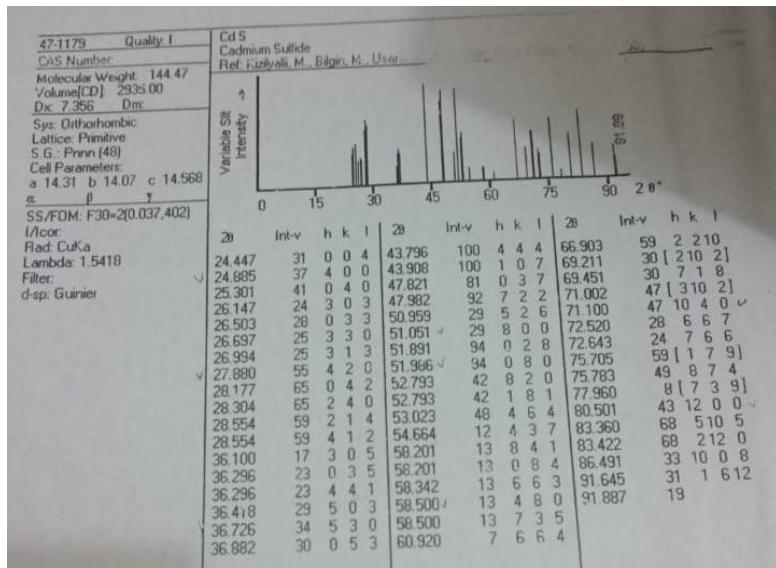
Lampiran 4. Hasil EDAX Bahan Masif Cd(S_{0,8}Te_{0,2})



Sampling Region	
kV	25
Live Time	30
Amp Time	1,92
Takeoff Angle	36,43
Resolution	130,9538

Element	Weight %	Atomic %	Error %	Net Int.	K Ratio
S K	8,19	24,68	8,5	119,84	0,0648
Cd L	56,81	48,83	3,58	412,68	0,5439
Te L	34,99	26,49	11,35	137,69	0,24

Lampiran 5. JCPDS CdS No.47-1179



Lampiran 6. Gambar Alat

a. Alat Karakterisasi

XRD MiniFlex 600 Rigaku



Ion Sputter



SEM dan EDAX HITACHI

SU3500



b. Alat Persiapan dan Preparasi Teknik Evaporasi Vakum

Timbangan Digital



Digital Ultrasonic Cleaner



Furnace



Sistem Evaporasi Vakum

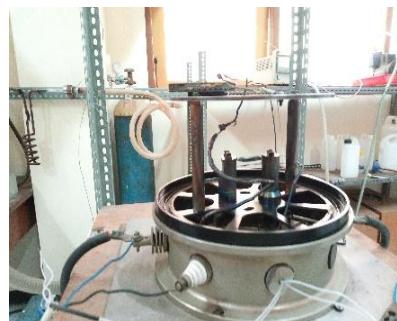


Pendingin

Alat Pemanas (*Slide Regulator*)



Bagian holder Crucible, Spacer, Substrat pada Chamber



Holder Substrat Kaca

Pompa Vakum Rotari



Manometer Penning

Multimeter Digital



Lampiran 7. Bahan

Sebagian Sulfur dan Tellurium



Kaca Preparat dan Crucible

