

**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

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



Disusun oleh:

RIYAN BAHTIAR

15306144009

**PROGAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2019**

PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

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

Disusun oleh:


Riyan Bahtiar
NIM 15306144009


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

Yogyakarta 26-6-2019

Mengetahui,
Ketua Progam Studi

Disetujui,
Pembimbing


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


Dr. Ariswan, M.Si
NIP. 19590914 198803 1 003

PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

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

Disusun Oleh:

Riyan Bahtiar

NIM: 15306144009

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

Pada tanggal 28-6-2019

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Ariswan Ketua Penguji		5/8 - 2019
Dr. Restu Widiyatmono Penguji Utama		5/8 - 2019
Agus Purwanto, M.Sc. Sekretaris Penguji		5/8 - 2019

Yogyakarta, 28/6/2019
Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta

Dekan



Dr. Hartono

NIP 19620329 198702 1 002

PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Riyan Bahtiar

Nomor Mahasiswa : 15306144009

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

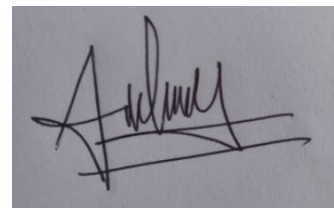
Judul : Pengaruh Temperatur Substrat Pada Kristal Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya

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

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

Yogyakarta, 9 Mei 2019

Yang menyatakan,



Riyan Bahtiar

NIM 15306144009

MOTTO

Hiduplah untuk memberi yang sebanyak-banyaknya, bukan untuk menerima yang sebanyak-banyaknya (Pak Harun – Laskar Pelangi).

“Aku mencintai orang salih,” begitu katanya, diiringi titik air mata yang kian menggenang, “meski aku bukanlah bagian dari mereka. Dan aku membenci para pemaksiat-Nya, meski aku tidak berbeda dengan mereka” (Imam Syafi’i).

Semangatku terbentuk karena kehangatan keluarga & sahabat (Riyan Bahtiar).

Untuk mendapatkan sesuatu yang kamu inginkan kamu harus bersabar dengan sesuatu yang kau benci (Imam Ghazali).

Percayalah apa yang kita lakukan dan perjuangkan sekarang akan bermanfaat untuk kita dan orang lain dikemudian hari (Bagus).

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Ibu dan bapak, terimakasih untuk selalu memberikan dukungan yang terbaik, kasih sayang yang tulus, serta doa yang tak pernah putus untuk anak-anaknya.
2. Vandi, Arwan, Aswan, dan Zolhan, terimakasih telah menjadi saudara yang kompak, dan selalu mendukung kakak.
3. Pondok pesantren mahasiswa Daruu Hiraa, terimakasih telah memberikan kenangan terindah, dan menuturiku hal yang baik.
4. Teman-teman Fisika E 2015, terimakasih atas hal-hal yang berkesan selama 4 tahun yang tidak bisa dilupakan, semangat perjuangan teman-teman memberikan diriku motivasi untuk tetap berjuang. Fisika E 2015 terbaik, dan bersyukur berada diantara mereka.
5. Keluarga KKN 121, terimakasih telah menjadi teman tidur 1,5 bulan.
6. Surya, Bagus, Ikhsan, dan Tabuti, terimakasih telah menjadi teman curhatku di kampus.
7. Teman seperjuangan skripsi (Tabuti, Hadi, dan Noni), terimakasih telah menjadi teman seperjuangan dalam menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi ini.
8. Group YAKUZA (Kusyuliqon, Gani, Amoy, Usrop, Ucok, Sipep, dan Krisna), terimakasih atas kesediaannya melipur hatiku yang lara, merasa bersyukur mempunyai sahabat seperti kalian sudah seperti saudara.
9. Squad Mobile Legend, terimakasih telah menjadi penghibur di kala suntuk mengerjakan skripsi.

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

**Oleh:
Riyan Bahtiar
15306144009**

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur substrat terhadap lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum. Penelitian ini juga bertujuan mengetahui struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan dan komposisi kimia lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

Teknik evaporasi vakum digunakan pada proses penumbuhan lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan lama pemvakuman ruang evaporasi 4 jam. Variasi temperatur substrat pada evaporator sebesar 215°C, 350°C, dan 500°C diterapkan pada proses penumbuhan lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}). Lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi kimia kristal.

Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram menunjukkan bahwa variasi temperatur substrat menyebabkan adanya perbedaan intensitas puncak yang menyatakan keteraturan susunan atom dalam penyusunan lapisan tipis. Lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) pada variasi temperatur substrat 350°C memiliki struktur kristal terbaik. Kristal pada lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) yang terbentuk mempunyai struktur kubik, dengan nilai parameter kisi pada sampel 1 temperatur substrat 215°C $a = 6,276 \text{ \AA}$, sampel 2 temperatur substrat 350 °C $a = 6,377 \text{ \AA}$, dan sampel 3 temperatur substrat 500°C $a = 6,350 \text{ \AA}$. Hasil citra SEM perbesaran 40.000x pada sintesa lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) variasi temperatur substrat 350°C memiliki rata-rata ukuran butir (*grain*) $(0,22 \pm 0,06) \mu\text{m}$ yang menunjukkan adanya keseragaman ukuran pada *grain* dan berdasarkan hasil karakterisasi EDS pada variasi temperatur substrat 350 °C kristal memiliki perbandingan presentase komposisi kimia yaitu, unsur Cd = 32,26 %, S = 1,87%, dan Te = 65,87%. Perbandingan molaritas semikonduktor Cd : S : Te yaitu 1 : 0,06 : 2,04.

Kata kunci: struktur kristal, lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), teknik evaporasi vakum.

THE EFFECT OF SUBSTRATE TEMPERATURE TO $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ THIN FILMS PREPARATION RESULTS BY VACUUM EVAPORATION TECHNIQUE FOR SOLAR CELLS APPLICATION

By:

Riyan Bahtiar

15306144009

ABSTRACT

This research aimed to determine the effect of substrate temperature on the $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin film prepared by vacuum evaporation technique. This research also determined the crystal structure, lattice parameter, surface morphology and chemical composition of the $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin film prepared by vacuum evaporation technique.

The Vacuum evaporation technique was used in the process of growing $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin film with a vacuum for 4 hours of evaporation chamber. The temperature variation of the substrate on the evaporator was 215 °C, 350 °C, and 500 °C applied to the process of growing $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin films. $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin film obtained was characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to determine the crystal structure and lattice parameters, Scanning Electron Microscopy (SEM) to determine surface morphology and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) to determine chemical composition of crystals.

The results of XRD characterization in the form of diffractograms showed that variations in substrate temperature caused differences in peak intensity which states the regularity of the arrangement of atoms in the arrangement of thin films. $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin films at 350 °C substrate temperature variations have the best crystal structure. The crystals in the $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin film formed have a cubic structure, with the lattice parameter values in sample 1 temperature 215 °C $a = 6,276 \text{ \AA}$, sample 2 temperature 350 °C $a = 6,377 \text{ \AA}$, and sample 3 temperature 500 °C $a = 6,350 \text{ \AA}$. The results of SEM images of 40.000x magnification on the synthesis of $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin films of substrate temperature 350 °C variations have an average grain size $(0,22 \pm 0,06) \mu\text{m}$ which indicates a uniform size on grain and based on the results of EDS characterization at 350 °C crystal substrate temperature variations have a percentage ratio of chemical composition that is, elements $Cd = 32,26\%$, $S = 1,87\%$, and $Te = 65,87\%$. Comparison of $Cd : S : Te$ semiconductor molarity which is $1 : 0,06 : 2,04$.

Keyword: crystal structure, $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ thin film, vacuum evaporation technique

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Pengaruh Temperatur Substrat Pada Kristal Lapisan Tipis $Cd(S_{0,2}Te_{0,8})$ Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya”.

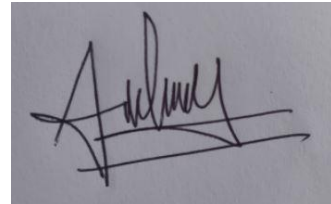
Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 pada program studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Penyelesaian penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, arahan, dukungan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Sutrisna Wibawa, M.Pd. selaku Rektor Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mengizinkan penulis menimba ilmu di UNY.
2. Bapak Dr. Hartono, M.Si. selaku Dekan FMIPA UNY beserta seluruh staf atas segala fasilitas dan bantuannya untuk memperlancar administrasi tugas akhir.
3. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ariswan selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak memberikan semangat, dorongan, dan bimbingan secara intensif selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.
6. Ibu Rita Prasetyowati, M.Si. selaku Dosen Penasehat Akademik yang selalu memberikan nasehat dan dorongan selama perkuliahan.
7. Bapak Hartono, selaku asisten Laboratorium Material yang telah membantu penelitian ini.
8. Bapak dan Ibu dosen di Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan ilmu sehingga dapat menyelesaikan perkuliahan ini.
9. Kedua orang tua dan seluruh keluarga saya yang telah memberikan doa, kasih sayang, serta dukungan yang tak henti-hentinya.
10. Keluarga kecil dan teman seperjuangan Fisika E 2015 yang saling mendukung dan menyemangati dalam perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir Skripsi ini. Semoga persahabatan kita tidak terhenti sampai di sini.
11. Semua pihak, secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan di sini atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini.

Akhir kata, semoga segala bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak di atas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Demikian Tugas Akhir Skripsi ini penulis susun, besar harapan Tugas Akhir Skripsi ini bisa menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang berkepentingan.

Yogyakarta, 9 Mei 2019

Penulis

A rectangular box containing a handwritten signature in black ink. The signature is stylized and appears to read 'Riyan Bahtiar'.

Riyan Bahtiar

NIM 15306144009

DAFTAR ISI

SKRIPSI	i
PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II	7
KAJIAN TEORI	7
A. Kristal	7
1. Struktur Kristal.....	8
2. Indeks Miller.....	11
3. Jarak Antar Bidang Kristal.....	12
4. Parameter Kisi Kubik.....	13
5. Faktor Struktur Kristal.....	14
B. Semikonduktor	16
1. Semikonduktor Intrinsik.....	18
2. Semikonduktor Ekstrinsik.....	19
3. Bahan Semikonduktor Cd(S _{0,2} Te _{0,8}).....	23
C. Teknik Evaporasi Vakum	27
1. Pompa Rotari Sekat.....	29
2. Pompa Difusi.....	30

D. Lapisan Tipis	31
E. Karakterisasi Kristal.....	33
1. <i>Analysis X-Ray Diffraction (XRD)</i>	33
2. <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	39
3. <i>Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)</i>	41
F. Sel Surya	42
G. Kerangka Berfikir	45
BAB III.....	48
METODE PENELITIAN.....	48
A. Waktu dan Tempat Penelitian	48
B. Variabel Penelitian	48
C. Bahan dan Peralatan Penelitian	49
D. Skema Alat Penelitian	51
E. Langkah penelitian.....	52
F. Teknik Analisis Data	57
G. Diagram Alir Tahap Penelitian	59
BAB IV	60
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	60
A. Hasil Penumbuhan Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8})	60
B. Hasil Karakterisasi.....	61
1. Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	62
2. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Hasil <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	67
3. Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis Hasil <i>Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)</i>	71
BAB V.....	74
KESIMPULAN DAN SARAN.....	74
A. Kesimpulan.....	74
B. Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Susunan Atom .	8
Gambar 2. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal	8
Gambar 3. Empat Belas Kisi Bravais	10
Gambar 4. Perpotongan Bidang dengan Sumbu	11
Gambar 5. Struktur Energi Gap (a) Isolator, (b) Semikonduktor, (c) Konduktor	16
Gambar 6. (a) Keadaan Pita Energi Bahan Semikonduktor 0°Kelvin dan (b)pada Suhu Diatas 0°Kelvin	18
Gambar 7. Semikonduktor Tipe-p	21
Gambar 8. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p	21
Gambar 9. Semikonduktor Tipe-n	22
Gambar 10. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n	22
Gambar 11. Struktur Zinblend CdTe	24
Gambar 12. Struktur Heksagonal CdTe	24
Gambar 13. Parameter Kisi Heksagonal CdS	25
Gambar 14. Skema Sistem Evaporasi Vakum	28
Gambar 15. Skema Pompa <i>Rotary</i>	30
Gambar 16. Skema Pompa Difusi	30
Gambar 17. Diagram Sinar-X	34
Gambar 18. Skema Pembentukan Sinar-X Kontinyu	35
Gambar 19. Transisi Elektron Dalam Sebuah Atom	36
Gambar 20. Spektrum Radiasi Sinar-X Kontinyu dan Sinar-X Karakteristik	36
Gambar 21. Sinar-X Karakteristik (a) Tanpa Filter, (b) dengan Filter	37
Gambar 22. Difraksi Bragg	38
Gambar 23. Skema Dasar SEM	40
Gambar 24. Hamburan dari Elektron yang Jatuh pada Lembar Tipis	41
Gambar 25. Penyebaran Panjang Gelombang Cahaya Surya di Atas Atmosfer	43
Gambar 26. Sambungan Semikonduktor p dan n	44
Gambar 27.(a) Skema Ekuivalen Sebuah Sel Surya, dan (b) Karakteristik arus- tegangan sel surya Keadaan Tanpa dan Dengan Penyinaran.	45
Gambar 28. Skema Sistem Evaporasi Vakum	51

Gambar 29. Diagram Alir Penelitian	59
Gambar 30. Hasil Preparasi Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8})	61
Gambar 31. Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 1 pada Temperatur Substrat 215°C.....	63
Gambar 32. Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 2 pada Temperatur Substrat 350°C.....	63
Gambar 33. Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 3 pada Temperatur Substrat 500°C.....	64
Gambar 34. Hasil Penggabungan Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) untuk Sampel 1, Sampel 2 dan Sampel 3.....	64
Gambar 35. Citra Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 2 Hasil Karakterisasi dengan SEM (a) Perbesaran 20.000x, dan (b) Perbesaran 40.000x. ..	68
Gambar 36. Pengukuran <i>Grain</i> pada Hasil Citra SEM Perbesaran 40.000x	69
Gambar 37. Diagram Histogram Hubungan antara Jumlah dengan Ukuran Butir	70
Gambar 38. Grafik Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDS Lapisan Tipis.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal.....	9
Tabel 2. Perbandingan Data XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 1 dengan Data JCPDS Bahan CdTe.....	66
Tabel 3. Perbandingan Data XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 2 dengan Data JCPDS Bahan CdTe.....	66
Tabel 4. Perbandingan Data XRD Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 3 dengan Data JCPDS Bahan CdTe.....	66
Tabel 5. Parameter Kisi Lapisan Tipis Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) pada Sampel 1, 2, dan 3 dengan Data JCPDS Bahan CdTe.....	67
Tabel 6. Tabulasi Data Histogram	72
Tabel 7. Perbandingan Molaritas Unsur Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 2	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar ke empat di dunia, sehingga penggunaan akan energi listrik mengalami peningkatan. Namun pada waktu yang sama timbul masalah penyediaan sumber energi. Penggunaan sumber energi tak terbarukan secara terus-menerus akan mengakibatkan semakin menipisnya persediaan minyak bumi, batu bara, dan gas alam di Indonesia. Kondisi tersebut akan menimbulkan krisis sumber energi, sehingga pemanfaatan sumber energi terbarukan perlu dilakukan untuk mengatasi permasalahan sumber energi.

Berdasarkan kondisi geografisnya, Indonesia memiliki banyak potensi dalam produksi energi terbarukan, salah satunya energi surya. Teknologi sel surya (*photovoltaic*) merupakan suatu teknologi untuk mengonversikan secara langsung sinar matahari menjadi energi listrik. Teknologi tersebut diharapkan mampu mengatasi permasalahan penyediaan sumber energi. Komponen sel surya tidak lain menggunakan piranti semikonduktor yang mempunyai sambungan p-n (*p-n junction*), sehingga dalam proses pembuatan sel surya membutuhkan bahan semikonduktor (Ariswan, 2010).

Material yang sedang dikembangkan secara intensif untuk pembuatan piranti sel surya adalah CdTe (*Cadmium Telluride*). CdTe memiliki koefisien absorpsi yang tinggi ($\alpha > 1 \times 10^4 \text{cm}^{-1}$) dan *band gap* 1.5 eV yang secara teoritis sesuai untuk pembuatan sel surya. Satu (1) μm film CdTe mampu

mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *band gap* (Gupta, 2006). Selain CdTe juga terdapat CdS (*Cadmium Sulfida*) yang memiliki *band gap* sebesar 2.4 eV dan stabilisator yang cocok untuk dijadikan sel surya. CdTe merupakan bahan semikonduktor tipe p yang mempunyai sifat pengabsorpsi yang juga mempunyai sifat afinitas elektron yang tinggi (Batzner et al., 2000). CdS merupakan semikonduktor tipe n yang berfungsi sebagai *window* bagi material absorber lainnya (Hai-Ning Cui & Shi Quan Xi, 1996). Bahan semikonduktor CdS (*Cadmium Sulfida*) yang dipadukan dengan Te (*Telluride*) merupakan perpaduan tiga unsur (*ternary*) memiliki *band gap* yang memungkinkan bahan semikonduktor tersebut untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum cahaya tampak. Adanya unsur Te diharapkan menurunkan *band gap* dari CdS (2,4 eV). Pada penelitian ini, dipilih bahan massif Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan perbandingan molaritas teoritis Cd : S : Te yaitu 1 : 0,2 : 0,8. Pemilihan bahan Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) didasarkan pada penelitian lanjut bahan Cd(S_xTe_{1-x}), yaitu dilakukan penelitian bahan Cd(S_{0,6}Te_{0,4}) oleh (Hendriani, 2019), bahan Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) oleh (Siswoyo, 2019), dan bahan Cd(S_{0,4}Te_{0,6}) yang masih dalam tahap penelitian.

Teknologi lapisan tipis (*thin film*) merupakan generasi ke dua dari sel surya. Banyak metode yang dapat digunakan untuk menumbuhkan film tipis. Menurut Ohring (1992: 96), secara garis besar teknik dalam pembuatan lapisan tipis dapat dibedakan menjadi dua teknik. Pertama adalah teknik *Physical Vapor Deposition* (PVD). Contohnya adalah *Vacuum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition* (CSVD), *Sputtering* dan *Splash Evaporation*. Teknik

yang kedua adalah *Chemical Vapor Deposition* (CVD) yang terdiri dari *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD) dan *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD).

Pada penelitian ini dilakukan penumbuhan lapisan tipis dengan metode evaporasi vakum yang merupakan kelompok *Physical Vapor Deposition* (PVD). Pembuatan lapisan tipis dilakukan dengan proses penguapan bahan pada ruang vakum menggunakan sumber pemanas. Bahan yang digunakan pada proses ini harus berbentuk padatan agar bahan mudah menempel pada substrat tanpa bereaksi dengan elemen pemanas seperti bahan cair. Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu tekanan pada saat pemvakuman, massa bahan, temperatur substrat, dan *spacer* (jarak material sumber dengan substrat) (Ariswan & Na Peng Bo, 2004). Kelebihan dari teknik evaporasi vakum antara lain: (1) hasil evaporasi lebih baik dan merata pada permukaan substrat hasil preparasi lebih tipis, dan (2) teknik ini juga mampu menstabilisasi struktur bahan yang tetap (Khoirunisa',2017:4).

Parameter yang akan divariasikan dalam penelitian ini yaitu temperatur substrat. Temperatur substrat berfungsi untuk merenggangkan susunan atom sehingga atom-atom yang menguap pada target lebih mudah melekat pada substrat dan menempati posisi kekosongan pada batas butir untuk membentuk lapisan tipis (Van Vlack, 2004: 106). Hal ini menyebabkan atom-atom semakin kuat menempel pada substrat. Oleh karena itu, perlu diteliti pengaruh

temperatur substrat terhadap karakter kristal yang terbentuk pada lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

Hasil preparasi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ perlu dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan, dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi kimia bahan secara kuantitatif. Penelitian ini merupakan tahap awal pembuatan lapisan tipis berbahan semikonduktor untuk aplikasi sel surya.

Berdasarkan latar belakang, maka peneliti telah melakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses pembuatan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan variasi temperatur substrat menggunakan teknik evaporasi vakum, dan karakterisasi hasil preparasi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ meliputi: (1) struktur kristal dan parameter kisi, (2) morfologi permukaan, dan (3) komposisi kimia bahan.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan dari uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Perlu diketahui proses penumbuhan bahan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang digunakan untuk aplikasi sel surya menggunakan teknik evaporasi vakum.
2. Perlu diketahuinya struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan, dan komposisi kimia bahan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

3. Belum diketahuinya pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah dan identifikasi masalah, maka perlu pembatasan ruang lingkup penelitian yaitu:

1. Massa bahan massif $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ 0,1 gram.
2. Pevakuman ruang evaporasi dilakukan selama 4 jam.
3. Penumbuhan kristal pada lapisan tipis dilakukan dengan variasi temperatur substrat 215°C , 350°C , dan 500°C .
4. Temperatur cawan (*crucible*), mengatur tegangan secara bertahap mulai 60 volt selama 1 menit, 70 volt selama 1 menit, 80 volt selama 1 menit, dan tegangan 100 volt sampai bahan di dalam *crucible* akan menguap habis.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikembangkan di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakter kristal yang terbentuk pada lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?
2. Bagaimana pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakter kristal yang terbentuk pada lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.
2. Mengetahui pengaruh temperatur substrat terhadap kualitas lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi dengan teknik evaporasi vakum.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini:

1. Memperoleh lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan teknik evaporasi vakum.
2. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi dan referensi untuk penelitian lanjutan bahan sel surya meliputi struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan, komposisi kimia bahan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dan variasi temperatur substrat untuk menentukan kualitas lapisan tipis.
3. Lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang diperoleh dapat dimanfaatkan sebagai bahan sel surya.

BAB II

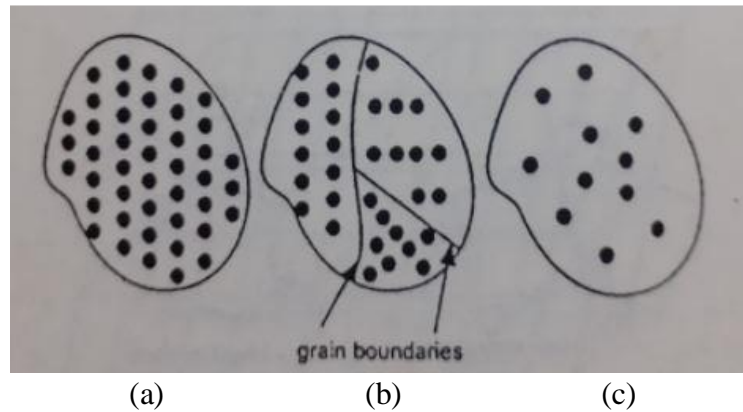
KAJIAN TEORI

A. Kristal

Zat padat merupakan zat yang tersusun atas sejumlah besar atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang sangat berdekatan atau rapat dan berbentuk utuh (padat). Berdasarkan struktur penyusunnya, zat padat dibedakan menjadi dua yaitu kristal dan amorf (Smallman & Bishop, 2000: 13). Kristal adalah zat padat yang mempunyai susunan atom atau ion, dimana jaraknya tersusun teratur, ikatan atom yang berarah, susunannya rapat, dan periodik dalam ruang dimensi tiga (Istiyono, 2000: 1). Berdasarkan dari struktur atom penyusunnya, kristal dibedakan menjadi dua yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), dan polikristal (*polycrystal*). Pada kristal tunggal (*monocrystal*), atom penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola dimensi tiga dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak berhingga ke segala arah. Polikristal (*polycrystal*) dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari kristal-kristal tunggal beraturan yang memiliki ukuran sangat kecil dengan jarak susunan atom atau molekul hanya terbatas pada daerah-daerah tertentu dan saling menumpuk membentuk bentuk padat (Kittel, 2005: 3).

Amorf merupakan suatu padatan yang memiliki pola struktur atom atau molekul yang acak dan tidak mempunyai keteraturan dalam jangka pendek. Amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat, sehingga atom-

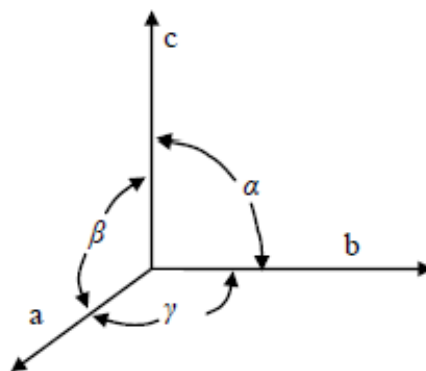
atomnya tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya. Gambar 1 menunjukkan skema susunan atom monokristal, polikristal, dan amorf.



Gambar 1. Skema Susunan Atom (a) Monokristal, (b) Polikristal dan (c) Amorf (Suryanarayana & Norton, 1998: 21).

1. Struktur Kristal

Susunan khas atom-atom disebut struktur kristal. Struktur kristal dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang tersusun secara khusus dengan pola yang berulang secara periodik dalam ruang dimensi tiga dari suatu kisi (*lattice*).



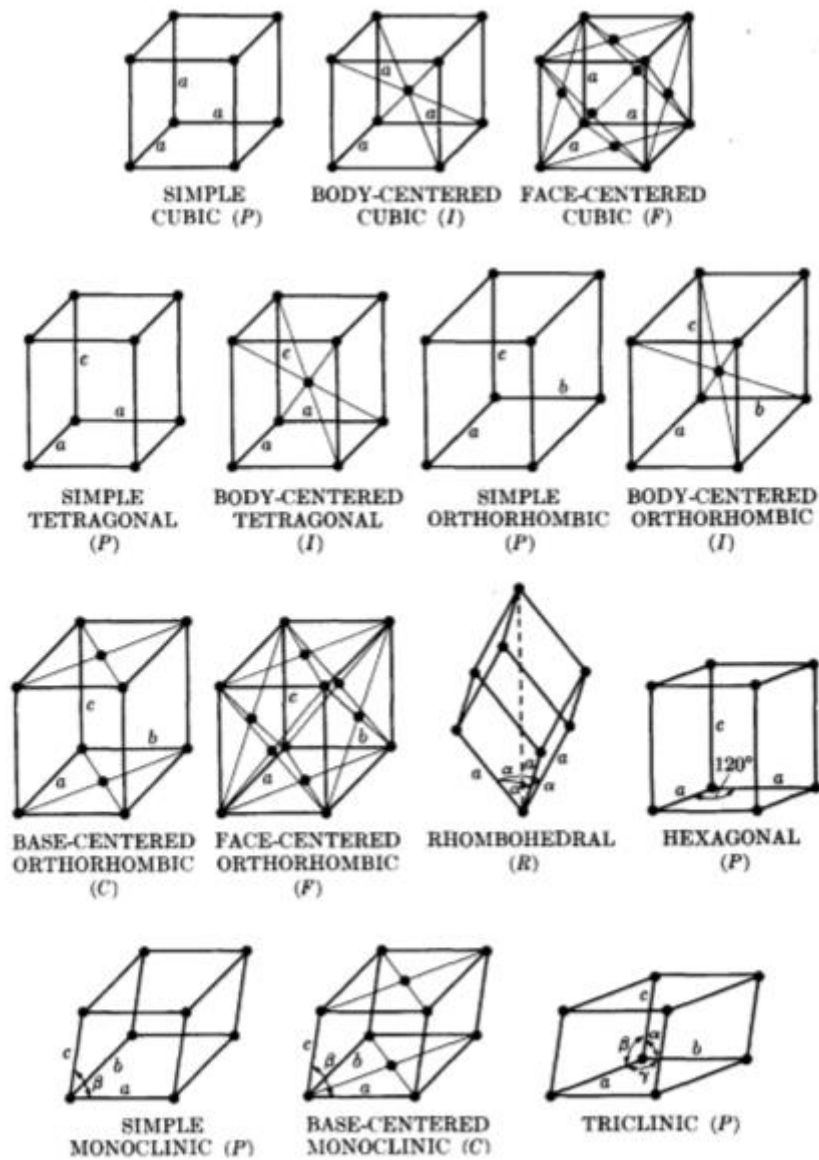
Gambar 2. Sumbu-Sumbu dan Sudut-Sudut antar Sumbu Kristal (Istiyono, 2000: 6)

Geometri kristal dalam ruang dimensi tiga yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Sumbu-sumbu a , b

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

Tabel 1. Tujuh Sistem Kristal (Cullity, 1956: 35).

System	Axial lengths and angles	Bravais lattice	Lattice symbol
Cubic	Three equal axes at right angles $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple	P
		Body-centered	I
		Face-centered	F
Tetragonal	Three axes at right angles, two equal $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple	P
		Body-centered	I
Orthorhombic	Three unequal axes at right angles $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple	P
		Body-centered	I
		Base-centered	C
		Face-centered	F
Rhombohedral*	Three equal axes, equally inclined $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Simple	R
Hexagonal	Two equal coplanar axes at 120° , third axis at right angles $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simple	P
Monoclinic	Three unequal axes, one pair not at right angles $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Simple	P
		Base-centered	C
Triclinic	Three unequal axes, unequally inclined and none at right angles $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Simple	P



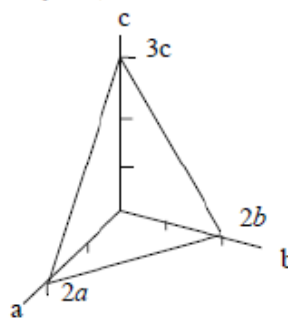
Gambar 3. Empat Belas Kisi Bravais (Cullity, 1956: 36)

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

2. Indeks Miller

Kisi kristal akan membentuk pasangan bidang–bidang sejajar dan berjarak sama yang disebut dengan bidang–bidang kisi. Bidang–bidang kisi menentukan arah permukaan suatu kristal. Bidang–bidang kisi sangat mempengaruhi perilaku dan sifat dari bahan. Arah suatu bidang dinyatakan dengan parameter numerik, kemudian dibuat menjadi bilangan bulat terkecil. Bilangan ini disebut dengan indeks Miller yang biasanya dinyatakan dengan simbol (hkl) . Untuk arah bidang digunakan simbol atau lambang $[h k l]$ (Wiendartun, 2012: 7). Indeks Miller (hkl) dapat digunakan untuk menggambarkan semua bidang dalam kristal. Berikut langkah-langkah menentukan indeks Miller (Lestari, 2016):

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



Gambar 4. Perpotongan Bidang dengan Sumbu
(Suwitra, 1983: 48)

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

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

Bilangan bulat terkecil dari kebalikan perpotongan bidang adalah 3 3 2, maka Indeks Millernya adalah (3 3 2). Hal ini dilakukan untuk menghindari nilai tak terhingga dalam pendeskripsian orientasi bidang. Untuk bidang yang sejajar dengan sumbu-sumbu kristal nilainya menjadi nol (Cullity & Stock, 2014: 36).

3. Jarak Antar Bidang Kristal

Jarak antar kisi bidang dalam himpunan (hkl) pada 7 sistem kristal adalah sebagai berikut (Cullity, 1956: 501):

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

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

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

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

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

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

g. Triklirik:

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

Persamaan untuk kristal triklinik

$V =$ volum satuan sel

$$S_{11} = b^2 c^2 \sin^2 \alpha$$

$$S_{22} = a^2 c^2 \sin^2 \beta$$

$$S_{33} = a^2 b^2 \sin^2 \gamma$$

$$S_{12} = abc^2 (\cos \alpha \cos \beta - \cos \gamma)$$

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

$$S_{13} = ab^2 c (\cos \gamma \cos \alpha - \cos \beta)$$

4. Parameter Kisi Kubik

Arah berkas yang dipantulkan oleh atom dalam kristal ditentukan oleh geometri dari kisi kristal yang tergantung pada orientasi dan jarak bidang kristal (Lestari, 2016: 11). Suatu kristal yang memiliki simetri kubik ($a = b = c$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) memiliki konstanta kisi a , b , dan c . Sudut-sudut berkas yang didifraksikan dari bidang-bidang kristal (hkl) dapat dihitung dengan persamaan jarak antar bidang sebagai berikut:

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

dan persamaan hukum Bragg

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

Persamaan (2) dikenal sebagai hukum Bragg, dengan n adalah orde difraksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, ...). Karena pengamatan dilakukan hanya untuk orde 1, maka nilai $n = 1$.

Dengan mensubstitusikan persamaan Bragg, maka diperoleh persamaan:

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

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

dari persamaan (4) diperoleh persamaan berikut:

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

karena nilai $\frac{\lambda^2}{4a^2}$ adalah konstan, dan disebut dengan A , maka persamaan (5)

berubah menjadi

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

karena

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

maka

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

5. Faktor Struktur Kristal

Faktor struktur adalah pengaruh struktur kristal pada intensitas berkas yang didifraksikan (Cullity, 1956: 117-123). Intensitas yang muncul pada difraktogram dipengaruhi oleh faktor struktur kristal. Intensitas difraksi akan bernilai maksimum ketika faktor struktur juga maksimum dan intensitas akan bernilai nol ketika faktor struktur kristal bernilai nol. Besarnya faktor struktur kristal adalah:

$$F_{hkl} = \sum_{j=1}^n f_j e^{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)} \quad (9)$$

dengan f_j adalah faktor hamburan atom, (x_j, y_j, z_j) merupakan koordinat suatu atom, dan (hkl) merupakan indeks Miller, dan n adalah banyaknya atom dalam sel.

a. Faktor struktur kubik sederhana (simpler kubik)

Simpler kubik merupakan sebuah bagian sel satuan yang hanya berisi satu atom saja dan mempunyai koordinat $(0,0,0)$ sehingga faktor strukturnya

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

$$F^2 = f^2$$

b. Faktor struktur kubik pusat muka (*fcc*)

Basis *fcc* mengacu pada sel kubik yang memiliki atom-atom identik pada $000, \frac{1}{2}\frac{1}{2}0, \frac{1}{2}0\frac{1}{2}$, dan $0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$.

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

$$F = (1 + fe^{\pi i(h+k)} + fe^{\pi i(h+l)} + fe^{\pi i(k+l)}) \quad (11)$$

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

c. Faktor struktur kubik pusat badan (*bcc*)

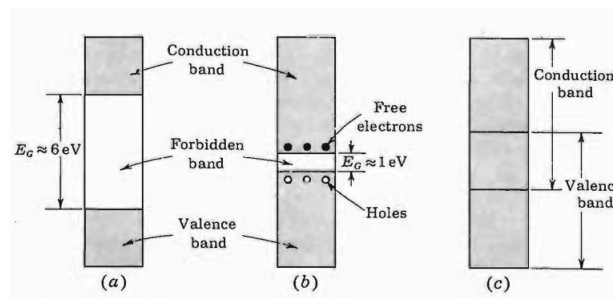
Faktor struktur pada sel kubik pusat badan (*bcc*) mempunyai dua atom yang berjenis sama, berlokasi pada 000 , dan $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$.

$$F = fe^{2\pi i(0)} + fe^{2\pi i(\frac{h}{2}+\frac{k}{2}+\frac{l}{2})} = 1 + fe^{\pi i(h+k+l)} \quad (12)$$

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

B. Semikonduktor

Suatu bahan zat padat apabila dikaitkan dengan kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik, maka bahan zat padat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu bahan konduktor, bahan semikonduktor, dan bahan isolator. Perbedaan dari ketiga bahan tersebut dapat dilihat dari struktur pita energi seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Pita Energi (a) Isolator, (b) Semikonduktor, (c)Konduktor (Milman & Hakias, 1972: 16)

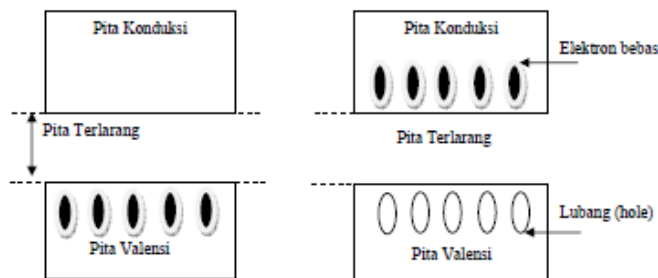
Bahan konduktor merupakan bahan logam yang mudah menghantarkan arus listrik dan memiliki resistansi listrik yang sangat kecil yaitu $10^{-5} \Omega$. Konduktor memiliki pita valensi dan pita konduksi yang saling tumpang tindih (*overlap*), sedangkan pada semikonduktor dan isolator, pita konduksi dan pita valensi tidak bertumpangan, dan celah diantaranya menyatakan energi yang tidak boleh dimiliki elektron. Celah tersebut disebut pita terlarang (*band gap*) (Lestari, 2016: 18). Pita terlarang juga menunjukkan besarnya *energy gap* yang dimiliki suatu bahan.

Konduktor memiliki struktur pita energi yang hanya sebagian berisi elektron. Pita energi tersebut berada pada pita konduksi. Medan listrik eksternal yang dikenakan pada suatu bahan konduktor akan memengaruhi elektron yang ada di dalamnya, sehingga memperoleh tambahan energi dan memasuki tingkat energi yang lebih tinggi. Elektron tersebut adalah elektron bebas yang dapat menghantarkan arus listrik (Milman & Hakias, 1972: 16).

Bahan yang mempunyai kemampuan menghantarkan listrik yang buruk disebut sebagai isolator. Pada isolator, pita valensi terisi penuh dengan elektron sedangkan pita konduksi kosong terhadap elektron, sehingga mengakibatkan terhambatnya serapan energi bagi elektron. Antara pita valensi dan pita konduksi dipisahkan oleh celah energi terlarang sekitar 6 eV. Hal ini menyebabkan energi dari medan listrik eksternal tidak mampu memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Tidak adanya elektron yang berada di pita konduksi, maka aliran arus listrik tidak terjadi (Suwitra, 1989: 186).

Semikonduktor merupakan suatu bahan yang memiliki konduktifitas listrik yang berada diantara isolator dan konduktor. Bahan semikonduktor memiliki struktur pita energi yang lebih kecil dibandingkan dengan isolator. Pada temperatur yang sangat rendah (0°K) elektron terikat kuat dengan ikatan kovalen dan tidak ada elektron yang bebas bergerak, sehingga keadaan pada pita valensi terisi penuh dan pita konduksi kosong sama sekali, bahan bersifat isolator. Jika suhu kristal dinaikkan maka kemungkinan terjadi eksitasi *thermal* sangat besar; karena celah energi relatif kecil, sehingga memudahkan

elektron-elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi melewati daerah terlarang, maka akan terjadi arus listrik sehingga bahan bersifat konduktor (Ariswan, 2014: 14).



Gambar 6. (a) Keadaan Pita Energi Bahan Semikonduktor 0° Kelvin dan (b) pada Suhu Diatas 0° Kelvin (Widodo, 2002: 45)

Berdasarkan kemurnian bahannya, semikonduktor dibedakan menjadi dua jenis yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik.

1. Semikonduktor Intrinsik

Semikonduktor intrinsik adalah suatu bahan semikonduktor dalam bentuk yang sangat murni, dimana sifat-sifat kelistrikannya ditentukan oleh sifat-sifat asli yang melekat pada unsur itu sendiri (Suwitra, 1989: 222).

Semikonduktor intrinsik terletak pada kolom IV tabel periodik yang mempunyai elektron valensi empat, contohnya Silikon dan Germanium. Struktur kristal Silikon dan Germanium berbentuk tetrahedral melalui ikatan kovalen. Ikatan kovalen terbentuk karena pemakaian bersama dari elektron valensi, sehingga persyaratan kulit terluar harus delapan elektron dapat terpenuhi. Pada temperatur ruang, sejumlah elektron mempunyai energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas. Jika sebuah ikatan kovalen

terputus, maka akan terjadi kekosongan. Daerah yang terjadi kekosongan memiliki kelebihan muatan positif, sedangkan daerah yang ditempati elektron bebas mempunyai kelebihan muatan negatif. Kedua muatan ini yang akan memberikan adanya kontribusi aliran listrik pada semikonduktor intrinsik (Rio, 1982: 10). Gerakan termal terus-menerus menghasilkan pasangan elektron-hole yang baru, sedangkan elektron-hole yang lain menghilang sebagai akibat proses rekombinasi. Maka konsentrasi elektron (n) yang terdapat pada pita konduksi sama dengan konsentrasi hole (p) yang terdapat pada pita valensi, sehingga:

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

dengan n_i disebut sebagai konsentrasi intrinsik. Sedangkan energi fermi (E_f) pada semikonduktor intrinsik terletak diantara pita konduksi dan pita valensi yang besarnya adalah:

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

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

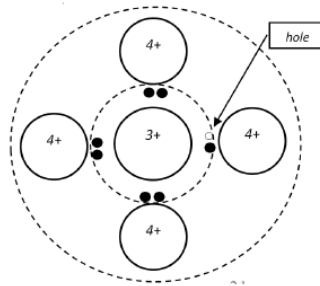
2. Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor tidak murni yang sifat kelistrikannya dikendalikan oleh sifat dan jumlah pengotor yang diberikan pada bahan (*doping*). Semikonduktor ekstrinsik terbentuk dengan memasukkan elektron atau hole yang berlebih. Elektron di dalam pita konduksi dapat tercipta melalui eksitasi antar pita maupun ionisasi termal

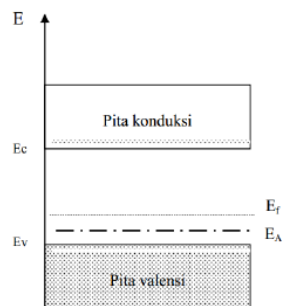
donor, sedangkan *hole* dalam pita valensi dapat terbentuk melalui eksitasi antar pita atau eksitasi termal elektron dari pita valensi ke dalam tingkat akseptor (Parno, 2006). Ditinjau dari bahan pengotornya semikonduktor ekstrinsik dapat dibedakan menjadi dua jenis:

a. Semikonduktor Tipe-p

Semikonduktor tipe-p dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor trivalen pada semikonduktor murni. Atom-atom pengotor (*dopan*) ini mempunyai tiga elektron valensi sehingga secara efektif hanya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Saat sebuah atom trivalen menempati posisi atom dalam kisi kristal, terbentuk tiga ikatan kovalen lengkap dan tersisa sebuah muatan dari atom silikon yang tidak berpasangan. Muatan positif ini disebut sebagai lubang atau *hole*. Material yang dihasilkan dari proses pengotoran merupakan pembawa muatan positif pada kristal yang netral. Atom pengotor akan menerima elektron dari pita valensi, sehingga atom pengotor tersebut dikenal sebagai atom akseptor (penerima). Semikonduktor yang diberi *dopping* dengan atom-atom akseptor disebut sebagai semikonduktor tipe-p, yang dimaksud tipe-p adalah ‘positif’, karena pembawa muatan positif jauh melebihi muatan negatif (Rio, 1982: 13-14) seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Semikonduktor Tipe-p (Ariswan, 2005)

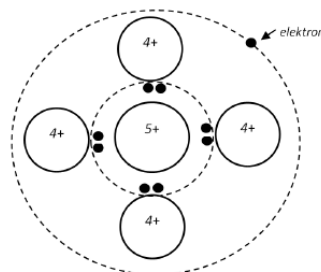


Gambar 8. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-p (Ariswan, 2013)

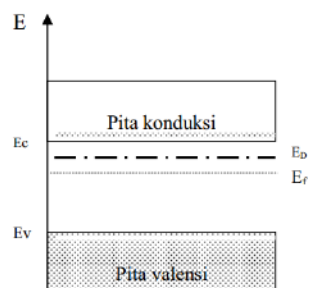
Di dalam semikonduktor tipe-p akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan yang letaknya sedikit di atas pita valensi yaitu energi akseptor (E_A) seperti yang ditunjukkan pada diagram pita energi. Energi Fermi (E_f) bergeser mendekati pita valensi karena munculnya tingkat energi akseptor. Energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali, maka *hole-hole* yang dibentuk oleh elektron-elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron pembawa minoritas di dalam pita konduksi. Semikonduktor tipe-p dihasilkan dari penambahan unsur-unsur dari golongan IIIB (B, Al, Ga dan In) pada unsur-unsur golongan IV (Ariswan, 2013).

b. Semikonduktor tipe-n

Semikonduktor tipe-n terbentuk saat silikon diberi *doping pentavalen* yaitu bahan kristal dengan inti atom 5 elektron valensi. Setelah diberi *doping*, maka silikon akan memiliki kelebihan elektron dan tidak lagi murni (*impurity semiconductor*). Atom *pentavalen* yang ditambahkan akan membentuk suatu ikatan kovalen dengan 4 atom terdekat. Suatu orbit valensi maksimal hanya dapat terisi 8 elektron, maka akan terdapat 1 kelebihan elektron. Elektron ini masih berada di sekitar inti, namun terikat sangat lemah, sehingga akan mudah terlepas (Ariswan, 2005). Semikonduktor ini terbentuk dengan menambahkan unsur-unsur golongan V (N, P, As dan Sb) pada golongan IV (Si, Ge, Sn dan Pb).



Gambar 9. Semikonduktor Tipe-n (Ariswan, 2005)



Gambar 10. Tingkat Energi Semikonduktor Tipe-n (Ariswan, 2013)

Pada Gambar 10 tampak bahwa energi Fermi (E_f) mendekati pita konduksi karena adanya tingkat energi donor (E_D). Bila atom donor terionisasi, elektron bertransisi dari tingkat donor ke pita konduksi. Di sisi lain, transisi dari pita valensi tetap terjadi meskipun dalam intensitas yang kecil. Walaupun jumlahnya lebih sedikit, transisi ini menghasilkan *hole* pada pita valensi. Sedangkan pada pita konduksi terdapat elektron yang jumlahnya jauh lebih banyak. Dengan begitu, pembawa mayoritas pada semikonduktor tipe-n adalah elektron sedangkan *hole* merupakan pembawa minoritas (Ariswan, 2013).

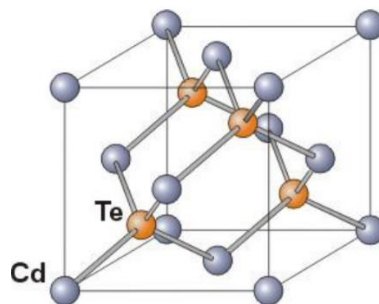
3. Bahan Semikonduktor Cd(S_{0,2}Te_{0,8})

a. CdTe (*Cadmium Telluride*)

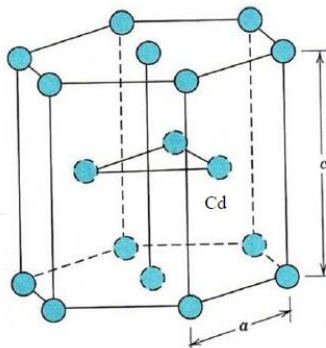
CdTe adalah senyawa kristal yang terbentuk dari Cd (*cadmium*) dan Te (*tellurium*) yang digunakan sebagai bahan sel surya. Bahan semikonduktor CdTe memiliki *band gap* yang ideal untuk bahan pembuatan sel surya yaitu sebesar 1,5 eV dan memiliki koefisien absorpsi optik yang tinggi (Gupta, 2016). Koefisien absorpsi dari suatu material mengindikasikan sejauh manakah cahaya dengan panjang gelombang yang spesifik dapat menembus suatu material sebelum diabsorpsi. Koefisien absorpsi yang kecil mempunyai arti bahwa cahaya yang diserap sedikit oleh material. Absorpsi sel surya tergantung dari dua faktor yaitu jenis material pembuat sel surya itu sendiri dan panjang gelombang atau energi cahaya yang diserap. Material pembuat sel surya

mempunyai tepi absorpsi yang tajam, inilah sebabnya jika cahaya dengan energi dibawah *band-gap* material tidak dapat membebaskan elektron, jadi cahaya tersebut tidak diserap. Cadmium Tellerium memiliki titik leleh pada suhu 1314°K dan titik didih pada suhu 1320°K.

Film tipis CdTe mempunyai efisiensi eksperimen sekitar 16,5 %. Nilai ini cukup tinggi untuk melaksanakan penelitian dan teknologi yang menarik pada tipe sel surya ini (Wu et al, 2001). CdTe merupakan semikonduktor tipe *p* yang mempunyai sifat pengabsorpsi dan sifat afinitas yang tinggi (Batzner et al., 2000). CdTe mempunyai struktur heksagonal dan kubik. Struktur zinblende CdTe ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan struktur heksagonal CdTe.



Gambar 11. Struktur Zinblende CdTe

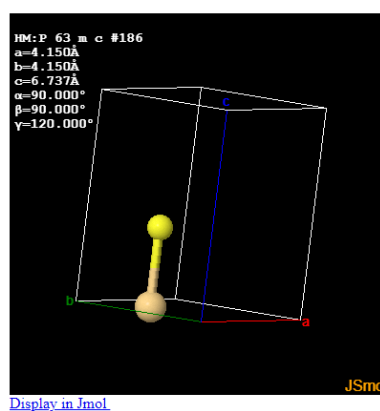


Gambar 12. Struktur Heksagonal CdTe

b. CdS (*Cadmium Sulfida*)

Cadmium Sulfide (CdS) adalah mineral semikonduktor paduan II-VI yang berwarna kuning-oranye. Senyawa ini dapat ditemukan sebagai mineral Greenokict; senyawa ini dibentuk dengan cara mereaksikan *hydrogen sulfide* (H_2S) dalam padatan garam alkali *cadmium*. CdS dengan struktur *hexagonal* baik untuk solar sel karena mempunyai *band gap* dan stabilitas yang cocok. CdS adalah salah satu material yang penting untuk aplikasi piranti elektro-optik seperti material laser, photosensor, sel photokonduksi (Sulhan, 2009).

CdS adalah material semikonduktor tipe n yang berfungsi sebagai *window* bagi material lainnya (Hai-Ning Cui & Shi Quan Xi, 1996). Menurut Sulhan (2009) material tersebut digunakan sebagai material *window* dengan beberapa semikonduktor seperti CdTe, CuS_2 , InP, $CuInSe_2$ dan menghasilkan efisiensi 14% - 16%. Film tipis CdS sebagai salah satu material yang baik untuk *heterojunction* sel surya film tipis dengan energi *band gap* sebesar 2,4 eV.



Gambar 13. Parameter Kisi Heksagonal CdS

c. $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$

Bahan paduan $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ identik dengan bahan semikonduktor CdTe dan CdS, dengan sifat optik dan listrik diantara CdTe dan CdS (Setianingrum, 2016: 24). $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ merupakan bahan semikonduktor CdS (*Cadmium Sulfida*) yang dipadukan dengan Te (*Telluride*) merupakan perpaduan tiga unsur (*ternary*). Pembuatan bahan massif $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dilakukan dengan proses penimbangan masing-masing bahan dasar kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, yaitu Cd : S : Te dengan perbandingan mol 1 : 0,2 : 0,8. Unsur Cd dijadikan sebagai acuan massa, sehingga massa S dan Te dihitung dengan persamaan (Astarinugrahani, 2017: 62):

$$\text{Massa S} = \left[\frac{\text{massa Cd}}{(\text{Berat Atom})\text{Cd}} \times (\text{Berat Atom})\text{S} \right] \times \frac{\text{koef mol S}}{\text{koef mol Cd}} \quad (15)$$

$$\text{Massa Te} = \left[\frac{\text{massa Cd}}{(\text{Berat Atom})\text{Cd}} \times (\text{Berat Atom})\text{Te} \right] \times \frac{\text{koef mol Te}}{\text{koef mol Cd}} \quad (16)$$

Unsur Cd dan Te lebih dominan daripada S, sehingga lapisan tipis mayoritas bersifat CdTe dan minoritas bersifat CdS. Bahan semikonduktor CdS (*Cadmium Sulfida*) yang memiliki *band gap* sebesar 2,4 eV (Batzner et al., 2000). Bahan semikonduktor CdTe (*Cadmium Telluride*) yang memiliki *band gap* sebesar 1,5 eV (Gupta, 2006). Rentang *Band gap* bahan perpaduan CdS (*Cadmium Sulfida*) yang dipadukan dengan Te (*Telluride*) berada 1,5 eV – 2,4 eV (Siswoyo, 2019: 3). Memungkinkan bahan semikonduktor tersebut dapat untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum cahaya tampak (Ariswan, 2010: 3).

C. Teknik Evaporasi Vakum

Secara garis besar teknik dalam pembuatan lapisan tipis dapat dibedakan menjadi dua teknik. Pertama adalah teknik *Physical Vapor Deposition* (PVD). Contohnya adalah *Vacuum Evaporation*, *Close Space Vapor Deposition* (CSVT), *sputtering* dan teknik yang kedua adalah *Chemical Vapor Deposition* (CVD) yang terdiri dari *Low Pressure Chemical Vapor Deposition* (LPCVD) dan MOCVD (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition*) (Ohring, 1992:80).

Pada penelitian ini dilakukan preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum yang merupakan bagian dari PVD (*Physical Vapor Deposition*). Metode evaporasi vakum ini merupakan metode pembuatan lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang hampa. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi tumbukan molekuler perdetik, sehingga akan memperkecil kontaminasi permukaan ruang yang divakumkan pada lapisan tipis (Ohring, 1992: 95).

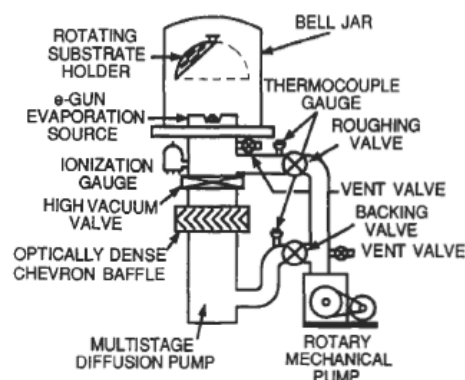
Dalam proses penumbuhan lapisan tipis, material sumber diuapkan dengan cara memanaskan filamen dengan *heater* dan material yang digunakan harus padat, karena jika menggunakan cairan akan beraksi dengan elemen pemanasnya. Material yang telah dievaporasi selanjutnya bergerak meninggalkan material sumber dengan wujud gas dan bergerak ke segala arah tergantung pada jenis sumber yang digunakan. Sifat transport zat berperan dalam peristiwa ini. Sifat transport zat merupakan kemampuan zat itu untuk memindahkan materi, energi atau sifat yang lainnya dari suatu tempat ke

tempat lain. Pada akhirnya material tersebut sampai pada substrat dan akan terkondensasi pada setiap permukaan substrat yang ditimpa atom-atom dan membentuk lapisan tipis. Kelebihan proses evaporasi adalah laju penumbuhan yang sangat tinggi karena ditumbuhkan didalam ruang vakum dan mengurangi resiko kerusakan substrat (Ohring, 1992: 79).

Kualitas lapisan tipis yang dihasilkan dari hasil preparasi dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu (Ohring, 1992: 80):

- a. Tekanan pada saat pemvakuman, semakin rendah tekanan yang dihasilkan saat pemvakuman maka kualitas lapisan tipis akan semakin baik.
- b. Kemurnian bahan yang akan dipreparasi. Semakin baik kemurnian bahan maka semakin baik pula struktur kristal yang terbentuk.
- c. Temperatur substrat pada saat proses evaporasi vakum.
- d. Massa bahan.
- e. *Dispacer* (jarak antara bahan yang akan diuapkan dengan substrat).

Berikut ini merupakan skema dari sistem evaporasi vakum.



Gambar 14. Skema Sistem Evaporasi Vakum
(Ohring, 1992: 72)

Teknik pemvakuman merupakan teknik yang cukup penting dalam proses penggunaan metode evaporasi vakum. Menurut Ariswan & Na Peng Bo

(2004) berdasarkan daerah kevakumannya pompa vakum dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu (Ariswan & Na Peng Bo, 2004: 14):

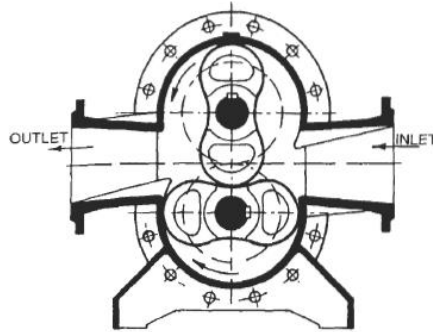
- a. *Rough pumps*: 1000 mbar hingga 10^{-3} mbar. Contohnya: *Rotary-vane pump* (pompa rotari geser), *Root's pump*, *sorbtion pump*.
- b. *High vakum pump*: $10^{-3} - 10^{-8}$ mbar. Berikut merupakan beberapa contoh pompa yang termasuk dalam kategori *high vakum pump*: *Oil diffusiom pump*, *Turbo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

Upaya mengosongkan suatu ruangan membutuhkan pompa yang bekerja sesuai dengan daerah kerjanya. Dalam pembuatan lapisan tipis menggunakan teknik evaporasi vakum dibutuhkan dua pompa untuk mengosongkan suatu ruangan. Pertama adalah pompa rotari dan yang kedua adalah pompa difusi.

1. Pompa Rotari Sekat

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

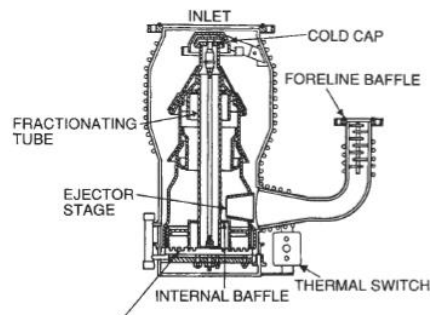
dan tekanan pada stator, sehingga mampu memisahkan dua ruangan yang mempunyai tekanan yang berbeda (Ariswan & Na Peng Bo, 2004: 16).



Gambar 15. Skema Pompa *Rotary* (Ohring, 1992: 64)

2. Pompa Difusi

Pompa difusi merupakan pompa yang mempunyai daerah kerja pada tekanan ($10^{-3} - 10^{-8}$) mbar. Prinsip kerja dari pompa difusi yakni dengan cara mengalirkan uap yang diperoleh dari didihan minyak. Pada bagian bawah dari pompa ini adalah *reservoir oil*. Oli tersebut dipanasi sehingga oli akan naik ke atas melalui penyempitan pipa, dengan kecepatan tinggi menumbuk atap dan dipantulkan ke bawah dengan pantulan menyebar kemudian oli akan menumbuk dinding pompa yang didinginkan sehingga oli mengembun dan begitu seterusnya, maka mendorong molekul-molekul gas keluar sistem.



Gambar 16. Skema Pompa Difusi (Ohring, 1992: 65)

D. Lapisan Tipis

Penerapan lapisan tipis diawali pada pertengahan abad XIX yaitu pada tahun 1852 ketika Grove melakukan penelitian lucutan listrik dalam gas bertekanan rendah dimana nampak terbentuk lapisan pada dinding lucutan pijar di sekitar elektroda negatif. Kemudian pada tahun 1857, Faraday berhasil membuat lapisan tipis dari logam dengan metode Evaporasi. Lapisan tipis adalah suatu lapisan bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik dengan ketebalan dalam orde nm (nanometer) hingga μm (mikrometer). Bahan-bahan lapisan tipis akan memperlihatkan sifat-sifat khusus, yaitu memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, maupun isolator tergantung pada sifat bahan awal yang digunakan dalam pendeposisian pada substrat (Zakiati, 2017: 29).

Aplikasi lapisan tipis saat ini telah menjangkau berbagai bidang ilmu. Dalam bidang konstruksi terutama yang berkaitan dengan bahan logam, lapisan tipis digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan daya anti korosi. Dalam bidang elektronika, lapisan tipis digunakan untuk membuat kapasitor dan sensor. Pada bidang optik dalam pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kacamata pelindung cahaya, transmisi daya tinggi juga menggunakan lapisan tipis. Hampir semua bidang industri baik dalam pembuatan piranti elektronik seperti kapasitor, transistor, fotodetektor, sel surya, rangkaian hidrid, dan teknologi mikroelektronika menggunakan lapisan tipis (Lestari, 2016: 27).

Metode penumbuhan kristal dalam bentuk lapisan tipis secara garis besar ada dua teknik. Pertama adalah teknik *Physical Vapor Deposition* (PVD), dan teknik yang kedua adalah *Chemical Vapor Deposition* (CVD).

Proses penumbuhan lapisan tipis melewati tiga tahapan, yaitu (Utomo, 2014):

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

Suhu substrat sangat berpengaruh pada proses penumbuhan lapisan tipis mengingat bahwa atom tidak dapat bergerak pada suhu 0°K. Ketika suhu dinaikkan, energinya akan meningkat sehingga akan menyebabkan atom-atom bergetar dan jarak antar atom akan melebar. Jarak atom yang melebar akan memungkinkan atom-atom bahan memiliki energi atau berada di atas energi ikatnya yang akan bergerak mendorong ikatannya dan melompat ke posisi baru kemudian mengakibatkan jumlah kekosongan meningkat dengan cepat secara eksponensial. Substrat yang memiliki suhu sesuai akan memungkinkan atom-atom lain menyusup lebih dalam diantara celah-celah atom (Van Vlack, 2004). Hal ini akan menyebabkan atom-atom lain terikat dan semakin kuat menempel pada substrat.

E. Karakterisasi Kristal

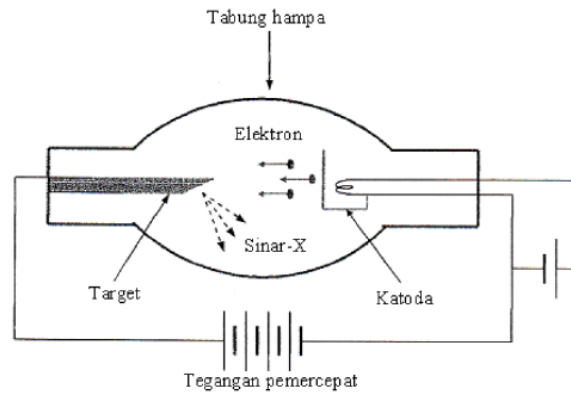
Dalam penelitian ini, karakterisasi kristal dilakukan dengan beberapa teknik, yaitu *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS).

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

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan metode karakterisasi lapisan tipis yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan struktur kristal. Selain itu XRD juga dapat digunakan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal, orientasi, cacat kristal, serta ukuran sub-butir dan butir (Smallman & Bishop, 2000: 145). Hasil dari XRD berupa pola difraktogram terdiri dari deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut tergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, di dalam sel satuan material tersebut.

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang $\lambda = 0,1$ nm yang lebih pendek dibandingkan dengan panjang gelombang cahaya ($\lambda = (400-800)$ nm) (Smallman & Bishop, 2000: 145). Panjang gelombang sinar-X ini merupakan dasar digunakannya teknik difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur mikroskopis suatu bahan, karena difraksi sinar-X dari zat padat dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal. Radiasi sinar-X dihasilkan ketika elektron penembak bergerak

dengan dipercepat oleh beda potensial searah, kemudian menumbuk permukaan suatu bahan dalam tabung hampa udara menghasilkan sinar-X.



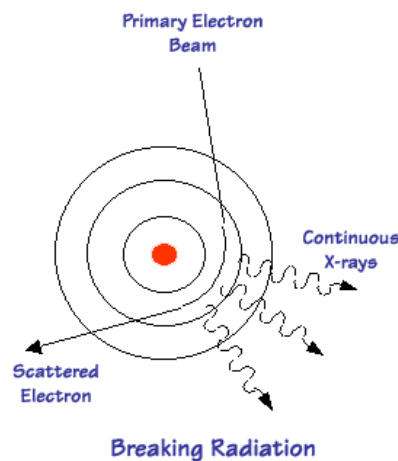
Gambar 17. Diagram Sinar-X (Beiser, 1992: 62)

Pada Gambar 17, berkas elektron dihasilkan oleh katoda yang dipanaskan dengan filamen, kemudian elektron bermuatan negatif tertarik menuju muatan positif anoda pada target yang mempunyai temperatur tinggi, hal ini terjadi karena adanya beda potensial antara anoda dan katoda. Apabila beda potensial antara katoda dan anoda diberi lambang V_0 (volt), maka saat elektron mengenai permukaan anoda dapat dihitung besar energinya sebagai berikut:

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

Karena adanya interaksi antara elektron berenergi E_k dengan logam anoda terjadilah pancaran sinar-X. Pancaran radiasi sinar-X terbagi menjadi dua komponen, yaitu spektrum kontinyu dan spektrum garis. Spektrum kontinyu mempunyai rentang panjang gelombang yang lebar sedangkan spektrum garis merupakan karakteristik dari logam yang ditembak (Smallman & Bishop, 2000: 145).

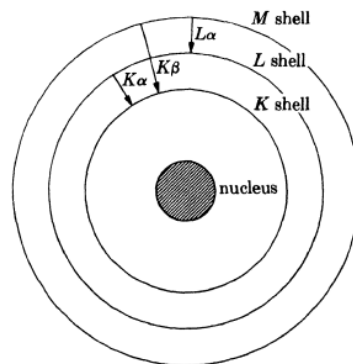
Spektrum sinar-X kontinyu dihasilkan dari peristiwa *bremstrahlung*. Pada saat elektron menumbuk logam, elektron dari katoda (elektron datang) menembus kulit atom dan mendekati inti atom. Pada saat mendekati inti atom elektron berbelok dan kecepatan elektron berkurang atau diperlambat. Karena perlambatan ini, maka energi elektron berkurang. Energi yang hilang ini dipancarkan dalam bentuk sinar-X. Proses inilah yang dikenal proses *bremstrahlung*. Energi radiasi pada spektrum kontinyu meningkat dengan bertambahnya nomor atom target dan berbanding lurus dengan kuadrat tegangan. Proses *bremstrahlung* disajikan pada Gambar 18.



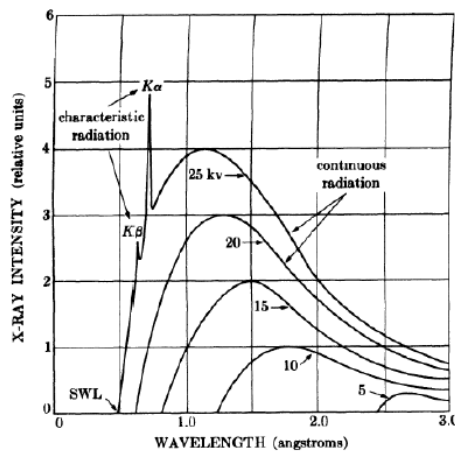
Gamba 18. Skema Pembentukan Sinar-X Kontinyu (Tough, 2001)

Spektrum garis terjadi ketika elektron yang terakselerasi mempunyai cukup energi untuk mengeluarkan satu elektron dalam kulitnya dan kemudian akan diisi dengan elektron yang lain dari tingkat energi yang lebih tinggi. Peristiwa ini menyebabkan terjadinya transisi elektron dan pelepasan energi yang dikenal sebagai foton sinar-X karakteristik. Pada Gambar 19, sinar-X karakteristik terjadi karena elektron yang berada pada kulit *K*

terionisasi sehingga terpental keluar. Kekosongan kulit K ini segera diisi oleh elektron dari kulit di luarnya. Jika kekosongan pada kulit K diisi oleh elektron dari kulit L , maka akan dipancarkan sinar-X karakteristik K_α . Jika kekosongan itu diisi oleh elektron dari kulit M , maka akan dipancarkan sinar-X karakteristik K_β dan seterusnya (Cullity, 1956: 12).



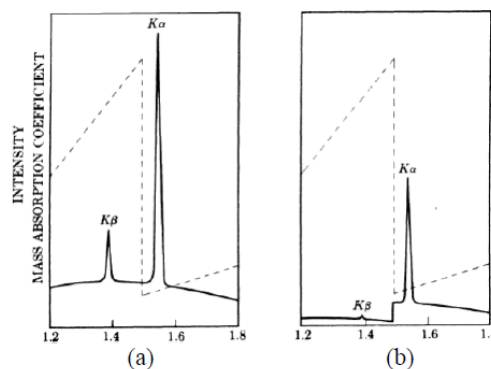
Gambar 19. Transisi Elektron Dalam Sebuah Atom (Cullity, 1956: 12)



Gambar 20. Spektrum Radiasi Sinar-X Kontinyu dan Sinar-X Karakteristik (Cullity, 1956: 7)

Dari Gambar 20 dapat dilihat 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 adanya transisi antara tingkat energi yang berbeda. Untuk menganalisis struktur

kristal dari suatu bahan paduan dibutuhkan sinar-X monokromatik atau hanya memiliki satu panjang gelombang saja, sehingga dilakukan proses penyaringan menggunakan bahan penyaring (*filter*) yang sesuai. Dengan melewati sinar-X pada material filter maka radiasi K_{β} yang tidak diinginkan akan terabsorpsi sedangkan radiasi K_{α} yang cukup kuat akan diteruskan, sehingga diperoleh sinar-X monokromatik. Sinar-X monokromatik ini yang dibutuhkan untuk menganalisis struktur kristal. Beberapa material yang dapat digunakan sebagai *filter* adalah material yang memiliki nomor atom lebih kecil dari nomor atom target (Auliasari, 2017:25). Gambar 21 (a) menunjukkan sinar-X karakteristik yang masih bersifat polikromatik tanpa *filter* dan Gambar 21 (b) merupakan sinar-X karakteristik monokromatik setelah melalui tahap penyaringan menggunakan *filter*.

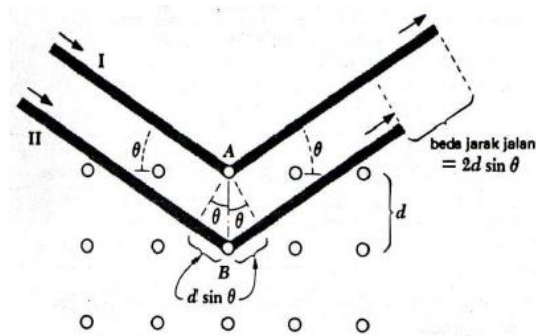


Gambar 21. Sinar-X Karakteristik (a) Tanpa Filter
(b) dengan Filter (Leng, 2013: 51)

Apabila suatu berkas sinar-X monokromatik dilewatkan pada bahan maka akan terjadi penyerapan (*absorpsi*) dan penghamburan (*scattering*) berkas sinar-X oleh atom-atom bahan tersebut. Berkas sinar-X yang jatuh akan dihamburkan ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-

atom, pada arah-arah tertentu gelombang hambur itu akan mengalami interferensi konstruktif (penguatan), dan yang lain akan mengalami interferensi destruktif (penghilangan) (Beisser, 1992).

Menurut Bragg arah garis-garis difraksi dapat diterangkan jika sinar-X dianggap terpantul oleh bidang-bidang atomik diikuti dengan interferensi konstruktif dari sinar-sinar pantul yang dihasilkan. Peristiwa interferensi konstruktif inilah yang menyebabkan peristiwa difraksi.



Gambar 22. Difraksi Bragg (Beiser, 1992: 68)

Dari Gambar 22 dapat diasumsikan bahwa berkas sinar-X yang datang pada bahan, sejajar satu sama lain yang mempunyai panjang gelombang (λ) dengan sudut datang yang dinyatakan dengan θ terhadap bidang difraksi (sudut Bragg) dan jatuh pada bidang kristal dengan jarak d . Besar sudut Bragg tentunya mempunyai harga berbeda untuk tiap-tiap bidang. Agar mengalami interferensi yang konstruktif maka kedua berkas tersebut harus memiliki beda jarak $n\lambda$. Sedangkan beda jarak lintasan kedua berkas adalah $2d \sin \theta$. Interferensi konstruktif terjadi jika beda jalan sinar adalah kelipatan bulat panjang gelombang λ . Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan:

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

Pemantulan Bragg dapat terjadi jika $\lambda \leq 2d$, karena itu tidak dapat digunakan cahaya kasat mata, dengan n adalah bilangan bulat 1,2,3, ... (Beiser, 1992: 66).

Struktur kristal ditentukan dengan difraksi sinar-X. XRD (*X-Ray Diffraction*) bekerja dengan prinsip dasar mendifraksi sinar-X melalui celah kristal yaitu dengan asas hukum Bragg. Sinar-sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Besaran intensitas yang diterima detektor pada sudut-sudut tertentu akan menunjukkan sistem kristal tersebut.

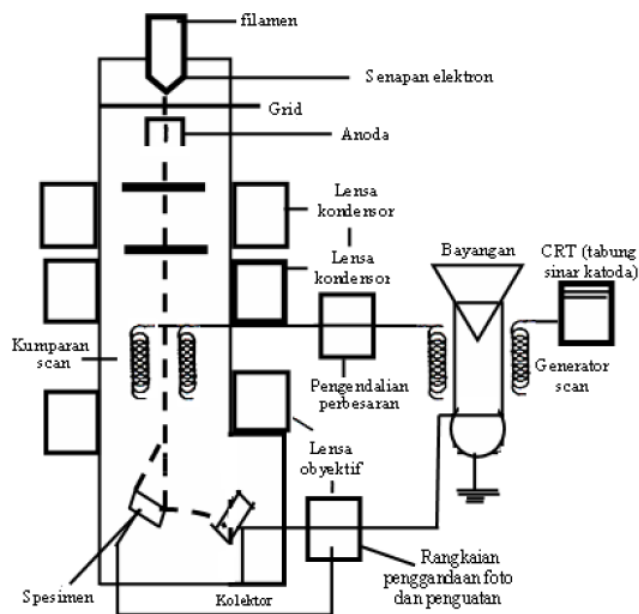
Untuk XRD, pola difraksi diamati sebagai fungsi sudut 2θ dimana tiap puncak yang muncul mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Pola difraksi yang terjadi kemudian dibandingkan dengan database JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standart*) sebagai data standar.

2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan salah satu jenis tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi. *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dapat digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan bahan. Karakterisasi bahan menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi dari suatu

specimen berupa gambaran atau foto. Secara umum *Scanning Electron Microscopy* dapat memperbesar 1.000 – 40.000 kali.

Prinsip kerja dari alat ini adalah sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. Scanning pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 23 (Smallman & Bishop, 2000: 157).

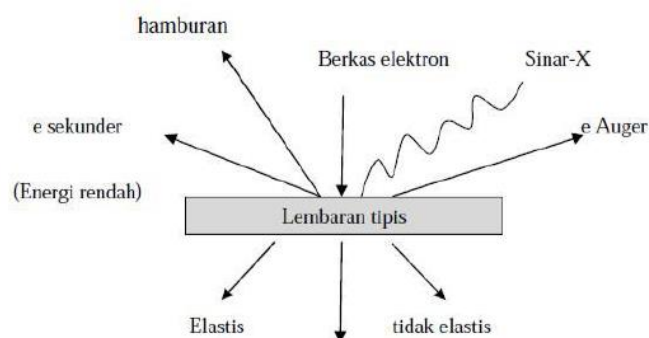


Gambar 23. Skema Dasar SEM (Smallman & Bishop,2000:157)

3. *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*

Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) merupakan alat yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari suatu bahan. Sistem analisis EDS bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM. Prinsip kerja EDS yaitu ketika elektron berinteraksi dengan bahan, maka elektron tersebut sebagian akan dihamburkan dan sebagian lagi akan diteruskan menembus bahan (*specimen*). Elektron yang dihamburkan akan mengelilingi inti atom bahan. Elektron tersebut akan terpental keluar dari sistem sehingga terjadi kekosongan yang akan diisi oleh elektron dari kulit yang diluarnya (Utomo, 2014).

Elektron yang di luar memiliki energi lebih besar, sehingga pada waktu berpindah orbit ke energi yang lebih rendah akan melepaskan energi dalam bentuk foton yang dikenal sebagai sinar-X dan juga elektron *auger* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 24. 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.

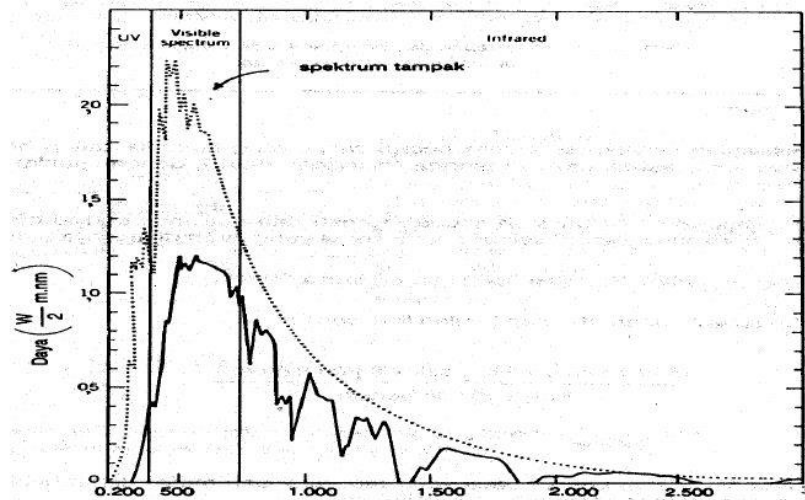


Gambar 24. Hamburan dari Elektron yang Jatuh pada Lembar Tipis (Smallman & Bishop, 2000: 155)

Selanjutnya, sinar-X yang dipancarkan dapat dideteksi dengan detektor zat padat yang dapat menghasilkan spektrum energi sinar-X. Hasil dari EDS berupa spektrum *energy-dispersive* yang disajikan dalam bentuk histogram dimana sumbu horizontal mempresentasikan energi dan sumbu vertikal menunjukkan intensitas. Puncak energi pada histogram menunjukkan konsentrasi atom pada unsur tertentu, sehingga semakin tinggi spektrum pada suatu puncak energi, maka semakin tinggi konsentrasi unsur tersebut pada sampel (Vaughan, 1999: 33).

F. Sel Surya

Matahari adalah salah satu bintang, yang merupakan sumber energi utama bagi kehidupan di bumi. Sumber energi matahari berasal dari reaksi fusi atom-atom Hidrogen menjadi Helium. Tekanan dan suhu yang sangat tinggi akan mengubah inti Hidrogen menjadi Helium dan menghasilkan energi yang sangat besar, sehingga temperatur inti matahari mencapai kira-kira 15 juta kelvin. Energi tersebut dipancarkan sampai di bumi dalam bentuk catuan gelombang elektromagnetik (Ariswan, 2010: 2). Spektrum panjang gelombang pancaran energi surya dapat ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. Penyebaran Panjang Gelombang Cahaya Surya di Atas Atmosfer (Garis Titik-Titik) dan di Permukaan Bumi (Garis Hitam)

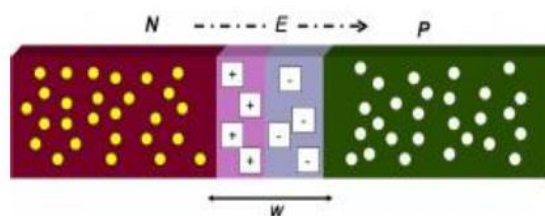
Spektrum panjang gelombang cahaya matahari seperti tampak pada Gambar 25, akan menentukan beberapa jenis teknologi konversi energi yang sesuai. Teknologi yang dimaksud adalah pembuatan piranti-piranti berbasis tenaga surya (panel surya) (Ariswan, 2010: 3).

Panel surya merupakan alat untuk mengonversi tenaga matahari menjadi energi listrik (Setianingrum, 2016: 41). Prinsip dasar pembuatan sel surya yaitu memanfaatkan efek fotovoltaik, yaitu suatu efek yang mampu mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi listrik. Fotovoltaik sering diartikan sebagai proses perubahan suatu cahaya menjadi energi listrik. Ahli fisika yang menemukan fotovoltaik pertama kali adalah Alexander Edmond Becquerel pada tahun 1839 (Ariswan, 2010: 3).

Proses konversi dari cahaya menjadi energi listrik dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Sel surya yang sederhana ini terdiri dari dua sambungan semikonduktor, yaitu sambungan semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Kedua jenis

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

Ketika jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor tipe-n menuju semikonduktor tipe-p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor tipe-p menuju semikonduktor tipe-n. Elektron dari semikonduktor-*n* bersatu dengan *hole* pada semikonduktor-*p* yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor tipe-p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, *hole* dari semikonduktor tipe-p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor-n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*). Lebar daerah deplesi ditandai dengan huruf *w*.

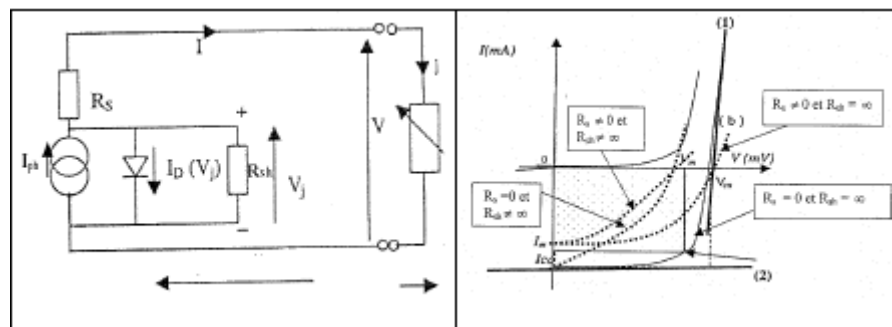


Gambar 26. Sambungan Semikonduktor p dan n

Elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*). Pada daerah ini terdapat medan listrik internal yang arahnya dari *N* ke *P*. Prinsip kerja sel surya adalah sebagai berikut: ketika radiasi sinar surya mengenai sel surya tersebut maka akan terbentuk elektron dan *hole*, sehingga karena pengaruh medan listrik internal tersebut di atas, maka *hole* akan bergerak menuju *P* (mayoritas

pembawa muatan *hole*) dan elektron akan bergerak ke *N* (mayoritas pembawa muatan elektron), sehingga keduanya menghasilkan arus foto difusi. Sedangkan pada daerah pengosongan dapat pula terjadi pasangan *hole* dan elektron yang karena pengaruh medan internal yang sama akan bergerak menuju ke arah mayoritasnya, sehingga menghasilkan arus generasi.

Skema ekivalen sebuah sel surya ditunjukkan pada Gambar 27.a dan Gambar 27.b menggambarkan karakteristik tegangan-arus keadaan gelap dan keadaan penyinaran.



Gambar 27. (a) Skema Ekivalen Sebuah Sel Surya, dan (b) Karakteristik arus-tegangan sel surya Keadaan Tanpa dan Dengan Penyinaran (Ariswan, 2010: 5).

G. Kerangka Berfikir

Metode yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ yaitu teknik evaporasi vakum. Teknik evaporasi vakum merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memperoleh lapisan tipis dengan penguapan bahan pada ruang vakum. Hasil preparasi lapisan tipis dengan teknik evaporasi vakum dapat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu tekanan pada saat pemvakuman, massa bahan, temperatur substrat dan *spacer* (jarak material sumber dengan substrat) (Ariswan & Na Peng Bo, 2004).

Temperatur substrat akan memengaruhi tingkat kristalinitas lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang berhubungan dengan karakter kristal. Proses preparasi pada temperatur 0°K menyebabkan atom-atom tidak bergerak atau dalam keadaan *atomic freezes*. Bila temperatur dinaikkan maka energinya akan meningkat sehingga akan menyebabkan atom-atom bergetar dan menimbulkan jarak antar atom yang lebih besar. Jarak antar atom yang lebih besar akan memungkinkan atom-atom yang memiliki energi tinggi atau berada di atas energi ikatnya akan bergerak mendobrak ikatannya dan melompat ke posisi yang baru kemudian akan mengakibatkan jumlah kekosongan meningkat dengan cepat, memungkinkan atom-atom asing menyusup lebih dalam di antara celah-celah atom. Hal ini akan menyebabkan atom-atom asing terikat dan semakin kuat menempel pada bahan, sehingga kristal yang terbentuk akan memiliki karakteristik yang baik (Van Vlack, 2004: 106). Adanya variasi temperatur substrat, diharapkan dapat mempengaruhi karakter kristal pada lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

Lapisan tipis yang terbentuk diharapkan dapat menjadi piranti semikonduktor yang digunakan untuk aplikasi sel surya. Bahan semikonduktor CdS (*Cadmium Sulfida*) yang memiliki *band gap* sebesar 2.4 eV (Batzner et al., 2000). Bahan semikonduktor CdTe (*Cadmium Telluride*) yang memiliki *band gap* sebesar 1,5 eV (Gupta, 2006). Penelitian ini bahan semikonduktor CdS (*Cadmium Sulfida*) yang dipadukan dengan Te (*Telluride*) merupakan perpaduan tiga unsur (*ternary*) dengan perbandingan molaritas teoritis $\text{Cd} : \text{S} : \text{Te}$ yaitu 1 : 0,2 : 0,8 atau $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Adanya unsur Te diharapkan

menurunkan *band gap* dari CdS (2,4 eV). Bahan Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), identik dengan bahan semikonduktor CdTe dan CdS, dengan sifat optik dan listrik diantara CdTe dan CdS. Rentang *band gap* bahan perpaduan CdS (*Cadmium Sulfida*) yang dipadukan dengan Te (*Telluride*) berada 1,5 eV – 2,4 eV yang memungkinkan bahan semikonduktor tersebut dapat untuk memanfaatkan berbagai daerah pada spektrum cahaya tampak (Ariswan, 2010: 3). Bahan semikonduktor Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan sel surya.

Untuk mengetahui karakter lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), maka perlu dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui morfologi permukaan, dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk mengetahui komposisi kimia bahan secara kuantitatif.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2018 sampai Februari 2019.

2. Tempat Penelitian

- a. Preparasi penumbuhan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan teknik evaporasi vakum dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- b. Karakterisasi struktur kristal lapisan tipis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- c. Karakterisasi struktur morfologi menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) dan analisis komposisi bahan kimia lapisan tipis menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) dilakukan di Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (BPTBA LIPI) Gunung Kidul.

B. Variabel Penelitian

- a. Variabel bebas: temperatur substrat.
- b. Variabel terikat: struktur kristal, parameter kisi kristal, morfologi permukaan dan komposisi bahan kimia.
- c. Variabel kontrol: lama waktu pemvakuman, massa bahan, dan *dispacer* (jarak cawan dengan substrat).

C. Bahan dan Peralatan Penelitian

1. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian

- a. Bahan massif Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dipreparasi dengan metode Bridgman yang masih berupa batuan kecil hasil penelitian sebelumnya.
- b. Substrat kaca yang memiliki ketebalan 1 mm.
- c. Alkohol 70%, air, dan tisu digunakan untuk membersihkan substrat kaca.

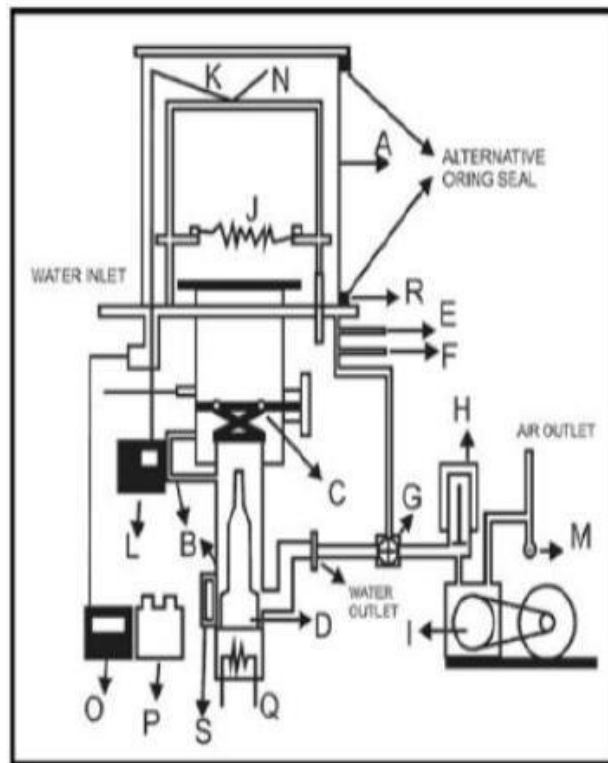
2. Peralatan penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), terdiri dari:

- a. Perangkat preparasi bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8})
 - 1) Sistem Evaporator. Merupakan alat utama yang digunakan untuk preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), alat ini mempunyai tegangan 210 volt.
 - 2) Pompa vakum rotari merk Robinair Vacum Aster, alat ini digunakan untuk menghampakan ruang vakum yang terdiri dari rotari dan rotor sebelum proses preparasi dimulai yang mempunyai tekanan maksimum 1×10^{-3} mbar.
 - 3) Pompa vakum difusi, alat ini digunakan untuk menghampakan ruang vakum pada tekanan yang lebih rendah sistem kerjanya berdasarkan proses pengembunan uap dan mempunyai tekanan 1×10^{-6} mbar.

- 4) *Manometer penning*, alat ini digunakan untuk mengetahui tekanan pada ruang vakum pada saat proses evaporasi berlangsung.
 - 5) Termokopel, alat ini digunakan untuk memanaskan kaca substrat yang dipreparasi.
 - 6) Timbangan digital merk Denver Instrument XE-310, alat ini digunakan untuk menimbang bahan dengan massa yang dikehendaki.
 - 7) Penggerus model mangkok, alat ini digunakan untuk menghaluskan butiran bahan massif yang akan dipreparasi.
 - 8) Funnace merk Bamstread Themolyne, alat ini digunakan untuk mensterilkan kaca substrat dengan suhu 100°C.
 - 9) Multimeter digital merk Sanwa, alat ini digunakan untuk mengukur tegangan pada saat pemanasan substrat.
- b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$
- 1) *X-Ray Diffraction (XRD)*
XRD digunakan untuk mengetahui struktur yang terbentuk dari hasil preparasi bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.
 - 2) *Scanning Electron Microscopy (SEM)* dan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*
SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, dan EDS digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$.

D. Skema Alat Penelitian



Gambar 28. Skema Sistem Evaporasi Vakum (Triyo, 2013: 49)

- A. *Coating chamber*
- B. Pompa pendingin
- C. Katup pemisah
- D. Pompa difusi
- E. Katup udara buang
- F. Katup pengontrol tekanan
- G. Katup dua arah
- H. Katup pemisah pompa dengan pompa difusi
- I. Pompa rotari sekat
- J. *Crucible* (cawan)
- K. Kabel penghubung
- L. Termokopel
- M. Perangkat uap
- N. Substrat
- O. *Manometer penning*
- P. Pompa air
- Q. Filamen difusi
- R. Rubber socket
- S. Thermostat

E. Langkah penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan yakni penelitian tahap I dan penelitian tahap II.

1. Penelitian tahap I

Penelitian tahap I, meliputi persiapan, preparasi lapisan tipis, dan pengambilan hasil preparasi untuk memperoleh lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan teknik evaporasi vakum.

a. Tahap persiapan bahan

- 1) Mempersiapkan bahan yang akan dipreparasi yaitu bahan massif $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang telah dibuat dengan teknik Bridgman.
- 2) Menghaluskan bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang masih berbentuk butiran-butiran kasar menggunakan alat penggerus.
- 3) Menyiapkan kaca preparat dan membersihkan kaca preparat dengan menggunakan alkohol dan mengeringkannya.
- 4) Memanaskan kaca preparat yang telah dibersihkan tersebut ke dalam *furnace* pada suhu 100°C selama 10 menit.
- 5) Menimbang bahan yang akan dipreparasi dengan menggunakan neraca digital dengan massa 0,1 gram.
- 6) Membuka *chamber* pada sistem evaporator kemudian memasukkan bahan yang akan dipreparasi ke dalam cawan (*crucible*) yang telah dipasang.
- 7) Memasang *spacer* dengan jarak 15 cm.
- 8) Menempatkan kaca preparat pada *holder*.

- 9) Memasang pemanas substrat dan menghubungkan kabel dari *slide regulator* ke pemanas substrat.
 - 10) Menutup kembali *chamber* serapat mungkin agar proses pemvakuman berhasil.
- b. Tahap preparasi lapisan tipis
- 1) Menghidupkan pompa rotari (pompa sekunder) kemudian menggeser katup pada posisi *rough valve system* dan menunggu selama 10 menit.
 - 2) Menghidupkan pompa difusi (pompa primer) kemudian 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*.
 - 4) Membuka katup ketiga (*bypass valve system*).
 - 5) Pemvakuman dilakukan selama 4 jam.
 - 6) Memanaskan pemanas substrat dengan mengatur *slide regulator* 1 untuk memperoleh suhu pemanas substrat; variasi suhu pemanas substrat dilakukan sebanyak 3 kali yaitu suhu substrat 215°C, suhu substrat 350°C, dan suhu substrat 500°C.
 - 7) Evaporasi siap dilaksanakan ketika pemvakuman telah dilaksanakan selama 4 jam serta temperatur substrat telah dirasa stabil.

- 8) Menutup katup ketiga (*bypass valve system*) ke posisi F dari posisi 0, lalu mematikan pompa rotari dan pompa difusi.
 - 9) Tahap evaporasi dimulai dengan menghidupkan dan mengatur *slide regulator 2* untuk pemanasan bahan, mengatur tegangan secara bertahap mulai 60 volt selama 1 menit, 70 volt selama 1 menit, 80 volt selama 1 menit, dan tegangan 100 volt sampai bahan di dalam *crucible* akan menguap habis.
 - 10) Setelah bahan habis menguap, *slide regulator 2* diatur ke posisi nol lalu dimatikan dan pembaca suhu juga dimatikan.
 - 11) Menunggu selama 30 menit sampai pompa difusi mendingin.
 - 12) Setelah pompa difusi mendingin lalu menggeser katup pada posisi *stop*.
 - 13) Mematikan pompa air.
 - 14) Menunggu selama 1 x 24 jam untuk melihat hasil preparasi.
- c. Tahap pengambilan hasil preparasi
- 1) Membuka katup sehingga tekanan udara dalam *chamber* menjadi normal kembali.
 - 2) Membuka penutup *chamber* dan melepaskan *chamber* dari dudukannya.
 - 3) Melepas kabel yang terhubung pada pemanas substrat dan mengambil pemanas substrat tersebut.

- 4) Melepaskan *holder* dan mengambil hasil preparasi lapisan tipis lalu memasukkannya ke dalam wadah tertutup agar tidak terjadi oksidasi pada hasil preparasi lapisan tipis.
- 5) Menutup kembali *chamber* dan mengencangkan katupnya.

2. Penelitian tahap II

Penelitian tahap II meliputi karakterisasi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ untuk mengetahui struktur kristal, morfologi permukaan, dan komposisi kimia pada bahan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan menggunakan piranti karakterisasi XRD, SEM, dan EDS.

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

Langkah-langkah pelaksanaan karakterisasi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ menggunakan XRD adalah:

- 1) Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi.
 - 2) Membersihkan sampel dan memasukkan sampel ke dalam *specimen chamber* mesin XRD kemudian mencetak hasil analisis.
 - 3) Menganalisis data yang diperoleh dari hasil XRD.
- b. Morfologi permukaan dengan menggunakan SEM dan komposisi bahan kimia menggunakan EDS.

SEM digunakan untuk melihat morfologi permukaan bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ (data yang diperoleh berupa foto), dan EDS digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Adapun langkah-langkah

yang dilakukan dalam karakterisasi menggunakan SEM dan EDS adalah sebagai berikut:

- 1) Memotong sampel hasil preparasi, kemudian menempelkan sampel yang sudah dipotong pada tempat sampel dan mengelusnya dengan lem konduktif (pasta perak).
- 2) Memanaskan sampel tersebut dengan menggunakan *water heater* agar lem konduktifnya kering.
- 3) Membersihkan sampel dari debu yang menempel dengan menggunakan *hand blower*.
- 4) Melapisi sampel dengan gold paladium (Au =80% dan Pd = 20%) dengan menggunakan *ion sputter JFC 1100*.
- 5) Meletakkan sampel kedalam *specimen chamber* pada mesin SEM dan EDS untuk melakukan karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}).
- 6) Melakukan pengamatan dan penyimpanan data ke dalam sebuah *file*.

F. Teknik Analisis Data

1. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan menggunakan XRD berupa difraktogram. Difraktogram menunjukkan hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi (2θ), kemudian hasil difraksi (2θ) tersebut dibandingkan dengan data standar dari database JCPDS (*Joint Committee Powder Diffraction Standard*) sehingga akan diperoleh bidang-bidang *hkl* pada sampel lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}). Nilai parameter kisi *a*, *b* dan *c* yang terbentuk dapat dihitung dengan metode analitik. Hasil difraktogram dan parameter kisi ketiga sampel dibandingkan untuk mengetahui pengaruh dari variasi temperatur substrat.

2. *Scanning Electron Microscopy (SEM) & Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*

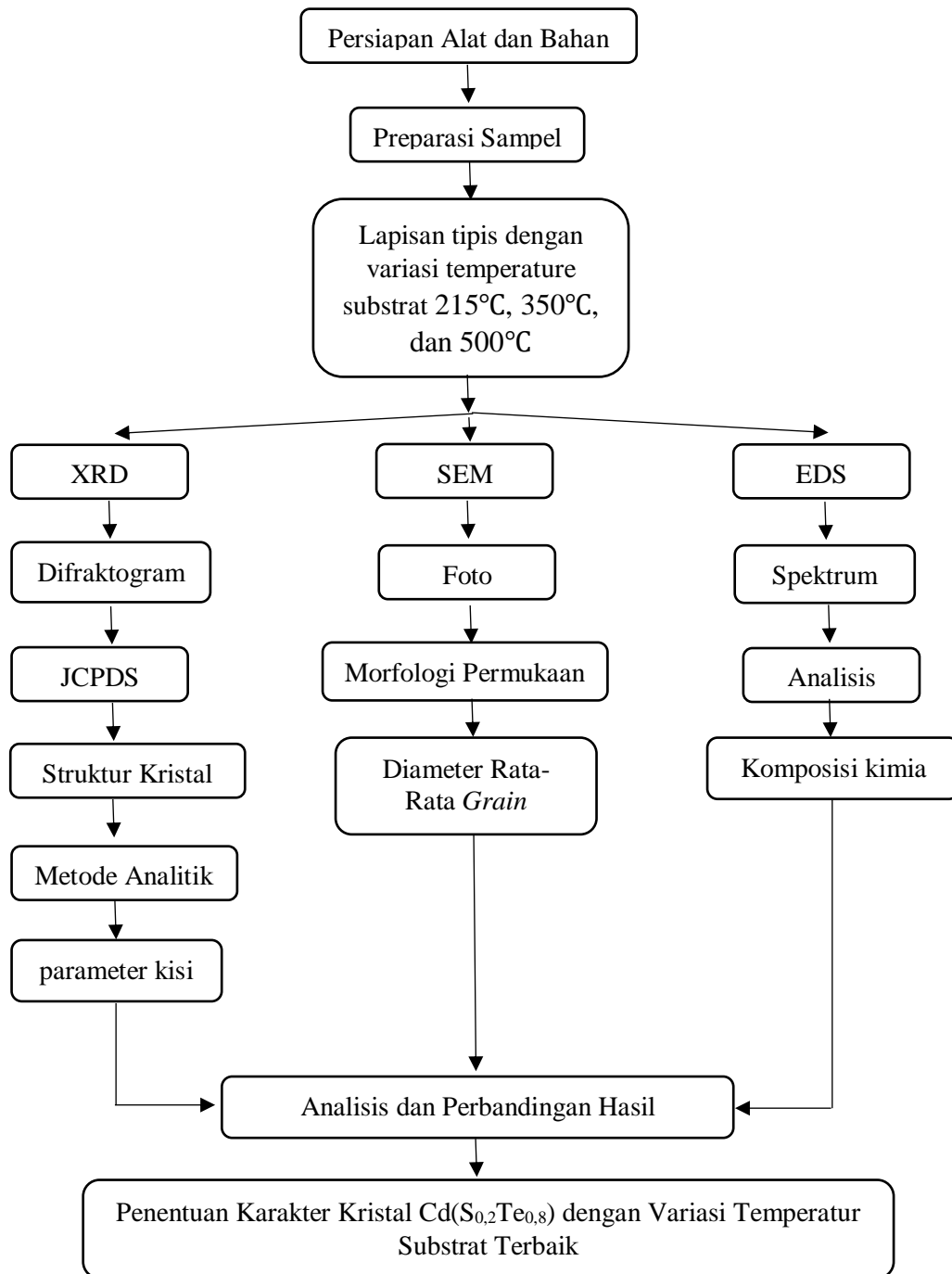
Lapisan tipis yang memiliki struktur kristal yang terbaik akan dilakukan karakterisasi menggunakan SEM dan EDS. Data yang diperoleh dari karakterisasi SEM berupa foto morfologi permukaan lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) yang terbentuk. Dari hasil foto tersebut dapat diamati bentuk dan ukuran butiran-butiran (*grain*) melalui perbesaran. Homogenitas permukaan sampel juga bisa diamati pada foto tersebut. Pengukuran diameter partikel dilakukan dengan menggunakan *software* ImageJ. Penggunaan ImageJ untuk analisis membutuhkan definisi bagian gambar yang didefinisikan sebagai partikel dan bagian belakang yang didefinisikan sebagai latar belakang (*background*) yang disebut sebagai segmentasi gambar. Dalam penggunaan ImageJ hal pertama yang harus dilakukan untuk menganalisis ukuran butiran dari suatu gambar

SEM adalah dengan mengkalibrasi ukuran pixel gambar dengan ukuran acuan yang ditampilkan pada hasil gambar SEM berupa titik dengan skala untuk menunjukkan tingkat perbesaran yang dilakukan. Untuk mengetahui ukuran butiran (*length of grain*) dapat dilakukan dengan cara menarik garis pada sisi tepi ke tepi *grain* seperti membuat garis melintang pada *grain* menggunakan *Straight Tools* pada ImageJ. Hasil ukuran panjang butiran dapat diketahui dengan menekan Ctrl + M pada keyboard. Data dari ImageJ kemudian diolah dengan menggunakan *software* Origin & Ms. Excel untuk menentukan distribusi rata-rata ukuran butiran.

Hasil karakterisasi EDS berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara intensitas terhadap energi. Dari hasil spektrum tersebut akan diketahui jenis unsur serta presentase komposisi dalam unsur yang terkandung di dalam sampel lapisan tipis tersebut.

G. Diagram Alir Tahap Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat ditunjukkan melalui diagram alir tahapan penelitian pada Gambar 29:



Gambar 29. Diagram Alir Penelitian.

BAB IV

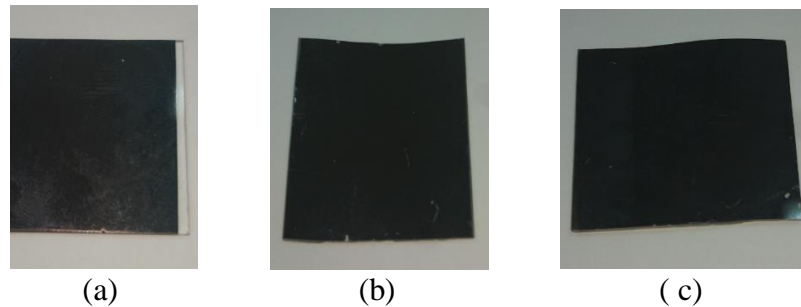
HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Penelitian ini menghasilkan 3 lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan menggunakan metode evaporasi vakum. Penggunaan metode evaporasi vakum merupakan penerapan dari teknik *Physical Vapor Deposition (PVD)*. Penumbuhan lapisan tipis dilakukan dengan cara penguapan bahan di ruang hampa; hal ini dimaksudkan untuk mengurangi tumbukan molekuler perdetik, sehingga akan memperkecil kontaminasi permukaan ruang yang divakumkan pada lapisan tipis. Tahap preparasi lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dilakukan dengan memvariasikan temperatur substrat untuk mengetahui apakah perbedaan suhu pada substrat berpengaruh pada kualitas kristal yang terbentuk. Pemanasan substrat dilakukan sebelum proses penguapan bahan berlangsung, dengan temperatur substrat yang sudah ditetapkan pada penelitian yaitu 215°C, 350°C, dan 500°C.

Penumbuhan lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dilakukan di atas substrat kaca. Sebelum dilakukan deposisi, substrat kaca dibersihkan menggunakan alkohol serta dipanaskan sampai suhu 100°C dengan menggunakan *furnace*, agar substrat kaca bersih dan steril. Substrat kaca diletakkan pada *holder* dengan jarak 15 cm dari *crucible*. Proses penumbuhan lapisan tipis dimulai dengan melakukan pemvakuman ruangan di sekitar bahan dan substrat. Kemudian bahan massif Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) yang telah ditimbang senilai 0,1 gram dengan perbandingan molar 1:0,2:0,8 dipanaskan hingga semua bahan massif pada

crussible menguap dan terdeposisi pada substrat kaca. Hasil lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang terbentuk bisa dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Hasil Preparasi Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ (a) Sampel 1 pada Temperatur Substrat 215°C , (b) Sampel 2 pada Temperatur Substrat 350°C , dan (c) Sampel 3 pada Temperatur Substrat 500°C

Lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ yang dihasilkan secara visual bentuk fisiknya tidak memiliki perbedaan. Ketiga sampel memiliki warna kehitaman. Warna kehitaman pada lapisan tipis menunjukkan bahwa bahan massif $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ terdeposisi merata pada substrat. Untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur substrat pada karakter kristal yang terbentuk, maka dilakukan karakterisasi XRD, SEM, dan EDS.

B. Hasil Karakterisasi

Karakterisasi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ meliputi karakterisasi struktur kristal dan parameter kisi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Morfologi permukaan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan komposisi kimia menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Setelah dilakukan karakterisasi, dilanjutkan dengan menganalisis data yang diperoleh.

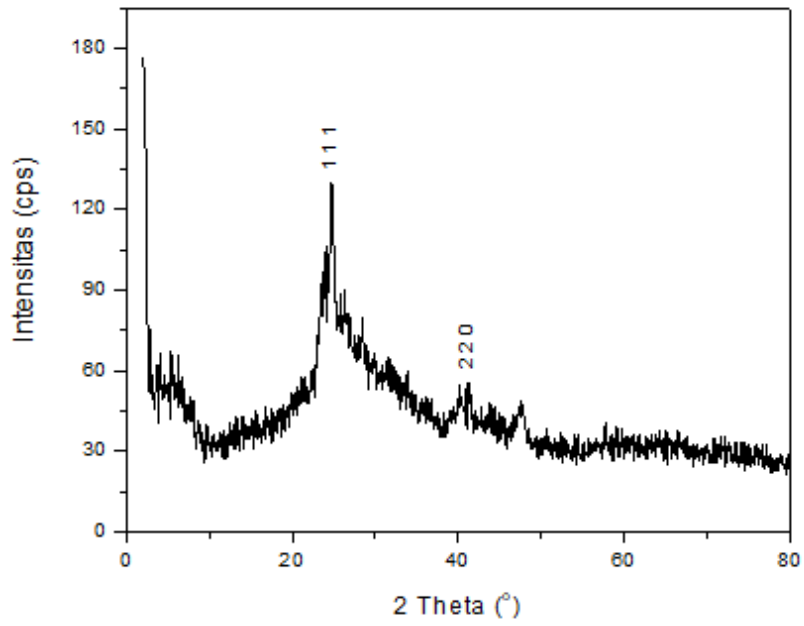
1. Karakterisasi Struktur Kristal dan Parameter Kisi Lapisan Tipis

Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)

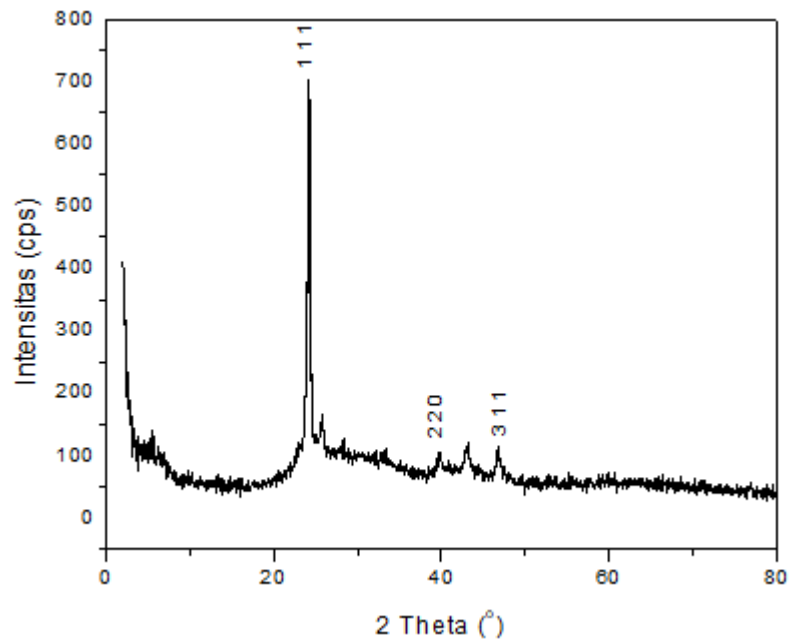
Hasil lapisan tipis tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dikarakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) yang terbentuk dengan teknik evaporasi vakum.

Prinsip kerja XRD adalah sinar-X dikenakan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu sehingga akan terjadi difraksi gelombang untuk bidang yang berjarak d dan sudut 2θ yang memenuhi difraksi Bragg. Karakterisasi dengan XRD dilakukan pada ketiga sampel lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), yaitu sampel 1 pada temperatur substrat 215°C, sampel 2 pada temperatur substrat 350°C, dan sampel 3 pada temperatur substrat 500°C. Sumber yang digunakan untuk karakterisasi dengan XRD adalah sumber Cu, yang memiliki panjang gelombang (λ) sebesar 1,5406 Å, tegangan operasi 40 kV, dan arus operasi 15 mA.

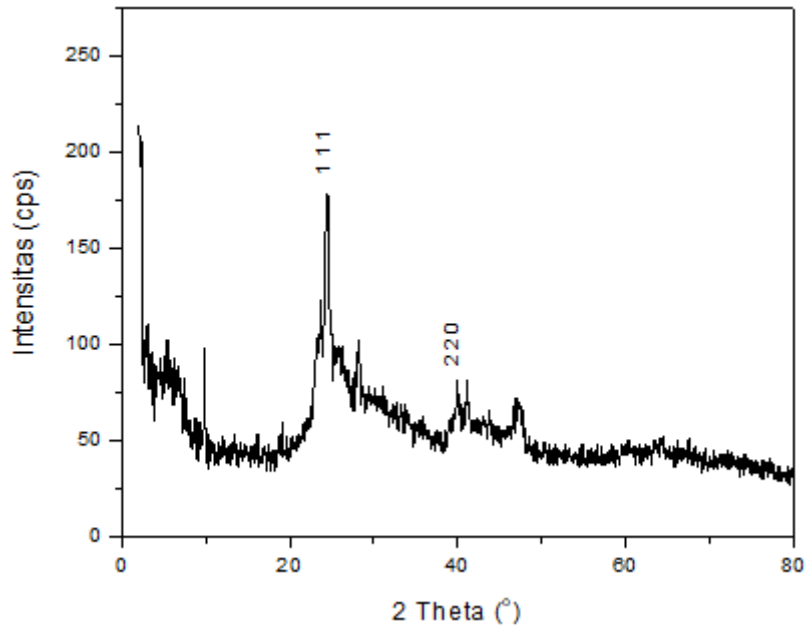
Data hasil karakterisasi dengan XRD yang diperoleh dari ketiga sampel berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara intensitas puncak spektrum dan sudut hamburan (2θ), rentang sudut 2θ berada pada 0°- 80°. Hasil karakterisasi XRD dapat dilihat pada Gambar 31, 32, dan 33.



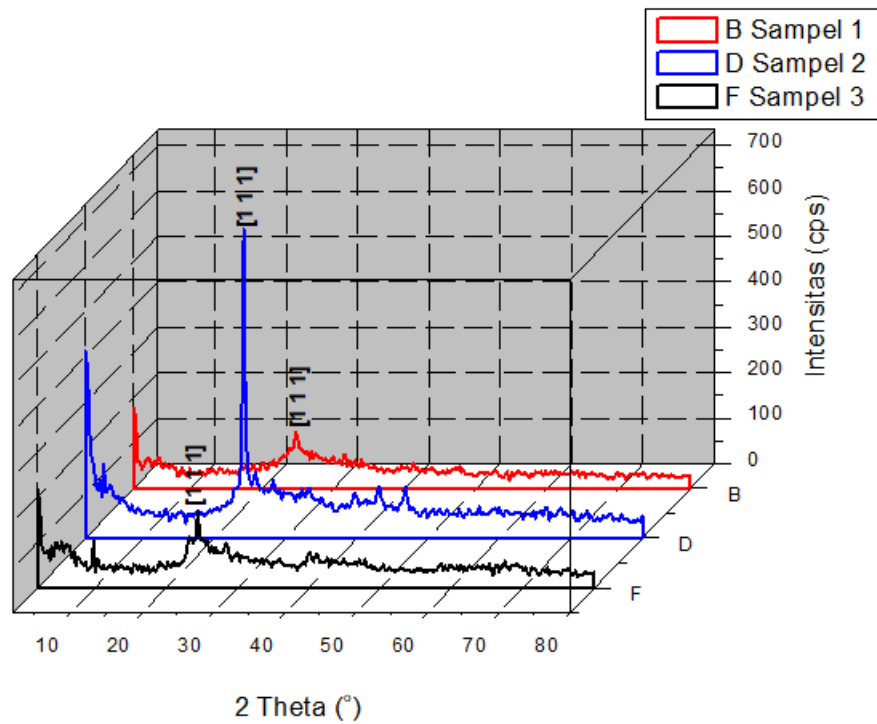
Gambar 31. Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S_{0.2}Te_{0.8}) Sampel 1 pada Temperatur Substrat 215°C



Gambar 32. Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S_{0.2}Te_{0.8}) Sampel 2 pada Temperatur Substrat 350°C



Gambar 33. Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) Sampel 3 pada Temperatur Substrat 500°C



Gambar 34. Hasil Penggabungan Difraktogram Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) untuk Sampel 1, Sampel 2 dan Sampel 3

Difraktogram ketiga sampel digabungkan dengan bantuan *software* Origin untuk mempermudah dalam membandingkan hasil. Gambar 34 menunjukkan bahwa perbedaan antara ketiga difraktogram terletak pada nilai intensitas tiap-tiap puncak. Nilai puncak-puncak tersebut tergantung pada sudut hamburan sinar-X pada kristal. Difraktogram pada sampel 2, yaitu dengan temperatur substrat 350°C, memiliki intensitas puncak yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel 1 dan sampel 3, dimana puncak tertinggi pada difraktogram ketiga sampel lapisan tipis tersebut berada pada 2θ di sekitar 24°. Intensitas pada difraktogram menggambarkan keteraturan atom-atom pada kristal lapisan tipis, semakin tinggi nilai intensitasnya maka semakin baik keteraturan atom-atom pada lapisan tipis tersebut. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa temperatur 350 °C menghasilkan lapisan tipis yang paling baik dibandingkan dengan kedua sampel lainnya.

Untuk menentukan nilai dari parameter kisi kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$, perlu diketahui indeks Miller pada kristal lapisan tipis tersebut. Indeks Miller (hkl) kristal pada ketiga sampel dapat diketahui dengan melihat sudut hamburan (2θ) yang terbentuk dari hasil difraksi lapisan tipis dan mencocokkannya dengan nilai sudut hamburan (2θ) yang sama atau mendekati dari data JCPDS (*Joint Commite Powder Diffraction Standard*) (Setianingrum 2016: 60). Karena kecenderungan komposisi Te lebih besar dari S, maka data JCPDS yang digunakan untuk mencocokkan hasil XRD dengan menggunakan JCPDS adalah dari CdTe. Pada data standar JCPDS,

kristal CdTe memiliki struktur kristal kubik. Sistem kristal kubik memiliki parameter kisi $a = b = c$ dan $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$. Berikut ini merupakan data XRD lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dan data JCPDS CdTe sebagai pembanding.

Tabel 2. Perbandingan Data XRD Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) Sampel 1 dengan Data JCPDS Bahan CdTe

Peak	Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 1		JCPDS Bahan CdTe		hkl
	2 Theta	I Relatif	2 Theta	I Relatif	
1	24,55	100	23,757	100	1 1 1
2	40,4	5,5	39,31	60	2 2 0

Tabel 3. Perbandingan Data XRD Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) Sampel 2 dengan Data JCPDS Bahan CdTe

Peak	Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 2		JCPDS Bahan CdTe		hkl
	2 Theta	I Relatif	2 Theta	I Relatif	
1	24,154	100	23,757	100	1 1 1
2	25,866	15,4	-	-	-
3	39,87	4,8	39,31	60	2 2 0
4	46,797	6,5	46,431	30	3 1 1

Tabel 4. Perbandingan Data XRD Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) Sampel 3 dengan Data JCPDS Bahan CdTe

Peak	Cd(S _{0,2} Te _{0,8}) Sampel 3		JCPDS Bahan CdTe		hkl
	2 Theta	I Relatif	2 Theta	I Relatif	
1	24,26	100	23,757	100	1 1 1
2	40,1	20,8	39,31	60	2 2 0

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa puncak-puncak dari sampel memiliki nilai 2θ yang tidak jauh berbeda dengan data JCPDS dari CdTe; pergeseran pada nilai 2θ terhadap data JCPDS tersebut karena adanya unsur S (*Sulfur*) sehingga mempengaruhi sudut hamburan (2θ) yang

terbentuk dari hasil difraksi lapisan tipis dan pergeseran tersebut juga akan mempengaruhi nilai parameter kisi (a , b , dan c) yang terukur.

Karakterisasi dengan XRD digunakan untuk mengetahui parameter kisi dan struktur kristal. Penentuan parameter kisi lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dilakukan dengan metode analitik yang terdapat pada Lampiran 1. Perhitungan tersebut menggunakan prinsip dasar dari hukum Bragg dengan mensubstitusikan persamaan dari parameter kisi kubik, dan diperoleh hasil parameter kisi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Kisi Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ pada Sampel 1, 2, dan 3 dengan Data JCPDS Bahan CdTe

Parameter Kisi	Sampel 1 (250°C)	Sampel 2 (350°C)	Sampel 3 (500°C)	JCPDS
a (Å)	6,276	6,377	6,350	6,481
Struktur	Kubik	Kubik	Kubik	Kubik

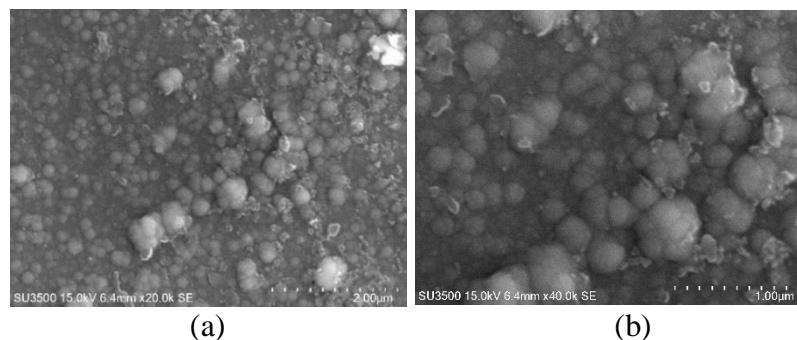
Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui parameter kisi a dari $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil penelitian dan data JCPDS untuk CdTe. Ketiga sampel tidak memiliki perbedaan parameter kisi yang besar, hal tersebut menunjukkan variasi temperatur substrat tidak memengaruhi parameter kisi, melainkan berpengaruh terhadap intensitas relatif pada difraktogram.

2. Karakterisasi Morfologi Permukaan Lapisan Tipis Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

SEM merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$. Pada karakterisasi dengan SEM, lapisan tipis yang diuji adalah sampel 2 pada temperature substrat 350°C.

Pemilihan ini berdasarkan pada kualitas lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ yang terbentuk, meliputi hasil difraktogram yang mempunyai puncak intensitas tertinggi dibanding sampel yang lain dan didasari pula pada nilai parameter kisi yang paling mendekati data JCPDS untuk CdTe.

Prinsip kerja SEM berdasarkan pada pengolahan elektron sekunder yang dipancarkan oleh bahan. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan spesimen ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (Smallman & Bishop, 2000:157). Hasil SEM berupa foto permukaan yang terbentuk. Berdasarkan hasil foto yang diperoleh dapat diketahui tingkat homogenitas kristal yang terbentuk. Berikut adalah citra lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ dengan perbesaran 20.000x, dan 40.000x.



Gambar 35. Citra Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ Sampel 2 Hasil Karakterisasi dengan SEM (a) Perbesaran 20.000x, dan (b) Perbesaran 40.000x.

Foto hasil analisis SEM untuk lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0.2}\text{Te}_{0.8})$ dengan perbesaran 20.000x, dan 40.000x, sudah menunjukkan adanya butiran-butiran (*grain*). *Grain* terbentuk dari beberapa struktur kristal yang dibangun oleh sel satuan (*unit cell*) yang merupakan sekumpulan atom yang

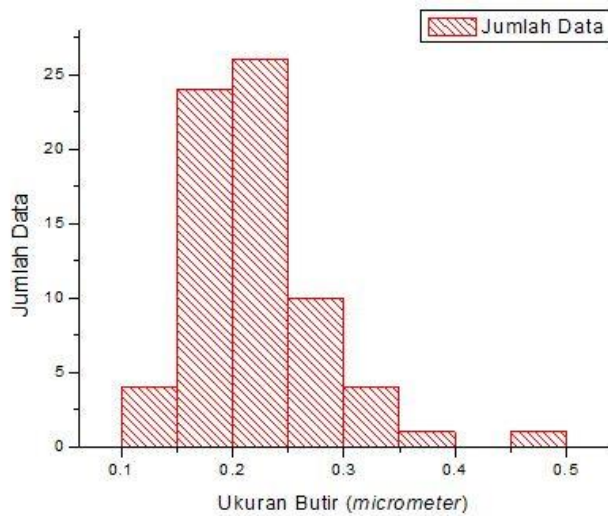
tersusun secara khusus, dan berulang secara periodik dalam ruang dimensi tiga dari suatu kisi kristal. Adapun homogenitas kristal terlihat dari keseragaman bentuk pada butiran (*grain*). *Grain* pada Gambar 35 terlihat memiliki variasi ukuran, dari variasi tersebut dapat ditentukan nilai rata-rata ukuran butir (*grain*).

Analisis butir (*grain*) dilakukan pada citra SEM dengan perbesaran 40.000x; perbesaran tersebut dipilih karena *grain* terlihat lebih jelas. Pengukuran untuk satu (1) butir dilakukan dengan cara menarik garis dari sisi tepi ke tepi *grain* seperti membuat garis melintang pada *grain* menggunakan *Straight Tools* pada ImageJ. Berikut merupakan gambar pengukuran butir menggunakan ImageJ.



Gambar 36. Pengukuran *Grain* pada Hasil Citra SEM Perbesaran 40.000x

Pengukuran butir pada citra SEM perbesaran 40.000x menghasilkan data sebanyak 70 butir yang diukur. Untuk memetakan distribusi jumlah ukuran butir, data tersebut diplot menggunakan Origin dalam bentuk histogram.



Gambar 37. Diagram Histogram Hubungan antara Jumlah dengan Ukuran Butir

Tabel 6. Tabulasi Data Histogram

Ukuran Butir (x_i)	Jumlah (f_i)
(0,1 - 0,15) μm	4
(0,15 - 0,2) μm	24
(0,2 - 0,25) μm	26
(0,25 - 0,3) μm	10
(0,3 - 0,35) μm	4
(0,35 - 0,4) μm	1
(0,4 - 0,45) μm	0
(0,45 - 0,5) μm	1

Penentuan nilai rata-rata ukuran butir dilakukan dengan metode analitik yang terdapat pada Lampiran 5. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan:

$$\text{Mean} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \quad (19)$$

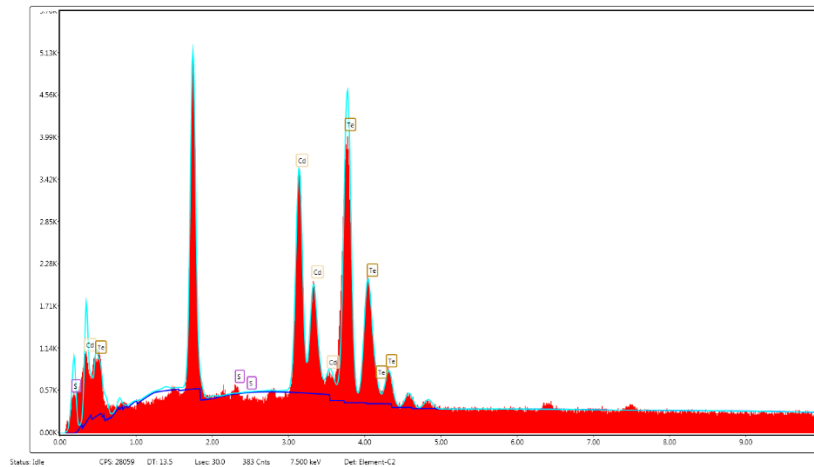
$$\text{Standard deviation} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k f_i x_i)^2}{n}}{n-1}} \quad (20)$$

Nilai rata-rata ukuran butir (*grain*) adalah $(0,22 \pm 0,06) \mu\text{m}$ menunjukkan adanya keseragaman ukuran pada *grain* yang menggambarkan keteraturan atom-atom pada kristal lapisan tipis.

3. Karakterisasi Komposisi Kimia Lapisan Tipis Hasil *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari suatu bahan. Pada karakterisasi dengan EDS, bahan yang diuji adalah lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel 2 dengan temperature substart 350°C . Prinsip kerja *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS) adalah menangkap dan mengolah sinyal sinar-X *fluorescence* (emisi karakteristik sekunder) yaitu sinar-X karakteristik dan elektron auger hasil dari tembakan elektron yang berinteraksi dengan *specimen*.

Hasil dari EDS berupa spektrum *energy dispersive* yang disajikan dalam bentuk histogram dimana sumbu horizontal merepresentasikan energi dan sumbu vertikal menunjukkan intensitas. Puncak energi pada histogram menunjukkan konsentrasi atom pada unsur tertentu, sehingga semakin tinggi spektrum pada suatu puncak energi, maka semakin tinggi konsentrasi unsur tersebut pada sampel (Vaughan, 1999: 33). Hasil EDS yang diperoleh pada lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel 2 (temperatur substrat 350°C) ditampilkan dalam bentuk spektrum pada Gambar 38.



Element	Weight %	Atomic %	Error %	Net Int.	K Ratio	Z	R	A	F
S K	0.5	1.87	27.33	32.6	0.0037	1.3482	0.8029	0.5407	1.0269
Cd L	29.99	32.26	2.96	1107.33	0.3071	1.0351	0.9879	0.9485	1.0432
Te L	69.52	65.87	3.72	1577.22	0.5787	0.9821	1.0073	0.8335	1.017

Gambar 38. Grafik Antara Intensitas dengan Energi Hasil Karakterisasi EDS Lapisan Tipis

Berdasarkan hasil karakterisasi dengan EDS, dapat diketahui bahwa preparasi kristal semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sampel 2 (temperatur substrat 350°C) mengandung unsur *Cadmium* (Cd), *Sulfur* (S), dan *Tellurium* (Te). Perbandingan presentase komposisi bahan dasarnya yaitu, unsur Cd = 32,26 %, S = 1,87%, dan Te = 65,87%. Perbandingan molaritas unsur Cd, S, dan Te hasil preparasi dengan teori, dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Molaritas Unsur $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ Sampel 2

Perbandingan Hasil Preparasi			Perbandingan Teori		
Cd	S	Te	Cd	S	Te
1	0,06	2,04	1	0,2	0,8

Pada Tabel 7 terlihat perbandingan komposisi kimia lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ sebesar 1 : 0,06 : 2,04. Sedangkan perbandingan molaritas secara teori yaitu 1 : 0,2 : 0,8. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan adanya

perbedaan perbandingan molaritas hasil preparasi dengan teori, ketidaksesuaian tersebut mengindikasikan bahwa kristal yang ditumbuhkan mengalami peristiwa *non-stoichiometri*. Ketika proses pendeposisian berlangsung, setiap unsur mempunyai karakteristik titik didih tertentu sehingga proses pemanasan bahan massif menjadi uap menghasilkan atom dengan kecepatan yang berbeda-beda. Hal tersebut mengakibatkan ada sebagian atom yang terpental, sehingga tidak seluruh atom tersebut menempel pada kaca preparat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan bahan semikonduktor lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil preparasi menggunakan teknik evaporasi vakum dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil karakterisasi kristal yang terbentuk pada lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ meliputi:
 - a. Lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ mempunyai struktur kristal kubik, dengan nilai parameter kisi sebagai berikut:

Sampel 1, dengan temperatur substrat 215°C : $a = b = c = 6,276 \text{ \AA}$

Sampel 2, dengan temperatur substrat 350°C : $a = b = c = 6,377 \text{ \AA}$

Sampel 3, dengan temperatur substrat 350°C : $a = b = c = 6,350 \text{ \AA}$
 - b. Morfologi permukaan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ hasil citra SEM sampel 2 (temperatur substrat 350°C) dengan perbesaran $40.000\times$ memiliki ukuran butiran rata-rata $(0,22 \pm 0,06) \mu\text{m}$ menunjukkan adanya keseragaman ukuran pada *grain* yang menggambarkan keteraturan atom-atom pada kristal lapisan tipis.
 - c. Hasil karakterisasi EDS pada sampel 2 (temperatur substrat 350°C) menunjukkan bahwa lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ mengandung unsur *Cadmium* (Cd), *Sulfur* (S), dan *Tellurium* (Te) dengan presentase komposisi kimia Cd = 32,26 %, S = 1,87%, dan Te = 65,87%.

Perbandingan molaritas Cd : S : Te adalah 1 : 0,06 : 2,04, sedangkan perbandingan secara teori Cd : S : Te yaitu 1 : 0,2 : 0,8. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan adanya perbedaan perbandingan molaritas hasil preparasi dengan teori. Ketidakesesuaian tersebut mengindikasikan bahwa kristal yang ditumbuhkan mengalami peristiwa *non-stoichiometri*.

2. Hasil karakterisasi dengan XRD pada lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) menunjukkan bahwa variasi temperatur substrat menyebabkan adanya perbedaan intensitas puncak yang menyatakan keteraturan susunan atom dalam penyusunan lapisan tipis. Sampel 2 pada temperatur substrat 350°C menghasilkan kristal yang lebih baik dibandingkan dengan sampel 1 pada temperatur substrat 215°C, dan sampel 3 pada temperatur substrat 500°C.

B. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan penulis adalah:

1. Sebaiknya semua sampel lapisan tipis dikarakterisasi menggunakan SEM dan EDS, agar mendapatkan hasil dengan perbandingan yang maksimal.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap bahan semikonduktor lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}), seperti sifat optik, energi gap, efek Hall, resistivitas, ketebalan lapisan tipis dan lain-lain guna mendapatkan informasi yang lebih banyak tentang lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}).
3. Penelitian ini mendasari penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan sel surya menggunakan lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}).

DAFTAR PUSTAKA

- Ariswan, & Na Peng Bo. 2004. *Teknologi vakum*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. 2005. *Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Ariswan. 2010. *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternative di Indonesia*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan. 2013. *Semikonduktor, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Ariswan. 2014. *Kristalografi, Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Astarinugrahini, I. 2017. *Preparasi dan Karakterisasi Paduan Semikonduktor Sn($Se_{0,6}Te_{0,4}$) dengan Metode Bridgman Melalui Variasi Lama Waktu Pemanasan*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- 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.
- Batzner, D. L. 2000. *Effect Back Contact Metalization On the Stability Of CdTe/CdS Solar Cells*. Presented at the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference.
- Beiser, Arthur. 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Cullity, B.D. 1956. *Elements of X-Ray Diffraction*. Massachusetts: Addison Wesley Publishing Company.
- Gupta, Akhlesh. 2006. *High Efficiency Ultra-Thin Sputtered CdTe Solar Cells*. Science Direct, Solar Cells 90 (2006) 2263-2271.
- Hai-Ning Chui dan Shi Quan Xi. 1996. *The Fabrication Of Dipped And Sputtered ITO Thin Film For Photovoltaic Solar Cells*. Elsevier, Thin Solid Film 288h :325-329.
- Hendriani, N. 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 I. Handout Kuliah*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kittel, Charles. 2005. *Introduction to Solid State Physics*. 8th.Ed. Hoboken: John Willey and Sons. USA.

- Khoirunisa', Siti. 2017. *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis Sn(S_{0,8}Te_{0,6}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Leng, Yang. 2013. *Material Characterization Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*. 2th. ed. Weinheim: Wiley-VCH.
- Lestari, Wahyu. 2016. *Preparasi dan Karakterisasi Lapisan Tipis Sn(S_{0,5}Te_{0,5}) dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: UNY.
- Milman, J., & Hakias, C. 1972. *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and system*. Japan: McGraw-hill, InC.
- Ohring, Milton. 1992. *The Materials Science of Thin Films*. San Diego: Academic Press
- Parno. 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: FMIPA UM.
- Rio, Reka. 1982. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: Departemen Pradya Pramita.
- Setianingrum, Mahmudah. 2016. *Studi Tentang Struktur dan Komposisi Kimia Lapisan Tipis Sn(S_{0,6}Te_{0,4}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Siswoyo, H. 2019. *Pengaruh Massa Bahan Massif pada Kualitas Kristal Lapisan Tipis Cd(S_{0,8}Te_{0,2}) Hasil Preparasi dengan Teknik Evaporasi Vakum untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Smallman, R.E & Bishop, J.R. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Sulhan, M. 2009. *Pengaruh Daya Plasma Terhadap Struktur Mikro, Sifat Optik Dan Sifat Listrik Film Tipis Cadmium Sulfide (CdS) Yang Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Suryanarayana, C & Norton, M.G. 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press
- Suwitra, Nyoman. 1989. *Pengantar Fisik Zat Padat*. Jakarta: Dekdikbud.
- Tough, Iain. 2001. *X-Ray Analysis Using The Scanning Electron Microscope*. Diakses dari http://www2.rgu.ac.uk/life_semweb/xray.html pada 13 Maret 2019 pukul 10.00 WIB.

- Triyo, Haryanto. 2013. *Preparasi dan Karakterisasi Bahan Semikonduktor Lapisan Tipis PbSe dengan Teknik Evaporasi Vakum*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Utomo, Joko. 2014. *Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Sn(S_{0.2}Te_{0.8}) Lapisan Tipis Hasil Preparasi Teknik Vakum Evaporasi untuk Aplikasi Sel Surya*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vaughan, Douglass. 1999. *An Introduction Energy Dispersive X-Ray Microanalysis*. Middleton: NORAN Instrument.
- Vlack, Van. 2004. *Elemen-Elemen dan Ilmu Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Wardani, Melinda et al. 2014. *Pengaruh Temperatur terhadap Struktur Dunit Jorong Tongar Nagari Aur Kuning, Kecamatan Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat Sumatra Barat*. *Pilar of Physics*, Volume 4. Hlm. 19.
- Widodo, T.S. 2002. *Elektronika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Wiendartun. 2012. *Diktat Fisika Zat Padat I*. Bandung: FMIPA UPI.
- Wu, Xuanzhi. 2004. *High Efficiency CdTe Thin Film Solar Cells*. Elsevier, *Solar Energy* 77(2004)803-814.
- 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 1. Perhitungan Parameter Kisi Lapisan Tipis Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan Metode Analitik.

Lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) mempunyai struktur kubik. Jarak antar bidang struktur kubik dihitung dengan persamaan:

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

dan persamaan hukum Bragg

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

Persamaan (2) dikenal sebagai hukum Bragg, dengan n adalah orde difraksi yang bernilai bulat (1, 2, 3, ...). Karena pengamatan dilakukan hanya untuk orde 1, maka nilai $n = 1$.

Dengan mensubstitusikan persamaan Bragg, maka diperoleh persamaan:

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

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

ari persamaan (4) diperoleh persamaan berikut:

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

diketahui bahwa nilai $\frac{\lambda^2}{4a^2}$ adalah konstan, maka disebut dengan A , maka persamaan (5) berubah menjadi

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

karena

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

maka

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

Bedasarkan nilai h, k dan l dari JCPDS CdTe, maka struktur kristal lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) mempunyai struktur kubik, dengan kisi kubik yaitu *face-centered*, maka nilai ($h^2+k^2+l^2$) diperoleh:

$$A = \frac{\sin^2\theta}{3}, \frac{\sin^2\theta}{8}, \frac{\sin^2\theta}{11}, \frac{\sin^2\theta}{16}, \frac{\sin^2\theta}{19}$$

1. Sampel 1 lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan temperature 215°C

Peak (2θ)	λ	sin ² θ	$\frac{\sin^2\theta}{3}$	$\frac{\sin^2\theta}{8}$	$\frac{\sin^2\theta}{11}$	$\frac{\sin^2\theta}{16}$	$\frac{\sin^2\theta}{19}$	hkl
24,55	1,5406	0,0452	0,0151	0,0057	0,0041	0,00283	0,00238	1 1 1
40,4	1,5406	0,11923	0,0397	0,0149	0,0108	0,00745	0,00628	2 2 0

a. Perhitungan untuk peak 24,55° (Intensitas cps = 100%)

$$A = 0,0151$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0151}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2(0,1229)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2458}$$

$$a = 6,276 \text{ \AA}$$

Pembuktian $A = B = C$

Perhitungan untuk peak = 24,55° dah $hkl = 111$

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Ak^2 + Al^2$$

$$0,0452 = Ah^2 + Ak^2 + Al^2$$

$$0,0452 = 3A$$

$$A = 0,0151$$

Maka

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0151}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2 (0,1229)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2458}$$

$$a = 6,276 \text{ \AA}$$

b. Perhitungan untuk peak $40,4^\circ$

$$A = 0,0149$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0149}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2 (0,1221)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2442}$$

$$a = 6,31 \text{ \AA}$$

2. Sampel 2 lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan temperature 350°C

Peak (2θ)	λ	sin ² θ	$\frac{\sin^2\theta}{3}$	$\frac{\sin^2\theta}{8}$	$\frac{\sin^2\theta}{11}$	$\frac{\sin^2\theta}{16}$	$\frac{\sin^2\theta}{19}$	hkl
24,154	1,5406	0,0438	0,0146	0,0055	0,004	0,0027	0,0023	111
39,87	1,5406	0,1162	0,0387	0,0145	0,0106	0,0073	0,00612	220
46,797	1,5406	0,1577	0,0526	0,0197	0,0143	0,0098	0,0083	311

a. Perhitungan untuk peak 24,154° (Intensitas cps = 100%)

$$A = 0,0146$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0146}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2(0,1208)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2416}$$

$$a = 6,377 \text{ \AA}$$

Pembuktian $A = B = C$

Perhitungan untuk peak = 24,154° dah $hkl = 111$

$$\sin^2\theta = Ah^2 + Ak^2 + Al^2$$

$$0,0438 = Ah^2 + Ak^2 + Al^2$$

$$0,0452 = 3A$$

$$A = 0,0146$$

Maka

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0146}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2 (0,1208)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2416}$$

$$a = 6,377 \text{ \AA}$$

b. Perhitungan untuk peak $39,87^\circ$

$$A = 0,0145$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0145}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2 (0,1204)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2408}$$

$$a = 6,390 \text{ \AA}$$

c. Perhitungan untuk peak 46,797°

$$A = 0,0143$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0143}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2(0,1196)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2392}$$

$$a = 6,441 \text{ \AA}$$

3. Sampel 3 lapisan tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan temperature 500°C

Peak (2θ)	λ	sin ² θ	$\frac{\sin^2\theta}{3}$	$\frac{\sin^2\theta}{8}$	$\frac{\sin^2\theta}{11}$	$\frac{\sin^2\theta}{16}$	$\frac{\sin^2\theta}{19}$	hkl
24,26	1,5406	0,04415	0,01472	0,0055	0,004	0,00276	0,00232	111
40,1	1,5406	0,11754	0,03918	0,0147	0,0107	0,00735	0,00619	220

a. Perhitungan untuk peak 24,26° (Intensitas cps = 100%)

$$A = 0,01472$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,01472}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2 (0,1213)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2426}$$

$$a = 6,350 \text{ \AA}$$

Pembuktian $A = B = C$

Perhitungan untuk peak = $24,26^\circ$ dah $hkl = 111$

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

$$0,04415 = Ah^2 + Ak^2 + Al^2$$

$$0,04415 = 3A$$

$$A = 0,01472$$

Maka

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,01472}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2 (0,1213)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2426}$$

$$a = 6,350 \text{ \AA}$$

b. Perhitungan untuk peak $40,1^\circ$

$$A = 0,0147$$

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

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

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

$$a = \frac{1,5406}{2\sqrt{0,0147}}$$

$$a = \frac{1,5406}{2(0,1212)}$$

$$a = \frac{1,5406}{0,2424}$$

$$a = 6,355 \text{ \AA}$$

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

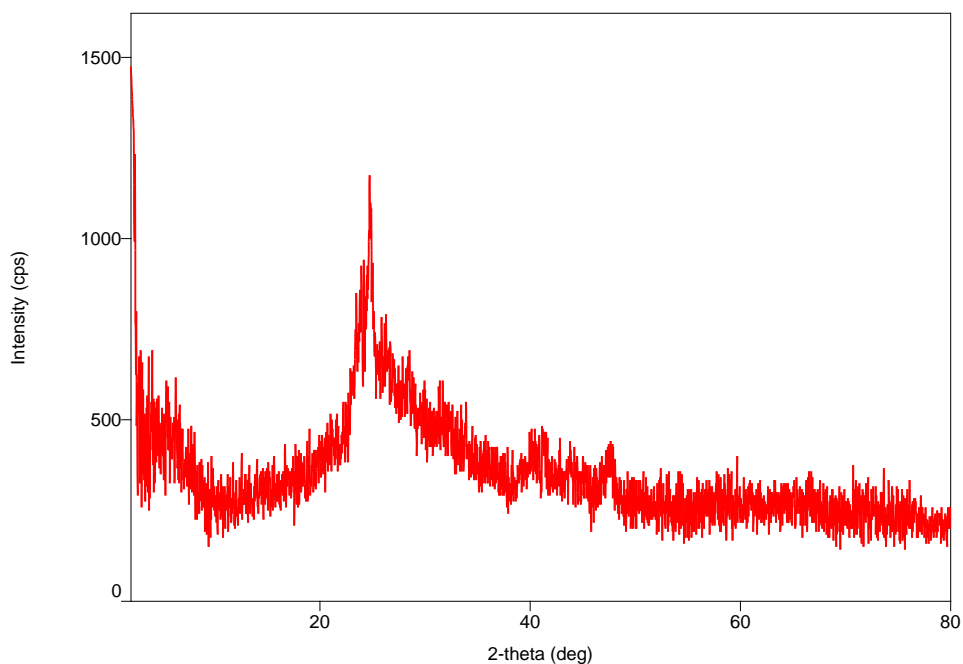
1. Hasil XRD sampel 1

Peak List

General information

Analysis date 2018/11/06 11:40:06
Sample name Samplpel 5 Measurement date 2018/11/06 10:23:00
File name 711XRD18.raw Operator
Comment

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.55(4)	3.623(5)	366(55)	3.58(8)	2606(28)	7.1(12)	0.78(4)
2	40.4(4)	2.23(2)	32(16)	2.5(7)	144(21)	5(3)	0.38(15)

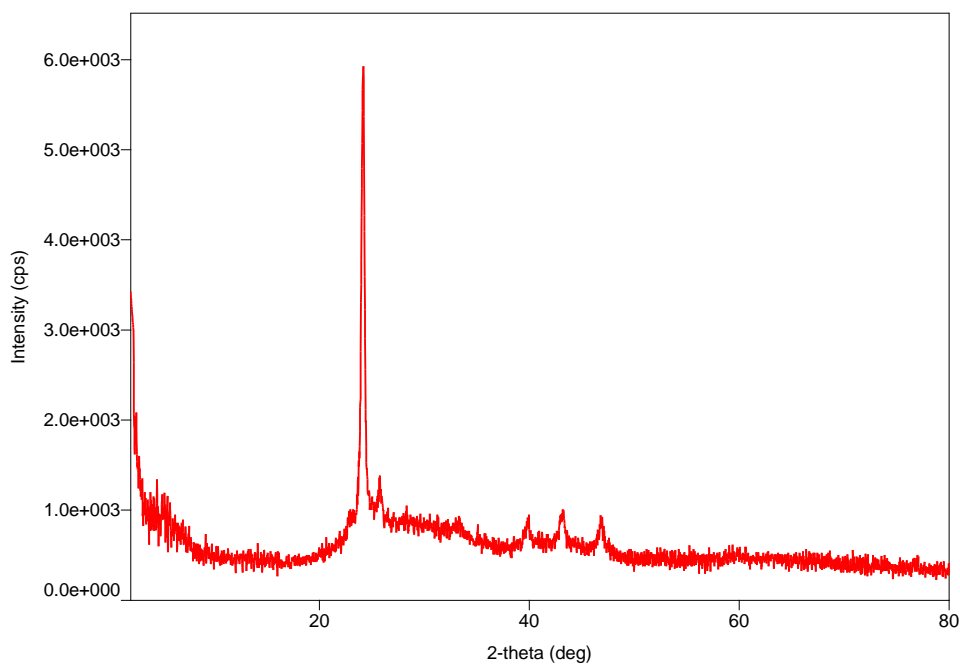
2. Hasil XRD sampel 2

Peak List

General information

Analysis date 2019/01/07 09:55:58
Sample name Sampel no.16 Measurement date 2019/01/07 09:39:01
File name 0067119.raw Operator
Comment

Measurement profile



Peak list

No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.154(7)	3.6817(11)	3623(174)	0.327(7)	1715(20)	0.47(3)	1.25(13)
2	25.866(17)	3.442(2)	234(44)	0.78(8)	264(20)	1.1(3)	4.8(17)
3	39.87(8)	2.259(5)	145(35)	0.49(7)	82(12)	0.6(2)	1.9(16)

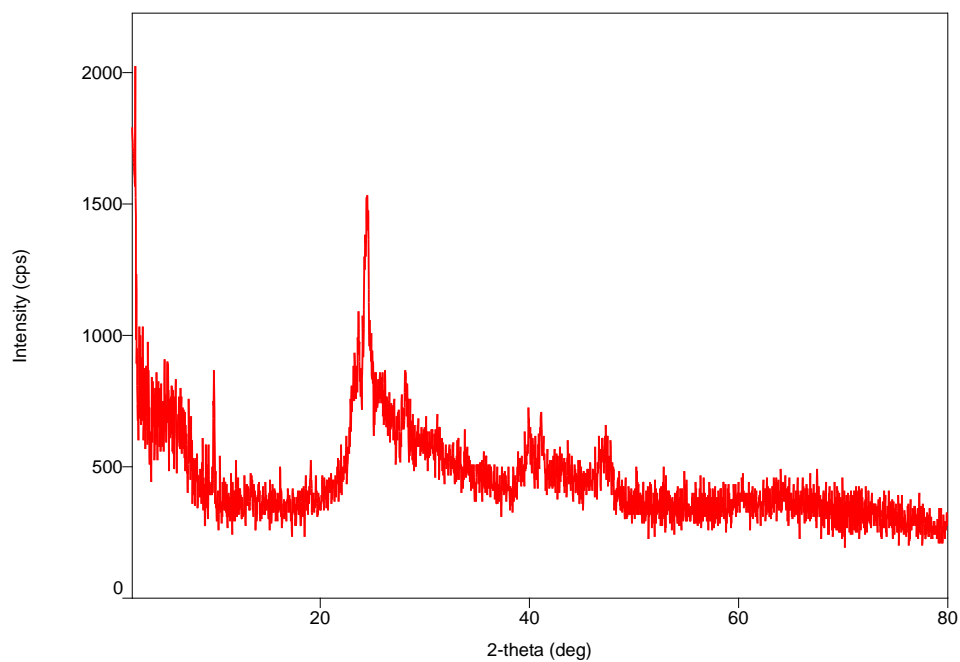
3. Hasil XRD sampel 3

Peak List

General information

Analysis date 2019/01/07 09:55:04
Sample name Sampel no.15 Measurement date 2019/01/07 09:16:46
File name 0057119.raw Operator
Comment

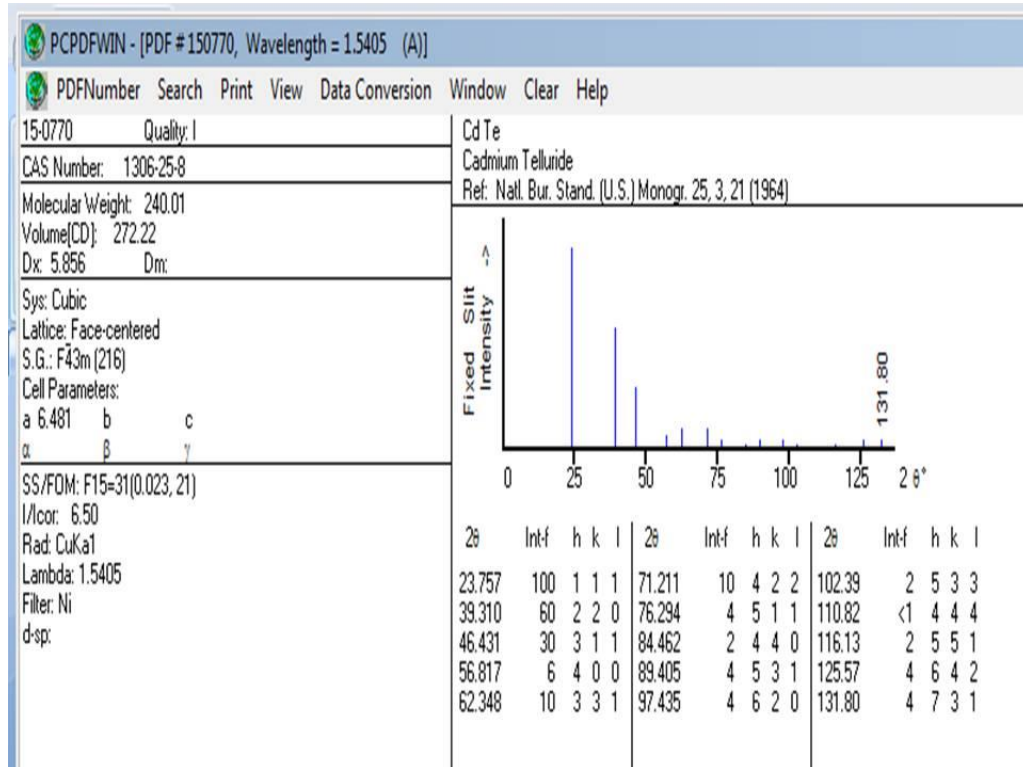
Measurement profile



Peak list

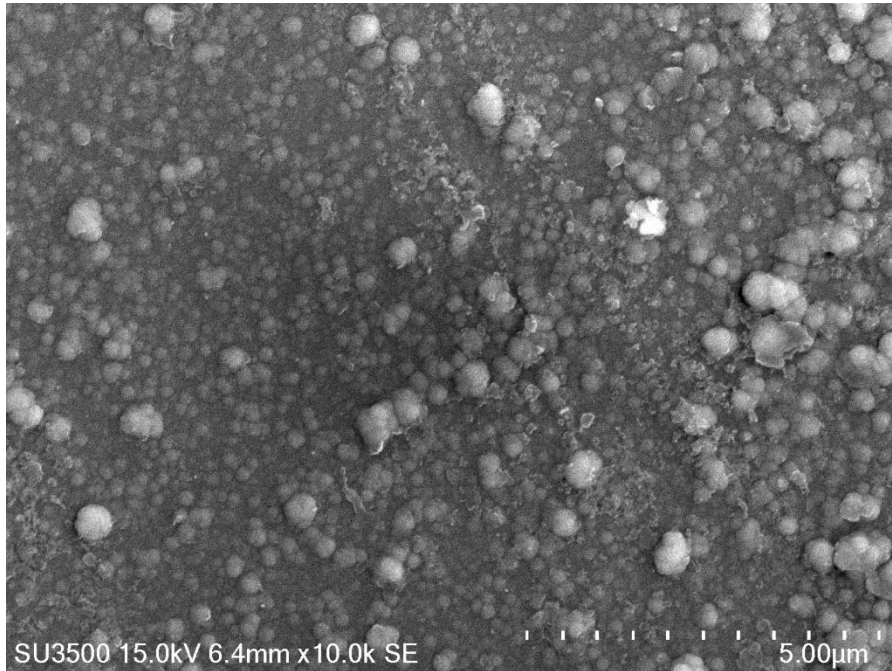
No.	2-theta(deg)	d(ang.)	Height(cps)	FWHM(deg)	Int. I(cps deg)	Int. W(deg)	Asym. factor
1	24.26(3)	3.667(4)	540(67)	1.81(7)	2081(33)	3.9(5)	0.47(3)
2	40.1(2)	2.249(13)	72(24)	3.2(4)	433(32)	6(3)	0.26(13)

Lampiran 3. JCPDS CdTe

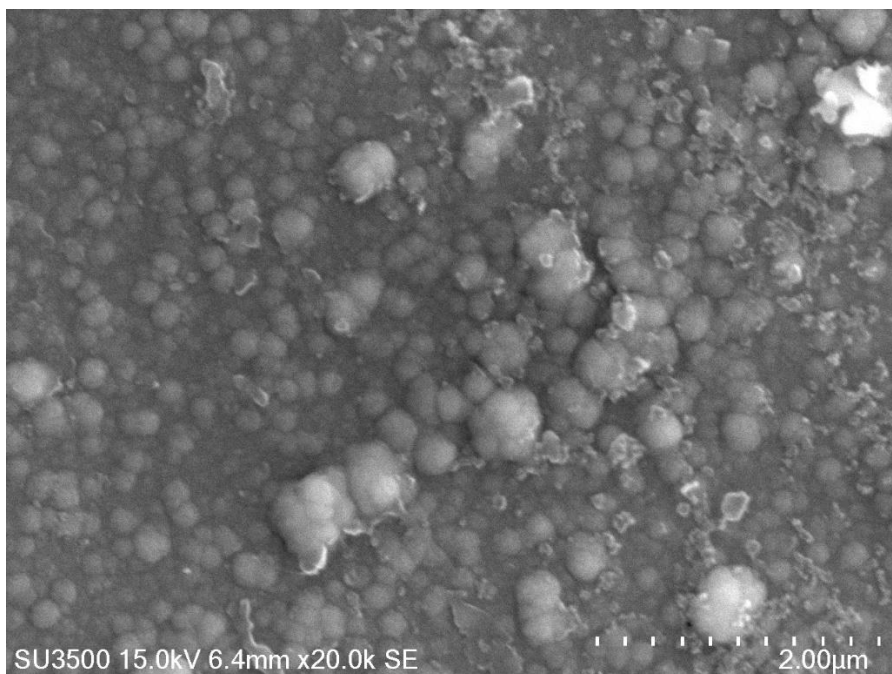


Lampiran 4. Hasil Citra Lapisan Tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,2}\text{Te}_{0,8})$ dengan SEM

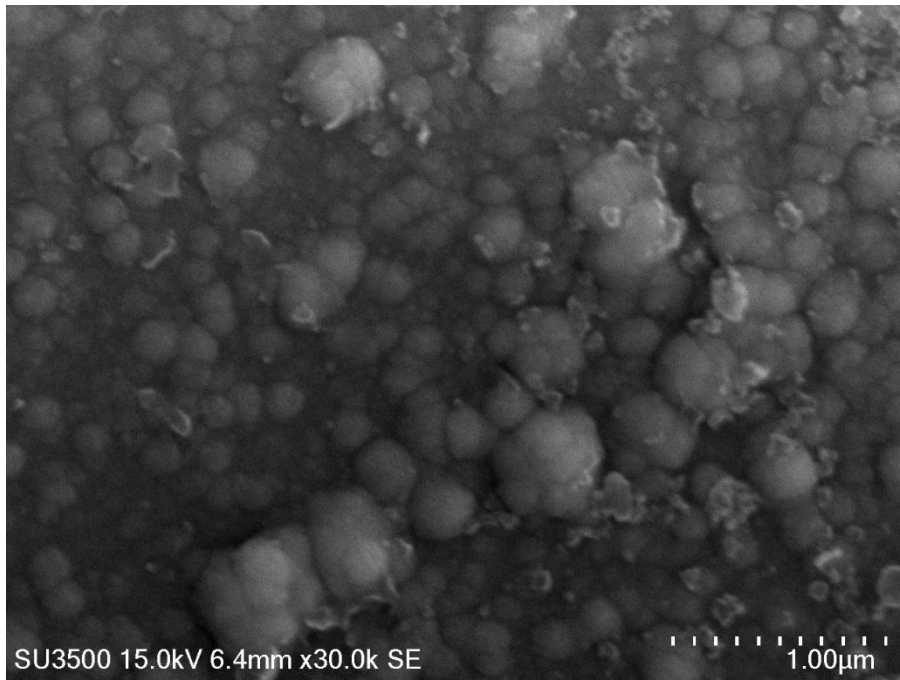
1. Perbesaran 10.000x.



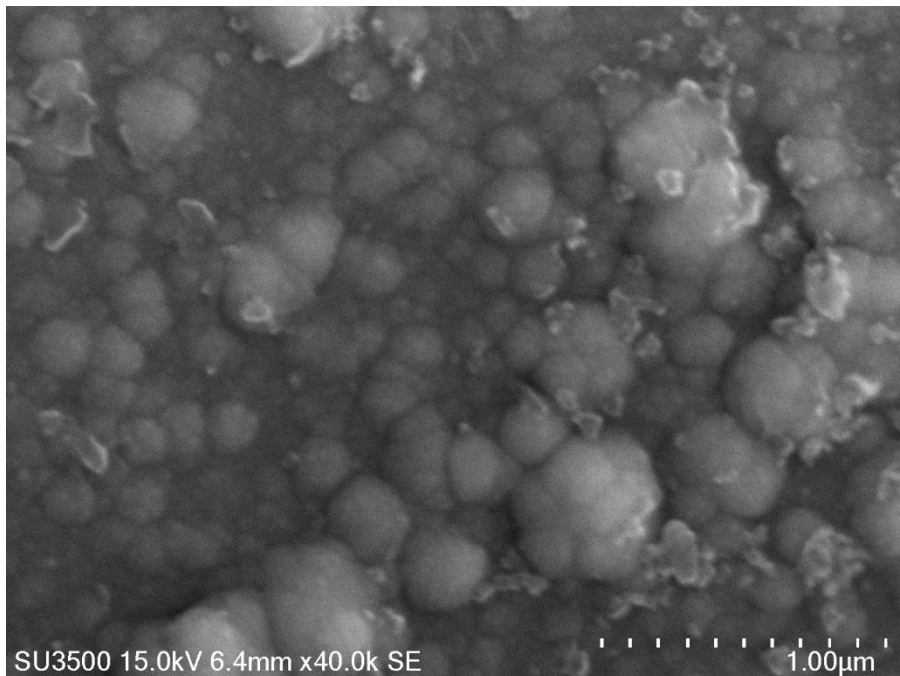
2. Perbesaran 20.000x.



3. Perbesaran 30.000x.



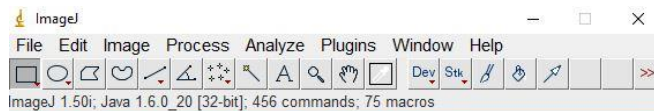
4. Perbesaran 40.000x.



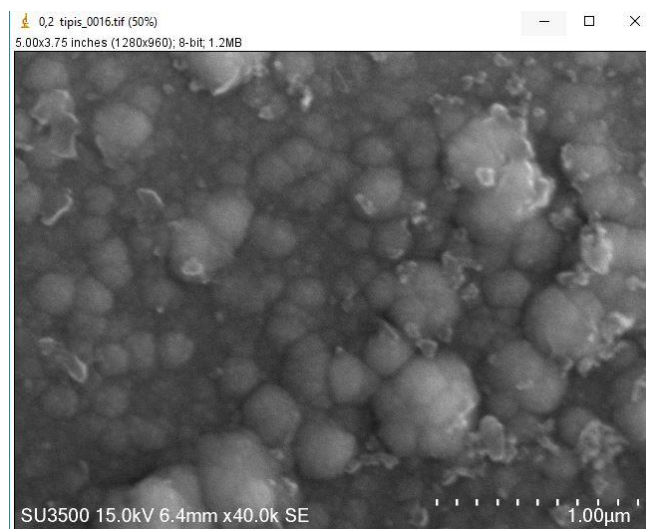
Lampiran 5. Proses Pengukuran Butir (*Grain*) & Menghitung Nilai Rata-Rata Ukuran Butir (*Grain*).

1. Pengukuran *grain* dilakukan dengan menggunakan *software* ImageJ.

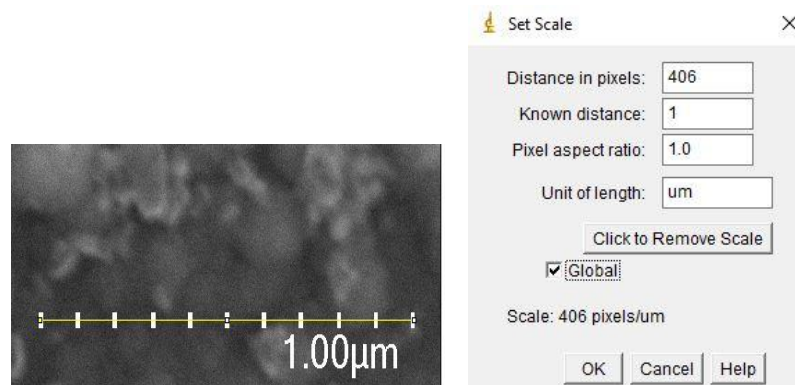
a. Membuka ImageJ.



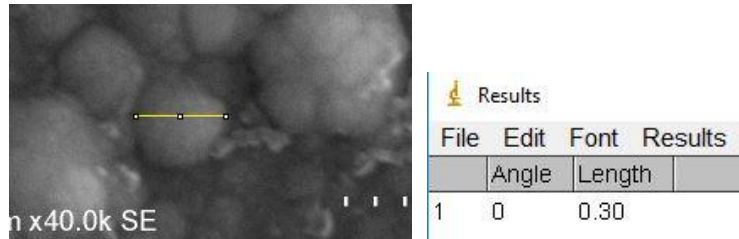
b. Membuka *file* citra hasil SEM perbesaran 40.000x.



c. Kalibrasi ukuran citra SEM dilakukan dengan klik *Straight Tools* untuk mengukur panjang titi-titik acuan SEM selanjutnya klik *tools Analyze* => *Set Scale* untuk merubah pixel ke bentuk micrometer.



- d. Mengukur ukuran (butir) *grain* dengan *Straight Tools* dan tekan CTRL+M untuk hasil ukuran.



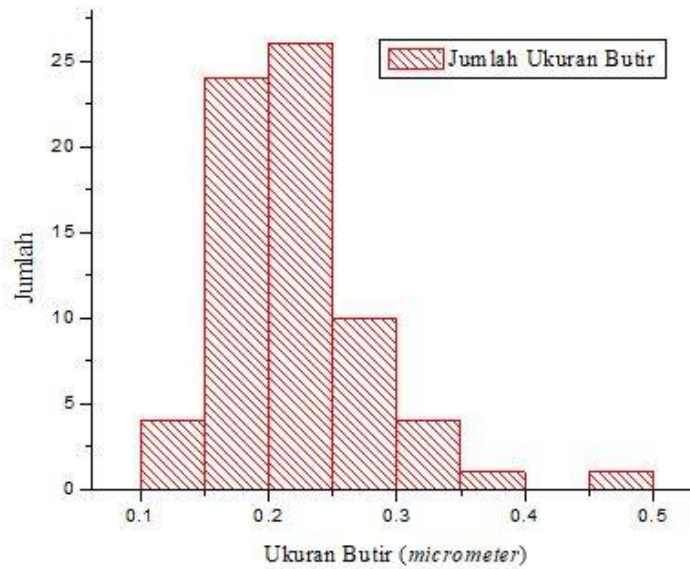
- e. Tabel hasil pengukuran.

No	Ukuran <i>grain</i> (μm)
1	0,23
2	0,29
3	0,16
4	0,19
5	0,16
6	0,16
7	0,19
8	0,15
9	0,19
10	0,2
11	0,18
12	0,33
13	0,29
14	0,17
15	0,14
16	0,17
17	0,17
18	0,19
19	0,17
20	0,16
21	0,19
22	0,29
23	0,22
24	0,3
25	0,23
26	0,23
27	0,25
28	0,19
29	0,18

30	0,27
31	0,2
32	0,17
33	0,26
34	0,21
35	0,21
36	0,48
37	0,22
38	0,33
39	0,26
40	0,2
41	0,24
42	0,21
43	0,19
44	0,24
45	0,3
46	0,23
47	0,22
48	0,13
49	0,24
50	0,34
51	0,21
52	0,27
53	0,2
54	0,32
55	0,18
56	0,2
57	0,19
58	0,14
59	0,23
60	0,18
61	0,37
62	0,27
63	0,19
64	0,22
65	0,22
66	0,23
67	0,17
68	0,16
69	0,2
70	0,22

2. Menghitung Nilai Rata-Rata Ukuran Butir (*Grain*).

- a. Hasil pengukuran *grain* diplot menggunakan *software* Origin dalam bentuk histogram.



- b. Tabulasi data pada histogram.

Ukuran Butir (x_i)	Jumlah (f_i)
(0,1 - 0,15) μm	4
(0,15 - 0,2) μm	24
(0,2 - 0,25) μm	26
(0,25 - 0,3) μm	10
(0,3 - 0,35) μm	4
(0,35 - 0,4) μm	1
(0,4 - 0,45) μm	0
(0,45 - 0,5) μm	1

c. Menghitung nilai rata-rata ukuran butir.

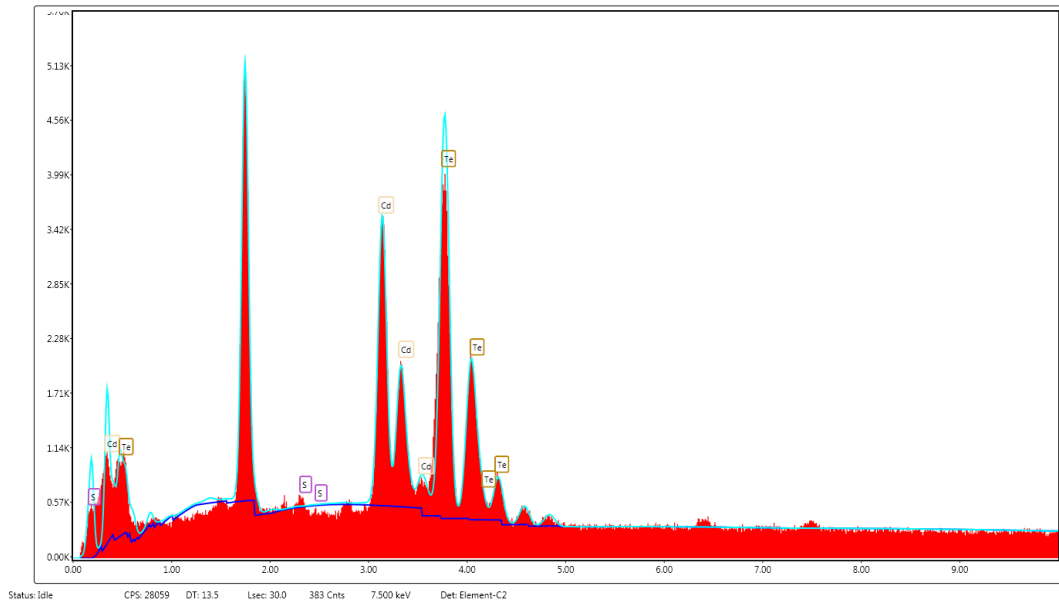
x_i	f_i	$(f_i x_i)$	$(f_i x_i^2)$
0,125	4	0,5	0,0625
0,175	24	4,2	0,735
0,225	26	5,85	1,31625
0,275	10	2,75	0,75625
0,325	4	1,3	0,4225
0,375	1	0,375	0,140625
0,425	0	0	0
0,475	1	0,475	0,225625
Jumlah (Σ)	70	15,45	3,65875

$$\text{Rata-rata (Mean)} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i}{\sum_{i=1}^k f_i} = \frac{15,45}{70} = 0,220714 \mu\text{m.}$$

$$\text{Standard deviation} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k f_i x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k f_i x_i)^2}{n}}{n-1}} = \sqrt{\frac{3,6587 - \frac{3,410036}{70-1}}{70-1}} = \sqrt{\frac{0,248714}{69}} =$$

0,060038 μm .

Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Lapisan Tipis Cd(S_{0,2}Te_{0,8}) dengan EDS



Element	Weight %	Atomic %	Error %	Net Int.	K Ratio	Z	R	A	F
S K	0.5	1.87	27.33	32.6	0.0037	1.3482	0.8029	0.5407	1.0269
Cd L	29.99	32.26	2.96	1107.33	0.3071	1.0351	0.9879	0.9485	1.0432
Te L	69.52	65.87	3.72	1577.22	0.5787	0.9821	1.0073	0.8335	1.017

Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian

1. Mesin *Furnace*.



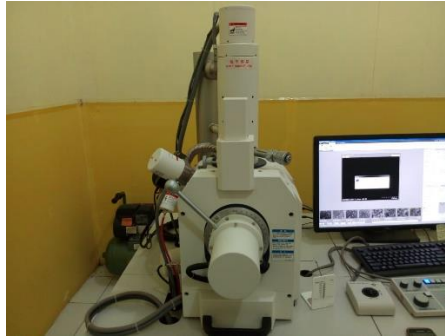
2. Timbangan Analitik.



3. Mesin XRD.



4. Mesin SEM & EDS.



5. Sistem Evaporator.



6. Bahan Massif.

