

**STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN
SEMIKONDUKTOR Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) HASIL PREPARASI DENGAN
METODE BRIDGMAN PADA BERBAGAI VARIASI ALUR
PEMANASAN**

SKRIPSI

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



Oleh:
Risma Widayati
NIM 14306141007

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

2018

**STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN
SEMikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) HASIL PREPARASI DENGAN
METODE BRIDGMAN PADA BERBAGAI VARIASI ALUR
PEMANASAN**

Oleh :
Risma WIdayati
14306141007

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh alur pemanasan terhadap struktur kristal dan parameter kisi kristal yang terbentuk, serta mengetahui pengaruh alur pemanasan terhadap morfologi permukaan dan komposisi kimia bahan semikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) yang terbentuk.

Proses penumbuhan kristal menggunakan metode Bridgman dilakukan dengan memanaskan bahan Cd, S dan Te pada tiga variasi alur pemanasan. Alur pemanasan 1 yaitu memanaskan bahan pada suhu 300°C selama 3 jam kemudian dinaikkan pada suhu 600 selama 2,5 jam. Alur pemanasan 2 yaitu memanaskan bahan pada suhu 300°C selama 4 jam kemudian dinaikkan pada suhu 600 selama 5 jam, dan alur pemanasan 3 yaitu memanaskan bahan pada suhu 300°C selama 4 jam kemudian dinaikkan pada suhu 600 selama 3 jam. Kristal hasil preparasi dengan teknik Bridgman kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction*, *Scanning Electron Microscopy*, dan *Energy Dispersive Analysis X-Ray*.

Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa alur pemanasan tidak mempengaruhi kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) yang terbentuk yaitu polikristal dengan struktur hexagonal, parameter kisi kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 1 yaitu a = 4,550 Å ; c = 7,902 Å, untuk sampel 2 yaitu a = 4,538 Å ; c = 7,944 Å, dan untuk sampel 3 yaitu a = 4,533 Å ; c = 7,902 Å. Analisis karakterisasi SEM menunjukkan bahwa alur pemanasan mempengaruhi morfologi permukaan dari kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) yaitu homogen. Hasil karakterisasi EDAX menunjukkan bahwa alur pemanasan berpengaruh terhadap komposisi kimia yang terbentuk. Perbandingan komposisi kimia alur sampel 1 yaitu 1 : 0,3 : 0,6 dan sampel 2 yaitu 1 : 0,2 : 0,8

Kata kunci : *Metode Bridgman, Struktur kristal, Morfologi permukaan, Semikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) , Alur Pemanasan*

**CRYSTAL STRUCTURE AND SURFACE MODEL OF
SEMICONDUCTOR Cd (S_{0,5} Te_{0,5}) PREPARATION RESULT WITH
BRIDGMAN METHOD IN VARIOUS VARIATIONS OF HEATING
VARIATION**

By :

Risma Widayati

14306141007

ABSTRACT

The purpose of this research is to know the effect of heating flow to crystal structure and crystal lattice parameters, and to know the influence of heating flow to surface morphology and chemical composition of Cd semiconductor material (S_{0.5} Te_{0.5}) formed.

The process of crystal growth using Bridgman method is done by heating the material Cd, S and Te on three variations of heating flow. Heating flow 1 is heating the material at a temperature of 300 °C for 3 hours then raised at 600 for 2.5 hours. Heating flow 2 is heating the material at a temperature of 300 °C for 4 hours then raised at 600 for 5 hours. And the heating flow 3 is heating the material at a temperature of 300 °C for 4 hours then raised at 600 for 3 hours. Bridgman's preparation crystals were then characterized using X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, and Energy Dispersive Analysis X-Ray.

The XRD characterization results show that the heating flow does not affect the crystalline Cd (S_{0.5} Te_{0.5}) formed ie polycrystalline with hexagonal structure, the crystal lattice parameter Cd (S_{0.5} Te_{0.5}) sample 1 ie a = 4,550 Å °; c = 7,902 Å °, for sample 2 ie a = 4,538 Å °; c = 7.944 Å °, and for sample 3 ie a = 4,533 Å °; c = 7,902 Å °. SEM characterization analysis showed that the heating flow influenced the surface morphology of the Cd crystal (S_{0.5} T_{0.5}) ie homogeneous. The EDAX characterization results show that the heating flow affects the chemical composition formed. Comparison of the chemical composition of the sample 1 groove is 1: 0.3: 0.6 and sample 2 is 1: 0.2: 0.8

Keywords: Bridgman Method, Crystal Structure, Surface Morphology, Cd Semiconductors (S_{0.5} Te_{0.5}), Heat Flow

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Risma Widayati
NIM : 14306141007
Program Studi : Fisika
Judul TAS : **Struktur Kristal dan Morfologi Permukaan
Bahan Semikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) Hasil Preparasi dengan Metode
Bridgman pada Berbagai Variasi Alur Pemanasan**

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 kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, Juni 2018

Yang menyatakan,



Risma Widayati
NIM. 14306141007

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN
SEMikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) HASIL PREPARASI DENGAN
METODE BRIDGMAN PADA BERBAGAI VARIASI ALUR
PEMANASAN**

Disusun oleh:

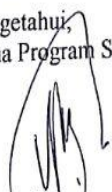
Risma Widayati
NIM 14306141007

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan


Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 6 Juli 2018

Mengetahui,
Ketua Program Studi


Nur Kadarisman, M.Si
NIP. 19640205199101 1001

Disetujui,
Dosen Pembimbing,


Dr. Ariswan
NIP. 19590914198803 1003

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

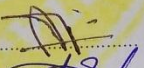
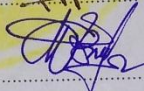
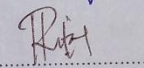
STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI PERMUKAAN BAHAN SEMIKONDUKTOR $Cd(S_{0.5}Te_{0.5})$ HASIL PREPARASI DENGAN METODE BRIDGMAN PADA BERBAGAI VARIASI ALUR PEMANASAN

Disusun oleh:

Risma Widayati
NIM 14306141007

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi
Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal 24 Juli 2018

Dewan Penguji

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Ariswan NIP. 195909141988031003	Ketua Penguji		<u>25 Juli 2018</u>
Dr. Warsono NIP. 196811011999031002	Penguji Utama		<u>25 Juli 2018</u>
Rita Prasetyowati, M.Si NIP. 198007282006042001	Penguji Pendamping		<u>25 Juli 2018</u>

Yogyakarta, 25 Juli 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono, M.Si.
NIP. 19620329198702 1002

HALAMAN MOTTO

“Hidup berguna, mati menginspirasi”

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu

telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh

(urusan) yang lain

(Q.S Al-Insyirah 6-7)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini ku persembahkan untuk,

1. Mamakku Dasimah ,terimakasih telah berjuang seorang diri membesarkanku dengan susah payah , penuh pengorbanan dan air mata dalam kehidupan kami serta yang telah berusaha dengan keras untuk menyekolahkanku hingga memperoleh gelar Sarjana. Semoga dengan ini sedikit membuatmu bahagia dan bangga. Dan untuk bapak Siswanto terimakasih selalu mendo'akanku.
2. Suamiku tercinta, Muhtar Pangestu terimakasih atas semua dukungamu , do'a , semangat dan bantuannya dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Calon buah hatiku yang masih dalam kandunganku, terimakasih nak menjadi motivasi ibu untuk segera menyelesaikan skripsi ini, Semoga kelak kamu menjadi anak yang sholeh/sholehah, cerdas ilmu agama dan ilmu pengetahuan berguna untuk agama dan Negara.
4. Bapak Budi, Ibu Wantini dan seluruh keluarga besarku yang tidak dapat disebutkan satu persatu terimakasih atas dukungan dan doanya untukku.
5. Sahabat-sahabatku tercinta, terimakasih atas doa dan dukungan kalian selama ini.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir Skripsi dalam rangka untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains dengan judul “**Struktur Kristal dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman pada Berbagai Variasi Alur Pemanasan**” dapat disusun sesuai dengan harapan. Tugas Akhir Skripsi ini dapat diselesaikan tidak lepas dari bantuan dan kerjasama dengan pihak lain. Berkenaan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Hartono selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, yang telah memberikan izin penelitian dalam skripsi ini.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir Skripsi.
3. Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir Skripsi.
4. Bapak Dr. Ariswan selaku dosen pembimbing atas kesediaannya memberikan nasehat serta bimbingannya dengan sabar sehingga laporan tugas akhir skripsi dapat terselesaikan.

5. Bapak Bambang Ruswanto, M.Si selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing, mengarahkan dan memberikan dukungan mulai semester awal hingga selesai tugas akhir ini.
6. Ibu Rita Prasetyowati, M.Si atas kesediaanya membantu, menasehati serta mengarahkan dengan sabar dan teliti sehingga laporan tugas akhir skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Segenap Staff dan karyawan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah membantu dalam proses administasi tugas akhir skripsi ini terselesaikan.
8. Teman-teman Fisika B 2014 dan sahabat-sahabatku yang telah membantu, mendukung dan memberikan semangat sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan baik langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis. Akhirnya semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi masyarakat pada umumnya dan mahasiswa pada khususnya

Yogyakarta, 1 Juli 2018



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Bahan Semikonduktor	7
1. Semikonduktor	7
2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik	8
3. Bahan CdS, CdTe, Cd, S, dan Te	14
B. Kristal	15
1. Pengantar Kristal	15
2. Cara Penumbuhan Kristal	20
C. Sel Surya	22
D. Karakterisasi Semikonduktor	25
1. XRD (X-Ray Diffraction)	25
2. Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	29
3. Analisis EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray)	31
E. Kerangka Berfikir	32
BAB III METODE PENELITIAN	34
A. Waktu dan Tempat Penelitian	34
1. Waktu Penelitian	34
2. Tempat Penelitian	34
B. Variabel Penelitian	35

1. Variabel Bebas	35
2. Variabel Terikat	35
3. Variabel Terkontrol	35
C. Alat dan Bahan	35
1. Peralatan Penelitian	35
2. Bahan Penelitian	37
D. Teknik Pengambilan Data	38
1. Preaprase Penumbuhan Kristal	39
2. Karakterisasi Bahan Semikonduktor Cd(S _{0,5} Te _{0,5})	41
E. Teknik Analisis Data	42
F. Tahapan Pelaksanaan Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
A. Penumbuhan Kristal Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) dengan Teknik Bridgman.....	44
B. Pengaruh Alur Pemanasan Struktur Kristal	45
C. Hasil Karakterisasi Morfologi Permukaan Bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5})	50
D. Hasil Karakterisasi Komposisi Kimia <i>massif</i> Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) menggunakan EDAX (<i>Energy Dispersive Analysis X-Ray</i>).....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	57
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tujuh sistem kristal dengan 14 kisi Bravis	18
Tabel 2. Perbandingan data penelitian alur pemanasan preparasi sampe 1	48
Tabel 3. Perbandingan data penelitian alur pemanasan preparasi sampel 2	48
Tabel 4. Perbandingan data penelitian alur pemanasan preparasi sampe 3	48
Tabel 5. Perbandingan parameter kisi kristal	49
Tabel 6. Perbandingan Molaritas unsur Cd , S dan Te.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Semikonduktor tipe-n	12
Gambar 2. Tingkat energi semikonduktor tipe-n	12
Gambar 3. Semikonduktor tipe-p	13
Gambar 4. Tingkat energi semikonduktor tipe-p	14
Gambar 5. (a) Susunan atom kristal, (b). Susunan atom amorf.....	17
Gambar 6. Sumbu kristal	18
Gambar 7. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Barvis	19
Gambar 8. Perpotongan bidang dan sumbu	20
Gambar 9. Struktur sel surya secara umum	23
Gambar 10. Proses pembentukan hubungan p-n.....	25
Gambar 11. Prinsip Kerja Sel Surya	25
Gambar 12. Skema pembangkit sinar X	26
Gambar 13. Skema dasar XRD	28
Gambar 14. Hamburan Sinar X.....	28
Gambar 15. Permukaan benda dengan berkas berenergi tinggi	29
Gambar 16. Skema dasar SEM	31
Gambar 17. Pola pemanasan sampel 1	40
Gambar 18. Pola pemanasan sampel 2.....	40
Gambar 19. Pola pemanasan sampel 3.....	41
Gambar 20. Diagram Alir Penelitian	43
Gambar 21. Difraktogram kristal Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) hasil preparasi dengan teknik Bridgman alur pemanasan 1	46
Gambar 22. Difraktogram kristal Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) hasil preparasi dengan teknik Bridgman alur pemanasan 2.....	47
Gambar 23. Difraktogram kristal Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) hasil preparasi dengan teknik Bridgman alur pemanasan 3.....	47
Gambar 24. Foto permukaan bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) alur pemanasan 1	50
Gambar 25. Foto permukaan bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) alur pemanasan 2	51
Gambar 26. Grafik ukuran kristal sampel 1	52
Gambar 27. Grafik ukuran kristal sampel 2.....	53
Gambar 28. Grafik hubungan antara Intensitas dengan Energi hasil karakterisasi EDAX <i>massif</i> Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) pada alur pemanasan 1	54
Gambar 29. Grafik hubungan antara Intensitas dengan Energi hasil karakterisasi EDAX <i>massif</i> Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) pada alur pemanasan 2.....	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis XRD Sampel 1 Cd(S _{0,5} Te _{0,5}).....	63
Lampiran 2. Analisis XRD Sampel 2 Cd(S _{0,5} Te _{0,5}).....	65
Lampiran 3. Analisis XRD Sampel 3 Cd(S _{0,5} Te _{0,5}).....	67
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) dengan XRD pada Alur Pemanasan 1.....	69
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) dengan XRD pada Alur Pemanasan 2.....	71
Lampiran 6. Hasil Karakterisasi Bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5}) dengan XRD pada Alur Pemanasan 3.....	73
Lampiran 7. Tabel JCPDS CdS dan CdTe.....	75
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian	77

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Indonesia ikut merasakan krisis energi yang melanda dunia. Bukti nyata krisis energi yang melanda Indonesia adalah pemadaman listrik bergilir yang sering terjadi di seluruh pelosok negeri. Berdasarkan *blueprint* Pengelolaan Energi nasional 2006-2025, pasokan utama energi di Indonesia masih didominasi oleh minyak bumi sebesar 54,78%, selanjutnya diikuti gas bumi 22,24%, batu bara 16,77%, tenaga air 3,72% dan panas bumi 2,48%. Energi terbarukan yang ada seperti angin, nuklir, dan tenaga surya belum dioptimalkan sebagai sumber energi primer di Indonesia (Kebijakan Energi Nasional, 2006).

Berdasarkan Peraturan Presiden Republik Indonesia No.5 tahun 2006 tentang Sasaran Bauran Energi Primer Nasional 2025, energi terbarukan tersebut akan menjadi pasokan energi primer nasional dengan presentase 17% dengan rincian *biofuel* 5%, biomassa, nuklir, air, surya, angin 5% dan batubara yang dicairkan sebesar 2%. Masa mendatang energi surya akan diperhitungkan sebagai sumber energi primer di Indonesia (Kebijakan Energi Nasional, 2006).

Indonesia menerima radiasi energi harian rata-rata sebesar $4,8 \text{ kW/m}^2$ (Ariswan, 2011:1). Pancaran energi matahari yang diterima oleh permukaan bumi sangat besar yaitu 3×10^{24} Joule/tahun sedangkan energi matahari yang digunakan di seluruh dunia adalah 60% dari energi yang dipancarkan sinar

matahari maka dengan memanfaatkan energi matahari yang melimpah dapat memenuhi suplai energi untuk seluruh dunia. Panel surya yang telah digunakan memiliki harga yang mahal sekitar 13 juta rupiah untuk pemakaian 1500 watt/hari(<http://panelsuryajakarta.com/paket-plts-murah-untuk-rumah-1500-watt/>).

Sel surya dengan harga yang lebih murah dari harga panel surya yang telah ada dipasaran dan memiliki efisiensi yang tinggi sangat diperlukan, oleh karena itu banyak penelitian untuk mengembangkan sel surya dengan berbagai model dan bahan. Bahan semikonduktor merupakan bahan dasar untuk komponen aktif piranti elektronik seperti diode, transistor, rangkaian terpadu (*intergrated circuit* = IC) dan piranti-piranti teknologi konversi seperti sel surya. Bahan semikonduktor adalah bahan yang memiliki energi gap sekitar 0,2-3,5 eV (Ariswan, 2016:2). Bahan untuk membuat piranti sel surya telah dibuat antara lain CuInSe_2 , CuInS_2 , kristal silikon dan lain sebagainya. Bahan semikonduktor memiliki efisiensi sel surya tinggi sangat beragam seperti *Cadmium Telluride* dan *Copper Indium Galium Selenide*. Bahan semikonduktor yang diperhatikan saat ini adalah CdS (*Cadmium Sulfida*) dan CdSe (*Cadmium Selenida*) yang masing-masing memiliki band gap 1,74 eV dan 2,42 eV. Bahan ini membentuk semikonduktor tipe-n yang merupakan perpaduan dari golongan II (Cd) dan golongan IV (Te,Se,S). Bahan semikonduktor lain yang merupakan hasil perpaduan golongan II dan IV yang mungkin dapat dikembangkan adalah $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$.

Penumbuhan kristal pada penelitian ini dengan menggunakan metode Bridgman. Prinsip metode Bridgman yaitu menyiapkan bahan dasar, bahan dasar divakum untuk menghilangkan zat pengotor yang akan mengganggu proses pembentukan kristal. Setelah divakum bahan kemudian dipanaskan sehingga bahan tersebut melebur dan mengalami proses kristalisasi pada bahan tersebut. Pemilihan metode Bridgman pada dasarnya dikarenakan beberapa faktor yaitu: (a) temperatur dapat dikontrol dengan teliti, (b) kecepatan pembekuan dapat diatur, (c) kecepatan penurunan temperatur pada saat berubah dari keadaan cair dapat dikontrol secara teliti, (d) tekanan mekanis juga dapat dikurangi untuk menghindari retakan pada bahan, (e) kenaikan temperature juga dapat diatur untuk mengurangi terjadinya ledakan (Zulaifatul, 2013:3).

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap karakteristik bahan dalam penelitian ini adalah alur pemanasan, temperatur dan perbandingan molaritas. Faktor-faktor tersebut dimungkinkan dapat mempengaruhi struktur dan komposisi kimia masing-masing unsur dalam kristal hasil preparasi. Hasil preparasi bahan akan berupa *ingot* atau *massif* $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ yang kemudian dikarakterisasi. Karakterisasi hasil preparasi dengan menggunakan XRD (*X-ray Diffraction*) untuk menentukan struktur kristal dan parameter kisi. SEM-EDAX (*Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive Analysis X-Ray*) untuk menentukan morfologi permukaan dan struktur kimia dari bahan tersebut. Hasil dari karakterisasi bahan, akan dapat digunakan sebagai bahan acuan dalam pembuatan lapisan tipis $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah maka identifikasi masalah dari penelitian ini adalah :

1. Belum diketahui pengaruh alur pemanasan pada pertumbuhan Kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dengan metode Bridgman terhadap struktur Kristal.
2. Belum diketahui pengaruh alur pemanasan pada pertumbuhan Kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dengan metode Bridgman terhadap parameter kisi Kristal.
3. Belum diketahui pengaruh alur pemanasan pada pertumbuhan Kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dengan metode Bridgman terhadap morfologi permukaan Kristal.
4. Belum diketahui pengaruh alur pemanasan pada pertumbuhan Kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dengan metode Bridgman terhadap Komposisi kimia bahan Kristal.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada penumbuhan Kristal (*massif*) bahan semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ menggunakan metode Bridgman untuk mengetahui kualitas kristal yang terbentuk menggunakan berbagai variasi alur pemanasan bahan. Karakterisasi bahan digunakan untuk mengetahui struktur

kristal, parameter kisi, morfologi permukaan dan komposisi kimia yang terbentuk.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah diatas dapat dirumuskan :

1. Bagaimana penumbuhan Kristal $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ dengan metode Bridgman ?
2. Bagaimana pengaruh alur pemanasan pada penumbuhan Kristal $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ terhadap struktur kristal dan parameter kisi Kristal yang terbentuk ?
3. Bagaimana pengaruh alur pemanasan pada penumbuhan Kristal $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ terhadap morfologi permukaan Kristal dan komposisi kimia dari bahan tersebut ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui penumbuhan kristal $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ dengan metode Bridgman.
2. Mengetahui pengaruh alur pemanasan pada penumbuhan Kristal $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ terhadap struktur kristal dan parameter kisi kristal yang terbentuk.
3. Mengetahui pengaruh alur pemanasan pada penumbuhan Kristal $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ terhadap morfologi permukaan dan komposisi kimia kristal.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dengan metode Bridgman.
2. Mendapatkan pengetahuan mengenai karakteristik bahan semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$.
3. Hasil preparasi bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dapat dikembangkan menjadi lapisan tipis sel surya.
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai sumber informasi dan referensi untuk penelitian berikutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Bahan Semikonduktor

1. Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan dengan energy gap sekitar 0,2-3,5 eV. Bahan semikonduktor akan bersifat isolator pada suhu nol Kelvin, namun jika ada perlakuan dengan mengubah suhu pada bahan tersebut maka terjadi generasi *electron-hole* termal yang berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi, sehingga tentu saja bahan berubah menjadi konduktor. Sifat-sifat ini tidak dimiliki oleh kedua bahan konduktor dan isolator (Ariswan, 2016:2).

Menurut Ariswan (2016:2) semikonduktor adalah bahan yang mempunyai lebar pita terlarang E_g yang relatif kecil (sekitar 1 eV) pada suhu nol kelvin, bahan semikonduktor akan bersifat isolator. Jika temperatur dinaikkan dari energi termal ke energi yang lebih besar dari energi *gap*-nya, elektron-elektron tersebut akan meninggalkan pita valensi ke pita konduksi. Keadaan elektron sekarang menjadi elektron bebas dan mudah bergerak meskipun hanya dipengaruhi oleh medan yang kecil dan dengan mudah dapat menghantarkan arus listrik.

Isolator adalah pengantar listrik yang buruk, memiliki harga resistivitas antara (10^{14} - 10^{22}) Ωcm . Isolator memiliki pita valensi yang penuh berisi elektron, sedangkan pita konduksinya kosong. Energi *gap* isolator sangat besar sekitar 6 eV, sehingga penghantaran listrik tidak dapat berlangsung. Isolator pada umumnya memiliki dua sifat yaitu mempunyai celah energi yang cukup besar antara pita valensi dan pita konduksi dan tingkat energi Fermi terletak pada celah energinya (Nyoman Suwitra, 1989:186).

Logam adalah pengantar listrik yang baik disebut konduktor. Konduktor tersusun oleh atom-atom yang memiliki elektron terluar tidak berpasangan dengan elektron lain. Elektron-elektron ini hampir bebas sehingga sangat mudah menghantarkan listrik. Oleh karena itu, penggambaran pita energi konduktor memiliki struktur pita yang hanya sebagiann saja yang terisi elektron Gambar 1 (Ariswan, 2016:1). Perbedaan dari ketiga bahan terletak pada struktur pita energi bahan antara isolator, konduktor dan semikonduktor.

2. Semikonduktor Intrinsik dan Ekstrinsik

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

a. Semikonduktor Intrinsik

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

1989:222). Pembawa muatan pada semikonduktor intrinsik adalah pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk karena bahan semikonduktor memperoleh energi termal diatas atau sama dengan energi *gap*-nya. Timbulnya *hole* dan elektron secara serentak, menyebabkan konsentrasi elektron (n) yang terdapat pada pita konduksi akan sama dengan konsentrasi *hole* (p) yang terdapat pada pita valensi.

Keadaan ini dapat difungsikan :

$$n = p = n_i \quad (1)$$

dengan n_i disebut konsentrasi atau rapat intrinsik.

Menurut Nyoman Suwirta (1989:222), semikonduktor intrinsik mempunyai beberapa ciri sebagai berikut:

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

Pembawa muatan pada semikonduktor intrinsik adalah pasangan elektron dan *hole* yang terbentuk karena bahan semikonduktor memperoleh energi termal diatas atau sama dengan energi *gap*-nya. Energi termal tersebut akan terus menghasilkan pasangan elektron dan *hole* yang baru, sedangkan elektron dan *hole* yang lain akan menghilang karena proses rekombinasi (Nyoman,Suwirta, 1989:223). Contoh bahan semikonduktor intrinsik adalah

silikon dan germanium, dimana atom-atomnya mempunyai empat elektron valensi sehingga dinamakan *tetravalent*, dan membentuk kristal *tetrahedral* melalui ikatan kovalennya dengan atom-atom tetangga terdekat (Nyoman,Suwirta, 1989:225).

b. Semikonduktor ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik adalah bahan semikonduktor murni yang telah diberi ketakmurnian (pengotor). Proses pemberian atom pengotor ini dinamakan *doping*, yaitu dengan memasukkan atom bervalensi 5 atau 3 pada bahan semikonduktor murni dengan tujuan untuk menambah jumlah elektron bebas maupun lubang (*hole*). Sifat kelistrikan dan semikonduktor ekstrinsik sangat ditentukan oleh jumlah atom pengotor yang ditambahkan ke dalam bahan semikonduktor tersebut (Ardhi, 2010:15).

Berdasarkan jenis atom pengotor yang ditambahkan (*doping*), semikonduktor ekstrinsik dibedakan menjadi semikonduktor tipe-n dan semikonduktor tipe-p.

1. Semikonduktor tipe-n

Semikonduktor tipe-n diperoleh jika ditambahkan atom-atom bervalensi 5 (*pentavalent*) seperti fosfor dan arsen ke dalam bahan semikonduktor murni yang mempunyai elektron valensi 4 (*tetravalent*). Atom *pentavalent* yang ditambahkan, akan membentuk ikatan kovalent dengan 4

atom terdekatnya. Karena dalam orbit valensi hanya dapat terisi oleh elektron, maka akan terjadi 1 kelebihan elektron. Atom *pentavalent* sering disebut menghasilkan electron pada pita konduksi (Nyoman, Suwitra, 1989:227).

Menurut Malvino (1981:21), untuk kristal yang *didoping* oleh imunitas *pentavalent*, akan diperoleh :

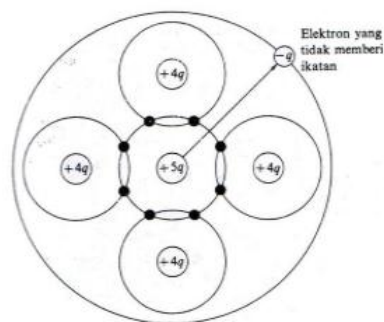
- a. Banyak elektron pita konduksi baru dihasilkan oleh *doping* karena tiap atom *pentavalent* menyokong 1 elektron pita konduksi, banyaknya electron pita konduksi dapat dikontrol dari banyaknya penambahan impuritas.
- b. Energi thermal tetap menghasilkan pasangan *electron-hole*. Ini jumlahnya sangat sedikit selagi dibandingkan terhadap electron-elektron pita konduksi yang dihasilkan oleh *doping*.

Perbedaan semikonduktor intrinsik dan semikonduktor tipe-n adalah pada semikonduktor intrinsik, terbentuknya elektron bebas disertai lubang yang dapat bergerak sebagai pembawa muatan. Sedangkan pada semikonduktor tipe-n, terbentuknya elektron bebas tidak disertai lubang tetapi berbentuk ion positif yang tidak dapat bergerak.

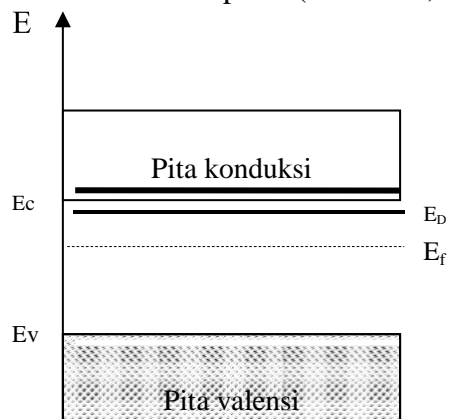
Diagram tingkat energi semikonduktor tipe-n pada Gambar 2, tingkat energi elektron yang kehilangan ikatan ini muncul sebagai tingkat diskrit dalam energi gap tepat di bawah pita konduksi, sehingga energi yang diperlukan elektron ini untuk bergerak menuju pita konduksi menjadi sangat kecil dengan demikian, akan sangat mudah terjadi eksitasi pada suhu kamar. Tingkat energi elektron ini dinamakan aras donor dan elektron pengotor

disebut donor karena elektron dengan mudah diberikan ke pita konduksi. Suatu semikonduktor yang telah *didoping* dengan pengotor donor dinamakan semikonduktor tipe-n atau negatif seperti ditunjukkan pada Gambar 1 (Ariswan, 2016:4).

Apabila bahan semikonduktor intrinsik diisi dengan ketakmurnian tipe-n, maka banyaknya elektron akan bertambah dan jumlah hole berkurang daripada yang terdapat dalam semikonduktor intrinsik. Tipe ini mayoritas pembawa muatan adalah elektron sedangkan hole merupakan pembawa minoritas. Berkurangnya *hole* ini disebabkan karena dengan bertambah banyaknya elektron maka kecepatan rekombinasi elektron dengan hole meningkat. (Reka Rio, 1982: 12).



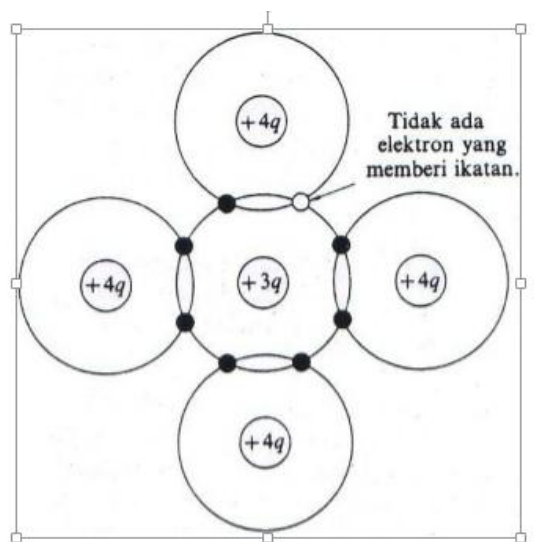
Gambar 1. Semikonduktor tipe-n. (Reka Rio, 1982: 12)



Gambar 2. Tingkat energi semikonduktor tipe-n. (Ariswan, 2016)

2. Semikonduktor tipe-p

Bahan semikonduktor murni yang diberi pengotor berupa atom bervalensi 3 (*trivalent*) akan diperoleh bahan semikonduktor tipe-p, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Karena hanya memiliki 3 elektron valensi, maka dalam ikatan kovalen dengan 4 atom terdekatnya, hanya akan terdapat 7 elektron dalam orbit valensinya. Sehingga sebuah lubang (*hole*) akan muncul. Semikonduktor intrinsik mempunyai empat ikatan kovalen. Ikatan kovalen adalah salah satu ikatan kimia yang dikarakterisasikan oleh pasangan elektron yang saling berbagi diantara atom-atom yang berikatan. Jadi ikatan kovalen terjadi karena adanya penggunaan elektron secara bersama (Susanti Lilik, 2013:16).

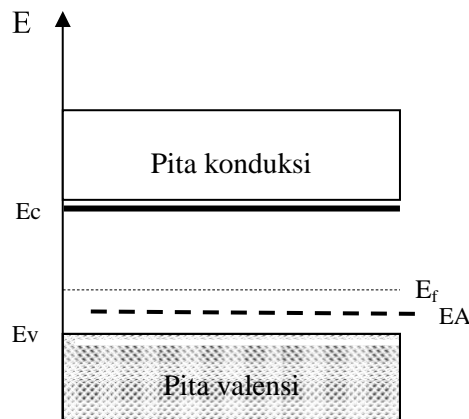


Gambar 3. Semikonduktor tipe-p . (Reka Rio, 1982: 13)

Apabila suatu ketakmurnian *trivalent* (valensi tiga) ditambahkan pada semikonduktor intrinsik hanya tiga ikatan kovalen yang diisi, kekosongan yang terjadi pada ikatan keempat membentuk *hole*. Ketakmurnian ini akan

mengakibatkan pembawa muatan positif karena terbentuk sebuah *hole* yang dapat menerima sebuah elektron. Ketakmurnian seperti ini disebut sebagai akseptor karena mudah menerima sebuah elektron dari pita valensi (Reka Rio, 1982: 13).

Semikonduktor yang didoping dengan atom-atom akseptor dinamakan semikonduktor tipe-p (*p-type semiconductor*) di mana "p" adalah kependekan dari "positif" karena pembawa muatan positif jauh melebihi pembawa muatan negatif. Di dalam semikonduktor tipe-p akan terbentuk tingkat energi yang diperbolehkan yang letaknya sedikit di atas pita valensi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 sebagai berikut:



Gambar 4. Tingkat energi semikonduktor tipe-p. (Ariswan, 2016)

Oleh karena energi yang dibutuhkan elektron untuk meninggalkan pita valensi dan mengisi tingkatan energi akseptor kecil sekali, maka hole-hole yang dibentuk oleh elektron-elektron ini merupakan pembawa mayoritas di dalam pita valensi, sedangkan elektron pembawa minoritas di dalam pita valensi. Penambahan unsur-unsur dari golongan IIIB (B, Al, Ga, dan In) pada

unsur-unsur golongan IV menghasilkan semikonduktor tipe-p (Ariswan, 2016:5).

3. Bahan CdS, CdTe, Cd, S dan Te

Bahan semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ terdiri dari tiga unsur yaitu Cd (golongan II) dan S, Se, Te (golongan VI). Bahan Cd yaitu Cadmium memiliki berat atom 112,41 gram/mol struktur kristal hexagonal. Bahan S yaitu Sulfur memiliki . Bahan Te yaitu Tellurium memiliki berat atom 127,6 gram/mol an struktur kristal berbentuk kubik. Bahan semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ identic dengan bahan semikonduktor Cadmium Sulfur (CdS) dan Cadmium Tellurium (CdTe). Bahan CdS dan CdTe merupakan bahan semikonduktor tipe-n (www.webelements.com) . Bahan semikonduktor dalam sel surya ini biasanya digunakan sebagai lapisan tipis tipe-n.

Cadmium Sulfida merupakan senyawa biner dari Sulfur dan Cadmium yang merupakan bahan semikonduktor dengan energi *gap* 2,42 eV dan berbentuk padatan berwarna orange kekuningan (Ardhi, Astri Irnawati, 2010:19).

B. Kristal

1. Pengantar Kristal

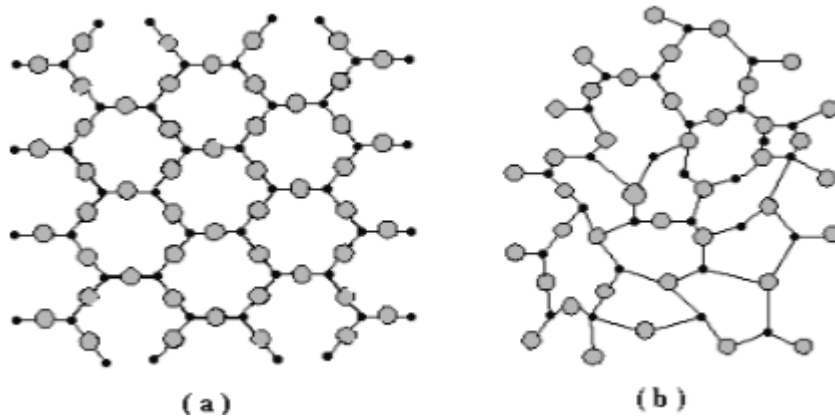
a. Kristal

Kristal terbentuk dari komposisi atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul zat padat yang memiliki susunan berulang dan jarak yang teratur

dalam tiga dimensi. Kristal tunggal merupakan keteraturan didapat dalam seluruh tubuh padat (Ariswan, 2016:1).

Ditinjau dari struktur atom penyusunnya, bahan padat dibedakan menjadi tiga yaitu kristal tunggal (*monocrystal*), polikristal (*polycrystal*), dan amorf. Pada kristal tunggal, atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap karena atom-atom atau molekul-molekul penyusunnya tersusun secara teratur dalam pola tiga dimensi dan pola-pola ini berulang secara periodik dalam rentang yang panjang tak berhingga. Polikristal dapat didefinisikan sebagai kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat (Smallman, 2000: 13).

Struktur *amorf* menyerupai pola hampir sama dengan kristal, akan tetapi pola susunan atom-atom, ion-ion atau molekul-molekul yang dimiliki tidak teratur dengan jangka yang pendek. Amorf terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya. Bahan seperti gelas, nonkristalin ataupun vitrus memiliki struktur yang identik dengan amorf . Susunan dua-dimensional simetris dari dua jenis atom yang berbeda antara kristal dan amorf ditunjukkan pada Gambar 5 (Smallman, 2000: 13).



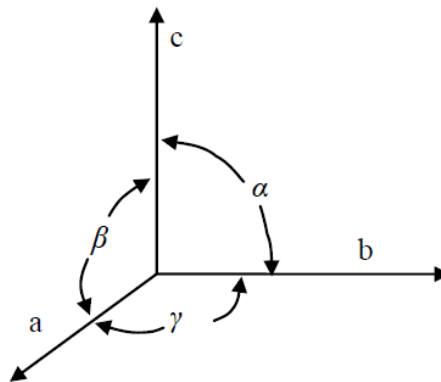
Gambar 5 (a). Susunan atom kristal, (b). Susunan atom amorf.

(Smallman,1999:13)

b. Struktur Kristal

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

Geometri kristal dalam ruang dimensi tiga yang merupakan karakteristik kristal memiliki pola yang berbeda-beda. Suatu kristal yang terdiri dari jutaan atom dapat dinyatakan dengan ukuran, bentuk, dan susunan sel satuan yang berulang dengan pola pengulangan yang menjadi ciri khas dari suatu kristal. Kristal dilukiskan oleh sel satuannya dan bentuk sel satuan ditentukan besar sumbu kristal a, b, c , serta sudut kristal α, β, γ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 (Ariswan, 2016:5).



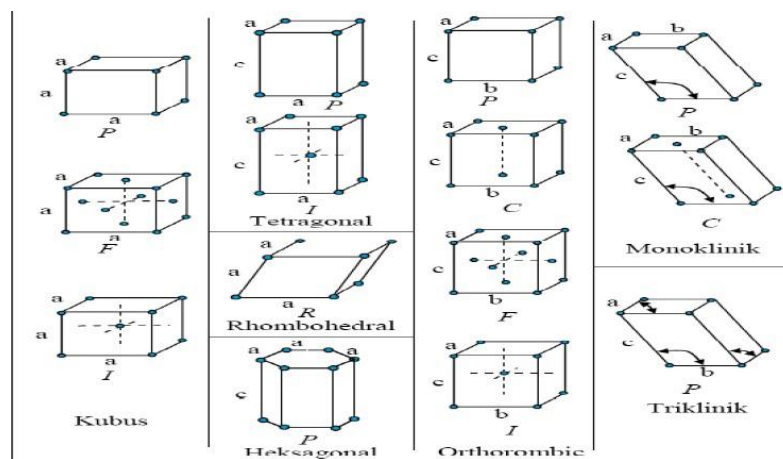
Gambar 6. Sumbu kristal (Ariswan,2016:6)

Sumbu-sumbu a, b, dan c adalah sumbu-sumbu yang dikaitkan dengan parameter kisi Kristal untuk α , β , dan γ merupakan sudut antara sumbu-sumbu referensi kristal. Menurut anggapan Bravais (1848), berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang kristal mempunyai 14 kisi dan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dan hubungan sudut satu dengan sudut yang lain, kristal dikelompokkan menjadi 7 sistem kristal seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 7.

Tabel 1. Tujuh system kristal dengan empat belas kisi Bravais

Sistem Kristal	Parameter Kisi	Kisi Bravais	Simbol
Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simpel	P
		Pusat Badan	I
		Pusat Muka	C
Monoklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel Pusat Dasar	P C

Triklinik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Simpel	P
Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ = \gamma$	Simpel Pusat Badan	P I
Orthorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ = \gamma$	Simpel Pusat Dasar Pusat Badan Pusat Muka	P C I F
Trigonal Rhombohedral	$a = b = c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma < 120^\circ$	Simpel	P
Hexagonal / Rombus	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simpel	P



Gambar 7. Tujuh sistem kristal dan empat belas kisi Bravis (Van Vlack, 2004: 63)

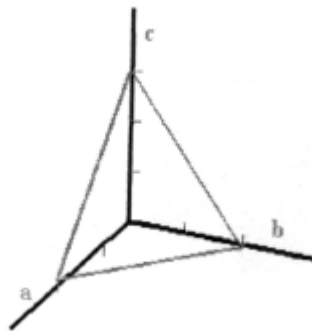
c. Indeks Miller

Kisi kristal akan membentuk pasangan bidang-bidang sejajar dan berjarak sama yang dalam sistem tiga dimensi, disebut bidang-bidang kisi. Bidang-bidang kisi inilah yang akan menentukan arah permukaan dari suatu kristal. Arah suatu bidang dapat dinyatakan dengan parameter numeriknya. Indeks Miller merupakan harga kebalikan dari parameter numerik yang dinyatakan dengan simbol (h k l).

Secara umum perpotongan bidang dengan sumbu dinyatakan dengan 2a, 2b, dan 3c pada Gambar 9 sehingga parameter numeriknya adalah 2, 2, 3 dan indeks Miller dari bidang di bawah adalah: (Ariswan, 2016:5).

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

$$(hkl) = (1/2 \ 1/2 \ 1/3) \text{ atau } (3 \ 3 \ 2).$$



Gambar 8. Perpotongan bidang dan sumbu (Ariswan, 2016:5)

2. Cara Penumbuhan Kristal

Kemurnian dan kesempurnaan kristal merupakan syarat utama untuk memperoleh komponen semikonduktor yang berkualitas tinggi. Peneliti harus menggunakan metode yang benar dalam proses penumbuhan Kristal untuk mendapatkan kemurnian dan kesempurnaan kristal. Kemurnian dan

kesempurnaan kristal akan sangat mempengaruhi karakteristik dari komponen yang dihasilkan.

Metode yang sering digunakan dalam penumbuhan kristal semikonduktor adalah metode penarikan kristal atau teknik Czochralski dan teknik Bridgman. Penumbuhan kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}, \text{Te}_{0,5})$ dilakukan dengan teknik Bridgman. Ada beberapa kelebihan teknik Bridgman, antara lain (E. Wahjuniati, 2002: 1-2) :

- a. Temperatur dapat dikontrol secara teliti.
- b. Kecepatan pembekuan bahan dapat diatur.
- c. Kecepatan penurunan temperatur pada saat bahan berubah wujud dari cair ke padat dapat dikontrol secara teliti.
- d. Tekanan mekanisme didalam bahan juga dapat dikurangi untuk menghindari terjadinya keretakan pada polikristal atau pada ampul (menggunakan tabung kuarsa).
- e. Kenaikan suhu dapat diatur sedemikian rupa sehingga mengurangi timbulnya bahaya ledakan yang ditimbulkan unsur tertentu pada temperatur kritisnya.

Penumbuhan kristal dengan teknik Bridgman dilakukan dengan cara melelehkan bahan-bahan diatas titik leburnya, kemudian didinginkan hingga mengeras membentuk suatu kristal. Ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pemanasan bahan, yaitu: penimbangan, pemvakuman, dan pengelasan.

Bahan-bahan yang akan dipergunakan sebagai bahan dasar kristal, ditimbang dengan perbandingan tertentu, kemudian dimasukkan ke dalam tabung pyrex. Tabung pyrex yang telah berisi bahan kemudian divakumkan hingga mencapai tekanan $\pm 3 \times 10^{-5}$ mbar dengan menggunakan pompa rotari dan pompa difusi. Pemvakuman tersebut dimaksudkan untuk memperkecil keberadaan gas-gas seperti oksigen, nitrogen, dan gas lainnya yang ada di dalam tabung *pyrex*. Hal ini perlu dilakukan agar unsur-unsur tersebut tidak ikut bereaksi ketika proses penumbuhan berlangsung karena akan mempengaruhi karakteristik dari kristal yang terbentuk.

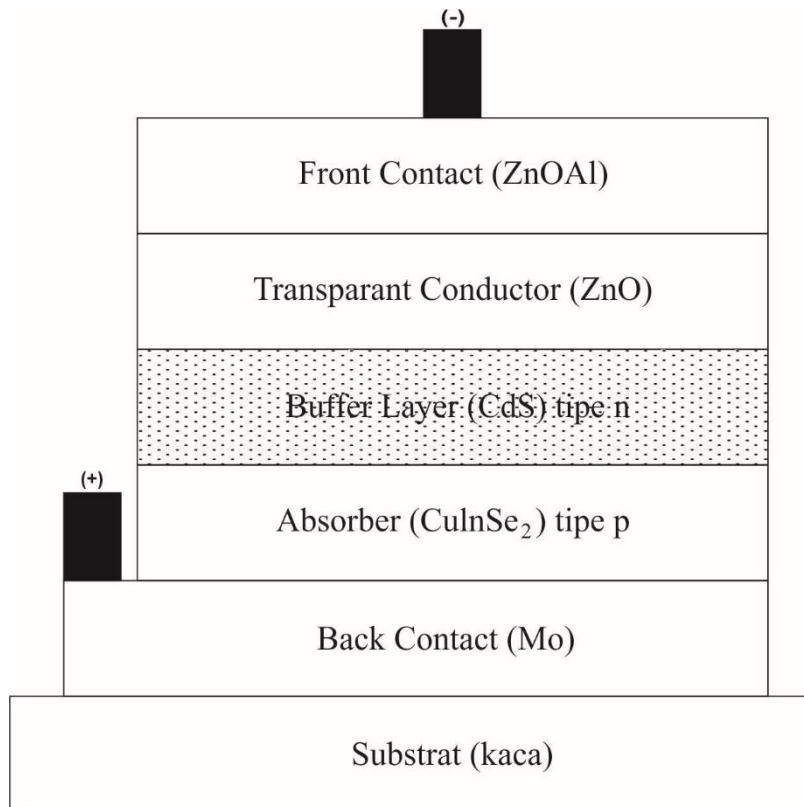
Tabung berisi bahan yang telah divakumkan, kemudian dilas, dan selanjutnya dipanaskan di dalam furnace. Pada proses ini temperatur pemanasan sangat perlu diperhatikan, karena akan mempengaruhi kualitas kristal yang terbentuk. Temperatur yang sangat tinggi membuat kristal dapat tumbuh dengan cepat, namun cacat kristal yang terbentuk juga akan lebih banyak. Akan tetapi jika temperaturnya sangat rendah, maka proses penumbuhan akan terjadi sangat lambat.

Pemilihan temperatur pemanasan biasanya berdasarkan diagram fasa dari bahan. Diagram fasa menyatakan keadaan kesetimbangan suatu sistem, dan dari diagram fasa ini dapat diketahui suhu kritis dari bahan. Penggunaan diagram fasa diharapkan mampu merancang “peta” alur pemanasan untuk bahan. Selain dengan menggunakan diagram fasa, alur pemanasan bahan dapat dilakukan berdasarkan titik lebur bahan.

Pemanasan bahan tidak dilakukan secara langsung ke titik lebur bahan yang paling tinggi, namun dilakukan secara berkala berdasarkan titik lebur masing-masing bahan tersebut. Bahan yang telah dipanaskan kemudian didinginkan secara perlahan agar atom-atom dalam bahan tersebut dapat tersusun secara teratur menempati kisi-kisinya membentuk suatu kristal. Kristal yang terbentuk dari hasil penumbuhan ini disebut *ingot* atau *massif*.

C. Sel Surya

Sel surya adalah elemen aktif yang dapat mengubah cahaya matahari langsung menjadi listrik. Prinsip kerja sel surya adalah memanfaatkan suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik (*fotovoltaik*). Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis. Struktur sel surya secara umum ditunjukkan oleh Gambar 9 (Rusminto, 2003).



Gambar 9. Struktur sel surya secara umum (Rusminto, 2003)

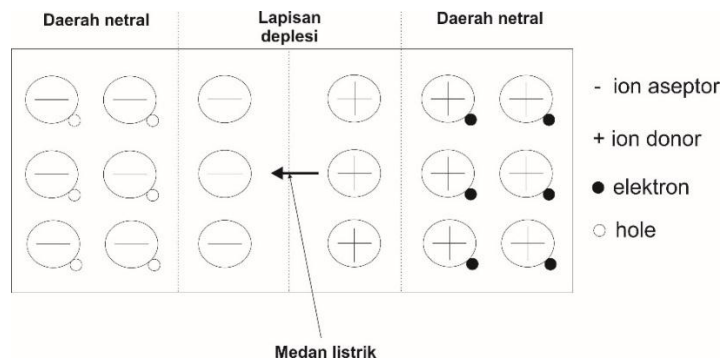
Sifat sel surya secara keseluruhan akan sangat ditentukan oleh sifat fisis tiap-tiap lapisan penyusunnya. Sifat-sifat fisis lapisan yang diteliti dan dihubungkan dengan efisiensi sel surya adalah struktur kristal, hambatan listrik, daerah panjang yang menyerap dan refleksinya, tingkat atau lebar daerah energi *gap* dan konsentrasi atau jenis pembawa muatannya. Secara umum, sifat fisis yang menentukan penggunaan bahan sel surya adalah sifat listrik dan sifat optiknya.

Perkembangan aplikasi sel surya dimulai oleh Einstein pada tahun 1912 yang menjelaskan mekanisme fotovoltaiik namun masih sebatas penelitian di laboratorium. Setelah perang dunia kedua, pada tahun 1950 dihasilkan sel surya yang pertama dengan bahan silicon yang mampu

memberikan efisiensi 4 %. Piranti tersebut merupakan sumber energi pertama sebuah satelit Amerika. Pada tahun 1970 setelah adanya krisis energi dunia, penelitian untuk memproduksi listrik pada kawasan luas terus dilakukan oleh para peneliti. Pada tahun 1979 telah dibangun pusat listrik tenaga surya terbesar 1 MW, kemudian 500 MW pada tahun 1995 dan lebih dari 1000 MW pada tahun 2000. Saat ini sel surya merupakan satu penyelesaian dalam persoalan energi terutama pada negara-negara yang banyak menerima radiasi matahari (Handayani, 2012).

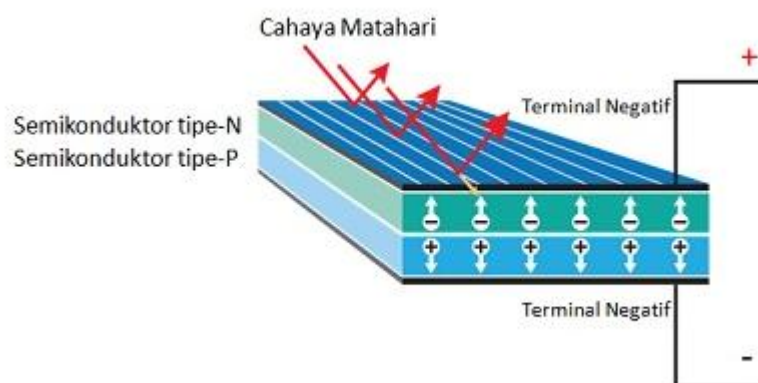
Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang dibuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Sel surya dapat dihubungkan secara seri atau paralel tergantung sifat penggunaannya. Sel surya yang paling sederhana adalah sambungan semikonduktor tipe-n dan tipe-p. Pada sambungan p-n terbentuk tiga daerah yang berbeda, seperti ditunjukkan Gambar 10 yaitu :

1. Daerah tipe-p yaitu mayoritas pembawa muatannya adalah *hole*.
2. Daerah tipe-n yang mayoritas pembawa muatannya adalah elektron.
3. Daerah perpotongan (*depleksi*), dimana terdapat medan listrik internal dengan arah dari n ke p.



Gambar 10. Proses pembentukan hubungan p-n (Reka Rio, 1982)

Elektron dan *hole* akan terbentuk jika radiasi gelombang elektromagnet dari cahaya matahari mengenai sel surya. Pengaruh medan listrik internal menyebabkan *hole* bergerak menuju ke P dan elektron akan bergerak ke n, sehingga keduanya menghasilkan arus fotodifusi. Pada daerah deplesi dapat terjadi pasangan *hole* dan elektron. Pasangan *hole* dan elektron pada daerah deplesi akan bergerak ke arah mayoritasnya karena dipengaruhi medan internal yang sama, sehingga menimbulkan arus energi (Reka Rio, 1982). Ilustrasi pembentukan energi dari cahaya matahari dijelaskan pada Gambar 11.

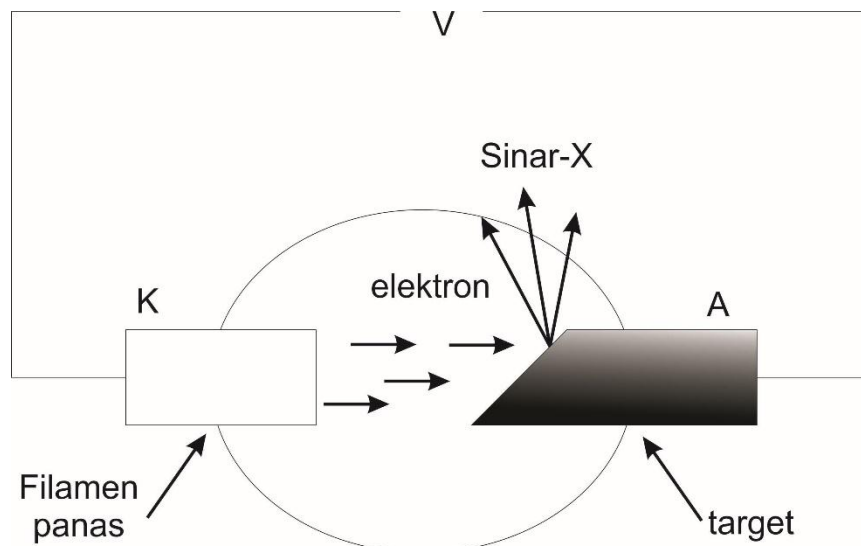


Gambar 11. Prinsip kerja sel surya (<https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya/>)

D. Karakterisasi Semikonduktor

1. XRD (X-Ray Diffraction)

Difraksi sinar-X memegang peranan penting untuk menganalisis struktur kristal. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengetahui susunan berbagai jenis atom dalam kristal, cacat pada kristal, orientasi, ukuran sunutir dan butir, serta kerapatan dan ukuran fasa. Sinar X adalah radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,1 nm. Sinar-X terjadi apabila satu berkas elektron berenergi tinggi ditembakkan dengan cepat pada logam (anoda) dalam tabung vakum. Biasanya logam mempunyai nomor atom tinggi sehingga logam dapat digunakan sebagai sumber sinar dengan daya tembus yang besar. Skematis pembangkit sinar-X dapat dilihat pada Gambar 12 (Arthur Beiser, 1992).

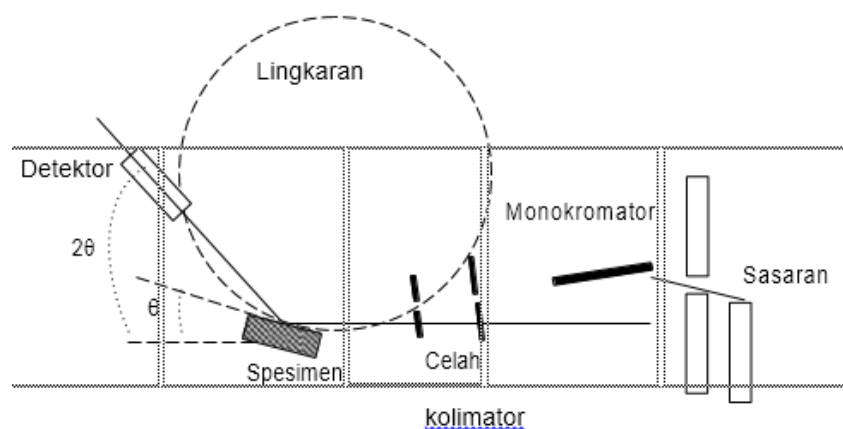


Gambar 12. Skema Pembangkit sinar-X (Arthur Beiser, 1992)

Anoda (A) yang terbentuk dari logam berat. Anoda dihubungkan dengan kutub positif tegangan tinggi. Beda potensial yang tinggi

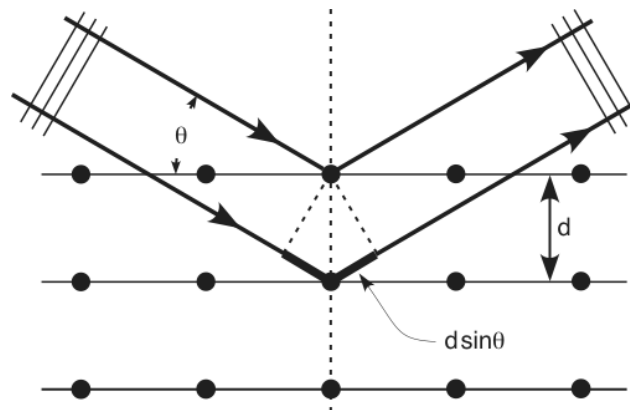
menyebabkan sampainya ke anoda sehingga elektron yang dipancarkan dari katoda memiliki energi kinetik yang sangat besar. Adanya tumbukan antara anoda dengan electron-elektron maka akan menimbulkan sinar-X. Katoda (K) yang dihubungkan dengan kutub negatif tegangan tinggi. Katoda yang dipanaskan dengan menggunakan filamen agar lebih mudah memancarkan elektron. Penempatan anoda maupun katoda dalam tabung vakum dimaksudkan agar perjalanan elektron dari katoda ke anoda tidak mendapatkan gangguan (Yusman, 2003 :58-63).

Rancangan skematik spektrometer sinar-X yang didasarkan atas analisis Bragg diperlihatkan pada Gambar 13. Seberkas sinar-X terarah jatuh pada kristal dengan sudut θ dan sebuah detektor diletakkan untuk mencatat sinar yang sudut hamburannya sebesar θ . Ketika θ diubah detektor akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde n yang divisualisasikan dalam difraktogram (Smallman, 2000:150).



Gambar 13. Skema dasar XRD (Smallman, 2000:150)

Syarat yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi maka dapat dilakukan perhitungan secara matematis sesuai dengan hukum Bragg (Muis,S., 2013:92). Prinsip Hukum Bragg diilustrasikan pada Gambar 14:



Gambar 14. Hamburan Sinar X (Muis,S.,2013:92)

Apabila seberkas sinar-X mengenai suatu bahan kristal, berkas ini akan difraksi oleh bidang atom dalam kristal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Besar sudut difraksi θ tergantung pada panjang gelombang λ berkas sinar-X dan jarak antar bidang:

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

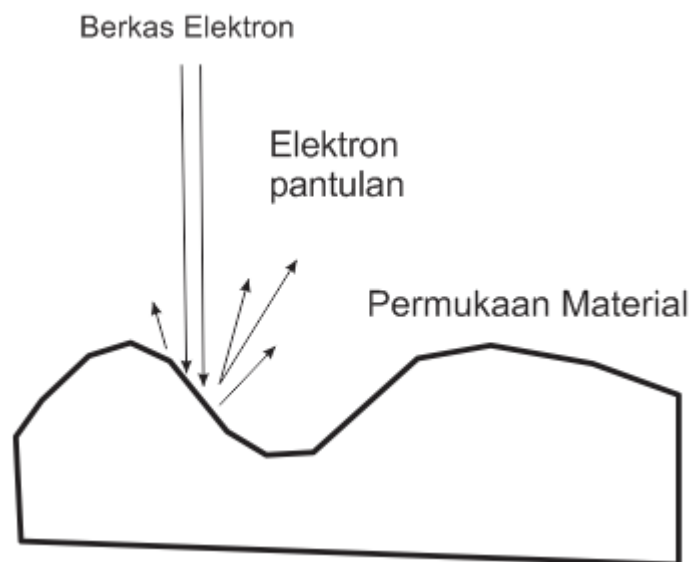
dengan n adalah bilangan bulat 1, 2, 3, ... yaitu disebut orde pembiasan, λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antar dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal.

Berdasarkan persamaan Bragg, apabila berkas dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang

dibiarkan akan ditangkap oleh detektor kemudian akan diterjemahkan sebagai puncak difraksi (Jiwani, Atmita, 2007:26).

2. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Struktur morfologi suatu bahan dapat diketahui secara langsung dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy*. Menurut Mikrajuddia Abdullah dan Dr. Khairurijal dalam bukunya menjelaskan bahwa, SEM adalah salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan permukaan benda dengan berkas elektron berenergi tinggi seperti ilustrasi Gambar 15 dibawah ini :



Gambar 15. Permukaan benda dengan berkas berenergi tinggi

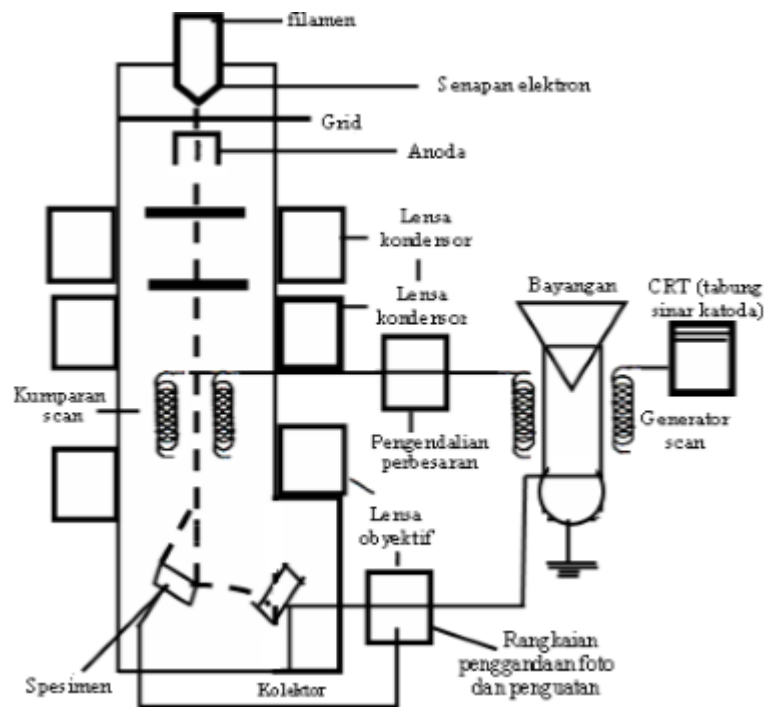
(Mikrajuddin, 2009: 2)

Permukaan benda yang dikenai berkas elektron akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Tetapi ada satu arah dimana berkas dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor didalam SEM mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi.

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 hasil SEM berupa *Scanning Electron Micrograph* yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar antara 1.000-40.000 kali. Hasil SEM yang berupa gambar topografi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan berbagai lekukan dan tonjolan (Karyani,Uli, 2010:37).

Prinsip kerja dari alat ini adalah sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (spesimen) 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 amplifiier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 16 (Smallman, 2000:157).



Gambar 16. Skema dasar SEM (Smallman, 2000:157)

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

Salah satu karakterisasi bahan semikonduktor dapat dilakukan menggunakan Energy Dispersive Analysis X-Ray (EDAX). EDAX merupakan instrumen yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia suatu bahan. Sistem analisis EDAX bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa Scanning Electron Microscopy (SEM). Prinsip kerja dari teknik ini adalah menangkap dan mengolah sinyal fluoresensi sinar-X yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (specimen). Sinar-X tersebut dapat dideteksi dengan

detektor zat padat, yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-X (Smallman, 2000:155).

Struktur suatu material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi jika suatu spesimen padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh tersebut sebagian akan dihamburkan sedang sebagian lagi akan diserap dan menembus spesimen. Bila spesimennya cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan dan beberapa elektron dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi, sementara sebagian lagi dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam spesimen menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dan elektron auger, yang semuanya dapat digunakan untuk mengkarakterisasi material. (Susanti,Lilik, 2013:28).

E. Kerangka Berfikir

Indonesia mengalami krisis energy yang melanda dunia. Bukti nyata krisis energy yang melanda Indonesia adalah pemadaman listrik bergilir yang sering terjadi di seluruh plosok negeri. Berdasarkan *blueprint* Pengelola Energi Nasional 2006-2025, pasokan energi di Indonesia masih didominasi oleh minyak bumi dan belum dimanfaatkan dengan baik sumber energi alternatif yang ada. Sumber energy alternative yang banyak dimiliki belum dimanfaatkan dengan baik seperti sel surya memiliki potensi sumber energy terbesar di dunia. Berbagai factor yang mempengaruhi tidak dimanfaatkannya sel surya dikarenakan harga bahan baku pembuatannya mahal. Oleh sebab itu, pada penelitian ini ingin mengetahui kualitas karakteristik bahan-bahan yang murah untuk membuat sel surya. Penelitian ini untuk mengetahui struktur

kristal dan morfologi permukaan bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}, \text{Te}_{0,5})$ dengan berbagai alur pemanasan. Alasan penelitian ini adalah belum ditemukan bahan preparasi terbaik yang akan digunakan untuk lapisan tipis semikonduktor yang dapat dimanfaatkan untuk bahan dasar sel surya. Adanya perubahan alur pemanasan diharapkan mendapatkan hasil preparasi bahan *massif* yang berbeda sehingga dapat diketahui hasil karakterisasi bahan terbaik untuk dapat digunakan untuk dikembangkan menjadi lapisan tipis sel surya.

Preparasi bahan semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}, \text{Te}_{0,5})$ dengan menggunakan metode Bridgman. Karakterisasi bahan dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi bahan tersebut berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara intensitas dan sudut yang terbentuk pada bidang mengetahui morfologi permukaan dan komposisi kimia bahan yang terbentuk menggunakan SEM dan EDAX. Hasil dari SEM berupa foto yang dapat dianalisis untuk mengetahui morfologi permukaan bahan dan EDAX dapat digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan yang dihasilkan dari preparasi bahan.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai bulan Februari 2018 sampai dengan bulan Mei 2018.

2. Tempat Penelitian

a. Laboratorium Fisika Material FMIPA UNY

Pembuatan sampel menggunakan metode Bridgman dengan proses evaporasi vakum kemudian difurnace untuk memperoleh 3 sampel dengan alur pemanasan yang berbeda dilakukan di Laboratorium Fisika Material UNY.

b. Laboratorium Kimia Analitik FMIPA UNY

Karakterisasi untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dengan *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan pada minggu awal Maret hingga awal bulan April dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik UNY.

c. Laboratorium LPPT UGM

Karakterisasi untuk mengetahui morfologi permukaan menggunakan *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) dan analisis komposisi kimia dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS). Karakterisasi dilakukan

pada minggu kedua April hingga minggu kedua Mei. Penelitian ini dilakukan di Lembaga Pusat Penelitian Terpadu UGM.

B. Variabel Penelitian

a. Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini yaitu alur pemanasan yang diberikan pada bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$.

b. Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah struktur kristal, parameter kisi, morfologi permukaan dan komposisi kimia bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah tekanan, waktu, dan massa bahan dasar.

C. Alat dan Bahan

1. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat preparasi dan perangkat karakterisasi bahan semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ yang meliputi:

a. Perangkat preparasi semikonduktor $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dengan metode Bridgman

1.) Pompa Vakum

Pompa Vakum ini digunakan untuk mengkosongkan bahan dalam tabung *pyrex*, sehingga gas didalam tabung dapat keluar. Sistem ini

menggunakan pompa rotari dan pompa difusi. Pompa rotari adalah jenis pompa vakum dengan sistem kerja berdasarkan pemampatan udara dalam ruang hampa yang terdiri dari rotary dan rotor yang mempunyai tekanan maksimal 10^{-3} torr, sedangkan pompa difusi adalah pompa yang system kerjanya berdasarkan pengembunan uap dan mempunyai tekanan maksimal 10^{-6} torr.

2.) Alat Pemanas

Alat yang digunakan untuk menumbuhkan kristal dengan melelehkan campuran bahan $Cd(S_{0,5} Te_{0,5})$ dengan suhu maksimal $1200^{\circ}C$ adalah *furnace* dengan merk Barndstead Thermolyne Seri 47900.

3.) Timbangan Analitik

Timbangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan digital merk Denver Instrument XE-310 dengan ketelitian 0,001 gram.

4.) Pengelas Kaca

Pengelasan kaca ini digunakan untuk mengelas tabung *pyrex* sehingga berbentuk kapsul sebelum dimasukkan ke *furnace*.

5.) Alat Tambahan

Selain alat-alat yang telah disebutkan diatas terdapat alat-alat penunjang lain, diantaranya penghalus kristal, gunting, penjepit dan tang.

b. Perangkat karakterisasi bahan semikonduktor

1.) XRD (X-Ray Diffraction)

XRD yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal yang terbentuk dan parameter kisi.

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

SEM dan EDAX untuk mengetahui komposisi kimia bahan dan morfologi permukaan bahan massif Cd(S_{0,5} Te_{0,5}).

2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. Cadmium

- 1.) Nomor atom : 48
- 2.) Warna : Logam kebiruan
- 3.) Berat atom : 112,41 gram/mol
- 4.) Titik Leleh : 594,22K (321,07 C)
- 5.) Titik didih : 1040 k (767 C)
- 6.) Struktur kristal : Hexagonal

b. Sulfur

- 1.) Nomor atom : 16
- 2.) Warna : kuning
- 3.) Berat atom : 32,065
- 4.) Titik Leleh : 388,2 K (115,2 C)
- 5.) Titik didih : 717,6 K (444,6 C)
- 6.) Struktur kristal : Orthorombic

c. Tellium

- 1.) Nomor atom : 52
- 2.) Warna : Hitam keabu-abuan

- 3.) Berat atom : 127,6 gram/mol
 - 4.) Titik Leleh : 722,66 K (449,5 C)
 - 5.) Titik didih : 1261 K (988 C)
 - 6.) Struktur kristal : Kubik
- d. Tabung *Pyrex*
 - e. Larutan HF 10%, Alkohol, air dan tissue.
 - f. Plastik tempat sampel.

D. Teknik Pengambilan Data

1. Preparasi penumbuhan kristal

a. Tahap Preparasi Bahan

- 1.) Tabung *pyrex* dibersihkan dengan menggunakan sabun agar kerak pengotor dapat terlepas dari tabung kemudian dibersihkan dengan air. Setelah dengan air disterilkan dengan menggunakan alkohol dan dikeringkan dengan dipanggang sebentar pada *furnace* suhu rendah.
- 2.) Disiapkan bahan yaitu Cadmium, Sulfur dan Tellurium.
- 3.) Penimbangan bahan

Proses penimbangan dilakukan pada masing-masing bahan unsur menggunakan perbandingan mol. Adapun berat Cd=112,41 gram, S=32,064 gram dan Te = 127,6 gram. Dengan mengacu pada berat atom maka perbandingan massanya sebagai berikut:

$$\text{Cd} = a \text{ gram}$$

$$S = \left(\frac{\text{Massa Cd}}{\text{Berat ato Cd}} \times \text{Berat atom S} \right) \times \frac{1}{2} \text{ gram}$$

$$\text{Te} = \left(\frac{\text{Massa Cd}}{\text{Berat ato Cd}} \times \text{Berat atom Te} \right) \times \frac{1}{2} \text{ gram}$$

4.) Bahan yang telah ditimbang dimasukkan kedalam tabung *pyrex*.

5.) Pemvakuman

Proses pemvakuman tabung *pyrex* yang telah diisi dengan bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) membutuhkan waktu 3 jam untuk mencapai tekanan 3-4 x 10⁻⁵ torr.

6.) Pengelasan

Proses ini adalah proses pengelasan tabung *pyrex* yang sudah selesai di vakum mencapai tekanan terkecil . Pengelasan tabung ini bertujuan agar bahan yang ada didalam tabung tidak bereaksi dengan bahan lain yang dapat mengganggu proses penumbuhan kristal.

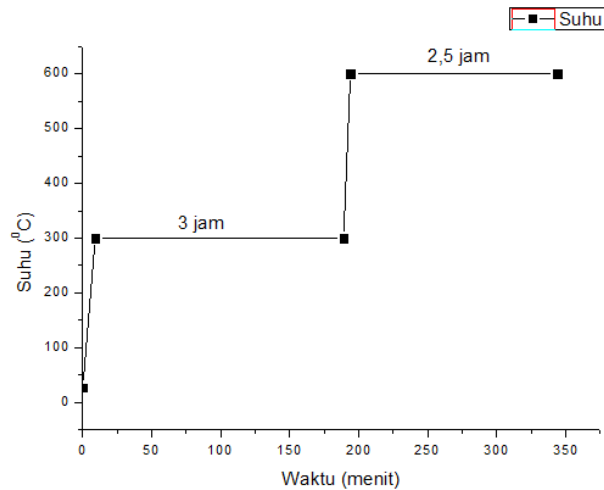
b. Tahap Pemanasan Bahan

Pada tahap ini, bahan yang telah selesai divakum kemudian digelaskan dan dipanaskan sesuai alur pemanasan yang digunakan dan suhu disesuaikan dengan titik lebur masing-masing bahan. Adapun langkah-langkah pemanasan sebagai berikut:

- 1.) Bahan kapsul Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dimasukkan ke dalam furnace.
- 2.) Saklar ON dihidupkan pada alat furnace.
- 3.) Suhu diatur dengan menekan tombol OUT untuk menetapkan suhu yang diinginkan kemudian mengunci dengan tombol MD.
- 4.) Setelah itu suhu diatur sesuai alur pemanasan yang telah ditentukan.
- 5.) Tekan saklar OFF untuk mematikan furnace setelah selesai pemanasan bahan.

Pemanasan Sampel 1

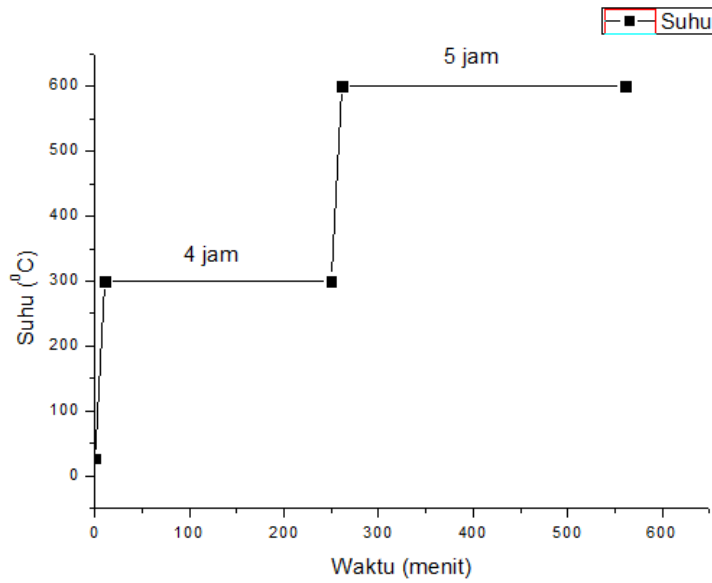
Sampel 1 dipanaskan dari suhu ruangan 27°C hingga 300°C kemudian ditahan pada suhu 300°C selama 3 jam. Kemudian dari suhu 300°C dinaikkan menjadi 600°C dan ditahan selama 2,5 jam. Setelah pemanasan sampel 1 selesai dikembalikan pada suhu awal.



Gambar 17. Pola pemanasan sampel 1

Pemanasan Sampel 2

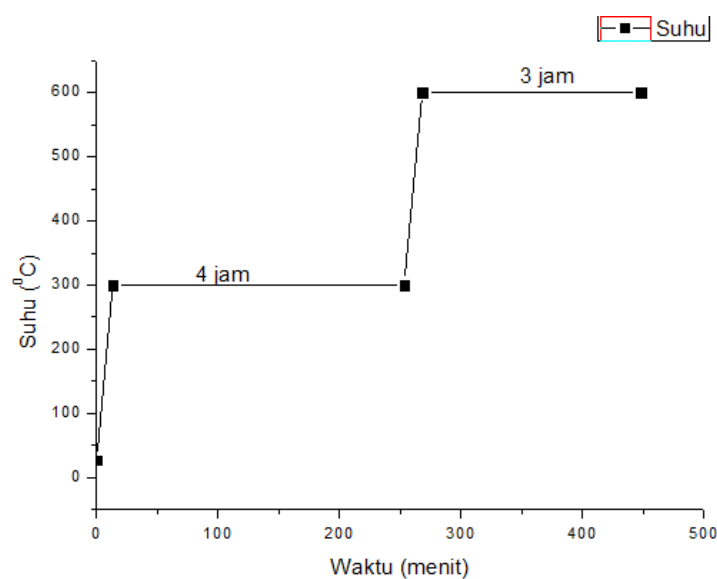
Sampel 2 dipanaskan dari suhu ruang 27°C hingga 300 °C pada suhu ini ditahan selama 4 jam . Kemudian pada suhu 300 °C dinaikkan menjadi suhu 600 °C, bahan ditahan pada suhu 600°C selama 5 jam. Setelah selesai pemanasan sampel 2, furnace dimatikan untuk kembali ke suhu awal.



Gambar 18. Pola Pemanasan Sampel 2

Pemanasan Sampel 3

Sampel 3 dipanaskan dari ruang 27°C hingga 300 °C pada suhu 300 °C ditahan selama 4 jam. Kemudian pada suhu 300 °C dinaikkan menjadi suhu 600 °C, ditahan selama 3 jam pada suhu 600°C. Setelah itu furnace dimatikan untuk kembali pada suhu awal



Gambar 19. Pola Pemanasan Sampel 3

2. Karakterisasi Bahan Semikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5})

a. Struktur Kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan XRD

Langkah-langkah karakterisasi dengan XRD sebagai berikut :

- 1.) Mempersiapkan sampel yang akan dikarakterisasi.
- 2.) Tempat sampel dibersihkan dari debu-debu dan memasukkan sampel yang telah disiapkan ketempat sampel, selanjutnya memasang sampel pada specimen chamber mesin XRD dan mencetak hasil uji.

b. Morfologi Permukaan dengan SEM dan Komposisi Kimia dengan EDAX

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut:

- 1.) Sebuah pistol elektron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
- 2.) Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel.
- 3.) Sinar elektron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- 4.) Ketika elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT)

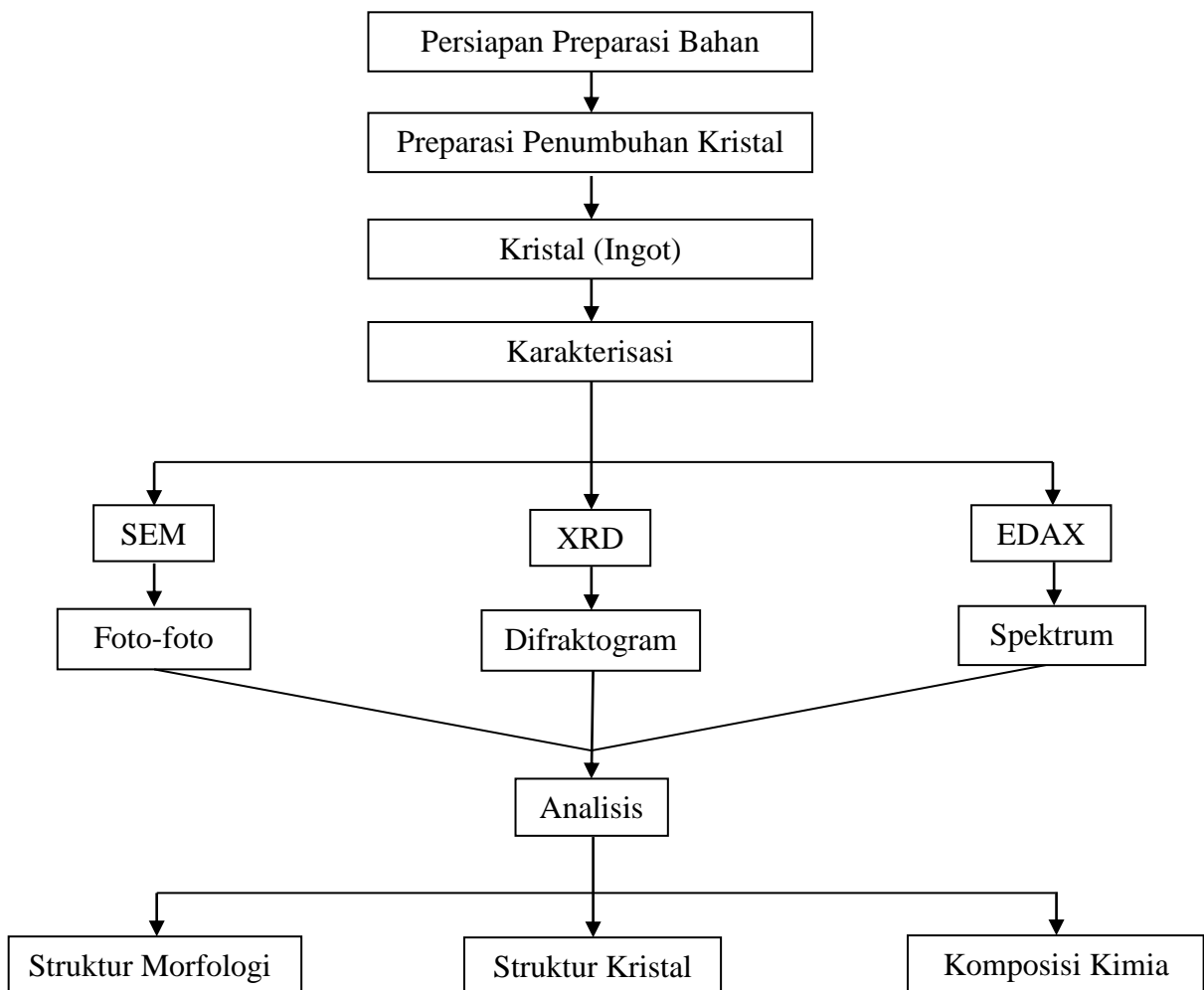
E. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari karakterisasi dengan menggunakan XRD adalah hubungan antara intensitas dengan sudut difraksi 2θ , hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan standar JCPDS (*Join Commite on Powder Diffraction Standards*), sehingga diperoleh bidang-bidang hkl dari sampel sedangkan untuk mengetahui nilai dari parameter kisi (a, b dan c) yang

terbentuk dapat dilakukan dengan metode analitik dan untuk mengetahui hasil karakterisasi SEM dan EDAX diperoleh perbandingan komposisi kimia serta foto morfologi permukaan dari sampel.

F. Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Gambaran tentang langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat melalui diagram alir pada Gambar 20 .



Gambar 20. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penumbuhan Kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan Teknik Bridgman

Pada penelitian ini telah dibuat tiga buah *massif* bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan menggunakan metode Bridgman untuk diaplikasikan menjadi bahan sel surya. Penumbuhan kristal dimulai dengan menentukan perbandingan massa Cadmium (Cd), Sulfur (S), dan Tellerium (Te) yaitu 1 : 0,5 : 0,5

Pemanasan dilakukan secara bertahap dengan alur pemanasan yang berbeda pada setiap sampel bahan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pembentukan bahan kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan kualitas kristal yang terbaik. Preparasi diawali dengan menimbang bahan dasar Cd, S, dan Te sesuai perbandingan molar. Sampel ditimbang sesuai perhitungan yang telah dibahas pada Bab 3, yaitu Cd = 0,75 gram, S = 0,106 gram, dan Te = 0,425 gram. Ketiga bahan dasar dimasukkan ke dalam tabung *pyrex* kemudian divakum untuk

mengeluarkan bahan lain yang ada dalam tabung dengan tekanan mencapai $3-4 \times 10^{-5}$ mbar. Setelah vakum selesai, tabung *pyrex* di las pada salah satu ujungnya hingga membentuk suatu kapsul. Kapsul berisi bahan dasar yang sudah divakum siap untuk dipanaskan. Kapsul tersebut dimasukkan ke dalam *furnace* dengan variasi alur pemanasan.

Proses penumbuhan kristal dilakukan dengan menggunakan tiga alur pemanasan yang berbeda. Alur pemanasan 1 disebut sampel 1 dipanaskan dari suhu ruangan 27°C hingga 300°C kemudian ditahan pada suhu 300°C selama 3 jam. Kemudian dari suhu 300°C dinaikkan menjadi 600°C dan ditahan selama 2,5 jam. Setelah pemanasan sampel 1 selesai dikembalikan pada suhu awal. Alur Pemanasan 2 di sebut sampel 2 dipanaskan dari suhu ruang 27°C hingga 300°C pada suhu ini ditahan selama 4 jam . Kemudian pada suhu 300°C dinaikkan menjadi suhu 600°C , bahan ditahan pada suhu 600°C selama 5 jam. Setelah selesai pemanasan sampel 2, *furnace* dimatikan untuk kembali ke suhu awal. Alur pemanasan 3 di sebut sampel 3 dipanaskan dari ruang 27°C hingga 300°C pada suhu 300°C ditahan selama 4 jam. Kemudian pada suhu 300°C dinaikkan menjadi suhu 600°C , ditahan selama 3 jam pada suhu 600°C . Setelah itu *furnace* dimatikan untuk kembali pada suhu awal

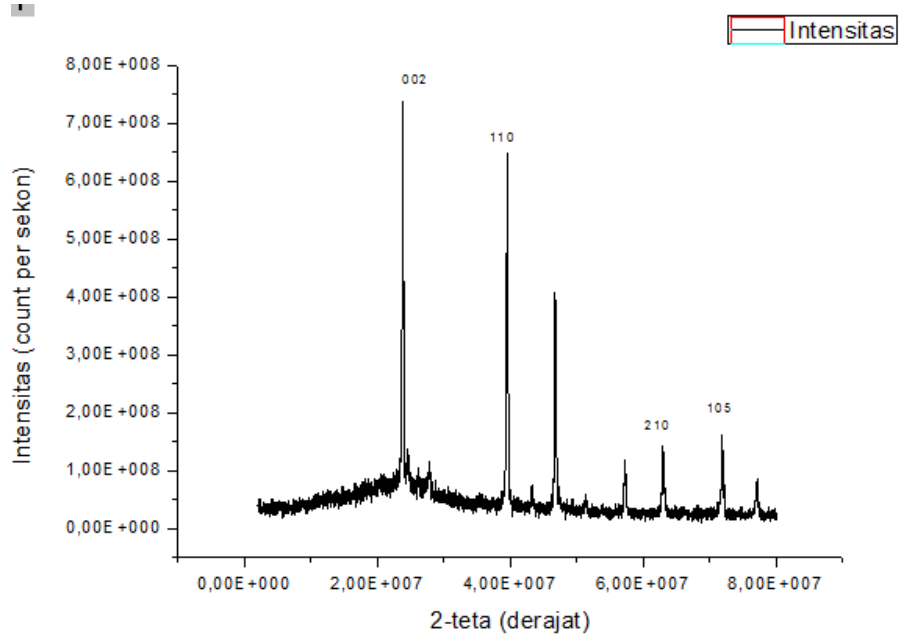
Ketiga sampel yang telah selesai dipanaskan kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui kualitas kristal yang terbentuk. Hasil *massif* $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*).

B. Pengaruh Alur Pemanasan Terhadap Struktur Kristal dan Parameter kisi $\text{Cd}(\text{S}_{0,5}\text{Te}_{0,5})$ dengan Karakterisasi XRD

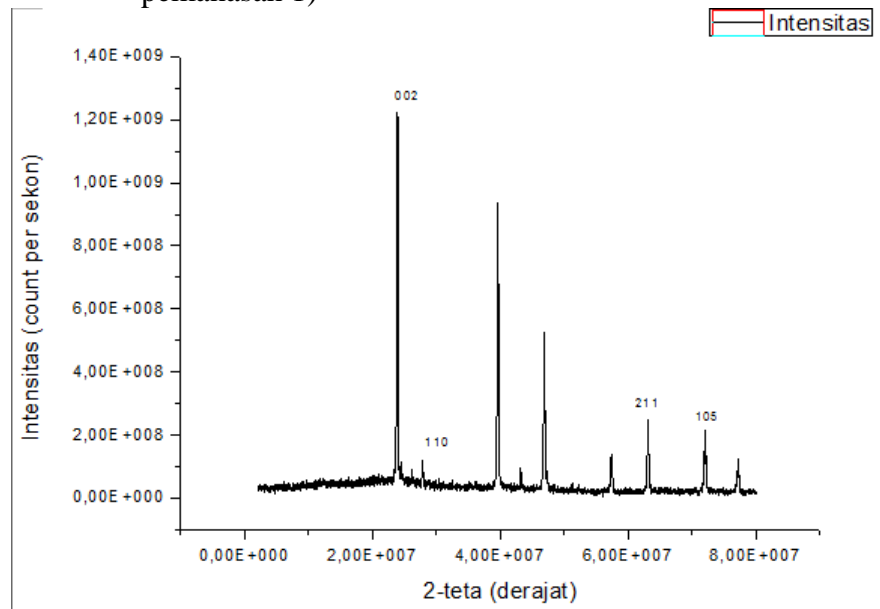
Bahan *massif* $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dikarakterisasi menggunakan XRD. Karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dan parameter kisi dari kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$. Prinsip kerja XRD yaitu sampel diletakan pada pegangan stasioner kemudian sinar -X dikenakan pada sampel dengan panjang gelombang tertentu. Sinar X yang dikenai sampel pada intensitas tertentu mengalami difraksi gelombang pada bidang yang berjarak d dan membentuk sudut 2θ yang memenuhi hukum Bragg.

Hasil XRD berupa *difratogram* yang dapat dianalisis puncak-puncak tertinggi pada intensitas tertentu kemudian dapat dibandingkan dengan data JCPDS. Hasil perbandingan *difraktogram* $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ menggunakan data JCPDS CdS dan JCPDS CdTe, dapat diketahui bahwa bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ yang terbentuk merupakan polikristal dan mempunyai struktur heksagonal dengan nilai parameter kisi ($a = b \neq c$) dan sudut ($\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$) (Nyoman S, 1989: 13) dan mempunyai parameter kisi $a = b \neq c$. Parameter kisi dianalisis menggunakan metode perhitungan analitik pada (Lampiran 1 dan Lampiran 2).

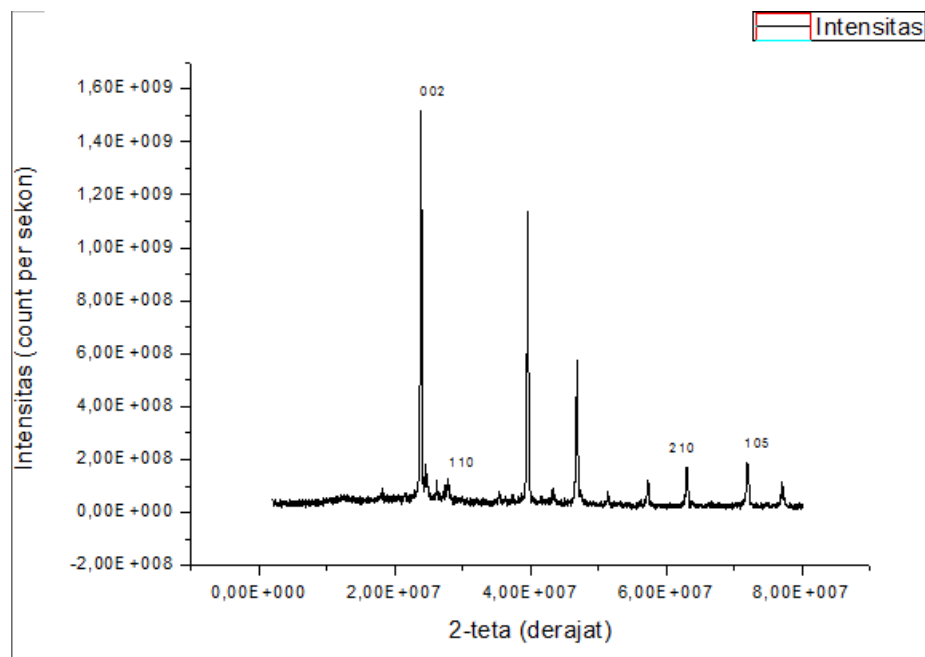
Menurut hukum Bragg, pergeseran sudut yang terjadi juga menunjukkan jarak antara bidang d_{hkl} dari kristal dan pergeseran tersebut juga akan mempengaruhi nilai parameter kisi (a , b , dan c) yang terbentuk. Hasil *difratrogram* bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dianalisis menggunakan metode analitik kemudian dibandingkan dengan data JCPDS CdS dan CdTe. Difraktogram dari masing-masing sampel memiliki hasil yang berbeda. Hasil preparasi bahan dengan alur pemanasan 1, 2, dan 3 menghasilkan *difraktogram* seperti pada Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23.



Gambar 21. .Difraktogram kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 1 (alur pemanasan 1)



Gambar 22. .Difraktogram kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 2 (alur pemanasan 2)



Gambar 23. .Difraktogram kristal Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 3 (alur pemanasan 3)

Analisis data hasil karakterisasi XRD bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dibandingkan dengan data JCPDS CdS dan CdTe. Hasil perbandingan data dari ketiga sampel dengan JCPDS seperti pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Perbandingan data penelitian bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 1 dengan data JCPDS

Bahan Cd(S _{0,5} Te _{0,5})		JCPDS CdS			JCPDSCdTe		
2θ	I	2θ	I	Hkl	2θ	I	Hkl
23,799	1001	-			23,727	100	002
39,506	1023	-			39,256	100	110
46,708	732	-			-		
57,17	191	57,244	30	012	-		
62,937	266	-			62,647	25	210
71,875	335	-			71,282	30	105
77,1	148	-					

Tabel 3 Perbandingan data penelitian bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 2 dengan data JCPDS

Bahan Cd (S _{0,5} Te _{0,5})		JCPDS CdS			JCPDSCdTe		
2θ	I	2θ	I	Hkl	2θ	I	Hkl
23,904	1541	-			23,727	100	002
27,81	70	-			-		
39,598	1397	-			39,256	100	110
43,173	74	-			-		
46,844	873	-			-		
57,367	226	57,244	30	012	-		
63,045	378	63,202	20	211	63,647	25	211
71,998	398	-			71,282	30	105
77,191	188	-			-		

Tabel 4. Perbandingan data penelitian bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) sampel 3 dengan data JCPDS

Bahan Cd (S _{0,5} Te _{0,5})		JCPDS CdS			JCPDS CdTe		
2θ	I	2θ	I	Hkl	2θ	I	Hkl
23,837	2199	-			23,727	100	002
24,49	237	-			-		
26,182	106	26,228	30	001	39,256	100	110
27,85	252	-			-		
39,546	1764	-			-		
43,25	127	-			-		
46,764	1060	-			-		
57,243	244	57,244	30	012	-		
62,936	371	-			62,084	25	210
71,888	460	-			71,282	30	105
77	207	-			-		

Berdasarkan hasil perbandingan data XRD dengan JCPDS CdS dan CdTe menunjukkan bahwa puncak difraksi bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) cenderung mirip dengan bahan CdTe yang memiliki struktur kristal heksagonal. Ketiga sampel menunjukkan hasil yang sama puncak difraksi muncul hampir sama dengan data

JCPDS CdTe. Sehingga, dapat diartikan bahwa alur pemanasan yang berbeda tidak mempengaruhi struktur kristal yang terbentuk.

Analisis data XRD dapat digunakan untuk menentukan nilai parameter kisi pada bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$. Hasil perhitungan parameter kisi menggunakan metode analitik terdapat pada Lampiran 1. Berdasarkan hasil perhitungan parameter kisi dapat dibandingkan dengan data JCPDS CdTe dan CdS seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

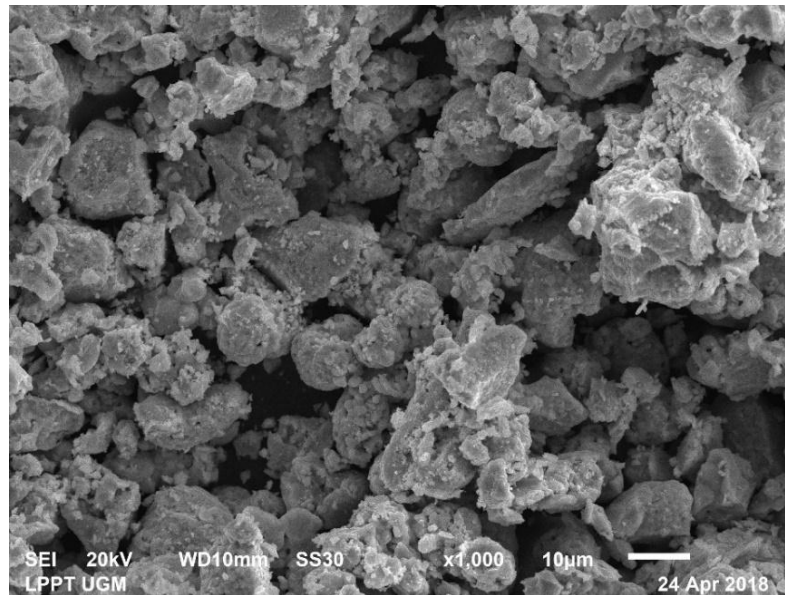
Tabel 5. Perbandingan parameter kisi kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ hasil preparasi pada ketiga alur pemanasan dengan JCPDS CdTe

Parameter Kisi	Alur Pemanasan			JCPDS CdTe
	Alur Pemanasan 1	Alur Pemanasan 2	Alur Pemanasan 3	
\bar{G}	4,550 A°	4,538 A°	4,533 A°	4,58 A°
C	7,902 A°	7,944 A°	7,902 A°	7,50 A°
Struktur	Heksagonal	Heksagonal	Heksagonal	Heksagonal

Hasil perbandingan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa parameter kisi bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dari ketiga alur pemanasan memiliki nilai yang mendekati sama dengan nilai parameter kisi JCPDS CdTe. Hal tersebut, karena bahan yang digunakan memiliki kandungan Te lebih dominan dari pada bahan S. Nilai parameter kisi CdS lebih kecil dari pada bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ karena suhu yang digunakan terlalu tinggi dari titik leleh bahan S. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi alur pemanasan tidak mempengaruhi nilai parameter kisi bahan.

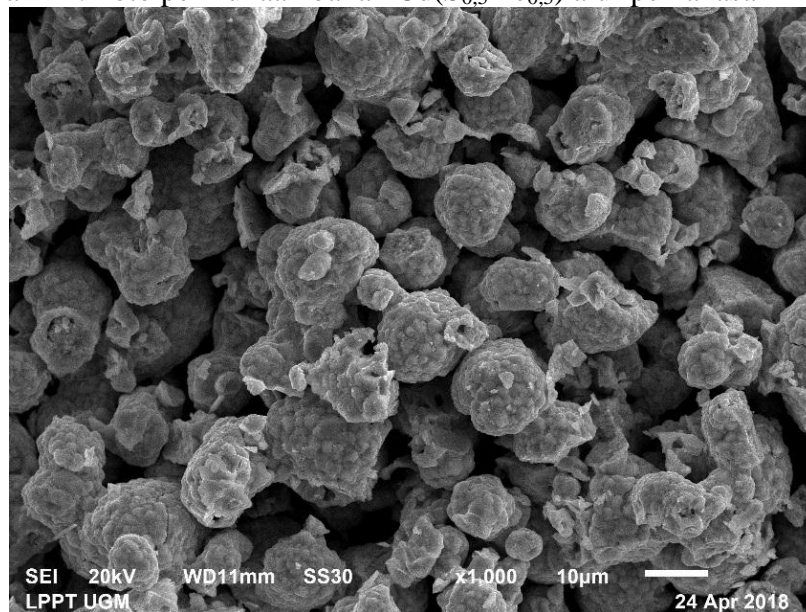
C. Hasil Karakterisasi Morfologi Permukaan Bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Karakterisasi SEM dilakukan pada sampel 1 dan sampel 2. Hasil pengamatan permukaan bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dengan perbesaran 1000x ditunjukkan pada Gambar 24 dan Gambar 25.



Perbesaran 1000x

Gambar 24 . Foto permukaan bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ alur pemanasan 1

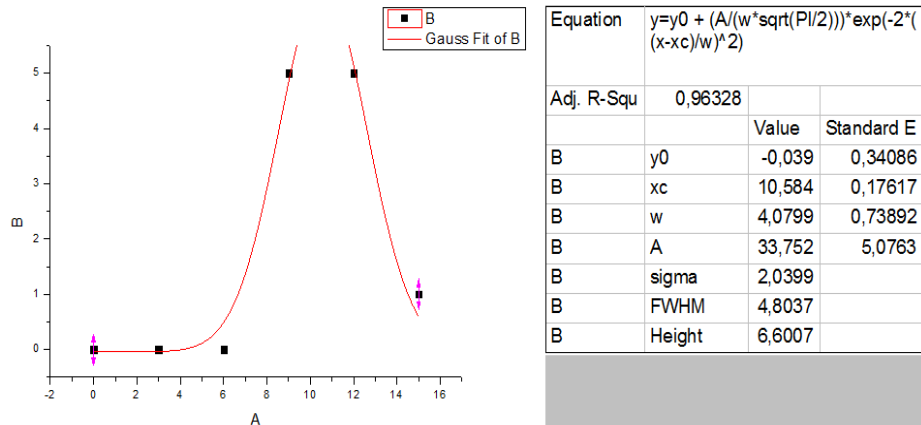


Perbesaran 1000x

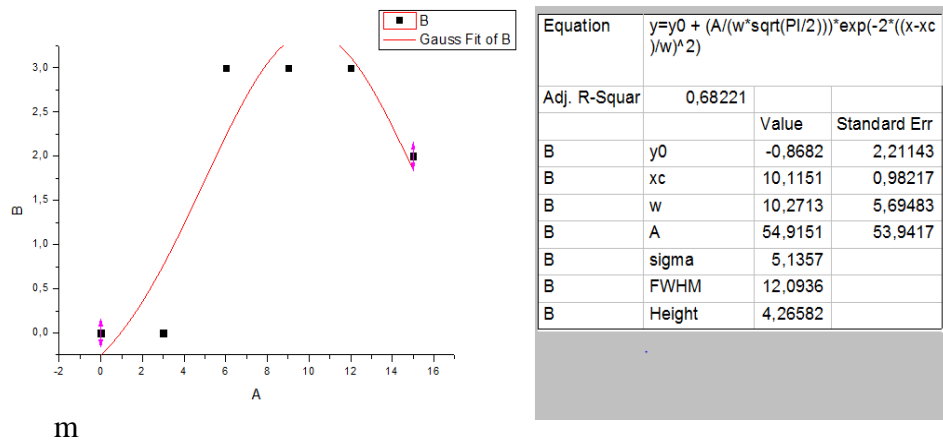
Gambar 25. Foto permukaan bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ alur pemanasan 2

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan massif bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$. Hasil SEM menunjukkan bahwa kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ adalah homogen, yang ditandai dengan bentuk dan warna yang sama seperti pada

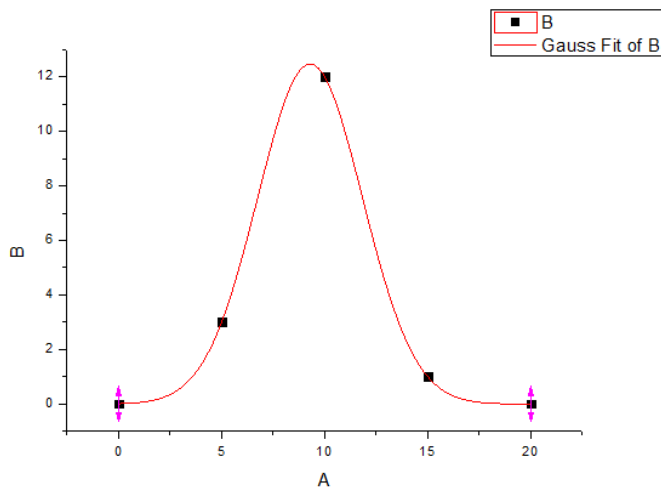
Gambar 24 dan Gambar 25. Hasil SEM tersebut digunakan untuk menghitung ukuran kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$. Hasil perhitungan ukuran kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dijelaskan pada Lampiran 8, kemudian diplotkan menjadi grafik seperti Gambar 26 dan Gambar 27.



(a) Sumbu X

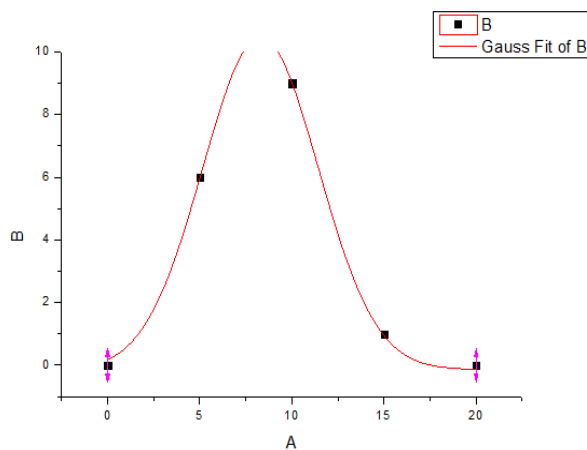


bar 26. Grafik ukuran kristal sampel 1



Equation	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{PI/2})) * \exp(-2*((x-xc)/w)^2)$		
Adj. R-Squar	1		
		Value	Standard Erro
B	y0	-0,00874	0,00716
B	xc	9,2924	0,00558
B	w	5,0891	0,00891
B	A	79,6144	0,14592
B	sigma	2,54455	
B	FWHM	5,99196	
B	Height	12,4821	

(a) Sumbu X



Equation	$y=y_0 + (A/(w*\sqrt{PI/2})) * \exp(-2*((x-xc)/w)^2)$		
Adj. R-Squ	0,99675		
		Value	Standard E
B	y0	-0,134	0,2032
B	xc	8,2973	0,10552
B	w	6,2751	0,37744
B	A	83,413	4,33649
B	sigma	3,1375	
B	FWHM	7,3884	
B	Height	10,606	

(b) Sumbu Y

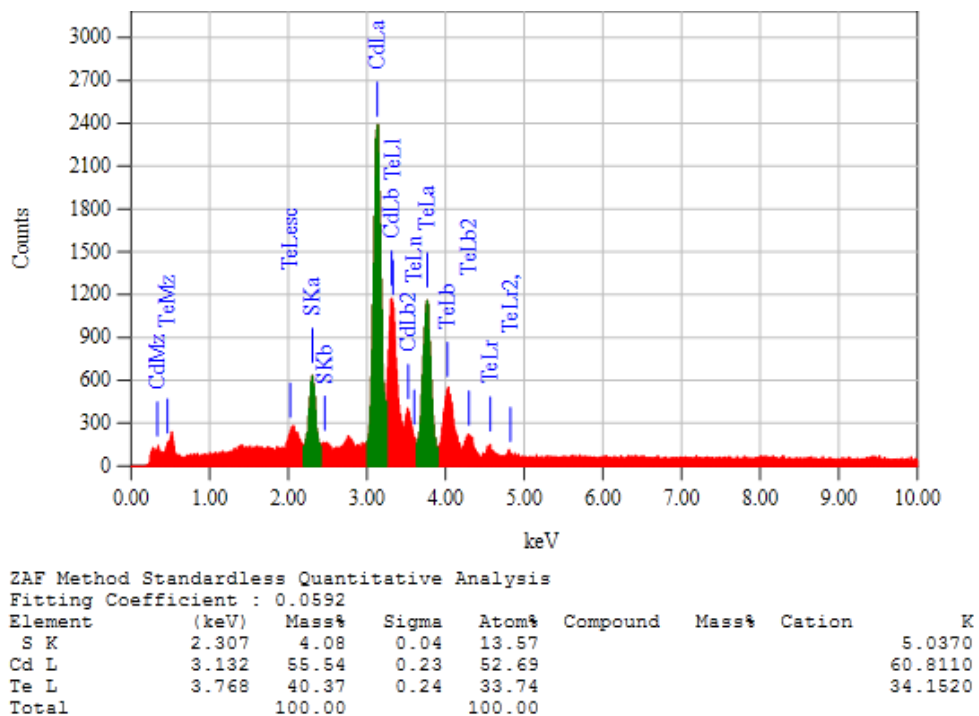
Gambar 27. Grafik ukuran kristal sampel 2

Ukuran kristal pada sampel 1 adalah $X = 10,584 \pm 0,176$ mikron dan $Y = 10,115 \pm 0,982$ mikron. Ukuran kristal pada sampel 2 adalah $X = 9,292 \pm 0,005$ mikron dan $Y = 8,297 \pm 0,105$ mikron. Alur pemanasan bahan *massif* Cd(S_{0,5}Te_{0,5}) mempengaruhi morfologi permukaan yang terbentuk. Hasil preparasi

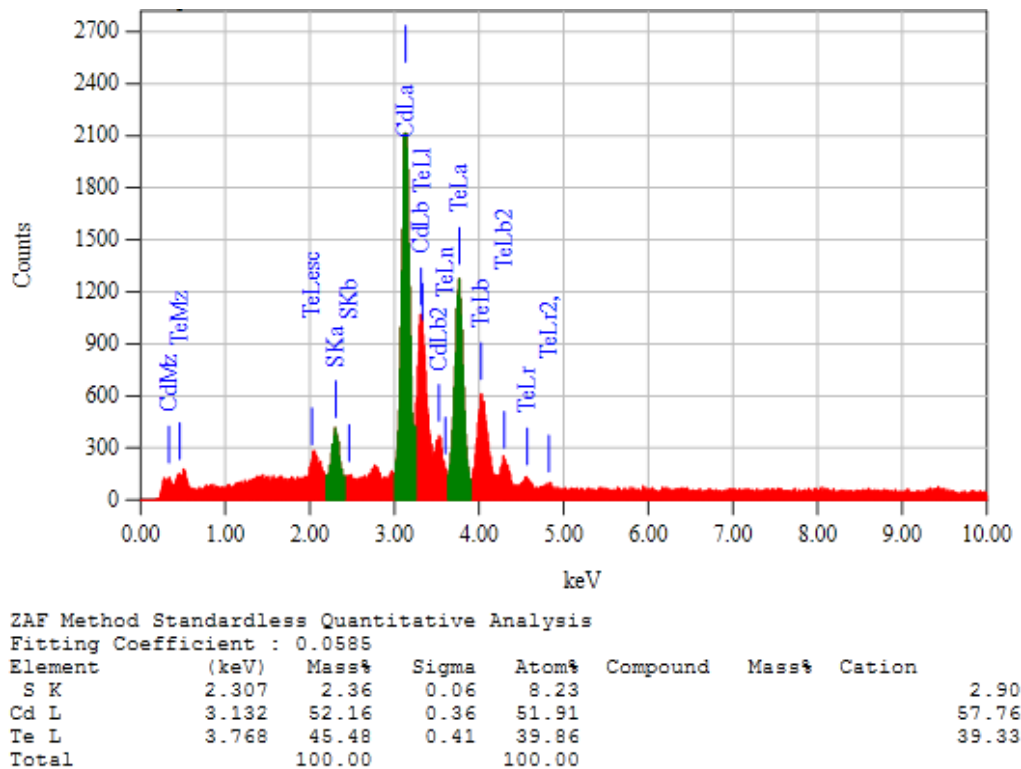
sampel2 menghasilkan morfologi permukaan yang lebih homogen dibandingkan dengan sampel 1. Hal ini dikarenakan sampel 2 mengkondisikan suhu konstan dengan jangka waktu yang lebih lama dari pada sampel 1. Hal tersebut menunjukkan bahwa pembentukan kualitas kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ lebih baik saat suhu konstan dengan waktu yang lama.

D. Hasil Karakterisasi Komposisi Kimia *massif* $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ menggunakan EDAX (*Energy Dispersive Analysis X-Ray*)

Karakterisasi EDAX digunakan untuk mengetahui komposisi kimia bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$. Hasil karakterisasi EDAX ditunjukkan pada Gambar 28 dan Gambar 29.



Gambar 28 . Grafik hubungan antara Intensitas dengan Energi hasil karakterisasi EDAX *massif* $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ pada alur pemanasan 1



Gambar 29 . Grafik hubungan antara Intensitas dengan Energi hasil karakterisasi EDAX *massif* Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) pada alur pemanasan 2

Hasil karakterisasi menggunakan EDAX dapat digunakan untuk mengetahui perbandingan prosentase komposisi kimia bahan dasar. Berikut ini perbandingan komposisi kimia dari hasil *massif* bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan alur pemanasan yang berbeda, seperti Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Molaritas unsur Cd , S dan Te

Kosentrasi Unsur %				Perbandingan unsur mol			
Bahan	Teori	Sampel 1	Sampel 2	Bahan	Teori	Sampel 1	Sampel 2
Cd	50	52,69	51,91	Cd	1	1	1
S	25	13,57	8,23	S	0,5	0,3	0,2
Te	25	33,74	39,86	Te	0,5	0,6	0,8

Hasil EDAX menunjukkan perbandingan prosentase komposisi kimia unsur Cd : S : Te pada alur pemanasan 1 yaitu 1 : 0,26 : 0,64 sedangkan alur

pemanasan 2 memiliki perbandingan 1 : 0,16 : 0,77. Secara teori perbandingan mol yang digunakan adalah 1 : 0,5 : 0,5. Hasil preparasi bahan *massif* Cd(S_{0,5}Te_{0,5}) tidak sesuai dengan teori. Ketidaksesuaian ini dapat dikarenakan belum sempurnanya preparasi sehingga dimungkinkan masih terdapat unsur-unsur lain yang tersisa di dalam campuran bahan serta bahan Te yang digunakan untuk preparasi lebih dominan .

Perbandingan komposisi kimia hasil preparasi sampel 1 yaitu 1 : 0,3 : 0,6 dan sampel 2 yaitu 1 : 0,2 : 0,8. Dari hasil tersebut menunjukkan pada sampel 1 terjadi kehilangan unsur sebesar 0,1 , sedangkan pada sampel 2 tidak terjadi kehilangan unsur.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data hasil karakterisasi preparasi bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dengan menggunakan metode Bridgman, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil data XRD, penumbuhan kristal dengan metode Bridgman dapat dilakukan dengan baik dengan berbagai alur pemanasan. Kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ yang terbentuk merupakan polikristal dengan struktur kristal hexagonal.
2. Penelitian ini alur pemanasan yang bervariasi tidak mempengaruhi struktur kristal dan nilai parameter kisi bahan $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ dari perhitungan analitik. Nilai parameter kisi yang terbentuk pada sampel 1 $a = 4,550 \text{ \AA}$; $c = 7,902 \text{ \AA}$, untuk sampel 2 $a = 4,538 \text{ \AA}$; $c = 7,944 \text{ \AA}$, dan untuk sampel 3 $a = 4,533 \text{ \AA}$; $c = 7,902 \text{ \AA}$.
3. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa alur pemanasan berpengaruh terhadap morfologi permukaan kristal dan komposisi kimia $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ yang terbentuk. Alur pemanasan 2 menghasilkan morfologi permukaan yang lebih homogen dari pada alur pemanasan 1. Kualitas kristal yang baik terbentuk pada waktu pemanasan yang lebih lama. Perbandingan komposisi kimia alur pemanasan pertama yaitu 1 : 0,3 : 0,6 dan alur pemanasan kedua 1 : 0,2 : 0,8

B. Saran

Untuk menghasilkan kualitas kristal $\text{Cd}(\text{S}_{0,5} \text{Te}_{0,5})$ yang lebih baik dari preparasi dengan metode Bridgman untuk aplikasi sel surya dapat disarankan beberapa hal diantaranya yaitu :

1. Dalam proses preparasi bahan, sebaiknya menggunakan tabung yang memiliki titik lebur lebih tinggi untuk mengurangi terjadinya retakan atau ledakan pada proses pemanasan.
2. Proses pemvakuman dilakukan mencapai tekanan yang lebih tinggi lagi untuk meminimalisir adanya unsur oksigen dalam proses preparasi.
3. Proses Pemanasan pada preparasi dibutuhkan waktu yang lebih lama sehingga perpaduan dapat berinteraksi secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardhi, Astri Irnawati, *Pengaruh Alur Pemanasan pada Preparasi Struktur dan Komposisi Kimia Bahan Sel Surya Cd(Se_{0,2} S_{0,8}) dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. 2015. *Hand Out Kristalografi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- . 2017. *Hand Out Semikonduktor*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- . 2016. *Hand Out Struktur Kristal*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- . 2016. *Hand Out Teknik Karakterisasi Semikonduktor*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Ariswan. 2011. *Prospek Penelitian dan Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Indonesia*. Makalah Penelitian. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Beiser, Arthur . 1992. *Konsep Fisika Modern Edisi ke Empat*. (alih bahasa: DR. The Houw Liong). Jakarta : Penerbit Erlangga
- http://www.webelements.com/sulfur/crystal_structure.html Diakses pada tanggal 7 Maret 2018 Jam 10.00 WIB
- http://www.webelements.com/Cadium/crystal_structure.html Diakses pada tanggal 7 Maret 2018 Jam 10.00 WIB
- <http://panelsuryajakarta.com/paket-plts-murah-untuk-rumah-1500-watt/> Diakses pada 24 juli 2018 Jam 21.58
- <https://teknikelektronika.com/pengertian-sel-surya-solar-cell-prinsip-kerja-sel-surya/> pukul 21.30 WIB, selasa 24 juli 2018
- Istiqomah, Zulaifatul . 2013. *Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Sn(Se_{0,5} S_{0,5}) Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Jiwani, Atmita. 2007. *Studi Pengaruh Alur Pemanasan Pada Preparasi Bahan Semikonduktor CuInSe₂ Massif dengan Teknik Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Karyani, Uli. 2010. *Pengaruh Alur Pemanasan terhadap Struktur Kristal In₂Se₃ Hasil Preparasi dengan Teknik Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- Kebijakan Energi Nasional. 2006. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. Jakarta: Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
- Nyoman, Suwirta. 1989. *Pengantar Fisika Zat Padat*. Jakarta: Depdikbud

- Mikrajuddin, dkk. 2009. *Karakterisasi Nanomaterial*. Bandung : CV Rezeki Putera
- Muis, Saludin. 2013. *Teknologi Nano Jilid 1*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Paul Malvino. 1981. *Prinsip-prinsip Elektronika*. (alih bahasa: Hanafi Gunawan). Jakarta: Erlangga
- Reka Rio S. & Masamori Lida. 1982. *Fisika dan Teknologi Fisika*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Rusminto. 2003. *Sumber Energi masa depan yang ramah lingkungan* . Jurnal: www.chem-is-try.org
- Smallman, R. E & Bishop, R. J. 2000. *Metalurgi Fisika Modern & Rekayasa Material Edisi Keenam*. (alih bahasa: Ir. Sriati Djaprie, M. Met). Jakarta: Erlangga
- Susanti, Lilik, 2013. *Penentuan Struktur Kristal dan Komposisi Kimia Bahan Semikonduktor Sn(S_{0,4} Se_{0,6}) Hasil Preparasi dengan Metode Bridgman*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta
- Van Vlack . 2004. *Elemen-elemen & Ilmu Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga
- Wahjuniati E, & Harsono Soepardjo A .2002. Karakterisasi Polikristal AgInSe₂ yang ditimbulkan menggunakan tungku Vertikal Temperatur Zona Tunggal dengan Difraksi Sinar-X . Jurnal. Himpunan Fisika Indonesia
- Wiyatmo, Yusman. 2003. *Fisika Modern*. Yogyakarta :Pustaka Pelajar

LAMPIRAN 1

Analisis XRD Sampel 1 Cd(S_{0,5} Te_{0,5})

Perhitungan Parameter kisi lapisan tipis Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan menggunakan metode analitik.

Bahan semikonduktor Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) memiliki struktur heksagonal. Jarak antar bidang struktur heksagonal dihitung dengan persamaan:

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Dengan mengingat hukum Bragg $\lambda = 2d \sin \theta$ maka didapat :

$$\frac{4 \sin^2 \theta}{\lambda^2} = \frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + l^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$

Maka,

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{3a^2} (h^2 + hk + h^2) + \frac{\lambda^2}{4c^2} l^2$$

$$\sin^2 \theta = A (h^2 + hk + h^2) + Cl^2$$

Untuk mendapatkan nilai a ketika $l = 0$,

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{3a^2} (h^2 + hk + h^2)$$

$$\frac{\lambda^2}{3a^2} = A$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) kedalam persamaan (1), didapatkan :

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

$$A = \frac{\sin^2 \theta}{(h^2 + hk + h^2)}$$

Apabila h dan k adalah bilangan cacah, maka :

$$A = \left(\frac{\sin^2 \theta}{1}, \frac{\sin^2 \theta}{3}, \frac{\sin^2 \theta}{4}, \frac{\sin^2 \theta}{7}, \frac{\sin^2 \theta}{9}, \dots \dots \right)$$

Untuk mendapatkan nilai c ,

$$\sin^2\theta = \frac{\lambda^2}{4c^2} l^2$$

$$\frac{\lambda^2}{4c^2} l^2 = C$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke persamaan (5), didapatkan:

$$\sin^2\theta = Cl^2$$

$$C = \frac{\sin^2\theta}{l^2}$$

Apabila l adalah bilangan cacah, maka :

$$A = \left(\frac{\sin^2\theta}{1}, \frac{\sin^2\theta}{4}, \frac{\sin^2\theta}{9}, \frac{\sin^2\theta}{16}, \frac{\sin^2\theta}{25}, \dots \dots \right)$$

Tabel 1. Sampel 1 Cd(S_{0,5} Te_{0,5})

Material : Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) Radiasi : Cu $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$

2θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{3}$	$\frac{\sin^2\theta}{4}$	$\frac{\sin^2\theta}{7}$	$\frac{\sin^2\theta}{9}$	$\frac{\sin^2\theta}{12}$
23,799	0,206196	0,042517	0,014172	0,010629	0,006074	0,004724	0,003543
39,506	0,337966	0,114221	0,038074	0,028555	0,016317	0,012691	0,009518
46,708	0,396411	0,157142	0,052381	0,039285	0,022449	0,01746	0,013095
57,17	0,478462	0,228926	0,076309	0,057231	0,032704	0,025436	0,019077
62,937	0,52203	0,272515	0,090838	0,068129	0,038931	0,030279	0,02271
71,875	0,586902	0,344454	0,114818	0,086114	0,049208	0,038273	0,028705
77,1	0,623197	0,388375	0,129458	0,097094	0,055482	0,043153	0,032365

Untuk mencari a :

$$A = 0,0382 \text{ A}^\circ$$

$$\lambda = 1,54056 \text{ A}^\circ$$

$$\frac{\lambda^2}{3a^2} = A$$

$$a = \frac{\sqrt{\lambda^2}}{3A} = \frac{\sqrt{(1,54056)^2}}{3(0,0382)} = \frac{\sqrt{2,373325}}{0,1146} = 4,550 \text{ A}^\circ$$

Material : Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) Radiasi : Cu $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$

2θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{4}$	$\frac{\sin^2\theta}{9}$	$\frac{\sin^2\theta}{16}$	$\frac{\sin^2\theta}{25}$	$\frac{\sin^2\theta}{36}$
23,799	0,206196	0,042517	0,010629	0,004724	0,002657	0,001701	0,001181
39,506	0,337966	0,114221	0,028555	0,012691	0,007139	0,004569	0,003173
46,708	0,396411	0,157142	0,039285	0,01746	0,009821	0,006286	0,004365
57,17	0,478462	0,228926	0,057231	0,025436	0,014308	0,009157	0,006359
62,937	0,52203	0,272515	0,068129	0,030279	0,017032	0,010901	0,00757
71,875	0,586902	0,344454	0,086114	0,038273	0,021528	0,013778	0,009568
77,1	0,623197	0,388375	0,097094	0,043153	0,024273	0,015535	0,010788

$$C = 0,0095 \text{ \AA}^2$$

$$\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$$

$$\frac{\lambda^2}{4c} = C$$

$$c = \frac{\sqrt{\lambda^2}}{4C} = \frac{\sqrt{(1,54056)^2}}{4(0,0095)} = \frac{\sqrt{2,373325}}{0,038} = 7,905 \text{ \AA}$$

LAMPIRAN 2

Analisis XRD Sampel 2 Cd(S_{0,5} Te_{0,5})

Material : Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) Radiasi : Cu $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$

2θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{3}$	$\frac{\sin^2\theta}{4}$	$\frac{\sin^2\theta}{7}$	$\frac{\sin^2\theta}{9}$	$\frac{\sin^2\theta}{12}$
23,904	0,207092	0,042887	0,014296	0,010722	0,006127	0,004765	0,003574
27,81	0,240313	0,05775	0,01925	0,014438	0,00825	0,006417	0,004813
39,598	0,338721	0,114732	0,038244	0,028683	0,01639	0,012748	0,009561
43,173	0,367905	0,135354	0,045118	0,033839	0,019336	0,015039	0,01128
46,844	0,3975	0,158006	0,052669	0,039502	0,022572	0,017556	0,013167
57,367	0,479971	0,230372	0,076791	0,057593	0,03291	0,025597	0,019198
63,045	0,522833	0,273355	0,091118	0,068339	0,039051	0,030373	0,02278
71,989	0,587708	0,3454	0,115133	0,08635	0,049343	0,038378	0,028783
77,191	0,623818	0,389149	0,129716	0,097287	0,055593	0,043239	0,032429

Untuk mencari a :

$$A = 0,0385 \text{ A}^\circ$$

$$\lambda = 1,54056 \text{ A}^\circ$$

$$\frac{\lambda^2}{3a^2} = A$$

$$a = \frac{\sqrt{\lambda^2}}{3A} = \frac{\sqrt{(1,54056)^2}}{3(0,0385)} = \frac{\sqrt{2,373325}}{0,1155} = 4,533$$

2θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{4}$	$\frac{\sin^2\theta}{9}$	$\frac{\sin^2\theta}{16}$	$\frac{\sin^2\theta}{25}$	$\frac{\sin^2\theta}{36}$
23,904	0,207092	0,042887	0,010722	0,004765	0,00268	0,001715	0,001191
27,81	0,240313	0,05775	0,014438	0,006417	0,003609	0,00231	0,001604
39,598	0,338721	0,114732	0,028683	0,012748	0,007171	0,004589	0,003187
43,173	0,367905	0,135354	0,033839	0,015039	0,00846	0,005414	0,00376
46,844	0,3975	0,158006	0,039502	0,017556	0,009875	0,00632	0,004389
57,367	0,479971	0,230372	0,057593	0,025597	0,014398	0,009215	0,006399
63,045	0,522833	0,273355	0,068339	0,030373	0,017085	0,010934	0,007593
71,989	0,587708	0,3454	0,08635	0,038378	0,021588	0,013816	0,009594
77,191	0,623818	0,389149	0,097287	0,043239	0,024322	0,015566	0,01081

$$C = 0,0095 \text{ A}^\circ$$

$$\lambda = 1,54056 \text{ A}^\circ$$

$$\frac{\lambda^2}{4c} = C$$

$$c = \frac{\sqrt{\lambda^2}}{4C} = \frac{\sqrt{(1,54056)^2}}{4(0,0095)} = \frac{\sqrt{2,373325}}{0,038} = 7,905 \text{ A}^\circ$$

LAMPIRAN 3

Analisis XRD Sampel 3 Cd (S_{0,5}Te_{0,5})

2θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{3}$	$\frac{\sin^2\theta}{4}$	$\frac{\sin^2\theta}{7}$	$\frac{\sin^2\theta}{9}$	$\frac{\sin^2\theta}{12}$
23,837	0,20652	0,042651	0,014217	0,010663	0,006093	0,004739	0,003554
24,49	0,212092	0,044983	0,014994	0,011246	0,006426	0,004998	0,003749
26,182	0,226498	0,051301	0,0171	0,012825	0,007329	0,0057	0,004275
27,85	0,240652	0,057913	0,019304	0,014478	0,008273	0,006435	0,004826
39,546	0,338295	0,114443	0,038148	0,028611	0,016349	0,012716	0,009537
43,25	0,36853	0,135815	0,045272	0,033954	0,019402	0,015091	0,011318
46,764	0,39686	0,157498	0,052499	0,039374	0,0225	0,0175	0,013125
57,243	0,479021	0,229461	0,076487	0,057365	0,03278	0,025496	0,019122
62,936	0,522022	0,272507	0,090836	0,068127	0,03893	0,030279	0,022709
71,888	0,586994	0,344562	0,114854	0,086141	0,049223	0,038285	0,028714
77	0,622515	0,387524	0,129175	0,096881	0,055361	0,043058	0,032294

Untuk mencari a :

$$A = 0,0384 \text{ A}^\circ$$

$$\lambda = 1,54056 \text{ A}^\circ$$

$$\frac{\lambda^2}{3a^2} = A$$

$$a = \frac{\sqrt{\lambda^2}}{3A} = \frac{\sqrt{(1,50456)^2}}{3(0,0384)} = \frac{\sqrt{2,373325}}{0,1152} = 4,538 \text{ A}^\circ$$

2θ	$\sin\theta$	$\sin^2\theta$	$\frac{\sin^2\theta}{4}$	$\frac{\sin^2\theta}{9}$	$\frac{\sin^2\theta}{16}$	$\frac{\sin^2\theta}{25}$	$\frac{\sin^2\theta}{36}$
23,837	0,20652	0,042651	0,010663	0,004739	0,002666	0,001706	0,001185
24,49	0,212092	0,044983	0,011246	0,004998	0,002811	0,001799	0,00125
26,182	0,226498	0,051301	0,012825	0,0057	0,003206	0,002052	0,001425
27,85	0,240652	0,057913	0,014478	0,006435	0,00362	0,002317	0,001609
39,546	0,338295	0,114443	0,028611	0,012716	0,007153	0,004578	0,003179
43,25	0,36853	0,135815	0,033954	0,015091	0,008488	0,005433	0,003773
46,764	0,39686	0,157498	0,039374	0,0175	0,009844	0,0063	0,004375
57,243	0,479021	0,229461	0,057365	0,025496	0,014341	0,009178	0,006374

62,936	0,522022	0,272507	0,068127	0,030279	0,017032	0,0109	0,00757
71,888	0,586994	0,344562	0,086141	0,038285	0,021535	0,013782	0,009571
77	0,622515	0,387524	0,096881	0,043058	0,02422	0,015501	0,010765

$$C = 0,0094 \text{ A}^\circ$$

$$\lambda = 1,54056 \text{ A}^\circ$$

$$\frac{\lambda^2}{4c} = C$$

$$c = \frac{\sqrt{\lambda^2}}{4C} = \frac{\sqrt{(1,54056)^2}}{4(0,0094)} = \frac{\sqrt{2,373325}}{0,0376} = 7,9448 \text{ A}^\circ$$

LAMPIRAN 4

Hasil Karakterisasi Bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan XRD

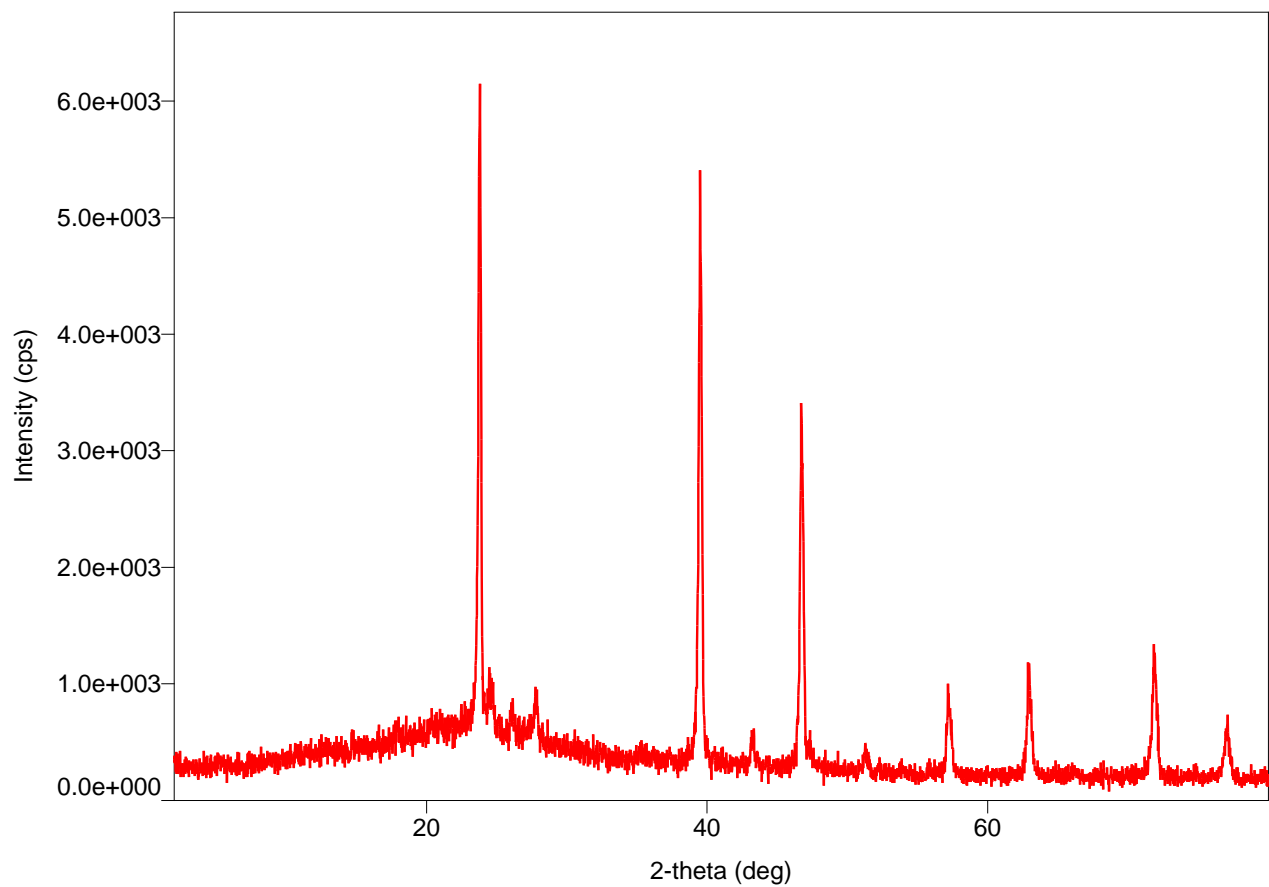
pada Alur Pemanasan 1

Peak List

General information

Analysis date	2018/03/07 10:41:04	Measurement date	2018/03/07 10:08:16
Sample name	Sampel 1Cd (S _{0,5} Te _{0,5})	Operator	administrator
File name	230-xrd-2018.ras		
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	23.799(10)	3.7358(15)	3888(180)	0.192(7)	1001(20)	0.257(17)	1.5(3)
2	39.506(10)	2.2792(6)	3594(173)	0.217(7)	1023(16)	0.285(18)	1.4(3)
3	46.708(13)	1.9432(5)	2496(144)	0.205(14)	732(16)	0.29(2)	1.0(3)
4	57.17(3)	1.6099(8)	496(64)	0.31(3)	191(9)	0.39(7)	0.7(3)
5	62.937(17)	1.4756(4)	741(79)	0.25(2)	266(9)	0.36(5)	1.7(6)
6	71.875(17)	1.3125(3)	863(85)	0.29(2)	335(10)	0.39(5)	1.7(5)
7	77.10(3)	1.2361(3)	338(53)	0.36(3)	148(8)	0.44(9)	3.4(16)

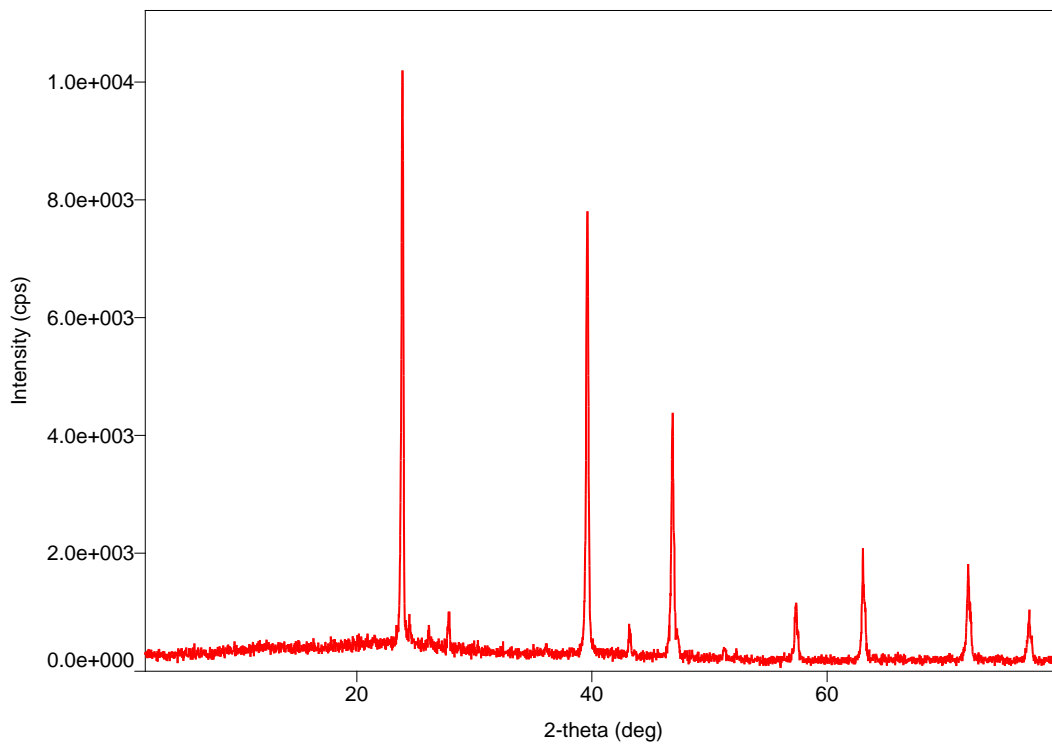
LAMPIRAN 5
Hasil Karakterisasi Bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan XRD
pada Alur Pemanasan 2

Peak List

General information

Analysis date	2018/03/15 08:52:33		
Sample name	Spl2 Cd(S _{0,5} Te _{0,5})	Measurement date	2018/03/15 08:23:32
File name	281-xrd-2018.ras	Operator	administrator
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	23.904	3.7196(11)	6946(241)	0.182(5)	1541(26)	0.222(11)	2.3(4)
2	27.81(3.205(4)	358(55)	0.18(3)	70(10)	0.19(6)	1.3(10)
3	39.598	2.2741(3)	5901(222)	0.183(5)	1397(17)	0.237(12)	1.6(2)
4	43.173	2.0938(2)	469(63)	0.103(16)	74(5)	0.16(3)	0.4(3)
5	46.844	1.9378(4)	3059(160)	0.200(13)	873(18)	0.29(2)	1.6(4)
6	57.367	1.6049(4)	820(83)	0.196(19)	226(9)	0.28(4)	2.3(15)
7	63.045	1.47331(19)	1491(111)	0.186(11)	378(10)	0.25(3)	1.3(3)
8	71.998	1.31053(17)	1288(104)	0.226(12)	398(10)	0.31(3)	1.7(4)
9	77.191	1.2348(2)	619(72)	0.249(16)	188(8)	0.30(5)	3.1(11)

LAMPIRAN 6
Hasil Karakterisasi Bahan Cd(S_{0,5} Te_{0,5}) dengan XRD
pada Alur Pemanasan 3

General information

Analysis date	2018/03/15 08:56:37		
Sample name	Spl 3 Cd(S _{0,5} Te _{0,5})	Measurement date	2018/03/15 08:47:05
File name	282-xrd-2018.ras	Operator	administrator
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	23.837(5)	3.7298(8)	8982(274)	0.179(4)	2199(21)	0.245(10)	1.9(2)
2	24.49(3)	3.632(5)	521(66)	0.38(3)	237(14)	0.45(8)	0.31(17)
3	26.182(19)	3.401(2)	402(58)	0.14(3)	106(9)	0.26(6)	1.9(13)
4	27.85(3)	3.201(4)	410(58)	0.31(5)	252(14)	0.61(12)	2.3(14)
5	39.546(6)	2.2770(3)	6756(237)	0.194(6)	1764(18)	0.261(12)	1.6(2)
6	43.25(4)	2.0902(17)	350(54)	0.22(7)	127(10)	0.36(8)	1.2(11)
7	46.764(12)	1.9410(5)	3508(171)	0.203(14)	1060(20)	0.30(2)	1.2(3)
8	57.243(18)	1.6081(5)	693(76)	0.21(3)	244(9)	0.35(5)	1.1(5)
9	62.936(13)	1.4756(3)	1109(96)	0.218(18)	371(10)	0.34(4)	0.8(2)
10	71.888(15)	1.3123(2)	1138(97)	0.28(2)	460(11)	0.40(4)	1.1(3)
11	77.00(2)	1.2375(3)	538(67)	0.30(3)	207(9)	0.38(6)	0.6(2)

LAMPIRAN 7

Tabel JCPDS CdS dan CdTe

49-0493		Wavelength = 1.54056					
CdTe		2θ	Int	h	k	l	
Cadmium Telluride		22.337	90	1	0	0	
		23.727	100	0	0	2	
		25.302	80	1	0	1	
Cadmioselite, syn		32.744	30	1	0	2	
Red: CuKα	λ: 1.5405	FilterNi	39.256	100	1	1	0
Cut Off:	Int: Diffract	V/cor:	42.754	80	1	0	3
	Shalimova et al. sov Phys Crystallogr. (Engl. Transl.)						
Ref:	44.431 (1966)		45.465	75	2	0	0
			47.373	25	2	0	1
			52.115	16	2	0	2
Sys: Hexagonal			53.258	8			
a: 4.58	b:	c: 7.50	A:	C: 1.6376			
α:	β:	γ:	Z: 2	mp:			
			59.483	40	2	0	3
			62.084	25	2	1	0
			63.647	25	2	1	1
Ref: Ibid			66.716	30	1	0	5
			71.282	30	1	0	5
Dv: 5.665	Dm:	SS-FOM: F30 = 36 (.21.40)	73.734	30	3	0	0
			76.228	20	2	1	3
Color: Black			80.431	20	0	0	6
Pattern taken at 25 C. Sampel from the Mallinckrodt Chemical Work			84.643	10	1	0	0
New York, USA. Pattern was annealed at 200 C in Argon atmosphere.			89.400	16	2	2	2
Spectrographic analysis showed <0.01% Ca, Cu, Fe, Mn; <0.001% Al, Mg, Ni			92.976	16	2	1	5
Pb, Si, Sn, S, Zn type. Wurtzite group, wurtzite subgroup. PSC: hP4			99.914	20	3	1	3
Mwt: 191.37. Volume[CD]: 112.20							

1994 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All right reserved.

43-0985

Wavelength= 1.54056

CdS		2 θ	Int	-h	k	l
Cadmium Sulfide		26.228	30	0	0	1
		31.796	80	1	1	0
		31.796	80	0	1	1
		36.993	100	0	2	0
Rad.:	λ :	36.993	100	1	0	1
	d-sp:	41.583	80	1	1	1
Cut off:	Int.: Estimation	45.715	15	0	2	1
	l/lor.:	52.068	35			
Ref: Suzuki. T., Yagi. T., Akimoto. S.-I., J. Appl. Phys., 54, 748 (1983)		53.478	60	1	2	1
		57.244	30	0	1	2
		60.283	20	1	0	2
Sys.: Orthorhombic	S.G.: Pmmn (59)	63.202	20	2	1	1
a: 3.471(8)	b: 4.873(7)	63.202	20	1	3	0
	c: 3.399(7)	66.227	30	2	2	0
	A: 0.7123	70.417	20			
	C: 0.6975	73.460	20	1	2	2
α :	β :	78.843	15	0	4	0
	γ :	81.587	30	2	1	2
Ref: Ibid.	Z: 2	81.587	30	0	3	2
	mp:					
Dx: 8.346	Dm:					
	SS/FOM: F ₁₃ =J(.185, 25)					

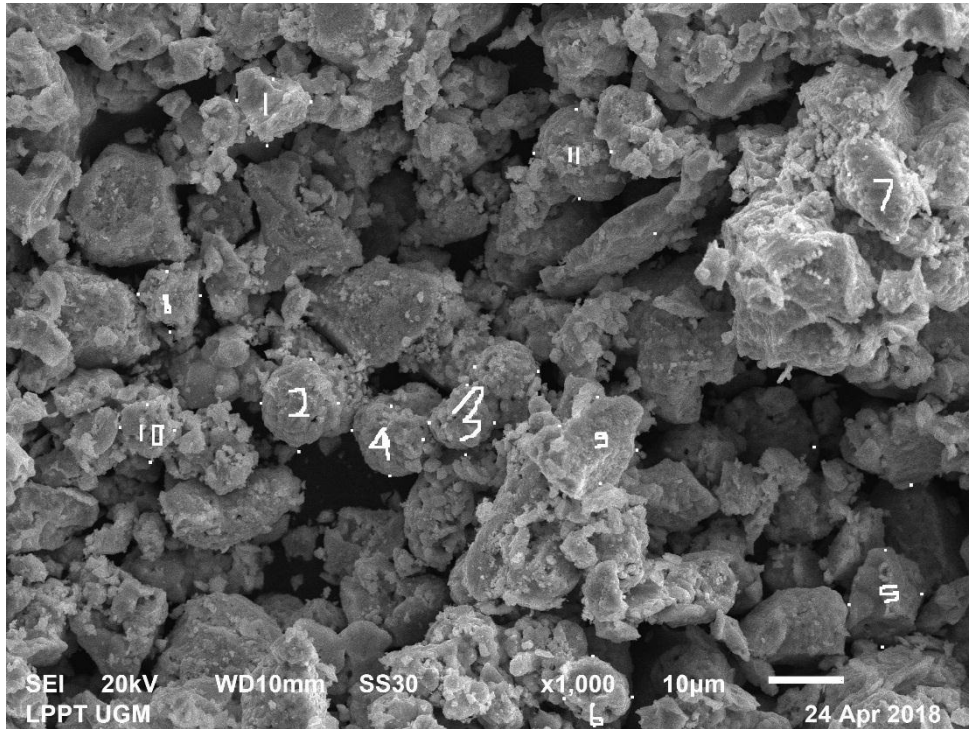
Pattern taken at 61 GPa. Transformation from NaCl to CrN structure at 56 GPa. Cr N type. PSC: oP4. Mwt: 144.47. Volume[CD]: 57.49.

©1994 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved.

LAMPIRAN 8

Hasil Karakterisasi SEM untuk mengetahui Ukuran Kristal

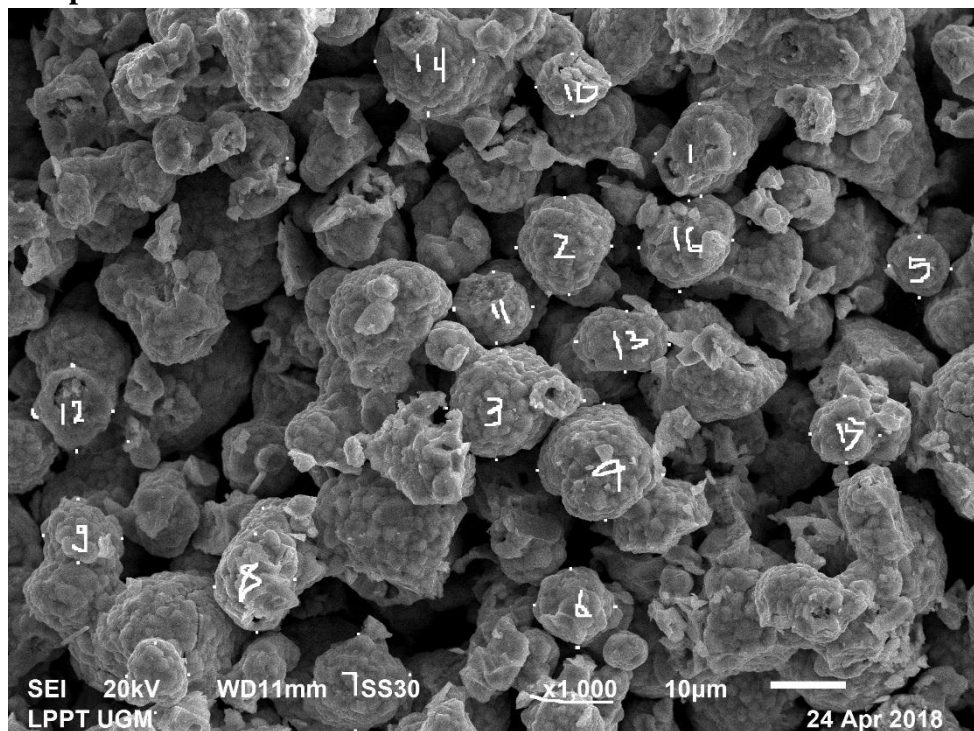
a. Sampel 1



X kiri	X kanan	200	u.pixel	u.mikron
605	889		284	14,2
677	877		200	10
1113	1293		180	9
917	1105		188	9,4
2225	2421		196	9,8
1473	1657		184	9,2
2221	2401		180	9
349	509		160	8
1465	1665		200	10
301	445		144	7,2
1237	1405		168	8,4
1389	1609		220	11

Y atas	Y bawah	Ukuran dalam pixel	Ukuran dalam mikron
205	377	172	8,6
937	1189	252	12,6
1009	1193	184	9,2
1061	1253	192	9,6
1445	1705	260	13
1721	1909	188	9,4
357	625	268	13,4
709	869	160	8
1041	1273	232	11,6
1049	1213	164	8,2
277	517	240	12

b. Sampel 2



x kanan	X kiri		ukuran partikel dlm pixel	ukuran partikel dalam micron
1709	1921		212	10,39215686
1341	1593		252	12,35294118
1153	1393		240	11,76470588
1401	1737		336	16,47058824
2325	2489		164	8,039215686
1345	1605		260	12,74509804
809	1061		252	12,35294118
549	757		208	10,19607843
93	305		212	10,39215686
1389	1589		200	9,803921569
1181	1385		204	10
65	281		216	10,58823529
1497	1741		244	11,96078431
973	1229		256	12,54901961
2117	2305		188	9,215686275
1661	1913		252	12,35294118

Y kanan	Y kiri	ukuran partikel dlm pixel	ukuran partikel dalam micron
257	497	240	11,76470588
501	757	256	12,54901961
909	1197	288	14,11764706
1041	1353	312	15,29411765
605	769	164	8,039215686
1485	1693	208	10,19607843
1649	1909	260	12,74509804
1393	1653	260	12,74509804
1297	1461	164	8,039215686
125	281	156	7,647058824
701	881	180	8,823529412
945	1165	220	10,78431373
805	965	160	7,843137255
9	285	276	13,52941176
1025	1201	176	8,62745098
513	753	240	11,76470588

LAMPIRAN 8
DOKUMENTASI PENELITIAN



Penggerus



Hasil Preparasi bahan



Timbangan analitik



Bahan dasar Cd, S_{Te}, dan Te



Pompa Vakum



Kapsul hasil pompa vakum



Furnace



Penjepit dan sendok