



**STRUKTUR DAN SIFAT LISTRIK FILM TIPIS  
CdTe:Cu YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE  
*DC MAGNETRON SPUTTERING***

skripsi  
disajikan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika

oleh  
Santi Yuli Astuti  
4250407010

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2011**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Agustus 2011

Pembimbing I

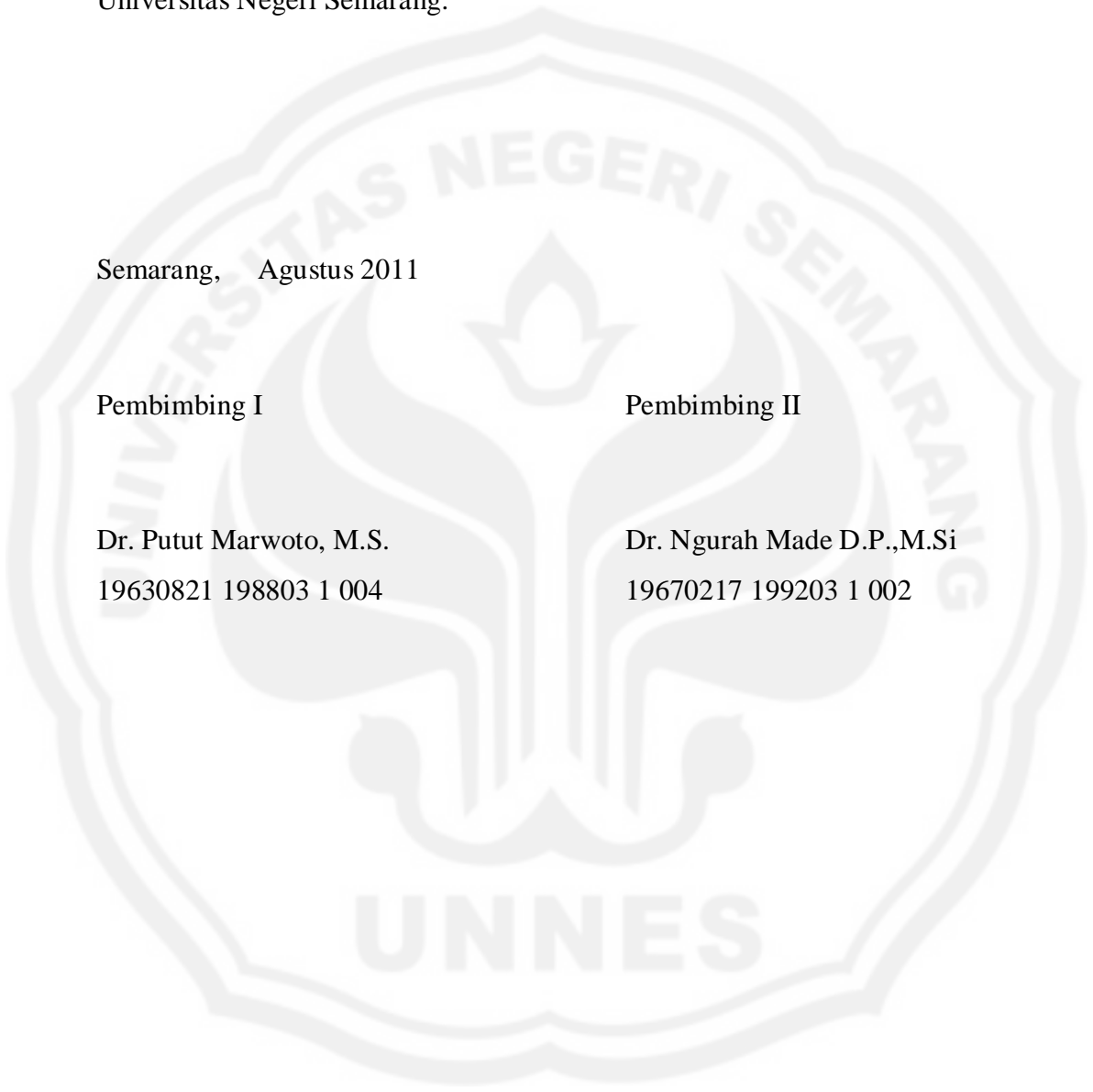
Dr. Putut Marwoto, M.S.

19630821 198803 1 004

Pembimbing II

Dr. Ngurah Made D.P., M.Si

19670217 199203 1 002



## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

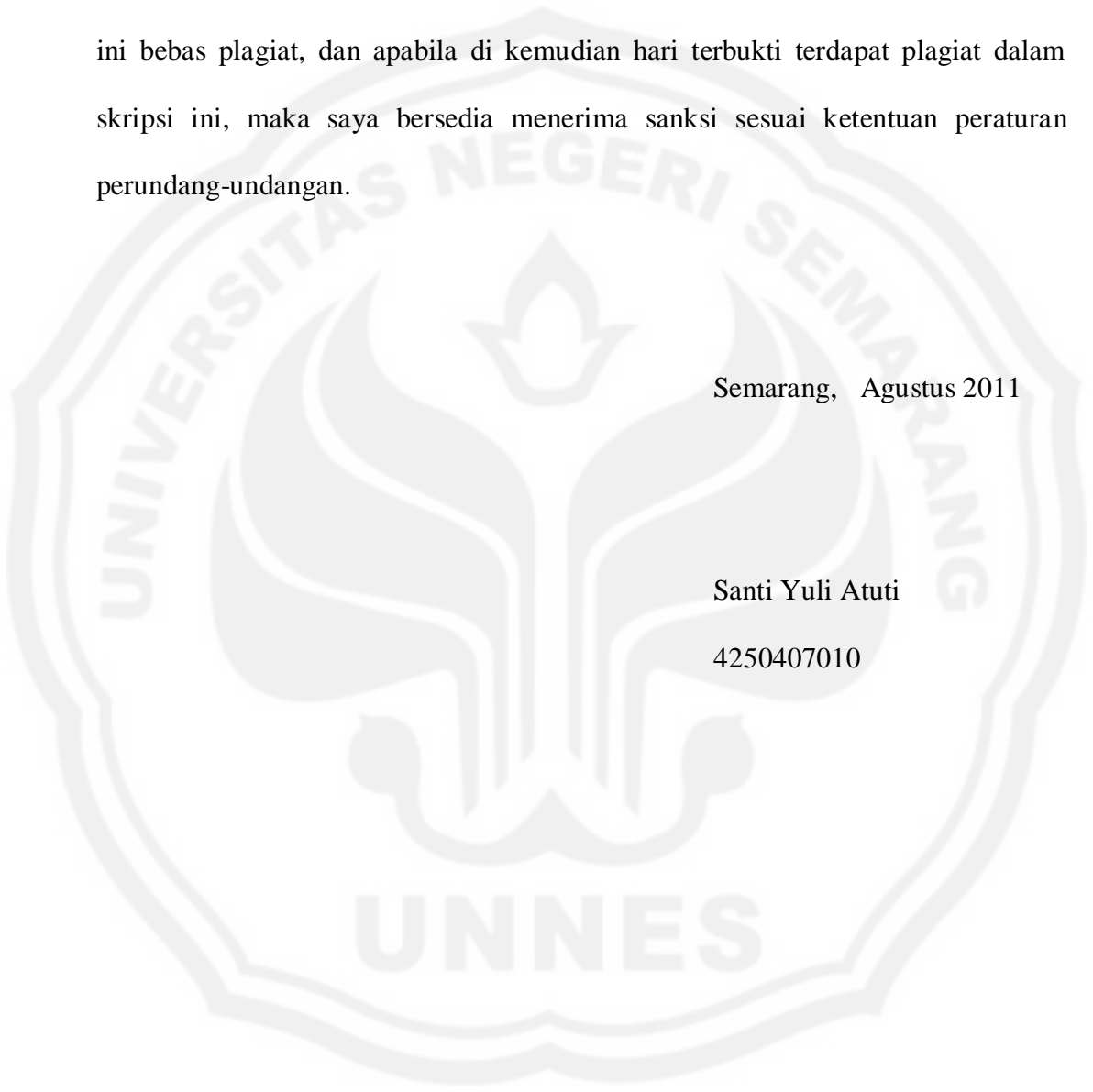
“Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe:Cu yang Ditumbuhkan dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*”

ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, Agustus 2011

Santi Yuli Atuti

4250407010



## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe:Cu yang Ditumbuhkan dengan  
Metode *DC Magnetron Sputtering*

disusun oleh

Santi Yuli Astuti

4250407010

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada  
tanggal 11 Agustus 2011.

Panitia:

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Kasmadi Imam S, M.S.

19511115 197903 1 001

Dr. Putut Marwoto, M.S.

19630821 198803 1 004

Ketua Penguji

Dr. Sugianto, M.Si

19610219 199303 1 001

Anggota Penguji/  
Pembimbing Utama

Anggota Penguji/  
Pembimbing Pendamping

Dr. Putut Marwoto, M.S.

19630821 198803 1 004

Dr. Ngurah Made D.P.,M.Si

19670217 199203 1 002

## PERSEMBAHAN

*Kupersembahkan skripsi ini untuk Allah SWT sebagai bentuk pengabdian dan rasa bersyukur, Mak dan Bapak sebagai rasa hormat dari sumber curahan cinta serta kasih sayang yang tulus,, terimakasih atas semua bimbingan, doa, dukungan dan kepercayaannya, Mba Murni n Mas Andi, Mba Tuti n Mas Hamdan, Mas Samad n Mas limin yang yang selalu mensupport, memotivasi dan mengarahkan Lik An untuk menjadi 'seseorang' yang lebih baik,*



## MOTTO

*“ya Allah lapangkanlah hatiku mudahkanlah urusanku lepaskanlah ikatan dilidahku  
kuatkanlah ucapanku, ya Allah tambahkanlah ilmu bagiku dan berilah aku pemahaman ilmu”*

*” Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan ” (QS. Alam Nashrah ayat 6)*

*“Jangan pernah berhenti memiliki harapan karena harapan memiliki semua kekuatan untuk  
kesuksesan”*



## PRAKATA

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe:Cu yang Ditumbuhkan dengan Metode *dc Magnetron Sputtering*".

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan tenaga, pikiran, sarana, dan dana dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Dr. Putut Marwoto, M.S selaku pembimbing I dan ketua Jurusan Fisika yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu memberikan masukan, saran dan motivasi selama penyusunan skripsi.
2. Dr. Ngurah Made D.P., M.Si selaku pembimbing II yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan, arahan dan koreksi dalam penulisan skripsi ini.
3. Dr. Sugianto, M.Si selaku penguji skripsi yang telah banyak memberikan koreksi terhadap tulisan ini,
4. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.
5. Sunarno, S.Si, M.Si, Kepala Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
6. Mak, Bapak, Mba Murni dan Mas Andi, Mba Tuti dan Mas Hamdan, Mas Samad, Mas Limin yang telah memberi dukungan, kepercayaan dan motivasi kepada penulis untuk belajar.
7. Keluarga fisika 2007 dan teman-teman Fisika Material *empat sekawan* yang telah setia menemani penulis menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
8. Edy Wibowo, M.Sc dan Didik Arianto, M.Sc yang telah memberikan banyak bantuan dan motivasi kepada penulis.
9. Wasi Sakti, S.Pd dan Muttaqin, S.Si yang telah memberikan banyak bantuan dan pelayanannya kepada penulis.

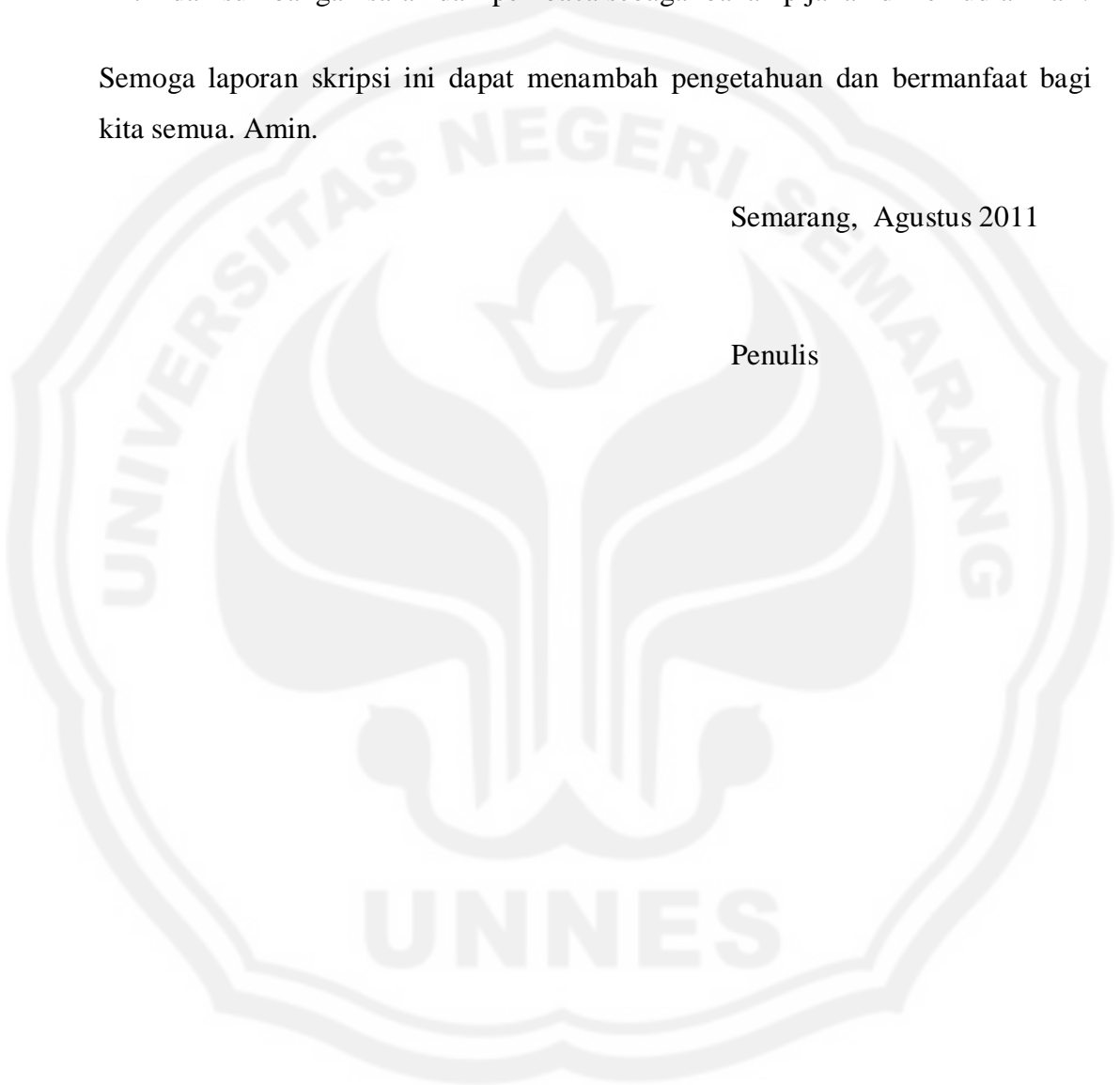
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan. Demikian penulis menyampaikan ungkapan ini, dan suatu hal yang tidak ilmiah apabila penulis tidak menerima kritik dan sumbangan saran dari pembaca sebagai bahan pijakan di kemudian hari.

Semoga laporan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Semarang, Agustus 2011

Penulis





## ABSTRAK

**Astuti, S.Y.** 2011. *Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe:Cu yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Putut Marwoto, M.S. dan Pembimbing Pendamping Dr. Ngurah Made D.P.,M.Si.

Kata kunci: CdTe, CdTe:Cu, film tipis, sifat listrik

Film tipis *Cadmium Telluride* doping Cu (CdTe:Cu) sebagai bahan pembuat sel surya telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) dengan metode *dc magnetron sputtering*. Penumbuhan dilakukan dengan memvariasi konsentrasi doping, temperatur substrat dan daya plasma. Struktur mikro film dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*), struktur kristal dikarakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*) dan I-V meter digunakan untuk karakterisasi sifat listrik film. Film yang dihasilkan pada temperatur 250 °C, daya plasma 14 W dengan konsentrasi doping Cu 15% mempunyai struktur mikro relatif tidak rata. Film yang relatif lebih rata dimiliki film dengan temperatur 325 °C, daya plasma 43 W, dan konsentrasi doping Cu 2%. Film CdTe:Cu mempunyai struktur mikro yang relatif lebih rata dibandingkan dengan film tipis CdTe. Hasil karakterisasi EDX menunjukkan pendopongan Cu pada CdTe berhasil dilakukan, dengan persentase Cd, Te dan Cu masing-masing 43,52%, 56,37%, 0,11%. Karakterisasi XRD menunjukkan film tipis yang ditumbuhkan mempunyai struktur kristal heksagonal. Film tipis yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C, daya plasma 14 W dengan konsentrasi doping Cu 15% mempunyai intensitas tertinggi pada bidang (110) dan intensitas tertinggi pada bidang (101) untuk film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C, daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu 2%. Hasil karakterisasi I-V menunjukkan bahwa pendopongan dengan Cu dapat menurunkan resistivitas film. Resistivitas film yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C, daya plasma 14 W dengan konsentrasi doping Cu 15% berubah dari  $(3,40 \times 10^9 \Omega\text{m})$  menjadi  $(4,62 \times 10^8 \Omega\text{m})$ . Penurunan resistivitas yang lebih signifikan dari  $(8,40 \times 10^9 \Omega\text{m})$  menjadi  $(6,92 \times 10^5 \Omega\text{m})$  diperoleh dari film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C, daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu 2%. Berdasarkan hasil analisis struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik, film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu 2% mempunyai kualitas kristal yang lebih baik, selain itu diketahui bahwa doping Cu pada CdTe meningkatkan kualitas struktur dan sifat listrik film tipis CdTe.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PRAKATA</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB</b>	
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	4
1.3 Tujuan .....	5
1.4 Manfaat .....	5
1.5 Sistematika .....	5
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Material Semikonduktor .....	7
2.2 Sifat Listrik Material .....	8
2.3 Cacat Kristal .....	11
2.4 Sel Surya .....	14
2.5 Material <i>Cadmium Telluride</i> (CdTe) .....	16
2.6 Tembaga (Cu) .....	18
2.7 <i>Sputtering</i> .....	19
2.8.1 <i>dc Magnetron Sputtering</i> .....	20
<b>3. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Pelaksanaan Eksperimen .....	24
3.1.1 Pembuatan Target CdTe .....	24
3.1.2 Pembuatan Target CdTe:Cu .....	24

3.1.3 Preparasi Substrat .....	24
3.1.4 Penumbuhan Film Tipis CdTe:Cu dan CdTe .....	25
3.2 Karakterisasi Film Tipis CdTe:Cu dan CdTe .....	27
3.2.1 SEM - EDX.....	27
3.2.2 XRD .....	28
3.2.3 Karakterisasi I-V .....	30
3.3 Alur Penelitian.....	33
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian.....	35
4.1.1 Hasil Karakterisasi SEM-EDX .....	35
4.1.2 Hasil Karakterisasi XRD .....	38
4.1.3 Hasil Karakterisasi Sifat Listrik .....	44
4.2 Pembahasan .....	47
4.3 Hubungan antara struktur mikro, struktur kristal, dan sifat listrik film tipis CdTe dan CdTe:Cu .....	51
<b>5. SIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Simpulan .....	52
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>57</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Parameter kondisi penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu .....	26
4.1 Hasil karakterisasi sifat listrik tipis CdTe dan CdTe:Cu dengan metode <i>two-probe</i> .....	46



## DAFTAR GAMBAR

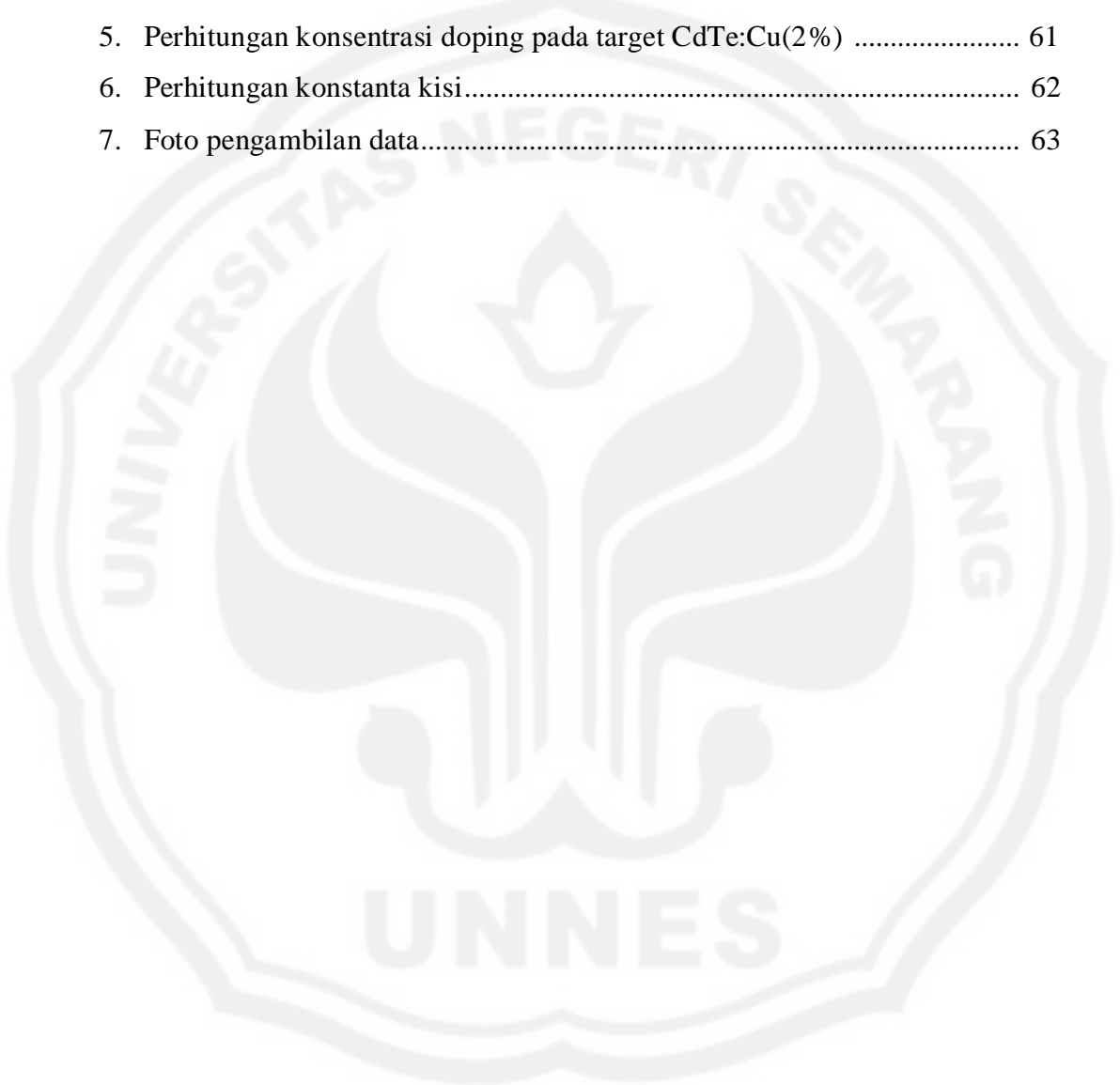
Gambar	Halaman
2.1 Aliran elektron dan hole saat diberikan medan listrik .....	9
2.2 Fungsi distribusi Fermi-Dirac .....	10
2.3 Cacat titik ( <i>vacancy, self interstitial dan interstitial</i> ) .....	12
2.4 Cacat garis (dislokasi) .....	13
2.5 <i>Grain boundaries</i> .....	14
2.6 Diagram struktur energi untuk sel surya .....	15
2.7 Struktur kristal <i>zinblende</i> CdTe .....	17
2.8 Struktur kristal heksagonal CdTe.....	18
2.9 Skema reaksi dalam chamber <i>dc magnetron sputtering</i> .....	21
2.10 Sistem reaktor <i>dc magnetron sputtering</i> .....	22
3.1 Hamburan sinar-X pada kristal .....	29
3.2 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode <i>two-probe</i> .....	32
3.3 Diagram alir penelitian .....	34
4.1 Citra SEM film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada 250 °C, 14 W perbesaran 20.000 kali (c) CdTe dan (d) CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada 325 °C, 43 W perbesaran 5.000 kali.....	36
4.2 Hasil karakterisasi EDX film tipis CdTe:Cu(2%) .....	37
4.3 Difraksi sinar-X film tipis CdTe (a) tanpa <i>annealing</i> dan (b) dengan <i>annealing</i> .....	39
4.4 Difraksi sinar-X film tipis CdTe:Cu(15%) (a) tanpa <i>annealing</i> dan (b) dengan <i>annealing</i> .....	40
4.5 FWHM film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(15%).....	41
4.6 Difraksi sinar-X film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada 325 °C, 43 W .....	42
4.7 FWHM film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(2%).....	43
4.8a Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W .....	44

- 4.8b Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W ..... 44
- 4.8c Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W ..... 45
- 4.8d Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W ..... 45



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data standar JCPDS CdTe .....	57
2. Data standar JCPDS Cu <sub>2</sub> Te .....	58
3. Data standar JCPDS ITO ( <i>indium tin oxide</i> ).....	59
4. Perhitungan konsentrasi doping pada target CdTe:Cu(15%) .....	60
5. Perhitungan konsentrasi doping pada target CdTe:Cu(2%) .....	61
6. Perhitungan konstanta kisi.....	62
7. Foto pengambilan data.....	63



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi mempunyai peranan yang penting bagi kehidupan di muka bumi. Sampai hari ini, ada bermacam-macam sumber energi yang telah ditemukan dan dimanfaatkan bagi kehidupan manusia. Sumber energi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui dan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui adalah sumber energi yang sekali habis apabila digunakan, seperti batu bara, minyak, gas alam dan energi nuklir. Kelebihan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui adalah murah, mudah dalam penggunaan dan penyimpanan. Namun bahan dari sumber energi ini memerlukan waktu selama jutaan tahun untuk proses pembentukannya. Sumber energi yang dapat diperbaharui adalah energi surya, angin, panas bumi, tenaga air. Angin merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan ketersediaannya tak terbatas, namun masih belum optimal pemanfaatannya. Hal ini karena angin bukan sumber energi yang stabil sehingga hanya sesuai untuk daerah tertentu saja.

Energi matahari merupakan energi yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang dapat dijadikan pilihan tepat sebagai sumber energi alternatif. Teknologi *photovoltaic*, pada prinsipnya mengkonversi secara langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan devais semikonduktor yang



disebut sel surya (*solar cell*). Selama ini semikonduktor yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya adalah kristal tunggal silikon. Namun, sel surya kristal tunggal silikon mempunyai kelemahan yaitu biaya produksinya lebih mahal dibandingkan dengan listrik konvensional. Untuk menghasilkan kristal tunggal silikon dibutuhkan semikonduktor dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya tinggi dan juga jika digunakan terus menerus tanpa alternatif bahan lain maka suatu saat material silikonpun akan habis.

Selain sel surya silikon, terdapat sel surya jenis lain yang disebut dengan sel surya lapisan tipis (*thin film*). Lapisan tipis merupakan suatu lapisan yang sangat tipis (ketebalan dalam mikron hingga nano) dari bahan organik, inorganik, metal maupun campuran metal organik (*organometallic*) yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun isolator (Sudjarmoko, 2003). Material lain yang mempunyai efisiensi konversi tinggi yaitu material yang mempunyai celah pita energi 1,4 sampai dengan 1,5 eV. Material yang memperlihatkan celah pita energi dalam jangkauan tersebut adalah GaAs dan CdTe (Sudjarmoko, 2003). Telah diketahui bahwa sel surya GaAs mempunyai biaya produksi yang sangat mahal sehingga banyak yang mengembangkan sel surya dari bahan lain misalnya saja CdTe.

Material CdTe mempunyai koefisien absorpsi optik yang tinggi yaitu  $\alpha > 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  dan *energy gap* 1,5 eV yang sesuai untuk pembuatan sel surya. Film CdTe dengan ketebalan 1  $\mu\text{m}$  mampu mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *band gap*. Sel surya yang mempunyai efisiensi paling bagus (14% sampai dengan 16,5%) juga menggunakan film tipis CdTe (Gupta *et*

*al.*, 2006). Hasil penelitian Wibowo (2008) menunjukkan lapisan tipis CdTe memiliki *band gap* mendekati nilai optimal  $\sim 1.5$  eV dan mempunyai koefisien absorpsi  $\sim 8 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ . Kebanyakan modul CdTe menghasilkan efisiensi yang tinggi ( $\sim 9\%$ ) dan memungkinkan untuk diproduksi dalam jumlah yang besar (Wu *et al.*, 2006). Performa tinggi CdTe dalam aplikasinya sebagai sel surya sangat bergantung pada penggunaan *window layer* (Wu, 2004), *back contact* (Zhou *et al.*, 2007), dan penambahan doping (Nawarange *et al.*, 2009). Doping yang ditambahkan pada deposisi film tipis CdTe umumnya adalah Cu (Tembaga), Si (Silikon), dan P (Phospor). Cu lebih sering digunakan karena kemampuannya untuk meningkatkan konduktivitas film tipis CdTe (Dzhafarov *et al.*, 2004) serta meningkatkan *contact behavior* dan *open-circuit voltage* ( $V_{oc}$ ) dari film tipis tersebut (Demtsu *et al.*, 2007). Cu sebagai aseptor dopan pada CdTe dapat membantu pembentukan kontak ohmik dengan naiknya p-doping dari CdTe di dekat *interface* (Dzhafarov *et.al.*, 2005). Selain itu, Cu juga dapat memperbaiki struktur mikro dan sifat optik CdTe sehingga meningkatkan kualitas film (Rusu, 2005).

Cu dapat dideposisi dari Cu murni atau campuran Cu seperti  $\text{Cu}_x\text{Te}$ . Banyak parameter digunakan untuk menghasilkan film tipis CdTe yang optimal. Salah satunya dengan menggunakan variasi formula  $\text{Cu}_x\text{Te}$  untuk memperoleh kombinasi film tipis doping Cu yang paling baik untuk aplikasi sel surya. Wu *et al.* (2007) melaporkan bahwa formula  $\text{Cu}_2\text{Te}$  merupakan kombinasi  $\text{Cu}_x\text{Te}$  yang paling baik dalam aplikasi sel surya. Cu dapat dideposisi dengan baik dengan berbagai metode, salah satunya metode evaporasi (Zhou *et al.*, 2007). Cu dapat

dijadikan doping pada CdTe *bulk* (padatan) sehingga meningkatkan konsentrasi pembawa muatan (*carrier*) (Zhou *et al.*, 2007).

Penumbuhan lapisan tipis CdTe telah banyak dilakukan dengan beberapa metode seperti *vapor-transport depotition (VTD)*, *physical-vapor depotition (PV)*, *molecular beam epitaxy (MBE)* dan *electrodepotition* (Candless and Sites, 2003), *rf magnetron sputtering* (Compaan *et al.*, 2004), *thermal evaporation* (Rusu *et al.*, 2005), *close space vapour transport method* (Vigil-Galan *et al.*, 2008), *Close Space Sublimation (CSS)* (Fritsche *et al.*, 2001, Major *et al.*, 2010). Pada umumnya masing-masing metode tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *dc magnetron sputtering*. Metode *sputtering* mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya: (1) lapisan yang terbentuk mempunyai komposisi yang serupa dengan bahan target, (2) kualitas, struktur dan keseragaman hasil lapisan dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, (3) lapisan yang terbentuk mempunyai daya rekat yang tinggi (Sudjatmoko, 2003), (4) metode plasma seperti *magnetron sputtering*, dalam penumbuhan film dibutuhkan temperatur yang relatif rendah dan kontrol saat pendopingan dapat dilakukan dengan baik (Alvin D Compaan, 2004).

## **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe:Cu yang ditumbuhkan di atas substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) dengan metode *dc magnetron sputtering*.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe terhadap film tipis CdTe:Cu.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menumbuhkan film tipis CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* serta mengetahui struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe:Cu yang telah ditumbuhkan.

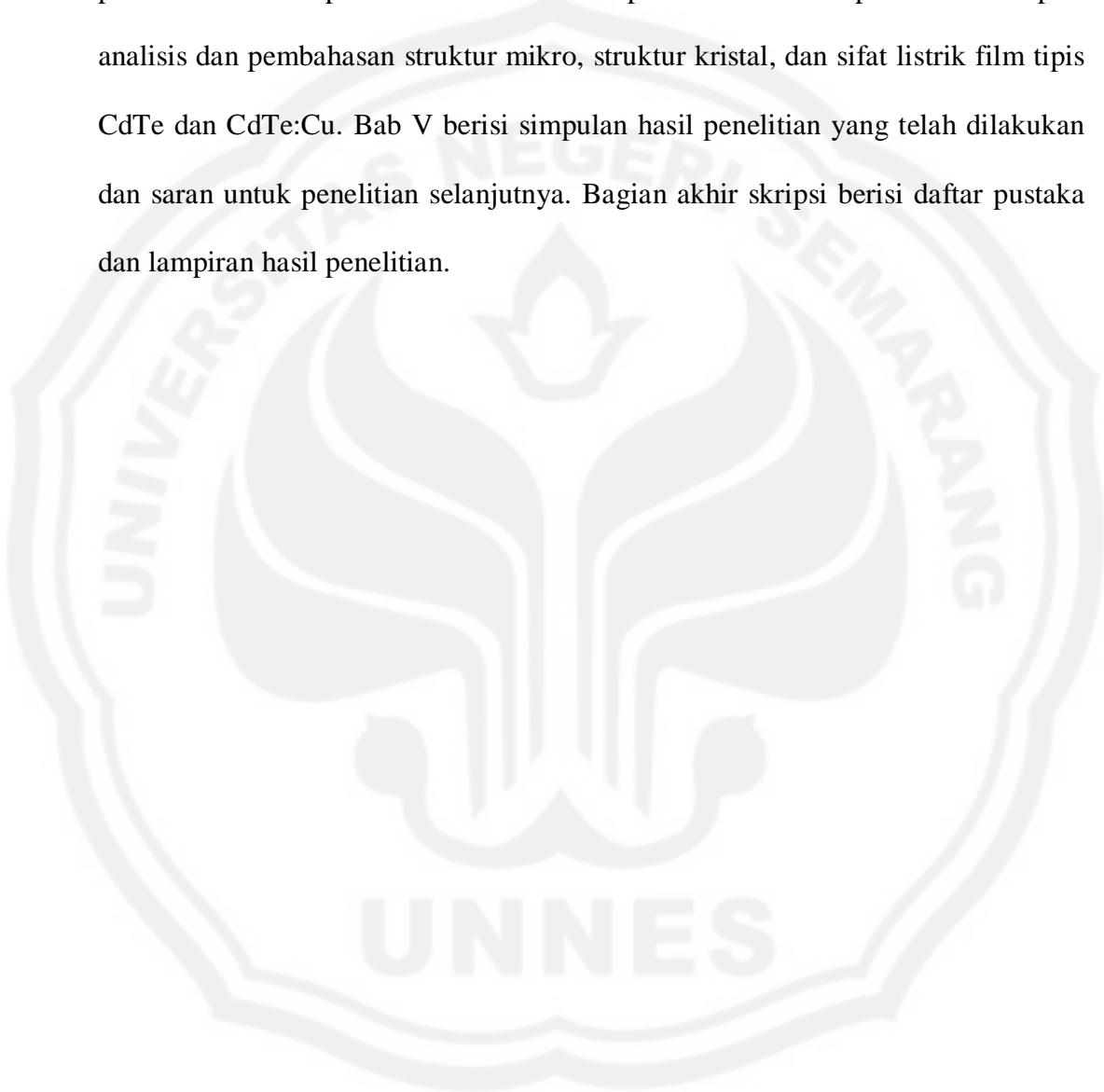
### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengetahui struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe:Cu yang ditumbuhkan di atas substrat ITO dengan metode *dc magnetron sputtering*. Selanjutnya hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan pada proses penumbuhan dan karakterisasi film tipis CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* berikutnya. Setelah kondisi optimal penumbuhan film diketahui, dapat ditumbuhkan film tipis CdTe:Cu yang mempunyai sifat-sifat fisis lebih baik dibandingkan film tipis CdTe sebagai bahan pembuatan sel surya.

### **1.5 Sistematika Penulisan**

Skripsi ini ditulis dalam 5 bab, diawali dengan halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, halaman motto, halaman persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi dipaparkan dalam Bab I. Bab II berisi kajian pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian. Berupa penjelasan mengenai material CdTe, material

Cu, sel surya, sifat listrik material dan *sputtering*. Bab III berisi metode penelitian yang meliputi, pembuatan target CdTe, pembuatan target CdTe:Cu, preparasi substrat, penumbuhan lapisan tipis, karakterisasi film tipis CdTe dan CdTe:Cu serta metode analisis data. Bab IV memaparkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan hasil penelitian. Analisis dan pembahasan hasil penelitian meliputi analisis dan pembahasan struktur mikro, struktur kristal, dan sifat listrik film tipis CdTe dan CdTe:Cu. Bab V berisi simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran hasil penelitian.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Material Semikonduktor

Material atau bahan dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan konduktivitas bahan tersebut, 1) konduktor, dengan resistivitas  $<10^{-4}$   $\Omega\text{m}$ , 2) insulator, yang resistivitasnya adalah  $>10^{12}$   $\Omega\text{m}$  dan 3) semikonduktor, dengan resistivitas diantara konduktor dan isolator. Material semikonduktor merupakan material yang paling banyak dimanfaatkan bagi pengembangan teknologi modern seperti devais elektronik, optoelektronik, dan sensor.

Material semikonduktor dapat digolongkan menjadi 2 tipe yaitu tipe-p dan tipe-n berdasarkan mayoritas pembawa muatannya. Karakteristik yang paling penting dari material semikonduktor adalah sifat konduktivitasnya yang dapat dimodifikasi sesuai dengan apa yang diinginkan dengan cara menambahkan pengotor (ketidak murnian) yang disebut dopan. Bila ketidak murnian valensi lima didopkan ke dalam semikonduktor, arus listrik mengalir karena elektron-elektron yang mempunyai muatan negatif. Semikonduktor ini disebut semikonduktor tipe-n. Bila ketidak murnian dengan valensi tiga ditambahkan ke dalam semikonduktor, hampir semua diionisasikan negatif dalam temperatur kamar, dan menghasilkan jumlah *hole* dengan jumlah yang sama. Ketidak murnian ini dapat membentuk *hole* dan menerima elektron maka disebut aseptor. Semikonduktor yang didop dengan aseptor menjadi tipe-p, karena muatan positif *hole* sebagai pembawa muatan (Rio, 1982). Sebagai contoh, penambahan satu

unsur dari golongan III kedalam silikon akan membuat pembawa muatan mayoritasnya adalah *hole* sehingga menjadi silikon tipe-p. Penambahan unsur golongan V ke dalam silikon akan membuat pembawa muatan mayoritasnya adalah elektron sehingga menjadi silikon tipe-n. Semikonduktor yang mempunyai jumlah elektron dan *hole* yang sama dan tidak mengandung ketidak murnian disebut semikonduktor intrinsik, dan yang mengandung ketidak murnian donor atau aseptor disebut semikonduktor ekstrinsik.

## 2.2 Sifat Listrik Material

Sifat listrik film tipis dapat diketahui dari resistivitas, konduktivitas, dan jenis pembawa muatannya. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material dalam mengalirkan panas atau listrik. Ketika medan listrik diberikan pada suatu material, elektron dalam material tersebut akan mengalir berlawanan dengan arah medan dan membawa arus listrik. Konduktivitas listriknya dapat dinyatakan dengan:

$$\sigma_e = \frac{ne^2\tau_e}{m_e} \quad (2.1)$$

dengan  $\tau_e$  adalah waktu-hidup (*lifetime*) elektron.

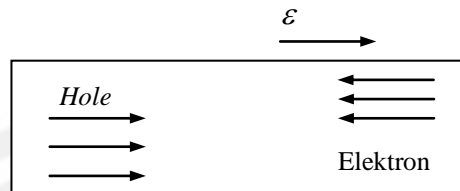
Konduktivitas listrik dapat dirumuskan dalam suku mobilitas, dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma_e = ne\mu_e \quad (2.2)$$

menunjukkan bahwa  $\sigma_e$  sebanding dengan  $\mu_e$  . Sedangkan untuk konduktivitas *hole*:

$$\sigma_h = \frac{pe^2\tau_h}{m_h} = pe\mu_h \quad (2.3)$$

dengan  $\mu_h$  adalah mobilitas *hole*.



Gambar 2.1 Aliran elektron dan *hole* saat diberikan medan listrik (Sugianto, 2009)

Ketika diberikan medan listrik, elektron mengalir berlawanan dengan medan sedangkan *hole* mengalir searah dengan medan seperti ditunjukkan Gambar 2.1. Jika arus dari dua pembawa muatan (elektron dan *hole*) dijumlahkan, maka konduktivitas listriknya menjadi:

$$\sigma = \sigma_e + \sigma_h \quad (2.4)$$

Jika persamaan (2.2) dan (2.3) disubstitusikan ke persamaan (2.4) maka:

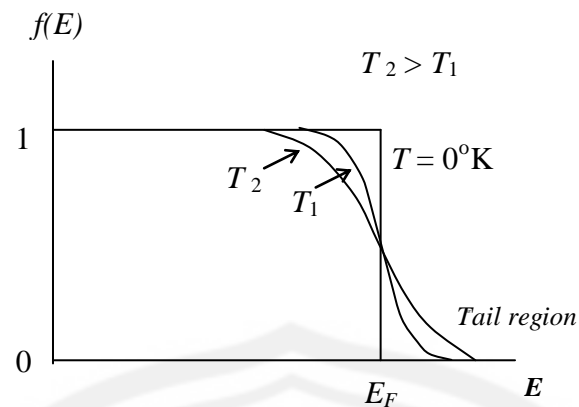
$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h \quad (2.5)$$

Konsentrasi pembawa  $n$  dan  $p$  tidak sama jika sampel didoping. Kemungkinan salah satu pembawa lebih dominan bergantung pada semikonduktor tipe-n atau tipe-p. Untuk semikonduktor dalam daerah intrinsik dimana  $n = p$ , persamaan (2.5) menjadi:

$$\sigma = ne(\mu_e + \mu_h) \quad (2.6)$$

dengan  $n = ni$  adalah konsentrasi intrinsik.





Gambar 2.2 Fungsi distribusi Fermi-Dirac (Sugianto, 2009)

Konduktivitas bahan bergantung pada temperatur (Gambar 2.2) . Dari gambar terlihat, ketika temperatur bertambah, daerah di bawah tingkat Fermi  $E_F$  yang tidak ditempati elektron menjadi lebih panjang. Hal ini menandakan bahwa energi state bertambah tinggi ketika temperatur dinaikkan. Penambahan temperatur akan meningkatkan energi sistem.

Resistivitas ( $\rho$ ) merupakan sifat bahan yang tidak bergantung pada bentuknya dan harganya berbanding terbalik dengan konduktivitas. Hubungan antara resistivitas terhadap konduktivitas ditunjukkan pada persamaan (2.7).

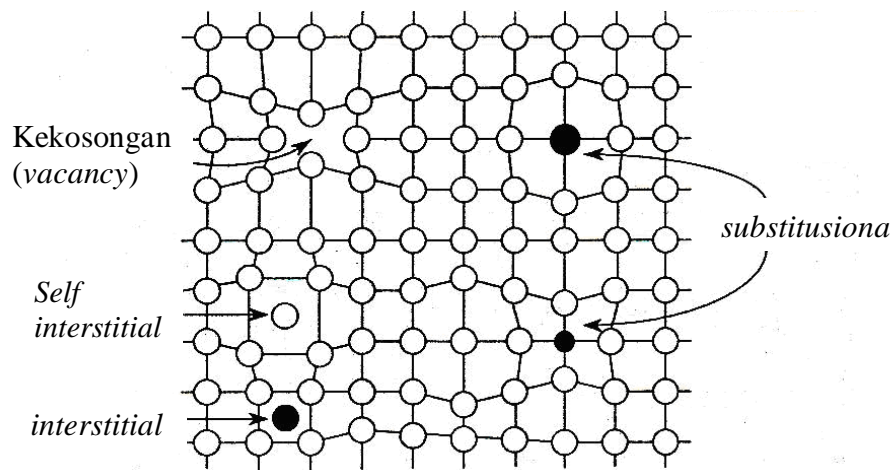
$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (2.7)$$

Sehingga dapat dikatakan semakin kecil resistivitas maka konduktivitasnya akan semakin tinggi, dan mempunyai sifat listrik yang lebih baik.

## 2.3 Cacat Kristal

Permasalahan yang sering muncul dalam pengembangan bahan semikonduktor adalah pengaruh cacat dalam bahan. Cacat kristal yang terjadi dalam suatu bahan padat dapat mempengaruhi sifat fisis tertentu seperti sifat mekanik atau sifat listriknya. Cacat sering diartikan sebagai ketidaksempurnaan dalam kisi kristal. Kualitas dari kristal dikatakan baik apabila kecacatan atau ketidaksempurnaan yang terjadi dapat diminimalisasi. Cacat yang sering terjadi dalam pembentukan film tipis adalah cacat titik (*point defect*) dan cacat garis (*dislocation*).

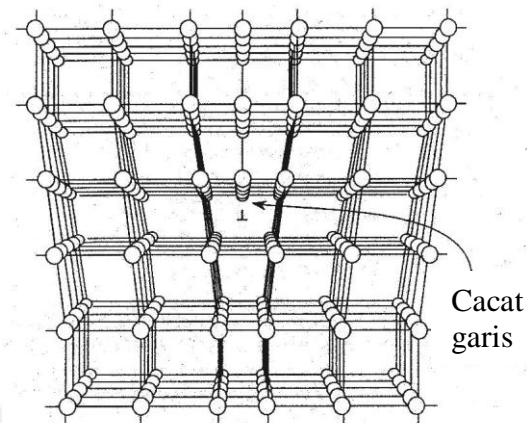
Cacat titik merupakan cacat nol dimensi yang terdiri dari atom tunggal atau beberapa atom kompleks. Cacat titik dapat menyebabkan gangguan lokal di dalam kristal. Pertama, gangguan yang menyebabkan perubahan potensial periodik dalam satu atau beberapa unit sel atau yang dinamakan sebagai *deep level* (keadaan tingkat energi yang berbeda jauh dari energi pita valensi  $E_v$  dan pita konduksi  $E_c$ ). Kedua terjadi perubahan potensial yang semakin luas, meliputi lebih dari sepuluh unit sel dinamakan sebagai *shallow level* (keadaan tingkat energi yang berdekatan dengan  $E_c$  dan  $E_v$ ) (Singh, 1995). Cacat titik digolongkan menjadi tiga macam yaitu kekosongan (*vacancy*), *interstitial* dan *antisite*, ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Cacat titik (*vacancy*, *self interstitial* dan *interstitial*) (Singh, 1993)

Kekosongan adalah cacat kristal yang terjadi karena atom-atom tidak menempati posisi pada kristal sehingga posisi atom tidak terisi (kosong). Cacat titik yang sederhana adalah kekosongan, lokasi atom dari suatu atom yang hilang dan ini sering dikenal dengan *schottky defect*. Kekosongan disebabkan karena adanya gangguan lokal, susunan atom dalam kristal karena mobilitas atomik, pendinginan sangat cepat dan faktor eksternal. *Interstitial* adalah cacat kristal yang terjadi karena adanya penambahan atom-atom (logam atau nitrogen) yang masuk di antara kekisi kristal yang terjadi karena faktor dari luar seperti radiasi. Sedangkan *antisite* adalah cacat kristal yang terjadi karena kation menempati posisi anion dan sebaliknya anion menempati posisi kation.

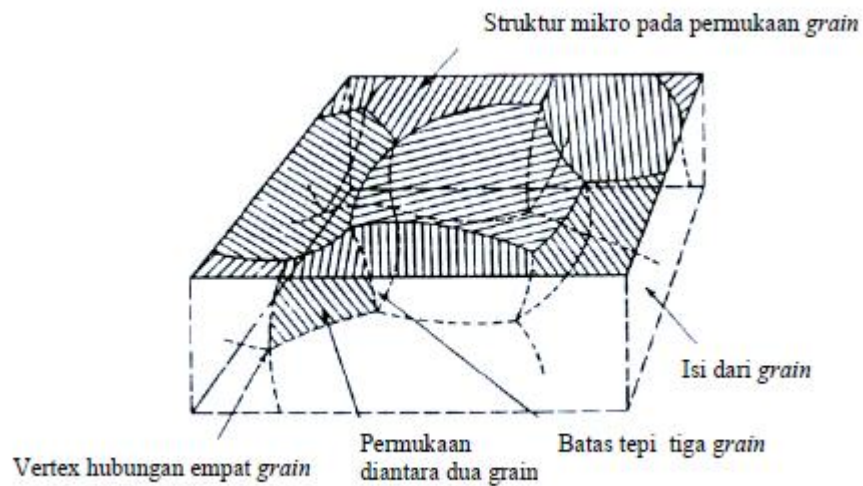
Cacat garis (cacat dua dimensi) atau sering disebut juga dislokasi, ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Cacat garis (dislokasi) (Singh, 1993: 12)

Dislokasi terjadi jika ada dua atom yang bertemu tetapi ukurannya berbeda (Smith, 1998). Dislokasi menyebabkan atom-atom terlepas dari ikatan tetangga terdekatnya yang dapat menghasilkan deep level pada pita energi. Deep level dapat menjadi perangkap elektron dan lubang (*hole*) saat proses rekombinasi pada pita energi. Dislokasi digolongkan menjadi dua macam yaitu *edge* dan *screw*. *Edge* adalah dislokasi yang disebabkan karena pengaruh ukuran sedangkan *screw* dikarenakan pengaruh gaya tekan.

*Grain boundaries* (cacat tiga dimensi) adalah cacat permukaan pada material polikristal yang memisahkan *grain* dari orientasi yang berbeda. Bentuk *grain boundaries* ditentukan oleh *grain* yang berdekatan. Permukaan *grain boundaries* ditunjukkan pada Gambar 2.5.

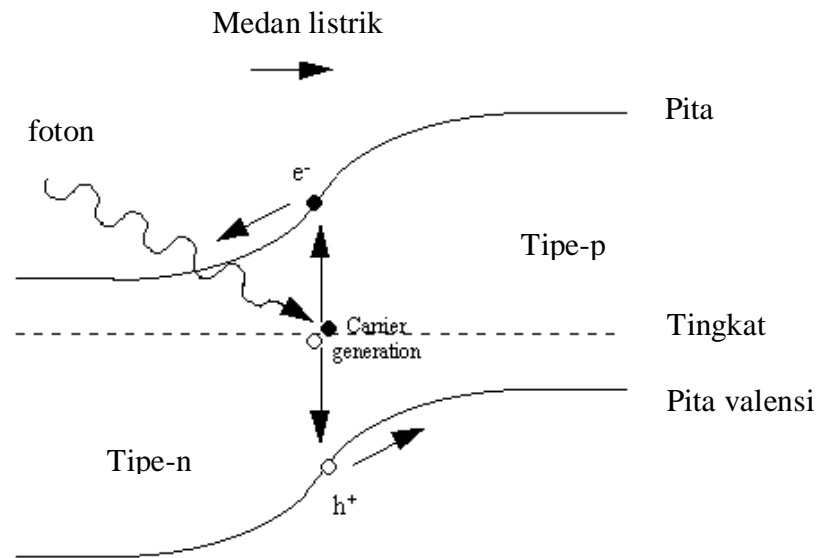


Gambar 2.5 *Grain boundaries* (Smith, 1998)

*Grain boundaries* adalah daerah sempit antara dua *grain*, daerah antara atom-atom yang bersebelahan.

## 2.4 Sel surya

Sel surya merupakan suatu devais yang fungsinya mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor. Gambar 2.6 menunjukkan prinsip dari piranti yang memanfaatkan *efek photovoltaic*.



Gambar 2.6 Diagram struktur energi untuk sel surya

Ketika sinar matahari mengenai sel surya secara langsung, foton dengan energi yang lebih besar dari energi band gap akan diserap untuk membentuk pasangan *hole-electron*. Kelebihan energi akan berubah menjadi energi panas. Sedangkan foton dengan energi kurang dari energi bandgap tidak akan mempengaruhi output dari sel surya. Pasangan *hole-electron* yang terhasil akan mengalir ke daerah persimpangan dan dipisahkan oleh medan listrik yang terbentuk pada sambungan (*built in electrical field*). Berdasarkan mekanisme tersebut, untuk mendapatkan performa yang tinggi dari sel surya terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yaitu, yang pertama koefisien absorpsi yang tinggi sehingga film tipis mampu menyerap sebagian besar cahaya. Kedua, celah pita energi yang sesuai, artinya celah pita energi tidak boleh terlalu besar atau terlalu kecil. Jika lebih besar maka sebagian besar cahaya akan melewati lapisan penyerap akibatnya  $V_{oc}$  (tegangan sirkuit terbuka) menjadi tinggi dan  $J_{sc}$

(arus hubung singkat) menjadi rendah. Jika terlalu kecil, sebagian besar energi akan terbuang sebagai panas. Ketiga, kontak dengan resistansi rendah dimana sebagian besar dari pembawa muatan akan terpisah mengalir menuju perangkat beban luar (*outside load devices*).

Cara kerja sel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel. Sebagaimana diketahui bahwa cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak memiliki dua buah sifat yaitu dapat berperilaku sebagai gelombang dan dapat sebagai partikel yang disebut dengan foton. Penemuan ini pertama kali diungkapkan oleh Einstein pada tahun 1905. Energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang  $\lambda$  dan frekuensi foton  $\nu$  dirumuskan dengan persamaan:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2.8)$$

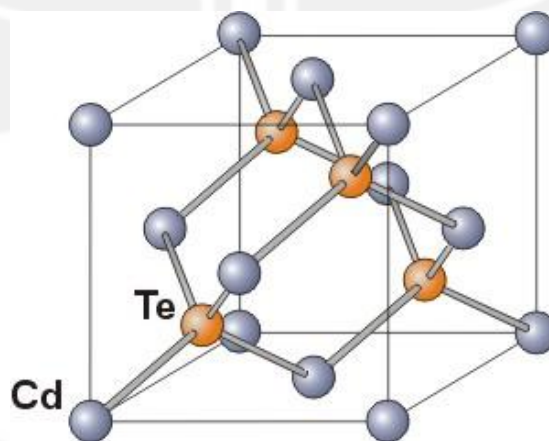
dengan  $h$  adalah konstanta *Plancks* ( $6.62 \times 10^{-34}$  J.s) dan  $c$  adalah kecepatan cahaya dalam vakum ( $3.00 \times 10^8$  m/s). Persamaan di atas juga menunjukkan bahwa foton dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau sebagai gelombang dengan panjang gelombang dan frekuensi tertentu (Sze, 1981).

## 2.5 Material *Cadmium Telluride* (CdTe)

*Cadmium Telluride* merupakan salah satu dari semikonduktor paduan II-VI, dan telah banyak dipelajari untuk aplikasi *photovoltaic* seperti dalam sel surya

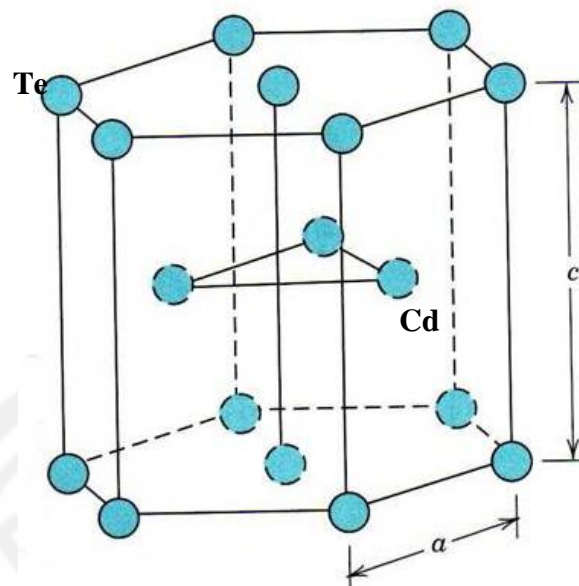
CdTe/CdS *heterojunction* (Shah *et al.*, 2007). CdTe menjadi pilihan sebagai bahan utama untuk aplikasi *photovoltaic* karena mempunyai karakteristik fisis yang ideal untuk diaplikasikan sebagai sel surya. *Cadmium Telluride* (CdTe) mempunyai koefisien absorpsi yang tinggi  $\alpha > 1 \times 10^4$  dan *direct band-gap* 1,5 eV. Film tipis CdTe dengan ketebalan 1  $\mu\text{m}$  mampu mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *band-gap* (Gupta *et al.*, 2006).

CdTe mempunyai struktur heksagonal dan kubik. Hasil penelitian Wibowo (2008) menunjukkan lapisan tipis CdTe memiliki *band gap* mendekati optimal  $\sim 1,5$  eV dan koefisien absorpsi  $\sim 8 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$  dengan struktur FCC (*Face Center Cubic*). Hasil penelitian Dzhafarov (2005) menunjukkan kristal tunggal CdTe (111) dengan struktur kubik. Struktur *zincblende* CdTe ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 menunjukkan struktur heksagonal CdTe.



Gambar 2.7 Struktur kristal *zincblende* CdTe





Gambar 2.8 Struktur kristal heksagonal CdTe

## 2.6 Tembaga (Cu)

*Copper* (Cu) merupakan unsur transisi dengan nomor atom 29 dengan konfigurasi elektron :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^9$ . Cu mempunyai titik lebur 1083 °C dan titik didih 2567 °C. Cu banyak ditemukan berwarna merah dan oranye sesuai dengan karakteristik unsur transisi yaitu, antara lain: senyawa-senyawanya umumnya berwarna, memiliki sifat paramagnetik, dapat bertindak sebagai katalis dan memiliki titik lebur yang lebih tinggi dibandingkan unsur-unsur utama.

Dalam kristal tunggal CdTe, Cu berperan sebagai ion *interstitial* yang dapat menempati cacat kekosongan Cd (*Cd-vacancies*) (Dzhavarof *et al.*, 2005). Cu mempunyai peranan penting dalam sel *heterojunction* CdTe/CdS yaitu sebagai aseptor dopan. Cu sebagai aseptor dopan pada CdTe dapat membantu pembentukan kontak ohmik dengan naiknya p-doping dari CdTe di dekat

*interface*. Akan tetapi Cu juga akan menurunkan performa sel karena Cu dapat berdifusi dari polikristal CdTe hingga ke daerah persambungan namun mekanisme penurunannya tidak diketahui dengan baik (Dzhafarov *et.al.*, 2005).

## **2.7 Sputtering**

Sistem *sputtering* pada umumnya berupa tabung lucutan pijar yang di dalamnya terpasang elektroda (anoda dan katoda), target dipasang pada katoda dan substrat diletakkan pada anoda, serta dilengkapi dengan sistem vakum, sistem masukan gas, sistem pendingin target, sistem pemanas substrat dan sistem catu daya (DC atau RF). *Sputtering* merupakan proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada sebuah target sehingga atom-atom individu target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Atom-atom yang tersputter terhambur ke segala arah, kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk lapisan tipis (Sudjatmoko, 2003).

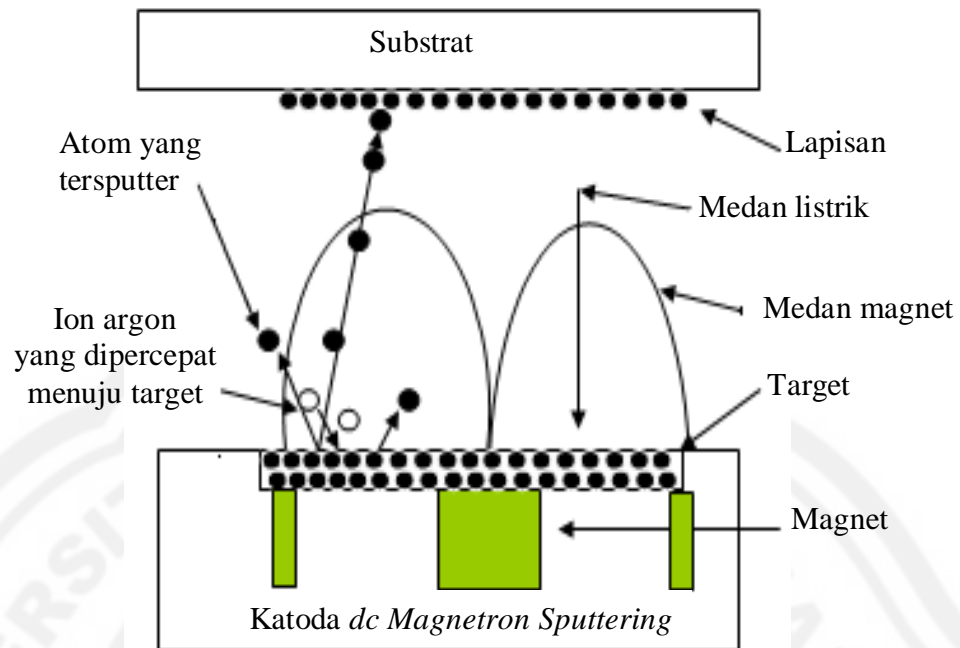
Teknik *sputtering* memiliki beberapa kelebihan, antara lain : film yang terbentuk mempunyai komposisi yang serupa dengan bahan target, kualitas, struktur dan keseragaman hasil film dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, mempunyai rapat arus yang besar sehingga memungkinkan terjadinya laju deposisi yang tinggi, dan lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat (Sudjatmoko, 2003).

### **2.8.1 DC Magnetron Sputtering**

Teknik paling sederhana yang digunakan untuk penumbuhan film tipis adalah teknik *dc magnetron sputtering*. Sistem *dc sputtering* terdiri dari sepasang

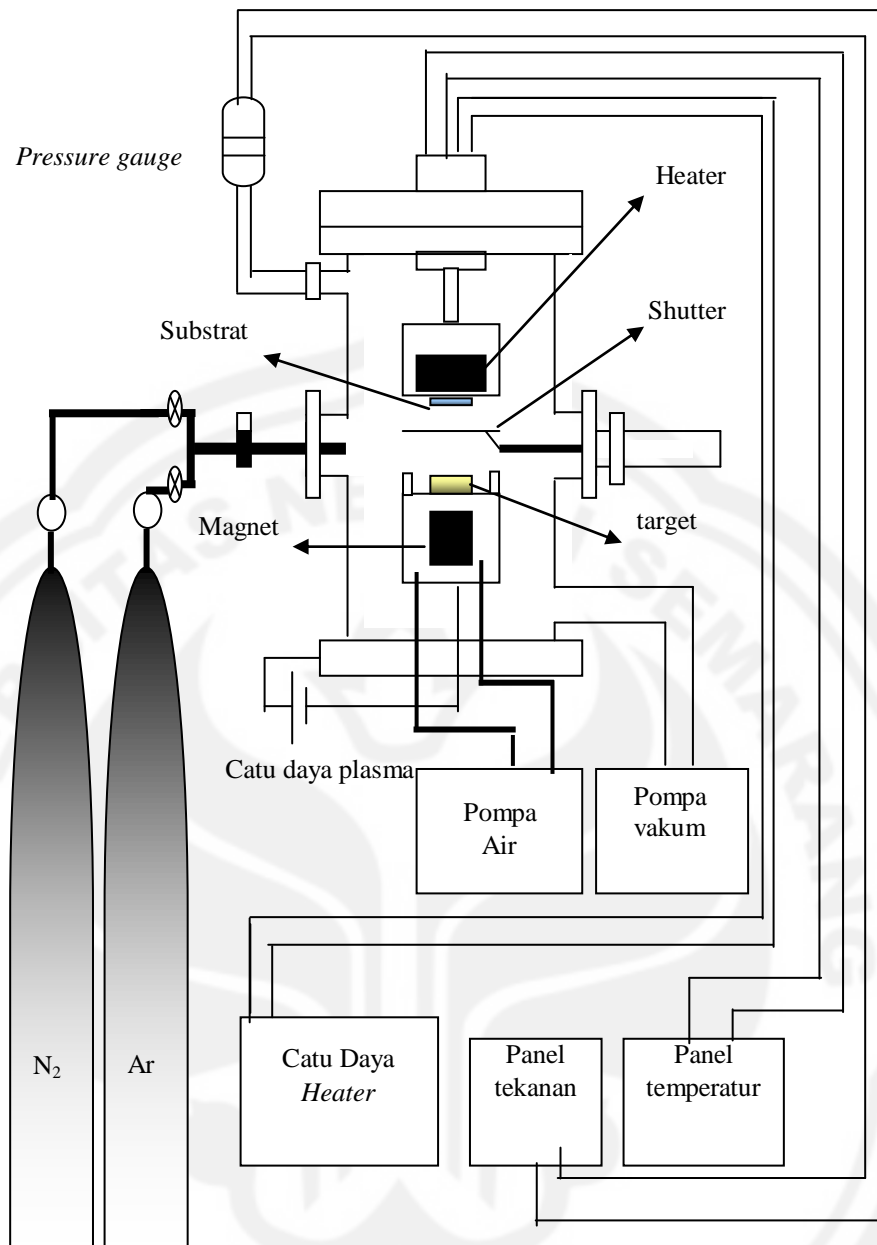
elektroda planar. Salah satu dari elektroda tersebut adalah katoda dingin dan lainnya adalah sebuah anoda. Pada bagian katoda dipasang suatu bahan target dan pada bagian belakangnya didinginkan dengan air pendingin, sedangkan substrat dipasang di anoda. Substrat tersebut dapat dipanaskan menggunakan suatu sistem pemanas. Apabila tabung *sputter* diisi dengan gas Ar (argon) dan pada elektroda dipasang beda potensial, maka antara elektroda terjadi lucutan pijar (*glow discharge*). Atom-atom permukaan target yang tertumbuk keluar akan menempel pada permukaan substrat sehingga terbentuk film tipis.

DC *Magnetron Sputtering* ini menggunakan sistem magnet yang diletakkan dibawah katoda. Magnet membentuk lingkup medan magnet untuk membelokkan partikel bermuatan. Elektron-elektron dikurung dalam lingkup medan magnet dekat target dan mengakibatkan ionisasi pada gas argon lagi. Jumlah ion-ion yang ditarik ke permukaan target menjadi lebih banyak. Semakin banyak ion-ion yang menumbuk target, hasil sputtering semakin meningkat. Skema reaksi dalam *chamber dc magnetron sputtering* ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skema reaksi dalam *chamber dc magnetron sputtering* (Joshi, 2003)

Untuk mencegah terjadi *resputtering* dan meningkatkan derajat ionisasi pada film tipis yang terbentuk, maka di bawah target dipasang magnet permanen dengan tujuan membuat perangkat elektron dari medan magnet yang dihasilkan. Jumlah elektron yang menuju anoda berkurang karena elektron banyak terperangkap medan magnet, sehingga efisiensi ionisasi gas argon meningkat. Proses sputtering juga dapat menimbulkan pemanasan pada target akibat tembakan ion-ion berenergi, sehingga dapat menyebabkan atom-atom oksida yang lebih ringan menguap dan resistansinya berkurang serta untuk menjaga kekuatan magnet agar tidak hilang maka daerah target dialiri dengan air pendingin. Sistem reaktor *dc magnetron sputtering* ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Sistem reaktor *dc magnetron sputtering*

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

Proses penumbuhan film tipis CdTe:Cu secara garis besar terdiri dari tiga tahap yaitu, pembuatan target, preparasi substrat, dan deposisi film tipis di atas substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) dengan menggunakan metode *dc magnetron sputtering*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA UNNES, dilanjutkan dengan karakterisasi sampel film dan analisis data hasil karakterisasi. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan hasilnya dikaji dengan merujuk referensi yang terkait. Dalam penelitian ini, dikaji pengaruh penambahan Cu terhadap struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe:Cu yang ditumbuhkan diatas substrat ITO.

Film tipis CdTe:Cu yang telah dideposisi dikarakterisasi untuk mengetahui beberapa sifat fisisnya. Pada penelitian ini sifat fisis yang dikaji difokuskan pada struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe:Cu. SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui struktur mikro pada film tipis berupa penampang permukaan (*surface*) dan penampang lintang (*cross section*) yang dilakukan di PPLG Bandung. Struktur kristal dan orientasi bidang kristal film tipis dengan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan di laboratorium Kimia Analitik Universitas Gadjah Mada. Karakterisasi sifat listrik dilakukan di laboratorium pengembangan fisika material FMIPA UNNES dengan menggunakan I-V meter.

## **3.1 Pelaksanaan Eksperimen**

### **3.1.1 Pembuatan Target CdTe**

Target pellet dibuat dengan sistem pengepresan. Bahan pellet CdTe yang digunakan mempunyai kemurnian 99,999% dengan massa total 10 gram. Mekanisme pembuatannya meliputi: penggerusan serbuk CdTe selama 2 jam, pemadatan atau pengepresan dengan menggunakan sistem pompa hidrolik menjadi pellet dengan diameter 2 cm, kemudian pellet tersebut disintering pada suhu 700 °C selama 1 jam dan kemudian didinginkan. Pellet CdTe dapat digunakan sebagai target dalam penumbuhan film tipis.

### **3.1.2 Pembuatan Target CdTe:Cu**

Target pellet dibuat dengan sistem pengepresan. Bahan pellet CdTe yang digunakan mempunyai kemurnian 99,999%, dan massa Cu<sub>2</sub>Te dengan kemurnian 99,999% dengan massa total 10 gram. Mekanisme pembuatannya meliputi: pencampuran CdTe dan Cu<sub>2</sub>Te kemudian penggerusan serbuk selama 2 jam, pemadatan atau pengepresan dengan menggunakan sistem pompa hidrolik menjadi pellet dengan diameter 2 cm, kemudian pellet tersebut disintering pada suhu 700 °C selama 2 jam dan kemudian didinginkan. Pellet CdTe:Cu dapat digunakan sebagai target dalam penumbuhan film tipis.

### **3.1.3 Preparasi Substrat**

Dalam penelitian ini substrat yang digunakan untuk penumbuhan film tipis CdTe:Cu adalah substrat ITO. Substrat dicuci dengan aseton dan methanol untuk menghilangkan kotoran (minyak dan lemak) yang menempel pada permukaan

substrat. Kemudian substrat dikeringkan dengan menyemprotkan gas oksigen ke seluruh permukaan substrat.

### 3.1.4 Penumbuhan Film Tipis

Penumbuhan film CdTe dan CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* dilakukan di atas substrat ITO. Langkah-langkah yang dilakukan untuk deposisi film tipis CdTe:Cu sebagai berikut:

1. Memasang target pada katoda dan substrat ITO pada anoda dengan perekat pasta perak.
2. Memanaskan anoda dengan temperatur mencapai 100 °C dengan menghidupkan catu daya *heater* untuk mengeringkan pasta perak dan memasang substrat. Kemudian memasukkannya ke dalam *chamber* dengan memasang tutup reaktor.
3. Memvakumkan *chamber* sampai tekanan dibawah 10 mTorr dengan menghidupkan pompa pemvakum serta menghidupkan sistem pendingian (menghidupkan pompa air).
4. Menaikkan temperatur *chamber* sesuai dengan parameter deposisi yang diinginkan disertai dengan menghidupkan catu daya *heater* (tegangan maksimum 20 volt) dan mengatur panel kontrol temperatur sesuai dengan parameter penumbuhan yang diinginkan.
5. Mengalirkan gas sputtering (argon) dalam *chamber* dengan membuka kran saluran gas (besarnya tekanan sesuai dengan yang diinginkan sebagai parameter deposisi). Dalam penelitian ini tekanan gas argon yang digunakan adalah 500 mTorr.



6. Mengatur plasma dengan menghidupkan catu daya tegangan tinggi dc sampai tegangan (*volt*) dan arus (*ampere*) mencapai nilai yang sesuai kemudian *shutter* dibuka ketika plasma sudah stabil dan proses penumbuhan dimulai.
7. Menutup *shutter* setelah waktu penumbuhan mencapai 2,5 jam kemudian plasma dimatikan dengan menurunkan tegangan catu daya plasma hingga 0 volt kemudian dimatikan dan kran saluran gas Ar.
8. Menurunkan temperatur *chamber* dengan menurunkan catu daya *heater* hingga mencapai 0 volt kemudian dimatikan dan mengatur penurunan temperatur menjadi *off*.
9. Mematikan pompa pemvakum, sistem pendingin, panel tekanan dan panel kontrol temperatur setelah temperatur *chamber* mencapai 30°C.
10. Membuka tutup reaktor dengan membuka kran aliran udara masuk, kemudian sampel diambil.

Penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu dilakukan sesuai dengan parameter kondisi penumbuhan yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Parameter kondisi penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu yang ditumbuhkan diatas substrat ITO

No	Sampel	Deskripsi Sampel	Suhu Substrat (°C)	Tekanan Ar (mTorr)	Daya Plasma (watt)	Lama Deposisi (menit)
1	A	CdTe	250	500	14	150
2	B	CdTe:Cu(15%)	250	500	14	150
3	C	CdTe	325	500	43	150
4	D	CdTe:Cu(2%)	325	500	43	150

## 3.2 Karakterisasi Film Tipis

Lapisan tipis CdTe:Cu dan CdTe tanpa doping yang telah ditumbuhkan dianalisis dengan berbagai teknik karakterisasi yang berbeda. Karakterisasi ini bertujuan untuk memperoleh informasi sifat fisis struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film yang telah ditumbuhkan.

### 3.2.1 SEM - EDX

Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui struktur mikro pada film tipis. Informasi yang diperoleh dari hasil SEM adalah citra dari film tipis yang ditumbuhkan meliputi bentuk morfologi struktur mikro, ukuran bulir dan ketebalan lapisan tipis. Dari hasil SEM dapat ditunjukkan apakah film yang ditumbuhkan memiliki ukuran bulir yang seragam, dan kerataan permukaan dari film tersebut.

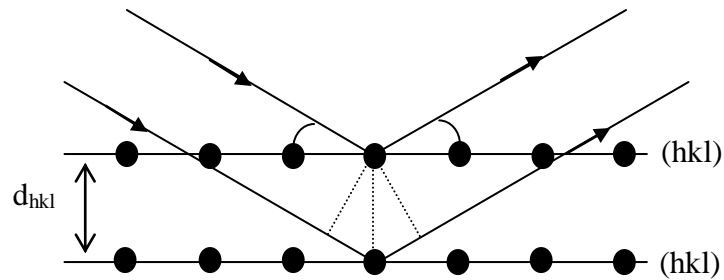
Hasil karakterisasi SEM berupa foto penampang permukaan (*surface*) dan penampang lintang (*cross section*). Dengan menganalisis penampang permukaan dapat diketahui adanya *grain boundaries* dan *dislokasi* pada film. Informasi lain yang diperoleh dari karakterisasi SEM adalah ketebalan lapisan yang dapat dianalisis dari penampang lintang citra.

Energi dispersif sinar-X (EDX) ialah suatu teknik analisis yang menggunakan karakteristik radiasi sinar-X untuk menganalisis komposisi kimia suatu bahan. Analisis unsur dengan menggunakan EDX pada prinsipnya menggunakan deteksi sinar-X yang dipancarkan dalam material target. Sinar-X timbul sebagai interaksi berkas elektron berenergi tinggi dengan elektron-elektron atom dalam material target sehingga elektron-elektron tersebut akan tereksitasi,

yaitu terlemparnya elektron ke orbit yang energinya lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi tersebut cenderung kembali ke orbit yang energinya lebih rendah dengan memancarkan sinar-X. Informasi langsung dapat diperoleh dari pengujian komposisi dengan menggunakan EDX adalah spektrum energi sinar-X dan intensitas. Jenis atom-atom atau unsur-unsur yang terkandung dalam material target dapat diketahui dari spektrum energi sinar-X. Persentase unsur-unsur yang terkandung dalam material target dapat diketahui dari tingginya intensitas.

### 3.2.3 XRD

Spektroskopi XRD (*X-Ray Diffraction*) atau difraksi sinar-X merupakan salah satu metode karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Metode difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Hasil dari difraksi sinar-X berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi  $2\theta$  dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Bila atom-atom pada kristal ditumbuk oleh partikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom, maka partikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang tidak dapat dipastikan arahnya. Peristiwa yang terjadi merupakan peristiwa hamburan atau difraksi. Gambar 3.1 menunjukkan peristiwa hamburan sinar-X pada kristal.



Gambar 3.1 Hamburan sinar-X pada kristal (Suryanarayana, 1998)

Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta; \quad n = 1, 2, \dots \quad (3.1)$$

dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $d$  adalah jarak antara dua bidang kisi,  $\theta$  adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan  $n$  adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde refleksi Bragg. Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X diatukan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan memantulkan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dipantulkan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebagai puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas difraksi yang dihasilkan. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang mewakili orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X yaitu JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*). Selain orientasi kristal, karakterisasi XRD juga dapat digunakan untuk mengetahui nilai konstanta kisi juga dapat ditentukan dari hasil

karakterisasi XRD. Nilai  $d_{hkl}$  struktur kristal heksagonal ditulis pada persamaan (3.3).

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.2)$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \left( \frac{l}{c} \right)^2}} \quad (3.3)$$

Nilai konstanta kisi a dan c dari struktur kistal heksagonal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3.4).

$$\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} \quad (3.4)$$

#### 3.2.4 Karakterisasi I-V

Karakteristik I-V merupakan suatu hubungan fisis antara arus dan tegangan. Pengukuran I-V ini dilakukan untuk mengetahui adanya sifat listrik material yang terkandung di dalam film tipis CdTe:Cu yang ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering*. Untuk memperoleh karakteristik I-V dilakukan pengukuran arus listrik (I) untuk tegangan panjar dc (V) yang diubah-ubah. Pengukuran dilakukan menggunakan sumber tegangan variabel yang dapat diubah-ubah pada tegangan tertentu. Sistem pengukuran I-V pada umumnya berbasis komputer.

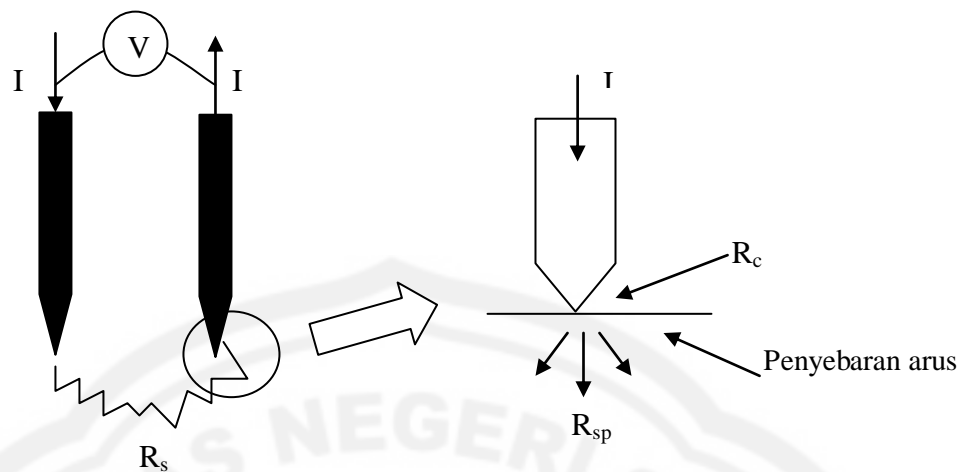
Karakterisasi sifat listrik film tipis CdTe:Cu dianalisis berdasarkan data dari hasil pengukuran dengan menggunakan I-V Meter. Pengukuran dilakukan

dengan menggunakan I-V Meter ELKAHFI 100. I-V Meter ELKAHFI 100 merupakan alat yang dirancang untuk mengukur karakterisasi arus tegangan (IV) yang terdiri dari sebuah sumber tegangan dan sebuah pikoampermeter yang dapat mengukur arus mulai dari 100 pA sampai 3.5 mA. Data yang diperoleh dari pengukuran ini ialah besarnya arus setelah diberikan tegangan yang bervariasi. Data hasil pengukuran diolah dengan menggunakan software ELKAHFI-100 yang terkoneksi dengan PC (*Personal Computer*) pada saat pengukuran.

Karakterisasi sifat listrik I-V meter ELKAHFI-100 menggunakan metode *two-probe* seperti diperlihatkan pada gambar 3.2. Metode *two-probe* merupakan teknik pengukuran untuk mengetahui resistivitas pada bahan semikonduktor. Tampak pada gambar, *probe* dialiri arus kemudian diukur tegangannya. Total resistansi diantara *two-probe* dapat dinyatakan sesuai persamaan (3.5).

$$R_T = \frac{V}{I} = 2R_c + 2R_{sp} + R_s \quad (3.5)$$

dengan  $R_c$  adalah resistansi kontak pada masing-masing kontak (*metal probe*) semikonduktor,  $R_{sp}$  adalah resistansi penyebaran dari masing-masing *probe* dan  $R_s$  merupakan resistansi semikonduktor. Resistansi kontak muncul ketika *metal probe* berhubungan langsung dengan semikonduktor. Sedangkan besarnya *spreading resistance* muncul ketika *probe* dialiri arus. Gambar 3.2 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode *two-probe*.



Gambar 3.2 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode *two-probe* (Schroder, 1990)

Pada pengukuran hambatan sampel,  $R_c$  dan  $R_{sp}$  diabaikan karena terlalu kecil. Besarnya resistivitas film dihitung menggunakan persamaan (3.6)

$$\rho = \frac{2\pi r V}{I} \quad (3.6)$$

dengan  $V$  adalah tegangan (volt),  $r$  adalah jarak antar *probe* (cm) dan  $I$  merupakan arus (ampere).

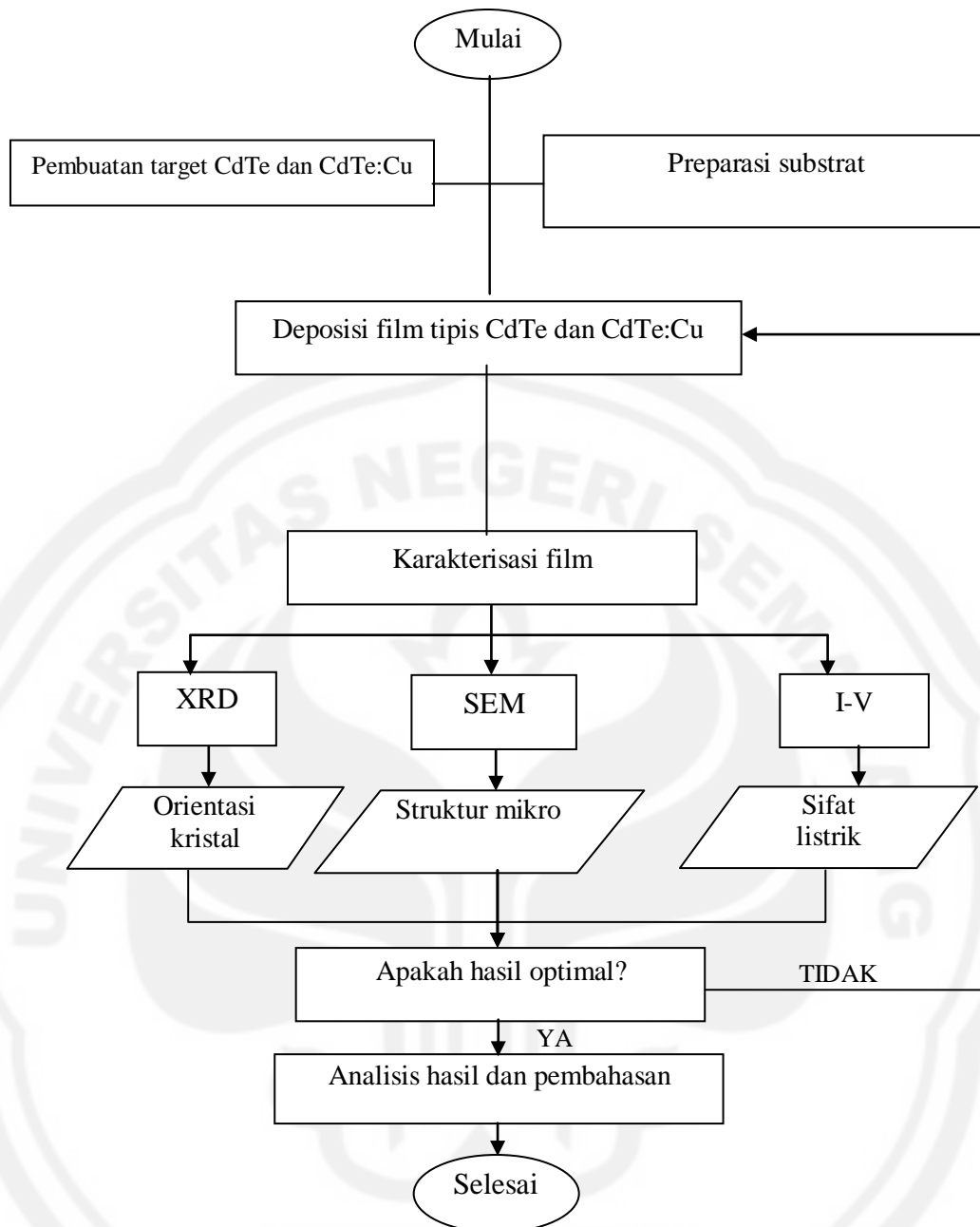
Dari ketiga hasil karakterisasi tersebut dapat diketahui struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe:Cu yang ditumbuhkan dengan membandingkan dengan film tipis CdTe dengan parameter penumbuhan yang sama. Selanjutnya hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan pada proses penumbuhan dan karakterisasi film tipis CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* berikutnya. Setelah kondisi optimal penumbuhan film diketahui, dapat ditumbuhkan film tipis CdTe:Cu yang mempunyai sifat fisis lebih baik

dibandingkan film tipis CdTe sebagai bahan pembuatan sel surya. Sel surya yang baik dicirikan dengan tumbuhnya kristal film dengan arah bidang yang kompak, susunan atom pada bidang kristal seragam dan memiliki jarak sama (Suryanarayana *et al.*, 1998). Sel surya yang jelek dicirikan dengan derajat kristalinitas yang rendah serta adanya banyak cacat pada film. Hal tersebut menunjukkan adanya kontrol yang kurang pada saat nukleasi dan merupakan konsekuensi dari film yang tumbuh pada kondisi yang tidak optimal (Fritsche *et al.*, 2001).

### **3.3 Alur Penelitian**

Pelaksanaan eksperimen penumbuhan film tipis CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* dapat ditunjukkan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.3.





Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Film tipis CdTe:Cu telah ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering*. Penumbuhan dilakukan di atas substrat ITO dengan memvariasi konsentrasi doping, daya plasma dan temperatur substrat pada saat deposisi. Hal ini dilakukan karena kondisi optimal penumbuhan film tipis CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* belum diketahui. Penelitian diawali dengan menumbuhkan CdTe dan CdTe:Cu(15%) pada temperatur substrat 250 °C, dengan tekanan gas argon, waktu penumbuhan dan daya plasma masing-masing ditetapkan pada 500 mTorr, 150 menit dan 14 W. Penelitian dilanjutkan dengan penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) pada temperatur substrat 325°C, tekanan gas argon 500mTorr dan daya plasma 43 W.

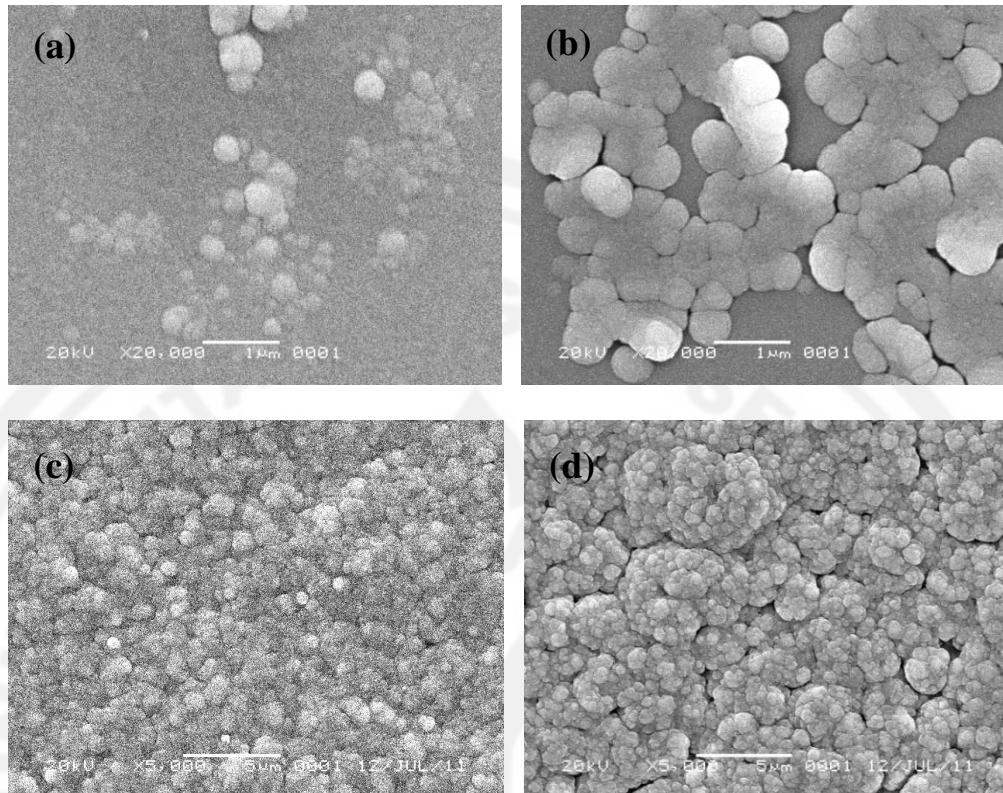
Film tipis yang telah ditumbuhkan kemudian dikarakterisasi dan dianalisis. Struktur mikro dianalisis dari hasil SEM, XRD digunakan untuk menganalisis struktur kristal dan sifat listrik dianalisis dari karakterisasi I-V.

#### 4.1 Hasil Penelitian

##### 4.1.1 Hasil karakterisasi SEM - EDX

Film tipis CdTe dan CdTe:Cu yang ditumbuhkan dikarakterisasi dengan SEM. Dari karakterisasi SEM dapat diketahui pengaruh parameter penumbuhan yang berbeda, serta pengaruh doping Cu terhadap morfologi permukaan film. Gambar 4.1 menunjukkan citra SEM permukaan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C dan daya plasma

rendah 14 W serta film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W.

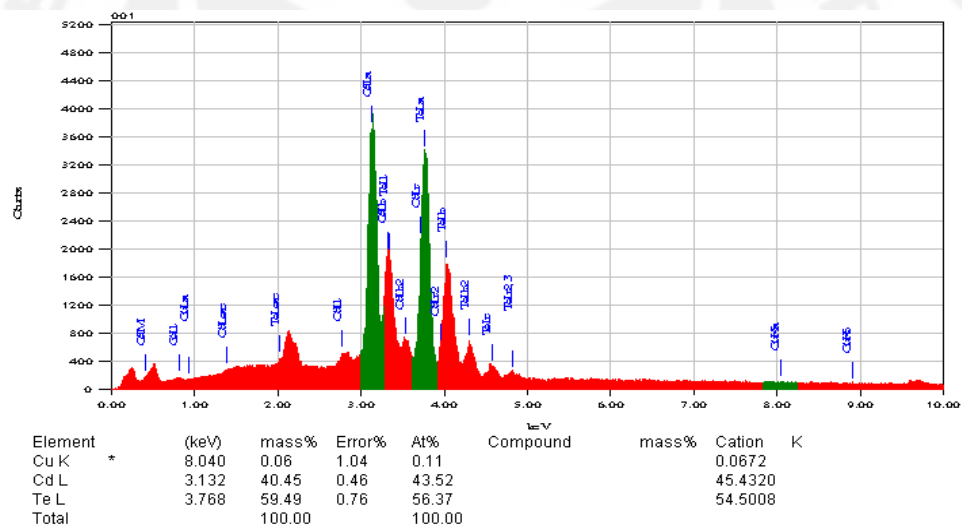


Gambar 4.1 Citra SEM film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada 250 °C, 14 W dengan perbesaran 20.000 kali (c) CdTe dan (d) CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada 325 °C, 43 W, 150 menit dengan perbesaran 5.000 kali

Pada citra penampang permukaan SEM teramati bahwa film tipis CdTe (250 °C dan 14 W) mempunyai morfologi yang tidak rata. Pengaruh doping Cu mulai terlihat pada film tipis CdTe (250 °C dan 14 W). Atom-atom pada film tipis CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C dan 14 W terlihat sudah mulai membentuk kelompok-kelompok (*cluster*) sehingga terlihat lebih rata dibandingkan dengan film tipis CdTe (250 °C dan 14 W). Tampak dari citra SEM, film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C

dan daya plasma 14 W menghasilkan permukaan film yang masih terdapat kekosongan. Hal ini dapat dianalisis dari hasil citra dari penampang permukaan film dengan perbesaran 20.000 kali terlihat atom-atom belum terdeposit menutupi seluruh lapisan substrat. Pada citra SEM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 325°C dan daya plasma 43 W mempunyai morfologi yang rata.

Gambar 4.2 menunjukkan hasil EDX film tipis CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W. Berdasarkan hasil karakterisasi EDX dapat diketahui kandungan unsur yang terdapat dalam film tipis CdTe:Cu(2%).



Gambar 4.2 Hasil karakterisasi EDX film tipis CdTe:Cu(2%)

Karakterisasi EDX dapat digunakan untuk mengetahui persentase unsur Cd, Te, dan Cu yang ada dalam film tipis CdTe:Cu. Dalam penelitian ini, hasil karakterisasi EDX menunjukkan bahwa film tipis CdTe:Cu yang ditumbuhkan dengan kadar doping sebesar 2% menghasilkan kandungan unsur Cd, Te, dan Cu

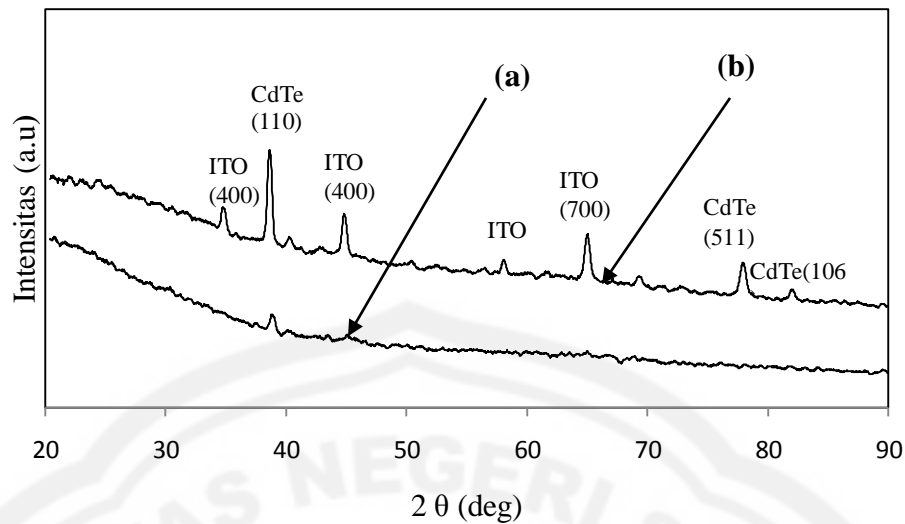
berturut-turut adalah 43,52%; 56,37% dan 0,11%. Dari karakterisasi EDX menunjukkan pendopingan unsur Cu telah berhasil dilakukan.

#### 4.1.2 Hasil Karakterisasi XRD

Lapisan tipis CdTe dan CdTe:Cu yang ditumbuhkan di atas substrat ITO dikarakterisasi menggunakan XRD dengan menggunakan radiasi  $\text{CuK}\alpha$ , tegangan generator 40 kVolt, dan arus 30 mA. Hasil karakterisasi XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur dan fase kristal, serta orientasi bidang kristal (*hkl*) lapisan tipis.

##### ***4.1.2.1 Analisis struktur kristal film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada temperatur 250°C dan daya plasma 14 W***

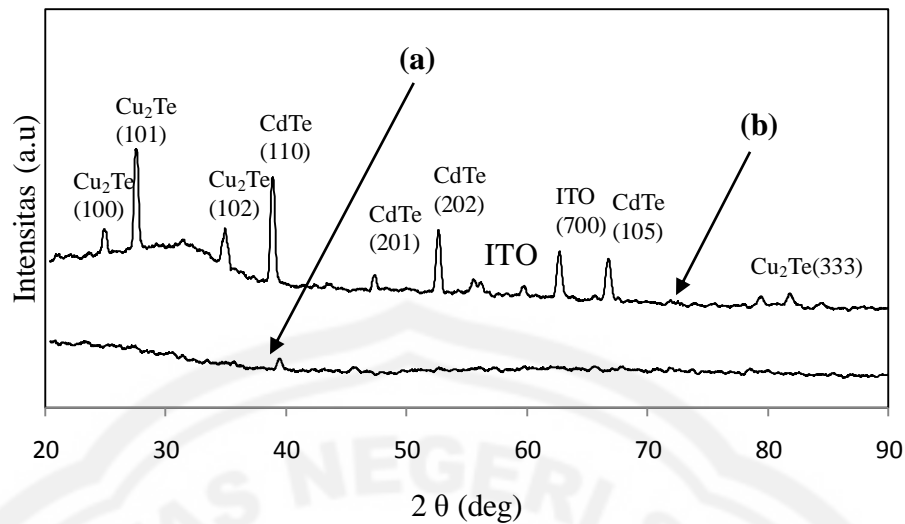
Untuk mengetahui pengaruh dari doping Cu terhadap struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe, dilakukan analisis perbandingan sifat fisis film tipis CdTe:Cu(15%) dengan film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan parameter penumbuhan sama (temperatur 250 °C, daya plasma 14 W, tekanan gas argon 500 mTorr dan lama deposisi 150 menit). Kondisi penumbuhan film tipis CdTe pada temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W menghasilkan film tipis yang belum sempurna, meskipun terlihat ada satu puncak difraksi tetapi puncak terjadi dengan intensitas yang rendah. Analisis XRD film tipis CdTe tanpa doping Cu menunjukkan film masih bersifat amorf, sehingga sampel kemudian diberi perlakuan *annealing* pada 300 °C selama 60 menit. Gambar 4.3 menunjukkan pola difraksi sinar-X film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W.



Gambar 4.3 Difraksi sinar-X film tipis CdTe (a) tanpa *annealing*, (b) dengan *annealing*

Analisis XRD menunjukkan puncak tertinggi dengan sudut  $2\theta = 38,36^\circ$  bersesuaian dengan bidang (110). Berdasarkan perhitungan pada lampiran 6 diketahui nilai konstanta kisi film yang ditumbuhkan dengan temperatur  $250^\circ\text{C}$  dan daya plasma 14 W adalah  $a = 4,6929 \text{ \AA}$  dan  $c = 7,6634 \text{ \AA}$ . Dari nilai konstanta kisi yang telah diperoleh, maka dapat diketahui bahwa lapisan film yang ditumbuhkan tersebut adalah film tipis CdTe yang mempunyai struktur kristal heksagonal.

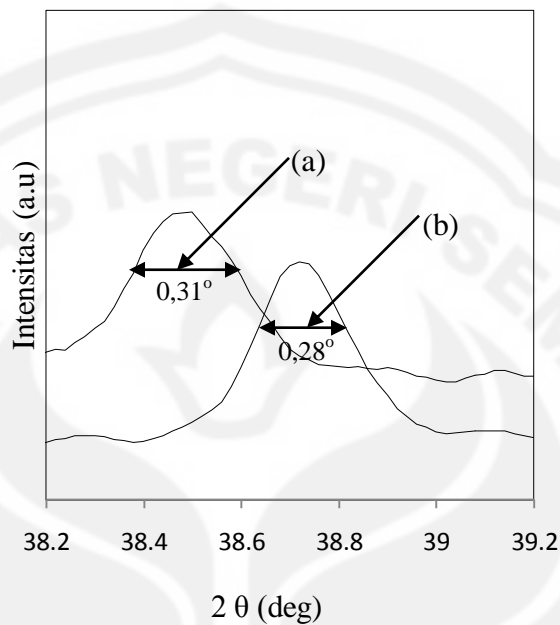
Pola XRD film tipis CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan dengan temperatur  $250^\circ\text{C}$  dan daya plasma 14 W di atas substrat ITO ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Difraksi sinar-X film tipis CdTe:Cu(15%) (a) tanpa *annealing*, dan (b) dengan *annealing*

Gambar 4.4 memperlihatkan grafik XRD film tipis CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO pada temperatur substrat 250 °C, daya plasma 14 W, dengan dan tanpa *annealing*. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan hasil yang sama dengan kondisi penumbuhan film tipis CdTe, puncak difraksi mulai muncul pada lapisan tipis CdTe:Cu(15%) meskipun dalam intensitas yang rendah. Kemudian sampel diberi perlakuan *annealing* dengan parameter yang sama dengan film CdTe (300 °C selama 60 menit). Analisis XRD menunjukkan puncak tertinggi dengan sudut  $2\theta = 38,42^\circ$  bersesuaian dengan bidang (110). Berdasarkan perhitungan pada lampiran 6 diketahui nilai konstanta kisi film CdTe:Cu(15%) adalah  $a = 4,6556 \text{ \AA}$  dan  $c = 7,6025 \text{ \AA}$ . Dari nilai tetapan kisi yang telah diperoleh, maka dapat diketahui bahwa lapisan tersebut adalah film tipis CdTe yang mempunyai struktur kristal heksagonal.

Selain mengetahui struktur kristal, dari hasil karakterisasi XRD juga dapat diketahui nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*). Gambar 4.5 menunjukkan nilai FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) dengan temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W.



Gambar 4.5 FWHM film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO

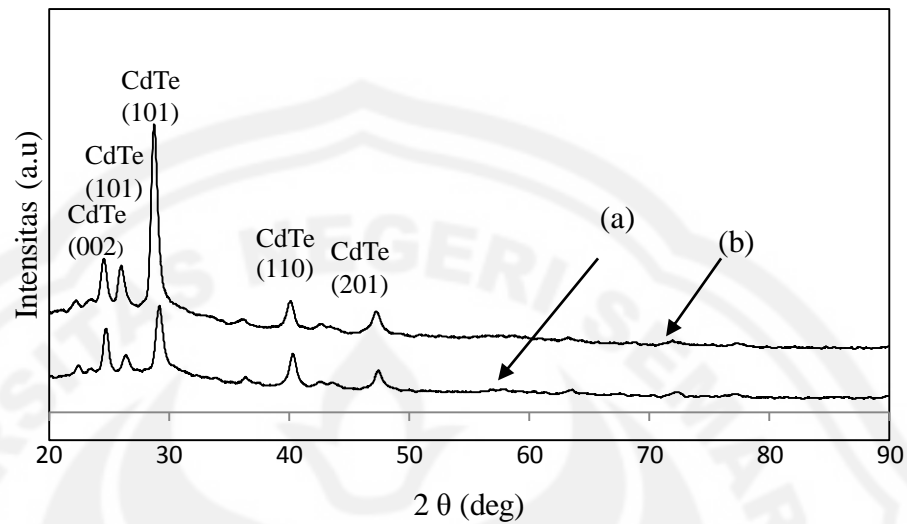
Dari hasil karakterisasi XRD diketahui bahwa lapisan tipis CdTe:Cu(15%) mempunyai FWHM sebesar 0,28° sedangkan lapisan tipis CdTe tanpa doping mempunyai nilai FWHM sebesar 0,31°. Diperoleh nilai FWHM film CdTe:Cu(15%) lebih kecil dibandingkan dengan FWHM film CdTe.

#### **4.1.2.2 Analisis struktur kristal film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 325°C dan daya plasma 43 W**

Film yang ditumbuhkan pada temperatur dan daya plasma rendah belum menunjukkan hasil yang optimal. Penelitian dilanjutkan dengan penumbuhan



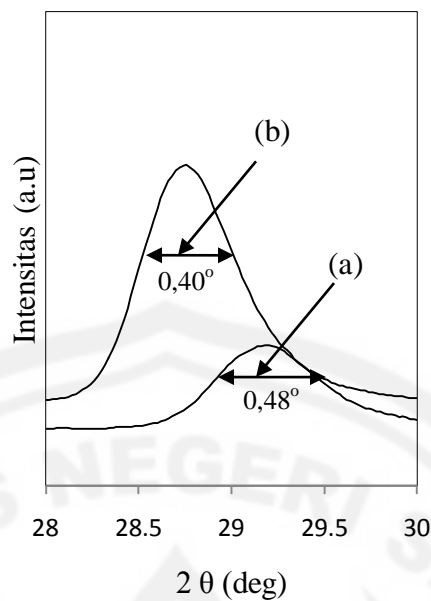
lapisan tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W. Hasil karakterisasi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Difraksi sinar-X film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada 325 °C, 43 W

Teramati dari pola XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W mempunyai puncak-puncak difraksi pada  $2\theta$  yang identik hanya saja dengan intensitas yang berbeda. Puncak tertinggi masing-masing film muncul pada sudut difraksi  $2\theta = 28,66^\circ$  untuk film CdTe dan  $2\theta = 28,28^\circ$  untuk film CdTe:Cu(2%), dengan intensitas yang berbeda. Puncak-puncak difraksi film tipis CdTe:Cu(2%) teramati lebih tinggi dibandingkan dengan film tipis CdTe.

Hasil karakterisasi XRD dapat dianalisis untuk mengetahui nilai FWHM. Gambar 4.7 menunjukkan FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W.

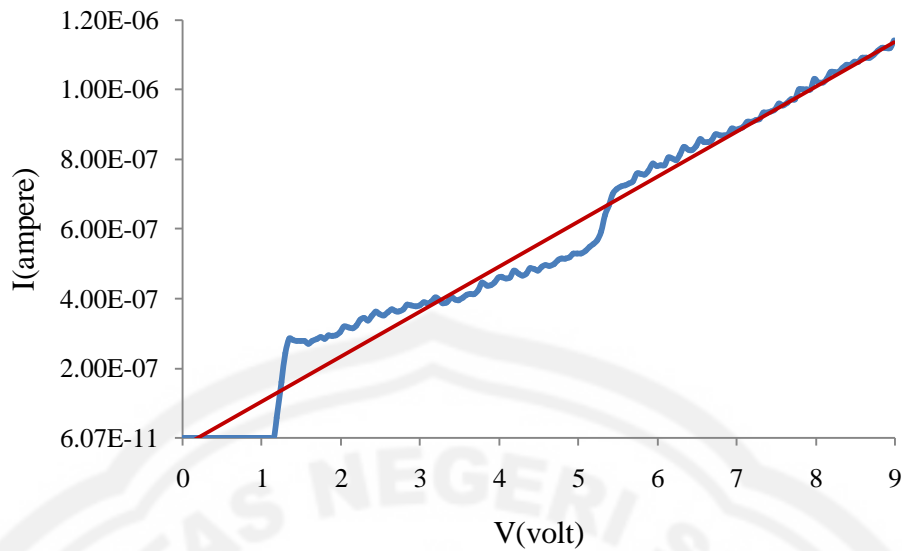


Gambar 4.7 FWHM film tipis (a) CdTe dan (b) CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO

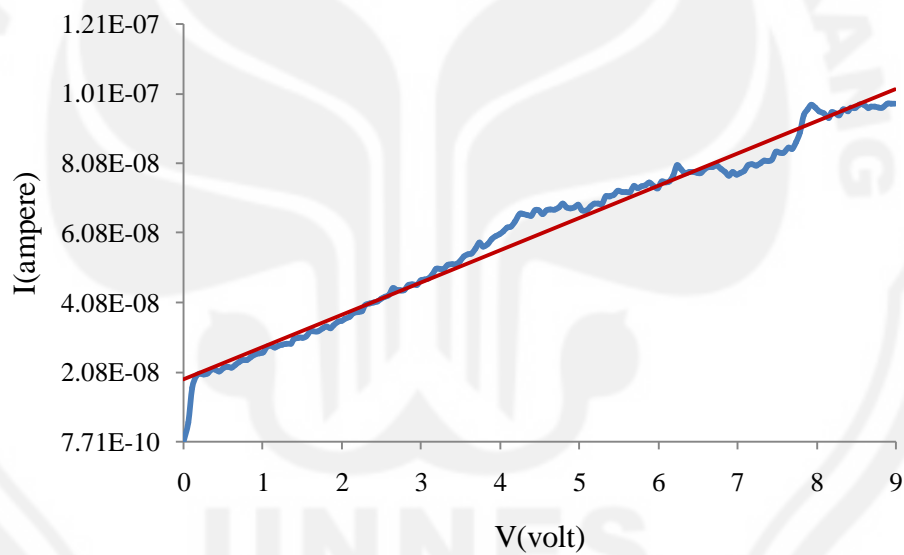
Dari hasil karakterisasi XRD diketahui bahwa lebar FWHM film CdTe sebesar  $0,48^\circ$  dan lebar FWHM film CdTe:Cu(2%) sebesar  $0,40^\circ$ . Nilai FWHM film CdTe:Cu(2%) lebih kecil dibandingkan dengan film CdTe yang ditumbuhkan dengan parameter yang sama.

#### 4.1.3 Hasil Karakterisasi Sifat Listrik

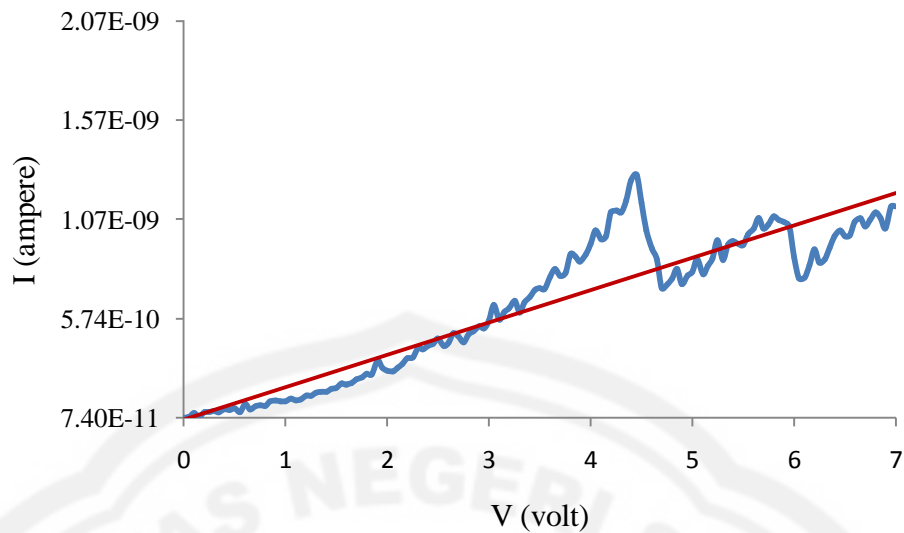
Karakterisasi sifat listrik film tipis CdTe dan CdTe:Cu dilakukan dengan menggunakan metode *two-probe* yang terangkai dengan PC dan I-V Meter. Data yang diperoleh dari karakterisasi ini berupa grafik arus dan tegangan. Gambar 4.8 (a), (b), (c) dan (d) menunjukkan hasil pengukuran arus dan tegangan (I-V) keempat sampel film CdTe dan CdTe:Cu.



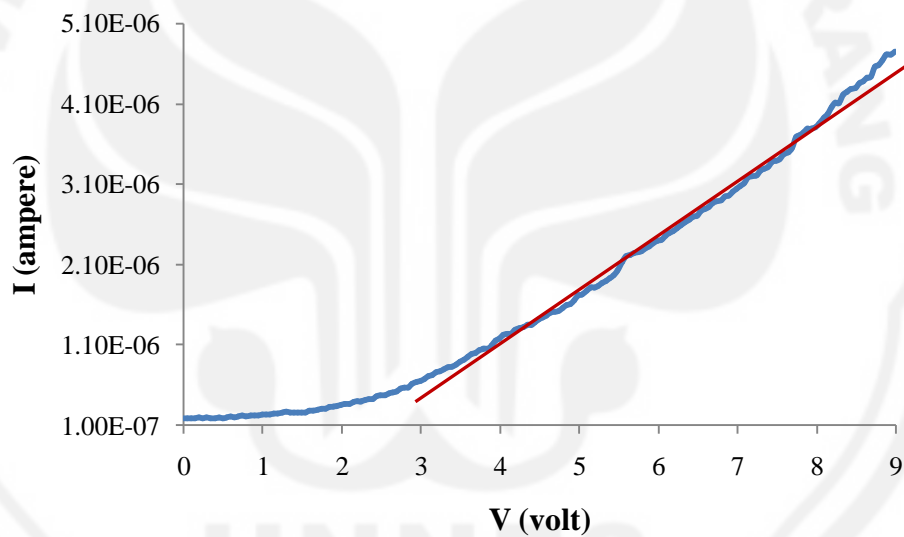
Gambar 4.8 (a) Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan temperatur  $250^\circ\text{C}$  dan daya plasma 14 W



Gambar 4.8 (b) Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan dengan temperatur  $250^\circ\text{C}$  dan daya plasma 14 W



Gambar 4.8 (c) Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W



Gambar 4.8 (d) Grafik hasil pengukuran I-V film tipis CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W

Berdasarkan Gambar 4.8 (a), (b), (c) dan (d) memperlihatkan hasil pengukuran arus-tegangan dari film tipis CdTe dan CdTe:Cu. Terlihat bahwa film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W masih menunjukkan pola tidak linier yang mengindikasikan

bahwa sifat listrik film masih bersifat *schottky*. Film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W mulai membentuk pola grafik yang linier untuk film tipis CdTe:Cu(2%), dimulai pada tegangan 3 V hal ini mengindikasikan bahwa sifat listrik film mulai bersifat Ohmik. Grafik yang linier dari pengukuran arus-tegangan menyatakan bahwa film yang tumbuh tidak mempunyai potensial penghambat atau *barrier* (Amin, 2007). Wiyanto (1993) menyatakan bila karakteristik arus-tegangan linier maka kontak bersifat Ohmik. Perubahan grafik I-V film tipis CdTe:Cu(2%) ke bentuk linier selain disebabkan oleh terjadinya difusi antara doping Cu dengan lapisan tipis CdTe juga dikarenakan tinggi potensial penghambat (*barrier*) dapat tereduksi akibat elektron mendapat energi termal. Nilai resistivitas diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.6). Hasil perhitungan karakterisasi sifat listrik film tipis CdTe dan CdTe:Cu dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil karakterisasi sifat listrik film tipis CdTe dan CdTe:Cu dengan metode *two-probe*

Sampel	Deskripsi Sampel	Suhu Substrat (°C)	Tekanan Ar (mTorr)	Daya Plasma (watt)	Resistivitas Film (Ωcm)
A	CdTe	250	500	14	$3,40 \times 10^9$
B	CdTe:Cu(15%)	250	500	14	$4,62 \times 10^8$
C	CdTe	325	500	43	$8,40 \times 10^9$
D	CdTe:Cu (2%)	325	500	43	$6,92 \times 10^5$

Hasil analisis pengukuran sifat listrik film tipis CdTe:Cu(15%) dan CdTe tanpa doping Cu yang ditumbuhkan dengan temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W dengan menggunakan metode *two-probe* menunjukkan nilai resistivitas listrik yang berbeda meski dalam orde yang identik. Film tipis CdTe yang ditumbuhkan tanpa doping Cu mempunyai resistivitas lebih besar yaitu ( $3,40 \times 10^9 \Omega\text{cm}$ ) sedangkan film tipis CdTe:Cu(15%) mempunyai resistivitas ( $4,62 \times 10^8 \Omega\text{cm}$ ). Untuk film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W mempunyai resistivitas yang lebih kecil yakni ( $8,40 \times 10^9 \Omega\text{cm}$ ) untuk film CdTe tanpa doping dan ( $6,92 \times 10^5 \Omega\text{cm}$ ) untuk film CdTe:Cu(2%).

## 4.2 Pembahasan

Film dengan morfologi yang lebih rata diperoleh dari film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W. Hal ini dikarenakan penggunaan daya plasma yang relatif tinggi menyebabkan bertambahnya energi kinetik dan momentum atom-atom target yang menuju substrat. Bertambahnya energi kinetik dan momentum atom-atom target yang menuju substrat meningkatkan mobilitas atom-atom target menuju permukaan substrat (Sudjatmoko, 2003). Semakin tinggi suhu substrat, atom-atom yang berada pada permukaan substrat akan mudah menata diri sehingga morfologi permukaan akan lebih rata (Prabawati, 2008). Mobilitas yang tinggi dari atom-atom di permukaan substrat dapat menyebabkan terbentuknya lapisan tipis dengan ukuran butir (*grain size*) besar (Sudjatmoko, 2003). Film tipis CdTe dengan didoping Cu memiliki permukaan yang lebih rata dibandingkan dengan film tipis CdTe. Hal ini dikarenakan Cu dalam kristal tunggal CdTe dianggap sebagai ion *interstitial* ( $\text{Cu}^+$ )

yang akan menempati kekosongan Cd-*vacancy* (Dzhafarov *et al.*, 2005). Lany *et al* (2001) menyatakan bahwa CdTe dalam kristal tunggal mempunyai cacat alami yang berupa cacat lokal Cd-*vacancy*, dan kehadiran Cu dapat mengisi kekosongan tersebut sehingga film yang dihasilkan menjadi lebih rapat. Rusu *et al* (2005) dalam penelitiannya juga menyebutkan meningkatnya kualitas kristal dimana atom Cu menutupi kekosongan cacat Cd-*vacancy*.

Analisis XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W menunjukkan satu puncak difraksi dengan intensitas yang rendah sehingga film kemudian diberi perlakuan *annealing*. Setelah diberi perlakuan *annealing*, film teramati menunjukkan puncak-puncak difraksi. *Annealing* merupakan perlakuan panas pada suatu material dengan kondisi temperatur tertentu, menjaganya pada temperatur tertentu selama waktu yang telah ditentukan dan menurunkan temperatur tersebut secara perlahan. Pada saat material dipanaskan, atom-atom dalam material tersebut akan bergerak acak dan pada saat temperatur diturunkan secara perlahan atom menata diri kembali sehingga lebih rata. Pada saat berkas sinar-X menumbuk atom pada kristal, masing-masing atom menghasilkan gelombang terdifraksi. Apabila atom-atom tertata lebih rata maka gelombang ini akan berinterferensi menghasilkan intensitas yang bervariasi. Hasil XRD menunjukkan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan dengan temperatur 250 °C dan daya plasma 14 W mempunyai puncak difraksi lebih dari satu, hal ini mengindikasikan film yang ditumbuhkan bersifat polikristal.

Analisis XRD film tipis yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W telah menunjukkan puncak-puncak difraksi yang mengindikasikan film tidak lagi amorf. Puncak-puncak difraksi film tipis CdTe:Cu(2%) teramati lebih tinggi dibandingkan dengan film tipis CdTe. Hal ini mengindikasikan bahwa film CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W memiliki susunan atom pada bidang kristal yang lebih seragam dan memiliki jarak yang relatif sama dibandingkan dengan film CdTe tanpa doping sehingga mempunyai kualitas kristal yang relatif lebih baik. Film yang mempunyai intensitas tinggi dengan FWHM sempit dikatakan mempunyai kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan film yang tumbuh dengan intensitas yang lebih rendah dan FWHM yang lebih lebar (Wibowo, 2008). Ketika kristal film tumbuh dengan arah bidang yang kompak, susunan atom pada bidang kristal seragam dan memiliki jarak sama, pada saat berkas sinar-X menumbuk atom pada kristal, masing-masing atom menghasilkan gelombang terdifraksi. Gelombang ini akan berinterferensi menghasilkan intensitas yang bervariasi. Tingginya intensitas dipengaruhi oleh banyaknya bidang-bidang pemantul pada susunan atom film tipis. Semakin banyak bidang-bidang pemantul, interferensi dari gelombang terdifraksi akan saling menguatkan yang menyebabkan semakin tinggi pula intensitasnya. Banyaknya bidang-bidang pemantul menunjukkan kualitas kristal yang lebih baik dengan susunan dan jarak antar atom yang lebih teratur. Sehingga secara kualitatif dapat dikatakan bahwa tingginya intensitas menggambarkan kualitas kristal yang lebih baik (Widuri, 2007).



Dari hasil karakterisasi XRD film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu 2% mempunyai kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan dengan temperatur 250 °C, daya plasma 14 W dengan konsentrasi doping Cu 15%. Hal ini juga sesuai dengan hasil karakterisasi SEM.

Pada penelitian ini, sifat listrik film ditentukan dengan menggunakan analisis resistivitas. Resistivitas listrik film tipis berbanding terbalik dengan konduktivitas listriknya dengan kata lain resistivitas yang kecil mempunyai konduktivitas yang besar (Alfafa, 2007), sehingga sifat listrik yang baik dari suatu film tipis dapat dicirikan dengan nilai resistivitas yang kecil. Difusi Cu menyebabkan penurunan konsentrasi pembawa muatan bebas pada CdTe tipe-n (Dzhafarov *et al.*, 2005). Sebagai akibatnya difusi Cu pada CdTe tipe-n akan menaikkan resistivitas dari film CdTe, sebaliknya difusi Cu pada CdTe tipe-p akan menurunkan resistivitas. Dzhafarov *et al.*, (2005) melaporkan bahwa difusi Cu pada film CdTe tipe-p menurunkan nilai resistivitas dari ( $4 \times 10^7 \Omega\text{cm}$ ) menjadi ( $0.5 \Omega\text{cm}$ ) dengan menambah ketebalan doping Cu di atas lapisan CdTe 6 nm hingga 72 nm.

Resistivitas film yang lebih kecil diperoleh pada film yang ditumbuhkan pada temperatur dan daya plasma tinggi. Pada temperatur kamar banyak elektron valensi yang terlepas dari ikatan kovalen oleh karena terjadinya getaran atom. Semakin tinggi temperatur, semakin banyak pula elektron bebas. Jika di dalam bahan diberi medan listrik, yaitu dengan memberi beda potensial maka elektron bebas ini akan bergerak menjadi aliran atau arus listrik. Semakin tinggi temperatur

semakin banyak elektron bebas, sehingga semakin banyak pula arus yang mengalir untuk beda potensial yang sama, yang berarti semakin rendah hambatannya (Sutrisno, 1986). Konduktivitas listrik suatu bahan meningkat apabila temperaturnya dinaikkan (Rio, 1982).

#### **4.3 Hubungan antara struktur mikro, struktur kristal dan sifat listrik film tipis CdTe dan CdTe:Cu**

Film tipis CdTe dan CdTe:Cu yang telah ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu pada CdTe 2% mempunyai struktur morfologi yang rata. Berdasarkan citra penampang SEM, atom-atom yang tersputter dari target terdeposit secara merata pada permukaan substrat. Hal ini diperkuat dengan tingginya intensitas pola difraksi XRD dan kecilnya nilai FWHM yang menandakan struktur kristal atom-atom pada permukaan substrat seragam dan relatif kompak. Resistivitas yang lebih kecil dari film tipis CdTe dan CdTe:Cu juga diperoleh pada film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu pada CdTe sebesar 2%. Menurut Sze, sebagaimana dikutip oleh Amin (2007), struktur permukaan yang relatif lebih halus dan rata akan memiliki transfer muatan yang lebih baik dibandingkan dengan permukaan yang kasar. Bila elektron mendapat energi termal maka elektron dapat berpindah dari logam dengan konsentrasi yang lebih besar, hal ini mengakibatkan daerah deplesi juga semakin besar sehingga potensial *barrier* akan semakin kecil.

## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Penumbuhan film tipis CdTe:Cu di atas substrat ITO dengan metode *dc magnetron sputtering* telah berhasil dilakukan. Karakterisasi EDX menunjukkan bahwa pendopongan unsur Cu dalam CdTe berhasil dilakukan. Citra SEM menunjukkan lapisan tipis CdTe:Cu mempunyai morfologi yang lebih rata. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi XRD, film CdTe:Cu mempunyai intensitas yang lebih tinggi. Keempat sampel mempunyai struktur kristal heksagonal dengan intensitas tertinggi pada bidang (110) untuk film yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C, daya plasma 14 W dengan konsentrasi doping Cu 15% dan film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C, daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu 2% mempunyai intensitas tertinggi pada bidang (101). Film dengan temperatur 250 °C, daya plasma 14 W mempunyai resistivitas sebesar  $(3,40 \times 10^9 \text{ } \Omega\text{cm})$  untuk film CdTe dan  $(4,62 \times 10^8 \text{ } \Omega\text{cm})$  untuk film CdTe:Cu(15%). Film yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C, daya plasma 43 W mempunyai nilai resistivitas sebesar  $(8,40 \times 10^9 \text{ } \Omega\text{cm})$  untuk CdTe dan  $(6,92 \times 10^5 \text{ } \Omega\text{cm})$  untuk film CdTe:Cu(2%). Film tipis yang ditumbuhkan pada temperatur 325 °C dan daya plasma 43 W dengan konsentrasi doping Cu 2% mempunyai struktur kristal, struktur morfologi dan sifat listrik yang lebih baik dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan pada temperatur 250 °C, daya plasma 14 W dengan konsentrasi doping 15%.

## 5.2Saran

Penumbuhan film tipis CdTe:Cu perlu dikembangkan lagi dengan memvariasi konsentrasi doping Cu dan memvariasi temperatur serta daya plasma sehingga dapat digunakan untuk mengetahui lebih jauh pengaruh doping Cu terhadap sifat fisis film tipis CdTe dengan kualitas yang lebih baik.



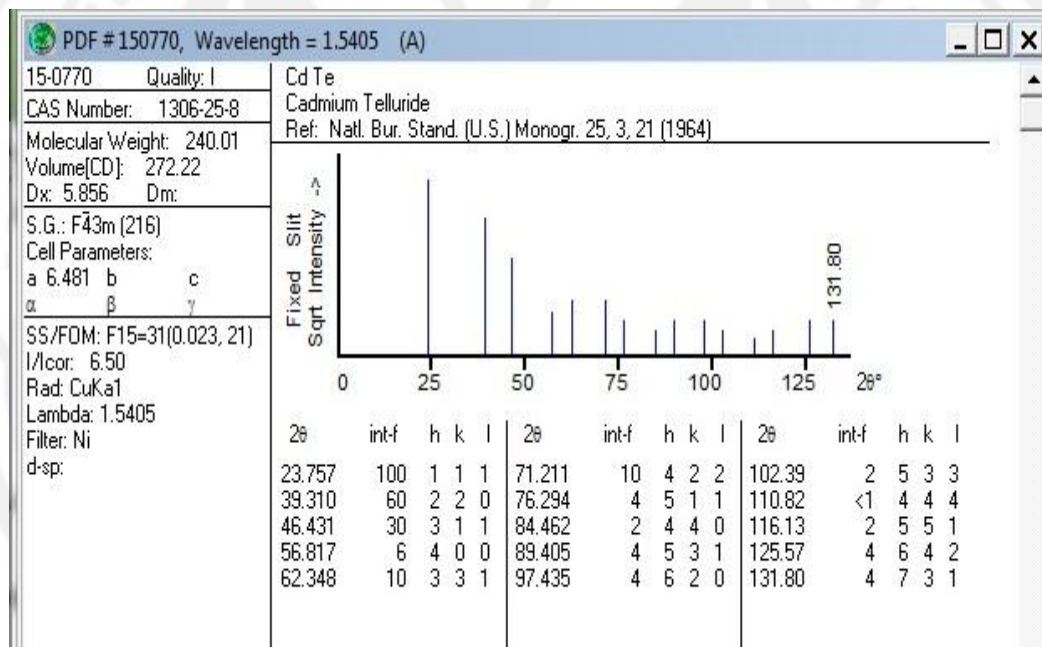
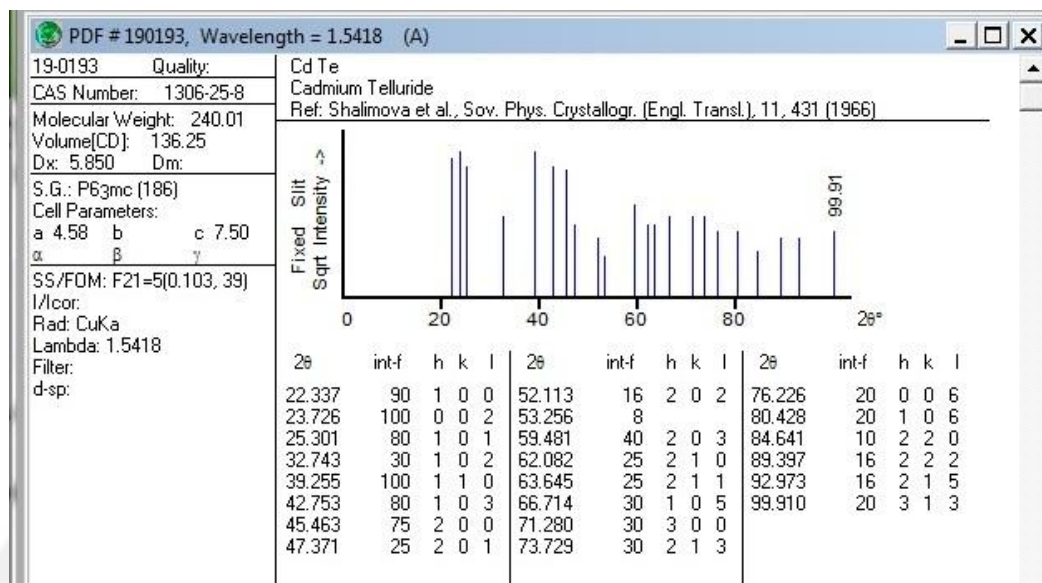
## DAFTAR PUSTAKA

- Alfafa, M. 2007. *Efek Laju Alir Oksigen pada Penumbuhan Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Amin, Nur. 2007. *Analisis Sifat Listrik Persambungan M-S-M pada Film Tipis Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N yang ditumbuhkan diatas Substart Silikon (111) dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Batzner, D.L., R. Wendt, A. Romeo, H. Zogg, & A.N. Tiwari. 2000. *A study of the back contact on CdTe/CdS solar cells*. Elsevier. Thin Solid Film 361-362 (2000) 463-467.
- Batzner, D.L., A. Romeo, H. Zogg, R. Wendt, & A.N. Tiwari 2000. *Development of efficient and stable back contact on CdTe/CdS solar cells*. Elsevier. Thin Solid Film 361-362 (2000) 463-467.
- Compaan, A.D., A. Gupta, S. Lee, S. Wang, & J. Drayton. 2004. *Hight efficiency, magnetron sputtered CdS/CdTe solar cells*. Elsevier. Solar Energy 77 (2004) 815-822.
- Demtsu, S.H., D.S. Albin, J.R. Sites, W.K. Metzger, A. Duda. 2008. *Cu-related recombination in CdS/CdTe solar cells*. Elsevier. Thin Solid Film 516 (2008) 2251-2254.
- Dzhavarof, T.D., S.S. Yesilkaya, N.Y. Canli, & M. Caliskan. 2005. *Diffusion and Influence of Cu on properties of CdTe thin films and CdTe/CdS cells*. Elsevier. Solar Energy 77 (2005) 371-383.
- Fritsche, J., S. Gunst, E. Golusda, M.C. Lechard, & A. Thiben. 2001. *Surface analysis of CdTe thin film solar cells*. Elsevier. Thin solid Film 387 (2001) 161-164.
- Gupta, A., V. Parikh, & A.D. Compaan. 2006. *High Efficiency Ultra-thin Sputtered CdTe Solar Cells*. Elsevier. Solar Energy Materials and Solar Cells 90 (2006) 2263-2271.
- Handayani, Nur Aini. 2007. *Analisis XRD Film Tipis Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N di atas Silikon (111) yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Lany, S., V. Ostheimer, H. Wolf, Th. Wichert. 2001. *Vacancies in CdTe: experiment and theory*. Elsevier. Physica B 308-310 (2001) 958-962.

- Major, J.D., Y.Y. Proskuryakov, K. Durose, G. Zoppi, I. Forbes. 2010. *Control of grain size in sublimation-grown CdTe, and the improvement in performance with systematically increased grain size*. Elsevier. Solar Energy Materials and Solar Cells 94 (2010) 1107-1112.
- Mc Candless. B.E., Sites, J.R. 2003. *Cadmium Telluride Solar cell. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley. New York, pp.628-631.
- Prabawati, D.N. 2008. *Pengaruh Suhu Substrat Pada Struktur Kristal dan Sifat Optik Film Tipis CdTe yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Rathore, K.S., Deepika, D. Patidar, N.S. Saxena, K.B. Sharma. 2009. *Effect of Cu doping on the structural, optical, and electrical properties of CdS nanoparticles*. Journal of Ovonic Research Vol. 5, No. 6, December 2009, p. 175-185.
- Rio, R.S & Iida, M. 1982. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita.
- Rusu, G.G, M. Rusu. 2005. *Optical Behavior of Multilayered CdTe/Cu Thin Films Deposited by Stacked Layer Method*. Journal of Optoelectronic and Advanced Materials, Vol. 7, No. 2, April 2005, p. 885-889.
- Rusu, G.G, M. Rusu, E.K. Polychroniadis, C. Lioutas. 2005. *Characterization of CdTe Thin Films Prepared by Stacked Layer Method*. 2005. Journal of Optoelectronic and Advanced Materials, Vol. 7, No. 4, April 2005, p. 1957-1964.
- Shah, N.A, A. Ali, A. Masqsood. 2007. *Preparation and Characerization of CdTe for solar Cells, Detector, and Related Thin-Film Material*. Journal of Electronic Materials, Vol. 37, No. 2, 2008.
- Singh, J. 1995. *Physics Semiconductors and Their Heterostructures*. Singapore:McGraw-hill.
- Sudjatmoko. 2003. *Teknologi Sputtering (Diktat Kuliah Workshop Sputtering Untuk Rekayasa Permukaan Bahan)*. Yogyakarta: Penerbit BATAN.
- Sudjatmoko. 2003. *Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*. Workshop: Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan: 3
- Sugianto. 2009. *Buku Ajar Fisika Zat Padat*. Semarang: UNNES.
- Suryanarayana, C et al. 1998. *X-Ray Deffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press:3-10

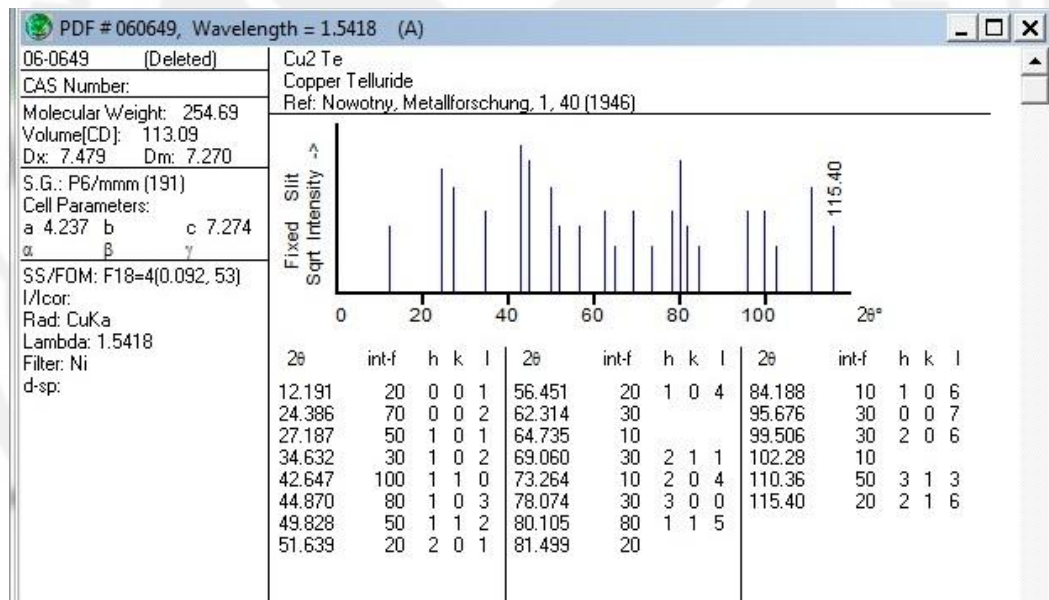
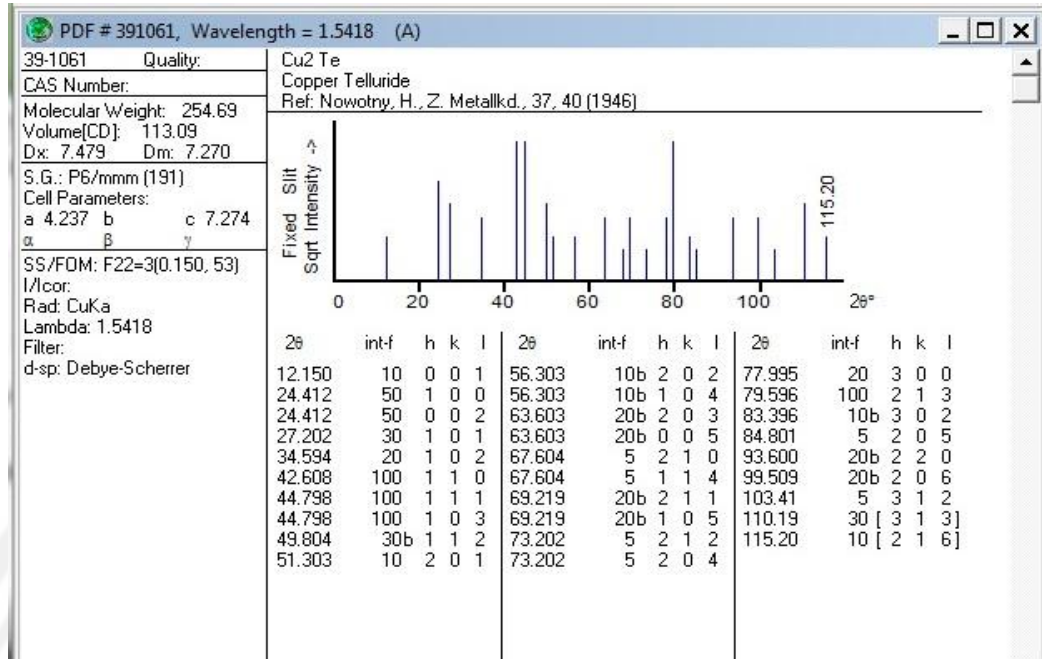
- Sutrisno. 1986. *Elektronika, Teori dan Penerapannya*. Bandung: ITB.
- Wibowo, Edy. 2008. *Struktur Mikro dan Sifat Optik Film Tipis CdTe Sebagai Bahan Pembuatan Sel Surya yang Ditumbuhkan dengan Metode dc Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Widuri, Umi. 2007. *Pengaruh Tekanan Gas Argon pada Penumbuhan Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Doping Mn dengan Menggunakan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Wiyanto. 1993. *Karakterisasi Sifat Listrik Film Tipis ZnO dengan Metode Van Der Pauw*. Laporan Tugas Akhir S-2. Bandung: ITB.
- Wu, X., J. Zhou, A. Duda, Y. Yan, G. Teeter, S. Asher, W.K. Metzger, S. Demtsu, Sua-Huai. Wei, R. Noufi. 2006. *Phase control of Cu<sub>x</sub>Te film and its effect on CdS/CdTe solar cells*. Elsevier. Thin Solid Films 515 (2007) 5798-5803
- Yun, Jae Ho., Ki Hwan Kim, Doo Youl Lee, Byung Tae Ahn. 2003. *Back contact formation using Cu<sub>2</sub>Te as Cu-doping source and as an electrode in CdTe solar cells*. Solar Energy Materials & Solar Cells 75 (2003) 203-210.
- Zhou, J., X. Wu, A. Duda, G. Teeter, S.H. Demtsu. 2007. *The formation of different phases of Cu<sub>x</sub>Te and their effect on CdTe/CdS solar cells*. Elsevier. Thin Solid Film 515(2007) 7364-7369.

Data Standar JCPDS CdTe

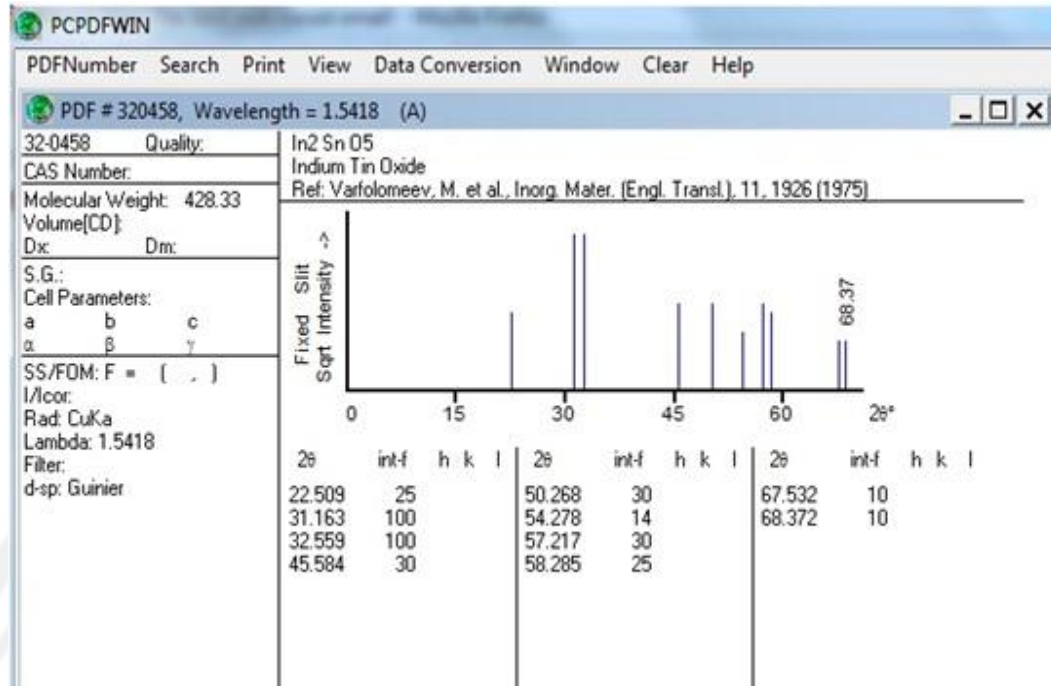




Data Standar JCPDS Cu<sub>2</sub>Te



**Data Standar JCPDS ITO (*indium tin oxide*)**



Lampiran 4

**Perhitungan konsentrasi doping pada target CdTe:Cu(15%)**

Bahan : CdTe dan Cu<sub>2</sub>Te

Massa campuran : 10 gram

Hasil yang diharapkan : CdTe:Cu(15%)

Perhitungan

Mr CdTe = 240,01

Mr Cu<sub>2</sub>Te = 254,69

$$\text{Mol CdTe} = \frac{\text{Massa campuran}}{\text{Mr}} = \frac{10}{240,01} = 0,041665 \text{ mol}$$

$$15\% \text{ Mol (CdTe:Cu)} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mol CdTe}}$$

$$0,15 = \frac{\text{Mol Cu}}{0,041665}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,006249 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Cu}_2\text{Te} &= \text{Mol Cu} \times \text{Mr Cu}_2\text{Te} \\ &= 0,006249 \times 254,69 \\ &= 1,59176 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CdTe} &= \text{Massa campuran} - \text{Massa Cu}_2\text{Te} \\ &= 10 - 1,59176 \\ &= 8,40824 \text{ gram} \end{aligned}$$

**Perhitungan konsentrasi doping pada target CdTe:Cu(2%)**

Bahan : CdTe dan Cu<sub>2</sub>Te

Massa campuran : 15 gram

Hasil yang diharapkan : CdTe:Cu(2%)

Perhitungan

Mr CdTe = 240,01

Mr Cu<sub>2</sub>Te = 254,69

$$\text{Mol CdTe} = \frac{\text{Massa campuran}}{\text{Mr}} = \frac{15}{240,01} = 0,062497 \text{ mol}$$

$$2\% \text{ Mol (CdTe:Cu)} = \frac{\text{Mol Cu}}{\text{Mol CdTe}}$$

$$0,02 = \frac{\text{Mol Cu}}{0,062497}$$

$$\text{Mol Cu} = 0,0001249 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Cu}_2\text{Te} &= \text{Mol Cu} \times \text{Mr Cu}_2\text{Te} \\ &= 0,0001249 \times 254,69 \\ &= 0,31835 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CdTe} &= \text{Massa campuran} - \text{Massa Cu}_2\text{Te} \\ &= 15 - 0,31835 \\ &= 14,68165 \text{ gram} \end{aligned}$$

**Perhitungan Konstanta Kisi**

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

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

Struktur kristal heksagonal

$$(h k l) = (1 1 0)$$

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

$$\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}}$$

$$\text{CuKa} = 1.5418 \text{ \AA}$$

1. Sample A

$$(h k l) = (1 1 0)$$

$$2\theta = 38,36^\circ$$

$$\theta = 19,18^\circ$$

$$\sin \theta = 0,3285$$

$$2 \sin \theta = 0,6570$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,5418}{0,6570} = 2,34645 \text{ \AA}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{1^2 + 1 + 1^2}{a^2} \right) + \left( \frac{l}{c} \right)^2}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{3}{a^2} \right)}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{a^2}}}$$

$$a = 2d = 2 \times 2,34645 = 4,6929 \text{ \AA}$$

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times a = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 4,6929 = 7,6634 \text{ \AA}$$

## 2. Sample B

$$(hkl) = (110)$$

$$2\theta = 38,68^\circ$$

$$\theta = 19,34^\circ$$

$$\sin \theta = 0,3311$$

$$2 \sin \theta = 0,6622$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,5418}{0,6622} = 2,3277 \text{ \AA}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{1^2 + 1 + 1^2}{a^2} \right) + \left( \frac{l}{c} \right)^2}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{3}{a^2} \right)}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{a^2}}}$$

$$a = 2d = 2 \times 2,3277 = 4,6556 \text{ \AA}$$

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times a = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 4,6556 = 7,6025 \text{ \AA}$$

2. Sample C

$$(hkl) = (101)$$

$$2\theta = 28,66^\circ$$

$$\theta = 14,33^\circ$$

$$\sin \theta = 0,247506$$

$$2 \sin \theta = 0,49501$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,5418}{0,49501} = 3,11466 \text{ \AA}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{1^2 + 0 + 0}{a^2} \right) + \left( \frac{1}{\sqrt{\frac{8}{3}} \times a} \right)^2}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3a^2} + \frac{3}{8a^2}}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{41}{24a^2}}}$$

$$a = \sqrt{\frac{41}{24}} \times d = \sqrt{\frac{41}{24}} \times 3,11466 = 4,07096 \text{ \AA}$$

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times a = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 4,07096 = 6.64789 \text{ \AA}$$

## 2. Sample D

$$(hkl) = (101)$$

$$2\theta = 28,28^\circ$$

$$\theta = 14,14^\circ$$

$$\sin \theta = 0,2442$$

$$2 \sin \theta = 0,48858$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{1,5418}{0,48858} = 3,1556 \text{ \AA}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left( \frac{1^2 + 0 + 0}{a^2} \right) + \left( \frac{1}{\sqrt{\frac{8}{3}} \times a} \right)}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3a^2} + \frac{3}{8a^2}}}$$

$$d_{hkl} = \frac{1}{\sqrt{\frac{41}{24a^2}}}$$

$$a = \sqrt{\frac{41}{24}} \times d = \sqrt{\frac{41}{24}} \times 3,1556 = 4,12447 \text{ \AA}$$

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times a = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 4,12447 = 6.73523 \text{ \AA}$$



Foto pengambilan data



Foto alat karakterisasi SEM dengan menggunakan JEOL JSM-6360LA



Foto pengambilan data SEM



Foto alat karakterisasi XRD, Lab X XRD-6000 SHIMADZU



Foto pengambilan data XRD



Foto karakterisasi I-V dengan menggunakan I-V Meter ELKAHFI 100

