



**STRUKTUR DAN SIFAT OPTIK FILM TIPIS
CdS DOPING Zn YANG DITUMBUHKAN DENGAN
*DC MAGNETRON SPUTTERING***

SKRIPSI

**disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika**

oleh

Maulida Mitayani

4211409008

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

2013

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, 02 Juli 2013

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 19610219 199303 1 001

Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP. 19630821 198803 1 004

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul
Struktur dan Sifat Optik Film Tipis CdS Doping Zn yang Ditumbuhkan dengan
DC magnetron sputtering
disusun oleh

Maulida Mitayani

4211409029

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal 23 Juli 2013.

Panitia:

Ketua,

Sekretaris,

Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 19631012 198803 1 001

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 19630610 198901 1 002

Ketua Penguji

Dr. Ngurah Made D.P., M.Si
NIP. 19670217 199203 1 002

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 19610219 199303 1 001

Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP. 19630821 198803 1 004

PERNYATAAN

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

Semarang, 02 Juli 2013

Maulida Mitayani
4211409008

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

"Simple life, simple problem"

"Jagalah Alam Niscaya Alam akan Menjaga Kita" (PALAFI)

"Saya datang, saya bimbingan, saya ujian, saya revisi dan saya menang!"

"Tugas kita bukanlah untuk berhasil. Tugas kita adalah untuk mencoba, karena didalam mencoba itulah kita menemukan dan belajar membangun kesempatan untuk berhasil" (Mario Teguh)

*Kupersembahkan Karya Sederhanaku ini Kepada:
Ibu dan Bapakku
Kakak dan Adikku
Pecinta Alam Fisika (PALAFI)
Dan Almamaterku UNNES*

KATA PENGANTAR

Puji syukur hanyalah bagi Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, taufik dan hidayahnya-Nya hingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini guna memperoleh gelar sarjana fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang berjudul “Struktur dan Sifat Optik Film Tipis CdS Doping Zn yang Ditumbuhkan dengan *DC magnetron sputtering*”. Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Januari 2013 sampai Maret 2013 di Laboratorium fisika, UNNES.

Penulisan skripsi ini dapat diselesaikan berkat bantuan tenaga, pikiran, sarana, dan dana dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Sugianto, M.Si, sebagai dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan dan kritik yang sangat berharga bagi penulis selama pengerjaan skripsi ini.
5. Dr. Putut Marwoto, M.S, sebagai dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, koreksi, serta tambahan ilmu pengetahuan kepada penulis.
6. Dr. Supriyadi, M.Si. Kepala Laboratorium Fisika FMIPA UNNES dan sekaligus sebagai dosen wali yang selalu memberikan bimbingan dan motivasi selama penyusunan skripsi.

7. Muttaqin, S.Si, Didik Arianto, M.Sc, Edy Wibowo, M.Sc, dan Mas Akhwan yang telah memberikan banyak bantuan penelitian kepada penulis.
8. Bapak Imroni, Ibu Puji, Mas Wahyu, serta Adik Wanti atas cinta serta kasih sayang yang tulus. Terimakasih atas semua bimbingan, doa, dukungan dan kepercayaannya.
9. *Power Ranger* (Kiki, Yanti, Arka, Yogi) dan Keluarga Fisika 2009 (Fissuduo) atas bantuan penelitian serta persahabatan yang erat.
10. Keluarga besar Pencinta Alam Fisika (PALAFI) terutama angkatan 3 dan adik-adikku (Wike, Imas, Ani) yang telah memberikan canda, tawa, duka, serta dukungan dan motivasi yang tiada henti kepada penulis.
11. Mahendra, Sahal Albab, Mustika, dan Wakhidah yang telah menemani dan memberikan dukungan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang sifatnya membangun dari semua pihak senantiasa penulis harapkan untuk bekal penulis di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan IPTEK dan dapat dijadikan sebagai sumber informasi bagi yang membutuhkan.

Semarang, Juli 2013

Penulis

ABSTRAK

Mitayani, Maulida. 2013. Struktur dan Sifat Optik Film tipis CdS doping Zn yang Ditumbuhkan dengan *DC magnetron sputtering*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Dr. Sugianto, M.Si, dan Pembimbing Pendamping Dr. Putut Marwoto, M.S.

Kata kunci: CdS:Zn, *Grain Size*, *Transmitansi*, *Band Gap*, *Energi Urbach*.

Penumbuhan film tipis CdS:Zn di atas substrat *corning glass* telah berhasil dilakukan dengan menggunakan *DC magnetron sputtering*. Parameter deposisi penumbuhan film meliputi: tekanan gas argon 450 mTorr, temperatur substrat 450°C, daya plasma 24 watt dan lama penumbuhan selama 3 jam. Sampel yang dihasilkan adalah film tipis CdS, CdS:Zn(5%), dan CdS:Zn(10%). Hasil analisis *X-ray diffraction* (XRD) menunjukkan film tipis CdS:Zn memiliki struktur *wurtzite* (heksagonal). Dengan formula Scherrer didapatkan *grain size* sebesar 280,5 Å, 311,7 Å, dan 234,0 Å untuk masing-masing film. Analisis sifat optik menggunakan spektrometer UV-vis diperoleh transmitansi optik secara berurutan yaitu mencapai 55%, 68%, dan 48%. *Band gap* yang dihasilkan oleh film CdS, CdS:Zn(5%), CdS:Zn(10%) masing-masing sebesar 2,40 eV, 2,50 eV, dan 2,53 eV dengan energi urbach sebesar 0,38 eV, 0,34 eV, dan 0,80 eV.

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Sistematika Skripsi	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Material Semikonduktor	8
2.2 Sel Surya.....	10
2.3 Cadmium Sulfide (CdS)	12
2.4 Zinc Sulfide (ZnS).....	13
2.5 Struktur Kristal	14
2.6 Sifat Optik	16
2.7 Sputtering	18
2.7.1 <i>DC magnetron sputtering</i>	21

BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2 Pelaksanaan Penelitian	23
3.2.1 Pembuatan Target	23
3.2.2 Preparasi substrat	23
3.2.3 Penumbuhan Film Tipis CdS dan CdS:Zn.....	24
3.3 Alur Penelitian.....	26
3.4 Karakterisasi Film Tipis	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Karakterisasi XRD.....	31
4.2 Karakterisasi UV-vis	35
4.3 Hubungan antara Struktur Kristal dan Sifat Optik Film Tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%	45
BAB V PENUTUP	46
5.1 Simpulan.....	46
5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar

2.1 Struktur pita energi dalam semikonduktor	9
2.2 Struktur molekul (a) Si didoping dengan As, (b) Si didoping dengan Ga	11
2.3 Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik	12
2.4 Struktur <i>wurtzite</i> (heksagonal) CdS	13
2.5 Struktur ZnS	14
2.6 Hamburan sinar-X pada kristal	15
2.7 Proses <i>sputtering</i> pada permukaan target secara fisis	20
2.8 Sistem reaktor <i>DC magnetron sputtering</i>	22
2.9 Skema reaksi dalam <i>Chamber DC magnetron sputtering</i>	23
3.1 Diagram Alur Penelitian	27
3.2 Prinsip Kerja XRD	29
4.1 Spektrum XRD film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%	32
4.2 Grafik transmitansi film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%	37
4.3 Grafik hubungan antara kuadrat koefisien absorpsi dengan energi foton (eV)	40
4.4 Grafik hubungan antara α dengan energi (eV) film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%	43
4.5 Grafik hubungan antara energi urbach dengan <i>grain size</i> film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%	44

DAFTAR TABEL

Tabel

3.1 Parameter penumbuhan film tipis CdS dan CdS:Zn	25
4.1 Hasil perhitungan parameter kisi dan <i>grain size</i>	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran

1. Data Standart JCPDS CdS.....	52
2. Data Standart JCPDS ZnS.....	53
3. Perhitungan Kosentrasi Doping <i>Zinc</i> (ZnS) pada Target CdS:Zn.....	54
4. Perhitungan Parameter Kisi <i>a</i> Dan <i>c</i>	56
5. Perhitungan FWHM (full width at half maximum)	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Ilmu Fisika khususnya bidang elektronika memegang peranan penting dalam memacu perkembangan teknologi dewasa ini. Energi surya sebagai energi alternatif, akhir-akhir ini marak diteliti. Teknologi sel surya (*photovoltaic*) merupakan teknologi yang mampu mengubah energi surya menjadi energi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor yang mempunyai sambungan *p-n* (*p-n junction*). Semikonduktor mempunyai sifat fisis seperti sensitif terhadap temperatur, cahaya, magnet, dan listrik. Hal inilah yang menyebabkan semikonduktor menjadi salah satu material terpenting dalam bidang elektronika, khususnya sel surya. Teknologi sel surya sangat ramah lingkungan, yaitu tidak mengemisikan gas CO₂.

Berbagai material telah banyak diteliti dan berbagai metode terus dikembangkan untuk menciptakan sel surya berefisiensi tinggi. Teknologi film tipis merupakan salah satu metode yang dapat digunakan sebagai upaya meningkatkan nilai efisiensi sel surya. Film tipis dibuat dengan cara deposisi atom-atom individual suatu bahan pada permukaan substrat, dan ketebalannya mencapai orde kurang dari beberapa mikron. Film tipis atau lapisan tipis merupakan lapisan yang sangat tipis dari bahan organik, inorganik, metal maupun campuran metal yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun insulator. (Sudjatmoko, 2003).

Film tipis sel surya CdTe dan CuInSe₂ biasa menggunakan CdS sebagai *window layer*. *Window layer* ini berfungsi untuk meneruskan cahaya yang selanjutnya akan diserap oleh lapisan absorber CdTe dan CuInSe₂. *Window layer* merupakan daerah persambungan berfungsi sebagai tempat singgah sementara pembawa muatan minoritas yang dibangkitkan oleh cahaya sebelum terjadi rekombinasi. Penumbuhan film tipis CdS sebagai *window layer* pada film tipis CdTe telah berhasil dilakukan oleh Riyanti (2011) menghasilkan film yang mempunyai struktur polikristal dengan puncak difraksi tertinggi membentuk kristal CdTe (101) berstruktur hexagonal dengan nilai FWHM 0,36°, *bandgap* sebesar 1,43 eV dan mempunyai koefisien absorpsi sebesar $\sim 2 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$.

Material CdS merupakan salah satu bahan semikonduktor II-VI tipe *n* pada *p-n junction* yang banyak diaplikasikan pada piranti optoelektronik seperti material laser, transduser, fotokonduktif, fotodetektor, LED, sensor, dan sel surya (Al-Tameme et al., 2012). CdS di alam dapat ditemukan dalam bentuk padatan berwarna kuning sebagai mineral *Greenockite* dan memiliki *melting point* sebesar 980°C (Djamas, 2010). Material CdS merupakan bahan semikonduktor *direct-gap* yang memiliki *band gap* sebesar 2,42 eV (Lee et al., 2003) dan CdS membentuk kristal dengan fase *wurtzite* (heksagonal), namun dapat bertransformasi menjadi kubik sebagai hasil peningkatan temperatur substrat. Fase heksagonal lebih stabil dari pada fase kubik (Sun et al., 2010). CdS memiliki nilai transmitansi optik yang tinggi yaitu sekitar 80% pada daerah cahaya tampak, dan memiliki nilai reflektansi yang rendah, kurang dari 20%. Sifat-sifat tersebut sangat sesuai apabila diaplikasikan sebagai *window layer* pada sel surya (Mahdi et al., 2009).

Efisiensi film tipis CdTe/CdS sel surya sampai saat ini masih menunjukkan nilai yang rendah yaitu sebesar 14% - 16% (Gupta&Compaan, 2004, Perrenoud *et al.*, 2011) sehingga untuk meningkatkan efisiensi tersebut perlu adanya pelebaran *band gap* CdS. Pelebaran *band gap* material CdS dapat dilakukan dengan cara memberi pengotor atau doping. Doping dapat diartikan sebagai penambahan pengotor pada suatu material dengan tujuan untuk memodifikasi karakteristik elektroniknya (Effendi & Bilalodin, 2012). Film tipis CdS doping Ga pernah diteliti oleh Khallaf *et al.* (2009) menggunakan metode *Chemical Bath Deposition*. Hasil penelitian tersebut melaporkan bahwa film tipis CdS doping Ga memiliki band gap antara 2,2 eV sampai 2,4 eV dengan nilai transmitansi yang cukup tinggi yaitu mencapai 80%. Transmisi fundamental terjadi pada daerah panjang gelombang 350 nm – 360 nm. Film tipis CdS doping Ga memiliki struktur kubik (1 1 1) dan heksagonal (0 0 2). Struktur heksagonal lebih stabil dari pada struktur kubik.

Film tipis CdS yang mendapatkan doping Zn memiliki transmitansi lebih dari 80% (Cruz *et al.*, 2010) dan film tipis CdS dengan doping Zn juga memiliki *band gap* yang lebih lebar dari pada film tipis CdS (Lee *et al.*, 2003). Material Zn dapat diambil dari Zn murni atau paduan Zn seperti ZnS. Material ZnS memiliki *band gap* yang lebar yaitu 3,68 eV pada *room temperature* (Üzar & Arıkan, 2011) dan memiliki transmitansi sebesar 80% pada daerah cahaya tampak (Hwang *et al.*, 2012). Penambahan doping Zn pada film tipis CdS akan memperlebar *band gap* film dan juga akan meningkatkan sifat optik dan sifat listrik dari devais optoelektronik. *Band gap* film tipis CdS doping ZnS yang lebih lebar dari pada

CdS. Bahan CdS doping ZnS menarik untuk diaplikasikan sebagai materi pembuatan sel surya dan fotokonduktif (Al-Tamemee *et al.*, 2012). *Band gap* yang lebar akan mengakibatkan rentang spektrum cahaya yang dapat menembus lapisan tersebut semakin bertambah, sehingga diharapkan jumlah elektron yang dibebaskan oleh foton juga ikut meningkat (Perrenoud *et al.*, 2011). Jumlah elektron bebas yang meningkat mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan sel surya tersebut akan semakin besar, sehingga pelebaran *band gap* dapat meningkatkan efisiensi sel surya.

Penumbuhan Film tipis ada beberapa metode, antara lain: *co-evaporation* (Lee *et al.*, 2003), *chemical bath deposition* (CBD) (Cruz *et al.*, 2010), *chemical spray pyrolysis technique* (Al-Tememee *et al.*, 2012, Ravangave *et al.*, 2012), dan juga *DC magnetron sputtering* (Sun *et al.*, 2010). Bahan CdS telah ditumbuhkan oleh Sun *et al.* (2010) menggunakan metode *magnetron sputtering* dengan temperatur substrat 300°C, setelah terdeposisi kemudian film CdS di *annealing* dengan temperatur 500°C. Substrat yang digunakan adalah *F-doped transparent conductive tin oxide* (FTO) dan *quartz*. Hasil pengukuran XRD menunjukkan bahwa telah muncul puncak kristal tertinggi pada sudut 26,7° dan memiliki orientasi kristal (002). Sampel yang ditumbuhkan pada substrat *quartz* hanya muncul 2 puncak, tetapi sampel yang ditumbuhkan pada substrat FTO muncul beberapa puncak. Hal ini berarti kualitas kristal sampel yang ditumbuhkan pada substrat *quartz* lebih baik dari pada sampel yang ditumbuhkan pada FTO. *Annealing* dapat mengurangi derajat amorf dan meningkatkan kristalinitas lapisan tipis. Karakterisasi sifat optik menggunakan spektrum *photoluminescence*

menunjukkan film tipis CdS mengeluarkan emisi warna hijau, emisi warna kuning, emisi warna *orange*, dan emisi warna merah. Film CdS yang memiliki ketebalan yang tipis memiliki nilai transmitansi yang tinggi dan lebih banyak menyerap energi foton dari pada film CdS yang tebal.

Penumbuhan film tipis CdS menggunakan *DC magnetron sputtering* juga telah berhasil dilakukan dengan mengkaji pengaruh daya plasma terhadap struktur mikro, sifat optik dan sifat listrik (Sulhan, 2009). Karakterisasi dan analisis SEM (*scanning elektron microscopy*) menunjukkan lapisan tipis CdS yang ditumbuhkan dengan daya plasma 17,15 W memiliki ukuran butir yang lebih kecil dibandingkan dengan lapisan tipis yang ditumbuhkan pada daya 22 W. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa lapisan CdS yang ditumbuhkan pada daya plasma 17,15 W muncul puncak di $2\theta=17,60^\circ$, daya plasma 22 W muncul puncak di $2\theta=15,15^\circ$. Keduanya memiliki orientasi kristal (102). Analisis sifat optik pada daya plasma 17,15 W memiliki transmitansi mencapai 60% dan memiliki *band gap* 3,4 eV, lapisan tipis yang ditumbuhkan pada daya plasma 22 W memiliki transmitansi yang lebih rendah yaitu 60% dan memiliki *band gap* 2,20 eV.

Teknik *sputtering* merupakan proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada target sehingga atom-atom target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Atom-atom yang terseputter tersebut akan tersebar ke segala arah termasuk pada substrat dan membentuk lapisan tipis (Wirjoadi dkk., 2007). Gas argon murni umumnya digunakan sebagai gas sputtering yang mengalami proses ionisasi dan membentuk plasma (terdiri atas elektron, ion bermuatan positif dan

molekul netral). Gas argon memiliki massa atom relatif tinggi ($M_r = 40$) dan termasuk golongan gas mulia terbanyak di udara. Gas argon termasuk dalam kelompok gas inert dan memiliki sifat yang stabil dan tidak bereaksi dengan material lainnya namun mudah terionisasi. 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) mempunyai rapat arus yang besar sehingga memungkinkan terjadinya laju deposisi yang tinggi, (4) lapisan yang terbentuk mempunyai daya rekat yang tinggi (Sudjatmoko, 2003). Kelebihan yang lain adalah laju deposisi yang mudah untuk dikontrol sehingga membuat prosesnya seimbang dengan hasil (Suhail & Hadi, 2011).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian kali ini adalah mengkaji pengaruh doping ZnS pada film tipis CdS doping ZnS terhadap struktur dan sifat optik film yang ditumbuhkan dengan *DC magnetron sputtering*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh doping ZnS pada film tipis CdS doping ZnS terhadap struktur dan sifat optik film yang ditumbuhkan dengan *DC magnetron sputtering*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dapat memberikan informasi tentang deposisi film tipis CdS variasi doping ZnS, dapat mengetahui karakteristik struktur dan sifat optik dari film tipis CdS variasi doping ZnS yang ditumbuhkan dengan *DC magnetron sputtering*.

1.5 Sistematika Skripsi

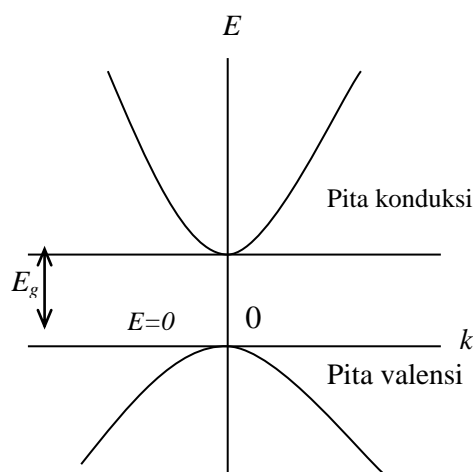
Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri dari 3 bagian yaitu bagian awal, bagian inti, dan bagian akhir. Bagian awal skripsi berisi sampul, lembar logo, lembar judul, lembar pengesahan kelulusan, lembar pernyataan, lembar motto dan persembahan, lembar abstrak, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar dan daftar lampiran. Bagian inti skripsi terdiri dari lima bab yang meliputi : Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang masalah, permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi. Bab II, membahas tentang kajian pustaka yang berisi tentang penjelasan mengenai material semikonduktor, sel surya, material *cadmium sulfide* (CdS), material *zinc sulfide* (ZnS), struktur kristal, sifat optik material, dan *DC magnetron sputtering*. Bab III berisi tentang metode penelitian yang dilakukan meliputi alur penelitian, pembuatan target CdS doping ZnS, perparasi target, deposisi film tipis CdS doping ZnS, karakterisasi dan metode analisa data yang meliputi *X-ray diffraction* (XRD) dan spektrometer UV-vis. Bab IV berisi tentang hasil-hasil karakterisasi dan pembahasannya. Bab V adalah penutup yang berisi tentang simpulan hasil penelitian dan saran. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Semikonduktor

Semikonduktor merupakan suatu material yang memiliki nilai konduktivitas listrik diantara bahan insulator dan logam. Material semikonduktor saat ini sering diaplikasikan pada divais elektronik, optoelektronik, dan sensor. Material semikonduktor murni memiliki konduktivitas 10^{-6} sampai 10^4 (Ωcm)⁻¹ pada temperatur ruang. Struktur pita energi dalam semikonduktor terdapat pita valensi yang ditempati oleh elektron dan pita konduksi yang terisi oleh *hole*. Jarak antara pita valensi dan pita konduksi disebut dengan energi gap, (E_g). Struktur pita energi dapat dilihat pada Gambar 2.1. Celah pita antara pita valensi dan pita konduksi yang sempit memungkinkan elektron akan tereksitasi secara termal pada temperatur ruang dari pita valensi menuju pita konduksi (Aamodt, 2011).



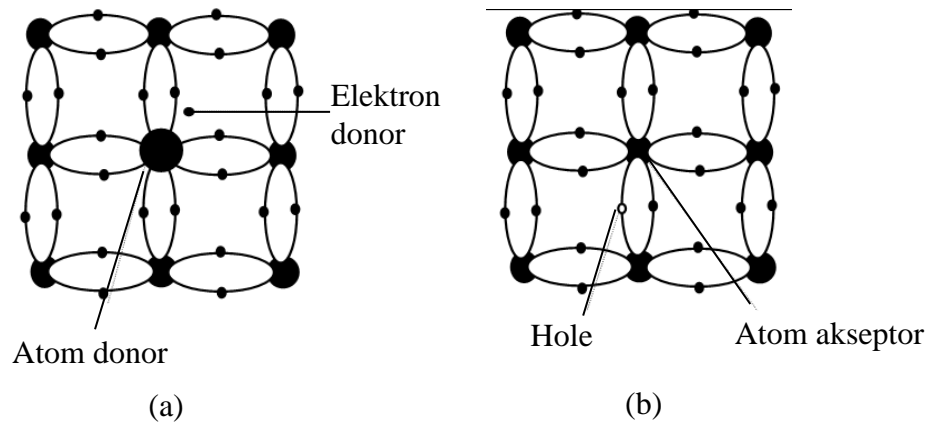
Gambar 2.1. Struktur pita energi dalam semikonduktor

Ketika semikonduktor diradiasi dengan cahaya yang energinya lebih besar dari energi gap semikonduktor ($h\nu \geq E_g$), elektron dari pita valensi dapat tereksitasi ke pita konduksi. Elektron yang melompat dari pita valensi ke pita konduksi disebut pembawa muatan negatif, lubang (hole) pada pita valensi merupakan pembawa muatan positif.

Sifat bahan semikonduktor yang berhubungan dengan struktur pita ada dua, yaitu (1) bahan semikonduktor memiliki peluang eksitasi termal untuk melewati celah pita relatif besar, sehingga konduktivitas listriknya sangat dipengaruhi oleh temperatur. (2) struktur pita bahan semikonduktor dapat diubah dengan menambahkan bahan tak murni atau doping dengan konsentrasi yang rendah, sehingga energi Fermi berubah dan mungkin berpindah ke atas menuju pita konduksi atau ke bawah menuju pita valensi. Doping dapat memberikan pengaruh besar terhadap konduktivitas bahan semikonduktor (Krane, 2008:597).

Aplikasi material semikonduktor yang ditambahkan atom-atom pengotor atau doping dapat dicontohkan pada silikon (Si). Si didoping dengan As. Atom-atom As (sebagai ketakmurnian) menempati beberapa titik tempat kekisi yang ditempati oleh atom-atom Si. Atom As mempunyai lima elektron dalam kulit terluarnya, empat elektron akan membentuk ikatan kovalen dengan tetangga terdekatnya yaitu Si dan elektron yang ke lima memerlukan energi kecil ($\sim 0,05$ eV dalam silikon) untuk terlepas dan bebas bergerak ke seluruh bagian kristal. Ketakmurnian bervalensi lima tersebut dinamakan *donor*, dan material tersebut semikonduktor tipe-*n*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2(a). Sebaliknya ketika Si didoping dengan Ga yang mempunyai tiga elektron dalam kulit terluarnya,

dalam ikatan tetrahedron Si akan kekurangan satu elektron membentuk suatu kekosongan atau hole. Ketakmurnian bervalensi tiga tersebut dinamakan *akseptor*, dan materialnya disebut dengan semikonduktor tipe-*p*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2(b) (Beiser, 1999:382).



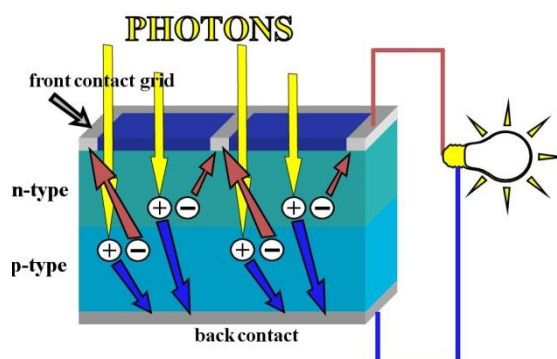
Gambar 2.2. Struktur molekul (a) Si didoping dengan As, (b) Si didoping dengan Ga

2.2 Sel Surya

Sel surya merupakan suatu komponen elektronik yang mampu mengubah energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik tanpa menghasilkan limbah atau residu yang dapat menimbulkan polusi (Kwok, 1995:474). Sel surya bekerja berdasarkan efek fotolistrik pada material semikonduktor yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Teori Maxwell memaparkan tentang radiasi gelombang elektromagnetik, dimana cahaya dianggap sebagai spektrum gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang berbeda. Einstein melakukan pandangan yang berbeda dengan menganggap bahwa cahaya

merupakan partikel diskrit atau kuantum yang biasa disebut dengan foton (Krane, 2008:99).

Sel surya umumnya dibuat menggunakan metode sambungan $p-n$ (Kwok, 1995:474). Prinsip kerja sel surya yang menggunakan metode sambungan $p-n$ adalah ketika sambungan $p-n$ terkena cahaya matahari, maka elektron akan mendapatkan energi dari cahaya matahari untuk melepaskan diri. Terlepasnya elektron akan terbentur hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron atau biasa disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*elektron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan $p-n$ terdapat medan listrik (E), elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n , begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p . Rangkaian kabel yang dihubungkan ke dua bagian semikonduktor tersebut membuat elektron mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan dengan kabel, maka lampu tersebut akan menyala (Gambar 2.3) dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.

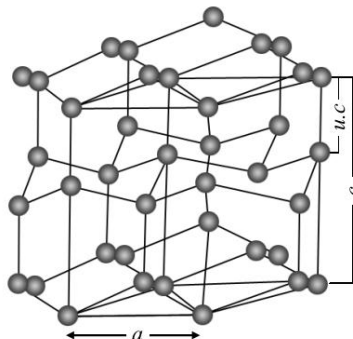


Gambar 2.3. Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik

2.3 Cadmium Sulfide (CdS)

Cadmium Sulfide adalah senyawa anorganik dengan rumus kimia CdS. Material CdS di alam ditemukan dengan warna kuning dan merupakan salah satu bahan semikonduktor II-VI yang banyak diaplikasikan pada piranti optoelektronik seperti fotodetektor, laser dan sel surya. Bahan CdS merupakan paduan dua bahan semikonduktor Cd dan S yang membentuk konduksi tipe-*n*. Paduan CdS ini mempunyai titik leleh jauh lebih tinggi, bila dibandingkan dengan bahan Cd dan S masing-masing berdiri sendiri-sendiri (Wirjoardi & Siswanto, 2007). Cd termasuk dalam golongan 12 yang terletak setelah unsur transisi tetapi tidak berkelakuan seperti logam transisi karena memiliki orbital d penuh.

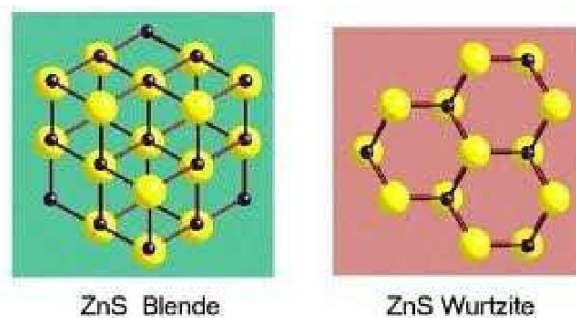
CdS biasa digunakan sebagai bahan *window layer* pada *heterojunction solar cell* pada CdS/CdTe dan CdS/ CuInSe₂, karena memiliki *band gap* menengah yaitu sebesar 2,42 eV (Lee *et al.*, 2003). CdS membentuk kristal dengan struktur *wurtzite* (heksagonal) seperti Gambar 2.4, yang merupakan fase yang stabil pada temperatur ruang. CdS dapat bertransformasi menjadi kubik sebagai hasil dari proses peningkatan temperatur substrat (Sun *et al.*, 2010).



Gambar 2.4 Struktur wurtzite (heksagonal) CdS
(Djamas, 2010)

2.4 Zinc Sulfide (ZnS)

Zinc (Zn) merupakan unsur kimia dengan nomor atom 30 dan massa atom relatif 65,39. Zn merupakan unsur pertama pada golongan 12 pada tabel periodik unsur. Zn yang paling banyak ditambang adalah *zinc sulfide* (ZnS). ZnS merupakan bahan semikonduktor *direct-gap* II-VI yang memiliki *band gap* lebar yaitu sebesar 3,68 eV pada *room temperature* (Üzar & Arikan, 2011). Bahan ZnS terdiri dari seng (Zn) dan Sulfur (S). ZnS memiliki struktur *zinc blende* (kubik) dan *wurtzite* (heksagonal). Material ZnS saat dipanaskan pada temperatur tinggi, struktur *zinc blende* akan berubah menjadi struktur *wurtzite* (Gambar 2.5.) (Aamodt, 2011).

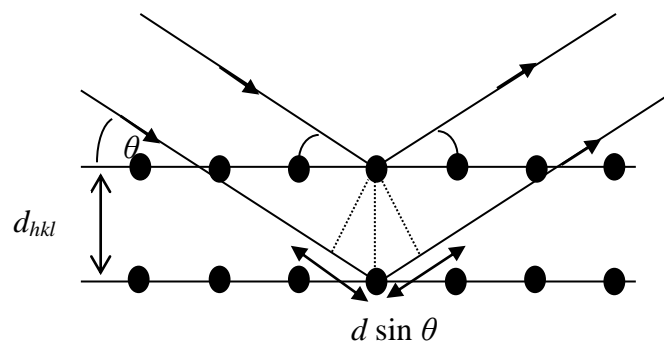


Gambar 2.5. Struktur ZnS

ZnS memiliki kualitas optik yang sangat baik dan banyak digunakan secara luas untuk *light emitting diodes* (LED) dan peralatan optoelektronik seperti *electroluminescent displays*, *cathodoluminescent displays* dan *multilayer dielectric filters*. Material ZnS sangat sesuai apabila dikolaborasikan dengan materiis CdS sebagai *window layer* pada *heterojunction photovoltaic* sel surya karena dapat melebarkan *band gap* (Ravangave *et al.*, 2012)

2.5 Struktur Kristal

Kristal merupakan susunan atom-atom yang teratur dalam ruang tiga dimensi. Keteraturan susunan tersebut terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom yang berarah dan susunan yang rapat. Difraksi sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dari suatu bahan semikonduktor. Atom-atom pada kristal yang ditumbuk oleh partikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom membuat partikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang tidak dapat dipastikan arahnya sehingga menyebabkan terjadinya peristiwa hamburan atau difraksi. Pada Gambar 2.6 menjelaskan bahwa seberkas sinar-X dipantulkan dari sehimpunan bidang kristal yang berjarak antara d . Berkas sinar yang dipantulkan dari bidang kedua menempuh jarak $2d \sin \theta$ lebih panjang dari pada berkas yang dipantulkan dari bidang pertama, dengan θ adalah sudut datang yang diukur terhadap permukaan kristal.



Gambar 2.6. Hamburan sinar-X pada kristal (Krane, 2008:84)

Sinar-sinar pantul yang sefase berbeda lintasan sebesar kelipatan bulat dari panjang gelombang akan menimbulkan interferensi saling menguatkan.

Pemantulan dan interferensi bergabung menjadi difraksi. Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan Bragg sebagai berikut

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.1)$$

Hasil tersebut dikenal sebagai hukum Bragg bagi difraksi sinar-X. Dengan d merupakan jarak antar bidang (hkl) untuk sebuah kristal, θ adalah sudut Bragg, λ adalah panjang gelombang radiasi, dan bilangan bulat $n = 1, 2, 3, \dots$

Kristal ideal ialah kristal yang setiap atomnya memiliki tempat kesetimbangan tertentu pada kisi yang teratur (Beiser, 1999:357). Susunan kristal pada kenyataannya tidak selalu tersusun oleh atom-atom identik yang berulang di seluruh volumenya. Setiap kristal mengandung cacat (*defect*) yang kebanyakan terjadi pada kisi-kisi kristalnya. Cacat kristal ini kemungkinan terjadi selama proses pertumbuhan kristal, proses pemurnian atau proses laku (*treatment*), dan bahkan cacat kristal sengaja diciptakan untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu. Cacat dalam suatu kristal terjadi ketika kehilangan atom, atom yang tidak pada tempatnya, kehadiran atom asing, dan sebagainya.

Cacat pada kristal semikonduktor dapat dikelompokkan sebagai berikut: (i) cacat titik, (ii) cacat garis, (iii) cacat planar, dan (iv) cacat ruang. Cacat kristal yang paling sederhana adalah cacat titik. Cacat titik atau sering disebut cacat alami dikelompokkan menjadi tiga yaitu kekosongan (*vacancy*), *self interstitial*, dan *antisite*. Dislokasi adalah jenis cacat kristal dimana sebaris atom tidak berada pada kedudukan yang seharusnya. Terdapat dua bentuk dasar dislokasi yaitu dislokasi tepi dan dislokasi sekrup. Cacat planar dan cacat ruang tidak begitu penting dalam kristal tunggal, tetapi menjadi sangat penting pada polikristal.

Grain boundary adalah cacat permukaan pada material polikristal yang memisahkan *grain* dari orientasi yang berbeda. Bentuk *grain boundary* ditentukan oleh *grain* yang berdekatan (Singh, 1995:16).

2.6 Sifat Optik

Transmitansi, absorptansi, dan reflektansi merupakan sifat optik dari suatu material yang ada kaitannya dengan interaksi antara material dengan gelombang elektromagnetik seperti cahaya, khususnya cahaya tampak. Spektrum transmisi menunjukkan fungsi transmisi terhadap panjang gelombang. Spektrum absorpsi menunjukkan fungsi koefisien absorpsi terhadap energi foton cahaya. Pengukuran sifat optik menggunakan gelombang elektromagnetik dari ultraviolet sampai inframerah. Parameternya adalah panjang gelombang (λ), energi ($h\nu$). Hubungan antara energi dan panjang gelombang adalah sebagai berikut:

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

E energi gelombang cahaya (joule), h konstanta planck yang besarnya $6,63 \times 10^{-34}$ Js; c merupakan kecepatan cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s) dan λ adalah panjang gelombang cahaya (m) (Schroder, 2006).

Transmitansi merupakan perbandingan antara intensitas cahaya setelah dan sebelum melewati material semikonduktor yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

dengan T menyatakan besarnya transmitansi material semikonduktor (dalam %). Intensitas radiasi berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan film sehingga Persamaan (2.3) dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha b} \quad (2.4)$$

dengan b adalah ketebalan film dan α adalah koefisien absorpsi optik.

Hubungan transmitansi dengan ketebalan dapat dilihat dengan mensubstitusikan Persamaan (2.3) dalam Persamaan (2.4) sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$T = e^{-\alpha b} \quad (2.5)$$

Nilai ketebalan yang semakin besar menyebabkan nilai transmitansi semakin kecil.

$$-\alpha b = \ln T \quad (2.6)$$

$$\alpha = \frac{-\ln T}{b} \quad (2.7)$$

dengan α merupakan koefisien absorpsi optik. Berdasarkan data energi cahaya dan besarnya koefisien absorpsi optik, dapat dibuat grafik hubungan antara energi cahaya terhadap kuadrat dari koefisien absorpsi (α^2), yang selanjutnya disebut sebagai grafik absorpsi, dengan kurva grafik absorpsi ini dapat ditentukan nilai *band gap*.

Penentuan besarnya band gap dari pengukuran absorpsi optik dipengaruhi oleh beberapa hal. Pengaruh yang pertama adalah terbentuknya *band tail* atau energi urbach. Energi urbach terjadi karena adanya keadaan terlokalisasi (*localized states*) pada *band gap* sebagai akibat dari keacakan struktur penyusun

film dan ditambah dengan adanya konsentrasi doping yang tinggi (Saragih dkk., 2010) atau cacat kristal dan tergabung dalam pita konduksi dan pita valensi. Efek ini menghasilkan tepi eksponensial dalam bahan semikonduktor (Wiyanto dkk., 2004). Efek penyusutan pita semikonduktor ini disebabkan karena adanya keacakan struktur penyusun film pada kekisi atom yang didoping (*host*). Pada daerah eksponensial, lebar koefisien absorpsi dapat didekati dengan perumusan hubungan antara α dan (E_u) dengan Persamaan (2.8)

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{E}{E_u}\right) \quad (2.8)$$

dengan α_0 adalah suatu konstanta, E adalah energi foton, dan E_u adalah besarnya energi urbach dalam (eV) (Saragih dkk., 2010). Pengaruh yang kedua adalah terbentuknya pasangan elektron-hole atau eksiton dalam semikonduktor. Eksiton memiliki energi ikat yang kecil sehingga eksiton dapat muncul dengan sendirinya berupa puncak tajam dibawah tepi absorpsi.

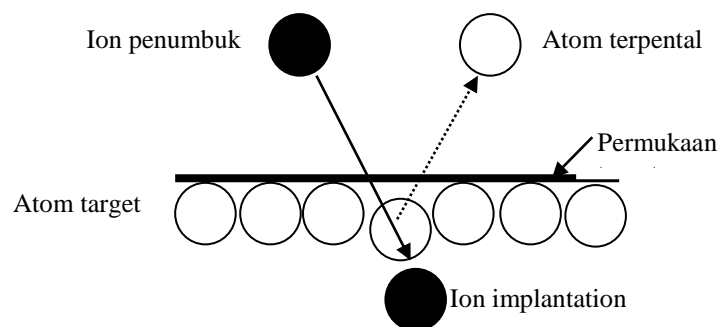
2.7 Sputtering

Sputtering merupakan sebuah proses dimana suatu material yang dikeluarkan atau dilontarkan dari sebuah permukaan target berbentuk benda padat atau cair melalui proses pertukaran momentum dengan cara menembak permukaan benda tersebut dengan partikel berenergi tinggi. Atom-atom yang tersputter akan terhambur ke segala arah, kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk lapisan tipis (Sudjatmoko, 2003:7-9). Sistem *sputtering* pada umumnya berupa *Chamber* yang di dalamnya terpasang elektroda (anoda dan

katoda), target dipasang pada katoda dan substrat diletakkan pada anoda. Proses *sputtering* terjadi ketika *Chamber* yang dilengkapi dengan sistem vakum dialiri gas sebagai pembentuk plasma dan diberi beda potensial untuk menciptakan partikel berenergi tinggi yang akan digunakan untuk menembak permukaan target (Suhail&Hadi, 2011).

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, lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat (Sudjatmoko, 2003:7-9), mempunyai laju deposisi yang tinggi, biaya lebih murah, dan proses deposisi yang stabil (Suhail&Hadi, 2011).

Gambar 2.7. menunjukkan proses *sputtering* pada permukaan target secara fisis.

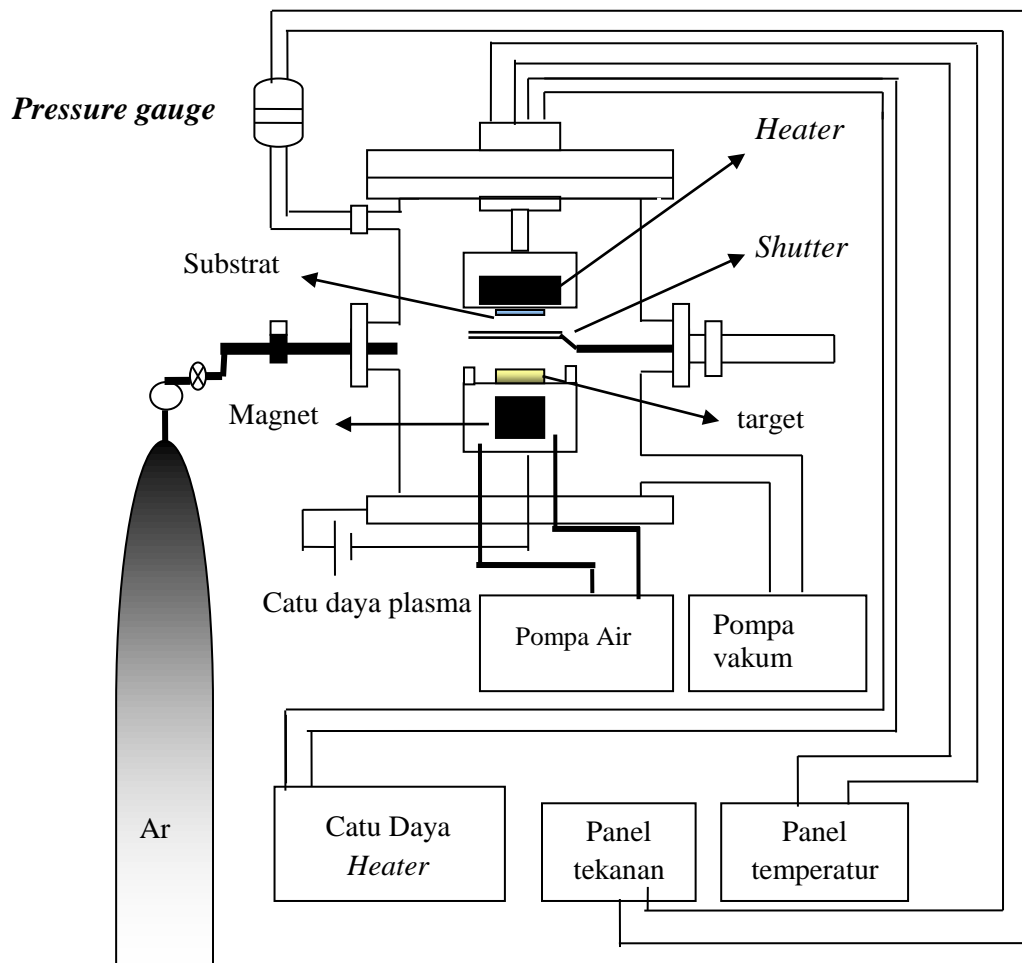


Gambar 2.7. Proses *sputtering* pada permukaan target secara fisis

2.7.1 DC magnetron sputtering

Teknik yang dikembangkan dari *sputtering DC* adalah teknik *DC magnetron sputtering* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Sistem *magnetron sputtering* merupakan suatu proses *sputtering* pada dioda (dua buah

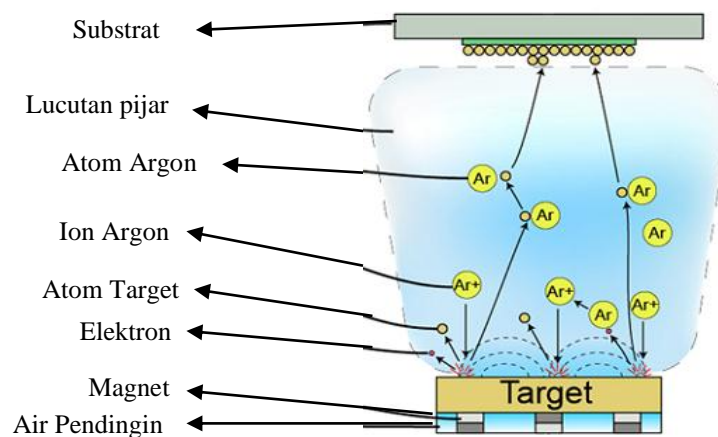
elektroda) sama seperti pada *sputtering DC*, namun diberi medan magnet dibawah katoda untuk membuat perangkap elektron. Elektron-elektron dikurung dalam lingkupan medan magnet dekat target. Magnet membentuk lingkupan medan magnet untuk membelokkan partikel bermuatan (Suhail&Hadi, 2011).



Gambar 2.8. Sistem reaktor *DC magnetron sputtering*

Proses *sputtering* terjadi saat elektron yang terlepas dari katoda tidak dapat langsung bergerak ke arah anoda karena terdapat medan magnet yang arahnya tegak lurus arah medan listrik maka elektron tersebut bergerak spiral, mengorbit di sekeliling katoda. Ketika gas argon dimasukkan ke dalam *Chamber* vakum, elektron-elektron yang terperangkap tersebut akan mengionisasi atom-atom gas

argon sehingga terbentuk ion-ion positif yang digunakan untuk menembak target. Atom-atom target yang ditumbuk oleh ion positif argon akan terlepas ke segala arah dan menempel pada substrat. Proses *sputtering* juga dapat menimbulkan pemanasan pada target akibat tembakan ion-ion berenergi tinggi, 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. Skema reaksi dalam *Chamber DC magnetron sputtering* ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Skema reaksi dalam *Chamber DC magnetron sputtering*

BAB III

METODE PENELITIAN

Proses penumbuhan film tipis CdS:Zn terdiri dari tiga tahap yaitu, pembuatan target, preparasi substrat, dan deposisi film tipis di atas substrat *corning glass* dengan menggunakan metode *DC magnetron sputtering*. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dan hasilnya dikaji dengan merujuk referensi yang terkait. Dalam penelitian ini, dikaji pengaruh penambahan doping Zn terhadap struktur kristal, struktur mikro, dan sifat optik film tipis CdS:Zn. Deposisi film tipis CdS:Zn dilakukan dengan variasi doping dan membandingkan dengan film tipis CdS tanpa doping guna mengetahui doping yang sesuai untuk diaplikasikan sebagai *window layer* pada teknologi sel surya.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material FMIPA UNNES, dilanjutkan dengan karakterisasi sampel film dan analisis data hasil karakterisasi. Karakterisasi struktur kristal dan struktur mikro film tipis CdS:Zn menggunakan XRD dan karakterisasi sifat optik menggunakan spektrometer UV-vis dilakukan di Institut Teknologi Bandung (ITB). Waktu penelitian dilakukan pada bulan januari sampai dengan maret 2013.

3.2 Pelaksanaan Penelitian

3.2.1 Pembuatan Target

Pembuatan target CdS:Zn menggunakan bahan CdS yang mempunyai kemurnian 99,995% *metals basis ALDRICH*, dan ZnS dengan kemurnian 99,99% *trace metals basis ALDRICH*. Mekanisme pembuatannya meliputi beberapa tahap, yang pertama pencampuran CdS dan ZnS dengan massa total dari kedua bahan tersebut adalah 10 gram, kemudian penggerusan serbuk selama 2 jam, pemadatan atau pengepresan dengan menggunakan sistem pompa hidrolik menjadi pellet dengan diameter 2 cm. Target tersebut kemudian pellet tersebut disintering pada temperatur 600 °C selama 1 jam dan kemudian didinginkan. Pengepresan dan pemanasan ini bertujuan untuk memperkeras target, sehingga target yang akan diletakkan pada katoda dapat digunakan untuk deposisi lapisan tipis pada substrat dalam proses *DC magnetron sputtering*.

3.2.2 Preparasi substrat

Preparasi substrat *corning glass* yang meliputi pemotongan dan pencucian substrat. Substrat dipotong dengan ukuran 1x1 cm. Substrat dicuci menggunakan larutan metanol selama 15 menit dalam *ultrasonic bath* untuk menghilangkan kotoran (minyak dan lemak) yang menempel pada permukaan substrat, kemudian substrat dikeringkan dengan menyemprotkan gas oksigen ke seluruh permukaan substrat kemudian dilanjutkan dengan penumbuhan film CdS:Zn menggunakan *reaktor DC magnetron sputtering* di Laboratorium Fisika Material FMIPA UNNES.

3.2.3 Penumbuhan Film Tipis CdS dan CdS:Zn

Penumbuhan film tipis CdS dan CdS:Zn dilakukan dengan menggunakan metode *DC magnetron sputtering* di laboratorium fisika material FMIPA UNNES. Parameter penumbuhan film tipis CdS dan CdS:Zn ditunjukkan pada Tabel 3.1. Parameter pada penumbuhan kali ini merupakan parameter optimum dari penelitian penumbuhan CdS yang dilakukan oleh Sulhan tahun 2009.

Tabel 3.1. Parameter penumbuhan film tipis CdS dan CdS:Zn

No	Sampel	Temperatur Substrat (°C)	Tekanan Ar (mTorr)	Daya Plasma (watt)	Lama Deposisi (jam)
1	CdS	450	450	24	3
2	CdS:Zn (5%)	450	450	24	3
3	CdS:Zn (10%)	450	450	24	3

Dengan langkah-langkah penumbuhan diuraikan sebagai berikut:

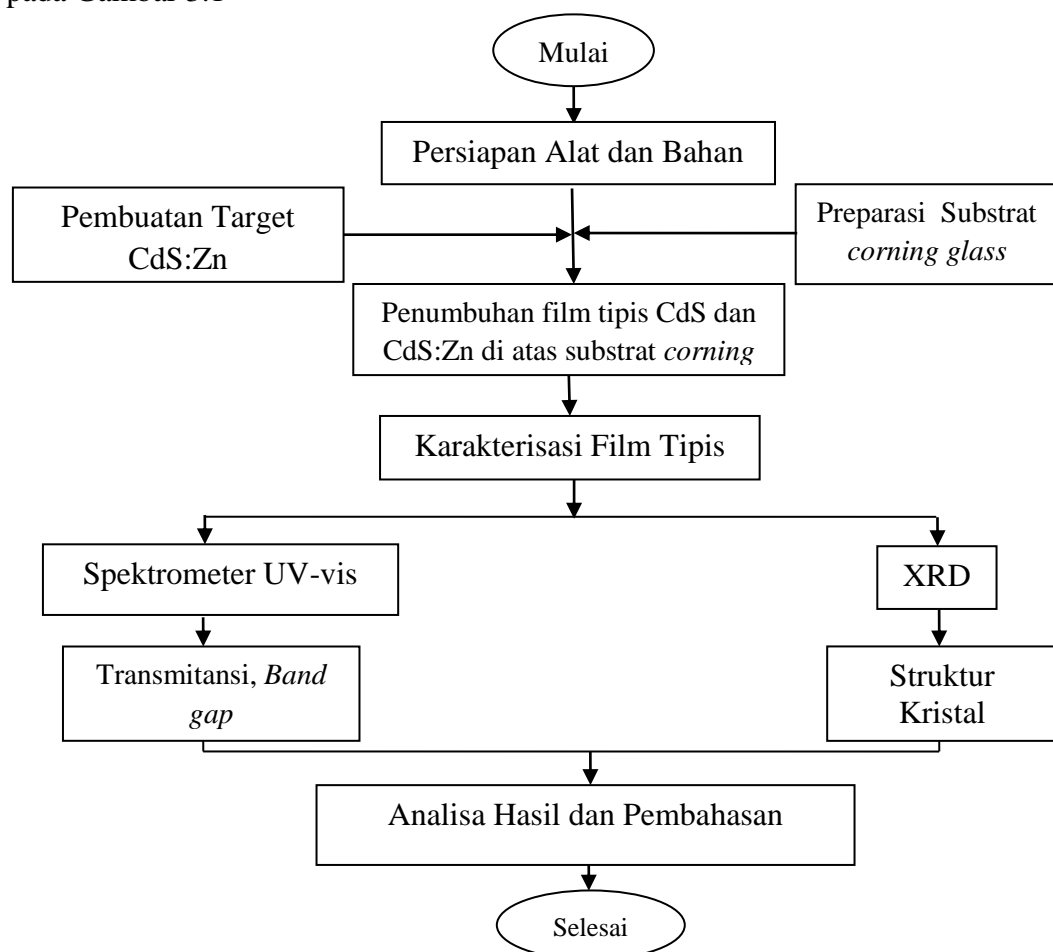
1. *Chamber* dibuka kemudian karet didalamnya dilepas. *Chamber* dibersihkan menggunakan *tissue* yang sudah dibasahi menggunakan *methanol*, karetinya dilapisi *silicon grease*.
2. Bagian anoda dan katoda pada *Chamber* dibersihkan menggunakan amplas. Setelah itu dibersihkan kembali menggunakan *tissue* yang sudah dibasahi menggunakan *methanol*.
3. Tombol *reset* pada alat ditekan, kemudian temperatur diatur pada 100 °C untuk memanaskan anoda.

4. Substrat *corning glass* dipasang pada anoda menggunakan pasta perak, pasta perak ditunggu hingga sedikit kering agar substrat yang tertempel tidak jatuh pada saat penumbuhan.
5. Target diletakkan pada katoda.
6. *Chamber* ditutup.
7. Pompa *vacuum* dihidupkan agar partikel-partikel yang tidak dikehendaki dapat dibersihkan.
8. Temperatur substrat diatur sesuai dengan parameter penelitian.
9. Power suplay *heater* dinyalakan maksimal 20 volt.
10. Pompa air dinyalakan sebagai pendingin magnet supaya temperatur pada target tidak naik karena tertumbuk oleh ion argon.
11. Tekanan diatur dengan dialirkannya gas argon pada tekanan yang sesuai parameter dengan melihat *tc vaccum gauge*, temperatur dan tekanan ditunggu sampai stabil.
12. Plasma dinyalakan dan diatur sesuai dengan parameter.
13. *Shutter* dibuka dan ditunggu sampai lama waktu deposisi sesuai dengan parameter penumbuhan yang akan dilakukan.
14. *Shutter* ditutup.
15. Reaktor (*cooling down*) dimatikan dengan cara daya plasma diturunkan sampai 0, dan tombol *power* pada *DC high voltage* dimatikan.
16. Gas argon ditutup dan temperatur diatur *off*.

17. Temperatur ketika turun sampai 200 °C, pompa *vacuum* dimatikan, setelah temperatur turun sampai 100 °C pompa air dan rektor *DC magnetron sputtering* dimatikan.
18. *Chamber* dibuka, sampel yang telah dideposisikan diambil dan disimpan.
19. *Chamber* dibersihkan seperti keadaan semula.

3.3 Alur Penelitian

Skema proses pelaksanaan penelitian penumbuhan film tipis CdS:Zn dilakukan dengan menggunakan metode *DC magnetron sputtering* ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian

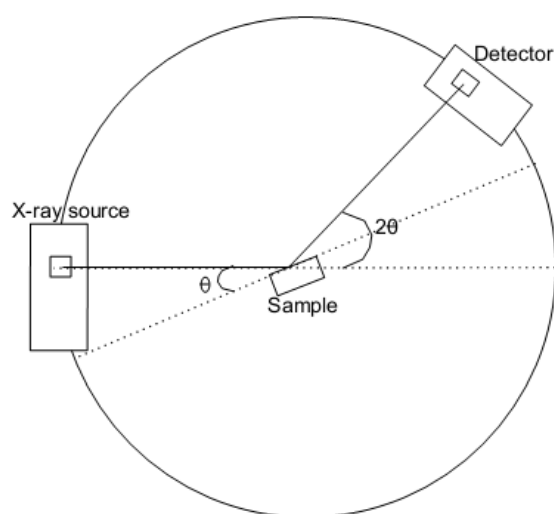
3.4 Karakterisasi Film Tipis

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

3.4.1 XRD (*X-ray diffraction*)

Karakterisasi struktur dan orientasi bidang kristal film tipis CdS:Zn dilakukan menggunakan XRD dengan $\text{CuK}\alpha$ radiation ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Metode difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui karakteristik struktur kristal dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel holder difraktometer sinar-X. Proses difraksi sinar-X dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Sinar-X yang terpancar dari tabung difraktometer akan didifraksikan menuju sampel yang konvergen kemudian diterima slit dalam posisi simetris dengan respon ke fokus sinar-X. Sinar-X yang mengenai sampel dihamburkan ke segala arah. Akibat keteraturan posisi atom penyusun kristal maka mengalami interferensi secara konstruktif. Kemudian sinar-X tersebut ditangkap oleh detektor (Gambar 3.2). Detektor akan merekam dan memproses isyarat penyinaran ini dan mengkonversi isyarat itu menjadi suatu arus yang akan dikeluarkan pada printer atau layar komputer.

Sinar-X dengan panjang gelombang tertentu dikenakan pada kristal dengan sudut θ terhadap permukaan bidang Bragg yang berjarak d . Interferensi konstruktif dari sinar-X yang dihamburkan hanya terjadi jika beda lintasannya memenuhi Persamaan (2.1). Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang mewakili orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi.



Gambar 3.2. Prinsip Kerja XRD (Aamodt, 2011)

3.4.2 Spektrometer UV-vis

Karakterisasi sifat optik CdS:Zn dilakukan dengan menggunakan Spektrometer UV-vis. Spektrometer UV-vis merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui transmitansi, absorbansi, dan reflektansi. Alat spektrometer UV-vis yang digunakan adalah merk *Hewlett Packard 8453 Agilent Technologies*, JAPAN dengan rentang panjang gelombang antara 190 nm sampai 820 nm. Spektrometer UV-vis diperoleh data transmitansi (%) dan panjang gelombang (nm).

3.5 Analisis Data

3.5.1 XRD

Hasil dari karakterisasi XRD dianalisis dengan memanfaatkan *software microsoft excel* untuk mengetahui arah orientasi bidang kristal, parameter kisi, FWHM, sudut difraksi, dan juga *grain size*. Dari karakterisasi XRD didapatkan puncak-puncak yang muncul pada difraktogram. Puncak-puncak tersebut dicocokkan dengan JCPDS (*joint committee on powder diffraction standart*) kemudian didapatkan arah orientasi bidang kristal. Arah orientasi bidang kristal ini kemudian diolah untuk mendapatkan parameter kisi. Parameter kisi yang memiliki struktur dengan fase heksagonal dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.1) (Suryanarayana, 1998)

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4} \left[\frac{4}{3} \frac{(h^2 + hk + k^2)}{a^2} + \frac{l^2}{(c/a)^2} \right] \quad (3.1)$$

dengan θ adalah sudut difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar-X, hkl adalah indeks Miller, a dan c adalah parameter kisi.

Nilai FWHM didapatkan dengan cara mencari dua titik setengah dari intensitas puncak difraktogram XRD. Untuk mendapatkan sudut difraksi dapat memanfaatkan persamaan (2.1). *Grain size* juga dapat diidentifikasi menggunakan formula Scherrer (Cullity, 1978).

$$t = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta_B} \quad (3.2)$$

dengan t adalah *grain size*, B adalah *full width at half-maximum* (FWHM) dalam radian ($1^\circ = 1,7452 \times 10^{-2} \text{ rad}$), θ adalah sudut difraksi.

3.5.2 Spektrum UV-vis

Data yang diperoleh dari spektrometer UV-vis berupa nilai transmitansi (%) dan panjang gelombang (nm). Transmitansi dan panjang gelombang tersebut kemudian digrafikkan menggunakan *software microsoft excel*. Transmitansi kemudian diolah sedemikian rupa untuk mendapatkan data *band gap* dan energi urbach. Pengukuran transmitansi menggunakan UV-vis bertujuan untuk mengetahui pengaruh doping Zn terhadap sifat optik dan besarnya *band gap*.

Grafik *band gap* merupakan grafik hubungan antara energi foton dengan kuadrat koefisien absorpsi. Besarnya *band gap* film tipis CdS:Zn dapat ditentukan dengan menarik garis ekstrapolasi linier dari ujung kurva koefisien absorpsi berpotongan dengan sumbu E . Titik perpotongan tersebut menyatakan lebar *band gap* dari film tipis CdS:Zn. Hasil karakterisasi sifat optik juga dapat diketahui nilai energi urbach. Besar energi urbach dapat diperoleh dengan menggunakan *software Lab. Fitting*. Pada gambar memperlihatkan grafik hubungan antara energi foton (sumbu x) dengan absorpsi α (sumbu y). Kurva warna hitam pada grafik merupakan hubungan energi foton terhadap nilai absorpsi, warna ungu pada grafik merupakan kurva dari persamaan yang tertera di bagian atas grafik.

BAB IV

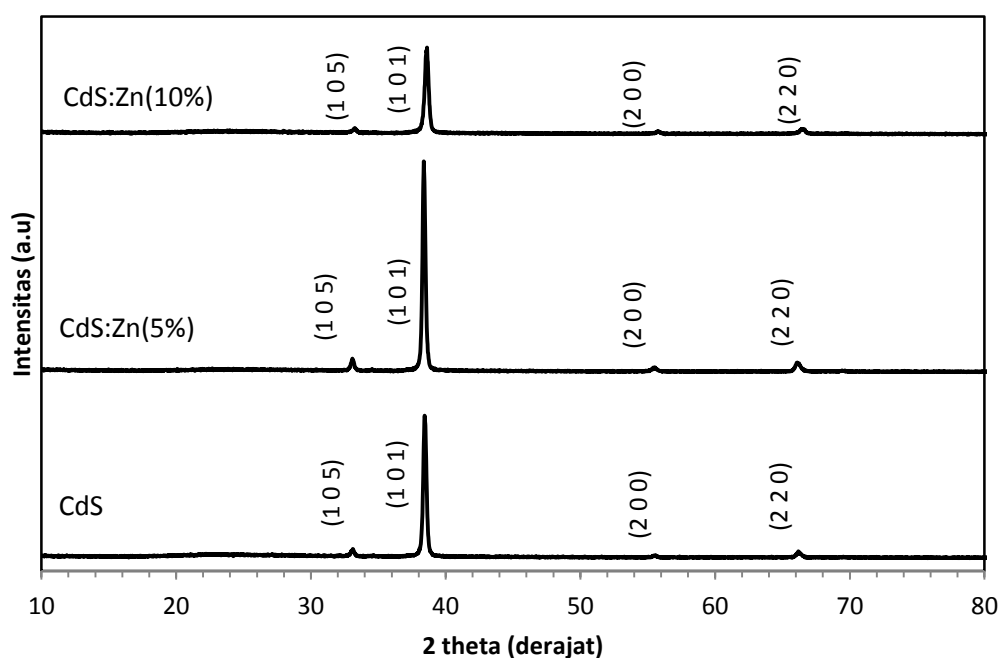
HASIL DAN PEMBAHASAN

Film tipis CdS:Zn telah berhasil dideposisikan pada substrat *corning glass* dengan metode *DC magnetron sputtering*. Eksperimen ini yang telah dilakukan menghasilkan tiga buah sampel yaitu film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%. Sampel-sampel tersebut ditumbuhkan dengan aliran gas argon pada tekanan 450 mTorr, temperatur substrat 450 °C, daya plasma 24 watt dan lama penumbuhan selama 3 jam. Sampel film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) dan spektrometer UV-vis.

4.1 Karakterisasi XRD

Kristalografi film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% dapat diamati dengan menggunakan teknik karakterisasi XRD. Hasil karakterisasi XRD diperoleh berupa spektrum yang dilengkapi dengan informasi mengenai karakteristik untuk setiap sampel. Berdasarkan spektrum didapatkan besaran-besaran yang menggambarkan karakteristik setiap sampel yaitu sudut 2θ , jarak antara bidang Bragg (d), intensitas relatif, FWHM, *grain size*, dan yang lain-lainnya. Peralatan karakterisasi XRD yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan sumber radiasi $CuK\alpha$ dengan panjang gelombang 1,5406 Å. Pola difraksi sinar-X pada sampel film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS

doping ZnS 10% yang telah ditumbuhkan ditunjukkan pada Gambar 4.1. Data yang diperoleh dibandingkan dengan data JCPDS (*joint comitte on powder diffraction standart*) dengan tujuan untuk mengidentifikasi arah orientasi bidang kristal dan fase dari struktur kristal.



Gambar 4.1 Spektrum XRD film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%

Spektrum hasil karakterisasi XRD pada Gambar 4.1 dari film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% terdapat beberapa puncak yang muncul, hal ini menandakan bahwa film yang tumbuh memiliki struktur polikristal. Film yang tumbuh juga menunjukkan puncak-puncak yang seragam, hanya saja dengan nilai intensitas yang berbeda-beda untuk masing-masing film. Intensitas maksimum dihasilkan ketika terjadi interferensi konstruktif. Interferensi bergantung pada posisi atom dan bidang Bragg pada kristal. Struktur film

polikristal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Al-Tameme *et al.* (2012).

Hasil dari karakterisasi XRD kemudian dibandingkan dengan data JCPDS. Film tipis CdS tanpa doping, CdS doping ZnS 5%, maupun CdS doping ZnS 10% masing-masing memiliki 4 buah puncak dengan fase *wurtzite* (heksagonal). Sampel film CdS muncul puncak-puncak pada sudut $2\theta = 33,1^\circ, 38,4^\circ, 55,4^\circ,$ dan $66,1^\circ$ yang memiliki arah orientasi bidang kristal (1 0 5), (1 0 1), (2 0 0), dan (2 2 0). Sementara film tipis CdS doping ZnS 5% teramati memiliki puncak-puncak pada sudut $2\theta = 33,1^\circ, 38,3^\circ, 55,5^\circ,$ dan $66,0^\circ$ yang bersesuaian dengan arah orientasi bidang kristal (1 0 5), (1 0 1), (2 0 0), dan (2 2 0). Sampel film tipis CdS yang mendapatkan doping ZnS 10% muncul puncak-puncak pada sudut $2\theta = 33,2^\circ, 38,5^\circ, 55,7^\circ,$ dan $66,6^\circ$ dengan arah orientasi bidang kristal (1 0 5), (1 0 1), (2 0 0), dan (2 2 0).

Intensitas relatif paling tinggi terdapat pada puncak dengan arah orientasi bidang kristal (1 0 1) jika dibandingkan dengan puncak-puncak lainnya. 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. Pada Gambar 4.1 teramati bahwa film CdS doping ZnS 5% memiliki intensitas paling tinggi jika dibandingkan dengan film CdS tanpa doping dan CdS doping ZnS 10%. Hal ini berarti bahwa film tipis CdS dengan doping ZnS 5% yang tumbuh memiliki struktur kristal yang baik dengan atom-atom target dapat terdeposisi secara merata atau homogen. Film tipis CdS doping

ZnS 10% memiliki intensitas masih paling rendah jika dibandingkan dengan film CdS tanpa doping dan CdS doping ZnS 5%. Hal ini disebabkan karena atom-atom target terdeposisi pada substrat terbentuk secara acak.

Hasil analisis XRD juga didapatkan sudut difraksi, parameter kisi, FWHM, dan *grain size* yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil perhitungan parameter kisi, FWHM, dan *grain size*

Sampel	Sudut (deg)	d (Å)	hkl	parameter kisi		FWHM (deg)	<i>grain size</i> (Å)
				a	c		
CdS	38,44	2,341	101	3,063	5,002	0,30	280,5
CdS:Zn(5%)	38,38	2,348	101	3,077	5,025	0,27	311,7
CdS:Zn(10%)	38,62	2,334	101	3,049	4,979	0,36	234,0

Sudut difraksi, jarak antar bidang, (*hkl*), parameter kisi, FWHM, dan juga *grain size* ditunjukkan pada Tabel 4.1. Film tipis CdS tanpa doping muncul puncak pada sudut 38,4° memiliki nilai *grain size* sebesar 280,5 Å dan FWHM sebesar 0,3° dengan parameter kisi $a = 3,063$ dan $c = 5,002$. Film tipis CdS doping ZnS 5% menunjukkan sudut difraksi bergeser ke kiri (semakin kecil) yaitu pada sudut 38,3°. Hal ini disebabkan karena jarak antar bidang atom kristal (*d*) semakin besar yaitu 2,348 Å, sesuai dengan perumusan hukum Bragg tentang persamaan difraksi yang menyatakan bahwa sudut difraksi (θ) berbanding terbalik dengan jarak antar bidang (*d*). Nilai FWHM juga semakin sempit yaitu 0,27° dengan nilai *grain size* yang lebih besar yaitu sebesar 311,7 Å jika dibandingkan dengan film CdS yang tanpa doping dan nilai parameter kisi menjadi $a = 3,077$

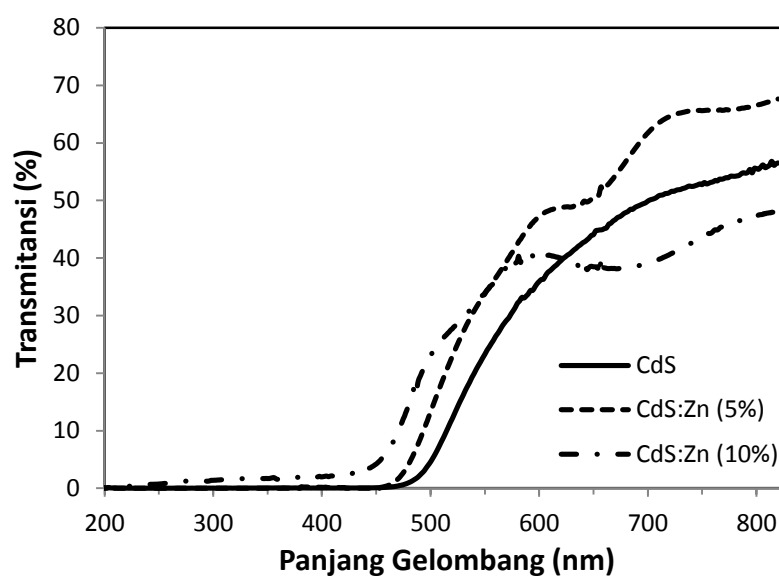
dan $c = 5,025$. Namun ketika doping ZnS pada film CdS bertambah menjadi 10%, sudut difraksi bergeser kekanan (semakin besar) yaitu pada sudut $38,5^\circ$. Nilai FWHM juga cenderung meningkat menjadi $0,36^\circ$ dengan nilai *grain size* juga cenderung menjadi lebih kecil yaitu 234 \AA jika dibandingkan dengan film CdS tanpa doping dan CdS doping ZnS 5%. Begitu juga dengan parameter kisi menjadi $a = 3,049$ dan $c = 4,979$. Kristal yang baik adalah kristal yang memiliki nilai FWHM yang sempit dengan *grain size* yang besar sehingga akan memperkecil *Grain boundary*. *Grain boundary* adalah permukaan atau daerah yang menghubungkan antara dua *grain* kristal tunggal.

Penambahan jumlah konsentrasi doping Zn yang sesuai membuat atom-atom pada target mampu terdeposisi secara merata atau homogen pada substrat *corning glass* (Siswanto dkk., 2006). Hal tersebut mengakibatkan film memiliki *grain size* yang besar dan membuat *grain boundary* yang terbentuk semakin kecil, sehingga membuat film tipis memiliki nilai FWHM yang tajam dan sempit. Namun ketika penambahan doping terlalu besar maka akan merusak material yang didoping atau *host*.

4.2 Karakterisasi UV-vis

Karakterisasi sifat optik film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% melalui pengukuran spektrometer UV-vis dengan rentang panjang gelombang 190 nm sampai dengan 820 nm. Spektrum yang diperoleh adalah grafik hubungan antara transmitansi (%) terhadap panjang gelombang (nm), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan grafik hubungan antara

koefisien absorpsi (α)² terhadap energy foton (eV) yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Berdasarkan hasil karakterisasi tersebut dapat diketahui pengaruh konsentrasi doping terhadap sifat optik film. Film tipis CdS yang dapat diaplikasikan sebagai *window layer* pada sel surya adalah film yang mampu mentransmisikan seluruh spektrum cahaya tampak. Grafik transmitansi film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% yang ditumbuhkan pada tekanan gas argon 450 mTorr, temperatur substrat 450°C, daya plasma 24 watt, dan lama penumbuhan 3 jam dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik transmitansi film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%

Gambar 4.2 menunjukkan perbandingan nilai transmitansi untuk film CdS tanpa doping, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% yang ditumbuhkan pada substrat *corning glass*. Informasi yang didapatkan dari Gambar 4.2 adalah film yang tumbuh memiliki nilai transmitansi yang bervariasi tiap-tiap sampel. Pada panjang gelombang pendek relatif tidak ada foton yang ditransmisikan. Jika

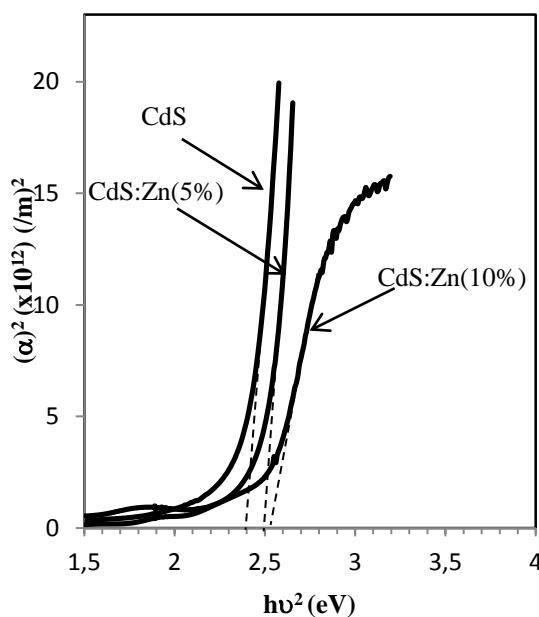
dilihat pada panjang gelombang yang lebih panjang, nilai transmitansi yang dihasilkan secara berurutan yaitu mencapai 55%, 68%, dan 48% untuk masing-masing film tipis CdS tanpa doping, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%. Tiap-tiap sampel menunjukkan perubahan nilai transmitansi pada rentang panjang gelombang (λ) 400 nm sampai 800 nm yang merupakan daerah panjang gelombang cahaya tampak. Jika dilihat disekitar transmisi fundamental yaitu pada saat foton diserap oleh elektron untuk pindah dari pita valensi ke pita konduksi (*direct gap*) yaitu pada daerah panjang gelombang ~ 460 nm hingga ~ 530 nm tampak perubahan kurva transmitansi yang cukup besar untuk ketiga film tipis yang menunjukkan adanya absorpsi.

Hasil analisis spektrometer UV-vis teramati bahwa film tipis CdS tanpa doping memiliki nilai transmitansi mencapai 55%. Rentang spektrum cahaya yang ditransmisikan oleh film tipis CdS adalah pada panjang gelombang dari ~ 480 nm sampai dengan ~ 800 nm. Film tipis CdS doping ZnS 5% memiliki nilai transmitansi relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan film CdS tanpa doping. Hal ini ditunjukkan dengan film CdS doping ZnS 5% mampu mentransmisikan mencapai 68% cahaya yang mengenainya pada rentang spektrum yang lebih lebar yaitu dari panjang gelombang ~ 470 nm sampai ~ 800 nm. Transmisi optik pada film CdS doping ZnS 10% tampak paling rendah yaitu 48%. Rentang spektrum cahaya yang ditransmisikan oleh CdS doping ZnS 10% lebih lebar yaitu pada panjang gelombang antara ~ 450 nm sampai dengan ~ 800 nm. Penambahan doping ZnS pada film tipis CdS telah berhasil memperlebar rentang panjang gelombang spektrum cahaya yang ditransmisikan.

Berdasarkan Gambar 4.2 film tipis CdS doping ZnS 5% terlihat memiliki nilai transmitansi yang paling tinggi diantara yang lain. Transmitansi dapat dihubungkan dengan kualitas kristal film (Sudjatmoko *et al.*, 2009). Plot grafik yang terbentuk memperlihatkan tajam pada tepi absorpsi yang menunjukkan bahwa film CdS doping ZnS 5% memiliki kualitas kristal yang baik (Lee *et al.*, 2003). Hal ini sesuai dengan karakterisasi XRD.

Plot grafik pada Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa film tipis CdS doping ZnS 10% mengalami kenaikan nilai transmitansi hingga ~ 550 nm, setelah itu terlihat adanya osilasi. Osilasi yang muncul pada spektrum transmitansi disebabkan oleh efek interferensi dalam lapisan (Mursal dkk., 2006). Osilasi menunjukkan ketebalan suatu film. Ketebalan suatu film sangat berpengaruh terhadap nilai transmitansi. Ketika suatu film memiliki lapisan yang tebal maka akan menurunkan nilai transmitansi optik pada daerah spektrum cahaya tampak (Saragih dkk., 2010). Selain disebabkan karena film yang tebal, menurut purwaningsih dkk. (2005) menurunnya nilai transmitansi juga dikarenakan film memiliki beberapa faktor, antara lain jumlah atom doping yang masuk dalam kisi film, *grain size*, kekasaran permukaan. Faktor-faktor tersebut hadir karena adanya penambahan doping. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian Al-Tememe (2012) yang melaporkan bahwa menurunnya nilai transmitansi seiring dengan konsentrasi doping yang bertambah. Transmitansi optik dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi doping yang sesuai, sehingga membuat kristal yang terbentuk memiliki kualitas yang baik, yang berarti atom-atom target dapat terdeposisi secara merata atau homogen (Siswanto dkk, 2006).

Berdasarkan hasil karakterisasi UV-vis juga didapatkan nilai *band gap*. Penentuan nilai *band gap* dari masing-masing film tipis yang ditumbuhkan dengan perbedaan konsentrasi doping adalah dengan cara menarik garis ekstrapolasi linier pada grafik hubungan antara energi foton (eV) terhadap kuadrat dari koefisien absorpsi (α^2).



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kuadrat koefisien absorpsi dengan energi foton (eV)

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 didapatkan nilai *band gap* dari masing-masing film tipis CdS tanpa doping, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% secara berurutan yaitu sebesar 2,40 eV, 2,50 eV, dan 2,53 eV. Untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi maka lebar *band gap* dari CdS:Zn setidaknya lebih besar dari pada film tipis CdS (Siswanto dkk., 2006). Penambahan doping ZnS pada film tipis CdS telah berhasil memperlebar nilai *band gap* dari film tipis CdS. *Band gap* yang lebar akan mengakibatkan rentang spektrum cahaya yang dapat menembus lapisan semakin bertambah, sehingga

jumlah elektron yang dibebaskan oleh foton juga ikut meningkat (Perrenoud *et al.*, 2011).

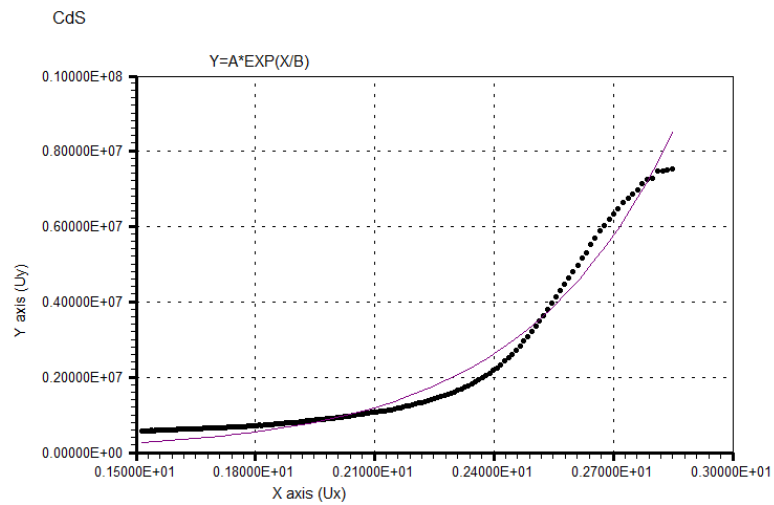
Penambahan doping ZnS 5% pada CdS mampu memperlebar nilai *band gap* menjadi 2,50 eV dari *band gap* film tipis CdS yang hanya 2,40 eV. Ketika jumlah konsentrasi doping ZnS pada film CdS ditambah menjadi 10% terjadi pelebaran nilai *band gap* menjadi 2,53 eV. Plot Ketika konsentrasi doping ZnS pada CdS semakin bertambah maka *band gap* yang dihasilkan juga semakin lebar. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Ghoneim (2010) yang melaporkan bahwa semakin besar konsentrasi doping Zn maka *band gap* yang dihasilkan juga semakin lebar.

Film CdS dengan doping ZnS 10% terlihat memiliki *band tail*. Daerah terlokalisasi pada film CdS doping ZnS 10% sama dengan hasil dari eksperimen yang dilakukan oleh Marwoto *et al.* (2012). *Band tail* yang dihasilkan disebabkan karena adanya cacat kristal yang dapat terjadi akibat banyaknya doping ZnS pada film CdS. Hal ini juga diyakini bahwa kelebihan doping ZnS dapat membuat transformasi kristalografi dari struktur kristal menjadi amorf (Marwoto *et al.* 2012).

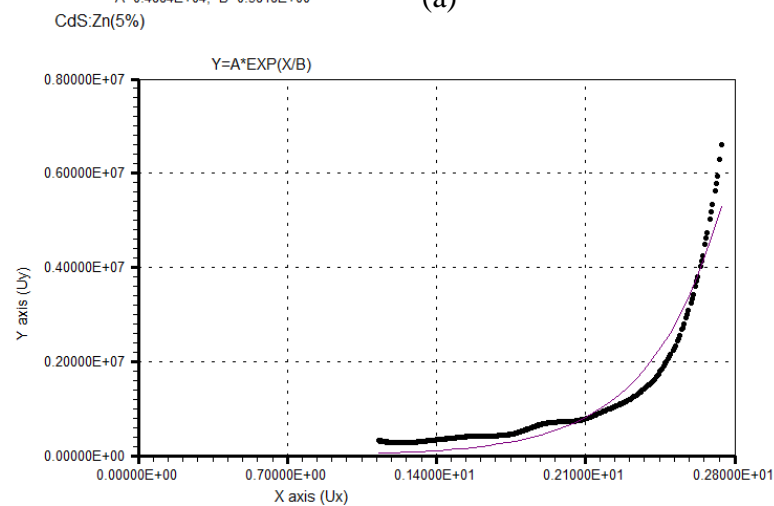
Hasil karakterisasi sifat optik juga dapat diketahui nilai energi urbach. Besar energi urbach dapat diperoleh dengan menggunakan software *Lab. Fitting*. Gambar 4.4 memperlihatkan hubungan antara energi foton (sumbu x) dengan absorpsi α (sumbu y). Kurva warna hitam pada grafik Gambar 4.4 merupakan hubungan energi foton terhadap nilai absorpsi, warna ungu pada grafik merupakan kurva dari persamaan yang tertera di bagian atas grafik Gambar 4.4. Persamaan

tersebut sesuai dengan Persamaan (2.5). Huruf A pada persamaan bagian atas dari Gambar 4.4 merupakan α_0 pada Persamaan (2.5), dan huruf B pada persamaan bagian atas dari Gambar 4.4 merupakan E_u (energi urbach) pada Persamaan (2.5).

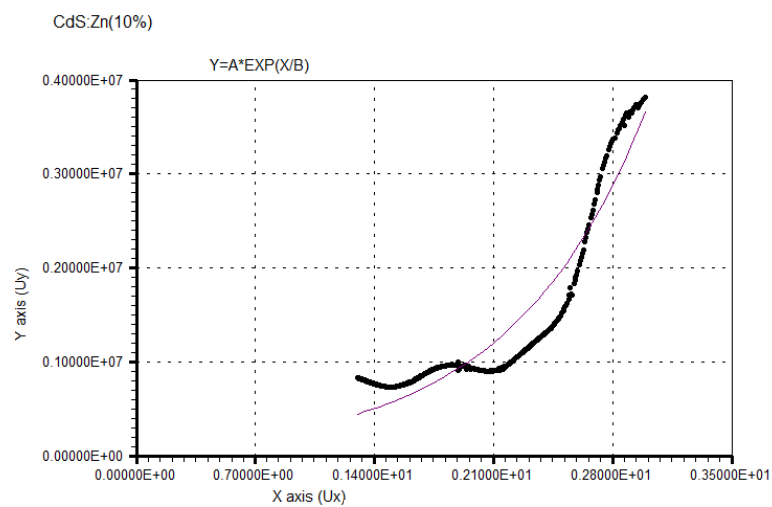
Energi urbach terbentuk karena adanya cacat kristal atau konsentrasi doping yang tinggi dan bergabung ke dalam pita konduksi atau pita valensi (Wiyanto dkk., 2004). Efek ini menghasilkan tepi absorpsi eksponensial dalam bahan semikonduktor. Berdasarkan Gambar 4.4 teramati bahwa film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% tumbuh tidak lepas dari adanya cacat kristal. Hasil perhitungan energi urbach diperoleh bahwa film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10% memiliki energi urbach secara berurutan masing-masing sebesar 0,38 eV, 0,34 eV, dan 0,80 eV. Film tipis CdS yang mendapatkan doping ZnS 5% memiliki energi urbach paling rendah. Sementara itu, film CdS doping ZnS 10% memiliki energi urbach yang paling tinggi, hal ini dapat dihubungkan dengan struktur kristal yang terbentuk pada film CdS doping ZnS 10% belum sempurna, yang berarti terdapat adanya cacat kristal.



(a)



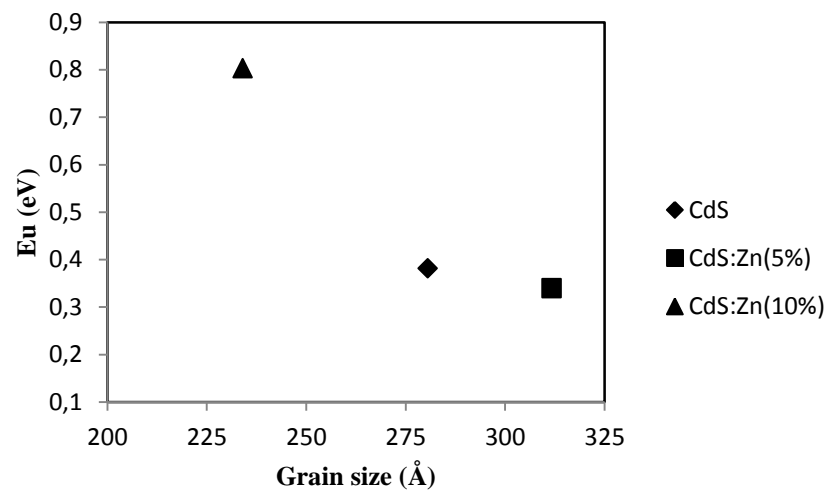
(b)



(c)

Gambar 4.4 Grafik hubungan antara α dengan energi (eV) film tipis
(a) CdS, (b) CdS doping ZnS 5%, dan (c) CdS doping ZnS 10%

Energi urbach dapat dihubungkan dengan nilai *grain size* pada film. Ketika *grain size* suatu film semakin besar maka *grain boundary* akan menyempit sehingga akan memperkecil nilai energi urbach.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara energi urbach dengan *grain size* film tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%

Hasil analisis Gambar 4.5 teramati bahwa ketika *grain size* semakin besar maka mengakibatkan energi urbach menjadi semakin kecil. Film tipis CdS yang mendapat doping Zn 5% memiliki *grain size* yang besar dan energi urbach yang kecil. Hal ini disebabkan karena film tipis CdS doping ZnS 5% memiliki *grain boundaries* yang sempit sehingga mengurangi adanya cacat kristal pada film. Sementara film tipis CdS dengan doping 10% memiliki *grain size* yang kecil dengan energi urbach yang relatif besar yang menandakan bahwa film CdS dengan doping ZnS 10% memiliki cacat kristal karena *grain boundaries* menjadi semakin besar.

Material CdS dalam teknologi sel surya mempunyai peranan penting sebagai *window layer* yang memiliki fungsi sebagai lapisan yang mampu mentransmisikan seluruh spektrum cahaya tampak dari matahari yang kemudian

akan diabsorpsi oleh lapisan absorber. *Window layer* memiliki band gap yang lebar. Penumbuhan film tipis CdS dengan doping ZnS telah berhasil memperlebar nilai band gap CdS, namun belum mencapai hasil yang optimum.

4.3 Hubungan antara Struktur Kristal dan Sifat Optik Film Tipis CdS, CdS doping ZnS 5%, dan CdS doping ZnS 10%

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui hubungan antara struktur dan sifat optik film tipis CdS doping Zn yang ditumbuhkan dengan metode DC magnetron sputtering dengan parameter penumbuhan temperatur substrat 450°, tekanan gas argon 450 mTorr, daya plasma 24 watt. Karakterisasi XRD menunjukkan film tipis CdS memiliki nilai intensitas tinggi pada pola difraksi XRD dan FWHM sempit. Selain itu, film CdS juga memiliki *grain size* yang cukup besar. Penambahan doping Zn 5% menyebabkan film memiliki nilai intensitas lebih tinggi, FWHM semakin sempit dan *grain size* yang lebih besar. Ketika penambahan doping Zn semakin besar yaitu 10% menyebabkan film memiliki intensitas semakin rendah dengan FWHM semakin lebar dan *grain size* nya menjadi semakin kecil. Intensitas pada pola difraksi yang tinggi dengan nilai FWHM yang sempit menunjukkan bahwa atom-atom target terdeposisi secara merata atau homogen. Hal tersebut diperkuat dengan *grain size* yang besar membuat *grain boundaries* semakin kecil membuat film tipis CdS doping Zn 5% memiliki kualitas kristal yang paling baik.

Penambahan jumlah konsentrasi doping Zn yang sesuai membuat atom-atom pada target mampu terdeposisi secara merata atau homogen pada substrat

corning glass (Siswanto dkk., 2006). Homogenitas film yang tumbuh dapat meningkatkan sifat optik. Target yang terdeposisi secara merata dan relatif kompak membuat tingkat kristalinitas semakin tinggi pada substrat sehingga dapat meningkatkan nilai transmitansi film (Khallaf *et al.* 2009., Hwang *et al.* 2012). Film tipis CdS doping Zn 5% belum mencapai hasil yang optimum untuk diaplikasikan sebagai *window layer*, disebabkan karena transmitansi yang dihasilkan belum cukup tinggi. Sebagai aplikasi *window layer* maka film harus memiliki nilai transmitansi yang tinggi, seperti hasil yang telah dicapai oleh Cruz *et al.* (2010) yang menyatakan film tipis CdS doping Zn mampu mentransmisikan cahaya mencapai 80%. Untuk itu perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang film CdS doping Zn dengan variasi doping antara 5% sampai 10% yang dimungkinkan pada rentang doping tersebut terdapat hasil yang optimum untuk diaplikasikan sebagai *window layer*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diambil simpulan sebagai berikut. Berhasil ditumbuhkannya film tipis CdS dan CdS doping Zn dengan menggunakan metode *DC magnetron sputtering* di atas substrat *corning glass* pada tekanan gas argon 450 mTorr, temperature substrat 450°, daya plasma 24 watt, dan lama penumbuhan 3 jam. Hasil karakterisasi XRD menghasilkan struktur kristal lapisan tipis terorientasi pada bidang (1 0 5), (1 0 1), (2 0 0), dan (2 2 0). Penambahan doping Zn 5% menyebabkan atom-atom pada target mampu terdeposisi secara merata atau homogen sehingga kristalinitas meningkat. Tingkat kristalinitas yang tinggi pada substrat dapat meningkatkan nilai transmitansi film. Transmitansi yang dihasilkan film tipis CdS doping Zn 5% yaitu 68%. Hasil tersebut belum sesuai apabila diaplikasikan sebagai *window layer* sel surya karena nilai transmitansi yang cukup rendah. Penambahan doping Zn telah berhasil memperlebar *band gap*. Band gap yang dihasilkan CdS doping Zn 5% dan CdS doping Zn 10% masing-masing sebesar 2,5 eV dan 2,53 eV.

5.2 Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai penumbuhan film tipis CdS:Zn perlu dilakukan lagi dengan variasi tekanan aliran gas argon, temperatur substrat, dan daya plasma. Selain itu juga perlu adanya variasi doping Zn 5% sampai 10% untuk mengetahui doping optimum untuk film tipis CdS yang memiliki kualitas kristal baik dengan transmitansi yang tinggi dan nilai *band gap* yang lebar.

DAFTAR PUSTAKA

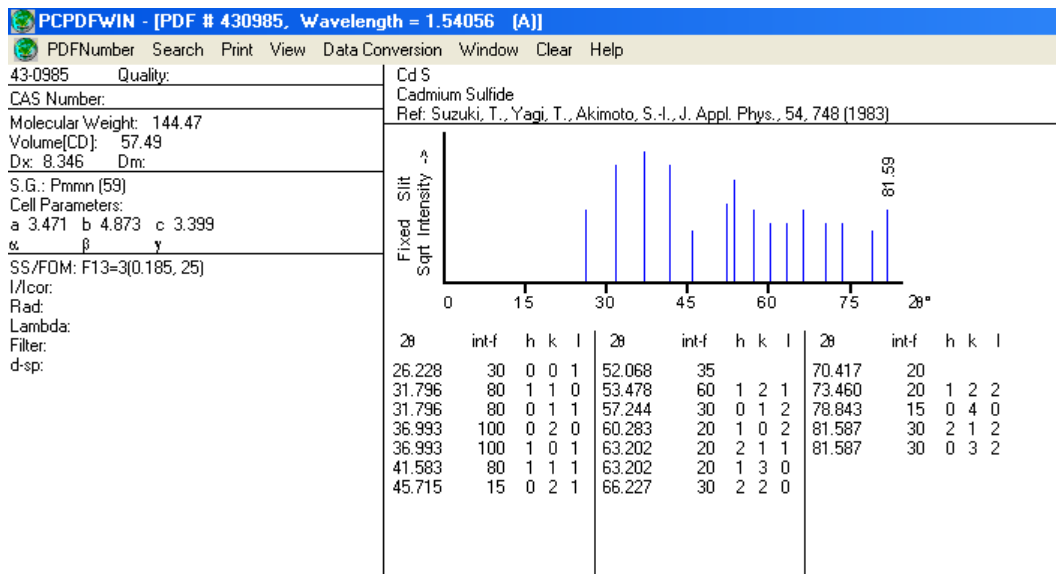
- Aamodt, Tor Ingve. 2011. Characterization of ZnS:Cr films for Intermediate Band Solar Cells. Department of Physics. Norwegian University of Science and Technology.
- Al-Tememe, Nathera A., N. M. Saeed, S. M. A. Al-Dujayli, B. T. Chiad. 2012. The Effect of Zn Concentration on the Optical Properties of $Cd_{10-x}Zn_xS$ Films for Solar Cells Application. *Advances in Material Physics and Chemistry* 2, 69-74
- Beiser, Arthur. 1991. *Konsep Fisika Modern*. Edisi keempat. Erlangga.
- Cruz, J. Santos, R. C. Perez, G. T. Delgado, O. Z. Angel. 2010. CdS Thin Films Doped with Metal-Organic Salts Using Chemical Bath Deposition. Elsevier. *Thin Solid Films* 518, 1791-1795
- Cullity. (1978). *Element of X-Ray Diffraction*. Philipines: Addison Wesley Publishing Company Inc.
- Djamas, Djusmaini. 2010. Penentuan *Microstructure* Lapisan Tipis CdS Menggunakan *X-Ray Diffractometer*. EKSAKTA. Vol. 1, 9-19
- Ghoneim, D. 2010. Influence of Zinc on Optical, Electrical and Structural Properties Of $(Zn_xCd_{1-x})S$ Films. *Chalcogenide Letters*. Vol. 7, No. 6, p. 413-422
- Gupta, Akhlesh, A. D. Compaan. 2004. All-Sputtered 14% CdS/CdTe Thin Films Solar Cell with ZnO:Al Transparent Conducting Oxide. *Applied Physics Letters*, Vol. 85 No. 4, 684-686
- Effendi, Mukhtar, Bilalodin. 2012. Analisis Sifat Optik Lapisan tipis TiO_2 Doping Nitrogen yang Disiapkan dengan *Spin Coating*. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng DIY*. ISSN 0853-0823, 106-109
- Hwang, D. Hyun, J. H. Ahn, K. N. Hui, K. S. Hui, Y. G. Son. 2012. Struktural and Optical Properties of ZnS Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering. Springer Open Journal. *Nanoscale Research Letters*. 7:26, 1-7
- Khallaf, Hani, Guangyu Chai, Oleg Lupan, Lee Chow, S. Park, Alfons Schulte. 2009. Characterization of Gallium-Doped Cds Thin Films Grown by Chemical Bath Deposition. Elsevier. *Applied Surface Science* 255, 4129-4134
- Krane, Kenneth S. 2008. *Fisika Modern*. UI-Press. ISSN: 979-456-102-9

- Lee, J. Hyeong, Woo-Chang Song, Jun-Sin Yi, Kea-Joon Yang, Wun-Dong Han, Joon Hwang. 2003. Growth and properties of the $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$ thin films for solar cell applications. Elsevier. *Thin Solid Films* 431–432, 349–353
- Mahdi, M. A., S. J. Kasem, J. J. Hassen, A. A. Swadi, S. K. J. Al-Ani. 2009. Structural and Optical Properties of Chemical Deposition CdS Thin Films. *Int. J. Nanoelectronics and Materials* 2, 163-172
- Marwoto Putut, Sugianto, Edy W. 2012. Growth of Europium-Doped Gallium Oxide ($\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Eu}$) Thin Films Deposited by Homemade DC Magnetron Sputtering. Springer Open Journal. *Journal of Theoretical and Applied Physics*. 6:17, 1-8
- Matsune, Kengo, Hiroyuki Oda, Toshihiko Toyama, Hiroaki Okamoto, Yuriy Kudriavsevand, Rene Asomoza. 2006. 15% Efficiency CdS/CdTe Thin Film Solar Cells using CdS Layers Doped with Metal Organic Compounds. Elsevier. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90, 3108-3114
- Ng, Kwok K., 1995. *Complete Guide to Semikonduktor Devices*. McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-035860-5
- Perrenoud, J., L. Kranz, S. Buecheler, F. Pianezzi, A.N. Tiwari. 2011. The Use of Aluminium Doped ZnO as Transparent Conductive Oxide for Cds/Cdte Solar Cells. Elsevier. *Thin Solid Films* 519, 7444-7448
- Purwaningsih, S.Y., Karyono, Sudjatmoko. 2005. Efek Doping Al pada Sifat Optik dan Listrik Lapisan Tipis ZnO Hasil Deposisi dengan DC Sputtering. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Volume 1, Nomor 1, 1-5
- Ravangave, L. S., Biradar, U. V., Misal, S. D. 2012. The Effect of Ionic Composition on Struktural and Optical Properties of $\text{Cd}_x\text{Zn}_{1-x}\text{S}$ Thin Films Grown by Spray Pyrolysis. *International Journal of Scientific and Research Publications*, Vol. 2, Issue 6: ISSN 2250-3153, 1-5
- Riyanti, F.D. 2011. *Struktur dan sifat Optik Film Tipis CdTe/CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode DC magnetron sputtering*. Skripsi. FMIPA.UNNES.
- Saragih, Horasdia, H. Aliah, E. Sustini, A. Limbong, A. M. Hutapea. 2010. Sifat Optik Lapisan Tipis In_2O_3 yang Ditumbuhkan dengan Metode MOCVD. *Journal Matematika dan Sains*, Vol. 12 Nomor 2, 85-92
- Schroder, K.D. 2006. *Semiconductor Material and Device Characterization*. Canada: Jhon wiley & sons, inc.

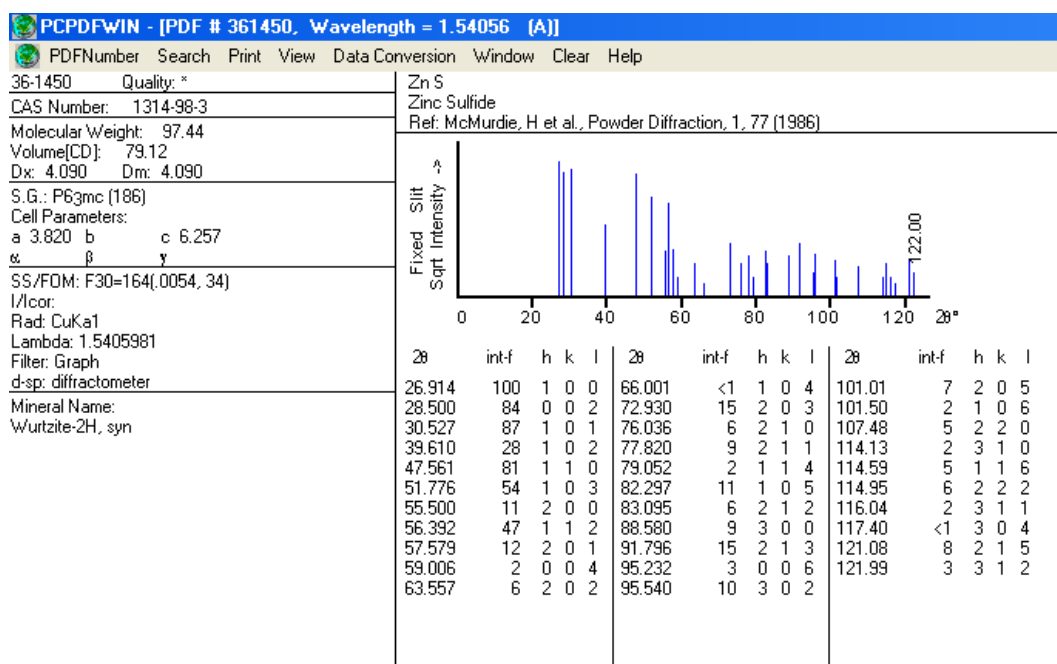
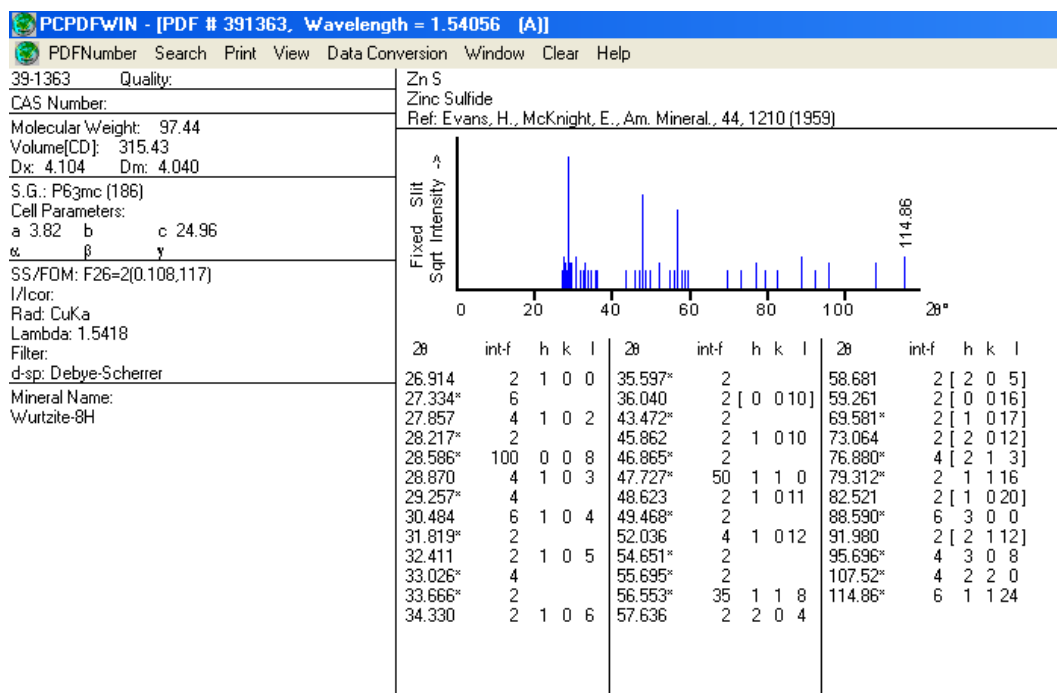
- Singh, Jasprit. 1995. *Semiconductor Optoelectronics Physics and Technology*. McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-057637-8
- Siswanto, Bambang, Wirjoardi, T. M. Atmono, Yunanto. 2006. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis a-Si:H:B untuk Bahan Sel surya. *GANENDRA*, Vol. IX, No. 2. ISSN 1410-6951, 31-37
- Sudjatmoko. 2003. *Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*. Workshop: Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan.
- Suhail, Mahdi H, Fadhel Yousif Hadi. 2011. Design of D.C. Planar Magnetron Sputter for Preparing Copper-Oxide Thin Films. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 4 No. 12. ISSN 0974-6846, 1704-1709
- Sulhan, M. 2009. *Pengaruh Daya Plasma terhadap Struktur Mikro, Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis Cadmium Sulfida (CdS) yang Ditumbuhkan dengan Metode DC magnetron sputtering*. FMIPA: UNNES.
- Sun, Y. H., Y. J. Ge, W. W. Li, D. J. Huang, F. Chen, L. Y. Shang, P. X. Yang, J. H. Chu. 2010. Structural and Optical Analysis of CdS Thin Films Grown by Magnetron Sputtering Technique. IOP Publishing. *Journal of Physics: conferencw Series* 276, 012187, 1-6
- Suryanarayana, C., M. Grant Norton. 1998. *X-Ray Deffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press:3-10
- Üzar, Neslihan, M. Ç.Arikan. 2011. Synthesis and Investigation of Optical Properties of ZnS Nanostructures. *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 34, No., pp. 287–292
- Wijoardi, Yunanto, Bambang Siswanto. 2007. Deposisi Lapisan Tipis (CdS) Tipe-*n* Di atas Lapisan Tipis (CuInSe₂) Tipe-*p* Sebagai Penyangga untuk Sel Surya CIS. *GANENDRA*, Vol. X, No. 2. ISSN 1410-6957, 9-19
- Wiyanto, Sugianto, I. Supomo. 2004. Pengaruh Anneling pada film tipis Ta₂O₅ Ditumbuhkan dengan Metode *DC magnetron sputtering*. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*. ISSN 1411-4216, 1-5

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Standar JCPDS CdS



Lampiran 2 Data Standar JCPDS ZnS



Lampiran 3 Perhitungan Kosentrasi Doping *Zinc* (ZnS) pada Target CdS:Zn.

Bahan : Cadmium Sulfida (CdS) dan Seng Sulfida (ZnS)

Massa campuran : 10 gram

Hasil yang diharapkan : CdS:Zn

Berdasarkan sistem periodik unsur kimia diketahui Ar Cd = 112,40, S = 32,064 dan Zn = 65,37, dengan mengetahui Ar (massa atom relatif) masing-masing unsur dapat dicari Mr (massa molekul relatif)

$$\text{Mr CdS} = \{(1 \times \text{Ar Cd}) + (1 \times \text{Ar S})\} = 144,64$$

$$\text{Mr ZnS} = \{(1 \times \text{Ar Zn}) + (1 \times \text{Ar S})\} = 97,434$$

Setelah itu menghitung molaritas dengan massa 10 gram

$$\text{Mol CdS} = \frac{\text{massacampuran}}{\text{Mr}} = \frac{10}{144,64} = 0,069 \text{ mol}$$

Kosentrasi doping CdS:Zn merupakan perbandingan jumlah mol doping dengan jumlah mol campuran, sehingga mol ZnS adalah:

1. Perhitungan massa CdS:Zn 5%

$$5\% \text{ mol CdS:Zn} = \frac{\text{molZnS}}{\text{molCdS}}$$

$$0,05 = \frac{\text{molZnS}}{0,069}$$

$$\text{Mol ZnS} = 0,05 \times 0,069$$

$$= 0,00345 \text{ mol}$$

$$\text{Massa ZnS} = \Sigma \text{ mol ZnS} \times \text{Mr ZnS}$$

$$= 0,00345 \times 97,434$$

$$= 0,336 \text{ gram}$$

$$\text{Massa CdS} = \text{massa total} - \text{massa ZnS}$$

$$= 10 - 0,336$$

$$= 9,644 \text{ gram}$$

Jadi massa yang dicampurkan agar menghasilkan target CdS:Zn 5% adalah CdS = 9,644 gram dan ZnS = 0,336 gram.

2. Perhitungan massa CdS:Zn 10%

$$10\% \text{ mol CdS:Zn} = \frac{\text{mol ZnS}}{\text{mol CdS}}$$

$$0,1 = \frac{\text{mol ZnS}}{0,069}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol ZnS} &= 0,1 \times 0,069 \\ &= 0,0069 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa ZnS} &= \Sigma \text{ mol ZnS} \times \text{Mr ZnS} \\ &= 0,0069 \times 97,434 \\ &= 0,6722 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CdS} &= \text{massa total} - \text{massa ZnS} \\ &= 10 - 0,6722 \\ &= 9,3278 \text{ gram} \end{aligned}$$

Jadi massa yang dicampurkan agar menghasilkan target CdS:Zn 10% adalah CdS = 9,3278 gram dan ZnS = 0,6722 gram.

Lampiran 4 Perhitungan Parameter Kisi a Dan c

1. CdS

$$(hkl) = (101)$$

$$2\theta = 38,44^\circ$$

$$\theta = 19,22^\circ$$

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

$$\sin^2 \theta = \frac{(1,5406)^2}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{1^2}{\left(\frac{\sqrt{8}}{\sqrt{3}}a\right)^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{2,373}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{3}{8a^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{2,373}{4} \left[\frac{32+9}{24a^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{97,293}{96a^2}$$

$$a^2 = \frac{97,293}{0,108 \times 96}$$

$$a = \sqrt{9,383}$$

$$a = 3,063$$

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

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

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 3,063$$

$$c = 5,002$$

2. CdS:Zn(5%)

$$(hkl) = (101)$$

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

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

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

$$\sin^2 \theta = \frac{(1,5406)^2}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{1^2}{\left(\frac{\sqrt{8}}{\sqrt{3}}a\right)^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{2,373}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{3}{8a^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{2,373}{4} \left[\frac{32+9}{24a^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{97,293}{96a^2}$$

$$a^2 = \frac{97,293}{0,107 \times 96}$$

$$a = \sqrt{9,471}$$

$$a = 3,077$$

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

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

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 3,077$$

$$c = 5,025$$

3. CdS:Zn(10%)

$$(hkl) = (101)$$

$$2\theta = 38,62^\circ$$

$$\theta = 19,31^\circ$$

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

$$\sin^2 \theta = \frac{(1,5406)^2}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{1^2}{\left(\frac{\sqrt{8}}{\sqrt{3}}a\right)^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{2,373}{4} \left[\frac{4}{3a^2} + \frac{3}{8a^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{2,373}{4} \left[\frac{32+9}{24a^2} \right]$$

$$\sin^2 \theta = \frac{97,293}{96a^2}$$

$$a^2 = \frac{97,293}{0,109 \times 96}$$

$$a = \sqrt{9,297}$$

$$a = 3,049$$

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

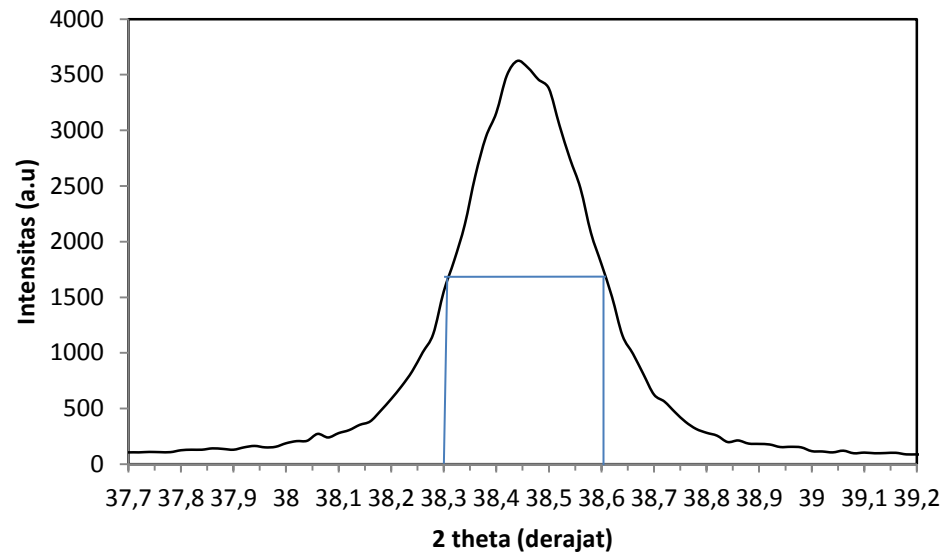
$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times a$$

$$c = \sqrt{\frac{8}{3}} \times 3,049$$

$$c = 4,979$$

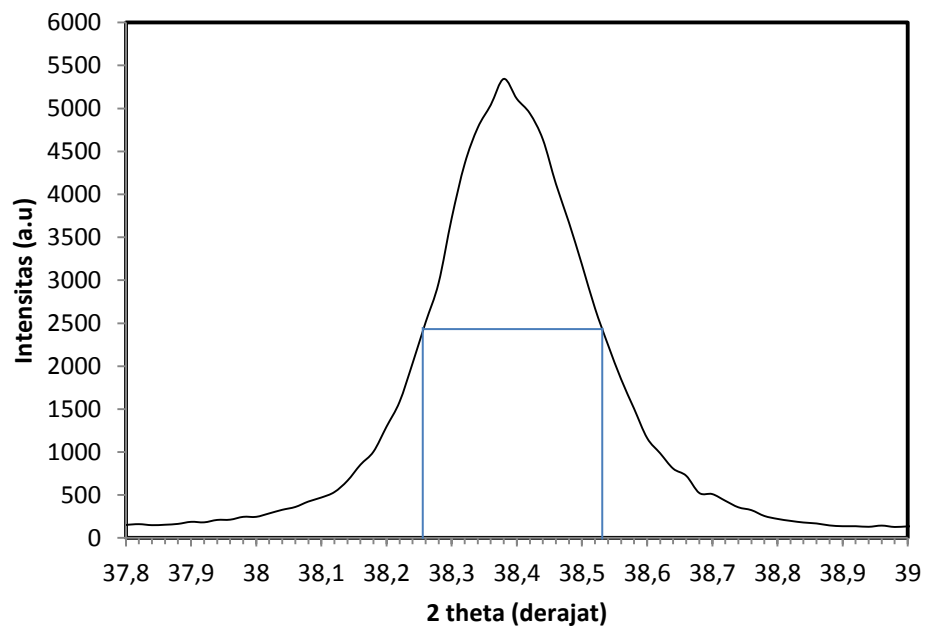
Lampiran 5 Perhitungan FWHM (*full width at half maximum*)

1. CdS



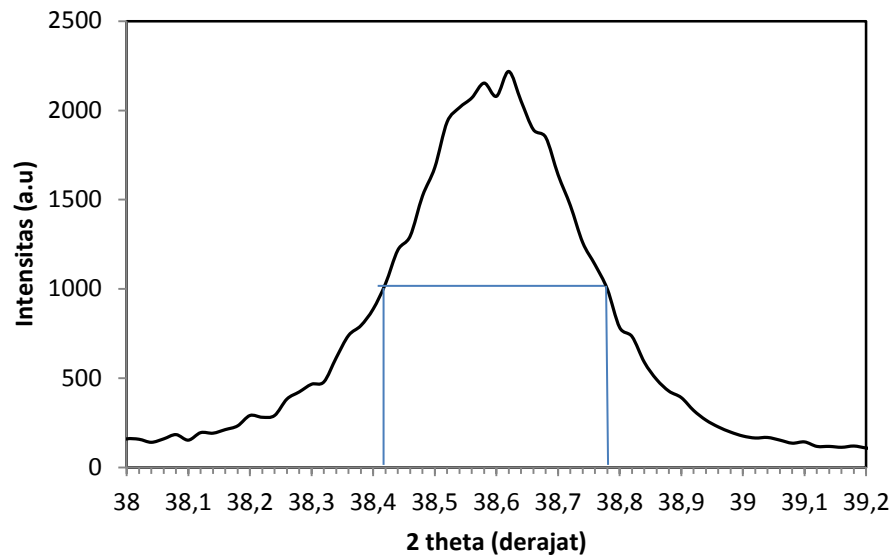
$$\beta = (2\theta_2 - 2\theta_1) = (38,6^\circ - 38,3^\circ) = 0,3^\circ$$

2. CdS:Zn(5%)



$$\beta = (2\theta_2 - 2\theta_1) = (38,53^\circ - 38,26^\circ) = 0,27^\circ$$

3. CdS:Zn(10%)



$$\beta = (2\theta_2 - 2\theta_1) = (38,78^\circ - 38,42^\circ) = 0,27^\circ$$