



**PERFORMANSI KELISTRIKAN
HETEROJUNCTION CdTe/CdS YANG
DITUMBUHKAN DENGAN METODE *DC*
*MAGNETRON SPUTTERING***

SKRIPSI

Disusun dalam rangka penyelesaian Studi Strata I

Untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

oleh

Khoidatul Makhnunah

4250407021

PERPUSTAKAAN
UNNES

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2011

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini yang berjudul “*Performansi Kelistrikan Heterojunction CdTe/CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*”, telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi.

Semarang, Agustus 2011

Pembimbing I

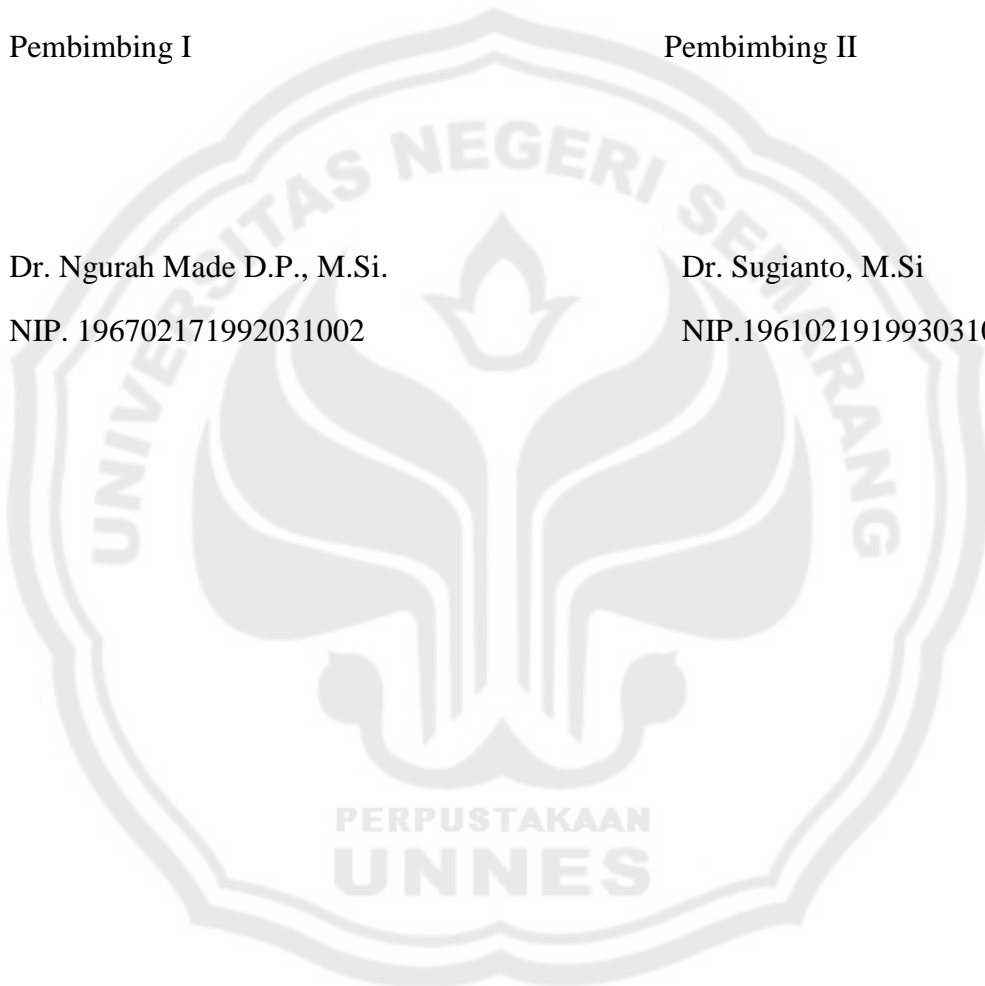
Pembimbing II

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

Dr. Sugianto, M.Si

NIP. 196702171992031002

NIP.196102191993031001



PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

Performansi Kelistrikan Heterojunction CdTe/CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*

Disusun oleh:

Nama : Khoidatul Makhnunah

NIM : 4250407021

Telah dipertahankan di hadapan sidang panitia ujian skripsi FMIPA UNNES pada tanggal Agustus 2011

Panitia:

Ketua,

Sekretaris

Dr. Kasmadi Imam S, M.S.
NIP. 195111151979031001

Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP.196308211988031004

Ketua Penguji

Dr. Sulhadi, M.Si
NIP. 197108161998021001

Anggota penguji/
Pembimbing Utama

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Dr. Ngurah Made D.P., M.Si
NIP. 196702171992031002

Dr. Sugianto, M.Si
NIP. 196102191993031001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam Skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dari karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam Skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, Agustus 2011

Penulis

Khoidatul Makhnunah

NIM. 4250407021



MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto

- ☞ Sukses adalah perjalanan, bukan tujuan akhir (Ben - Sweetland)
- ☞ Visi tanpa eksekusi adalah lamunan, eksekusi tanpa visi adalah mimpi buruk (Japanese Proverb)
- ☞ Dream as if you will live forever, live as if you will die today (James Dean)
- ☞ Yakin...prinsip yang harus selalu dipegang

Persembahan

*Karya ini sebagai pengobat rindu dan semangatku...
teruntuk,*

- ☞ *Sumber inspirasi di setiap sujud dan langkahku*
- ☞ *Keluarga besarku tercinta*
- ☞ *Keluarga besar Aswaja dan Tri Sanja*
- ☞ *Almamaterku, Fisika 2007.*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirroobil'alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Dzat yang maha pemurah dan yang dzat yang maha luas kasih sayangnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ” *Performansi Kelistrikan Heterojunction CdTe/CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering* ”. Sholawat dan salam semoga selalu tercurah ke pangkuan insan sempurna nabi Muhammad SAW beserta para sahabat dan keluarganya.

Penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi dan bantuan dalam usaha menyelesaikan skripsi ini, untuk itu dengan penuh rasa kebahagiaan dan rendah hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Sudijono Sastroatmodjo, M.Si. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Putut Marwoto, M.S. Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Ngurah Made D.P., M.Si. Dosen Pembimbing I yang telah dengan sabar dan penuh tanggung jawab memberikan bimbingan dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
4. Dr. Sugianto, M.Si. Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu dan penuh tanggung jawab memberikan bimbingan, saran, dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.

5. Dr. Sulhadi, M.Si, Dosen penguji yang telah memberikan banyak koreksi dan masukan terhadap penulisan skripsi ini.
6. Dr. Agus Yulianto, M.Si, Dosen Wali yang telah membimbing selama penulis belajar di jurusan fisika ini.
7. Dr. Sunarno, M.Si, Kepala Laboratorium Fisika UNNES yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian.
8. Seluruh Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis selama belajar di UNNES.
9. Didik, M.Sc dan Edi, M. Sc atas bimbingan, dukungan, dan kerjasamanya dalam penelitian.
10. Wasi Sakti, S.Pd, Mutakin, S.Si serta Bapak Wahyu atas bantuan, dukungan dan kerjasamanya yang selalu meringankan kesulitan penulis dalam melaksanakan penelitian.
11. Keluarga besarku yang selalu mendoakan terselesaikannya skripsi ini.
12. Teman-teman material (empat sekawan), Nila, Fitri dan Santi yang selalu sukacita bersama dalam penelitian, teman-teman Fisika '07 serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu dengan penuh keterbukaan dan kerendahan hati, penulis berharap ada kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Agustus 2011

Penulis

ABSTRAK

Makhnunah, K. 2011. *Performansi Kelistrikan Heterojunction CdTe/CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Pembimbing I : Dr. Ngurah Made D.P., M.Si, Pembimbing II : Dr. Sugianto, M.Si.

Kata Kunci : Film tipis CdTe/CdS, *dc magnetron sputtering*, struktur morfologi, struktur kristal, dan sifat listrik.

Film tipis CdTe/CdS merupakan pilihan yang menjanjikan untuk sel surya dengan nilai yang ekonomis dan mempunyai nilai efisiensi yang tinggi. Film tipis CdTe/CdS ditumbuhkan di atas substrat *Indium Tin Oxide* (ITO) dengan menggunakan *dc magnetron sputtering*. Penumbuhan film tipis CdTe/CdS semula dilakukan dengan variasi waktu deposisi dan menggunakan daya plasma 22,5 watt. Film yang dihasilkan masih kurang optimal, substrat ITO masih dominan dalam film. Parameter penumbuhan diubah dengan menaikkan daya plasma sebesar 43 watt. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 43 watt mempunyai struktur morfologi yang tampak rata. Karakterisasi *Energi Dispersif X-ray* (EDX) dapat mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam film tipis CdTe/CdS yaitu unsur Cd sebesar 39,33% dan unsur Te sebesar 60,67%. unsur S pada CdS tidak tampak karena sudah terlapis oleh film tipis CdTe. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan struktur kristal pada film CdTe/CdS. Puncak difraksi yang paling tinggi muncul pada sudut $2\theta = 28.7^\circ$ yang berorientasi pada bidang (101) yang berstruktur heksagonal. Puncak tersebut merupakan puncak film tipis CdTe. Nilai *full width at half maximum* (FWHM) dari film tipis CdTe/CdS adalah 0.36° yang menunjukkan sudah mempunyai struktur kristal yang baik karena dibuktikan dengan nilai FWHM yang kurang dari 0.5° . Performansi kelistrikan dalam artian sifat listrik yang diukur dengan I-V meter, sehingga mengetahui nilai faktor idealitas dan arus muatan ruang film CdTe/CdS yaitu 3,26 dan $3,98 \times 10^{-10}$ Ampere yang sudah mencapai keidealan dari sambungan *p-n*. Film CdTe/CdS dengan kualitas kristal dan performansi kelistrikan yang baik sudah dapat digunakan untuk pembuatan *thin film solar cells* (sel surya film tipis).

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Permasalahan	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Sistematika Penulisan Skripsi	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7

2.1 Bahan Semikonduktor	7
2.2 Material CdTe	8
2.3 Material CdS	11
2.4 Sel Surya	12
2.5 Sambungan hetero CdTe/CdS (<i>Heterojunction CdTe/CdS</i>).....	13
2.6 Sambungan <i>p-n</i> (<i>p-n junction</i>).....	14
2.7 Sifat Listrik	16
2.8 <i>Sputtring</i>	19
2.8.1 Fenomena <i>Sputtring</i>	20
2.8.2 <i>DC Magnetron Sputtring</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Pelaksanaan Eksperimen.....	26
3.1.1 Pembuatan Target CdTe	28
3.1.2 Pembuatan Target CdS.....	28
3.1.3 Preparasi Substrat	29
3.1.4 Penumbuhan Film Tipis CdTe/CdS	29
3.2 Karakterisasi Film Tipis CdTe/CdS.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
4.1 Karakterisasi dengan SEM.....	41
4.2 Karakterisasi dengan EDX.....	44
4.3 Karakterisasi XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	46

4.4 Karakterisasi I-V	53
BAB V PENUTUP	60
5.1 Simpulan	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Struktur zincblende CdTe	10
Gambar 2.2 Struktur heksagonal CdTe	10
Gambar 2.3 Struktur CdS	12
Gambar 2.4 Berbagai kemungkinan proses elektronik dalam semikonduktor	15
Gambar 2.5 Diagram pita energi tipe n dan tipe p	16
Gambar 2.6 Diagram struktur energi sel surya	18
Gambar 2.7 Peristiwa <i>sputtering</i>	20
Gambar 2.8 Skema reaksi dalam <i>dc magnetron sputtering</i>	22
Gambar 2.9 Sistem reaktor <i>dc magnetron sputtering</i>	22
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian.....	27
Gambar 3.2 Hamburan sinar x pada kristal.....	37
Gambar 3.3 Pengukuran I-V pada film tipis CdTe/CdS.....	39
Gambar 4.1 Skema konfigurasi penumbuhan film tipis CdTe/CdS.....	40
Gambar 4.2 Citra SEM pada waktu deposisi 8 jam (sampel#1), 12 jam (sampel#2), 16 jam (sampel#3), 2,5 jam (sampel#4)	42
Gambar 4.3 Penampang melintang film tipis CdTe/CdS.....	44
Gambar 4.4 Hasil karakterisasi EDX film tipis CdTe/CdS	45
Gambar 4.5 Grafik XRD film tipis CdTe/CdS pada waktu deposisi 8 jam (sampel#1), 12 jam (sampel#2), 16 jam (sampel#3), 2,5 jam (sampel#4)	47
Gambar 4.6 Grafik XRD film tipis CdS, film tipis CdTe, film tipis CdTe/CdS	51

Gambar 4.7 Grafik FWHM puncak XRD pada CdTe(101) film tipis CdTe/CdS.....	52
Gambar 4.8 Grafik karakteristi I-V panjar maju untuk film tipis CdS, CdTe dan CdTe/CdS.....	54
Gambar 4.10 Grafik Log I-V panjar maju film tipis CdTe/CdS	55



DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Bahan semikonduktor dan nilai celah energinya	7
Tabel 3.1 Parameter penumbuhan film tipis CdTe/CdS pada substrat <i>ITO</i>	32
Tabel 4.1 Data yang diperoleh dari karakterisasi I-V	58



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. Data standar JCPDS CdTe.....	64
Lampiran 2. Data standar JCPDS CdS.....	65
Lampiran 3. Data standar JCPDS ITO.....	66
Lampiran 4. Perhitungan faktor idealitas.....	68
Lampiran 5. Substrat ITO	70
Lampiran 6. Foto alat penelitian dan karakterisasi	72



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan elektronika maju dengan pesat dan menjadi salah satu bagian penting dalam era modern saat ini. Piranti elektronik yang semula ada dalam bentuk sederhana, sekarang ditunjukkan dengan tampilan yang lebih menarik dengan bentuk yang lebih kecil. Piranti elektronik yang berukuran kecil namun mempunyai fungsi yang lebih kompleks, konsumsi daya rendah, serta biaya produksi yang lebih murah menjadi keunggulan yang ingin dicapai bagi kepentingan produk industri. Untuk mendapatkan bahan dengan ukuran yang kecil, dapat dilakukan dengan teknologi penumbuhan film tipis. Film tipis merupakan lapisan dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator (Sudjatmoko, 2003:1).

Semikonduktor merupakan elemen dasar dari komponen elektronika seperti dioda. Bahan ini bukan bahan konduktor murni yang pada suhu kamar, elektron-elektronnya dapat bergerak bebas atau berpindah-pindah dari satu nukleus ke nukleus lainnya. Jika diberi tegangan potensial listrik, elektron dengan mudah berpindah menyebabkan terjadinya arus listrik. Sedangkan pada semikonduktor, mempunyai susunan atom yang belum stabil, karena mempunyai elektron valensi

lebih dari satu dan kurang dari delapan sehingga semikonduktor merupakan unsur yang mempunyai empat elektron valensi.

Sel surya atau *solar cell* adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah *p-n junction* yang hadirnya cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Proses ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai *photovoltaic*. Teknologi sel surya merupakan teknologi yang mengkonversi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan devais semikonduktor. Semikonduktor yang sering digunakan untuk pembuatan sel surya adalah kristal tunggal silikon (*single crystalin silicon*). Panel sel surya kristal tunggal silikon yang telah berhasil diproduksi mempunyai efisiensi sebesar 14% sampai 17%. Film tipis CdTe/CdS adalah pilihan yang menjanjikan untuk sel surya dengan nilai yang ekonomis dan memiliki efisiensi yang tinggi (Batzner *et al.*, 2000).

Material yang sedang dikembangkan secara intensif adalah CuInGaSe_2 (paduannya seperti CuInS_2 atau CuInGaSe_2), silikon amorf dan CdTe. Material CuInGaSe_2 berharga lebih mahal karena jumlah indium yang terbatas, selain itu pengontrolan komposisi dari unsur pembentuknya relatif sulit sehingga masih mengalami kesulitan dalam memproduksi modul atau panel dengan kualitas yang sama. Silikon amorf walaupun jumlahnya cukup banyak tapi lambat untuk ditumbuhkan serta efisiensinya rendah. CdTe memiliki koefisien absorpsi yang tinggi ($\alpha > 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$) dan *band-gap* (1.5 eV) yang secara teoritis sangat sesuai

untuk pembuatan sel surya, 1 μm film CdTe mampu mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *band-gap* (Gupta, 2006). Film tipis CdTe diproduksi dari material *polykristalin* dan kaca sehingga lebih murah pembuatannya dari pada *bulk* silikon (silikon padatan) dan dapat dideposisi menggunakan berbagai cara (Candless and Sites, 2003). Selain CdTe juga terdapat CdS yang memiliki *bandgap* dan stabilisator yang cocok untuk sel surya. Selain itu, merupakan piranti penting untuk aplikasi piranti elektro optik seperti material laser. (Thambidurai, 2009). CdTe merupakan bahan semikonduktor tipe *p* yang mempunyai sifat pengabsorpsi lapisan yang juga mempunyai sifat afinitas elektron yang tinggi (Batzner *et al.*, 2000). CdS merupakan bahan semikonduktor tipe *n* yang berfungsi sebagai window bagi material absorber lainnya (Hai-Ning Cui & Shi Quan Xi, 1996). CdTe biasanya dipadukan dengan CdS sehingga membentuk film tipis CdTe/CdS.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menumbuhkan film tipis, diantaranya *close-spaced sublimation (CSS)*, *vapor-transport depotition (VTD)*, *physical-vapor depotition (PV)*, *molecular beam epitaxy (MBE)* and *electrodepotition* (Candless & Sites, 2003). Metode yang digunakan untuk mendeposisi lapisan tipis CdTe/CdS dalam penelitian ini adalah *dc magnetron sputtering*. Metode plasma seperti *magnetron sputtering* memiliki beberapa kelebihan, diantaranya dalam penumbuhan film dibutuhkan temperatur yang relatif rendah dan kontrol saat pendopingan dapat dilakukan dengan baik (Compaan, 2004).

Teknik *sputtering* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk pembuatan film tipis melalui proses elektrik. *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 difokuskan pada substrat dan membentuk lapisan tipis. Pembuatan film tipis dengan teknis *sputtering* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan teknik-teknik pembentukan film tipis yang lain seperti evaporasi, diantaranya adalah (1) mudah menghasilkan film tipis dari bahan yang mempunyai titik leleh tinggi, (2) penghematan bahan yang akan dideposisikan, (3) hampir semua bahan padat, seperti semikonduktor, logam, logam paduan dan keramik dapat ditumbuhkan, (4) bahan target *sputtering* mempunyai ketahanan fisik sehingga lebih efisien, (5) ketebalan lapisan dapat dikontrol dengan tepat (Sujitno, 2003).

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimanakah performansi kelistrikan dari film tipis CdTe/CdS sebagai bahan pembuat sel surya yang ditumbuhkan di atas substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) dengan metode *dc magnetron sputtering* pada parameter penumbuhan yang optimal. Performansi kelistrikan yang dimaksud adalah sifat listrik yang diukur dengan I-V meter, sedangkan parameter yang optimal berkaitan dengan kualitas kristalin dan struktur mikro pada film tipis yang ditumbuhkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi kelistrikan film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering* di atas substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) pada parameter penumbuhan yang optimal. Performansi kelistrikan yang dimaksud adalah sifat listrik yang diukur dengan I-V meter, sedangkan parameter yang optimal berkaitan dengan kualitas kristalin dan struktur mikro pada film tipis yang ditumbuhkan.

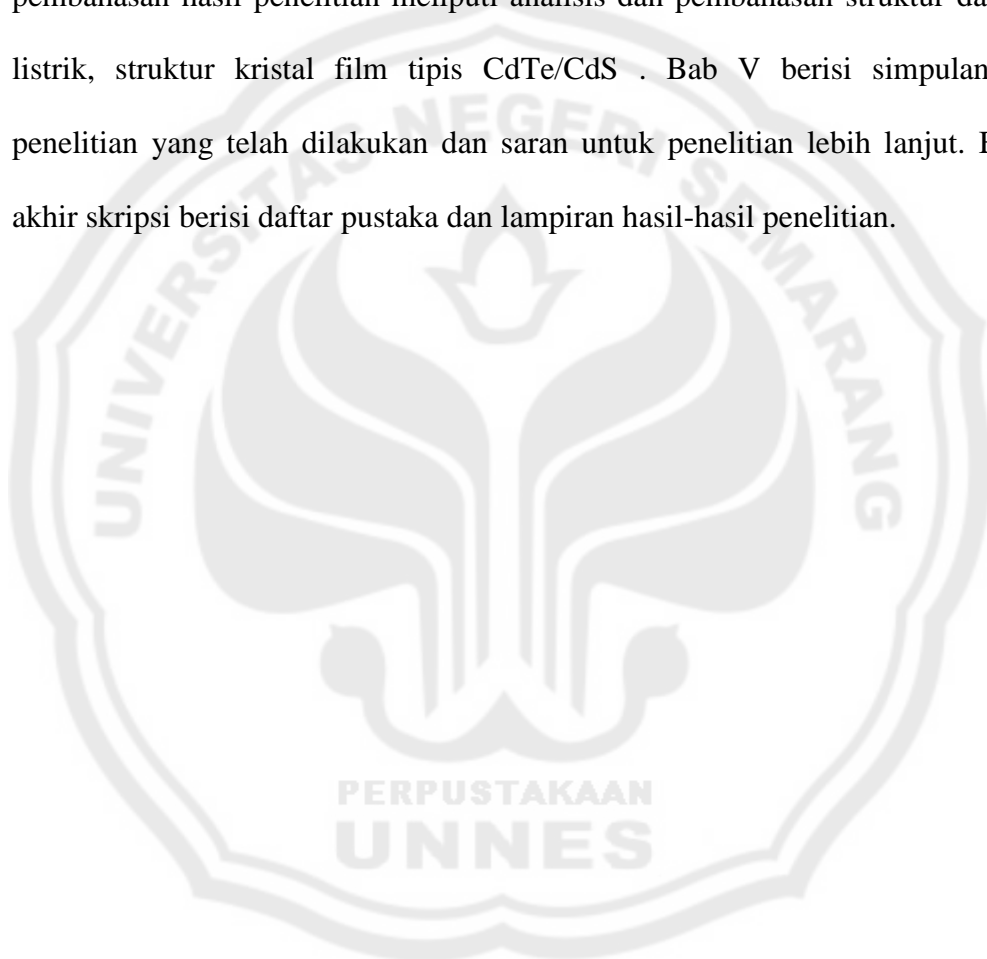
1.4 Manfaat Penelitian

Mengetahui performansi kelistrikan film tipis CdTe/CdS yang telah ditumbuhkan dengan *dc magnetron sputtering* pada parameter penumbuhan yang optimal. Bagi perkembangan keilmuan, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dan acuan dalam penelitian selanjutnya.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri atas 5 bab. Skripsi ini diawali dengan halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, halaman motto, halaman persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Bab I berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Tinjauan pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian diuraikan dalam bab II. Tinjauan

pustaka berisi penjelasan mengenai bahan semikonduktor, material CdTe dan manfaatnya, material CdS dan manfaatnya, sel surya, sifat listrik, cacat kristal, sifat listrik dan *dc magnetron sputtering*. Bab III membahas metode penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan eksperimen meliputi, pembuatan target CdTe, pembuatan target CdS, preparasi substrat, penumbuhan lapisan tipis, karakterisasi film tipis CdTe/CdS dan metode analisis data. Bab IV memaparkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan hasil penelitian. Analisis dan pembahasan hasil penelitian meliputi analisis dan pembahasan struktur dan sifat listrik, struktur kristal film tipis CdTe/CdS . Bab V berisi simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian lebih lanjut. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran hasil-hasil penelitian.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Bahan Semikonduktor

Bahan-bahan semikonduktor umumnya memiliki konduktivitas listrik antara 10^{-6} - $10^{-4} \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$. Bahan Semikonduktor dapat berupa bahan murni atau bahan paduan. Beberapa jenis bahan Semikonduktor dan nilai celah energinya disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Bahan Semikonduktor dan Nilai Celah Energinya.

Bahan	Celah energi(eV)	Bahan	Celah energi(eV)
Gol. IV		Gol. III-V	
Si	1.11	GaAs	1.4
Ge	0.67	GaP	2.24
Sn	0.08	GaSb	0.77
		InAs	0.33
Gol. IIVI		InP	1.29
CdS	2.4	InSb	1.16
ZnTe			
ZnS	2.26	Gol. IV-VI	
CdTe		PbS	0.4
CdSe			

Selain bahan semikonduktor komersial yang ditunjukkan di atas, masih terdapat bahan semikonduktor lain yang oleh karena masalah teknis sintesisnya

dan juga masih dalam taraf penelitian dan pengembangan, bahan tersebut belum dipakai secara luas. Bahan-bahan tersebut adalah bahan semikonduktor oksida dan bahan polimer. Contoh bahan oksida antara lain : CuO, ZnO, Ag₂O, PbO, Fe₂O₃, SnO dan seterusnya, sedangkan contoh bahan polimer misalnya : poliasetilen, polipirol, politiofen, polianilin dan polimer konduktif sejenisnya.

Ditinjau dari jenis pembawa muatannya, bahan semikonduktor dapat dibedakan menjadi bahan semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Bahan semikonduktor intrinsik merupakan bahan semikonduktor yang tidak mengandung atom-atom tak murnian (*impuritas*), sehingga hantaran listrik yang terjadi pada bahan tersebut adalah elektron dan lubang (*hole*). Sedangkan pada bahan semikonduktor ekstrinsik, karena mengandung atom-atom pengotor, pembawa muatan didominasi oleh elektron saja atau lubang saja (Sugianto, 2009:83).

2.2 Material CdTe (Cadmium Telluride)

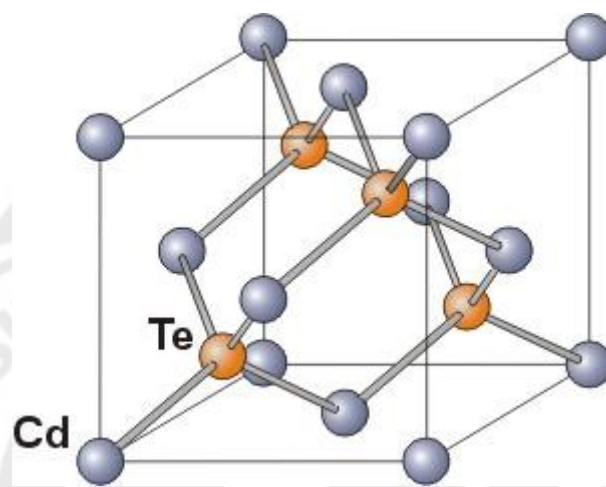
CdTe adalah senyawa kristal yang terbentuk dari *cadmium* dan *tellurium* yang digunakan sebagai bahan sel surya. Biasanya disambungkan dengan CdS yang membentuk *p-n junction* sel surya film tipis. Dua sifat menarik dari material ini ialah memiliki *band-gap* yang ideal untuk konversi efisiensi yaitu sebesar 1,5 eV dan koefisien absorpsi optik yang tinggi (Gupta, 2006). Koefisien absorpsi dari suatu material mengindikasikan sejauh manakah cahaya dengan panjang gelombang yang spesifik dapat menembus suatu material sebelum diabsorpsi. Koefisien absorpsi yang kecil mempunyai arti bahwa cahaya diserap sedikit oleh material. Absorpsi sel surya tergantung dari dua faktor yaitu jenis material

pembuat sel surya itu sendiri dan panjang gelombang atau energi cahaya yang diserap. Material sel surya mempunyai tepi absorpsi yang tajam. Inilah sebabnya cahaya dengan energi di bawah *band-gap* material tidak dapat membebaskan elektron, jadi cahaya tersebut tidak diserap. *Band-gap* material semikonduktor merupakan kuantitas atau besaran energi. Secara spesifik dinyatakan sebagai energi minimum yang diperlukan untuk membebaskan elektron dari pita valensi (tingkat energi rendah) ke pita konduksi (tingkat energi lebih tinggi). *Band gap* disimbolkan dengan E_g yang merupakan selisih besarnya energi antara pita valensi dan pita konduksi.

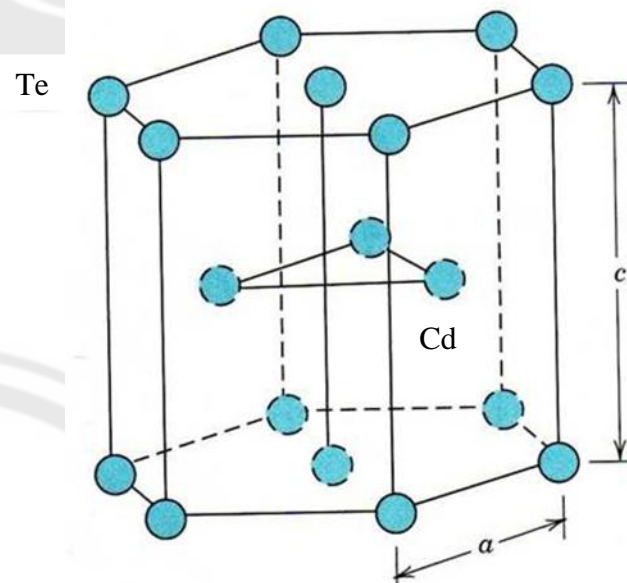
Film tipis sel surya CdTe mempunyai efisiensi eksperimen sekitar 16,5% (Wu et al, 2001). Nilai ini cukup tinggi untuk melaksanakan penelitian dan teknologi yang menarik pada tipe sel surya ini. CdTe merupakan sel surya yang terkenal dengan kesulitan untuk memperoleh kontak ohmic yang bagus pada semikonduktor tipe *p* yang seharusnya mempunyai nilai tinggi dari fungsi kerja (Ochoa dan landin, 2008). CdTe yang terkenal dengan kesulitan dalam mencapai semikonduktor tipe *p* yang tinggi yang didoping pada kompensasi sendiri. Untuk tingkatan *polykristal* film CdTe yang dapat terpengaruh oleh daerah batas grain yang dapat mengompensasi pengaruhnya pada doping (Zhao, 2008).

CdTe merupakan semikonduktor tipe *p* mempunyai sifat pengabsorpsi lapisan juga mempunyai sifat afinitas elektron yang tinggi. Kontak *scottky* dapat dilihat sebagai arah yang membalik ke dioda *heterojunction* yang dapat mendekati performansi sel. Sering disebut *roll over* yang akan terlihat dalam i-v karakteristik untuk bias maju yang tinggi karena arus yang mendekati *back contact* (Batzner

et al., 2000). CdTe mempunyai struktur heksagonal dan kubik. Hasil penelitian Wibowo (2008) menunjukkan lapisan tipis CdTe memiliki *band gap* 1,5 eV dan koefisien absorpsi $8 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ dengan struktur FCC (*face center cubic*). Hasil penelitian Dzhafarov (2005) menunjukkan kristal tunggal CdTe (111) dengan struktur kubik. Struktur zincblende CdTe ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan 2.2 menunjukkan struktur heksagonal CdTe.



Gambar 2.1 Struktur zincblende CdTe

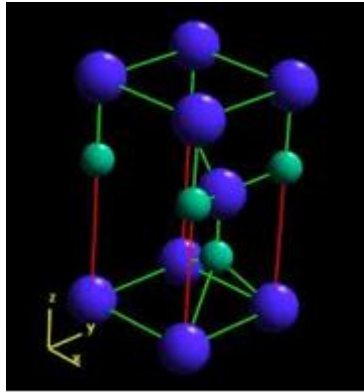


Gambar 2.2 Struktur heksagonal CdTe

2.3 Material CdS (Cadmium Sulfida)

Cadmium sulfida (CdS) adalah mineral semikonduktor berwarna kuning ke kuning-oranye. CdS dengan struktur hexagonal yang baik untuk solar sel karena mempunyai bandgap dan stabilitas yang cocok. CdS adalah salah satu material yang penting untuk aplikasi piranti elektro-optik seperti material laser, photosensor, sel fotokonduksi. CdS ini merupakan semikonduktor paduan II-VI yang mempunyai sifat menarik dan emisi yang sempit (spektra yang murni) dan mempunyai emisi warna yang sederhana (Sulhan, 2009).

CdS adalah material semikonduktor tipe *n* yang berfungsi sebagai *window* bagi material absorber lainnya (Hai-Ning Cui dan Shi Quan Xi, 1996). Kathleen (2000) menjelaskan bahwa CdS adalah senyawa berwarna kuning yang dapat ditemukan di alam sebagai mineral Greenokict. Senyawa ini dibentuk dengan cara mereaksikan *hydrogen sulfide* (H_2S) dalam padatan garam alkali *cadmium*. Sahay (2007) menjelaskan film tipis CdS disebut sebagai salah satu material paling baik untuk *heterojunction* sel surya film tipis. Bandgap CdS ($E_g = 2,4$ eV) telah digunakan sebagai material *window* dengan beberapa semikonduktor seperti CdTe, Cu_2S , InP, $CuInSe_2$ menghasilkan efisiensi 14% - 16% (Sulhan, 2009). CdS tipe *n* akan berpengaruh pada sel yaitu pada *window layer* dan *losses* dalam menghasilkan spektral yang berbeda. *Losses* dari sifat listriknya bergantung pada *deep level*, konsentrasi pembawa dan muatannya (Batzner *et al.*, 2000).



Gambar 2.3 Struktur CdS

(Wikipedia.com (diunduh pada 4 Agustus 2011))

2.4 Sel Surya

Sel surya merupakan teknologi yang mengkonversi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan piranti semikonduktor. Semikonduktor yang sering digunakan untuk pembuatan sel surya adalah kristal tunggal silikon (*single crystalin silicon*). Panel sel surya Kristal tunggal silikon yang telah berhasil diproduksi mempunyai efisiensi sebesar 14% sampai 17%. Amerika, Jepang dan Jerman mempunyai inisiatif untuk menemukan material alternative yang dapat diproses dalam film tipis untuk membuktikan sel surya pada kristal tunggal silikon dan polykristal silikon. $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ merupakan tipe sel surya yang mempunyai beberapa masalah kestabilan, sehingga pengembangannya tidak berlanjut. Hasil pada teknologi sel surya yang berasal dari amorf memiliki konversi efisiensi rendah sekitar 6%. Para peneliti dan pengembang melakukan eksperimen pada CuInSe_2 dan CdTe . Dan dihasilkan efisiensi dari 6% sampai 17% untuk CuInSe_2 , sedangkan pada CdTe dihasilkan efisiensi sebesar 8% sampai 16%

2.5 Sambungan Hetero CdTe/CdS (*Heterojunction CdTe/CdS*)

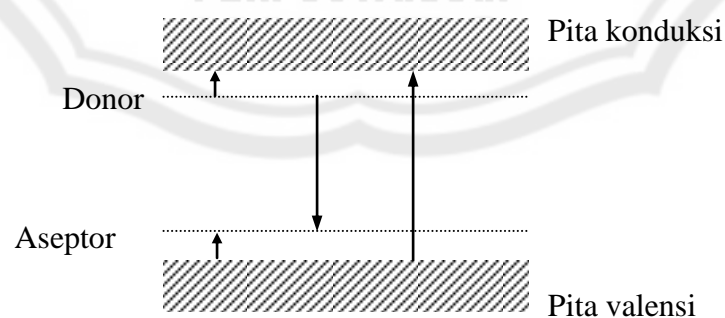
Sambungan hetero atau yang disebut *Heterojunction* merupakan *interface* antara dua lapisan semikonduktor yang mempunyai kristal yang berbeda. Bahan-bahan semikonduktor yang memiliki *band-gap* yang tidak sama sebagai gabungan *homojunction* untuk membentuk *heterojunction*. Sifat dari *heterojunction* yaitu membawa efek *window* yang menghubungkan *band-gap* semikonduktor yang jauh dari permukaan dengan permukaan rekombinasi dari pembawa muatan minoritas. *Heterojunction* mempunyai konduktivitas yang cukup untuk menghilangkan resistansi. CdTe merupakan semikonduktor tipe *p* yang mempunyai absorber baik untuk sel surya dan CdS yang mempunyai energi gap 2,42 eV merupakan semikonduktor tipe *n* yang bertindak sebagai *window* dan sebagai sambungan kelistrikan (Bashar, 2010), sehingga CdTe/CdS yang membentuk *heterojunction* sangat intensif dipelajari untuk aplikasi sel surya. Efisiensi sel surya sangat dipengaruhi oleh struktur dan sifat fisik dari komponen film tipis karena dapat mengetahui sifat hubungan untuk lapisan CdS dan lapisan CdTe. Struktur *heterojunction* CdTe/CdS struktur yang kasar dari struktur substratnya, yang berarti mempengaruhi mobilitas menguapnya atom pada masing-masing substrat dan menyebabkan kristal tumbuh dan koalesensi acak yang beroreintasi ukuran butir yang berbeda (Salaoru *et al.*,2006). Stuktur CdTe/CdS sebagai sel surya mempunyai nilai efisiensi 13% yang masih memerlukan optimasi untuk mendapatkan efisiensi maksimum film tipis CdTe/CdS, sehingga dapat mendekati performansi sel (Bashar, 2010).

2.6 Sambungan p - n (p - n Junction)

Sambungan p - n merupakan dasar dari semua perangkat elektronik dari semikonduktor. Sambungan p - n adalah gabungan bahan semikonduktor tipe p dan bahan semikonduktor tipe n . Daerah semikonduktor tipe n memiliki konsentrasi elektron tinggi dan semikonduktor tipe p mempunyai konsentrasi *hole* yang tinggi, sehingga elektron akan berdifusi dari sisi tipe n ke sisi tipe p . Elektron bebas pada bahan semikonduktor tipe n akan berdifusi melalui sambungan, masuk ke dalam bahan semikonduktor tipe p terjadi rekombinasi dengan lubang-lubang yang ada di dalam bahan semikonduktor tipe p . Sebaliknya juga terjadi yaitu bahan semikonduktor tipe p berdifusi masuk ke bahan semikonduktor tipe n dan berekombinasi dengan elektron dan saling meniadakan muatan. Akibatnya, tepat pada sambungan p - n terjadi daerah pengosongan (*depletion-region*). Oleh karena muatan positif terpisah dari muatan negatif, maka dalam daerah pengosongan terjadi medan listrik, yang melawan proses difusi selanjutnya. Adanya medan listrik ini menyebabkan terjadi beda potensial (bukit potensial) antara semikonduktor tipe p dan semikonduktor tipe n dalam daerah pengosongan. Suatu elektron dalam bahan semikonduktor tipe n dapat menyebrangi sambungan, jika elektron mempunyai energi yang lebih besar daripada bukit potensial. Keadaan ini terjadi aliran arus minoritas yaitu lubang yang ada pada semikonduktor tipe n dan elektron bebas yang ada dari semikonduktor tipe p tidak dihalangi oleh bukit potensial tetapi dibantu untuk menyebrangi sambungan. Ketika tidak ada tegangan maka arus juga tidak mengalir.

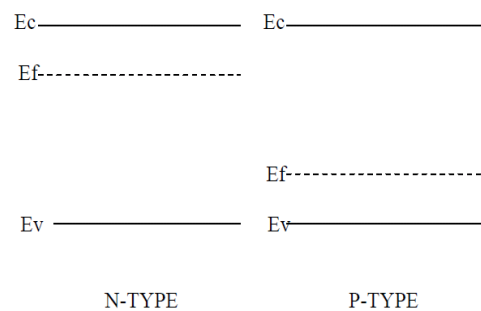
Sambungan p - n akan mengalirkan arus jika diberi tegangan maju dan sulit untuk mengalirkan arus jika diberi tegangan mundur. Tegangan maju merupakan potensial sisi semikonduktor tipe p lebih besar dari sisi semikonduktor tipe n , maka elektron dari sisi semikonduktor tipe n dengan serta merta akan bergerak untuk mengisi *hole* di sisi semikonduktor tipe p sehingga terbentuk *hole* pada sisi semikonduktor tipe n karena ditinggal oleh elektron, akibatnya terjadi perpindahan elektron yang menyebabkan arus mengalir. Tegangan mundur merupakan sisi semikonduktor tipe n yang mendapat polaritas tegangan yang lebih besar dari sisi semikonduktor tipe p , tidak akan terjadi perpindahan elektron atau aliran *hole* dari semikonduktor tipe p ke semikonduktor tipe n maupun sebaliknya. Karena *hole* dan elektron masing-masing tertarik ke arah kutub berlawanan, maka daerah pengosongan semakin besar dan menghalangi terjadinya arus.

Elektron dalam pita konduksi dapat diciptakan dengan eksitasi termal *interband* atau dengan ionisasi termal donor. Hole dalam pita valensi mungkin dibangkitkan oleh eksitasi *interband* atau dengan eksitasi termal elektron dari pita valensi ke dalam tingkat aseptor. Elektron mungkin turun dari tingkat donor ke tingkat aseptor. Gambar 2.4 menunjukkan berbagai proses di atas.



Gambar 2.4 Berbagai kemungkinan proses elektronik dalam semikonduktor

Dua konsep mengenai material semikonduktor yaitu energi Fermi, E_f dan celah pita energi, E_g . Energi Fermi didefinisikan sebagai energi dimana probabilitas dari sebuah keadaan yang ditempati oleh elektron adalah setengahnya. Sedangkan, celah energi di artikan sebagai perbedaan energi antara energi dari pita valensi tertinggi dan pita konduksi terendah, dimana pada celah pita energi tidak ada keadaan energi yang diijinkan berada disana. Gambar 2.5 menunjukkan energi pada tipe n dan tipe p



Gambar 2.5 Diagram pita energi untuk tipe-n dan tipe-p

2.7 Sifat Listrik

Sifat listrik bahan semikonduktor yang membentuk $p-n$ junction dapat dilihat melalui I-V karakteristik. Bentuk kurva ditentukan oleh transportasi pembawa muatan melalui daerah pengosongan (lapisan deplesi) atau pada daerah penipisan yang ada pada $p-n$ junction dari bahan semikonduktor yang berbeda. Hubungan antara arus dan tegangan antara kedua ujung $p-n$ junction akan membentuk grafik eksponensial yang sesuai dengan persamaan (2.1):

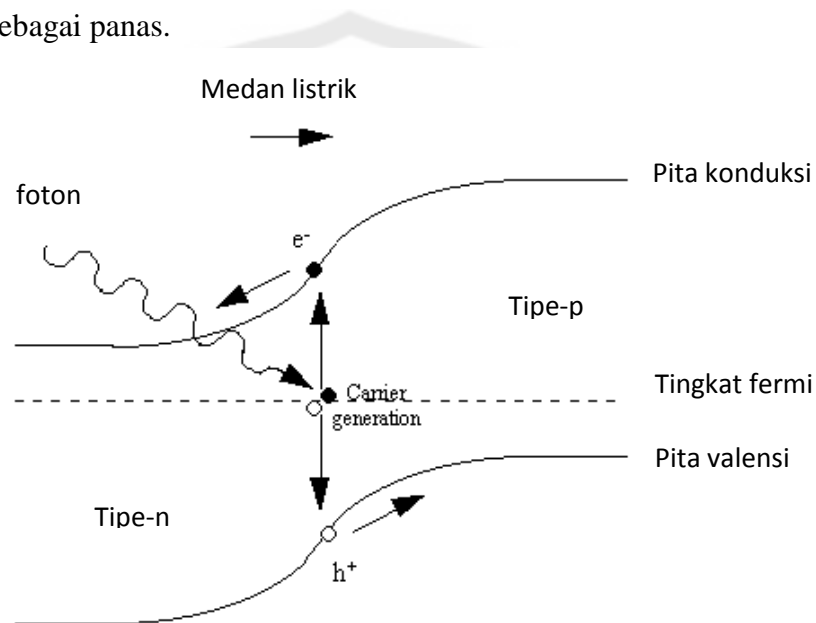
$$I = I_0(e^{qV/nkT} - 1) \quad (2.1)$$

I merupakan arus yang mengalir melalui dioda, sedangkan I_0 adalah arus jenuh, q adalah muatan elektron, V adalah tegangan terpasang, n adalah faktor idealitas, k adalah konstanta Boltzmann, dan T adalah suhu mutlak. Faktor idealitas merupakan nilai yang menggambarkan deviasi karakteristik dari dioda yang ideal.

$$n = q / (2.3 k T \text{ slope}) \quad (2.2)$$

Slope merupakan kemiringan yang diperoleh dari mengekstrapolasi grafik Log (I)-V. Nilai ini dapat menentukan kualitas dari sambungan $p-n$ film tipis CdTe/CdS. Faktor idealitas bergantung pada temperatur rendah. Faktor idealitas mempunyai nilai rendah ketika potensial penghalang besar sehingga lapisan tipis relatif sebagai isolator. Faktor idealitas mempunyai nilai tinggi ketika potensial penghalang kecil dan lapisan tipis relatif sebagai konduktor (Ramlan, 2010). I_0 merupakan parameter yang sangat penting yang membedakan sambungan $p-n$ satu dengan yang lain. I_0 adalah ukuran dari rekombinasi dalam perangkat. Sebuah dioda dengan rekombinasi yang lebih besar akan memiliki I_0 lebih besar. Lengkung yang terjadi pada grafik ketika tidak ada tegangan maka tidak ada arus yang mengalir. Keadaan tanpa tegangan, arus minoritas dan arus mayoritas mempunyai besar yang sama tetapi arah yang berlawanan, sehingga arus total pada keadaan tanpa tegangan sama dengan nol. Ketika diberi tegangan maju yaitu nilai tegangan lebih dari nol yang arus mula-mula mempunyai nilai nol sampai tegangan mencapai tegangan potong maka arus akan naik dengan cepat terhadap perubahan tegangan.

Performa yang tinggi dari sel surya dapat diperoleh dengan 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.



Gambar 2.6 Diagram struktur energi untuk sel surya

Struktur dan sifat listrik dari film tipis CdTe sangat menarik karena mempunyai potensial tinggi dalam *photovoltaic* dan piranti *IR photodetector*. Metode dalam penentuan sifat listrik ini bertujuan untuk mendapatkan daerah p^+ menuju ke formasi kontak ohm dengan efek tunneling (Debbagh, 1994). Untuk membuat sifat listrik yang baik dibuat kontak ohm pada lapisan semikonduktor. Untuk mendapatkan kontak ohm pada lapisan semikonduktor tipe p melalui

pengetsaan permukaan film semikonduktor dengan larutan asam dan pengetsaan dengan larutan basa kuat (Daniel *et al.*, 1993).

Sifat konduktifitas dari semikonduktor sangat bergantung pada suhu dan komposisi bahan semikonduktor. Semakin tinggi suhunya, tingkat konduktifitasnya juga semakin tinggi. Dalam semikonduktor kristal, elektron dapat memiliki energi hanya dalam *band* tertentu (misalnya rentang tingkat energi). *Band-band* ini terletak antara energi dari *ground state*, sesuai dengan elektron erat terikat pada inti atom materi, dan energi elektron bebas. Energi yang diperlukan untuk elektron untuk melepaskan diri sepenuhnya dari material. Pita energi masing-masing sesuai dengan sejumlah besar diskrit daerah kuantum elektron, dan sebagian besar daerah dengan energi rendah (dekat dengan *nukleus*) penuh, sampai band tertentu disebut *pita valensi*

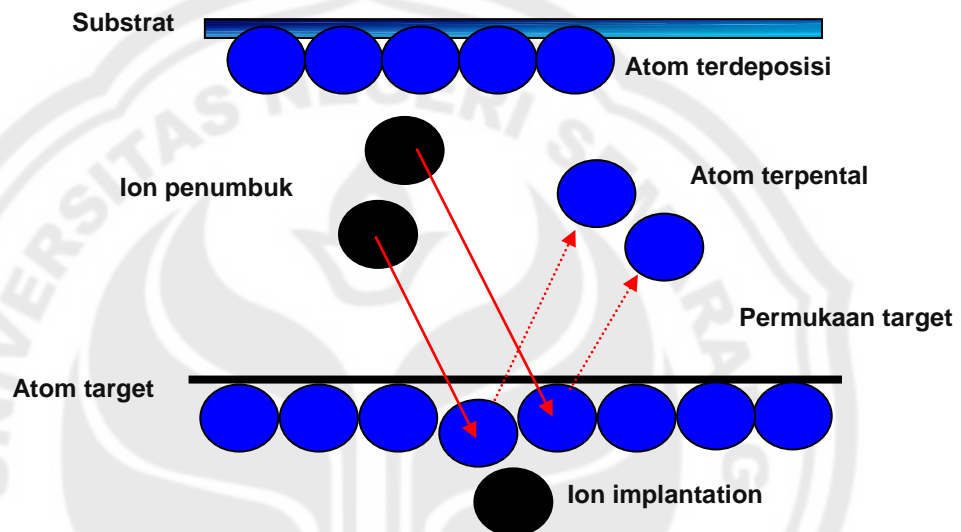
Film tipis CdTe/CdS yang dikarakterisasi dengan I-V dilakukan tanpa resistansi dan memunculkan grafik tipe *photodiode*. Untuk arah bias maju, intensitas arus naik ketika tegangan berada pada tegangan potong (Bylica *et al.*, 2006). Film tipis CdTe/CdS yang mengikuti prinsip dioda, model dioda yang baik mempunyai faktor idealitas di atas dua (Batzner *et al.*, 2000).

2.8 *Sputtering*

Sputtering adalah proses terhamburnya atom-atom dari permukaan bahan padat karena memperoleh energi yang cukup dari penembakan partikel-partikel berenergi tinggi (Sudjatmoko, 2003:7)

2.8.1 Fenomena *Sputtering*

Proses sputtering terjadi ketika muncul lucutan listrik (plasma) pada ruang antara katoda dan anoda. Ion-ion yang terbentuk dalam plasma lucutan pijar dipercepat ke arah target (bahan yang akan di-*sputter*). Pada saat ion menumbuk target maka akan terjadi tumbukan beruntun dengan atom-atom target dan selanjutnya akan mengakibatkan salah satu dari atom-atom target terpecik/terhambur keluar dari permukaan target seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 Peristiwa pen-sputteringan

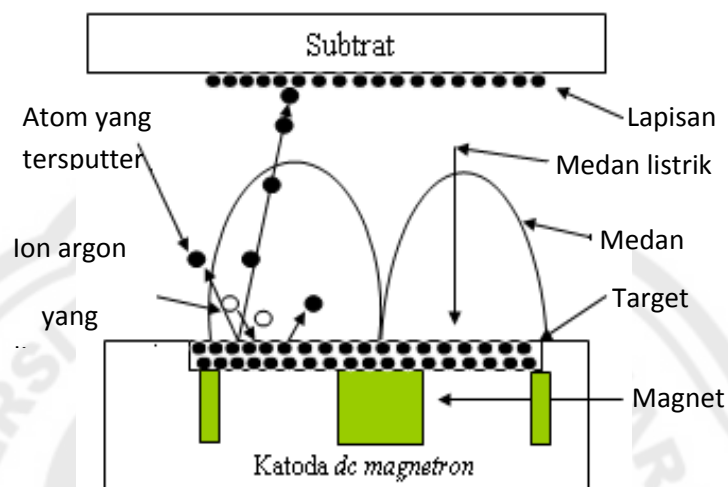
Teknik sputtering memiliki beberapa kelebihan, antara lain : film yang terbentuk mempunyai komposisi yang serupa dengan bahan target, kualitas, struktur dan keseragaman hasil film dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, mempunyai rapat arus yang besar sehingga memungkinkan terjadinya laju deposisi yang tinggi, dan lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat (Sudjatmoko, 2003:7)

2.8.2 DC Magnetron Spputering

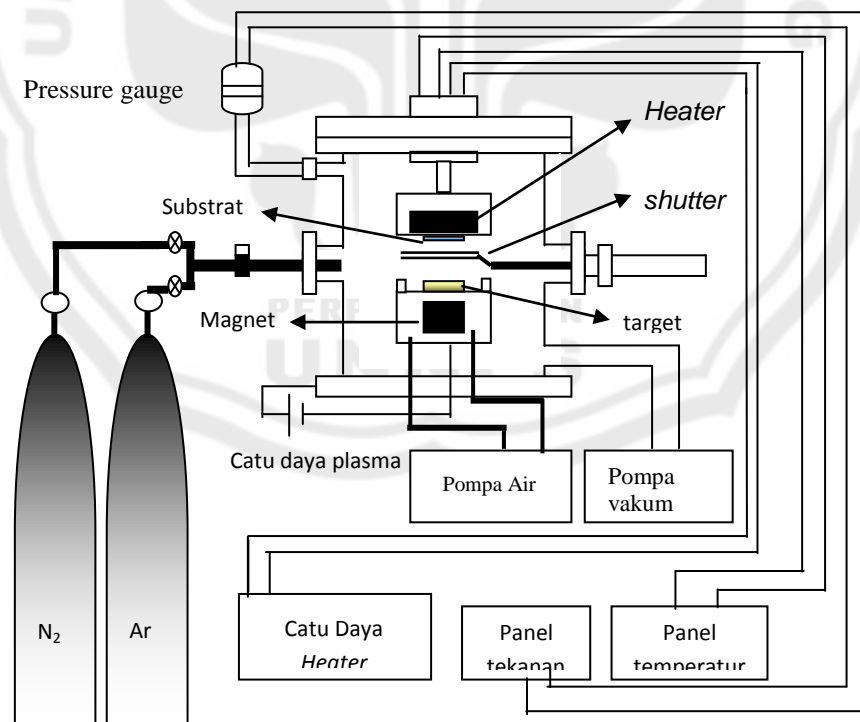
Sistem *dc magnetron sputtering* merupakan modifikasi dari sistem *dc sputtering* dengan menambahkan sistem magnet, sehingga sistem *dc magnetron sputtering* terdiri dari tabung plasma berbentuk silinder, sumber tegangan tinggi, sepasang elektroda, sistem pemanas substrat, sistem pendingin target dan magnet, sistem vakum, sistem masukan gas *sputter* dan sistem magnet. Target dipasang pada katoda dengan sistem magnet dibawahnya serta sistem pendingin target dan magnet (biasanya dengan air), sedangkan substrat dipasang pada 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 plasma lucutan pijar (*glow discharge*). Gas argon dan nitrogen yang melalui ruang antara elektroda dipecah oleh medan listrik tinggi menjadi plasma yang mengandung elektron (e^-), ion Ar, ion N dan atom N. Ion-ion positif Ar dan N dipercepat oleh medan listrik menuju elektroda negatif (katoda), sehingga ion-ion positif menumbuk atom-atom permukaan target yang dipasang di atas katoda. Ion-ion penumbuk memiliki energi sangat besar sehingga atom-atom permukaan target terlepas dari permukaan target terhambur ke segala arah. Atom-atom target yang terpental menempel pada permukaan substrat sehingga membentuk film tipis.

Joshi (2003) menjelaskan untuk mencegah terjadi *resputtering* dan meningkatkan derajat ionisasi pada film tipis yang terbentuk, maka sistem magnet diletakkan di bawah katoda. Magnet membentuk lingkupan medan magnet untuk membelokkan partikel bermuatan. Elektron-elektron dikurung dalam lingkupan

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 (Musta'anah, 2010). Sistem *dc magnetron sputtering* ditunjukkan dalam Gambar 2.8. Adapun sistem reaktor *dc magnetron sputtering* ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.8 Skema reaksi dalam *dc magnetron sputtering*



Gambar 2.9 Sistem reaktor *dc magnetron sputtering*

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi hasil sputtering adalah sebagai berikut:

a) Energi partikel yang datang (penumbuk)

Hasil sputtering berubah terhadap energi partikel atau ion penumbuk E_1 . Pada daerah energi rendah mendekati energy ambangnya. Pada daerah energi ion yang lebih tinggi dari 10 keV hasil sputtering tidak dipengaruhi oleh hamburan pada permukaan, tetapi oleh hamburan di dalam target sehingga hasil sputtering menurun. Penurunan hasil sputtering karena partikel penumbuk kehilangan energy. Energy yang hilang disebabkan ion-ion penumbuk terlalu dalam masuk ke target (Sudjatmoko, 2003:8).

b) Material target

Ion-ion penumbuk dan atom-atom yang terhambur dari permukaan target sering bertumbukan dengan atom-atom gas yang digunakan selama proses deposisi di dalam tabung reaktor dipertahankan pada tekanan gas rendah. Hasil sputtering berubah sesuai dengan perubahan jumlah atom material target yang digunakan.

c) Sudut datang ion penumbuk pada permukaan target

Hasil sputtering berubah dipengaruhi oleh sudut datang ion penumbuk terhadap bidang normal bahan target. Hasil sputtering bertambah dengan sudut datang dan maksimum pada sudut 60° dan 80° ,

dan berkurang secara cepat untuk sudut yang lebih besar. Sudut tumbukan ion penumbuk juga ditentukan oleh struktur permukaan target.

d) Struktur kristal permukaan target

Hasil sputtering dan distribusi sudut partikel-partikel tersputter dipengaruhi oleh struktur kristal permukaan material target. Jika material target tersusun dari bahan polikristal, maka distribusi menjadi tidak seragam.



BAB III

METODE PENELITIAN

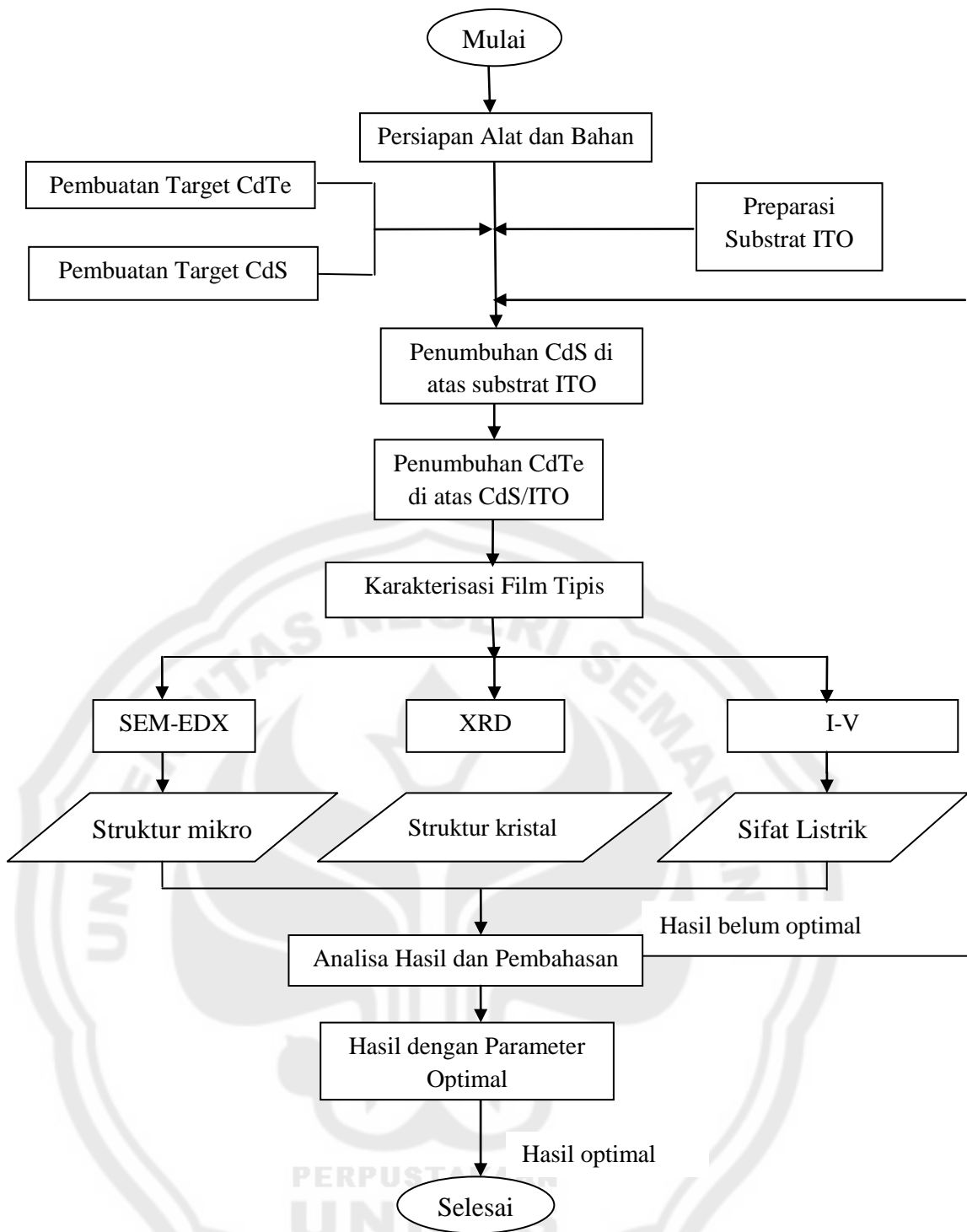
Penelitian ini dilaksanakan dengan tiga tahapan yaitu persiapan eksperimen, deposisi film tipis dan yang ketiga adalah karakterisasi hasil eksperimen. Tahap persiapan eksperimen dilaksanakan di laboratorium material jurusan fisika FMIPA UNNES berupa pembuatan target dan preparasi substrat, deposisi film tipis CdTe/CdS dengan metode dc magnetron sputtering di atas substrat ITO (*Indium Tin Oxide*) yang dilanjutkan karakterisasi sampel film dan hasil analisis data karakterisasi. Penelitian ini merupakan kajian dan penelaahan yang bersifat eksperimental. Data hasil karakterisasi selanjutnya digrafiskan, dianalisis, dideskripsikan dan diinterpretasikan dengan merujuk referensi yang terkait. Penelitian ini untuk mengetahui performansi kelistrikan film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan dengan metode dc magnetron sputtering diatas substrat glass/ITO pada parameter penumbuhan yang optimal. Performansi yang dimaksud adalah sifat listrik yang diukur dengan I-V meter, sedangkan parameter yang optimal berkaitan dengan kualitas kristalin dan struktur mikro pada film tipis yang ditumbuhkan.

Karakterisasi SEM (*scanning electron microscopy*) digunakan untuk mengetahui struktur mikro pada film tipis berupa penampang permukaan (*surface*). EDX digunakan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam film tipis. Karakterisasi SEM dan EDX dilakukan di laboratorium ITB

Bandung. Karakterisasi menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) dilakukan di laboratorium kimia analitik UGM Yogyakarta. XRD (*X-ray diffraction*) dilakukan untuk karakterisasi struktur kristal dan orientasi bidang kristal film tipis.. Karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan menggunakan I-V karakteristik.

3.1. Pelaksanaan Eksperimen

Proses penumbuhan film tipis CdTe/CdS di atas substrat ITO dilakukan dengan metode *dc magnetron sputtering*. Penumbuhan film tipis dilakukan dengan parameter penumbuhan yang divariasi waktu deposisi dan dilakukan penelitian lanjutan dengan menaikkan daya plasma dan suhu substrat untuk mendapatkan hasil yang optimal. Alur penelitian dengan menggunakan metode eksperimen penumbuhan film tipis CdTe/CdS diatas substrat ITO dan karakterisasi film tipis CdTe/CdS yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.1.1. Pembuatan Target CdTe

Target dibuat dengan sistem pengepresan. Bahan yang digunakan untuk membuat target adalah serbuk CdTe dengan kemurnian 99,99%. serbuk CdTe ditimbang seberat 15 gram kemudian dituang dalam cetakan dan dipres atau dimampatkan dengan kekuatan tekanan yang cukup sehingga menghasilkan pelet. Sistem pengepresan menggunakan sistem pres hidrolis yang dilakukan di laboratorium Teknik Mesin UNNES. Target yang berbentuk pelet diambil dari cetakan kemudian disintering dengan menggunakan *furnace* pada temperatur 700°C selama satu jam. Setelah 1 jam target dikeluarkan dan didinginkan. Setelah dingin target CdTe siap digunakan.

3.1.2. Pembuatan Target CdS

Target dibuat dengan sistem pengepresan. Bahan yang digunakan untuk membuat target adalah serbuk CdS dengan kemurnian 99,99%. serbuk CdS ditimbang seberat 15 gram kemudian dituang dalam cetakan dan dipres atau dimampatkan dengan kekuatan tekanan yang cukup sehingga menghasilkan pelet. Sistem pengepresan menggunakan sistem pres hidrolis yang dilakukan di laboratorium Teknik Mesin UNNES. Target yang berbentuk pelet diambil dari cetakan kemudian disintering dengan menggunakan *furnace* pada temperatur 800°C selama dua jam. Setelah 2 jam target dikeluarkan dan didinginkan. Setelah dingin target CdS siap digunakan.

3.1.3. Preparasi Substrat

Substrat yang digunakan adalah *ITO (Indium Tin Oxide)*, sedangkan langkah-langkah preparasi substrat yaitu:

1. Menyalakan *ultrasonic bath* dengan menekan tombol power (untuk memanaskan air).
2. Menyiapkan larutan aseton, methanol, dan *Aquades water*
3. Mencuci substrat dengan aseton di dalam *ultrasonic bath* selama 10 menit dengan memutar saklar pemilih.
4. Mencuci substrat dengan methanol di dalam *ultrasonic bath* selama 5 menit dengan memutar saklar pemilih.
5. Membilas substrat menggunakan *Aquades water*

3.1.4. Penumbuhan Film Tipis CdTe/CdS

Studi awal penumbuhan film CdTe/CdS dengan metode *dc magnetron sputtering* dilakukan di atas substrat *ITO (Indium Tin Oxide)*. Langkah-langkah yang dilakukan untuk deposisi film tipis CdTe/CdS sebagai berikut:

1. Sebelum pemasangan substrat dan proses pemvakuman dimulai, chamber dikondisikan dalam keadaan bersih.
2. Membuka chamber, lepas karet di dalamnya dan bersihkan dengan *tissue*. Kemudian lapisi dengan sedikit *silicon grease*.

3. Membersihkan anoda dan katoda *chamber* dengan amplas kemudian membersihkan lagi dengan *tissue* yang sudah dibasahi menggunakan *methanol*.
4. Membersihkan tempat karet dengan *tissue* yang sudah dibasahi dengan *methanol*.
5. Meletakkan target yang akan ditumbuhkan
6. Menekan tombol *reset* pada alat kemudian set suhu pada 100°C untuk memasang substrat (melekatkan pasta perak).
7. Memasang substrat pada anoda menggunakan pasta perak dan target dipasang pada katoda.
8. Mengeringkan pasta perak dengan memanaskan anoda, dengan prosedur sbb:
 - a) Menekan tombol pengatur suhu.
 - b) Menyetting temperatur dengan cara **sel>s0-1>setting 100>enter>sv.**
 - c) Menjalankan suhu dengan cara **sel>prog>run>enter>sv.**
 - d) Menyalakan cattu daya *heater* hingga tegangan 15 volt.
 - e) Melekatkan substrat pada temperatur 70°C.
 - f) Mematikan *heater*.
 - g) Menutup *chamber*.
9. Menghidupkan pompa vakum, dengan prosedur sbb:
 - a) Menekan panel power kemudian memutar kunci pada arah vertical.
 - b) Menekan tombol vakum dan control dapat dilihat dari tc *vaccum gauge*, tunggu sampai pompa menunjukkan angka 0 mTorr.

- c) Setelah vakum chamber dipanaskan sesuai suhu yang diinginkan pada proses deposisi dengan langkah sebagai berikut:
- i. Menghidupkan power suplay *heater* maksimal 20 Volt, bersamaan dengan itu menghidupkan pompa air sebagai pendingin magnet.
 - ii. Menyetting suhu dengan cara **sel>s0-1>setting yang diinginkan>enter>sv** kemudian **sel>prog>run>enter>sv** untuk menjalankannya kemudian tunggu sampai suhu stabil.
10. Tekanan diatur dengan mengalirkan gas argon dengan langkah sebagai berikut:
- a) Memutar knop gas argon.
 - b) Memutar knop gas pada *dc magnetron sputtering* sampai pada tekanan yang diinginkan dengan melihat *tc vaccum gauge*.
11. Setelah suhu dan tekanan stabil, menghidupkan dan mengatur plasma sesuai dengan parameter yang akan digunakan. Besarnya daya plasma dapat dihitung menggunakan persamaan :
- $$P(\text{watt}) = V_s I - I^2 R_s \quad (3.1)$$
12. Membuka *shutter* dan menunggu waktu deposisi sesuai dengan parameter penumbuhan yang akan dilakukan.
13. Menutup *shutter*.
14. Mematikan reaktor (*cooling down*) dengan langkah sebagai berikut:
- a) Memutar pengatur plasma kemudian matikan.
 - b) Memutar *close* knop gas pada *dc magnetron sputtering* dan knop gas argon.

- c) Menyetting off suhu dengan cara **sel>prog>off>enter>sv** .
- d) Memutar knob caturdaya heater sampai angka 0 volt kemudian matikan.
- e) Menunggu suhu turun sampai 200°C matikan pompa *vacuum*.
- f) Menunggu suhu turun sampai 100°C matikan pompa air.
- g) Menunggu suhu turun sampai 60°C chamber dibuka dengan membuka tutup *vacuum* yang terletak di sebelah chamber terlebih dahulu.

15. Mengambil sampel dan bersihkan chamber seperti keadaan semula.

Parameter penumbuhan ditunjukkan film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan di atas substrat ITO disajikan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 parameter penumbuhan film tipis CdTe/CdS pada substrat ITO

No	Nama sampel	Daya (watt)		Suhu(°C)		Waktu deposisi(jam)	
		CdS	CdTe	CdS	CdTe	CdS	CdTe
1	sampel#1	14,45	22,5	450	450	1	8
2	sampel#2	14,45	22,5	450	450	1	12
3	sampel#3	14,45	22,5	450	450	1	16
4	sampel#4	43	43	325	325	1	2,5

3.2 Karakterisasi Film Tipis CdTe/CdS

Data yang diperoleh pada penelitian ini berupa data kualitatif dari hasil pengujian struktur mikro dan sifat optik film tipis CdTe/CdS. Pada penelitian ini digunakan beberapa uji karakteristik sampel, yaitu dengan menggunakan XRD (*X-ray diffraction*), SEM (*scanning electron microscopy*) dan karakterisasi I-V.

1. SEM (*scanning electron microscopy*)

Mikroskop elektron merupakan alat yang menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk menguji objek yang berukuran sangat kecil. Pengujian ini dapat memperoleh informasi mengenai topografi, morfologi, komposisi dan kristalografi. SEM adalah salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Oleh karena itu gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam 3 dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya dan hal ini sangat berguna untuk menentukan struktur permukaan dari sampel. Informasi gambar yang diperoleh dari SEM memperlihatkan bentuk morfologi, struktur mikro, ukuran dan ketebalan lapisan tipis yang terdeposit pada permukaan substrat.

Prinsip operasi SEM yaitu fokus berkas sinar elektron berenergi tinggi (10 KeV) discan melintang pada permukaan sampel menghasilkan secondary elektron, backscattered elektron, karakteristik sinar X dan beberapa elektron

keluar dari permukaan. Gambaran secondary elektron menunjukkan topografi permukaan muka melintang (nm). Berkas secondary elektron dari sampel dideteksi dengan layar fosfor. Layar akan memancarkan cahaya dan intensitas cahaya diukur dengan photomultiplier. Elektron yang diamati bukan elektron dari sinar yang dipancarkan tetapi elektron yang berasal dari dalam obyek yang diamati sehingga untuk menghindari penumpukan elektron dipermukaan obyek diperlukan grounding, dengan kata lain permukaan obyek harus bersifat konduktif agar elektron yang menumpuk dapat dialirkan pada obyek yang tidak konduktif. Hal ini dapat diatasi dengan melapisi permukaan obyek tersebut dengan karbon, emas atau platina setipis mungkin.

Struktur mikro lapisan tipis dapat diketahui dengan menggunakan SEM (scanning electron microscopy). Struktur mikro lapisan tipis bergantung pada kinematika penumbuhan yang dipengaruhi oleh temperatur substrat, sifat kimia dan gas lingkungan (Musta'anah, 2010). Hasil karakterisasi berupa citra penampang permukaan (surface) dan penampang lintang (cross section). Dengan menganalisis penampang tersebut dapat diketahui adanya grain bundaris, mengetahui apakah film yang ditumbuhkan memiliki ukuran butir kristal yang seragam, dislokasi maupun kerataan permukaan dari film.

2. EDX

Energi-dispersif X-ray adalah suatu teknik analisis yang menggunakan karakteristik x-ray radiasi untuk analisis komposisi. Sebuah teknik yang

didasarkan pada puncak sinar-X karakteristik yang dihasilkan ketika berkas elektron energik berinteraksi dengan spesimen. Setiap elemen menghasilkan karakteristik x-ray yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan unsur yang di wilayah yang sedang diperiksa. Perbandingan intensitas relatif dari puncak x-ray dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi relatif dari setiap elemen dalam spesimen. Unsur dengan nomor atom lebih rendah dari karbon karbon ($Z = 5$) umumnya tidak terdeteksi. Karakterisasi EDX juga dapat mengetahui prosentase massa dan prosentasi masing-masing atom yang terkandung di dalam suatu senyawa.

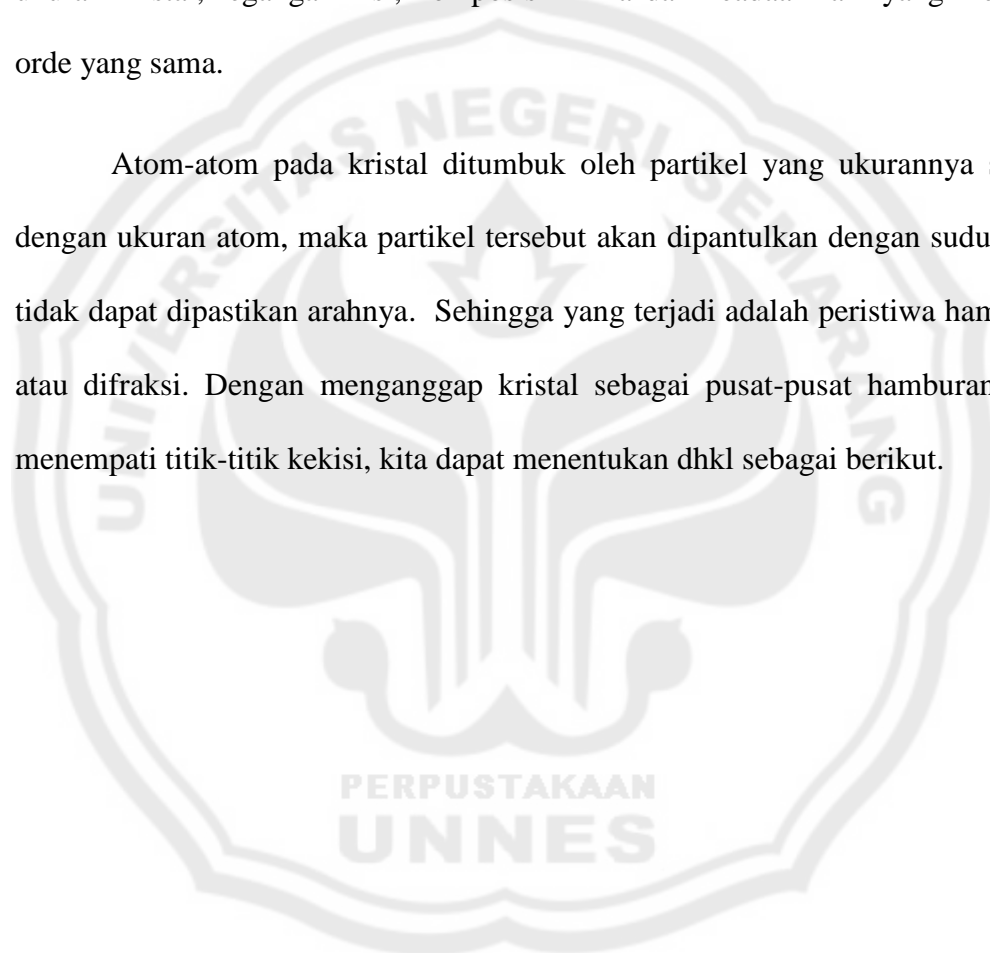
3. XRD (X-ray diffraction)

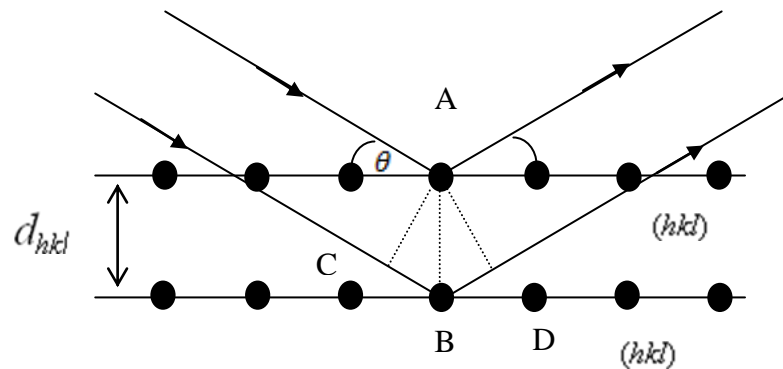
Difraksi Sinar X merupakan teknik yang digunakan dalam karakteristik material untuk mendapatkan informasi tentang ukuran atom dari material kristal maupun nonkristal. Difraksi tergantung pada struktur kristal dan panjang gelombangnya. Jika panjang gelombang jauh lebih dari pada ukuran atom atau konstanta kisi kristal maka tidak akan terjadi peristiwa difraksi karena sinar akan dipantulkan sedangkan jika panjang gelombangnya mendekati atau lebih kecil dari ukuran atom atau kristal maka akan terjadi peristiwa difraksi. Ukuran atom dalam orde angstrom (\AA) maka supaya terjadi peristiwa difraksi maka panjang gelombang dari sinar yang melalui kristal harus dalam orde angstrom (\AA).

Metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur 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. Untuk difraktometer sinar X, sinar X terpancar dari tabung sinar X. Sinar X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima slit dalam posisi simetris dengan respon ke fokus sinar X. Sinar X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya, dihitung sebagai analisa pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

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. Sehingga yang terjadi adalah peristiwa hamburan atau difraksi. Dengan menganggap kristal sebagai pusat-pusat hamburan yang menempati titik-titik kekisi, kita dapat menentukan dhkl sebagai berikut.





Gambar 3.2 Hamburan sinar-X pada Kristal

XRD (X-Ray Diffraction) digunakan untuk karakterisasi struktur kristal dan orientasi bidang kristal film tipis. Difraksi akan saling menguatkan jika memenuhi persamaan Bragg sebagai berikut:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (3.2)$$

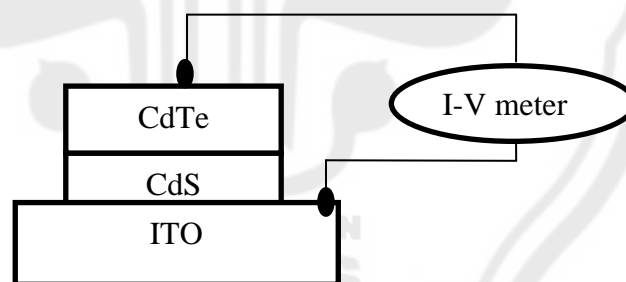
dengan n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar atom bahan dan θ merupakan sudut difraksi.

Informasi langsung yang dapat diperoleh dari uji struktur kristal dengan menggunakan XRD adalah spektrum sudut hamburan (2θ) yang di gambarkan sepanjang sumbu gambar dan intensitas (I) disajikan dalam sumbu tegak. Data yang diperoleh dari hasil difraktogram dibandingkan dengan data JCPDS (joint committee on powder diffraction standard) dengan tujuan untuk mengidentifikasi stuktur kristal yang tumbuh pada substrat serta menentukan nilai konstanta kisinya. Dari informasi intensitas dapat ditentukan posisi dari atom-atom penyusunnya (Sujitno, 2003). Suryanarayana (1998) menjelaskan kualitas kristal dari film CdTe yang ditumbuhkan dapat diketahui dari nilai FWHM (full width at

half maximum). Semakin kecil nilai FWHM semakin baik kualitas kristal tersebut (Musta'anah, 2010).

4. I-V Karakteristik

Pengukuran arus-tegangan menggunakan alat I-V meter. Dengan memberikan beda tegangan antara lapisan CdTe dan CdS dengan substrat ITO melalui dua probe yang berujung emas dan menghubungkan ke I-V meter. Pemberian tegangan dilakukan sebagai parameter yang berubah. Pengaruh perbedaan tegangan ini menyebabkan arus pada film tipis ini berubah. Hubungan antara arus dan tegangan ini dapat digambarkan dalam sebuah grafik. Pada pengukuran ini, sebagai variabel bebasnya adalah tegangan (V) dan variabel tergantungnya arus listrik (I). Grafik ini memberikan informasi tentang hubungan antara arus p-n junction dan beda tegangan antara kedua ujung yang membentuk lengkungan, sehingga membentuk grafik eksponensial yang sesuai dengan prinsip dioda. Pengukuran I-V pada film tipis CdTe/CdS dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Pengukuran I-V pada film tipis CdTe/CdS

Pengukuran I-V pada film tipis CdTe/CdS dilakukan menggunakan two probe. Salah satu probe diletakkan pada ITO dan yang lain pada film tipis CdTe.

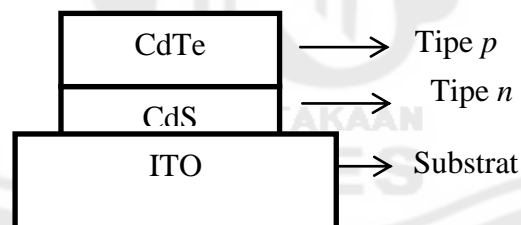
Substrat ITO sebelum di pasang pada chamber, masing-masing sudut diberi pasta perak dengan tujuan masih terdapat ITO yang tidak ditumbuhi film. Pasta perak masing-masing sudut dibuka ketika dilakukan pengukuran I-V.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Film tipis CdTe/CdS telah ditumbuhkan di atas substrat ITO dengan metode *dc magnetron sputtering*. Parameter penumbuhan film tipis CdTe/CdS dilakukan sebagai langkah awal dengan mencoba parameter penumbuhan yang divariasikan adalah waktu deposisi. Hasil yang didapatkan kurang optimal, sehingga mengubah parameter dengan menaikkan suhu dan daya plasma. Film tipis CdTe/CdS ditumbuhkan pada daya 22,5 watt, suhu 450 °C dan waktu deposisi yang 8 jam, 12 jam serta 16 jam belum mendapatkan film tipis CdTe/CdS yang baik, sehingga diadakan penelitian lanjutan dengan mengubah parameter penumbuhan. Daya plasma dinaikkan menjadi 43 watt dengan suhu 325 °C dan waktu deposisinya 2,5 jam. Skema konfigurasi film tipis CdTe/CdS disajikan dalam Gambar 4.1.

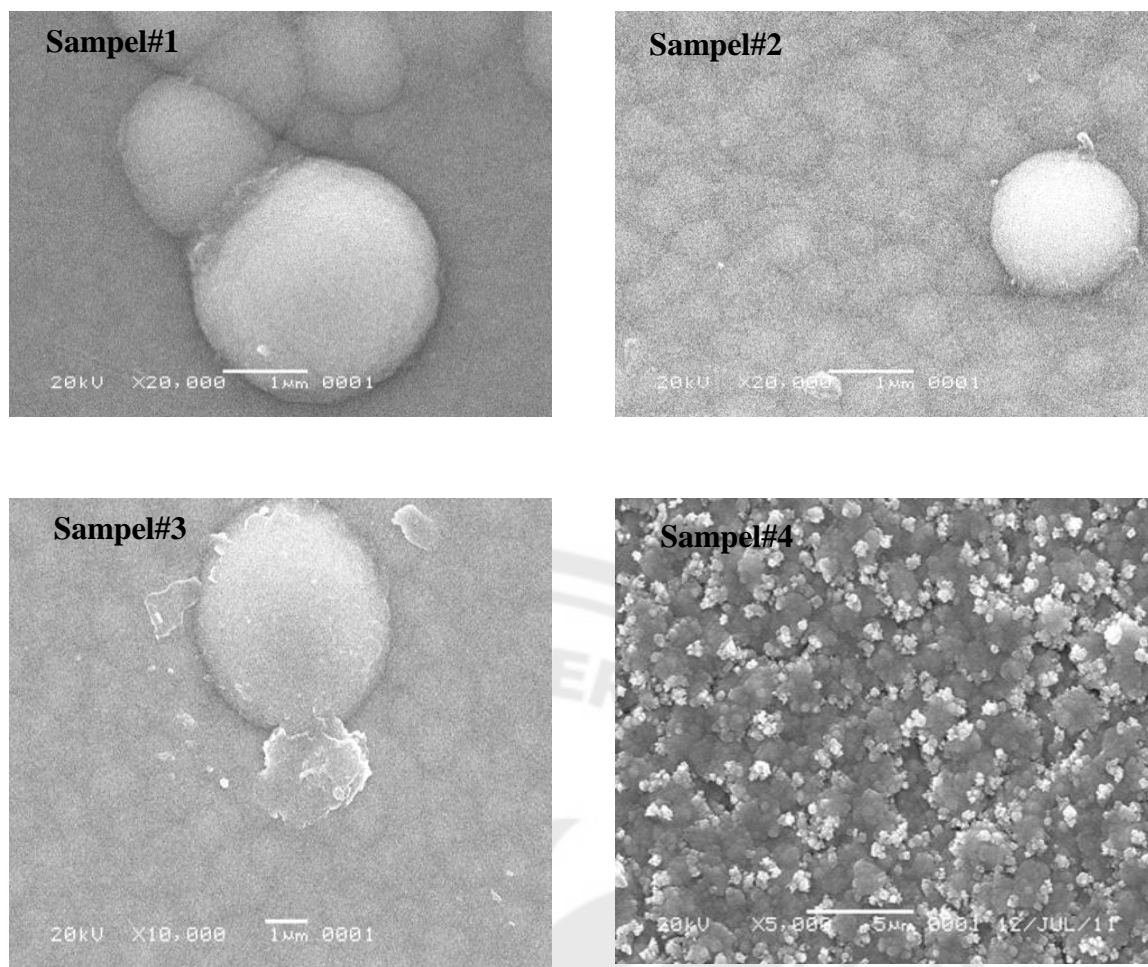


Gambar 4.1 Skema konfigurasi film tipis CdTe/CdS

Penumbuhan film tipis CdTe/CdS dilakukan dengan menumbuhkan film tipis CdS terlebih dahulu di atas substrat ITO selama satu jam. Film CdTe ditumbuhkan di atas film tipis CdS yang ditumbuhkan secara optimal, sehingga terbentuk film tipis CdTe/CdS. Sifat fisis film tipis CdTe/CdS yang dipelajari dalam penelitian ini meliputi struktur mikro dan orientasi kristal. Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis CdTe/CdS. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui struktur mikro. Karakterisasi I-V digunakan untuk mengetahui sifat listrik dari film tipis dan mengetahui faktor idealitas dan arus muatan ruang pada film tipis.

4.1 Karakterisasi dengan SEM (*scanning electron microscopy*)

Kondisi selama proses penumbuhan berpengaruh pada struktur mikro film yang tumbuh. Struktur mikro film tipis bergantung pada kinetika penumbuhan yang dipengaruhi oleh temperatur substrat, sifat kimia, morfologi substrat dan gas lingkungan. Parameter ini mempengaruhi mobilitas permukaan dari atom-atom yang terdeposit pada substrat saat pembentukan lapisan tipis (Wasa & Hayakawa, 1992). Dari karakterisasi menggunakan SEM dapat diketahui pengaruh daya plasma terhadap morfologi permukaan film. Hasil karakterisasi berupa foto penampang permukaan (*surface*). Citra SEM pada penampang permukaan film tipis yang homogen menunjukkan film tipis mempunyai struktur permukaan yang rata. Gambar 4.2 memperlihatkan citra SEM permukaan film tipis CdTe/CdS.

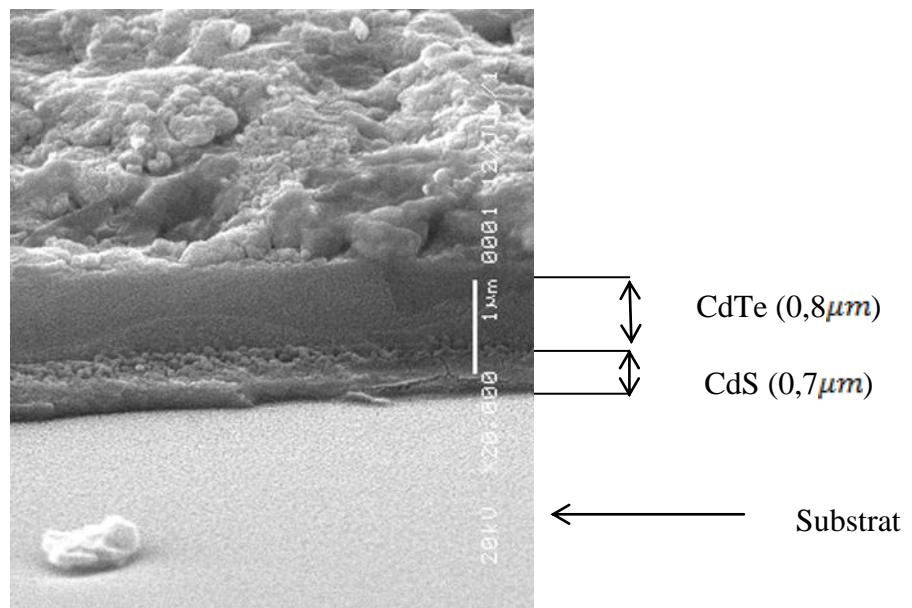


Gambar 4.2 Citra SEM film tipis CdTe/CdS pada waktu deposisi 8 jam (sampel#1), 12 jam (sampel#2), 16 jam (sampel#3), 2,5 jam (sampel#4)

Citra SEM pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa film tipis yang ditumbuhkan dengan waktu deposisi yang berbeda mempunyai struktur yang berbeda pula. Film tipis CdTe/CdS (sampel#1) yang ditumbuhkan dengan waktu deposisi CdS selama 1 jam dan CdTe selama 8 jam, dengan citra SEM perbesaran 20.000 kali terlihat bahwa struktur permukaannya tidak homogen dengan butiran-butiran yang tidak teratur ukurannya. Morfologi permukaan yang tidak homogen

disebabkan karena ion-ion target yang tersputter tersebut bergerak secara acak ke segala arah. Film tipis CdTe/CdS (sampel#2) dengan waktu deposisi CdS selama 1 jam dan untuk CdTe selama 12 jam. Citra SEM dengan perbesaran 20.000 kali menunjukkan permukaan film terlihat hampir homogen dengan butiran yang mengumpul pada satu area. Begitu juga untuk gambar sampel#3, yang telah ditumbuhkan dengan waktu deposisi CdS selama 1 jam dan CdTe 16 jam dengan citra SEM perbesaran 10.000 kali terlihat permukaan film lebih homogen daripada sampel#1 dan sampel#2, walaupun masih terdapat butiran yang mengumpul pada satu area. Film yang ditumbuhkan dengan parameter variasi waktu deposisi dan menggunakan daya plasma rendah belum mendapatkan film yang baik, sehingga mengubah parameter penumbuhan yang digunakan dengan menaikkan daya plasma menjadi 43 watt dan suhu 325 °C saat penumbuhan. Terlihat pada gambar 4.2 sampel#4 dengan perbesaran 5.000 kali menunjukkan morfologi yang tampak rata. Daya plasma yang semakin tinggi menyebabkan atom-atom yang tersputter lebih cepat naik ke substrat, sehingga film yang dihasilkan tampak homogen.

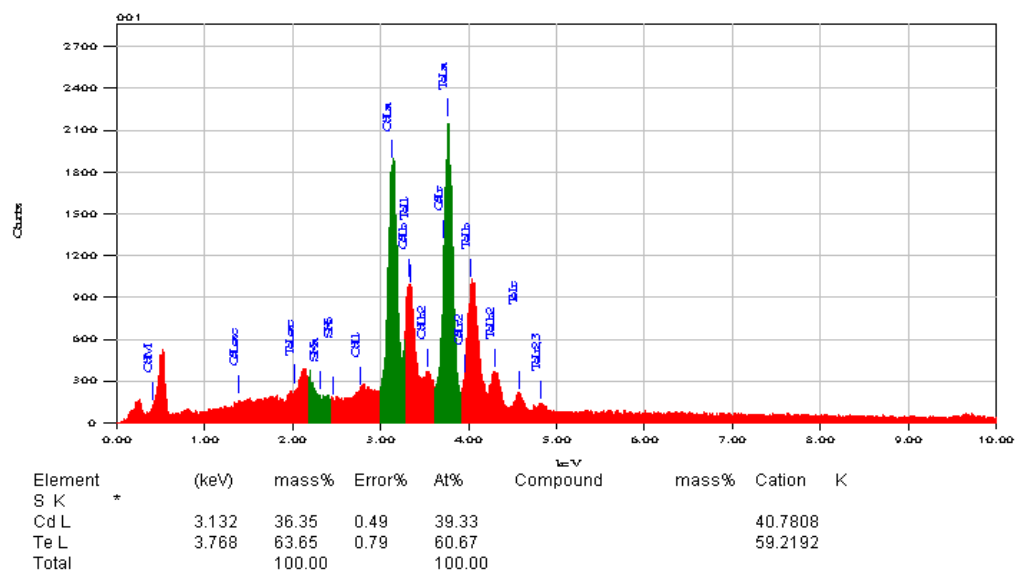
Gambar 4.3 merupakan penampang melintang dari film CdTe/CdS yang memperlihatkan ketebalan film. Ketebalan film tersebut adalah 1.5 μm dan untuk laju penumbuhan film adalah 0.42 $\mu\text{m}/\text{jam}$. Selain itu juga terlihat adanya kontak yang baik antara film CdTe, film CdS dan substrat ITO karena pada daerah persambungan antara permukaan substrat dan permukaan film yang tampak homogen dan hampir tidak menemukan rongga antara film. Penampang melintang dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Penampang melintang film tipis CdTe/CdS

4.2 KARAKTERISASI EDX

Berdasarkan hasil karakterisasi EDX dapat diketahui kandungan unsur dalam film tipis CdTe/CdS. Dalam penelitian ini, hasil karakterisasi EDX menunjukkan bahwa untuk film tipis CdTe/CdS dengan daya 43 watt yang ditumbuhkan menghasilkan kandungan unsur dalam persentase yang berbeda. Perbedaan persentase dalam film tipis CdTe/CdS ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil karakterisasi EDX film tipis CdTe/CdS

Gambar 4.4 menjelaskan mengenai karakterisasi EDX yang bertujuan untuk mengetahui tingkat energi tiap-tiap unsur yang terkandung di dalam film tipis CdTe/CdS. Selain itu, juga dapat menentukan persentase massa dan persentase atom dari masing-masing unsur penyusun film tipis CdTe/CdS. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pada film tipis CdTe/CdS terdapat kandungan unsur Cd yang memiliki persentase sebesar 39.33% dan unsur Te sebesar 60.67%, sehingga total unsur penyusun film tipis CdTe/CdS adalah 100% tanpa adanya unsur S (*Sulfide*). Hal ini dikarenakan film CdS sudah terlapisi oleh film CdTe, sehingga film tipis yang dominan pada film tipis CdTe/CdS adalah film CdTe. Karakterisasi EDX juga dapat mengetahui energi yang terkandung pada masing-masing unsur. Massa unsur Cd sebesar 36,35% mampu memiliki energi sebesar 3,132 keV, sedangkan massa unsur Te sebesar 63,65% mampu memiliki energi sebesar 3,768 keV.

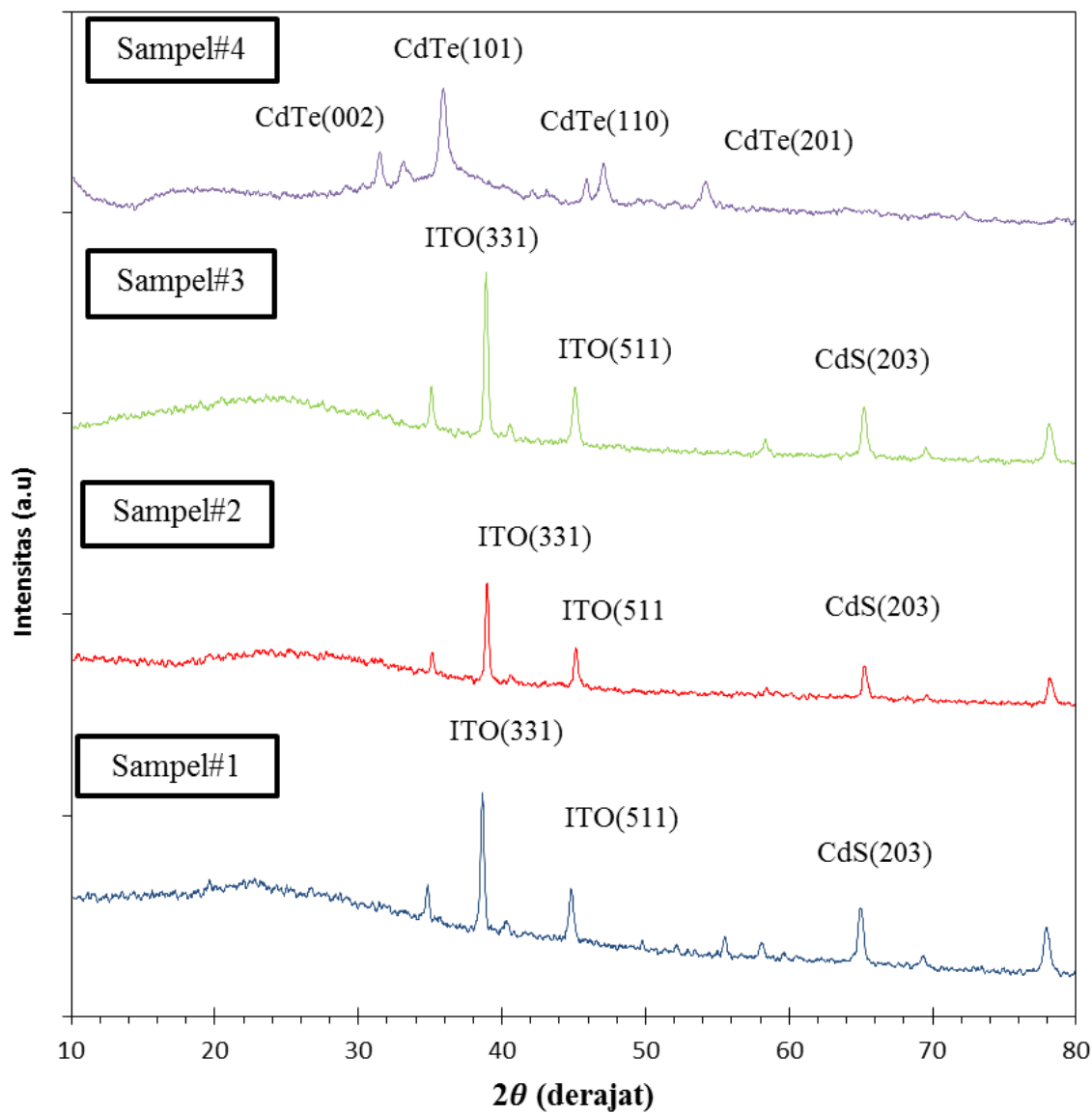
4.3 Karakterisasi dengan XRD (*X-Ray Diffraction*)

Sampel film tipis CdTe/CdS yang telah ditumbuhkan dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*). Analisis XRD ini bertujuan mengetahui film tipis yang diperoleh telah tumbuh CdTe/CdS atau belum. Data yang diperoleh dari hasil difraktogram dibandingkan dengan data JCPDS (*joint committee on powder diffraction standard*) dengan tujuan untuk mengidentifikasi struktur kristal yang tumbuh pada film CdTe/CdS.

Menurut Widuri (2007) yang dikutip oleh Musta'anah (2010) menjelaskan pada saat berkas sinar-X menumbuk 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, sehingga secara kualitatif dapat dikatakan bahwa tingginya intensitas menggambarkan kualitas kristal yang lebih baik.

Film CdTe/CdS yang ditumbuhkan di atas substrat ITO dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD). Hasil karakterisasi XRD film tipis CdTe/CdS ditunjukkan pada gambar 4.5. Informasi yang diperoleh dari pengukuran ini dapat digunakan untuk identifikasi fase kristal, menunjukkan keadaan amorf atau kristal dari film yang tumbuh, juga menentukan orientasi kristal. Identifikasi fase dapat dikorelasikan dengan data dari JCPDS. Peralatan yang digunakan untuk uji

analisis struktur sampel pada penelitian ini menggunakan sumber radiasi $\text{CuK}\alpha$ dengan panjang gelombang 1.5418 \AA .



Gambar 4.5 Grafik XRD film tipis CdTe/CdS dengan waktu deposisi 8 jam (sampel#1), 12 jam (sampel#2), 16 jam (sampel#3), 2,5 jam (sampel#4)

Gambar 4.5 menunjukkan spektrum XRD film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan di atas substrat ITO. Sampel#1, sampel#2, sampel#3 merupakan film tipis CdTe/CdS dengan mengvariasi waktu deposisi dan menggunakan parameter yang sama yaitu pada penumbuhan CdS menggunakan suhu 450 °C, tekanan pada argon 450 mTorr, dan daya yang digunakan adalah 14,45 watt. Pada penumbuhan CdTe menggunakan suhu 250 °C, tekanan pada argon 500 mTorr, dan daya yang digunakan adalah 22,5 watt. Analisis spectrum XRD tersebut menunjukkan bahwa film tipis CdTe/CdS belum tumbuh dan membentuk kristal. Hal itu dibuktikan dengan munculnya puncak-puncak yang ada pada grafik. Puncak-puncak tersebut masih menunjukkan struktur dari ITO dan CdS. Hasil karakterisasi XRD dapat disimpulkan bahwa film tipis CdTe/CdS belum tumbuh secara optimal. Hal ini dapat dilihat dari puncak-puncak yang muncul hanya ITO dan CdS, sedangkan film CdTe belum tumbuh. Pada film tipis yang mempunyai waktu deposisi CdS selama 1 jam sedangkan CdTe selama 8 jam (sampel#1), muncul puncak substrat ITO yang mempunyai difraksi dengan sudut $2\theta = 34,66^{\circ}$, $38,52^{\circ}$, $44,7^{\circ}$. Berdasarkan pada JCPDS, sudut difraksi tersebut bersesuaian dengan orientasi bidang (400), (331), (511) yang mempunyai struktur kubik. Selain puncak ITO juga muncul puncak CdS yang mempunyai sudut difraksi $2\theta = 77,72^{\circ}$ yang berorientasi bidang (203) dengan struktur heksagonal. Dari grafik muncul dengan intensitas yang masih rendah dan belum muncul film CdTe, sehingga belum muncul film secara optimal.

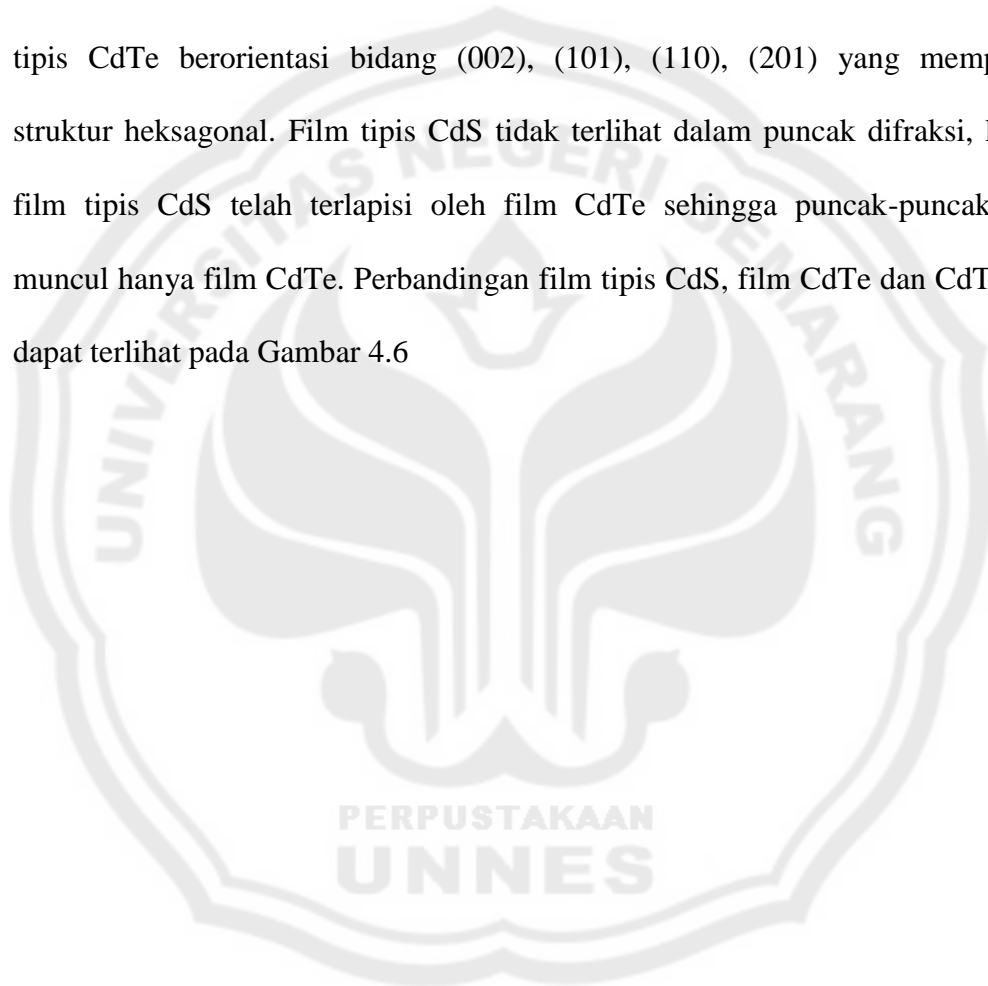
Film tipis CdTe/CdS dengan waktu deposisi CdS selama 1 jam dan CdTe selama 12 jam (sampel#2) juga menunjukkan lapisan yang tumbuh masih berupa

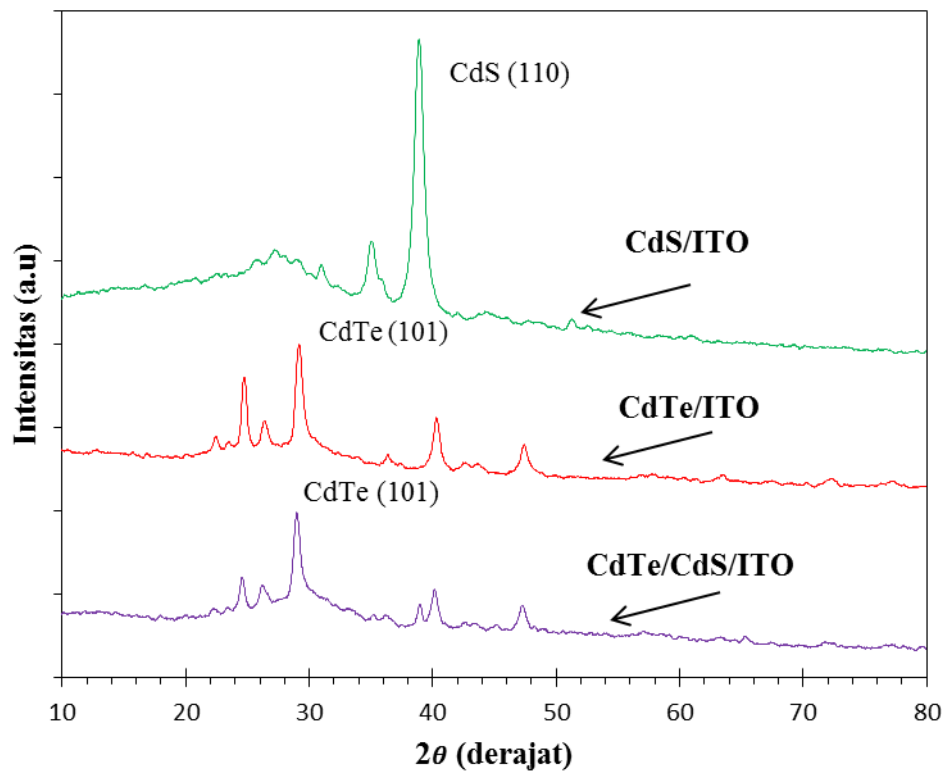
substrat ITO dan film tipis CdS. Berdasarkan analisis struktur kristal, lapisan tipis yang tumbuh teramati puncak difraksi pada sudut $2\theta = 35,04^{\circ}$, $38,92^{\circ}$, $45,12^{\circ}$ yang dipunyai substrat ITO berorientasi bidang (400), (331), (511) yang mempunyai struktur kubik. Sedangkan film tipis CdS muncul pada sudut difraksi $2\theta = 78,08^{\circ}$ yang berorientasi bidang (203) dengan struktur heksagonal. Film tipis CdTe/CdS dengan waktu deposisi CdS selama 1 jam dan CdTe selama 16 jam (sampel#3) juga menunjukkan lapisan yang tumbuh masih substrat ITO dan film tipis CdS. Berdasarkan analisis struktur kristal, lapisan tipis yang tumbuh teramati puncak difraksi pada sudut $2\theta = 34,96^{\circ}$, $38,82^{\circ}$, $44,54^{\circ}$ yang dipunyai substrat ITO dengan orientasi (400), (331), (511) yang mempunyai struktur kubik. Sedangkan film tipis CdS muncul pada sudut difraksi $2\theta = 78,08^{\circ}$ yang berorientasi bidang (203) dengan struktur heksagonal.

Hasil XRD yang ditampilkan dalam bentuk grafik dapat disimpulkan bahwa film tipis CdTe/CdS belum tumbuh secara optimal. Hal ini dapat dilihat dari puncak-puncak yang muncul pada grafik XRD yang menunjukkan puncak-puncak substrat ITO dan puncak dengan intensitas rendah yang dipunyai film CdS, dan tidak ada puncak yang menunjukkan film CdTe, ini berarti film CdTe belum tumbuh. Film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan dengan variasi waktu deposisi belum tumbuh secara optimal, maka mengadakan penelitian kembali dengan mengubah parameter penumbuhan yaitu dengan menaikkan daya plasma penumbuhan dan mengubah suhu penumbuhan. Suhu menjadi 325°C dan daya

plasma penumbuhan yang digunakan 43 watt. Film yang ditumbuhkan terlihat pada Gambar 4.5 sampel#4.

Sampel#4 merupakan film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan pada parameter suhu 325 °C, dengan dialiri gas argon sebesar 500 mTorr dan daya plasma sebesar 43 watt menunjukkan lapisan yang tumbuh adalah lapisan tipis CdTe. Berdasarkan analisis struktur kristal, lapisan tipis yang tumbuh teramati puncak difraksi pada sudut $2\theta = 24,34^{\circ}; 28,7^{\circ}; 39,84^{\circ}; 46,94^{\circ}$ yang dipunyai film tipis CdTe berorientasi bidang (002), (101), (110), (201) yang mempunyai struktur heksagonal. Film tipis CdS tidak terlihat dalam puncak difraksi, karena film tipis CdS telah terlapiasi oleh film CdTe sehingga puncak-puncak yang muncul hanya film CdTe. Perbandingan film tipis CdS, film CdTe dan CdTe/CdS dapat terlihat pada Gambar 4.6



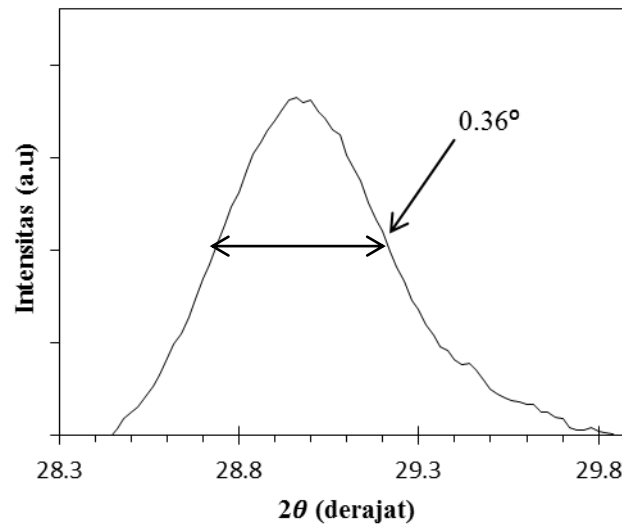


Gambar 4.6 Grafik XRD film tipis CdS, film tipis CdTe, film tipis CdTe/CdS

Widuri (2007) yang dikutip oleh Musta'anah (2010) menjelaskan bahwa tingginya intensitas secara kualitatif mengidentifikasi kualitas kristal yang lebih baik. Gambar 4.6 di atas terlihat bahwa film tipis CdTe/CdS memiliki orientasi kristal yang hampir sama dengan film tipis CdTe, sehingga film yang dominan adalah film CdTe.

FWHM (*full width at half maximum*) pada puncak XRD menyatakan kualitas kristal, semakin sempit lebar FWHM semakin baik kualitas kristal. Intensitas menunjukkan jumlah sudut yang terdifraksi oleh sinar X dan lebar FWHM menyatakan homogenitas sudut hambur kristal (Handayani, 2007). Hasil analisis dengan XRD menunjukkan perbedaan lebar masing-masing sampel.

Optimalisasi film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan dengan parameter lain yaitu dengan memberi daya plasma lebih besar yaitu sebesar 43 watt mendapatkan grafik FWHM seperti pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Grafik FWHM puncak XRD pada CdTe(101) film tipis CdTe/CdS

Grafik FWHM pada puncak XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4.7 film CdTe/CdS dengan optimalisasi parameter dengan menaikkan suhu dan meninggikan daya plasma saat penumbuhan. Nilai FWHM dari film tipis CdTe/CdS pada puncak CdTe(101) yang mempunyai sudut difraksi $2\theta = 28.7^\circ$ adalah 0.36° . Menurut Wickenden sebagaimana yang dikutip oleh Ismiyati (2007) menjelaskan bahwa film yang ditumbuhkan sudah mempunyai struktur kristal yang baik, karena dibuktikan dari nilai FWHM yang kurang dari 0.5° .

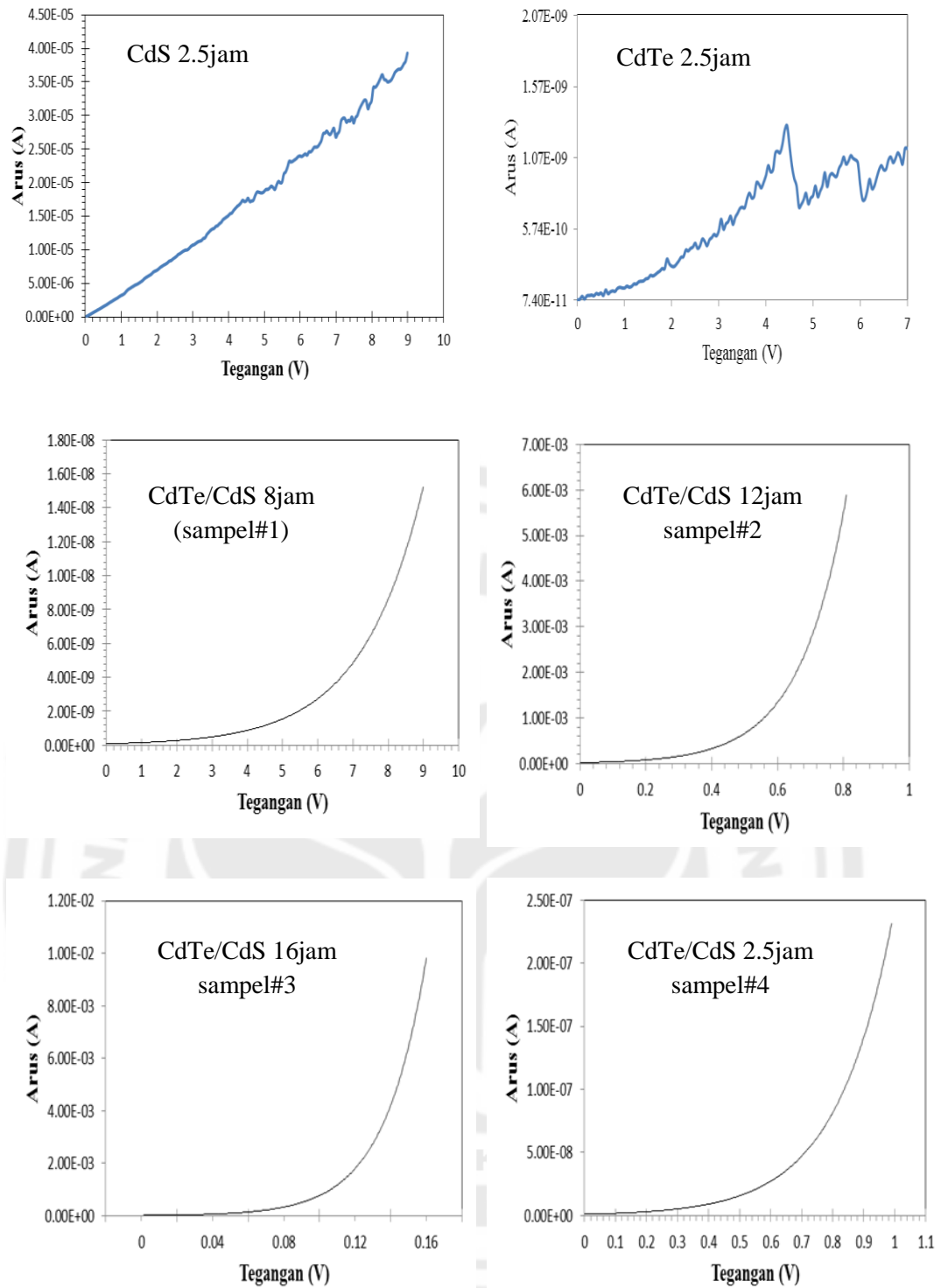
Berdasarkan hasil analisis SEM, EDX dan XRD dapat disimpulkan bahwa film yang ditumbuhkan dengan variasi waktu deposisi dan menggunakan daya plasma rendah film tipis CdTe/CdS belum tumbuh secara optimal. Film tipis CdTe/CdS tumbuh pada daya plasma 43 watt dan suhu 325 °C. Hasil SEM, EDX dan XRD menunjukkan bahwa film tipis CdTe/CdS mempunyai morfologi yang tampak rata dengan unsur-unsur yang tampak hanya Cd dan Te, sedangkan struktur kristal identik dengan struktur kristal film tipis CdTe.

4.4 Karakterisasi dengan I-V meter (Arus-tegangan)

Hasil karakterisasi sifat listrik film tipis CdTe/CdS dengan metode I-V meter menunjukkan perubahan sifat listrik film dengan variasi waktu deposisi penumbuhan film CdTe/CdS. Selain itu juga untuk mengetahui faktor idealitas dari sampel dan muatan ruang pada sampel. Pengukuran I-V dilakukan dengan memvariasikan tegangan *dc* panjar maju (V) sehingga diperoleh data tentang arus (I) yang bersesuaian dengan setiap perubahan tegangan. Selanjutnya data pengukuran diplot ke dalam grafik karakteristik I-V. Berdasarkan data I-V yang diperoleh dapat diidentifikasi apakah sampel menunjukkan persambungan *p-n*. Untuk menentukan arus pada daerah muatan ruang (I_0), dan faktor idealitas (n), dibuat grafik $\log(I)$ terhadap V .

Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan grafik karakteristik I-V dari film tipis CdS, CdTe dan CdTe/CdS. Film CdS dan CdTe yang ditumbuhkan pada daya 43 watt dan waktu depoiisi 2,5 jam merupakan film *single layer* membentuk

kurva linier yang menyatakan bahwa film yang tumbuh tidak mempunyai potensial penghambat atau *barrier* (Amin, 2007). Film CdS dan CdTe adalah film semikonduktor tipe *n* dan semikonduktor tipe *p* yang mengikuti persamaan $V = I.R$ dan setelah terjadi persambungan, pada daerah sambungan semikonduktor terjadi perubahan. Daerah semikonduktor tipe *n* memiliki sejumlah elektron yang akan mudah terlepas dari atom induknya. Atom aseptor akan menarik elektron dan terjadi difusi elektron dari tipe *n* ke tipe *p* juga terjadi difusi lubang dari tipe *p* ke tipe *n*. Proses difusi tidak berlangsung selamanya karena elektron yang sudah berada ditempatnya akan menolak elektron yang datang. Proses difusi berakhir ketika tidak ada lagi elektron yang memiliki cukup energi untuk mengalir. Sambungan *p-n* tersebut melewati daerah *depleksi* atau daerah kekosongan sehingga grafik masih menunjukkan arus dan tegangan mempunyai nilai nol, sehingga grafik berbentuk eksponensial yang berarti hubungan *I* terhadap *V* sesuai dengan persamaan umum dioda yaitu $I = I_0(e^{qV/nkT} - 1)$ dan memberikan bentuk fungsi teoritis untuk karakteristik *p-n* dengan tegangan maju. Karakteristik *p-n* adalah hubungan antara arus *p-n* dan beda tegangan antara kedua ujung *p-n*.

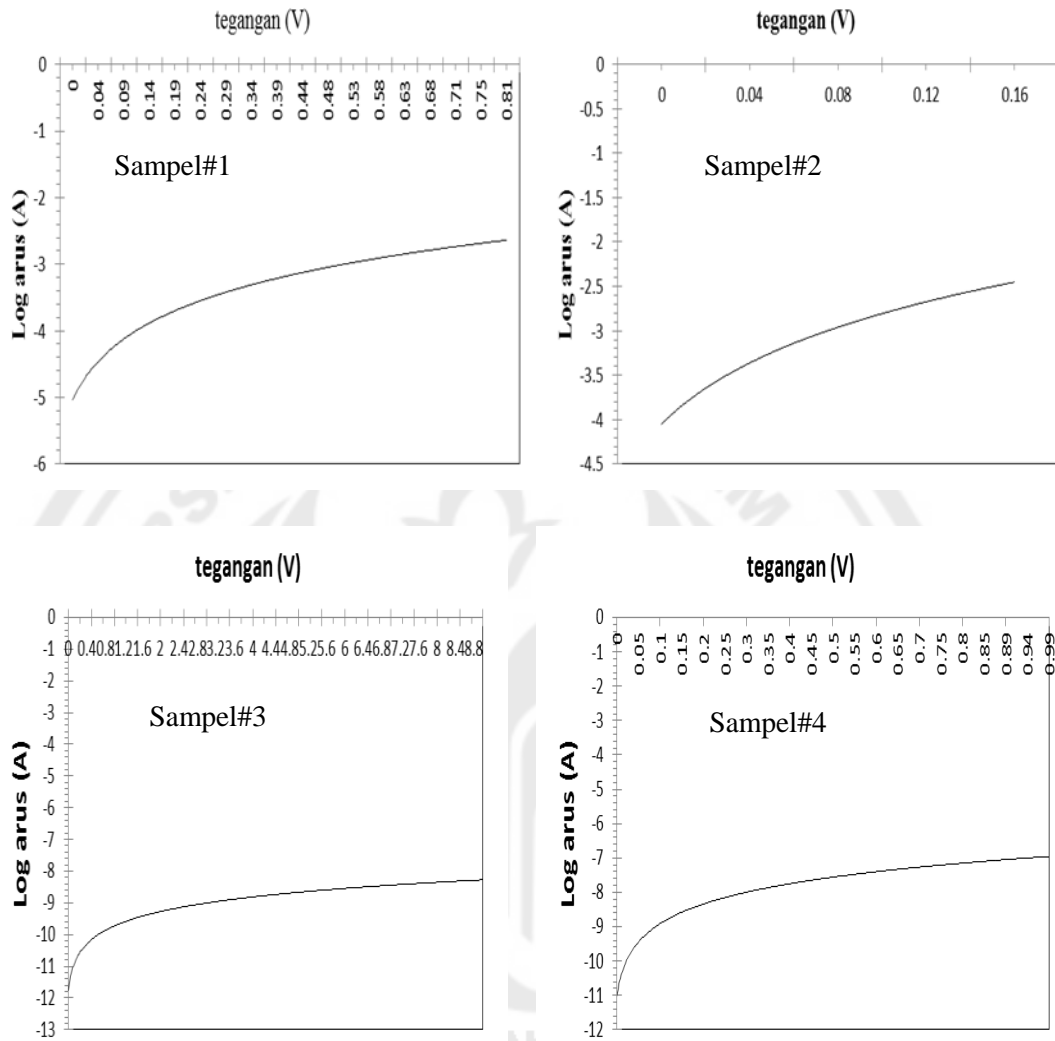


Gambar 4.8 Grafik karakterisasi I-V panjar maju untuk film CdS, CdTe, CdTe/CdS

Lengkung karakteristik $p-n$, arus dioda $i_D = 0$ jika $v_D = 0$, pada keadaan tanpa tegangan ($v_D = 0$) arus minoritas dan arus mayoritas mempunyai besar sama tetapi arah yang berlawanan, sehingga arus total pada keadaan tanpa tegangan panjar sama dengan nol. Pada tegangan maju, lengkungan karakteristik sebenarnya lebih condong daripada lengkungan teori, sebab hambatan oleh kebocoran arus dalam $p-n$. Film tipis CdTe/CdS yang dikarakterisasi dengan I-V dilakukan tanpa resistansi dan memunculkan grafik tipe *photodiode*. Ketika arah bias maju, intensitas arus naik ketika tegangan berada pada tegangan potong (Bylica *et al.*, 2006).

Untuk menentukan nilai faktor idealitas dan arus muatan ruang dapat dilihat pada grafi Log I-V yang terlihat pada gambar 4.10. Gambar 4.10 menunjukkan grafik Log(I)-V dari sampel#1, sampel#2, sampel#3 dan sampel#4 yang digunakan untuk menentukan besarnya faktor idealitas (n) dan arus pada daerah muatan ruang (I_0) dari film tipis CdTe/CdS. Caranya dengan menarik garis singgung pada bagian kurva yang cenderung mendatar. Berdasarkan grafik Log(I)-V yang dibuat dari data I-V dapat ditentukan faktor idealitas dari sampel. Penentuan faktor idealitas dilakukan dengan menghitung kemiringan kurva dari sampel. Pada sampel film tipis CdTe/CdS, slope garis singgung pada bagian kurva yang lurus dari grafik Log(I)-V yang masing-masing sampel mempunyai nilai (6), (8,5), (0,8), (5,45). Dengan menggunakan persamaan slope, yaitu $\text{slope} = 1/(2,3nkT/q)$ dengan $T = 300$ K, konstanta Boltzman (k) = $8,617 \times 10^{-5}$ eV/K dan besar muatan $1,6 \times 10^{-19}$ C maka dapat dihitung faktor idealitas n . Berdasarkan hasil perhitungan, besarnya faktor idealitas dari masing-masing sampel adalah

(2,96), (2,09), (21,3), (3,26). Hal tersebut terlihat secara jelas pada kemiringan bagian datar dari grafik Log(I) terhadap V.



Gambar 4.9 Grafik Log I-V panjar maju film tipis CdTe/CdS

Berdasarkan grafik $\text{Log}(I)$ terhadap V juga dapat menentukan arus pada daerah muatan ruang (I_0) yaitu dengan cara mengekstrapolasikan garis singgung tadi hingga memotong sumbu $\text{Log}(I)$ (atau $v = 0$). Gambar 4.10 menunjukkan bahwa garis singgung yang memotong sumbu $\text{Log}(I)$ pada nilai (-4.8) , $(-4,3)$, $(-10,6)$, $(-9,4)$. Sehingga arus pada daerah muatan ruang yang didapatkan adalah $(1,58 \times 10^{-5})$, $(5,01 \times 10^{-5})$, $(2,51 \times 10^{-11})$, $(3,98 \times 10^{-10})$ Ampere.

Tabel 4.1 Data yang diperoleh dari karakteristik I-V

Nama sampel	faktor idealitas(n)	I_0 (Ampere)
sampel#1	2,96	$1,58 \times 10^{-5}$
sampel#2	2,09	$5,01 \times 10^{-5}$
sampel#3	21,3	$2,51 \times 10^{-11}$
sampel#4	3,26	$3,98 \times 10^{-10}$

Tabel 4.1 menunjukkan faktor idealitas dan arus muatan ruang dari masing-masing sampel. Sampel#1, sampel#2, sampel#3 memiliki faktor idealitas di atas dua yang menunjukkan sampel tersebut mempunyai sifat listrik. Hal ini sesuai dengan hasil karakterisasi XRD yang menunjukkan bahwa pada sampel#1, sampel#2, sampel#3 belum tumbuh film tipis CdTe/CdS, tetapi masih dominan substrat ITO. ITO merupakan substrat yang memiliki sifat listrik yang baik karena memiliki nilai resistifitas rendah, sehingga memiliki nilai konduktifitas yang tinggi (Compaan *et al.*, 2004). Sampel#4 memiliki faktor idealitas sebesar 3,26 yang berarti film tipis CdTe/CdS mempunyai sifat listrik yang baik karena mempunyai

nilai faktor idealitas yang lebih besar dari nilai ideal dari faktor idealitas film CdTe/CdS. Faktor idealitas menunjukkan kemampuan sambungan p-n yang ada pada lapisan tipis (Ramelan, 2010:138). Faktor idealitas film tipis CdTe/CdS baik jika memiliki faktor idealitas lebih dari dua (Batzner *et al.*, 2000). Dioda ideal berarti tidak ada hambatan yang melaluinya, sehingga arus listrik yang mengalir adalah maksimum dan dioda ini berlaku sebagai konduktor. I_0 pada film tipis CdTe/CdS mempunyai nilai sebesar $3,98 \times 10^{-10}$ Ampere. I_0 merupakan arus pada muatan ruang yang mempunyai besar ideal antara 10^{-6} - 10^{-15} Ampere (Ambarita, 2008:19).

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM, EDX, XRD dan I-V dapat diketahui bahwa film tipis CdTe/CdS yang ditumbuhkan dengan daya plasma tinggi yaitu 43 watt mempunyai struktur morfologi, struktur kristal dan sifat listrik yang baik. Film ini mempunyai orientasi kristal yang lebih tinggi dengan FWHM yang lebih kecil yang mengindikasikan film tumbuh dengan kristalinitas yang bagus serta memiliki morfologi permukaan yang tampak homogen akan memiliki mobilitas pembawa muatan yang tinggi dan memiliki transfer elektron yang baik, sehingga sifat listrik film tipis CdTe/CdS adalah baik. Film CdTe/CdS dengan kualitas kristal dan sifat listrik yang baik seperti inilah yang nantinya dapat digunakan untuk pembuatan *thin film solar cells* (sel surya film tipis).

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Film tipis CdTe/CdS telah ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering* di atas substrat ITO. Parameter penumbuhan yang digunakan untuk penumbuhan film tipis CdTe/CdS yaitu dengan tekanan argon sebesar 500 mTorr, suhu 325 °C, daya plasma 43 watt dengan waktu deposisi 2,5 jam.

Performansi kelistrikan film tipis CdTe/CdS dalam artian sifat listrik yang diukur dengan I-V meter didapatkan nilai faktor idealitas dan arus muatan ruang masing-masing sebesar 3,26 dan $3,98 \times 10^{-10}$ Ampere yang merupakan nilai ideal untuk sambungan *p-n*. Kualitas kristal dari film CdTe/CdS dapat dilihat dari struktur mikro dan struktur kristal. Film ini mempunyai orientasi kristal CdTe(101) dengan FWHM 0,36° yang mengindikasikan film tumbuh dengan kristalinitas yang baik serta memiliki morfologi permukaan yang tampak homogen, sehingga memiliki transfer elektron dan mobilitas pembawa muatan yang tinggi. Film CdTe/CdS dengan kualitas kristal dan sifat listrik yang baik seperti inilah yang nantinya dapat digunakan untuk sel surya.

5.2 Saran

Penumbuhan film tipis CdTe/CdS dengan parameter yang dianggap optimal masih belum menunjukkan hasil yang terlalu baik, sehingga perlu dilakukan studi lanjut yang mengkaji tentang sifat listrik dan sifat optik dengan memvariasi daya plasma, suhu substrat, waktu deposisi dan tekanan argon untuk memperoleh film tipis CdTe/CdS dengan kualitas yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, M. 2008. *Studi dan Simulasi Perbaikan Faktor Daya pada Masukan Penyearah Satu Fasa Dioda Jembatan dengan Memakai Filter Parallel-Resonant*. Tugas Akhir. Departemen Teknik Elektro: Universitas Sumatra Utara.
- Amin, Nur. 2007. *Analisis Sifat Listrik Persambungan M-S-M pada Film Tipis $Al_xGa_{1-x}N$ yang ditumbuhkan diatas Substart Silikon (111) dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Ashour, A. 2006. The Physical Characteristic Of Cu_2S/CdS Thin-Film Solar Cell. *Journal Of Optoelectrics And Advanced Materials* vol. 8 no. 4, p 1447-1451.
- Bashar. 2011. A Study Of Photoelectrical Characteristic Of (CdS/CdTe) Heterojunction. *Al rafidain engineering* vol. 19 no. 12. Tersedia di <http://www.heterojunctioncdte/cds.org/>
- Batzner, D. L. 2000. Device Analysis Method For Physical Cell Parameters Of CdTe/CdS Solar Cells. *Elsevier, Thin Solid Film* 361-362 (2000) 288-292.
- Batzner, D. L. 2000. Effect Back Contact Metalization On The Stabiity Of CdTe/CdS Solar cells. *Presented at the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference*.
- Bylica, A. 2006. Layers Of CdTe And CdS Obtained By PLD On ITO Substrates. *Science direct, Thin Solid Film* 511-512 (2006) 439-442.
- Compaan, Alvin D. 2004. High Efficieny, Magnetron Sputtered CdS/CdTe Solar Cells. *Science Direct, Solar Energy* 77 (2004) 815-822.

- Daniel *et al.*, 2000. Proses Pembuatan Kontak Ohm dan Sel Fotovoltaik dengan Kontak Ohm. Jakarta: *Kantor Paten Indonesia*
- Debbagh, F. 1993. Physical and chemical analysis of RF sputtered Cu/Te/CdTe structures. *Science direct*, Solar Cells 31 (1993) 1-8.
- Debbagh, F. 1993. Structural and electrical properties of RF sputtered Cu/Te/CdTe contact. *Science direct*, Solar Cells 33 (1994) 117-124.
- Gupta, Akhlesh. 2006. High Efficiency Ultra-thin Sputtered CdTe Solar Cells. *Science Direct*, Solar Cells 90 (2006) 2263-2271.
- Hai-Ning Chui dan Shi Quan Xi. 1996. The Fabrication of Dipped and Sputtered ITO Thin Film For Photovoltaic Solar Cells. *Elsevier, Thin Solid Film* 288 h : 325-329
- Landin, Ochoa R. 2008. Chemically-deposited Te layers improving the parameters of back contacts for CdTe solar cells. *Science direct, Solar Energy* 83 (2009) 134-138.
- McCandless. B.E., Sites, J.R. 2003. Cadmium Telluride Solar cell. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley. New York, pp.628-631.
- Musta'anah. 2010. *Pengaruh Daya Plasma Dan Suhu Substrat Pada Penumbuhan Film Tipis Ga₂O₃ Doping ZnO Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Rambe, Ahmad. 2005. Pembuatan Dioda Dari Bahan Lapis Tipis CdTe Yang Ditumbuhkan Melalui Metode Penguapan (Vacuum Deposition). *Jurnal Sistem Teknik Industri* Vol. 6 No. 2, Universitas Sumatera Utara.
- Ramlan, *et al.* 2010. Karakteristik Sifat Listrik dan Efek Annealing Al/n-GaSb Schottky dengan Menggunakan DMTe (Dimethyltellurium). *Jurnal Sains dan Matematika*, vol.15 nomor 3.

- Rekario. 1982. *Fisika Dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Salaoru. 2006. Preparation And Structural Charactization Of Thin-Film CdTe/CdS Heterojunction. *Journal Of Optoelectronics And Advanced Materials* vol. 8 no. 3, p. 936-940.
- Sarmah, PC. 1998. Electrical And Optical Properties Of rf-Sputtered CdTe Films. Bulk material, sci. Vol. 21, no. 2, *Indian Academy Of Science*, pp 149-154.
- Sudjatmoko. 2003. *Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*. Workshop: Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan: 3.
- Sugianto dan Upik Nurbaiti. 2009. *Buku Ajar Fisika Zat Padat*. Semarang: FMIPA UNNES.
- Sujitno, T. 2003. *Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering untuk Surface Treatment*. Workshop: Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan: 3.
- Sulhan, M. 2009. *Pengaruh Daya Plasma Terhadap Struktur Mikro, Sifat Optik Dan Sifat Listrik Film Tipis Cadmium Sulfide (CdS) Yang Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Sutrisno. 1986. *Elektronika Dan Penerapannya*. Bandung: penerbit ITB.
- Thambidurai, M. 2009. Preparation and Characterization of nanocrystalline CdS Thin Films. *India*, p. 171-179.
- Wiyanto dan Sugianto. 2004. Pengukuran C-V dan I-V Pada Diode n-GaN/p-6H-SiC Yang Difabrikasi Dengan Metode MOCVD. *Jurnal MIPA* Vol. 27, UNNES.
- Wu, Xuanzhi. 2004. High Efficiency CdTe Thin Film Solar Cells. *Elsevier, Solar energy* 77(2004) 803-814

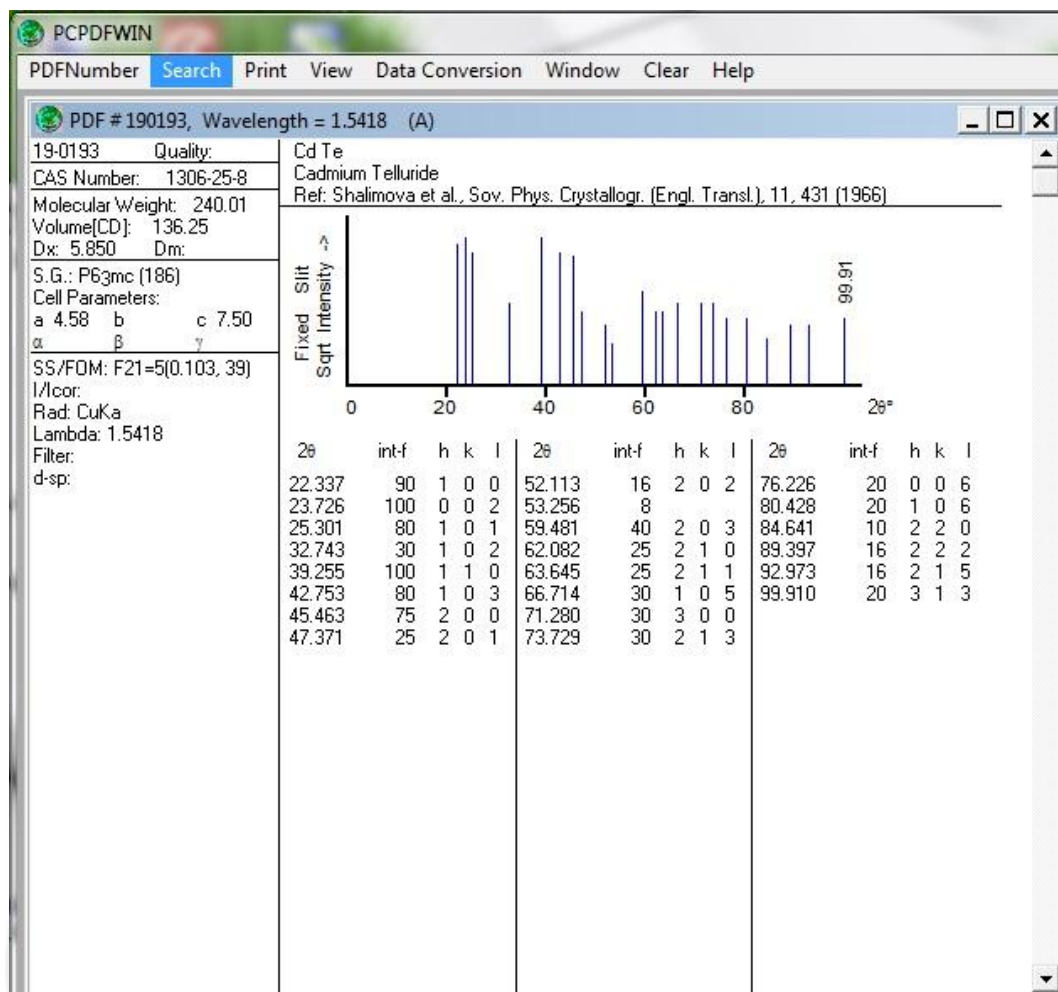
Zhao, H. 2009. The Effect Of Impurities On Doping And Voc Of CdTe/CdS Thin Film Solar Cells. *Elsevier, Thin Solid Film* 517 (2009) 2365-2369.



LAMPIRAN

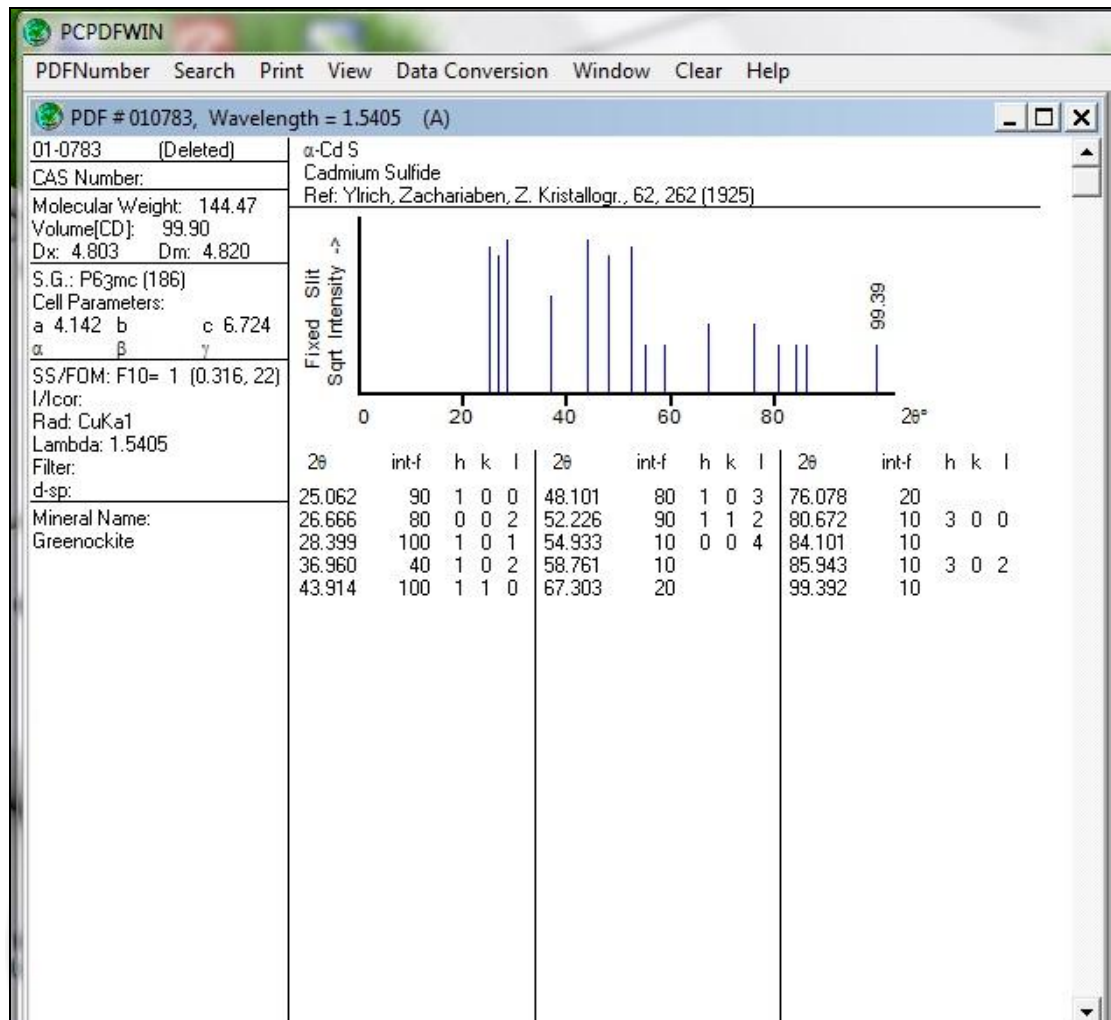


Data Standart JCPDS CdTe

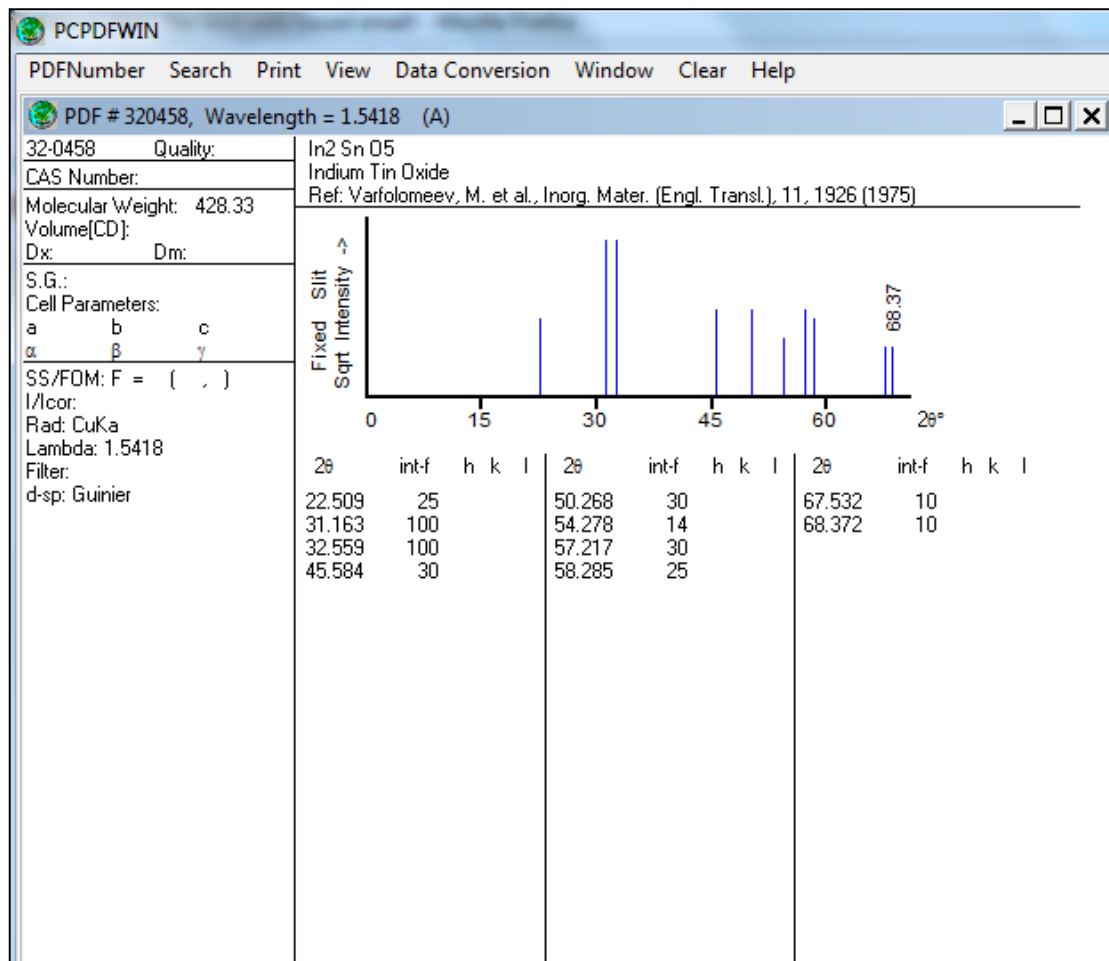


Data Standart JCPDS

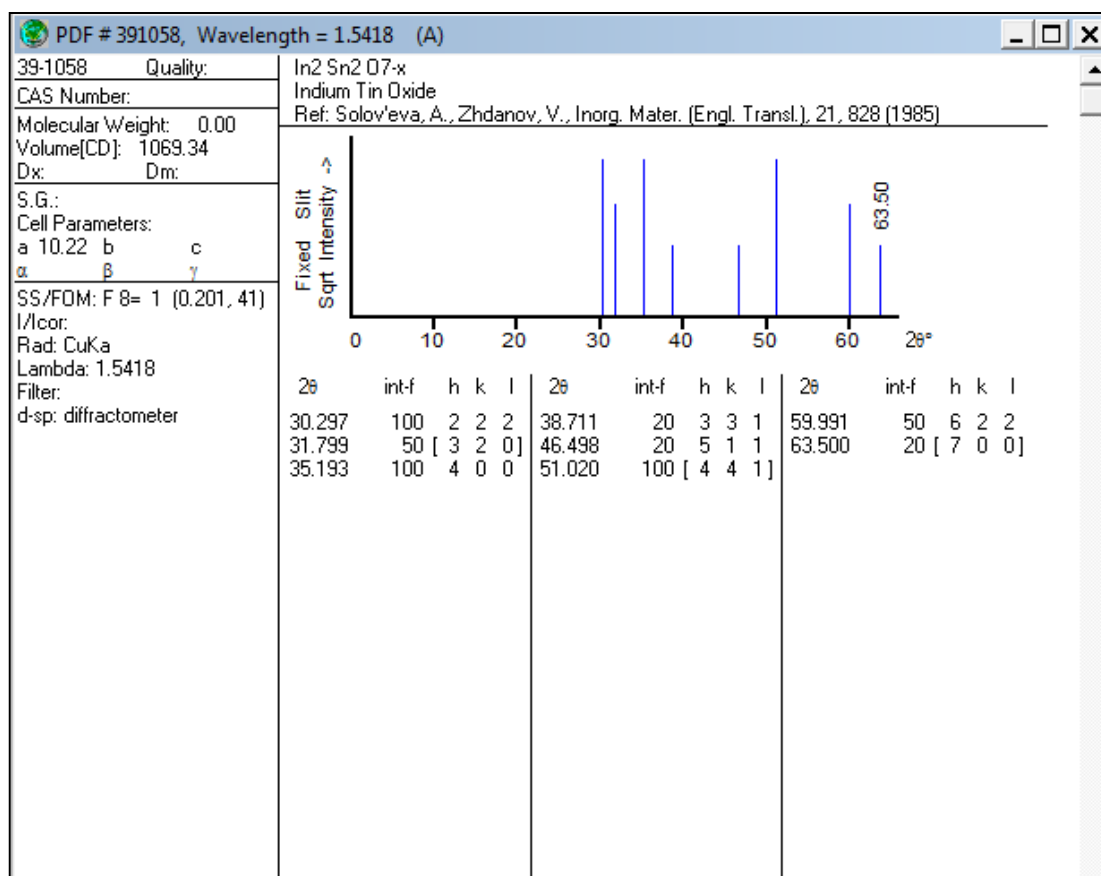
CdS



Data Standart JCPDS ITO (1)



Data Standart JCPDS ITO (2)



Karakterisasi I-V

- Mencari faktor idealitas

$$m = 1/(2,3 nkT/q)$$

$$\text{Faktor idealitas (n)} = q/(2,3 kT)$$

Sampel CdTe/CdS dengan suhu 325 °C, daya plasma 43 watt selama 2,5 jam (Sampel#4)

$$T = 300 \text{ K}$$

$$k = 8,16 \times 10^{-5} \text{ eV/K} = 1,31 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$m = 5,45$$

$$q = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = 3,26$$

- Arus muatan ruang

$$I_0 = 3,98 \times 10^{-10} \text{ A}$$

Sampel CdTe/CdS dengan suhu 450 °C, daya plasma 22,5 watt selama 8 jam (Sampel#1)

- Faktor idealitas

$$T = 300 \text{ K}$$

$$k = 8,16 \times 10^{-5} \text{ eV/K} = 1,31 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$m = 6$$

$$q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = 2,96$$

- Arus muatan ruang

$$I_0 = 1,58 \times 10^{-5} \text{ A}$$

Sampel CdTe/CdS dengan suhu 450 °C, daya plasma 22,5 watt selama 12 jam (Sampel#2)

➤ Faktor idealitas

$$T = 300 \text{ K}$$

$$k = 8,16\text{E-}05 \text{ eV/K} = 1,31\text{E-}23 \text{ J/K}$$

$$m = 6$$

$$q = 1.60\text{E-}19 \text{ C}$$

$$n = 2,96$$

➤ Arus muatan ruang

$$I_0 = 1,58\text{E-}05 \text{ A}$$

Sampel CdTe/CdS dengan suhu 450 °C, daya plasma 22,5 watt selama 16 jam (Sampel#3)

➤ Faktor idealitas

$$T = 300 \text{ K}$$

$$k = 8,16 \times 10^{-5} \text{ eV/K} = 1,31 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$m = 0,8$$

$$q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = 21,3$$

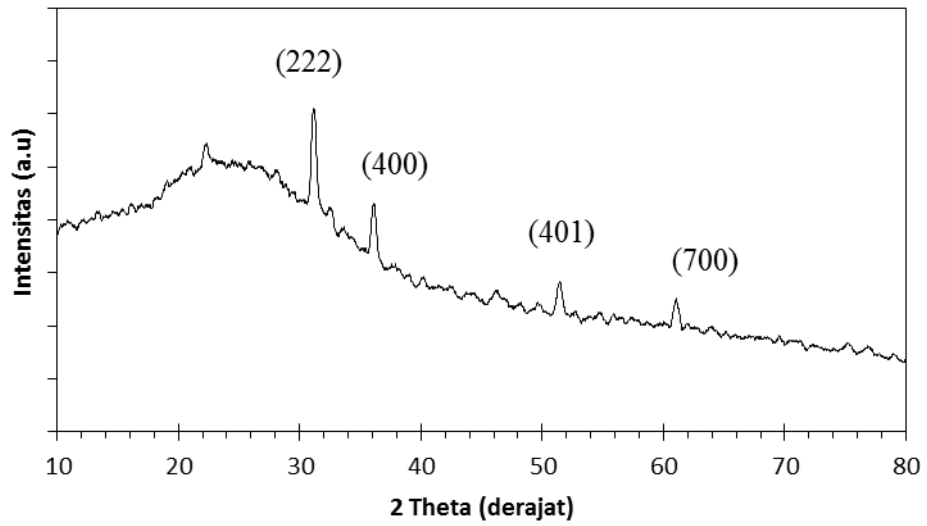
➤ Arus muatan ruang

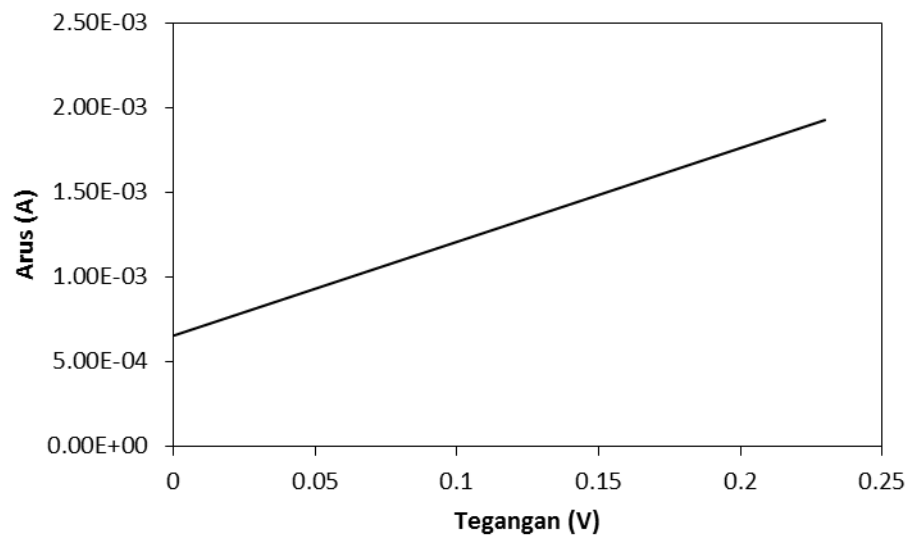
$$I_0 = 2,51 \times 10^{-11} \text{ A}$$

Substrat ITO



Substrat ITO





Grafik I-V



FOTO ALAT PENELITIAN DAN KARAKTERISASI

Larutan preparasi substrat



Tabung Gas Argon, Nitrogen dan Oksigen



Pellet CdS



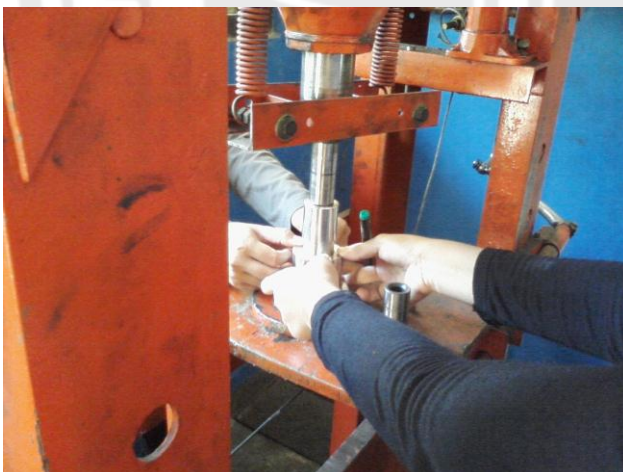
Pellet CdTe



Ultrasonic Bath



Dc Magnetron Sputtering



Alat pres pembuatan target



I-V meter



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