



**PENGARUH DOPING Cu TERHADAP STRUKTUR DAN
SIFAT OPTIK FILM TIPIS CdTe YANG DITUMBUHKAN
DENGAN METODE DC MAGNETRON SPUTTERING**

skripsi

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

oleh

Nila Prasetya Aryani

NIM. 4250407004

PERPUSTAKAAN
UNNES

JURUSAN FISIKA

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

2011

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Agustus 2011

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Pendamping

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



PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

Pengaruh Doping Cu Terhadap Struktur Dan Sifat Optik Film Tipis CdTe
Yang Ditumbuhkan Dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*

disusun oleh

Nama : Nila Prasetya Aryani

NIM : 4250407004

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

Panitia:

Ketua

Sekretaris

Dr. Kasmadi Imam S, M.S.
NIP. 19511115 197903 1 001

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

Ketua Penguji

Dr. Sugianto, M. Si.
NIP. 1961029 199303 1 001

Anggota Penguji /
Pembimbing Utama

Anggota Penguji /
Pembimbing Pendamping

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

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 akan bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, Agustus 2011

Penulis,

Nila Prasetya Aryani

NIM. 4250407004



MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Bismillahirrahmanirrahim. . .

*“Jika kamu bersungguh-sungguh dalam menuntut ilmu, ilmu hanya akan membukakan sedikit pintunya untuk kau pelajari. Apalagi jika kamu main-main, ilmu tidak akan membukakan sedikitpun pintunya untuk kau pelajari. Berusahalah!!”
(Agus Yulianto)*

” Penemuan terbesar dari masa ke masa adalah bahwa kita dapat mengubah masa depan kita hanya dengan mengubah sikap kita” (Oprah Winfrey)

“Waktu itu ibarat pedang. Jika tidak kamu manfaatkan dengan baik ia akan membunuhmu!”

PERSEMBAHAN

Teruntuk yang tercinta

1. *Kedua orang tuaku yang telah mencurahkan segalanya demi masa depanku dan menemaniku dengan doa.*
 2. *Kedua adikku yang selalu aku rindukan dan aku banggakan.*
3. *Andhika Dwi Anggara, terima kasih untuk doa, semangat dan bantuannya.*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Pengaruh Doping Cu Terhadap Struktur Dan Sifat Optik Film Tipis CdTe Yang Ditumbuhkan Dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*".

Suatu hal yang tidak patut jika dalam kesempatan ini penulis tidak menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi dan kesempatan dalam usaha menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu dengan penuh ketulusan hati penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Kasmadi Imam S, M. S. Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Putut Marwoto, M.S selaku ketua Jurusan Fisika sekaligus pembimbing II yang telah bersedia memberikan koreksi kepada penulis.
4. Dr. Ngurah Made D.P., M.Si selaku pembimbing I yang telah membimbing serta meluangkan waktu memberikan masukan, saran dan motivasi selama penyusunan skripsi.
5. Dr. Agus Yulianto, M.Si selaku dosen wali yang dengan penuh kesabaran dan kebersahajaan telah memberikan motivasi kepada penulis.
6. Bapak, Ibu, kedua adikku, yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis serta memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh jenjang pendidikan ke Universitas.

7. Kakak-kakakku (Mas Didik dan Mas Edy) yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, maaf jika penulis telah banyak merepotkan.
8. Pak Wasi dan Pak Muttaqin, terimakasih atas bantuannya.
9. Andhika Dwi Anggara yang selalu memberikan semangat kepada penulis dalam keadaan apapun.
10. Keluarga fisika 2007 beserta empat sekawan (fitri, santi, nunah) terimakasih atas doa, semangat, bantuan, dan senyumnya.
11. Nur Apri Rakhmawati beserta keluarga besar 'kos cantik' yang telah setia menemani penulis.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan.

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

Semarang,

Penulis

ABSTRAK

Aryani, Nila P. 2011. *Pengaruh Doping Cu Terhadap Struktur Dan Sifat Optik Film Tipis CdTe Yang Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Pembimbing Utama Dr. Ngurah Made D.P.,M.Si dan Pembimbing Pendamping Dr. Putut Marwoto, M.S

Kata kunci : Film tipis CdTe, doping Cu, *dc magnetron sputtering*, struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik.

Penumbuhan film tipis CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* sebagai bahan pembuat sel surya telah berhasil dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh doping Cu terhadap struktur dan sifat optik film tipis CdTe. Film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 W selama 2,5 jam. Selanjutnya film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) dideposisi pada suhu 325 °C dan daya 43 W selama 2,5 jam. Struktur mikro film dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*). Struktur kristal film dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) sedangkan sifat optik film dikarakterisasi menggunakan Uv-Vis dan Vis-Nir. Film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 W memiliki morfologi yang tidak rata dan teramati banyak *grain boundaries*. Doping Cu menyebabkan morfologi film yang dihasilkan menjadi lebih rata. Film tipis CdTe memiliki FWHM yang besar. Penambahan doping Cu menyebabkan FWHM semakin kecil yang mengindikasikan kristalinitas film meningkat. Kedua film tidak memiliki karakteristik sifat optik yang baik untuk sel surya karena hanya mampu menyerap spektrum cahaya masing-masing 454 nm ke bawah untuk film CdTe dan 439 ke bawah untuk CdTe:Cu(15%). Selain itu, keduanya memiliki nilai E_g sebesar 3,55 eV, jauh dari nilai E_g yang sesuai untuk aplikasi sel surya (1,5 eV).

Film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya 43 W menunjukkan morfologi yang rata dan *grain size* yang lebih besar. Penambahan doping Cu menyebabkan morfologi film yang dihasilkan lebih rata dan kompak yang menyebabkan kualitas kristal meningkat. Hal tersebut diperkuat dengan tingginya intensitas dan kecilnya nilai FWHM film tipis CdTe:Cu(2%). Keduanya memiliki E_g sebesar 1,52 eV untuk CdTe dan 1,48 eV untuk CdTe:Cu(2%). Selain itu, film tersebut memiliki α sebesar $7.021 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ untuk film tipis CdTe serta $7.348 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ untuk film tipis CdTe:Cu(2%).

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN KELULUSAN	iii
PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Sistematika	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Sel Surya	8
2.2 Cadmium Telluride (CdTe).....	10
2.3 Tembaga (Cu).....	12
2.4 Substrat ITO	13
2.5 <i>Sputtering</i>	13
2.5.1. Fenomena <i>sputtering</i>	13
2.5.2. <i>DC Magnetron Sputtering</i>	14
2.6 Sifat Optik	17
2.7 Karakterisasi film	18

2.7.1. SEM-EDX.....	18
2.7.2. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	20
2.7.3. Uv-Vis-Nir.....	21
2.8. Cacat Kristal.....	21
2.8.1. Cacat Nol Dimensi.....	22
2.8.2. Cacat Dua Dimensi.....	23
2.8.3. Cacat Tiga Dimensi.....	24

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian.....	27
3.1.1 Pembuatan Target CdTe.....	27
3.1.2 Pembuatan Target CdTe:Cu.....	27
3.1.3 Preparasi Substrat.....	28
3.1.4 Penumbuhan Film Tipis CdTe.....	28
3.1.5 Penumbuhan Film Tipis CdTe:Cu.....	30
3.2 Karakterisasi Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu.....	33
3.2.1. SEM (<i>Scanning Electron Microscopy</i>).....	33
3.2.2. EDX.....	33
3.2.3. XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	33
3.2.4. Uv-vis-nir.....	34
3.3 Alur Penelitian.....	35

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.....	38
4.1.1. Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 250 °C dan Daya Plasma 14 watt.....	38
4.1.2. Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 325 °C dan Daya Plasma 43 watt.....	44
4.2 Pembahasan.....	50

4.2.1 Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 250 °C dan Daya Plasma 14 watt.....	50
4.2.2 Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 325 °C dan Daya Plasma 43 watt.....	55
4.3 Hubungan Antara Struktur Mikro, Struktur Kristal, dan Sifat Optik.....	60

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan	61
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA	63
-----------------------------	----

LAMPIRAN	66
-----------------------	----



DAFTAR TABEL

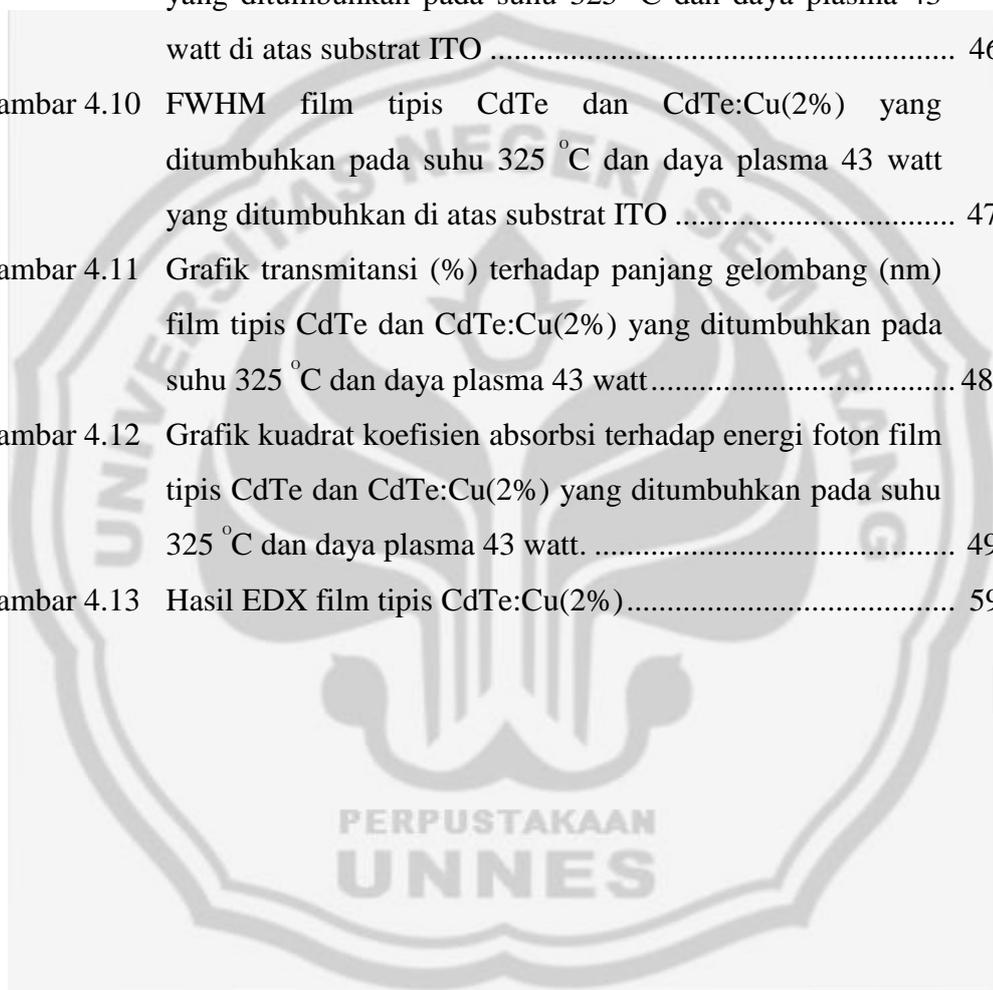
Tabel 3.1 Parameter penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO.....	32
Tabel 3.2 Parameter penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO.....	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konversi energi surya menjadi energi listrik	8
Gambar 2.2	Struktur <i>zinblende</i>	11
Gambar 2.3	Struktur heksagonal CdTe.....	11
Gambar 2.4	Proses <i>sputtering</i> pada permukaan target.....	14
Gambar 2.5	Skema reaksi dalam <i>dc magnetron sputtering</i>	16
Gambar 2.6	Sistem reaktor <i>dc magnetron sputtering</i>	16
Gambar 2.7	Difraksi sinar-X pada karakterisasi XRD	21
Gambar 2.8	Cacat titik	23
Gambar 2.9	Cacat garis (dislokasi).....	24
Gambar 2.10	<i>Grain boundaries</i>	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 4.1	Citra morfologi SEM dengan perbesaran 20.000 kali film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt.....	38
Gambar 4.2	Penampang melintang SEM film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt dengan perbesaran 20.000 kali.....	39
Gambar 4.3	Hasil karakterisasi XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt di atas substrat ITO.....	40
Gambar 4.4	FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt yang ditumbuhkan di atas substrat ITO	41
Gambar 4.5	Grafik absorbansi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt terhadap panjang gelombang.....	42
Gambar 4.6	Grafik kuadrat koefisien absorpsi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt terhadap energi	43

Gambar 4.7	Citra morfologi SEM dengan perbesaran 20.000 kali film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt.....	44
Gambar 4.8	Penampang melintang SEM film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya 43 watt dengan perbesaran 10.000 kali	45
Gambar 4.9	Hasil karakterisasi XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt di atas substrat ITO	46
Gambar 4.10	FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt yang ditumbuhkan di atas substrat ITO	47
Gambar 4.11	Grafik transmitansi (%) terhadap panjang gelombang (nm) film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt.....	48
Gambar 4.12	Grafik kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi foton film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt.	49
Gambar 4.13	Hasil EDX film tipis CdTe:Cu(2%).....	59



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Konstanta Kisi	65
Lampiran 2. Data JCPDS	69
Lampiran 3. Perhitungam Konsentrasi Doping Pada Target CdTe:Cu(15%)..	71
Lampiran 3. Perhitungam Konsentrasi Doping Pada Target CdTe:Cu(2%)....	72



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu hal penting sebagai penunjang kehidupan manusia. Kebutuhan akan energi semakin meningkat seiring dengan perkembangan zaman. Hasil tambang merupakan salah satu contoh sumber energi yang lazim digunakan, akan tetapi sumber energi tersebut merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui karena jumlahnya terbatas dan suatu saat akan habis. Selain itu, penggunaan sumber energi ini dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, salah satunya disebabkan oleh limbah yang dihasilkan hasil tambang tersebut. Oleh karena itu diperlukan adanya sumber energi yang tidak hanya jumlahnya tidak terbatas tetapi juga ramah lingkungan. Sumber energi ini contohnya adalah energi surya (matahari), energi angin, dan energi panas bumi.

Indonesia merupakan salah satu negara yang berpotensi untuk memanfaatkan energi alternatif yang ramah lingkungan. Salah satunya adalah energi surya. Letak geografis Indonesia yang berada di daerah khatulistiwa menyebabkan Indonesia memiliki iklim tropis sehingga intensitas matahari di Indonesia lebih tinggi dibandingkan di negara lain. Menurut Raharjo, sebagaimana dikutip oleh Wibowo (2008: 1) besarnya intensitas penyinaran matahari rata-rata sekitar $4,5 \text{ kWh/m}^2$ hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Oleh

sebab itu Indonesia memiliki potensi untuk memanfaatkan energi matahari sebagai energi alternatif masa depan.

Teknologi fotovoltaik mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik yang disebut dengan divais sel surya (*solar cells*) mulai banyak dikembangkan sebagai salah satu pilihan energi alternatif. Material yang pertama kali dimanfaatkan untuk pembuatan sel surya adalah Si (Silikon) pada tahun 1954 yang disebut *photocell*, akan tetapi penggunaan *photocell* masih jarang digunakan karena sumber energi berupa minyak bumi masih melimpah. Baru pada tahun 1970 teknologi *photocell* dikembangkan. Hal ini dikarenakan terjadinya krisis minyak bumi yang menjadi sumber energi pada saat itu. Ketika pemanfaatan sel surya mulai dikembangkan, muncul masalah baru. Selama ini semikonduktor yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya adalah kristal tunggal silikon. Kristal tunggal silikon masih menjadi pilihan karena teknologinya yang sudah mapan. Selain itu, kristal tunggal silikon tersebut mampu mencapai efisiensi lebih dari 20% untuk skala riset (Wibowo, 2008: 2). Permasalahannya, untuk menghasilkan kristal tunggal silikon diperlukan semikonduktor murni sehingga biaya produksinya tinggi. Silikon yang tersedia di bumi suatu saat juga akan habis jika digunakan secara terus menerus. Selain itu, produksi lempeng silikon yang tersedia tidak dapat mencukupi kebutuhan pasar bila terjadi penggunaan sel surya jenis ini secara massal. Untuk penggunaan secara massal harus dilakukan usaha untuk mempertipis lapisan silikon dari ketebalan sekarang yang mencapai ratusan mikron. Film tipis (*thin film*) merupakan teknologi alternatif yang dapat digunakan untuk pembuatan sel surya. Film tipis adalah suatu lapisan yang sangat

tipis dari bahan organik, inorganik, metal maupun campuran metal yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator (Sudjatmoko, 2003: 1).

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan yang mengkaji semikonduktor semakin meningkat karena fungsi dan aplikasinya. Kemajuan ini didukung oleh penemuan dan pengembangan material semikonduktor yang diaplikasikan sebagai divais elektronik dan optoelektronik dalam bentuk film tipis. Penggunaan semikonduktor lapisan tipis a-Si:H (silikon amorf terhidrogenasi) merupakan material yang banyak digunakan dalam divais optoelektronik yaitu divais yang memanfaatkan pemancaran dan penyerapan foton. Sayangnya, material ini memiliki efisiensi yang rendah.

Material semikonduktor nonsilikon yang diaplikasikan untuk divais sel surya terus dikembangkan. Material semikonduktor polikristal paduan golongan II-VI merupakan material fotovoltaik yang lebih ekonomis dan mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi sehingga sangat cocok digunakan dalam divais sel surya (Compaan *et al.*, 2004: 815). Material tersebut contohnya adalah CdTe, CuInGaSe₂ dan CdS. Material CdTe merupakan material yang paling diminati dibandingkan dengan material lain. Hal ini disebabkan CdTe mempunyai koefisien absorpsi yang tinggi ($>1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$) dan *band gap* 1,5 eV yang merupakan *bandgap* ideal untuk diaplikasikan sebagai divais sel surya. Gupta (2006: 2264) menyatakan bahwa sekitar 1 μm film tipis CdTe mampu mengabsorpsi ~90% foton yang mengenai permukaan film.

Performa tinggi CdTe dalam aplikasinya sebagai sel surya sangat bergantung pada penggunaan *window layer* (Wu, 2004: 807), *back contact* (Zhou

et al., 2007: 7365), dan penambahan doping (Nawarange *et al.*, 2009: 002165). Doping yang ditambahkan pada deposisi film tipis CdTe umumnya adalah Cu (Tembaga), Si (Silikon), dan P (Phospor). Cu lebih sering digunakan karena kemampuannya untuk meningkatkan konduktivitas film tipis CdTe (Dzhafarov *et al.*, 2004: 372) serta meningkatkan *contact behavior* dan *open-circuit voltage* (Voc) dari film tipis tersebut (Demtsu *et al.*, 2007: 2251). Selain itu, Cu juga dapat memperbaiki struktur mikro dan sifat optik CdTe sehingga meningkatkan kualitas film (Rusu, 2005: 886-887). Cu dapat dideposisi dari Cu murni atau campuran Cu seperti Cu_xTe . Banyak parameter digunakan untuk menghasilkan film tipis CdTe yang optimal. Salah satunya dengan menggunakan variasi formula Cu_xTe untuk memperoleh kombinasi film tipis doping Cu yang paling baik untuk aplikasi sel surya. Wu *et al.* (2007: 5798) melaporkan bahwa formula Cu_2Te merupakan kombinasi Cu_xTe yang paling baik dalam aplikasi sel surya.

Selain penggunaan *window layer*, *back contact*, dan penambahan doping, penggunaan substrat pada deposisi film tipis juga dapat mempengaruhi performa sel surya. Substrat yang digunakan sebaiknya memiliki sifat transparan agar cahaya yang datang dapat menembus film. Selain itu, substrat tersebut juga harus mempunyai konduktivitas tertentu agar dapat digunakan untuk menentukan sifat listrik film. Substrat yang lazim digunakan adalah *Indium Tin Oxide* (ITO). ITO memiliki sifat transparan dan memiliki konduktivitas yang baik sehingga cocok digunakan pada deposisi film tipis untuk aplikasi sel surya.

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menumbuhkan film tipis antara lain *close-spaced sublimation* (CSS), *vapor-transport deposition* (VTD),

physical vapor deposition (PVD), *metal-organic chemical vapor deposition* (MOCVD), *molecular beam epitaxy* (MBE), *pulsed laser deposition* (PLD) dan *electrodeposition* (Candless and Sites, 2003). Penggunaan metode yang menggunakan plasma seperti *magnetron sputtering* sangat menguntungkan karena memiliki beberapa kelebihan. Metode *magnetron sputtering* tidak membutuhkan energi yang besar untuk melepas atom–atom target. Selain itu, metode tersebut dapat dioperasikan pada temperatur deposisi yang relatif rendah sehingga mudah dicapai (Compaan *et al.*, 2004: 815). Metode yang digunakan untuk mendeposisi lapisan tipis CdTe dan CdTe:Cu dalam penelitian ini adalah *dc magnetron sputtering*. Penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* menarik untuk dikaji dan diteliti karena selain mempunyai berbagai kelebihan, reaktor tersebut tersedia di laboratorium fisika material Universitas Negeri Semarang dan sudah berhasil untuk menumbuhkan berbagai film tipis pada penelitian sebelumnya.

Film tipis CdTe dan CdTe:Cu yang telah ditumbuhkan perlu dikarakterisasi untuk mengetahui struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik film tipis tersebut. Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscopy*) digunakan untuk mengetahui struktur mikro film berupa penampang permukaan (*surface*) dan penampang melintang, karakterisasi XRD (*X-ray diffraction*) digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan orientasi bidang kristal sedangkan sifat optik film dapat diketahui dari karakterisasi Uv-Vis dan Vis-Nir. Karakterisasi Uv-Vis dan Vis-Nir memberikan informasi mengenai nilai transmitansi, absorbansi,

reflektansi, dan nilai celah pita optik (*optical bandgap*) film tipis yang telah ditumbuhkan.

Dari hasil karakterisasi dapat diketahui pengaruh doping Cu terhadap struktur dan sifat optik film tipis CdTe yang telah ditumbuhkan sehingga kondisi optimal untuk penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu dapat diketahui.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dikaji adalah bagaimanakah pengaruh doping Cu terhadap struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik film tipis CdTe yang ditumbuhkan di atas substrat ITO menggunakan metode *dc magnetron sputtering*.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh doping Cu terhadap struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik film tipis CdTe yang ditumbuhkan di atas substrat ITO menggunakan metode *dc magnetron sputtering*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui pengaruh doping Cu terhadap struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik film tipis CdTe yang ditumbuhkan di atas substrat ITO dengan metode *dc magnetron sputtering*. Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan pada proses penumbuhan dan karakterisasi film tipis CdTe dan CdTe:Cu dengan metode *dc magnetron sputtering* berikutnya

sehingga diharapkan dapat ditumbuhkan film tipis CdTe yang sesuai untuk pembuatan sel surya.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dalam 5 Bab yang diawali dengan halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, halaman motto, halaman persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Bab I berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Bab II menjelaskan kajian pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian ini. Kajian pustaka berisi penjelasan mengenai sel surya, material CdTe, material Cu, struktur mikro, sifat optik dan *sputtering*. Metode penelitian yang dilakukan dalam pelaksanaan eksperimen dibahas dalam Bab III yaitu meliputi pembuatan target CdTe, pembuatan target CdTe:Cu, preparasi substrat, penumbuhan lapisan tipis, karakterisasi film tipis CdTe dan metode analisis data. Bab IV memaparkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan hasil penelitian. Analisis dan pembahasan hasil penelitian meliputi analisis dan pembahasan morfologi permukaan, struktur kristal, dan sifat optik film tipis CdTe. Simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya dipaparkan dalam Bab 5. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka bahan kajian pustaka dan lampiran hasil penelitian.



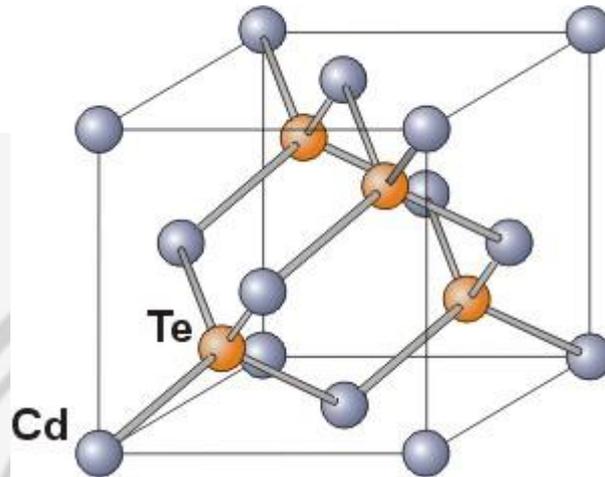
dihasilkan sel surya yang murah, ramah lingkungan serta memiliki efisiensi tinggi. Pada sekitar akhir abad 19, aliran listrik sel surya ditemukan oleh ahli fisika Jerman bernama Alexandre Edmond Becquerel yang secara kebetulan menemukan berkas sinar matahari jatuh pada larutan elektro kimia sehingga muatan elektron pada larutan meningkat. Belum ada penjelasan ilmiah mengenai peristiwa tersebut pada saat itu. Baru akhirnya pada tahun 1954 sel surya mulai dikembangkan dengan bahan utamanya adalah silikon yang disebut *photocell*. Di Indonesia, pengembangan sel surya sudah dilakukan pada tahun 1980-an. Penerapan pertama pemanfaatan energi surya dilakukan oleh Lembaga Elektronika Nasional (LEN). Untuk menjangkau masyarakat di daerah terpencil, pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tampaknya akan menjadi sebuah tuntutan yang tidak bisa ditawar. Selain sumber energinya (matahari) begitu melimpah sehingga pemanfaatannya tak terbatas, PLTS juga relatif lebih mudah dalam pemasangan dan perawatan, ramah lingkungan, tahan lama, serta tidak menimbulkan radiasi elektromagnetik yang berbahaya bagi kesehatan. Selain itu, PLTS bisa digunakan untuk segala kebutuhan, seperti penerangan rumah tangga, pompa air, atau telekomunikasi. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan bahan semikonduktor yang mempunyai koefisien absorpsi tinggi agar dapat dimanfaatkan sebagai divais sel surya secara maksimal.

2.2 Cadmium Telluride (CdTe)

Pengembangan material semikonduktor paduan golongan II-VI untuk aplikasi sel surya terus dilakukan. Material yang banyak dikembangkan adalah CuInGaSe₂ dan CdTe. Cadmium telluride merupakan material yang paling banyak diminati karena indium yang jumlahnya terbatas dan harganya yang mahal. Dua sifat menarik dari material ini ialah memiliki *band gap* yang ideal untuk konversi efisiensi yaitu sebesar 1,5 eV dan mempunyai koefisien absorpsi optik yang tinggi ($> 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$) (Gupta *et al.*, 2006: 2264). 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 oleh material sedikit. 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 mengeksitasi elektron, jadi cahaya tersebut tidak diserap. *Band gap* material semikonduktor merupakan kuantitas atau besaran energi. Secara spesifik dinyatakan sebagai energi minimum yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron dari pita valensi (tingkat energi rendah) ke pita konduksi (tingkat energi lebih tinggi) (Wibowo, 2008: 12)

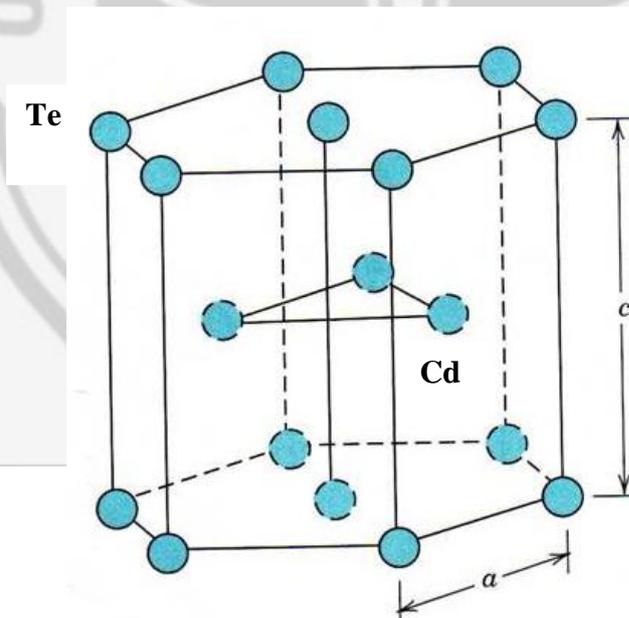
Cadmium Telluride (CdTe) mempunyai struktur heksagonal dan *cubic zincblende*. Struktur *zincblende* merupakan struktur paling baik dalam divais sel surya khususnya pada heterostruktur CdTe/CdS karena dapat mengurangi

keadaan interface pada *junction* (Carnaru, 2006). Struktur *zincblende* ditunjukkan pada Gambar 2.2 sedangkan struktur heksagonal ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.2 Struktur *zincblende*

(<http://www.nssp.uni-saarland.de/> diunduh tanggal 1 Agustus 2011)



Gambar 2.3 Struktur heksagonal CdTe

2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) digunakan sebagai akseptor dopan untuk film tipis CdTe. Cu dapat memperbaiki struktur mikro sehingga meningkatkan kualitas kristal. Selain itu, Cu juga dapat menurunkan resistivitas sehingga meningkatkan konduktivitas film. Tembaga dapat dideposisi dari Cu murni atau paduan Cu, seperti Cu_xTe . Banyak parameter yang dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh Cu seperti ketebalan Cu, deposisi Cu, dan temperatur *annealing*. Deposisi campuran Cu_xTe yang paling baik untuk aplikasinya sebagai divais sel surya adalah Cu_2Te (Wu *et al.*, 2007: 5798).

Kehadiran Cu dalam sebuah kristal tunggal CdTe berperan sebagai ion *interstitial* (Cu^+) yang akan menimbulkan *shallow state*. Selain itu kehadiran Cu juga dapat mengganti posisi atom Cd dan membentuk *deep acceptor state* (Cu_{cd}^-) serta dapat pula membentuk ($\text{Cu}_i^+ + \text{V}_{\text{cd}}^{-2}$) dan ($\text{Cu}^+ - \text{Cu}_{\text{cd}}$) kompleks. Kompleks tersebut meliputi Cu dan cadmium *vacancies* yang merupakan *shallow acceptor* (Dzhafarov *et al.*, 2005: 372). Cu merupakan pengotor dengan kemampuan berpindah tempat yang tinggi dalam film CdTe. Oleh karena itu Cu dapat berdifusi dari *back contact* ke *interface* selama fabrikasi dan hal tersebut dapat mengubah karakteristik fotovoltaiik.

Difusi Cu dalam kristal tunggal CdTe dapat terjadi dalam dua kelompok, yaitu :

- 1) *Fast diffusion* yaitu difusi Cu yang komponennya adalah Cu_i^+
- 2) *Slower diffusion* yaitu difusi Cu yang komponennya adalah Cu_{cd} dan kompleks.

2.4 Substrat ITO

Performa film tipis dalam aplikasinya sangat bergantung pada substrat yang digunakan saat deposisi. Terdapat beberapa jenis substrat yang digunakan untuk deposisi film tipis diantaranya adalah *saphire*, *corning glass*, silikon, dan TCO (*Transparent Conducting Oxide*). TCO merupakan jenis substrat yang bersifat transparan dan memiliki nilai konduktivitas tinggi.

Substrat inilah yang cocok digunakan untuk deposisi film tipis dalam aplikasinya sebagai sel surya (Wu, 2004: 804). Salah satu jenis TCO yang lazim digunakan adalah ITO (*Indium Tin Oxide*). ITO memiliki sifat transparan dan memiliki konduktivitas yang baik sehingga cocok digunakan pada deposisi film tipis untuk aplikasi sel surya.

2.5 Sputtering

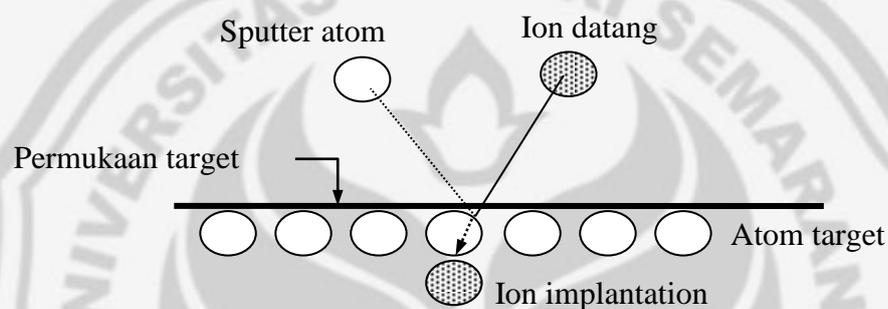
Sputtering adalah proses terhamburnya atom-atom dari permukaan bahan padat karena memperoleh energi yang cukup dari penembakan partikel-partikel berenergi tinggi (Konuma, 1992:111).

2.5.1 Fenomena *Sputtering*

Sputtering pertama kali diamati dalam sebuah tabung lucutan gas DC oleh Grove pada tahun 1852. Grove menemukan bahwa katoda tabung lucutan tersputter oleh ion-ion dalam lucutan gas, dan material katoda terdeposit pada dinding dalam tabung lucutan. Pada waktu itu *sputtering* dipandang sebagai

suatu fenomena yang tidak dikehendaki karena katoda dan grid dalam tabung lucutan gas menjadi rusak (Suryadi, 2003:18-19).

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 terhambur keluar dari permukaan target seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.4



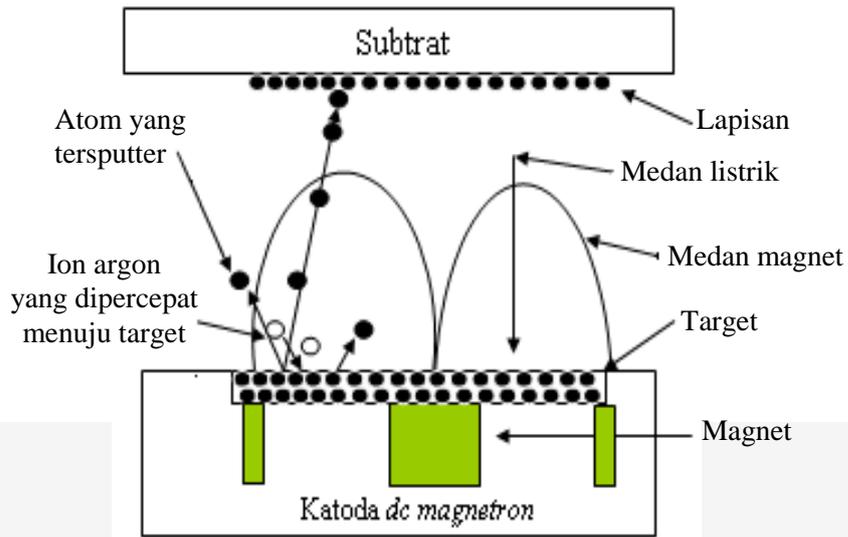
Gambar 2.4. Proses *sputtering* pada permukaan target (Wibowo, 2008)

2.5.2 DC Magnetron Sputtering

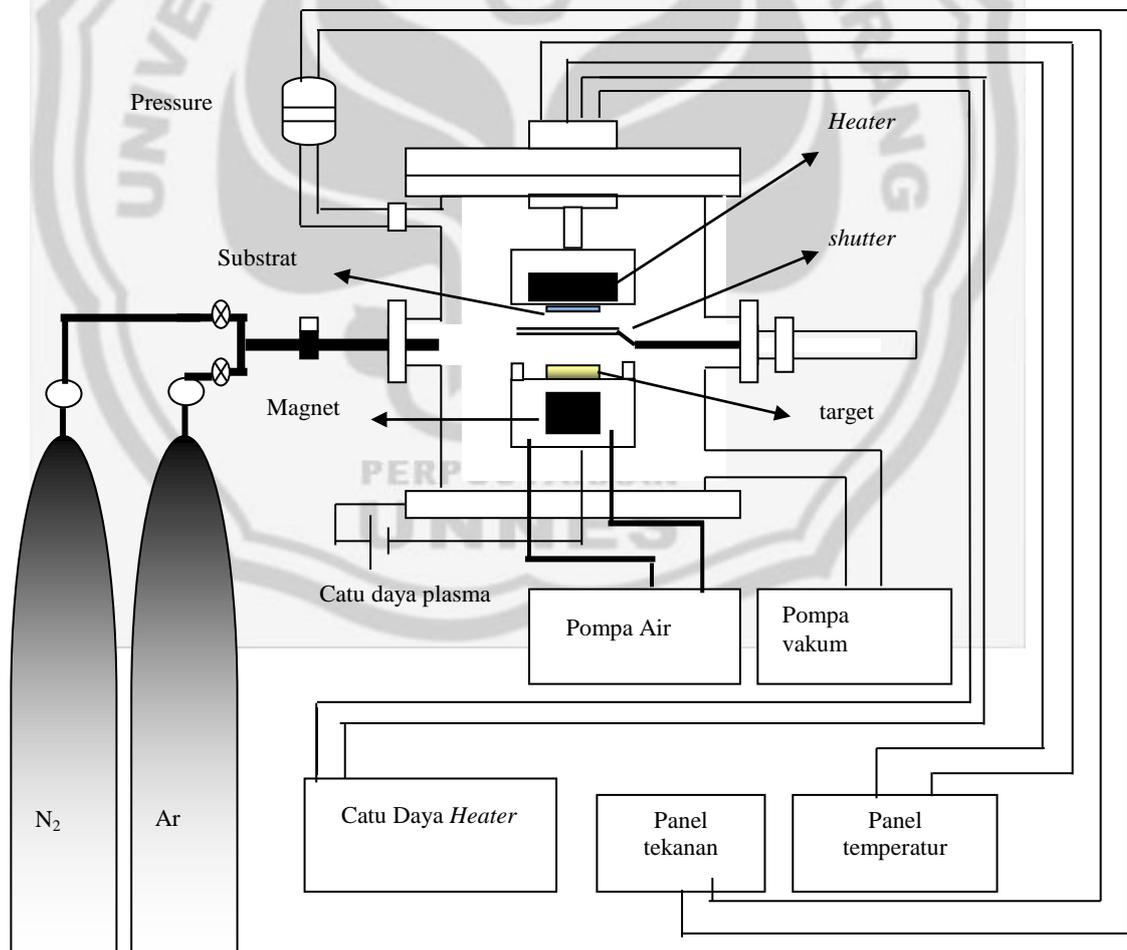
Sistem *dc magnetron sputtering* merupakan modifikasi dari sistem *dc sputtering* dengan menambahkan sistem magnet, sehingga sistem *dc magnetron sputtering* terdiri dari tabung plasma berbentuk silinder, sumber tegangan tinggi, sepasang elektroda, sistem pemanas substrat, sistem pendingin target dan magnet, sistem vakum, sistem masukan gas *sputter* dan sistem magnet. Target dipasang pada katoda dengan sistem magnet di bawahnya serta sistem pendingin target dan magnet sedangkan substrat

dipasang pada anoda. Apabila tabung sputter diisi dengan gas Ar (argon) dan pada elektroda diberi 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.

Untuk mencegah terjadi *resputtering* dan meningkatkan derajat ionisasi pada film tipis yang ditumbuhkan, maka sistem magnet diletakkan di bawah katoda. Magnet membentuk selubung medan magnet untuk membelokkan partikel bermuatan. Elektron-elektron dikurung dalam selubung 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 (Joshi, 2003). Skema reaksi dan sistem reaktor *dc magnetron sputtering* dipaparkan dalam Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5. Skema reaksi dalam *dc magnetron sputtering* (Joshi, 2003)



Gambar 2.6. Sistem reaktor *dc magnetron sputtering* (Sulhan,

2.6 Sifat Optik

Ketika cahaya mengenai suatu material, fenomena optik seperti absorpsi, reflektansi, dan transmitansi dapat diketahui. Dari fenomena optik ini dapat diketahui informasi mengenai besarnya *band gap* material (E_g). Terdapat beberapa proses yang dapat berkontribusi dalam absorpsi. Pada energi foton yang tinggi yaitu lebih dari energi *gap*, absorpsi terjadi oleh transisi elektron dari pita valensi yang penuh menuju pita konduksi yang kosong. Untuk energi di bawah energi *gap*, radiasi diserap karena formasi dari transisi eksiton dan elektron antara pita dan impuritas. Transisi dari pembawa muatan bebas dalam pita energi menghasilkan rangkaian absorpsi yang akan naik dengan menurunnya energi foton. Setiap material mengabsorpsi cahaya karena adanya interaksi antara foton dengan elektron dan struktur ikatan dari atom, ion atau molekul yang menyusun material tersebut. Cahaya yang ditransmisikan oleh suatu material tergantung pada seberapa besar cahaya yang dipantulkan (*reflected*) dan yang diserap (*absorbed*) oleh material. Untuk foton dengan panjang gelombang (λ), jumlah dari besarnya nilai reflektansi, absorpsi dan transmitansi adalah satu (Sugianto, 2005: 97-98).

$$R+T+A = 1 \quad (2.1)$$

Jika energi foton lebih besar dari energi *gap* (E_g), kelebihan energinya akan didisipasikan menjadi panas. Untuk semikonduktor yang diberi impuritas donor atau akseptor, elektron mengabsorpsi energi foton yang lebih rendah untuk pindah dari pita valensi ke tingkat akseptor (*acceptor level*) atau dari tingkat donor (*donor level*) ke pita konduksi (Smith, F.W., 1993: 782-783).

Ada dua jenis transisi optik yang berkaitan dengan proses absorpsi yaitu transisi langsung (*direct band to band transition*) dan transisi tidak langsung (*indirect band to band transition*). Tepi absorpsi optik (*optical absorption edge*) pada celah pita energi langsung (*direct band gap*) diasumsikan dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.2) yaitu:

$$\alpha = \alpha_0 (E - E_g)^{\frac{1}{2}}, \text{ untuk } E > E_g \quad (2.2)$$

dengan E merupakan energi foton, E_g adalah energi *gap* atau celah pita energi dan α merupakan koefisien absorpsi.

Nilai α juga dapat dicari melalui nilai transmitansi yang diperoleh hubungan :

$$\alpha = \frac{\ln T}{b} \quad (2.3)$$

dengan T merupakan transmitansi dan b merupakan ketebalan sampel.

2.7 Karakterisasi Film

2.7.1. SEM-EDX

SEM (*Scanning Electron Microscope*) merupakan mikroskop elektron yang biasa digunakan dalam ilmu pengetahuan material. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui struktur mikro film tipis. Struktur mikro lapisan tipis bergantung pada kinematika penumbuhan yang dipengaruhi oleh temperatur, sifat kimia serta gas lingkungan. Citra SEM memberikan informasi mengenai bentuk morfologi, struktur mikro, ukuran dan ketebalan

lapisan tipis. Hasil citra SEM menunjukkan penampang permukaan serta penampang lintang dari sampel (Rufaedah, 2009: 20).

Pada SEM, pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan didifraksikan. Elektron yang terdifraksi dapat diamati dalam bentuk pola-pola difraksi. Pola difraksi yang nampak bergantung pada bentuk serta ukuran sel satuan sampel.

SEM menggunakan prinsip *scanning*, yaitu berkas elektron diarahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu daerah objek menyerupai gerakan membaca. Gerakan membaca ini disebut dengan *scanning*.

Informasi yang diperoleh dari EDX (*Energy Dispersive X-Spectroscopy*) langsung berupa spektrum energi sinar-X dan intensitasnya. Jenis atom atau unsur-unsur yang terkandung dalam film tipis dapat diketahui dari spektrum energi sinar-X. Presentase unsur-unsur yang terkandung dalam film tipis dapat diketahui dari besarnya intensitas. Prinsip dari metode EDX ini adalah mendeteksi karakteristik sinar-X yang dipancarkan oleh unsur-unsur yang terdapat dalam film tipis. Interaksi antara berkas elektron berenergi tinggi dengan atom-atom yang terdapat dalam film tipis mengakibatkan timbulnya sinar-X, sehingga terjadi eksitasi elektron, yaitu elektron dari kulit yang satu berpindah ke kulit yang lain (dari kulit berenergi rendah ke energi lebih tinggi). Karakterisasi dari EDX ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan jumlah unsur yang terkandung dalam film tipis.

2.7.2. XRD (*X-Ray Diffraction*)

XRD digunakan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis. XRD menggunakan prinsip Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bila atom-atom pada kristal ditumbuk oleh partikel yang ukurannya seorde dengan ukuran atom, maka partikel tersebut akan dipantulkan dengan sudut yang tidak dapat dipastikan arahnya. Oleh sebab itu, yang terjadi adalah peristiwa hamburan atau difraksi dengan menganggap kristal sebagai pusat-pusat hamburan yang menempati titik-titik kekisi. Difraksi akan saling menguatkan jika memenuhi persamaan Bragg sebagai berikut:

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.4)$$

dengan n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar atom bahan dan θ merupakan sudut difraksi. Untuk menentukan konstanta kisi (a dan c) digunakan persamaan:

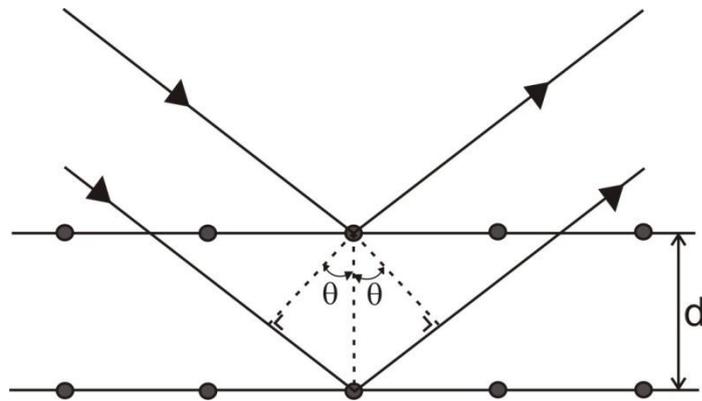
$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (2.5)$$

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{3} \left(\frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \left(\frac{l}{c} \right)^2}} \quad (2.6)$$

$$\frac{c}{a} = \sqrt{\frac{8}{3}} \quad (2.7)$$

dengan h , k , dan l merupakan orientasi tertinggi yang dihasilkan.

Skema difraksi sinar-X pada karakterisasi XRD diilustrasikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Difraksi sinar-X pada karakterisasi XRD

2.7.3. UV-Vis dan Vis-Nir

Karakterisasi Uv-Vis dan Vis-Nir memberikan informasi mengenai nilai absorpsi, reflektansi dan transmitansi film tipis. Selain itu, dari karakterisasi Uv-Vis dan Vis-Nir juga dapat diperoleh nilai energi *gap* (E_g) dan sifat optik material yang telah ditumbuhkan. Nilai energi *gap* dapat diperoleh melalui ekstrapolasi linier grafik antara kuadrat koefisien absorpsi dan energi (Sugianto, 2005: 98).

2.8. Cacat Kristal

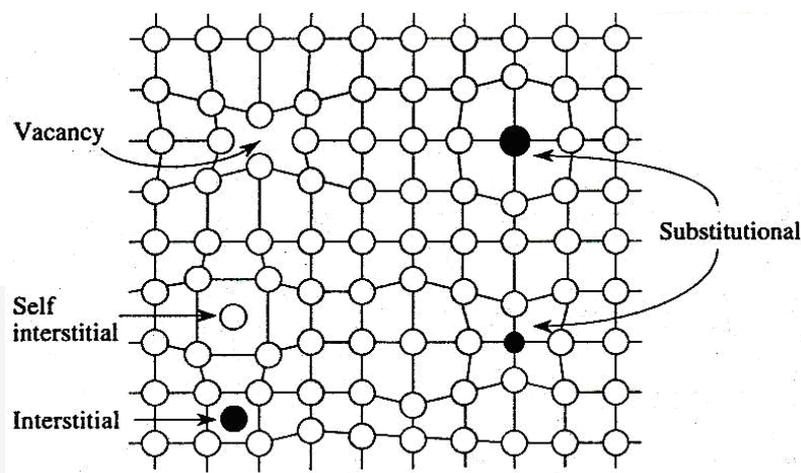
Ketidaktepurnaan dalam kisi kristal dinamakan sebagai cacat. Cacat yang sering terjadi dalam pembentukan film tipis adalah cacat titik (*point defect*) dan cacat garis (*dislocation*). Cacat titik merupakan cacat nol dimensi yang terdiri dari atom tunggal atau beberapa atom. Cacat titik dapat menyebabkan gangguan lokal di dalam kristal. Pertama, gangguan yang

menyebabkan perubahan potensial periodik dalam satu atau beberapa unit sel atau yang dinamakan sebagai *deep level* (keadaan tingkat energi yang berbeda jauh dari energi pita valensi E_v dan pita konduksi E_c). Kedua, terjadi perubahan potensial yang semakin luas, meliputi lebih dari sepuluh unit sel dinamakan sebagai *shallow level* (keadaan tingkat energi yang berdekatan dengan E_c dan E_v) (Singh, 1995).

Cacat kristal digolongkan menurut geometri dan pembentuknya. Ketiga divisi utama adalah cacat nol dimensi, cacat dua dimensi, dan cacat tiga dimensi

2.8.1. Cacat Nol Dimensi

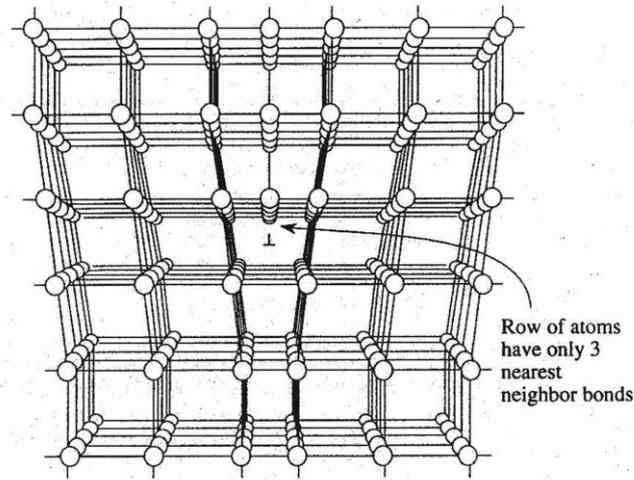
Cacat nol dimensi adalah contoh dari cacat titik. Cacat titik digolongkan menjadi tiga macam yaitu kekosongan (*vacancy*), *interstitial* dan *antisite*. Kekosongan adalah cacat kristal yang terjadi karena atom-atom tidak menempati posisi pada kristal sehingga posisi atom tidak terisi (kosong). Kekosongan disebabkan karena adanya gangguan lokal, susunan atom dalam kristal karena mobilitas atomik, pendinginan sangat cepat dan faktor eksternal. *Interstitial* adalah cacat kristal yang terjadi karena adanya penambahan atom-atom (logam atau nitrogen) yang masuk di antara kekisi kristal yang terjadi karena faktor dari luar seperti radiasi. *Antisite* adalah cacat kristal yang terjadi karena kation menempati posisi anion dan sebaliknya anion menempati posisi kation. Cacat titik (*vacancy*, *self interstitial* dan *interstitial*) dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Cacat titik (*vacancy, self interstitial dan interstitial*)

2.8.2. Cacat Dua Dimensi

Cacat garis (*two dimensions*) sering disebut juga dislokasi. Dislokasi terjadi jika ada dua atom yang bertemu tetapi ukurannya berbeda (Smith, 1998). Dislokasi menyebabkan atom-atom terlepas dari ikatan tetangga terdekatnya yang dapat menghasilkan *deep level* pada pita energi. *Deep level* dapat menjadi perangkap elektron dan lubang (*hole*) saat proses rekombinasi pada pita energi. Dislokasi digolongkan menjadi dua macam yaitu *edge* dan *screw*. *Edge* adalah dislokasi yang disebabkan karena pengaruh ukuran sedangkan *screw* dikarenakan pengaruh gaya tekan. Cacat garis diilustrasikan pada Gambar 2.9.

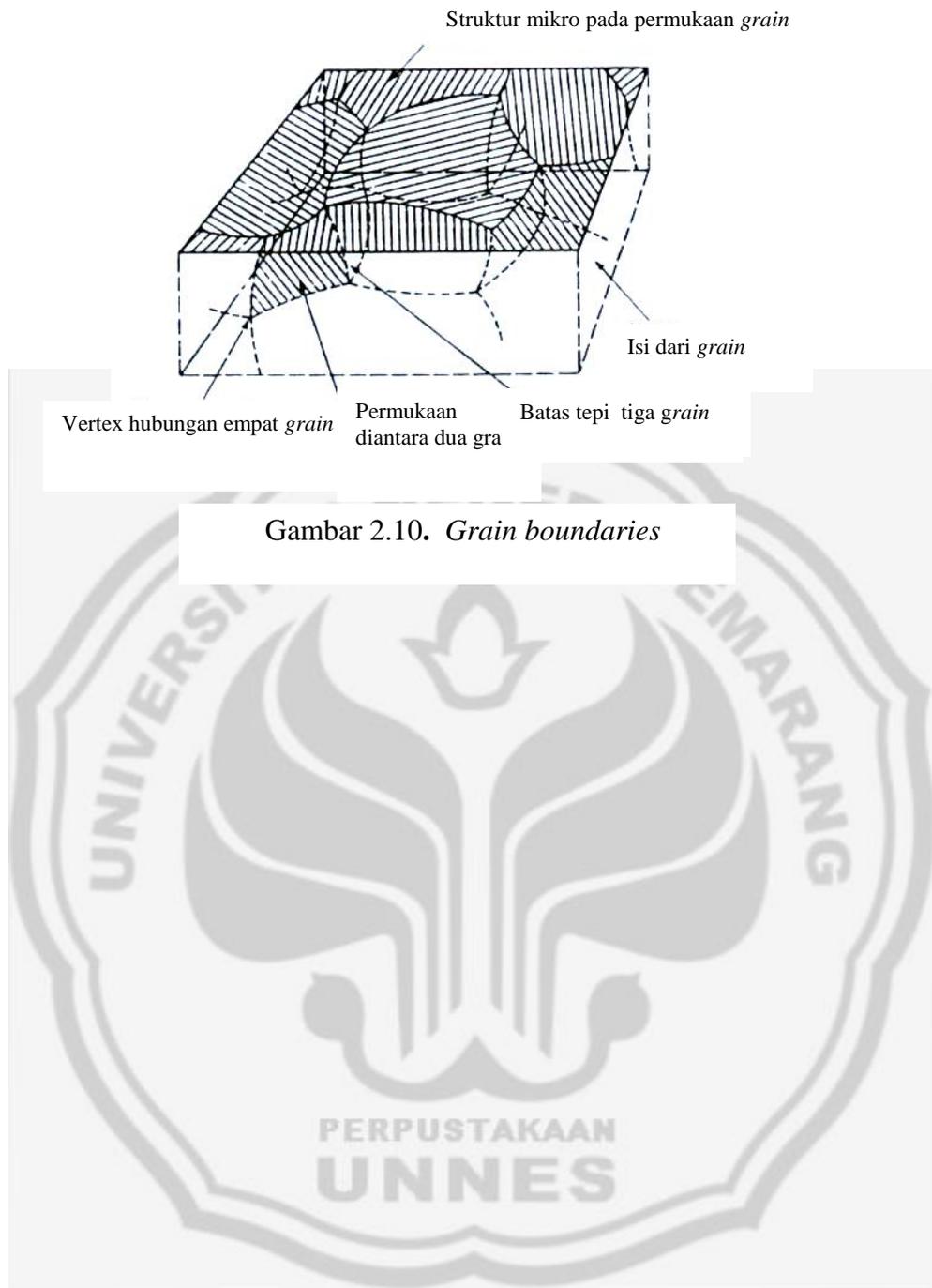


Gambar 2.9. Cacat garis (dislokasi)

2.8.3. Cacat Tiga Dimensi

Contoh dari cacat tiga dimensi adalah *grain boundaries*. *Grain boundaries* adalah cacat permukaan pada material polikristal yang memisahkan *grain* dari orientasi yang berbeda. Pada *grain boundaries* logam karena pembekuan, kristal yang terbentuk dari *nukleus* yang berbeda secara serempak bertemu satu sama lain. Bentuk *grain boundaries* ditentukan oleh *grain* yang berdekatan.

Grain boundaries pada material logam atau keramik dapat dilihat seperti Gambar 2.10 yang berwarna gelap. *Grain boundaries* merupakan daerah sempit antara dua *grain* sampai lima lebar diameter atom dan daerah antara atom yang bersebelahan.



BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara garis besar mencakup tiga tahap. Persiapan dan preparasi target dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UNNES dan Laboratorium Fisika UNNES. Deposisi film tipis menggunakan *dc magnetron sputtering* di atas substrat ITO dilakukan di Laboratorium Fisika UNNES sedangkan karakterisasi film tipis dilakukan di Universitas Gadjah Mada, Laboratorium PPGL Bandung serta di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Analisis data dilakukan di Laboratorium Fisika UNNES. Film tipis yang telah ditumbuhkan kemudian dikarakterisasi. Data hasil karakterisasi selanjutnya digrafiskan, dianalisis, dideskripsikan dan diinterpretasikan dengan merujuk referensi yang terkait. Sifat fisis yang dikaji adalah struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik film tipis yang dikarakterisasi menggunakan SEM, XRD, EDX, Uv-Vis dan Vis-Nir. Karakterisasi SEM dan EDX dilakukan di PPGL Bandung, karakterisasi XRD dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Gadjah Mada sedangkan karakterisasi Uv-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Fisik UGM. Karakterisasi Vis-Nir dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Penumbuhan lapisan tipis CdTe dan CdTe:Cu di atas ITO dengan metode *dc magnetron sputtering* dilakukan di laboratorium Fisika FMIPA UNNES, sedangkan karakterisasi lapisan tipis dilakukan di laboratorium

Kimia UGM, Universitas Negeri Semarang, PPGL Bandung dan Laboratorium fisika UNNES.

5.1 Prosedur Penelitian

3.1.1 Pembuatan Target CdTe

Target dibuat dengan sistem pengepresan. Bahan yang digunakan untuk membuat target adalah 15 gram serbuk CdTe dengan kemurnian 99,99%. Serbuk CdTe dituang dalam cetakan dan dipres atau dimampatkan dengan kekuatan tekanan semaksimal mungkin sehingga menghasilkan pelet. Sistem pengepresan menggunakan sistem pres hidrolis. Target yang berbentuk pelet diambil dari cetakan kemudian disintering dengan menggunakan *furnace* pada temperatur 700 °C selama satu jam, kemudian target dikeluarkan dan didinginkan.

3.1.2 Pembuatan Target CdTe:Cu

Pembuatan target CdTe:Cu(15%) dan CdTe:Cu(2%) dibuat dari serbuk CdTe dan Cu₂Te dengan kemurnian CdTe 99,99% dan Cu₂Te 99,9%. Massa total campuran CdTe dan Cu₂Te adalah 10 gram untuk CdTe:Cu(15%) dan 15 gram untuk CdTe:Cu(2%). Mekanisme pembuatannya meliputi penggerusan selama 2 jam, pemadatan atau pengepresan dengan sistem pompa hidrolik menjadi pelet dengan diameter 2,5 cm, kemudian pelet disintering pada suhu 700 °C selama 2 jam dan didinginkan. Pelet CdTe:Cu dapat digunakan sebagai target dalam penumbuhan film tipis.

3.1.3 Preparasi Substrat

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ITO. Substrat dicuci dengan menggunakan aseton kemudian dilanjutkan dengan menggunakan methanol. Substrat dikeringkan dengan menyemprotkan gas oksigen dan selanjutnya substrat siap untuk digunakan.

3.1.4 Penumbuhan Film Tipis CdTe

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

1. Sebelum pemasangan substrat dan proses pemvakuman dimulai, chamber dikondisikan dalam keadaan bersih.
2. Membuka chamber, melepas karet di dalamnya dan membersihkan 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. Menekan tombol *reset* pada alat kemudian menyeting suhu pada 100 °C untuk memasang substrat (melekatkan pasta perak).
6. Memasang substrat pada anoda menggunakan pasta perak dan target CdTe dipasang pada katoda.

7. Mengeringkan pasta perak dengan memanaskan anoda pada suhu 100 °C.
8. Menghidupkan pompa vakum.
9. Setelah vakum chamber dipanaskan sesuai suhu yang diinginkan.
10. Tekanan diatur dengan mengalirkan gas argon .
11. Setelah suhu dan tekanan stabil, menghidupkan dan mengatur plasma sesuai dengan parameter yang akan digunakan. Besarnya daya plasma dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P(\text{watt}) = V_s I - I^2 R_s$$

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 *close* knop gas pada *dc magnetron sputtering* dan knop gas argon.
 - b) Menyetting off suhu dengan cara **sel>prog>off>enter>sv**.
 - c) Memutar knop *cattudaya heater* sampai angka 0 volt kemudian matikan.
 - d) Menunggu suhu turun sampai 200 °C matikan pompa *vacuum*.
 - e) Menunggu suhu turun sampai 100 °C matikan pompa air.
 - f) Menunggu suhu turun sampai 60 °C chamber dibuka dengan membuka tutup *vacuum* yang terletak di sebelah chamber terlebih dahulu.
15. Mengambil sampel dan membersihkan chamber seperti keadaan semula.

3.1.5 Penumbuhan Film Tipis CdTe:Cu

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

1. Sebelum pemasangan substrat dan proses pemvakuman dimulai, chamber dikondisikan dalam keadaan bersih.
2. Membuka chamber, melepas karet di dalamnya dan membersihkan 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. Menekan tombol *reset* pada alat kemudian menyetting suhu pada 100 °C untuk memasang substrat (melekatkan pasta perak).
6. Memasang substrat pada anoda menggunakan pasta perak dan target CdTe dipasang pada katoda.
7. Mengeringkan pasta perak dengan memanaskan anoda pada suhu 100 °C.
8. Menghidupkan pompa vakum.
9. Setelah vakum chamber dipanaskan sesuai suhu yang diinginkan.
10. Tekanan diatur dengan mengalirkan gas argon.

11. Setelah suhu dan tekanan stabil, menghidupkan dan mengatur plasma sesuai dengan parameter yang akan digunakan. Besarnya daya plasma dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P(\text{watt}) = V_s I - I^2 R_s$$

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 *close* knop gas pada *dc magnetron sputtering* dan knop gas argon.
- b) Menyetting off suhu dengan cara **sel>prog>off>enter>sv**.
- c) Memutar knop caturdaya heater sampai angka 0 volt kemudian matikan.
- d) Menunggu suhu turun sampai 200 °C matikan pompa *vacuum*.
- e) Menunggu suhu turun sampai 100 °C matikan pompa air.
- f) Menunggu suhu turun sampai 60 °C chamber dibuka dengan membuka tutup *vacuum* yang terletak di sebelah chamber terlebih dahulu.

15. Mengambil sampel dan membersihkan chamber seperti keadaan semula.

Tabel 3.1. Parameter penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO

No.	Nama Sampel	Deskripsi Sampel	Parameter		
			Suhu (T)	Daya Plasma (P)	Waktu Deposisi
1.	A	CdTe	250 °C	14 watt	2,5 jam
2.	B	CdTe:Cu(15%)	250 °C	14 watt	2,5 jam

Tabel 3.2. Parameter penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan di atas substrat ITO

No.	Nama Sampel	Deskripsi Sampel	Parameter		
			Suhu (T)	Daya Plasma (P)	Waktu Deposisi
1.	C	CdTe	325 °C	43 watt	2,5 jam
2.	D	CdTe:Cu(2%)	325 °C	43 watt	2,5 jam

Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan doping Cu ke dalam *bulk* CdTe. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh doping Cu terhadap CdTe dengan menumbuhkan film tipis dengan doping Cu dan tanpa doping Cu. Sampel A dan sampel B diberi perlakuan *annealing* pada suhu 300 °C selama 1 jam. Tabel 3.1 menunjukkan parameter penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt sedangkan Tabel 3.2 menunjukkan parameter penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt.

5.2 Karakterisasi Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu

3.2.1 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning electron microscopy merupakan suatu alat yang digunakan untuk menganalisis struktur mikro lapisan tipis berupa penampang permukaan (*surface*) serta penampang melintang (*cross section*). SEM menyediakan pengukuran dengan resolusi skala mikro dan dapat digunakan untuk menentukan cacat mikrostruktur lapisan tipis. Dari hasil SEM dapat diketahui *grain boundaries*, ketebalan sampel, serta keseragaman ukuran bulir lapisan tipis yang terjadi pada lapisan tipis tersebut.

3.2.2 EDX

Dari karakterisasi EDX dapat diperoleh informasi mengenai presentase unsur-unsur yang terkandung dari film tipis dapat diketahui dari besarnya intensitas. Dalam penelitian ini, karakterisasi EDX digunakan untuk membuktikan bahwa film tipis CdTe:Cu telah berhasil ditumbuhkan. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya prosentase Cu.

3.2.3 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Struktur kristal film tipis dapat diperoleh dari karakterisasi XRD. Dari karakterisasi XRD diperoleh kurva difraktogram yang dapat dikembangkan untuk mengetahui nilai FWHM (*Full Width Half Maximum*) film tipis. Kualitas kristal film tipis dapat ditentukan dari nilai FWHM. Nilai FWHM dapat diperoleh dengan memotong kurva difraktogram yang menunjukkan

intensitas tertinggi. Menurut Suryanarayana sebagaimana dikutip Wibowo (2008: 28-29) semakin kecil nilai FWHM semakin baik kualitas kristal.

3.2.4 UV-Vis dan Vis-Nir

Karakterisasi sifat optik dilakukan dengan menggunakan Uv-Vis dan Vis-Nir. Uv-Vis dan Vis-Nir merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui transmitansi, absorbansi, dan reflektansi. Alat Vis-Nir yang digunakan adalah CHEMUSB4VIS-NIR dengan rentang panjang gelombang antara 400 nm sampai 1000 nm sedangkan Uv-Vis mempunyai panjang gelombang antara 200 nm sampai 800 nm. Film tipis yang baik untuk aplikasi sel surya adalah film yang mengabsorpsi seluruh cahaya tampak. Nilai energi *gap* diperoleh melalui ekstrapolasi linier dari grafik antara kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi (eV) (Sugianto, 2005: 98) serta dapat pula diperoleh dari grafik antara reflektansi (%) terhadap energi (eV) (Resdianto, 2007: 32). Posisi *band gap* dari spektrum reflektansi terletak pada puncak maksimum pertama osilasi.

Nilai koefisien absorpsi film tipis dapat diketahui dari menggunakan nilai transmitansi film tipis. Transmitansi merupakan perbandingan antara intensitas cahaya mula-mula (I_0) dengan intensitas cahaya setelah melewati material semikonduktor (I) yang dinyatakan dalam persamaan:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.1)$$

dengan T merupakan nilai transmitansi material semikonduktor.

Dengan asumsi bahwa besarnya intensitas radiasi berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan film sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$I = I_0 e^{-\alpha b} \quad (3.2)$$

Selanjutnya Persamaan (3.1) di substitusikan ke dalam Persamaan (3.2) maka diperoleh persamaan:

$$T = e^{-\alpha b} \Rightarrow \ln T = -\alpha b$$

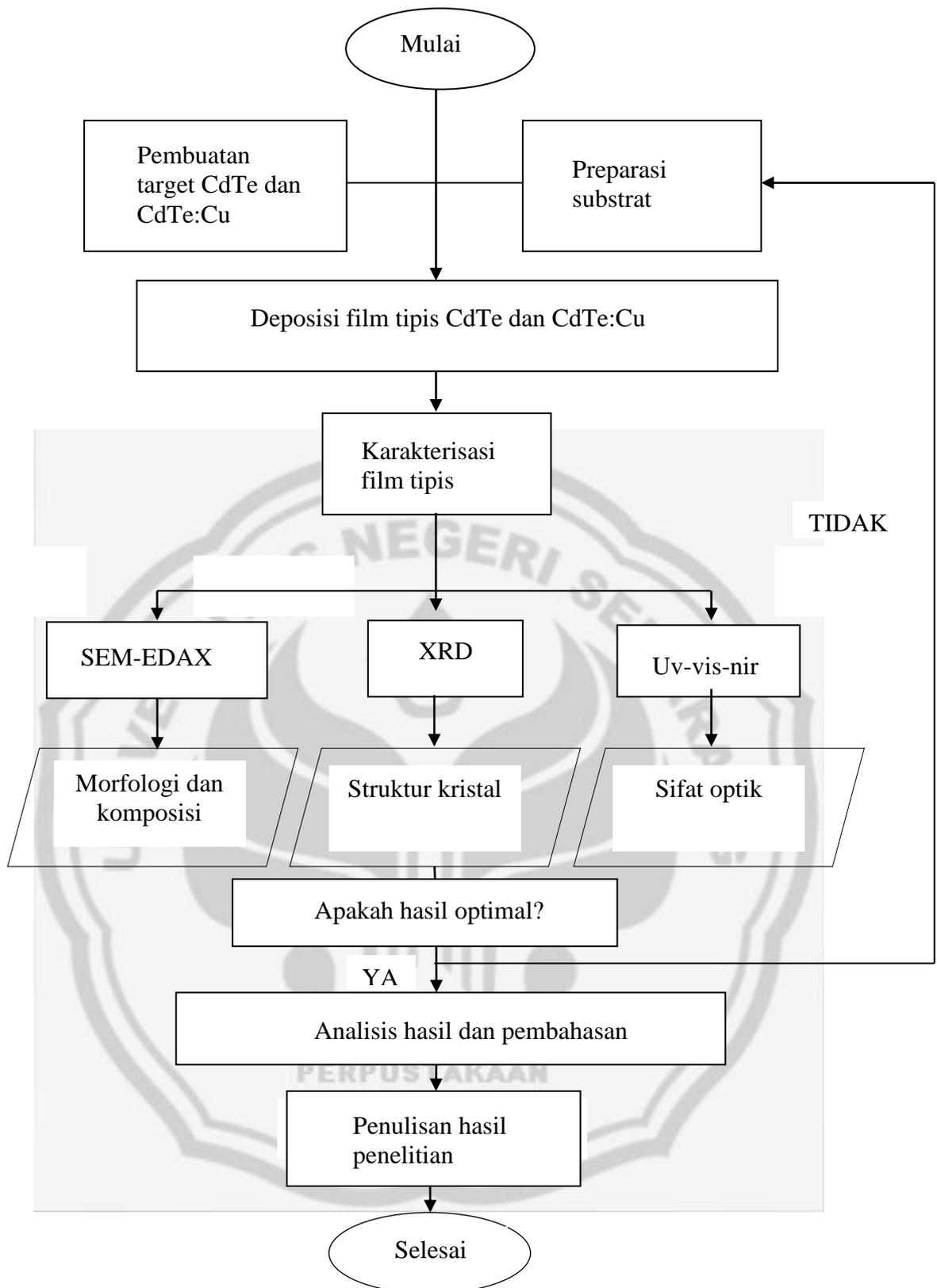
$$\alpha = \frac{-\ln T}{b} \quad (3.3)$$

dengan α menyatakan koefisien absorpsi dari suatu bahan dan b adalah ketebalan bahan (Wibowo, 2008: 24).

Dari ketiga hasil karakterisasi tersebut dapat diperoleh informasi pengaruh doping Cu terhadap struktur mikro, struktur kristal dan sifat optik film tipis CdTe. Hasil dari penelitian ini selanjutnya dapat digunakan sebagai parameter deposisi untuk penelitian selanjutnya. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini.

3.3. Alur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Alur penelitian penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu di atas ITO dan karakterisasi film tipis yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Film tipis CdTe sebagai bahan pembuat sel surya telah berhasil ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering* di atas substrat ITO. Penumbuhan tersebut dilakukan dengan menambahkan doping Cu dan membandingkan hasil deposisi film tipis antara CdTe tanpa doping dengan CdTe:Cu. Hal ini dilakukan karena dengan menambahkan Cu pada penumbuhan film tipis CdTe diharapkan akan memperbaiki sifat fisis film tipis CdTe. Deposisi pertama dilakukan dengan menumbuhkan CdTe dan CdTe:Cu(15%) pada suhu 250 °C selama 2,5 jam dengan daya plasma 14 watt. Deposisi selanjutnya dilakukan dengan menggunakan target CdTe dan CdTe:Cu(2%) pada suhu 325 °C selama 2,5 jam dengan menggunakan daya plasma 43 watt.

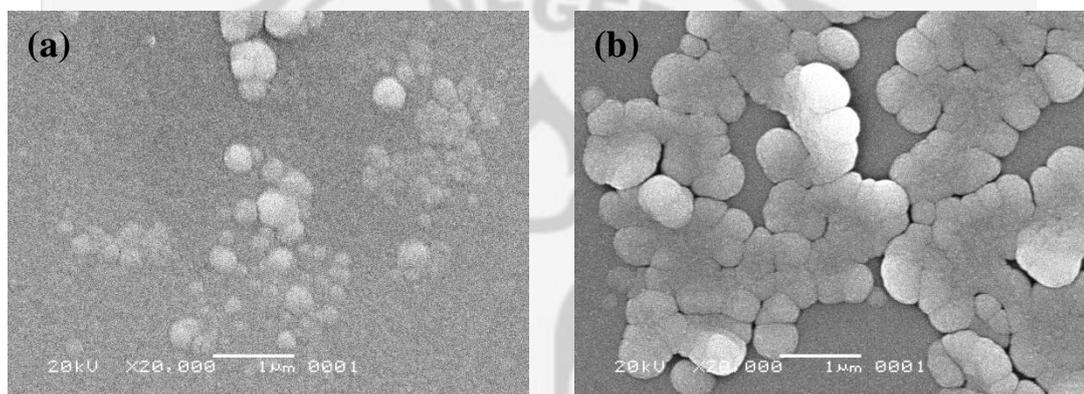
Parameter yang digunakan untuk menumbuhkan film tipis CdTe dan CdTe:Cu adalah sama. Hal ini dilakukan agar terlihat perbedaan sifat fisis antara film tipis CdTe yang ditumbuhkan tanpa doping dengan film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan doping Cu.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 250 °C dan Daya Plasma 14 watt

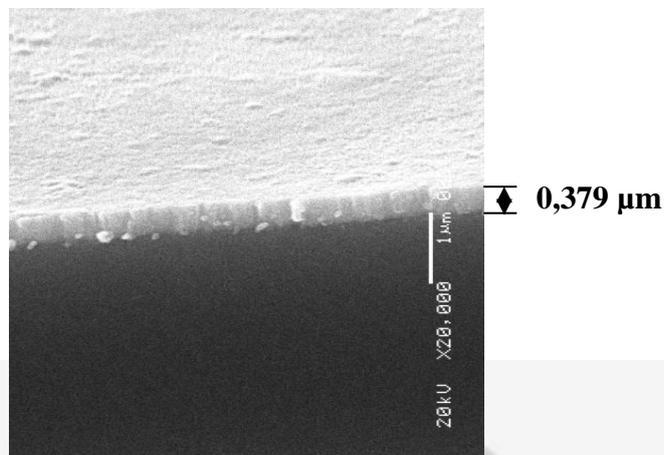
4.1.1.1 Karakterisasi SEM

Struktur mikro film tipis dapat dikaji dari karakterisasi SEM. Citra morfologi SEM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Citra morfologi SEM dengan perbesaran 20.000 kali film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt
(a) CdTe (b) CdTe:Cu(15%)

Citra morfologi SEM pada Gambar 4.1 (a) memperlihatkan bahwa bulir yang dihasilkan film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt tidak rata. Penambahan doping Cu(15%) (Gambar 4.1 (b)) menyebabkan bulir yang dihasilkan menjadi lebih rata. Dari karakterisasi SEM juga dapat diperoleh informasi mengenai ketebalan film yang diamati dari penampang melintang. Penampang melintang film tipis CdTe ditunjukkan pada Gambar 4.2.



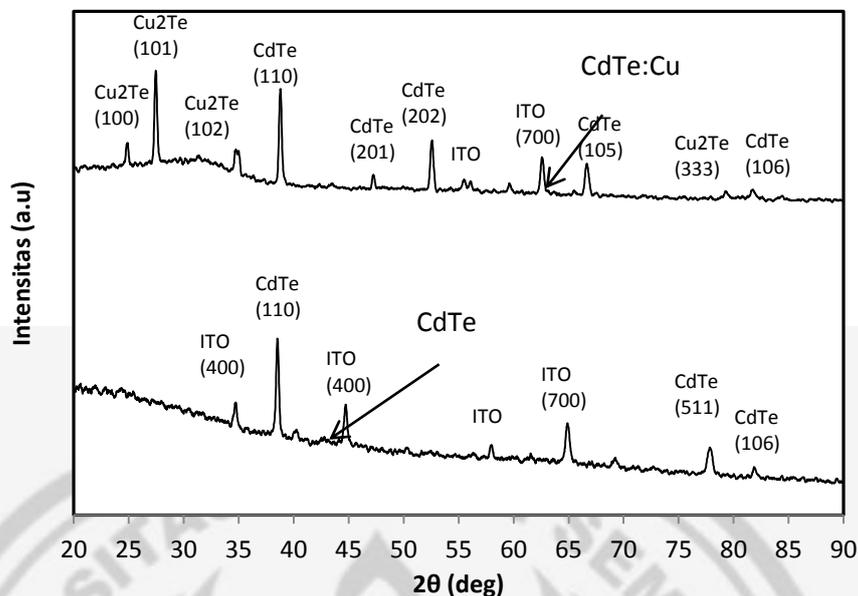
Gambar 4.2 Penampang melintang SEM film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt dengan perbesaran 20.000 kali

Gambar 4.2 merupakan penampang melintang SEM film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt dengan perbesaran 20.000 kali. Dari Gambar 4.2 diperoleh informasi bahwa ketebalan film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt adalah 0,379 μm. Hal ini menunjukkan bahwa film tipis CdTe tersebut masih relatif tipis.

4.1.1.2 Karakterisasi XRD

Struktur kristal film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt dikarakterisasi menggunakan XRD.

Hasil karakterisasi XRD film ditunjukkan pada Gambar 4.3.

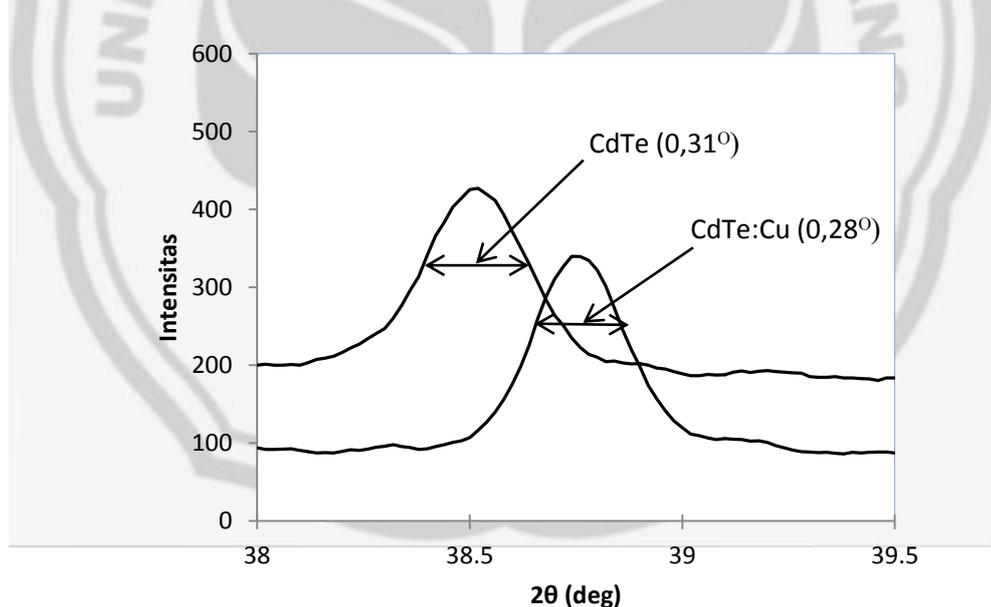


Gambar 4.3 Hasil karakterisasi XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt di atas substrat ITO

Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh doping Cu terhadap pola difraksi sinar-X (XRD) pada deposisi film tipis CdTe. Pola difraksi sinar-X film tipis CdTe terorientasi pada (110), (511), dan (106) sedangkan film tipis CdTe:Cu(15%) terorientasi pada (110), (201), (202), (105), serta terlihat pula orientasi pada (511) dan (106) dengan intensitas yang sangat kecil. Selain itu, pola difraksi sinar-X film tipis CdTe:Cu(2%) memperlihatkan beberapa puncak Cu₂Te pada orientasi (100), (101), (102), dan (333). Pola difraksi sinar-X film tipis CdTe memperlihatkan beberapa puncak ITO pada orientasi (400) dan (700) sedangkan pola difraksi sinar-X film tipis CdTe:Cu(15%) memperlihatkan puncak ITO yang terorientasi pada (400).

Dari kurva difraktogram dan hasil membandingkan dengan data JCPDS didapatkan puncak tertinggi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt terorientasi pada (110). Film tipis CdTe tanpa doping teramati mempunyai puncak difraksi tertinggi pada $2\theta = 38,38^\circ$ sedangkan pada film tipis CdTe dengan doping Cu (15%) mempunyai puncak difraksi tertinggi pada $2\theta = 38,64^\circ$. Dari perhitungan pada Lampiran 1 diketahui nilai konstanta kisi film CdTe adalah $a = 4.690 \text{ \AA}$ dan $c = 7.6587 \text{ \AA}$ sedangkan konstanta kisi film CdTe:Cu(15%) adalah $a = 4.6608 \text{ \AA}$ dan $c = 7.66105 \text{ \AA}$. Dari data JCPDS, dapat disimpulkan bahwa kedua lapisan tersebut adalah film tipis CdTe yang mempunyai struktur kristal heksagonal.

Dari kurva difraktogram juga dapat diperoleh FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%). FWHM film ditunjukkan pada Gambar 4.4.

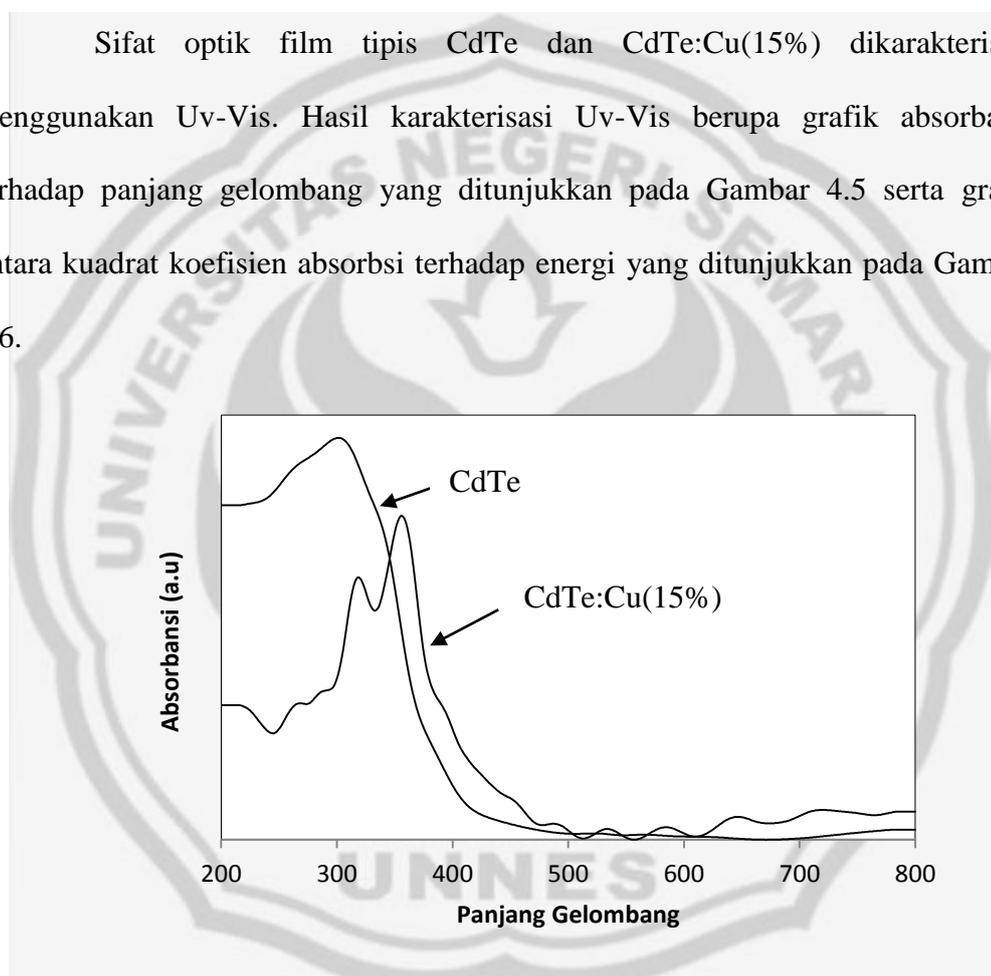


Gambar 4.4 FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt yang ditumbuhkan di atas substrat ITO

Gambar 4.4 menunjukkan FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt. Dari grafik didapatkan nilai FWHM CdTe tanpa doping adalah 0,31° sedangkan nilai FWHM CdTe:Cu(15%) adalah 0,28°.

4.1.1.3 Karakterisasi Uv-Vis

Sifat optik film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) dikarakterisasi menggunakan Uv-Vis. Hasil karakterisasi Uv-Vis berupa grafik absorbansi terhadap panjang gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 serta grafik antara kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.

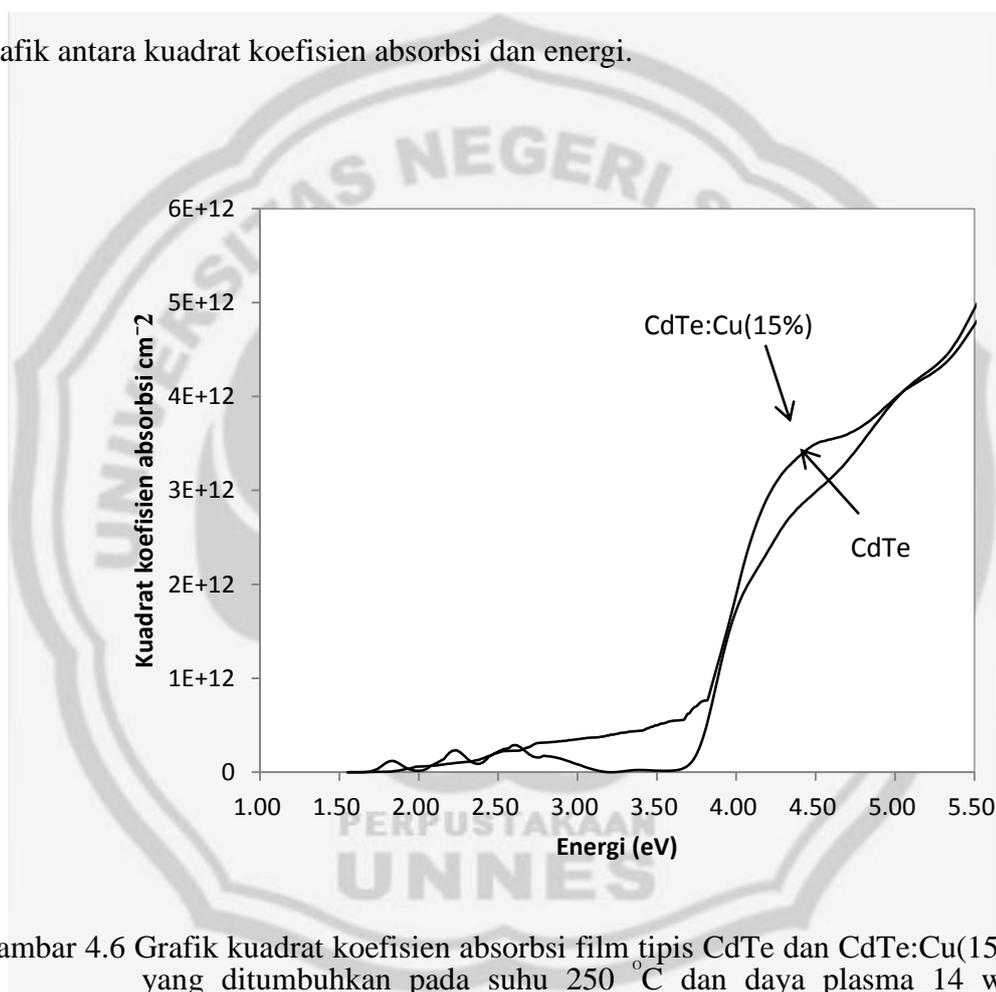


Gambar 4.5 Grafik absorbansi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt terhadap panjang gelombang

Gambar 4.5 menunjukkan grafik absorbansi terhadap panjang gelombang film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250

$^{\circ}\text{C}$ dan daya plasma 14 watt. Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa film tipis CdTe hanya mampu mengabsorpsi cahaya pada rentang panjang gelombang 454 nm ke bawah sedangkan film tipis CdTe:Cu(15%) hanya mampu mengabsorpsi cahaya pada rentang panjang gelombang 439 nm ke bawah.

Selain itu, dari karakterisasi Uv-Vis juga dapat diperoleh nilai energi *gap* material (E_g) yang telah ditumbuhkan yang diperoleh melalui ekstrapolasi linier grafik antara kuadrat koefisien absorpsi dan energi.



Gambar 4.6 Grafik kuadrat koefisien absorpsi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250°C dan daya plasma 14 watt terhadap energi

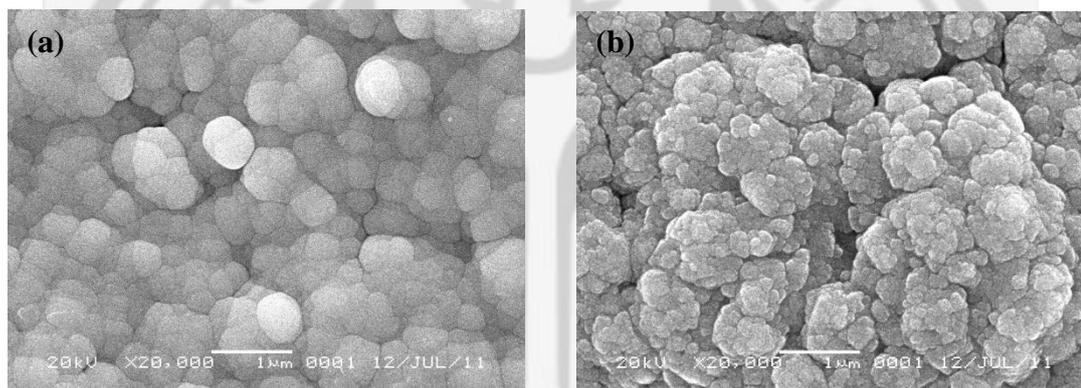
Gambar 4.6 menunjukkan nilai E_g untuk film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250°C dan daya plasma 14 watt

adalah 3,55 eV. Nilai E_g tersebut belum menunjukkan karakteristik film tipis CdTe yang baik untuk sel surya (1,5 eV).

4.1.2 Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 325 °C dan Daya Plasma 43 watt

4.1.2.1 Karakterisasi SEM

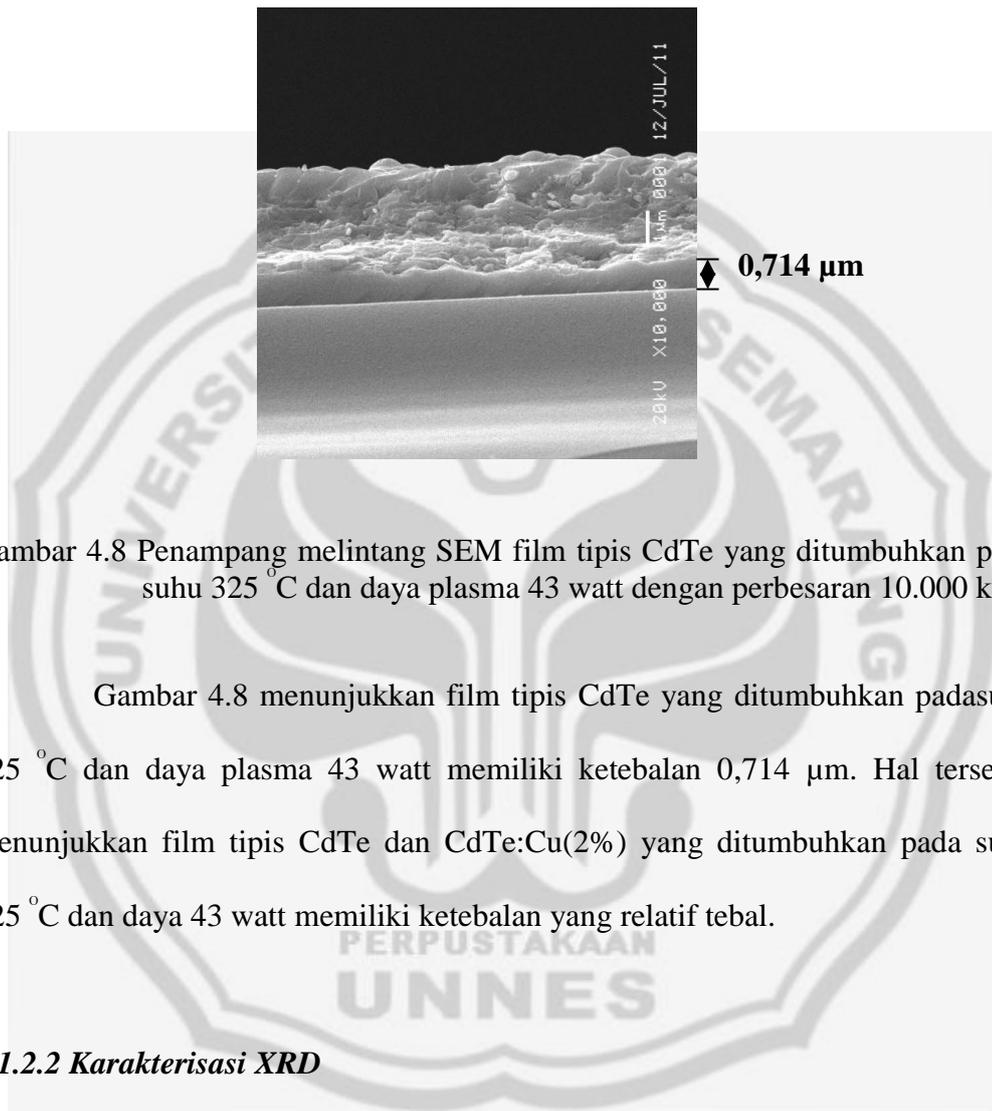
Citra morfologi SEM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Citra morfologi SEM dengan perbesaran 20.000 kali film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt
(a) CdTe (b) CdTe:Cu(2%)

Dari citra morfologi SEM film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt mempunyai permukaan yang lebih rata dan ukuran *grain* yang lebih besar. Seperti pada film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu dan daya rendah, penambahan doping Cu(2%) juga menyebabkan bulir yang dihasilkan menjadi lebih rata. Selain itu, film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada

suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt mempunyai ketebalan yang cukup tebal. Ketebalan film dapat diperoleh dari penampang melintang SEM yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



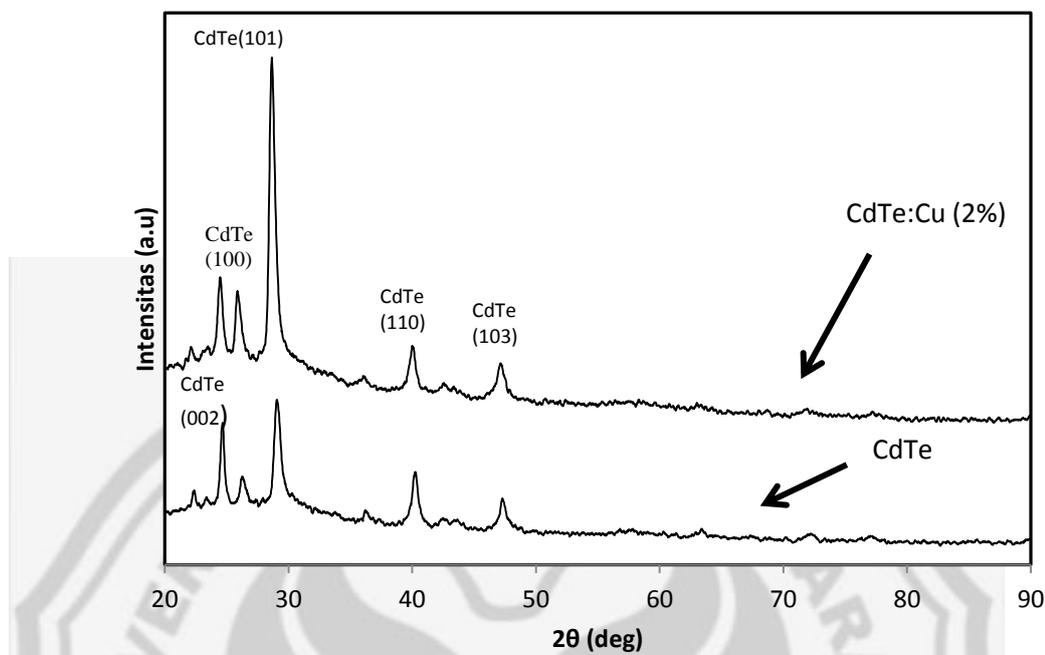
Gambar 4.8 Penampang melintang SEM film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt dengan perbesaran 10.000 kali

Gambar 4.8 menunjukkan film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt memiliki ketebalan 0,714 μm. Hal tersebut menunjukkan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya 43 watt memiliki ketebalan yang relatif tebal.

4.1.2.2 Karakterisasi XRD

Informasi mengenai struktur kristal CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt dapat diperoleh dari karakterisasi XRD. Hasil karakterisasi XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%)

yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt ditunjukkan pada Gambar 4.9.



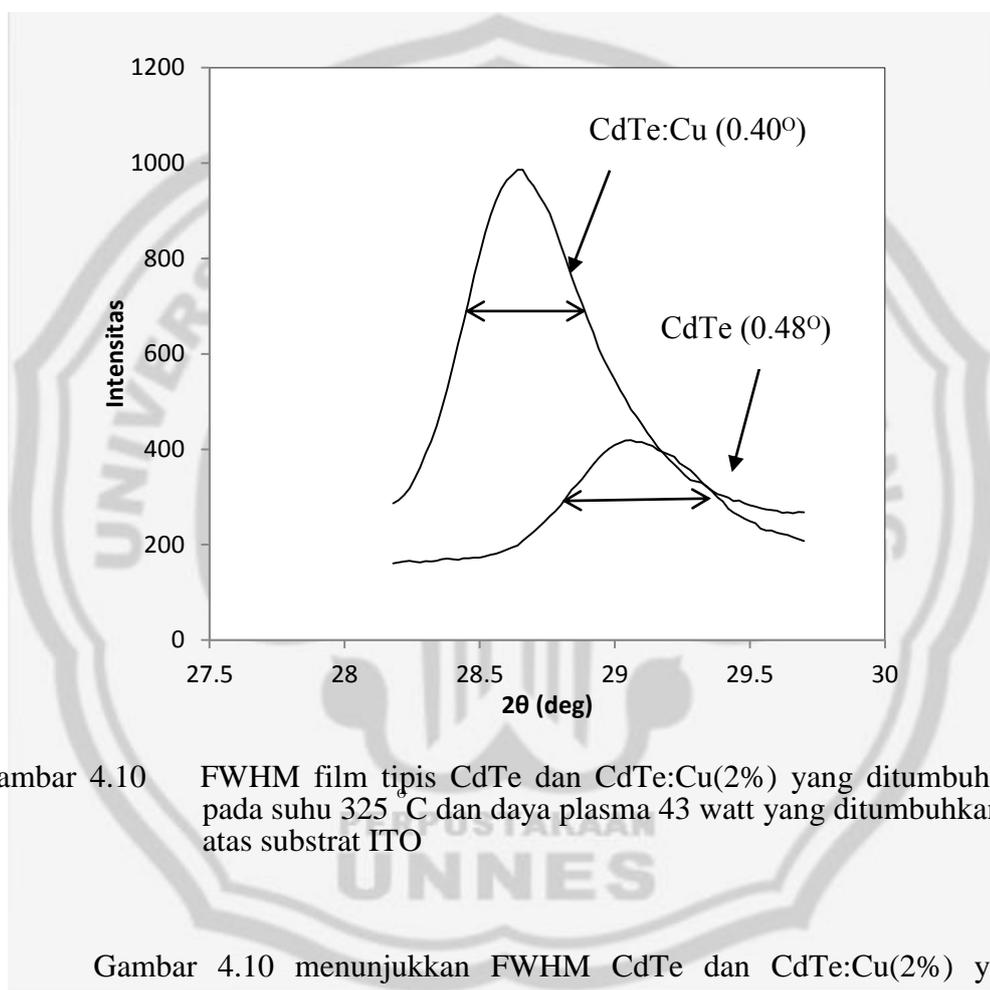
Gambar 4.9 Hasil karakterisasi XRD film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt di atas substrat ITO

Gambar 4.9 menunjukkan pengaruh doping Cu pada pola difraksi sinar-X film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt. Dari kurva difraktogram tersebut dapat dilihat bahwa puncak-puncak ITO tidak lagi teramati.

Film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt memiliki puncak tertinggi pada orientasi (101). Film tipis CdTe tanpa doping memiliki orientasi tertinggi pada $2\theta = 28.9^\circ$ sedangkan pada CdTe:Cu(2%) memiliki orientasi tertinggi pada $2\theta = 28.5^\circ$. Dari perhitungan pada Lampiran 1 didapatkan nilai konstanta kisi film CdTe adalah $a = 4.038 \text{ \AA}$

dan $c = 6.598 \text{ \AA}$ sedangkan pada film CdTe:Cu(2%) didapatkan nilai konstanta kisi $a = 4.093 \text{ \AA}$ dan $c = 6.684 \text{ \AA}$. Dari data JCPDS, dapat dipastikan bahwa kedua lapisan tersebut adalah *thin film* CdTe mempunyai struktur kristal heksagonal.

FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu $325 \text{ }^\circ\text{C}$ dan daya plasma 43 watt ditunjukkan pada Gambar 4.10.

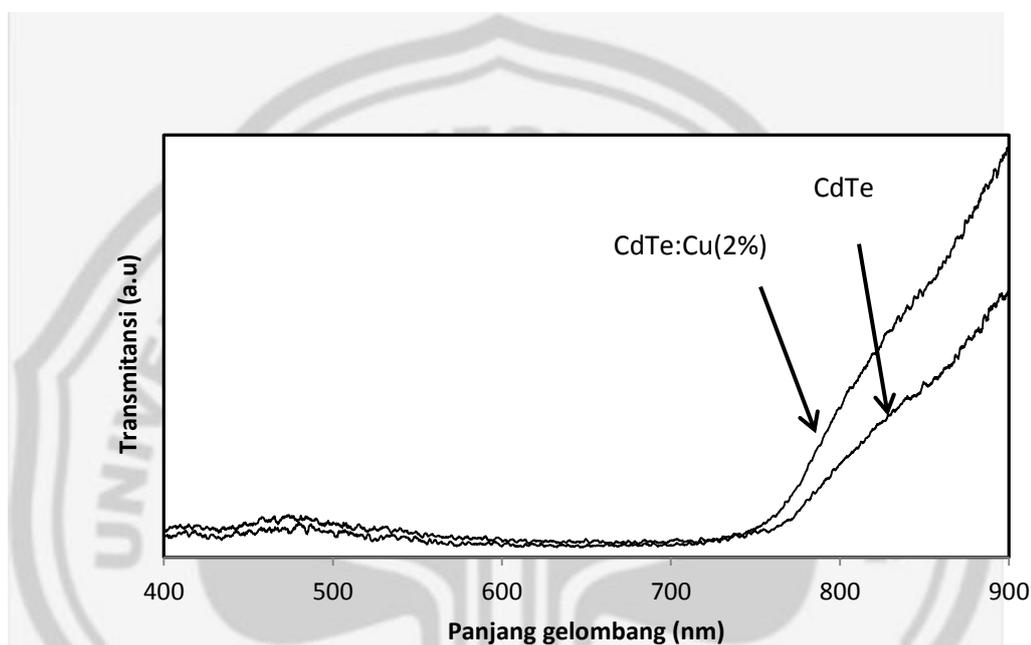


Gambar 4.10 FWHM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu $325 \text{ }^\circ\text{C}$ dan daya plasma 43 watt yang ditumbuhkan di atas substrat ITO

Gambar 4.10 menunjukkan FWHM CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu $325 \text{ }^\circ\text{C}$ dan daya plasma 43 watt. Dari Gambar 4.9 terlihat nilai FWHM untuk film CdTe adalah 0.40° sedangkan untuk film CdTe:Cu(15%) adalah 0.48° .

4.1.2.3 Karakterisasi Vis-Nir

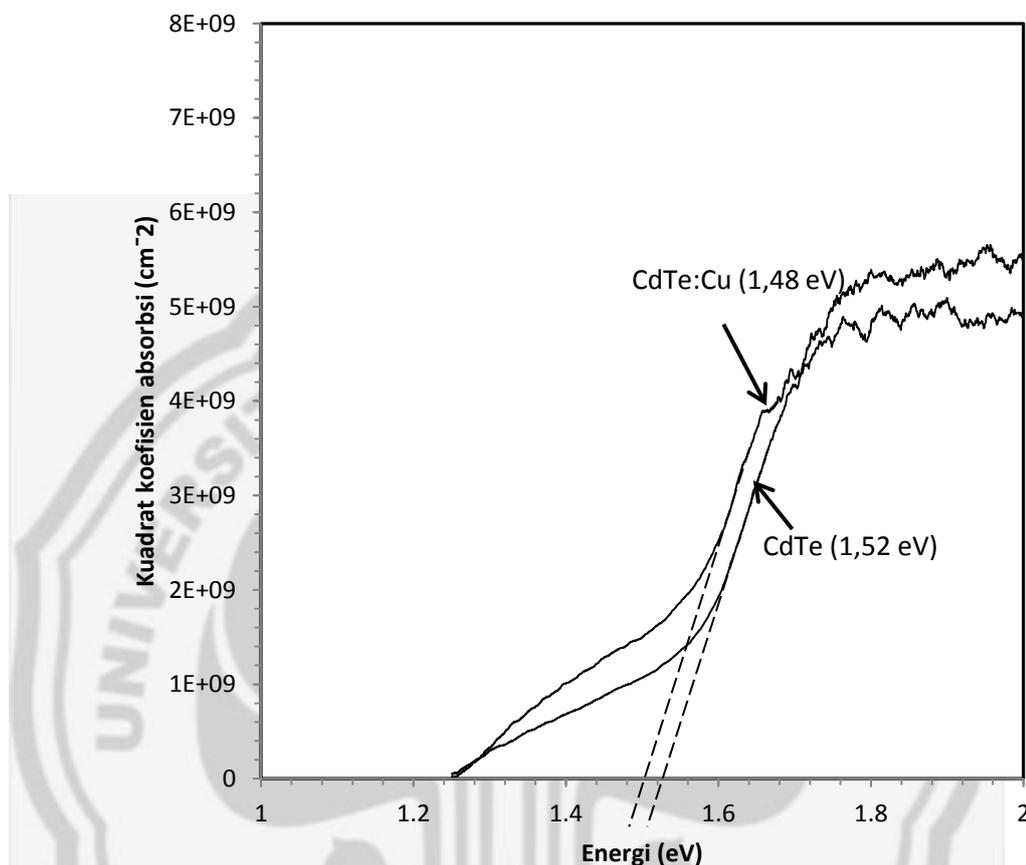
Sifat optik film tipis CdTe dan CdTe:Cu yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt dikarakterisasi menggunakan Vis-Nir yang disajikan dalam bentuk grafik transmitansi terhadap panjang gelombang serta grafik kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi. Grafik transmitansi terhadap panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik transmitansi terhadap panjang gelombang (nm) film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt

Gambar 4.11 menunjukkan transmitansi film CdTe:Cu(2%) dan CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt. Dari gambar tersebut terlihat tepi absorpsi kedua film kedua film berbelok pada 780 nm, yang berarti bahwa film tersebut mampu mengabsorpsi cahaya 780 nm ke bawah.

Selain itu, nilai energi *gap* dapat diperoleh melalui ekstrapolasi linier grafik antara kuadrat koefisien absorpsi dan energi. Grafik antara kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi foton film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt

Dari Gambar 4.12 dapat diperoleh nilai energi *gap* untuk film tipis CdTe adalah 1,52 eV dan untuk film tipis CdTe:Cu(2%) adalah 1,48 eV. Selain besarnya energi *gap* (E_g), dari grafik tersebut juga dapat ditentukan besarnya koefisien absorpsi film yaitu $7,021 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ untuk film CdTe dan $7,348 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$

untuk film CdTe:Cu(2%). Dari Gambar 4.12 terlihat adanya *band tail* yang mengindikasikan masih terdapat *disordered* pada film tersebut.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang Ditumbuhkan pada Suhu 250 °C dan Daya Plasma 14 watt

Dari citra SEM dapat diperoleh informasi mengenai struktur mikro film tipis. Citra SEM film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt menunjukkan morfologi yang tidak rata. Penambahan doping Cu(15%) pada penumbuhan film tipis CdTe menyebabkan bulir yang dihasilkan menjadi lebih rata. Hal ini dikarenakan efek penambahan doping Cu pada film tipis tersebut. Cu dalam sebuah kristal tunggal CdTe berperan sebagai sebuah ion *interstitial* (Cu^+) yang akan menempati posisi Cd-*vacancy* (Dzhafarov *et al.*, 2005: 372). Kristal tunggal CdTe mempunyai cacat lokal yang berupa Cd-*vacancy* (Lany *et al.*, 2001: 959) dan kehadiran Cu dapat mengisi kekosongan tersebut sehingga film yang dihasilkan menjadi lebih rapat.

Citra morfologi SEM film tipis CdTe dan Cdte:Cu(15%) menunjukkan kedua film mempunyai bulir yang tidak rata. Penyebab dari terbentuknya bulir tersebut adalah penggunaan daya plasma yang relatif rendah sehingga laju atom-atom target juga relatif rendah. Hal ini mengakibatkan sebagian besar atom-atom target sudah jatuh terlebih dahulu sebelum mencapai substrat, hanya sebagian kecil dari atom tersebut yang mampu mencapai permukaan substrat sehingga bulir yang terbentuk lebih sedikit dan tidak rata. Penggunaan suhu yang rendah saat

penumbuhan juga menyebabkan berkurangnya energi kinetik atom-atom target yang menuju substrat sehingga menurunkan mobilitas permukaan atom-atom tersebut (Sudjatmoko, 2003: 5). Selain itu, dari karakterisasi SEM juga dapat diperoleh informasi mengenai ketebalan film. Film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt memiliki ketebalan 0,379 µm yang terlihat pada penampang melintang SEM.

Struktur kristal film dapat diketahui dari hasil karakterisasi XRD. Hasil karakterisasi XRD berupa pola difraksi sinar-X dan nilai FWHM. Pola difraksi sinar-X film tipis CdTe memperlihatkan beberapa puncak ITO yang terorientasi pada (400) dan (700). Hal ini dikarenakan morfologi film CdTe yang tidak rata dan ketebalan yang relatif tipis sehingga ada kemungkinan berkas sinar-X menembus sampai ke permukaan ITO.

Pada pola XRD film tipis CdTe:Cu(15%) terlihat beberapa puncak Cu₂Te yaitu pada orientasi (100), (101), (102), dan (333) serta masih terlihat beberapa puncak lain yang diidentifikasi sebagai ITO pada orientasi (400). Banyaknya puncak Cu₂Te yang terlihat mengindikasikan difusi dan kadar doping Cu yang tinggi. Penambahan doping Cu menyebabkan puncak ITO pada orientasi (700) tidak terlihat lagi. Hal ini dikarenakan film tipis CdTe:Cu(15%) memiliki morfologi yang lebih rata daripada film CdTe, akan tetapi morfologi film masih relatif tidak rata karena puncak ITO pada orientasi (400) masih tampak.

Dari pola difraksi sinar-X terlihat bahwa keberadaan Cu juga memunculkan puncak CdTe yang pada pola difraksi sinar-X film CdTe tanpa doping puncak tersebut tidak muncul. Puncak-puncak tersebut terorientasi pada

(201), (202), dan (105) yang memiliki intensitas yang cukup tinggi. Hal ini terjadi karena film yang dihasilkan lebih rata sehingga bidang pantul menjadi lebih banyak. Semakin banyak bidang pantul, semakin banyak pula berkas sinar-X yang didifraksikan.

Menurut Widuri sebagaimana dikutip Wibowo (2008: 27) pada saat berkas sinar-X menumbuk atom pada kristal, masing-masing atom menghasilkan gelombang terdifraksi. Gelombang ini akan berinterferensi menghasilkan intensitas yang bervariasi. Tingginya intensitas dipengaruhi oleh banyaknya bidang-bidang pemantul pada susunan atom film tipis. Semakin banyak bidang-bidang pemantul, interferensi dari gelombang terdifraksi akan saling menguatkan yang menyebabkan semakin tinggi pula intensitasnya. Banyaknya bidang-bidang pemantul menunjukkan kualitas kristal yang lebih baik dengan susunan dan jarak atom yang lebih teratur, sehingga secara kualitatif dapat dikatakan bahwa tingginya intensitas menggambarkan kualitas kristal yang lebih baik.

Selain mengetahui orientasi kristal, dari hasil karakterisasi dengan XRD juga dapat diketahui kualitas kristal yang dideteksi dari nilai FWHM. Semakin kecil nilai FWHM semakin baik kualitas kristal. Menyempitnya FWHM menunjukkan bahwa orientasi kristal yang terbentuk kompak dan seragam (Alfafa, 2007: 25). Film tipis CdTe memiliki intensitas yang lebih tinggi tetapi memiliki nilai FWHM yang lebih besar. Hal ini dikarenakan atom-atom yang menyusun film CdTe lebih kompak sehingga bidang pantul lebih banyak tetapi jarak antar atom tidak seragam. Jarak atom yang lebih seragam akan

menghasilkan gelombang yang sefase sehingga orientasi kristal yang terbentuk kompak dan seragam yang menyebabkan nilai FWHM menyempit.

Puncak FWHM pada film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) terlihat bergeser. Pergeseran ini terjadi akibat besarnya *strain* pada deposisi film tipis CdTe:Cu yang disebabkan oleh tingginya konsentrasi cacat. *Strain* yang lebih besar ditandai dengan pergeseran sudut 2θ yang lebih besar (Handayani, 2007: 28). Penurunan kualitas kristal karena penambahan doping Cu disebabkan bertambahnya cacat pada deposisi film tipis CdTe. Bertambahnya cacat pada film tipis CdTe:Cu(15%) disebabkan oleh tingginya kadar doping Cu. Besarnya fraksi mol suatu doping dalam penumbuhan film tipis dapat meningkatkan konsentrasi cacat yang pada akhirnya menyebabkan terjadinya *strain* dan *crack* (retakan) yang besar pada seluruh lapisan (Handayani, 2007: 29).

Sifat optik film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan daya plasma 14 watt diketahui dari grafik absorbansi terhadap panjang gelombang dan grafik kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi. Grafik absorbansi terhadap panjang gelombang film CdTe yang ditumbuhkan pada suhu $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan daya plasma 14 watt memperlihatkan plot grafik CdTe nyaris mulus tanpa cacat yang mengindikasikan bahwa film tipis yang ditumbuhkan memiliki kualitas kristal yang baik, tetapi memiliki kualitas kristal yang baik tidak bisa dijadikan indikasi suatu bahan merupakan bahan yang baik untuk sel surya. Untuk aplikasi sel surya bukan hanya dibutuhkan kualitas kristal yang baik tetapi juga film tipis tersebut mampu mengabsorpsi seluruh spektrum cahaya yang datang (Wibowo, 2008: 40). Film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan

daya plasma 14 watt hanya mampu mengabsorpsi cahaya pada rentang panjang gelombang 454 nm ke bawah sedangkan film tipis CdTe:Cu(15%) hanya mampu mengabsorpsi cahaya pada rentang panjang gelombang 439 ke bawah. Oleh karena itu kedua film yang telah ditumbuhkan tidak sesuai untuk aplikasi sel surya.

Rendahnya kemampuan film tipis yang telah ditumbuhkan dalam mengabsorpsi cahaya dikarenakan kedua film tipis yang telah ditumbuhkan mempunyai ketebalan yang relatif tipis (0,397 μm). Dari hukum Beer Lambert dinyatakan bahwa $I = I_0 e^{-\alpha b}$ (Lawrence *et al.*, 1997) maka besarnya absorpsi bahan tergantung pada ketebalan bahan itu sendiri. Semakin tebal suatu bahan maka cahaya yang terabsorpsi semakin besar. Xuanzhi Wu (2004: 803) mengemukakan bahwa CdTe mampu mengabsorb ~99% spektrum cahaya yang datang menggunakan ketebalan CdTe mencapai ~2 μm . Oleh karena itu dibutuhkan CdTe yang lebih tebal untuk mendapatkan hasil yang maksimum.

Nilai E_g film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 $^{\circ}\text{C}$ dan daya plasma 14 watt adalah 3,55 eV. Nilai E_g tersebut belum menunjukkan karakteristik film tipis CdTe yang baik untuk sel surya (1,5 eV). Hal ini terjadi karena film yang tumbuh masih terlalu tipis dan bulir yang dihasilkan tidak rata. Semakin tebal suatu bahan maka cahaya yang terabsorpsi semakin besar. Apabila film yang dihasilkan masih terlalu tipis maka cahaya yang ditransmisikan akan semakin besar dan akan menyebabkan nilai E_g semakin tinggi (E_g sebanding dengan transmitansi).

Dari penjelasan di atas, baik film tipis CdTe maupun CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt belum menunjukkan karakteristik yang sesuai untuk aplikasi sel surya.

4.2.2 Film Tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang Ditumbuhkan Pada Suhu 350 °C dan Daya Plasma 43 watt

Struktur mikro film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditunjukkan dari citra morfologi SEM memperlihatkan morfologi yang lebih baik. Film tersebut mempunyai permukaan yang lebih rata dan ukuran *grain* yang lebih besar. Doping Cu menyebabkan bulir yang dihasilkan menjadi lebih rata dan kompak. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, Cu dalam kristal tunggal CdTe berperan sebagai ion *interstitial* Cu⁺ yang akan mengisi kekosongan Cd-*vacancy*. Selain itu, citra SEM memperlihatkan bahwa penambahan doping Cu pada film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt menghasilkan gumpalan-gumpalan bulir dan *grain boundaries*. Gumpalan-gumpalan bulir tersebut diasumsikan berisi atom-atom yang tumbuh seragam dan kompak.

Citra SEM menunjukkan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt memiliki bulir yang rata. Hal ini juga terkait dengan penggunaan suhu dan daya plasma yang tinggi. Penggunaan daya plasma yang tinggi dapat meningkatkan laju atom yang menuju substrat sedangkan penggunaan suhu deposisi yang tinggi dapat meningkatkan mobilitas permukaan yang menyebabkan ukuran *grain* menjadi lebih besar.

Film tipis CdTe yang ditumbuhkan dengan suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt memiliki ketebalan yang relatif tebal yaitu 0,714 μm yang ditunjukkan pada penampang melintang SEM.

Struktur kristal film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt dapat diketahui dari pola difraksi sinar-X dan FWHM. Pola difraksi sinar-X film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) memperlihatkan puncak ITO tidak lagi teramati. Hal ini disebabkan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) memiliki morfologi yang lebih rata dan ketebalan yang relatif tebal dibandingkan film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu dan daya rendah. Akibatnya, berkas sinar-X tidak mampu menembus sampai ke lapisan ITO. Selain itu, arah orientasi kristal film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt juga terlihat lebih sedikit yang mengindikasikan film tersebut lebih mendekati kristal tunggal (*single crystal*).

Dari FWHM diperoleh bahwa film tipis CdTe:Cu(2%) memiliki intensitas yang jauh lebih tinggi daripada film CdTe. Hal tersebut dikarenakan bahwa atom-atom yang tumbuh pada film CdTe:Cu(2%) lebih rata dan kompak. Dari citra morfologi SEM, pada film CdTe:Cu(2%) memperlihatkan banyak gumpalan. Gumpalan-gumpalan tersebut diperkirakan berisi atom-atom yang rata dan kompak sehingga bidang pantul menjadi semakin banyak. Semakin banyak bidang pantul berkas sinar-X yang didifraksikan juga semakin banyak sehingga intensitas yang dihasilkan semakin tinggi pula. Berbeda dengan citra morfologi SEM film CdTe yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt

yang tidak menunjukkan gumpalan-gumpalan sehingga atom-atom yang terdapat di dalamnya diasumsikan menjadi kurang rata yang menyebabkan bidang pantul menjadi lebih sedikit.

Selain itu, film tipis CdTe:Cu(2%) memiliki nilai FWHM yang lebih kecil dibandingkan film tipis CdTe. Hal ini terjadi karena jarak atom yang lebih seragam sehingga gelombang yang terjadi memiliki fase yang sama. Semakin kecil nilai FWHM dan semakin tinggi nilai intensitas maka kualitas kristal semakin baik (Wibowo, 2008: 29). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa film tipis CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt mempunyai kualitas kristal yang paling baik.

Sifat optik film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) diketahui dari plot grafik transmitansi terhadap panjang gelombang dan grafik kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi. Dari grafik transmitansi terlihat kedua film mempunyai kualitas yang baik untuk diaplikasikan sebagai bahan pembuat sel surya. Bahan pembuat sel surya yang baik ialah bahan yang mampu mengabsorpsi seluruh spektrum cahaya tampak dari matahari. Grafik transmitansi terhadap panjang gelombang film tipis yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt menunjukkan tepi absorpsi film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) berbelok pada 780 nm, yang berarti film tersebut mampu mengabsorpsi cahaya 780 nm ke bawah. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian H. Hernandez Conteras *et al* (2002: 152) dan Wibowo (2008: 41) yang juga menghasilkan film tipis CdTe dengan kemampuan mengabsorpsi spektrum cahaya pada rentang panjang gelombang sekitar 800 nm ke bawah.

Nilai energi *gap* material dapat diperoleh dari ekstrapolasi linear terhadap sumbu energi foton dari grafik hubungan antara kuadrat koefisien absorpsi (α^2) terhadap energi foton E (Sugianto, 2005: 98). Dari grafik tersebut dapat diperoleh nilai energi *gap* untuk film tipis CdTe adalah 1,52 eV dan untuk film tipis CdTe:Cu(2%) adalah 1,48 eV. Keduanya memenuhi syarat yang baik untuk aplikasi sel surya yaitu memiliki energi *gap* antara 1,4-1,6 eV. Selain besarnya energi *gap* (E_g), dari grafik tersebut juga dapat ditentukan besarnya koefisien absorpsi film. Besar koefisien absorpsi yang baik adalah $> 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ (Gupta *et al.*, 2006: 2264). Dari grafik kuadrat koefisien absorpsi terhadap energi diketahui besarnya koefisien absorpsi film tipis CdTe adalah $7,021 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ sedangkan besarnya koefisien absorpsi film tipis CdTe:Cu(2%) adalah $7,348 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$. Terlihat bahwa film tipis CdTe:Cu(2%) memiliki nilai koefisien absorpsi lebih besar yang berarti film tersebut mempunyai kemampuan mengabsorpsi cahaya lebih banyak. Oleh karena itu, film tipis CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325°C dan daya plasma 43 watt memiliki karakteristik sifat optik yang lebih baik.

Dari hasil SEM, XRD, Uv-Vis, dan Vis-Nir dapat ditentukan film tipis yang paling sesuai untuk aplikasi sel surya adalah film tipis CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325°C dan daya plasma 43 watt. Hal ini dikarenakan film tipis CdTe:Cu(2%) memiliki bulir yang kompak dan rata. Selain itu, film tersebut memiliki intensitas XRD paling tinggi dan nilai FWHM paling kecil yang mengindikasikan atom-atom yang menyusun film tumbuh kompak dan seragam. Dari karakterisasi Uv-Vis-Nir, diketahui bahwa film tipis CdTe:Cu(2%) memiliki



4.3 Hubungan antara Struktur Mikro, Struktur Kristal, dan Sifat Optik

Dari hasil penelitian dapat diketahui hubungan antara struktur mikro, struktur kristal, dan sifat optik film tipis CdTe dan CdTe:Cu. Citra SEM menunjukkan film tipis yang ditumbuhkan dengan suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt memiliki bulir yang lebih besar dan rata serta film yang dihasilkan relatif tebal. Penambahan doping Cu 2% menyebabkan morfologi yang dihasilkan lebih kompak dan lebih rata. Bulir-bulir yang tumbuh kompak dan rata menyebabkan bidang-bidang pantul menjadi semakin banyak dan jarak atom menjadi lebih seragam. Hal tersebut diperkuat dengan tingginya intensitas dan kecilnya nilai FWHM film tipis CdTe:Cu(2%) sehingga film tersebut mempunyai kualitas kristal yang paling baik.

Bulir-bulir yang lebih rata serta ketebalan film yang relatif tebal juga dapat meningkatkan sifat optik. Masing-masing atom mempunyai kemampuan untuk menyerap foton. Jika atom penyusunnya lebih rata maka film yang dihasilkan lebih tebal akibatnya semakin besar kemampuan film tersebut untuk menyerap foton yang datang. Gupta (2006: 2264) menyatakan bahwa sekitar 1 μm film tipis CdTe mampu mengabsorpsi ~90% foton yang mengenai permukaan film. Film tipis CdTe:Cu(2%) juga memiliki nilai koefisien absorpsi paling tinggi sehingga film tersebut mempunyai kemampuan menyerap cahaya yang tinggi. Film tipis CdTe:Cu(2%) inilah yang sesuai diaplikasikan sebagai bahan pembuat divais sel surya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Film tipis CdTe dan CdTe:Cu telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat ITO dengan metode *dc magnetron sputtering*. Film tipis CdTe dan CdTe:Cu(15%) yang ditumbuhkan pada suhu 250 °C dan daya plasma 14 watt memiliki morfologi yang tidak rata. Doping Cu menyebabkan morfologi film yang dihasilkan menjadi lebih rata. Penambahan doping Cu menyebabkan kristalinitas film meningkat. Kedua film tidak memiliki karakteristik sifat optik yang baik untuk sel surya karena hanya mampu menyerap spektrum cahaya masing-masing 454 nm ke bawah untuk film CdTe dan 439 nm ke bawah untuk CdTe:Cu(15%). Selain itu, keduanya memiliki nilai E_g sebesar 3,55 eV.

Struktur mikro film tipis CdTe dan CdTe:Cu(2%) yang ditumbuhkan pada suhu 325 °C dan daya plasma 43 watt menunjukkan morfologi yang rata. Penambahan doping Cu menyebabkan morfologi film yang dihasilkan lebih rata dan kompak yang menyebabkan kualitas kristal meningkat. Film tersebut sudah sesuai untuk aplikasi bahan pembuat sel surya karena memiliki E_g dan α sebesar 1,52 eV dan $7.021 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ untuk film tipis CdTe serta 1,48 eV dan $7.348 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ untuk film tipis CdTe:Cu(2%).

5.2Saran

Penumbuhan film tipis CdTe dan CdTe:Cu belum menunjukkan hasil yang optimal sehingga perlu dilakukan studi lanjut dengan memvariasi konsentrasi Cu, daya plasma, suhu substrat, waktu deposisi dan tekanan argon untuk memperoleh film tipis CdTe dengan kualitas yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Alfafa, M. 2007. *Efek Laju Alir Oksigen pada Penumbuhan Film Tipis Ga₂O₃ dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Compaan, Alvin D., Akhlesh Gupta, Sunghyun Lee, Shanli Wang, & Jennifer Drayton 2004. High Efficiency, Magnetron Sputtered CdS/CdTe Solar Cells. *Science Direct*.
- Gupta, Akhlesh, Viral Parikh, & Alvin D. Compaan. 2006. High Efficiency Ultra-thin Sputtered CdTe Solar Cells. *Science Direct*.
- H. Hernandez-Conteras. 2002. CdS and CdTe large area thin films processed by radio-frequency planar magnetron sputtering. *Elsevier. Thin solid Film 403-404 (2002) 148-152*.
- Handayani, Nur Aini. 2007. *Analisis XRD Film Tipis AlxGa1-xN di atas Silikon (111) yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.
- Joshi, C. 2003. Characterization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Aluminium and Steel Substrat by dc Magnetron Sputtering. *New Jersey: New Jersey Institute of Technology Press (Tesis): 18-20*
- Konuma, M. 1992. Film Deposition by Plasma Techniques. *Berlin: Springer-Verlag:1-10*.
- Lany, S., V. Ostheimer, H. Wolf, & Th. Wichert. 2001. Vacancies in CdTe: experiment and theory. *Elsevier: Physica B 308-310 (2001) 958-962*
- Lawrence, H..1998. Cathodoluminescence, Photoluminescence and Optical Absorbance Spectroscopy of Aluminium Gallium Nitride Films. *Jurnal Mater. Res. Vol. 13. No. 9. Sep 1998*.
- Mc Candless. B.E., & Sites, J.R. 2003. Cadmium Telluride Solar cell. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Wiley. New York, pp.628-631*.
- Nawarange, Amruta, Xiangxin Liu, & Alvin D. Compaan. 2009. Transient Response of CdS/CdTe Cells With Heavy Doping Of Si, P And Cu. *IEEE*
- Raharjo I. 1997. Strategi Pemanfaatan Berbagai-macam Energi Di Masa Depan. *Laporan Teknis. BPP Teknologi: Jakarta*.

- Resdianto, Tri Widodo. 2007. *Struktur Dan Sifat Optik Film Tipis $Al_xGa_{1-x}N$ Yang Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi
- Rusu, 2005. Optical Behavior of Multilayered CdTe/Cu Thin Films Deposited By Stacked Layer Method. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 7, No. 2, p. 885 - 889
- Rusu, G.G, M. Rusu, E.K. Polychroniadis, C. Lioutas. 2005. *Characterization of CdTe Thin Films Prepared by Stacked Layer Method*. 2005. Journal of Optoelectronic and Advanced Materials, Vol. 7, No. 4, April 2005, p. 1957-1964.
- S. H. Demtsu., D.S. Albin, J.R. Sites, W.K. Metzger, & A. Duda. 2007. Cu-Related Recombination in CdS/CdTe solar cells. *Science Direct*.
- Singh, J. 1995. *Physics Semiconductors and Their Heterostructures*. Singapore:McGraw-hill.
- Smith, William F. 1993. *Foundations of Materials Science and Engineering* (second edition). Singapura: Mc Graw-Hill Booc Co.
- Sudjatmoko. 2003. *Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis*. Workshop: Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan: 3
- Sugianto & Upik Nurbaiti. 2005. *Buku Ajar Fisika Zat Padat*. Semarang: UNNES.
- Sulhan, M. 2009. *Pengaruh Daya Plasma Terhadap Struktur Mikro, Sifat Optik, Dan Sifat Listrik Film Tipis Cadmium Sulfida (CdS) Yang Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magetron Sputtering*. Skripsi
- Suryadi, H. Sudjatmoko, & Atmono, T. M. 2003. *Fisika Plasma (Diktat Kuliah Workshop Sputtering Untuk Rekayasa Permukaan Bulan)*. Yogyakarta : Puslitbang Teknologi Maju BATAN : 8.
- T. D. Dzhafarov, S.S. Yesilkayaa, N. Yilmaz Canlia, & M. Caliskan. 2004. Diffusion and Influence of Cu on Properties of CdTe Thin Films and CdTe/CdS cells. *Science Direct*
- Wibowo, Edy. 2008. *Struktur Mikro dan Sifat Optik Film Tipis CdTe Sebagai Bahan Pembuat Sel Surya Yang Ditumbuhkan Dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang

Widuri, Umi. 2007. *Pengaruh Tekanan Gas Argon pada Penumbuhan Film Tipis Ga₂O₃ Doping Mn dengan Menggunakan Meode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA UNNES.

Wu, X, J. Zhou, A. Duda, Y. Yana, G. Teeter, S. Asher, W.K. Metzger, S. Demtsu, Su-Huai. Wei, & R. Noufi. 2007. Phase Control of Cu_xTe Film and Its Effects on CdS/CdTe Solar Cell. *Science Direct*

Wu, Xuanzhi. 2004. High Efficiency Polycrystalline CdTe Thin Film Solar Cells. *Elsevier: Solar Energy* 77 (2004) 803–814

Zhou, J., X. Wu, A. Duda, G. Teeter, S.H. Demtsu. 2007. *The formation of different phases of Cu_xTe and their effect on CdTe/CdS solar cells*. Elsevier. *Thin Solid Film* 515(2007) 7364-7369.



Perhitungan Konstanta Kisi

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

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

Heksagonal

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

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

$$\text{CuK}\alpha = 1.5418 \text{ \AA}$$

a) Sampel A

$$(hkl) = (110)$$

$$2\theta = 38.38^\circ$$

$$\theta = 19.19^\circ$$

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

$$d = \frac{a}{\sqrt{12/3}}$$

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

$$d = \frac{1.5418}{2 \sin 19.19} = 2.3452$$

$$a = d \sqrt{12/3}$$

$$a = 4.6904 \text{ \AA}$$

$$c = 7.6587 \text{ \AA}$$

b) Sampel B

$$(hkl) = (110)$$

$$2\theta = 38.64^\circ$$

$$\theta = 19.32^\circ$$

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

$$d = \frac{1.5418}{2 \sin 19.32} = 2.3304$$

$$a = d \sqrt{12/3}$$

$$a = 4.6608 \text{ \AA}$$

$$c = 7.66105 \text{ \AA}$$

c) Sampel C

$$(hkl) = (101)$$

$$2\theta = 28.9^\circ$$

$$\theta = 14.45^\circ$$

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

$$d = \frac{a}{\sqrt{41/24}}$$

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

$$d = \frac{1.5418}{2 \sin 14.45} = 3.0897$$

$$a = d \sqrt{41/24}$$

$$a = 4.038 \text{ \AA}$$

$$c = 6.598 \text{ \AA}$$

d) Sampel D

$$(hkl) = (101)$$

$$2\theta = 28.5^\circ$$

$$\theta = 14.25^\circ$$

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

$$d = \frac{1.5418}{2 \sin 14.25} = 3.1318$$

$$a = d\sqrt{41/24}$$

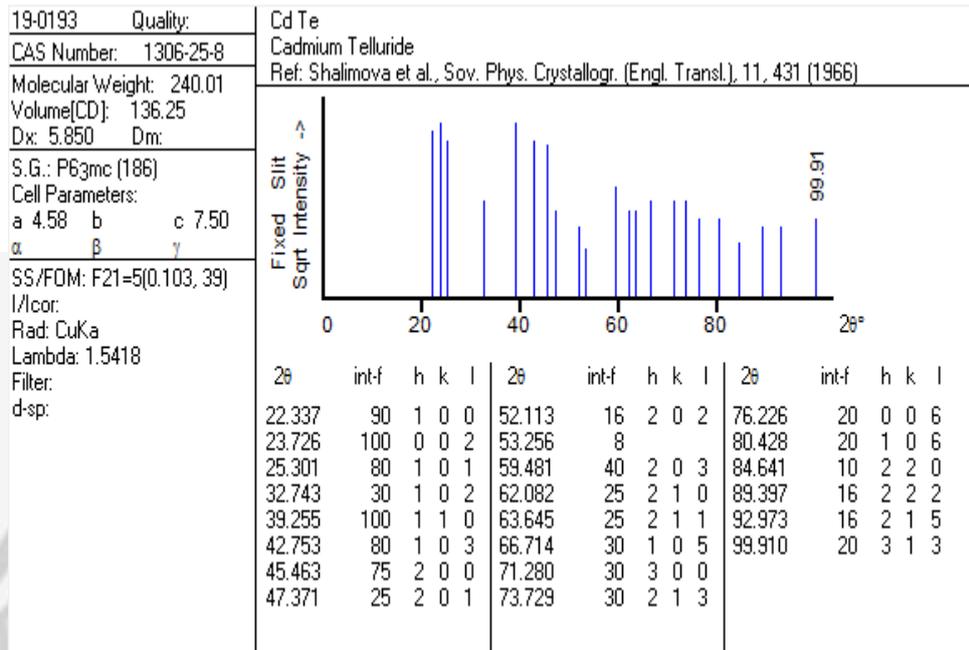
$$a = 4.093 \text{ \AA}$$

$$c = 6.684 \text{ \AA}$$



Data JCPDS

a) CdTe





Lampiran 3

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

Bahan : CdTe dan Cu₂Te

Massa campuran : 10 gram

Hasil yang diharapkan : CdTe:Cu(15%)

Perhitungan

$$\text{Mr CdTe} = 240,01$$

$$\text{Mr Cu}_2\text{Te} = 254,69$$

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

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

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

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

$$\text{Massa Cu}_2\text{Te} = \text{Mol Cu} \times \text{Mr Cu}_2\text{Te}$$

$$= 0,006249 \times 254,69$$

$$= 1,59176 \text{ gram}$$

$$\text{Massa CdTe} = \text{Massa campuran} - \text{Massa Cu}_2\text{Te}$$

$$= 10 - 1,59176$$

$$= 8,40824 \text{ gram}$$

Lampiran 4

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

Bahan : CdTe dan Cu₂Te

Massa campuran : 15 gram

Hasil yang diharapkan : CdTe:Cu(2%)

Perhitungan

$$\text{Mr CdTe} = 240,01$$

$$\text{Mr Cu}_2\text{Te} = 254,69$$

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

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

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

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

$$\text{Massa Cu}_2\text{Te} = \text{Mol Cu} \times \text{Mr Cu}_2\text{Te}$$

$$= 0,0001249 \times 254,69$$

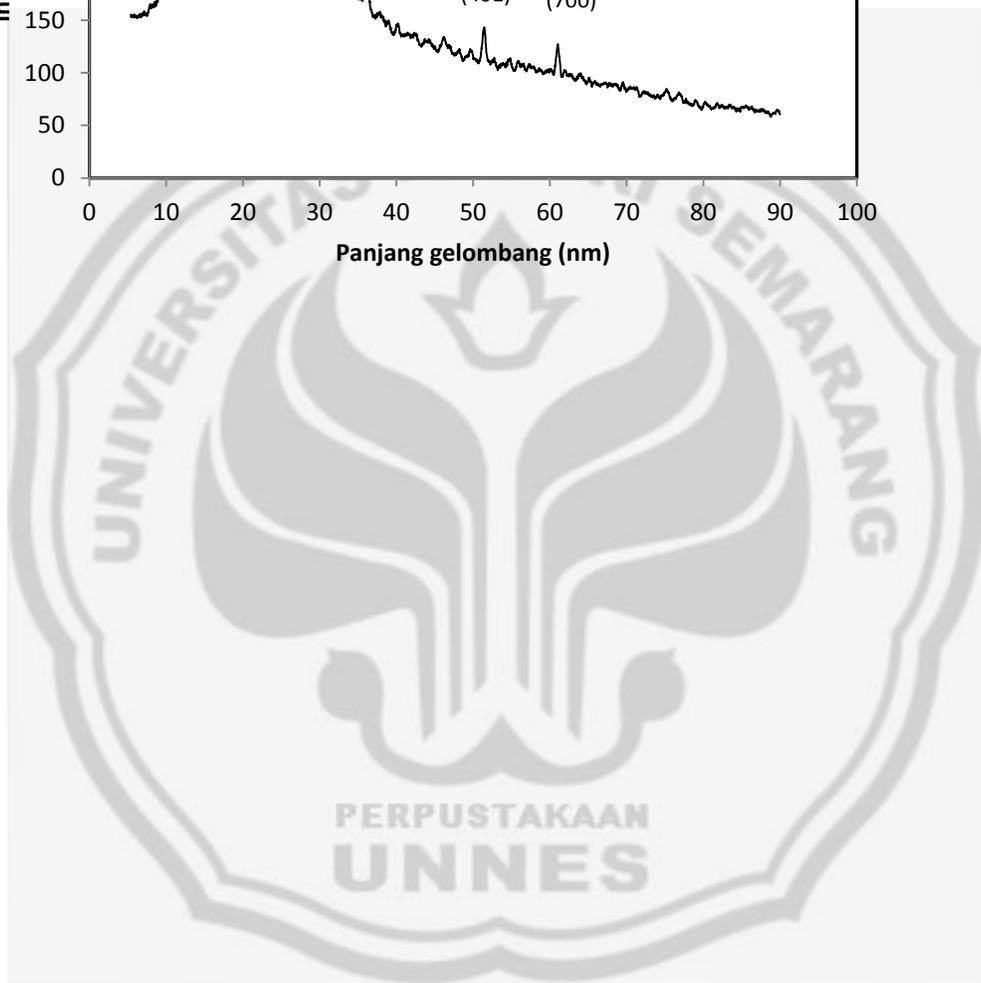
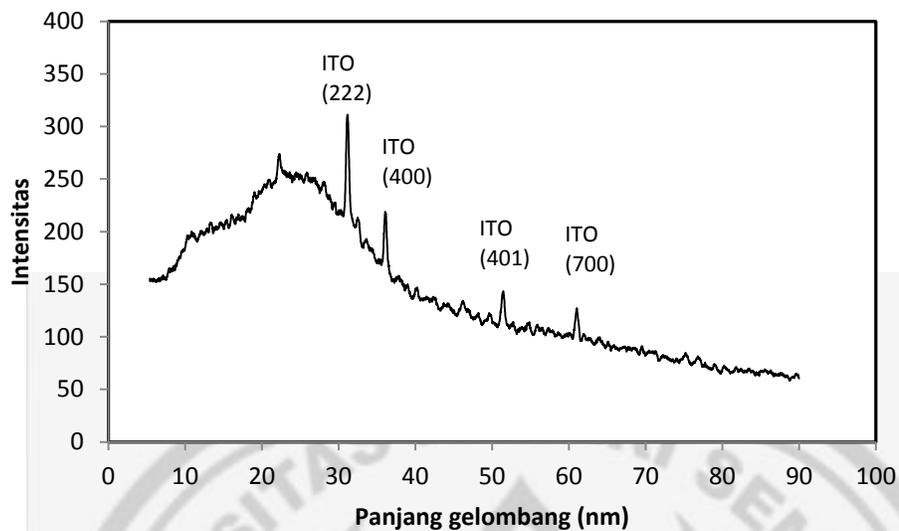
$$= 0,31835 \text{ gram}$$

$$\text{Massa CdTe} = \text{Massa campuran} - \text{Massa Cu}_2\text{Te}$$

$$= 15 - 0,31835$$

$$= 14,68165 \text{ gram}$$

Hasil Karakterisasi XRD ITO



Lampiran 6

Foto Alat Karakterisasi

a) SEM (*Scanning Electron Microscopy*)



b) XRD (*X-Ray Diffraction*) menggunakan XRD 6000 SHIMADZU



Foto Alat Karakterisasi

c) Vis-Nir menggunakan CHEMUSB4VIS-NIR

