

**LAPORAN TAHUNAN  
PROGRAM PENELITIAN HIBAH BERSAING**



**FABRIKASI STRUKTUR-HETERO CdTe/CdS:Zn  
UNTUK APLIKASI SEL SURYA**

**Tahun -1**

**Dr. Sugianto, M.Si (Ketua, NIDN 0019026105)  
Dr. Putut Marwoto, M.S (Anggota, NIDN 0021086306)  
Sunarno, S.Si, M.Si (Anggota, NIDN 0012017203)**

Dibeyai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan  
Melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Negeri Semarang  
Nomor: 023.04.2,189822/2013, tanggal 5 Desember 2012 dan  
Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Desentralisasi  
Nomor: 1.14.5/PPK.3.1/2013, Tanggal 14 Mei 2013

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
TAHUN 2013**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENELITIAN HIBAH BERSAING**

**Judul Penelitian** : Fabrikasi Struktur-Hetero CdTe/CdS:Zn untuk Aplikasi Sel Surya

**Kode>Nama Rumpun Ilmu** : 100/111

**Ketua Peneliti**

a. Nama Lengkap : Dr. Sugianto, M.Si

b. NIDN : 0019026105

c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala

d. Program Studi : Fisika

e. Nomor HP : 08157169295

f. Alamat surel (e-mail) : [sugianto@staff.unnes.ac.id](mailto:sugianto@staff.unnes.ac.id)

**Anggota Peneliti (1)**

a. Nama Lengkap : Dr. Putut Marwoto, M.S

b. NIDN : 0021086306

c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Semarang

**Anggota Peneliti (2)**

a. Nama Lengkap : Sunarno, S.Si, M.Si

b. NIDN : 0012017203

c. Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Semarang

**Lama Penelitian Keseluruhan** : Satu tahun

**Penelitian Tahun ke** : Satu

**Biaya Penelitian Keseluruhan** : Rp. 55.000.000 (lima puluh lima juta rupiah)

**Biaya Tahun Berjalan** :

- diusulkan ke DIKTI	Rp. 55.000.000
- dana internal PT	Rp. 0
- dana institusi lain	Rp. 0
- <i>inkind</i>	Rp. 0

Semarang, 30 Desember 2013

KetuaPeneliti,



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



Dr. Sugianto, M.Si  
NIP. 0019026105



Prof. Dr. Totok Sumaryanto F, M.Pd  
NIP. 196410271991021001

## RINGKASAN

### Fabrikasi Struktur-Hetero CdTe/CdS:Zn untuk Aplikasi Sel Surya

Salah satu material sel surya yang menarik untuk dikaji adalah *cadmium telluride* (CdTe) dan *cadmium sulfida* (CdS). Kedua material ini memiliki peranan penting dalam teknologi sel surya film tipis berefisiensi tinggi. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa sel surya film tipis berbasis CdTe yang telah berhasil diproduksi masih memiliki efisiensi yang rendah. Untuk itu, permasalahan penelitian yang masih perlu diupayakan solusinya adalah melakukan inovasi baru dalam hal peningkatan efisiensi konversi sel surya film tipis berbasis bahan CdTe dan CdS.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk fabrikasi struktur-hetero CdTe/CdS dan struktur hetero CdTe/CdS:Zn(5%) untuk aplikasi sel surya. Deposisi film tipis struktur hetero CdTe/CdS:Zn dilakukan dengan metode dc magnetron sputtering (home made) yang telah dikembangkan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Unnes. Struktur hetero yang ditumbuhkan adalah tipe “*Superstrate configuration*” dengan struktur Ag/p-CdTe/n-CdS:Zn/ITO/glass. Optimasi performa struktur-hetero dilakukan dengan doping Zn pada CdS, variasi daya plasma dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> pada film CdTe. Karakterisasi sifat listrik struktur-hetero menggunakan pengukuran arus-tegangan (*I-V*).

Pengukuran *I-V* pada kondisi tanpa penyinaran (*dark*) menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass mempunyai karakteristik ideal diode persambungan p-n. Arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi pada saat diberikan bias maju besarnya orde  $10^{-8} - 10^{-11}$  A. Karakteristik ini memenuhi persyaratan untuk dapat diaplikasikan pada sel surya. Penambahan doping Zn (5%) pada CdTe telah meningkatkan performa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass. Penumbuhan struktur hetero dengan daya tinggi dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> telah meningkatkan efisiensi sel surya. Tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) yang masih sangat rendah mengindikasikan bahwa hambatan seri ( $R_s$ ) dari material struktur hetero masih besar. Kondisi ini menyebabkan efisiensi konversi sangat rendah. Upaya optimasi akan dilakukan dengan memperbaiki kualitas kristal CdTe dan perbaikan kontak listrik menggunakan logam emas (Au) dengan metode evaporasi.

*Keyword:* Sel surya, struktur-hetero CdTe/CdS:Zn, film tipis, dc magnetron sputtering

## PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, atas karunian-Nya sehingga kami dapat melaksanakan kegiatan penelitian hibah bersaing dengan judul “Fabrikasi Struktur-Hetero CdTe/CdS:Zn untuk Aplikasi Sel Surya“ hingga menyusun laporan kemajuan. Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Fisika Material Universitas Negeri Semarang. Dalam pelaksanaan penelitian ini terdapat kendala dalam pemesanan bahan kimia (import), sehingga laporan kemajuan penelitian terlambat untuk disampaikan.

Pada kesempatan ini tidak lupa kami menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini, khususnya kepada:

1. Rektor Unnes
2. Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Unnes
3. Dekan FMIPA Unnes
4. Kepala Laboratorium Fisika Unnes yang telah memberikan kesempatan untuk menggunakan fasilitas laboratorium yang terkait dengan penelitian ini.

Akhirnya kami berharap semoga penelitian ini bermanfaat dan semua masukan yang membangun akan kami terima dengan senang hati.

Semarang, Desember 2013

Tim Peneliti

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	1
HALAMAN PENGESAHAN .....	2
RINGKASAN .....	3
PRAKATA .....	4
DAFTAR ISI .....	5
DAFTAR TABEL .....	6
DAFTAR GAMBAR .....	7
DAFTAR LAMPIRAN .....	8
BAB 1. PENDAHULUAN .....	9
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....	11
2.1. State of The Art .....	11
2.2. Studi Pendahuluan yang Sudah Dilakukan dan Hasil yang Dicapai .....	13
2.3. Peta Jalan Penelitian .....	13
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	14
BAB 4. METODE PENELITIAN .....	15
4.1. Penumbuhan Film Tipis Struktur hetero CdTe/CdS .....	17
4.2. Fabrikasi Struktur hetero CdTe/CdS (logam/CdTe/CdS/ITO) .....	18
4.3. Pengukuran I-V (Arus-Tegangan) .....	19
BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
5.1. Hasil Pengukuran I-V Strukturhetero Al/CdTe/CdS/ITO/glass tanpa penyinaran ..	21
5.2. Pengukuran I-V dengan penyinaran pada Strukturhetero Al/CdTe/CdS/ITO/glass.	25
5.3. Pengukuran I-V dengan penyinaran pada Strukturhetero Al/CdTe/CdS:Zn(5%)/ ITO/glass .....	26
5.4. Treatment CdCl <sub>2</sub> pada film CdTe .....	30
5.5. Pengukuran Efisiensi .....	33
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....	35
DAFTAR PUSTAKA .....	36
LAMPIRAN-LAMPIRAN .....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Parameter penumbuhan struktur hetero CdTe/CdS/ITO .....	17
Tabel 4.2	Parameter penumbuhan struktur hetero CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO .....	18
Tabel 5.1	Besarnya arus saturasi difusi, arus saturasi rekombinasi struktur hetero CdTe/CdS .....	25
Tabel 5.2	Hasil pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO dengan penyinaran lampu halogen pada luasan sampel $\sim 0,50 \text{ cm}^2$ .....	26
Tabel 5.3	Besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass .....	27
Tabel 5.4	Besarnya tegangan $V_{oc}$ dan arus $I_{sc}$ struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass .....	27
Tabel 5.5	Besarnya arus saturasi difusi, arus saturasi rekombinasi, tegangan $V_{oc}$ dan arus $I_c$ struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass dengan treatment $\text{CdCl}_2$ .....	32
Tabel 5.6	Data tegangan $V_{oc}$ dan arus $I_c$ , tegangan maksimum ( $V_m$ ), arus maksimum ( $I_m$ ), fill factor (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO .....	33

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1:	Peta jalan peneliti yang telah dan akan dilaksanakan .....	11
Gambar 4.1:	Bagan alur penelitian .....	16
Gambar 4.2:	Struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO (gambar atas) dan struktur-hetero metal/CdTe/CdS:Zn/ITO (gambar bawah) .....	18
Gambar 4.3:	Rangkaian yang digunakan untuk (a) mengukur karakteristik I-V struktur hetero pada kondisi gelap, (b) mengukur karakteristik I-V pada saat disinari .....	19
Gambar 4.4.	Daya maksimum (Pmax) dapat dihitung berdasarkan luas maksimum dari kurva I-V .....	20
Gambar 5.1:	Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO .....	21
Gambar 5.2:	Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO .....	
Gambar 5.3:	Citra permukaan film CdTe sebelum (a) dan sesudah dilakukan <i>treatmen</i> CdCl <sub>2</sub> (b) .....	31
Gambar 5.4:	Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#12) ditumbuhkan dengan daya 50 watt dengan <i>treatmen</i> CdCl <sub>2</sub>	32
Gambar 5.5:	Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#12) ditumbuhkan dengan daya 50 watt dengan <i>treatmen</i> CdCl <sub>2</sub> dalam kondisi disinari.....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 :	Instrumen Penelitian	38
Lampiran 2 :	Peralatan dan Kegiatan Penelitian .....	42
Lampiran 3.1:	Penentuan Besarnya Arus Saturasi pada Kondisi Tanpa Penyinaran .....	45
Lampiran 3.2:	Pengukuran I-V dalam Kondisi Disinari untuk menghitung besarnya efisiensi konversi daya .....	50
Lampiran 4 :	Personalia Tenaga Peneliti Beserta Kualifikasinya .....	52
Lampiran 5 :	Publikasi .....	53



## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi dunia dewasa ini mencapai 10 terawatts (TW) pertahun, dan pada tahun 2050 diperkirakan mencapai 30 TW pertahun (Razykov *et al.*, 2011). Oleh sebab itu, dunia memerlukan 20 TW energi non-CO<sub>2</sub> (*green energy*) untuk menstabilkan kadar CO<sub>2</sub> dalam atmosfer bumi (El Chaar *et al.*, 2011). Jika kadar CO<sub>2</sub> tersebut tidak dapat distabilkan maka kerusakan lebih lanjut berskala global akibat *green house effect* tidak dapat dielakkan lagi. Skenario sederhana yang dapat dilakukan untuk mencapai target penyediaan 20 TW energi non-CO<sub>2</sub> pada tahun 2050 nanti adalah pengalihan penggunaan sumber listrik konvensional ke teknologi *photovoltaic* (PV) dan energi terbarukan lainnya serta penggunaan hidrogen untuk bahan bakar transportasi sebagai pengganti bahan bakar fosil (Zweibel *et al.*, 2005). Terlihat di sini bahwa teknologi PV atau sel surya sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan akan menempati peran penting dalam penyediaan energi masa depan dunia.

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi intensitas penyinaran matahari yang tinggi di sepanjang tahunnya. Oleh karena itu pemilihan teknologi PV atau sel surya sebagai energi alternatif untuk Indonesia merupakan suatu pilihan yang sangat tepat. Untuk memenuhi kebutuhan energi Indonesia, maka diperlukan sel surya yang dapat diproduksi secara masal dengan tingkat kesulitan dan biaya produksi serendah mungkin tetapi memiliki efisiensi konversi energi tinggi. Untuk itu diperlukan kecermatan dalam pemilihan bahan dan pemilihan teknologi fabrikasi. Banyak material sel surya telah diteliti dan berbagai metode terus dikembangkan untuk menciptakan sel surya berefisiensi tinggi. Untuk alasan efisiensi proses produksi maka salah satu teknologi yang paling sesuai untuk fabrikasi sel surya secara masal dewasa ini adalah teknologi film tipis. Dalam teknologi film tipis penggunaan material sel surya dapat direduksi secara besar-besaran sehingga mampu menekan biaya produksi.

Salah satu material sel surya yang menarik untuk dikaji lebih lanjut adalah *cadmium telluride* (CdTe) dan *cadmium sulfida* (CdS). Kedua material ini memiliki peranan penting dalam teknologi sel surya film tipis. Material CdTe yang mempunyai lebar *energy gap* sekitar 1,5 eV berperan sebagai lapisan absorber karena memiliki kemampuan absorpsi sangat tinggi, sedangkan material CdS yang mempunyai lebar *energy gap* sekitar 2,4 eV berperan sebagai *window layer* karena memiliki *energy gap* yang lebar, sehingga pembuatan struktur-hetero kedua material (CdTe/CdS) tersebut berpotensi untuk diaplikasikan dalam fabrikasi sel surya film tipis berefisiensi tinggi.

Sel surya film tipis yang menggunakan material CdTe sebagai lapisan absorbernya, secara teori memungkinkan memiliki efisiensi konversi energi sebesar 29 %. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan efisiensi teoritis sel surya silikon dan silikon amorf. Sayangnya, nilai teoritis tersebut masih jauh dari kenyataan di lapangan. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa sel surya film tipis berbasis CdTe yang telah berhasil diproduksi masih memiliki efisiensi yang rendah, efisiensi maksimal yang dilaporkan hanya mencapai 16,5% (Wu *et al.*, 2001; Crossy *et al.*, 2012; Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011). Padahal, seandainya nilai efisiensi ini dapat ditingkatkan mendekati efisiensi teoritisnya maka sel surya film tipis yang dapat produksi dengan biaya rendah tetapi memiliki efisiensi konversi energi tinggi akan dapat diwujudkan. Untuk itu, permasalahan penelitian yang masih perlu diupayakan solusinya adalah melakukan terobosan dan inovasi baru dalam hal peningkatan efisiensi konversi sel surya film tipis berbasis bahan CdTe dan CdS.

Berbagai upaya untuk meningkatkan efisiensi konversi sel surya berbahan CdTe dan CdS telah dilakukan. Podesta *et al.* (2006) melakukannya dengan melakukan doping gas flourin pada CdS ketika penumbuhan film berlangsung. Gupta *et al.* (2006) melakukannya dengan mengalirkan gas CdCl<sub>2</sub> pada temperatur 387°C saat penumbuhan film CdTe.

Kelompok peneliti di Laboratorium Fisika Material FMIPA Unnes dalam lima tahun terakhir ini tertarik untuk mengkaji dan fokus dengan topik penelitian tentang pengembangan material sel surya film tipis. Beberapa material yang potensial untuk aplikasi sel surya film tipis telah dikaji secara mendalam untuk diungkap dan dipelajari sifat fisisnya. Sejauh ini beberapa material yang telah berhasil diungkap dan dipelajari sifat-sifatnya meliputi *cadmium telluride* (CdTe), *cadmium sulfida* (CdS), CdS doping Zn, *zink oxide* (ZnO), dan ZnO doping Al. Salah satu capaian penting dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan adalah diketahuinya kondisi optimum penumbuhan masing-masing material yang diteliti. Material yang ditumbuhkan pada kondisi optimumnya masing-masing akan memiliki sifat fisis yang paling baik sehingga memiliki performa yang optimal ketika diaplikasikan sebagai sel surya. Pada penelitian kali ini, material-material yang telah berhasil diketahui kondisi optimumnya tersebut, akan dipadukan untuk membuat *prototype* sel surya film tipis yaitu dalam struktur-hetero CdTe/CdS:Zn

## **BAB 2**

### **STUDI PUSTAKA**

Teknologi PV atau sel surya sebagai sumber energi ramah lingkungan merupakan pilihan tepat untuk dikembangkan di Indonesia sebagai negara dengan intensitas penyinaran matahari yang tinggi di sepanjang tahun. Untuk memenuhi kebutuhan energi Indonesia, maka diperlukan sel surya dengan efisiensi konversi energi tinggi yang dapat diproduksi secara masal. Banyak metode yang dikembangkan dan material yang diteliti untuk mencapai tujuan tersebut. Untuk alasan efisiensi produksi maka salah satu teknologi yang paling sesuai untuk fabrikasi sel surya secara masal dewasa ini adalah teknologi film tipis. Sedangkan, material sel surya yang menarik untuk dikaji lebih lanjut adalah *cadmium telluride* (CdTe) dan *cadmium sulfida* (CdS). Kedua material tersebut mempunyai karakteristik bawaan unik yang memungkinkan akan menghasilkan sel surya berefisiensi tinggi ketika keduanya dipadukan dalam struktur-hetero CdTe/ZnS.

#### **2.1. State of the art**

Sel surya film tipis yang dikembangkan pertama kali adalah silikon amorf film tipis (Gupta & Compaan, 2004; El Chaar *et al.*, 2011). Sebagai sel surya film tipis yang pertama kali dikembangkan, silikon amorf memiliki efisiensi yang rendah (El Chaar *et al.*, 2011). Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi silikon amorf telah mengalami evolusi dengan peningkatan efisiensi. Konfigurasi yang lebih kompleks seperti silikon amorf *double* dan *triple junction* telah berhasil diproduksi dengan nilai efisiensi lebih tinggi yaitu berkisar antar 4-8%. Efisiensi sebesar 8-9% telah berhasil dicapai oleh silikon amorf film tipis dengan konfigurasi *multy layer* (El Chaar *et al.*, 2011).

Sel surya film tipis lainnya yang telah berhasil dikembangkan adalah sel surya berbasis material *copper indium diselenide* (CIS). Sel surya film tipis CIS memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan silikon amorf. Efisiensi tertinggi yang berhasil dicapai oleh material CIS sebesar 20% (Repins *et al.*, 2008). Sayangnya secara ekonomis sel surya dari CIS tidak sesuai untuk dikembangkan secara masal karena biaya produksinya yang masih sangat tinggi (Gupta & Compaan, 2004). Material lain yang berpotensi besar memiliki efisiensi tinggi untuk diaplikasikan sebagai sel surya film tipis adalah kombinasi material CdTe dan CdS.

CdTe merupakan material dengan *direct bandgap* sebesar 1,5 eV (Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011) sehingga mampu menyerap seluruh spektrum pada rentang

panjang gelombang cahaya tampak. Selain itu, material CdTe memiliki koefisien absorpsi yang sangat tinggi ( $\alpha > 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ), 1  $\mu\text{m}$  film CdTe mampu mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *bandgap* (Gupta & Compaan, 2004). CdS sebagai material dengan energi *bandgap* yang lebar (2,4 eV) dalam teknologi sel surya film tipis berperan sebagai *window layer* (Gaewdang *et al.*, 2012). Dengan adanya lapisan ini, hampir seluruh cahaya dengan panjang gelombang pendek mampu melewati *interface* antar lapisan di bawah *window layer*. Selain itu, *window layer* yang merupakan daerah persambungan berfungsi sebagai tempat singgah sementara pembawa muatan minoritas yang dibangkitkan oleh cahaya sebelum terjadi rekombinasi (Gaewdang *et al.*, 2012; Gupta & Compaan, 2004). Oleh sebab itu, jika kedua material tersebut dikombinasikan dan diolah dengan tepat untuk aplikasi sel surya film tipis, maka sangat mungkin sekali akan dihasilkan sel surya film tipis dengan performa yang unggul.

Sel surya film tipis yang menggunakan material CdTe sebagai lapisan absorbernya, secara teori memungkinkan memiliki efisiensi konversi energi sebesar 29 % (El Chaar *et al.*, 2011; Gaewdang *et al.*, 2012). Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan efisiensi teoritis sel surya silikon amorf dan CIS (El Chaar *et al.*, 2011). Akan tetapi, fakta dilapangan menunjukkan bahwa sel surya film tipis berbasis CdTe yang telah berhasil diproduksi masih memiliki efisiensi yang jauh lebih rendah dari efisiensi teoritisnya. Sel surya film tipis CdTe yang telah diproduksi hanya mampu mencapai nilai efisiensi maksimal 16,5% (Wu *et al.*, 2001; Crossy *et al.*, 2012; Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011). Untuk kepentingan yang lebih luas, maka nilai efisiensi ini masih harus ditingkatkan.

Dari hasil studi pustaka yang telah dilakukan, ada tiga cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel surya film tipis berbasis material CdTe dan CdS. Metode yang pertama adalah pelebaran *bandgap* CdS *window layer*. Pelebaran *bandgap* material CdS sebagai *window layer* dapat dilakukan dengan pemberian doping. Pada penelitian ini material CdS akan didoping dengan unsur Zn. Dengan bertambah lebarnya *bandgap* CdS *window layer*, akan mengakibatkan rentang spektrum cahaya yang dapat menembus lapisan tersebut semakin bertambah sehingga diharapkan jumlah elektron yang dibebaskan oleh foton juga ikut meningkat (Perrenoud *et al.*, 2011). Meningkatnya jumlah elektron bebas pada sel surya mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan sel surya tersebut semakin besar. Sehingga secara tidak langsung, pelebaran *bandgap* dari *window layer* akan meningkatkan efisiensi sel surya.

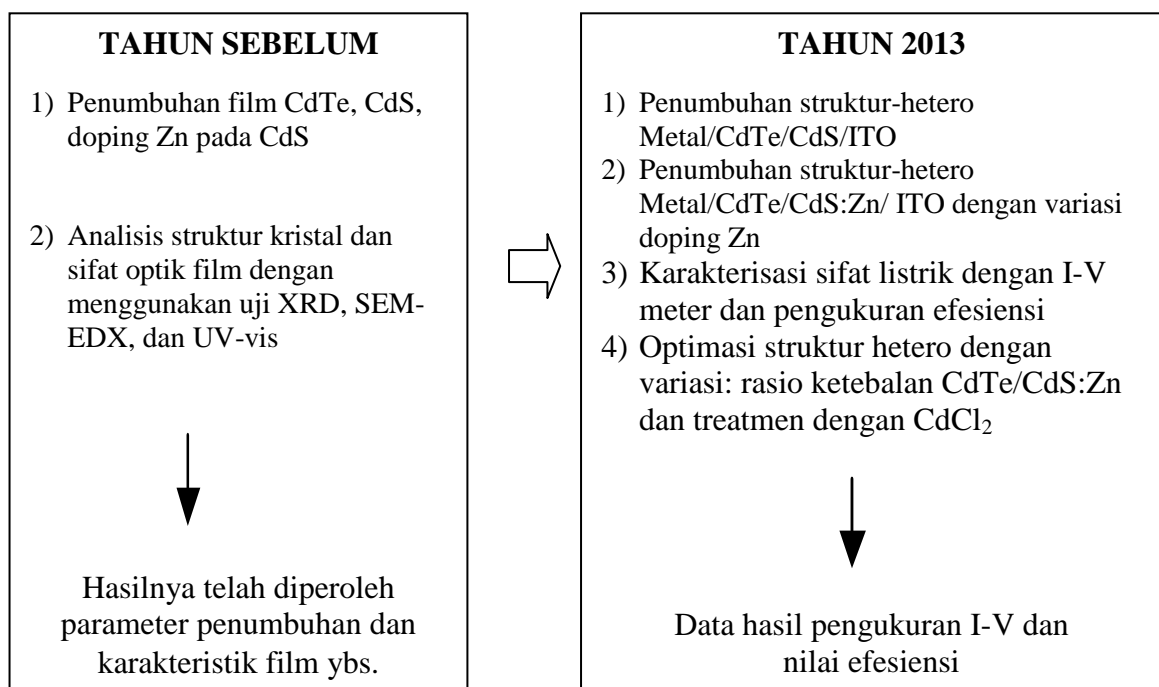
## 2.2. Studi Pendahuluan yang sudah dilakukan dan Hasil yang Dicapai

Pada penelitian sebelumnya film CdTe dan CdS sebagai material sel surya telah ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering* (Sugianto *et al*, 2009; Sugianto *et al*, 2010). Film tipis CdTe yang ditumbuhkan pada kondisi optimum tersebut mampu mengabsorpsi seluruh spektrum cahaya tampak pada rentang panjang gelombang sekitar 800 nm ke bawah, mempunyai energi bandgap ( $E_g$ ) 1,50 eV dan koefisien absorpsi ( $\alpha$ )  $4,56 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ . Film CdS yang ditumbuhkan memiliki energi *bandgap* 2,4 eV sehingga sesuai digunakan sebagai *window layer* pada sel surya film tipis.

Film CdS doping Zn (CdS:Zn 2% dan 5%) dan film ZnO doping Al (ZnO:Al) telah ditumbuhkan dengan hasil (Sugianto *et al*, 2012): (i) Laju penumbuhan film CdS:Zn antara 0,1 sd 0,4  $\mu\text{m}$ ; (ii) Struktur film yang ditumbuhkan pada temperatur 400°C dan 450°C mempunyai struktur kristal heksagonal dengan orientasi dominan arah (102); (iv) transmitansi film CdS:Zn sekitar 70 % sd 80%, dan energi bandgapnya bervariasi antara 2,55 eV sd 2,75 eV. Doping Zn pada film CdS telah memperlebar bandgap CdS sehingga memungkinkan untuk menyerap sinar matahari dengan rentang spektrum yang lebih lebar sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sel surya berbasis struktur-hetero CdTe/CdS:Zn.

## 2.3. Peta Jalan Penelitian

Peta jalan penelitian yang telah dan akan dilaksanakan dijelaskan pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1. Peta jalan penelitian yang telah dan akan dilaksanakan

### **BAB 3.**

#### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

Laboratorium fisika material Unnes telah membuat alat untuk penumbuhan film tipis dc magnetron sputtering (*home made*). Alat tersebut telah digunakan untuk penumbuhan berbagai film tipis termasuk penumbuhan film tipis CdTe, CdS dan CdS doping Zn (CdS:Zn). Penumbuhan film tipis dengan dc magnetron sputtering beayanya relatif murah namun kualitas film yang dihasilkan mempunyai karakteristik unik. Film tipis yang ditumbuhkan dengan dc magnetron sputtering tersebut telah menunjukkan kesamaan sifat fisik dengan teknik penumbuhan film lainnya tetapi cenderung mempunyai grain yang mikrokristalin.

Dalam penelitian ini dimaksudkan untuk fabrikasi film tipis struktur-hetero CdTe/CdS dan struktur-hetero CdTe/CdS:Zn dengan menggunakan metode dc magnetron sputtering tersebut. Karakteristik I-V dari struktur-hetero CdTe/CdS:Zn tersebut dipelajari selanjutnya akan dikaji kelayakannya untuk aplikasi sel surya. Rasio ketebalan CdTe/CdS dan jumlah doping Zn divariasikan agar menghasilkan karakteristik persambungan p-n yang memenuhi kriteria untuk dapat menghasilkan efisiensi sel surya yang optimal. Manfaat dari penelitian ini adalah diperolehnya suatu cara penumbuhan struktur-hetero film tipis berbahan dasar material CdTe dan CdS dengan dc magnetron sputtering sehingga dihasilkan prototype sel surya CdTe/CdS:Zn yang mempunyai efisiensi optimal.

## BAB 4

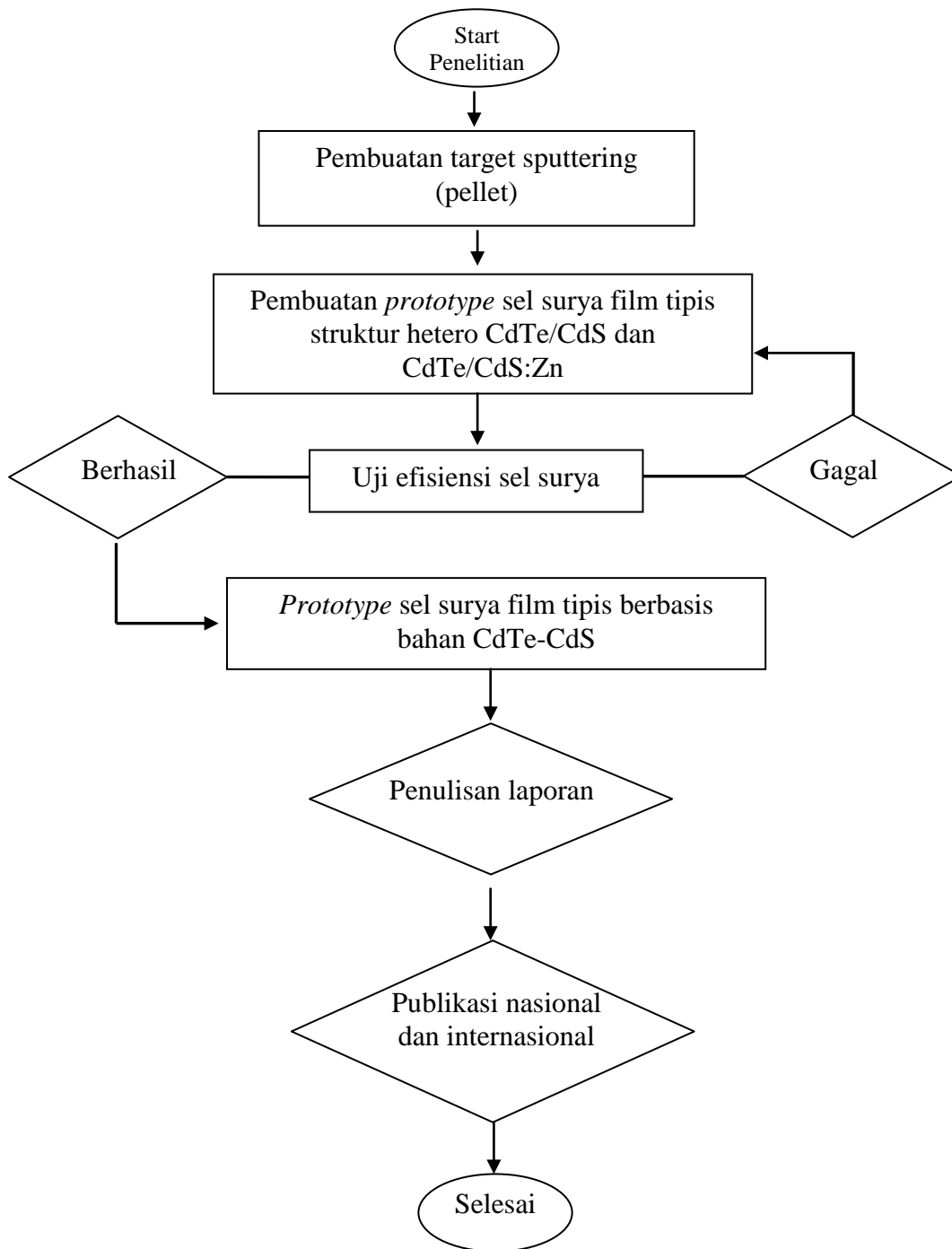
### METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat eksperimental. Penelitian ini dilaksanakan menjadi tiga tahap yaitu: (1) Penyiapan target sputtering dalam bentuk pellet yaitu CdTe, CdS, CdS:Zn (5%); (2) Penumbuhan struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO; dan metal/CdTe/CdS:Zn/ITO; (3) Karakterisasi sifat listrik struktur-hetero dengan menggunakan penukaran arus-tegangan (I-V)

Target sputtering dibuat dengan cara powder CdTe, CdS, CdS:Zn (5%) masing-masing dipress dengan pompa hidraulik dilanjutkan pemanasan dalam furnace pada suhu 600°C selama dua jam, kemudian didinginkan secara alami.

Deposisi film tipis struktur hetero menggunakan *dc magnetron sputtering* yang dilakukan di laboratorium Fisika Material FMIPA Unnes. Penumbuhan film dilakukan di atas substrat ITO (indium tin oxide). Proses deposisi diawali dengan preparasi substrat ITO. Substrat dipotong dengan ukuran kurang lebih 0,50 cm<sup>2</sup> kemudian dicuci dengan acetone dan metanol dalam ultrasonic bath selama 10 menit. Substrat dibilas dengan air dan dikeringkan dengan cara disemprot gas nitrogen. Substrat ITO segera ditempatkan pada *sample holder* dan reaktor divakumkan hingga tekanan reaktor lebih rendah dari 1 mTorr. Kemudian temperatur pemanas diseting sesuai parameter yang ditentukan, gas argon dialirkan, dan diberikan tegangan tinggi sehingga menghasilkan plasma. Proses deposisi dapat dimulai dengan parameter penumbuhan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Pengukuran arus – tegangan dilakukan dengan menggunakan I-V meter (ELKAHFI 100) di laboratorium Fisika Material Unnes. Metal yang digunakan sebagai kontak ini adalah logam perak (*silver conductive paint*). Pengukuran I-V untuk mengkaji karakteristik persambungan p-n, besarnya arus saturasi dan efisiensi konversi daya. Secara garis besar bagan alur penelitian disajikan dalam Gambar 4.1. Reaktor dc magnetron sputtering diperlihatkan pada Lampiran 1.



Gambar 4.1. Bagan alur penelitian



#### 4.4. Penumbuhan film tipis Struktur-hetero CdTe/CdS

Pada penelitian sebelumnya telah ditumbuhkan film tipis CdTe dan CdS di atas susbrat gelas corning secara terpisah sehingga diperoleh parameter penumbuhan kedua film tersebut (Sugianto dkk, 2009, Sugianto dkk, 2010, Sugianto dkk, 2012). Pada penelitian ini telah ditumbuhkan struktur-hetero CdTe/CdS di atas substrat ITO dengan variasi rasio ketebalan CdS/CdTe seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Ketebalan CdTe sebagai lapisan absorber sangat berpengaruh terhadap performarman sel surya. Ketebalan lapisan CdTe bergantung pada ukuran grain film CdTe. Selama penumbuhan laju alir argon adalah 90 sccm dengan tekanan reaktor 450 mTorr.

Tabel 4.1: Parameter penumbuhan struktur hetero CdTe/CdS/ITO

Nama sampel	CdS				CdTe			
	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)
HS#1	400 °C	24 watt	60 menit	200	450 °C	24 watt	120 menit	600
HS#2	450 °C	24 watt	60 menit	200	450 °C	24 watt	120 menit	600
HS#3	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	60 menit	300
HS#4	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	120 menit	600
HS#5	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS#6	450 °C	24 watt	60 menit	200	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS #7	450 °C	24 watt	90 menit	300	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS #8	450 °C	24 watt	120 menit	400	450 °C	24 watt	240 menit	1200

Penumbuhan struktur-hetero CdTe/CdS:Zn(5%) di atas substrat ITO dengan **daya berbeda** ditunjukkan pada Tabel 4.2. Penumbuhan dengan daya berbeda dimaksudkan agar diperoleh ukuran grain yang lebih besar selain juga laju penumbuhan meningkat. Sedangkan *treatmen* dengan menggunakan CdCl<sub>2</sub> dimaksudkan agar terjadi rekristalisasi lapisan CdTe. Film CdTe dicelup dalam CdCl<sub>2</sub> solution (1 g/60 ml etanol) selama 5 sekon. Kemudian film CdTe dipanaskan dalam vacuum pada suhu 400°C -420C selama 30 menit.

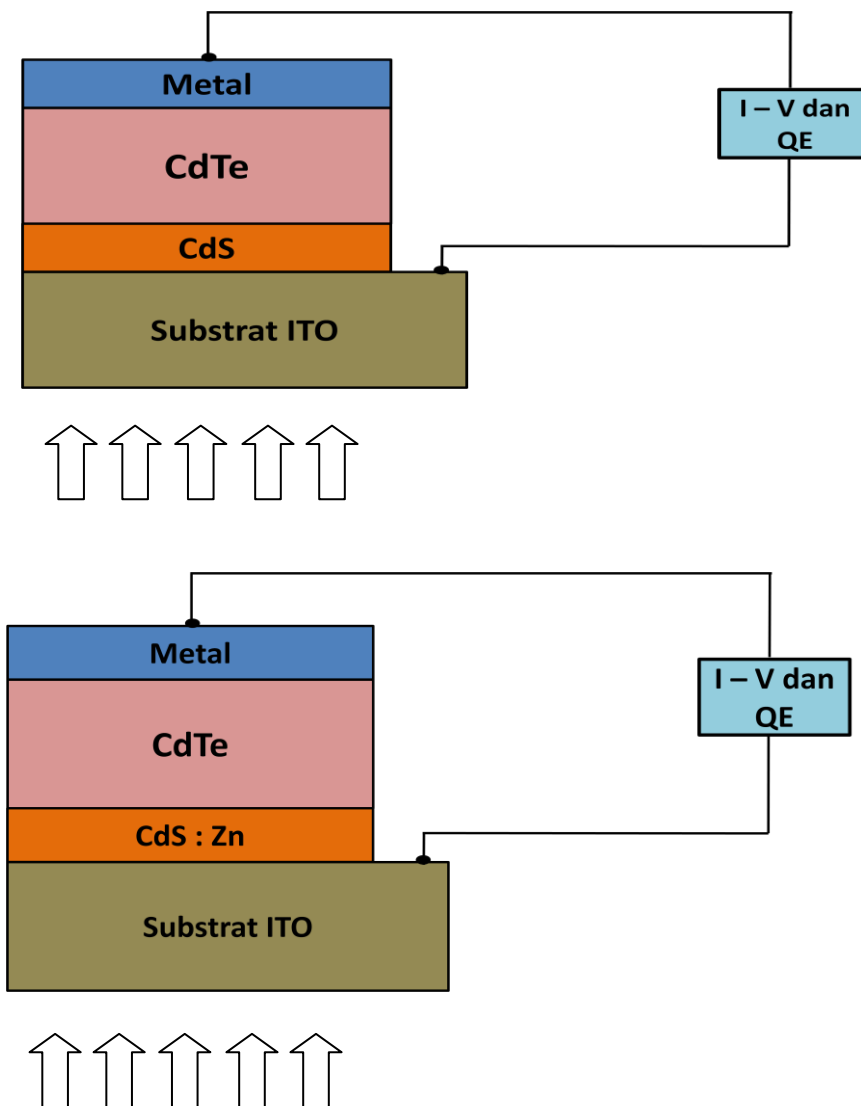
Tabel 4.2: Parameter penumbuhan struktur hetero CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO

Nama sampel	CdS				CdTe			
	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)
HS#9	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS#10	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	<b>35 watt</b>	180 menit	1000
HS#11	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	<b>50 watt</b>	180 menit	1100
HS#12	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	<b>50 watt</b>	180 menit <sup>*)</sup>	1100

Catatan: <sup>\*)</sup> dilakukan treatment dengan dicelup dalam larutan CdCl<sub>2</sub>.

#### 4.5. Fabrikasi struktur-hetero CdTe/CdS (logam/CdTe/CdS/ITO

Protitype struktur hetro metal/CdTe/CdS/ITO/gelas ditunjukkan pada Gambar 4.2

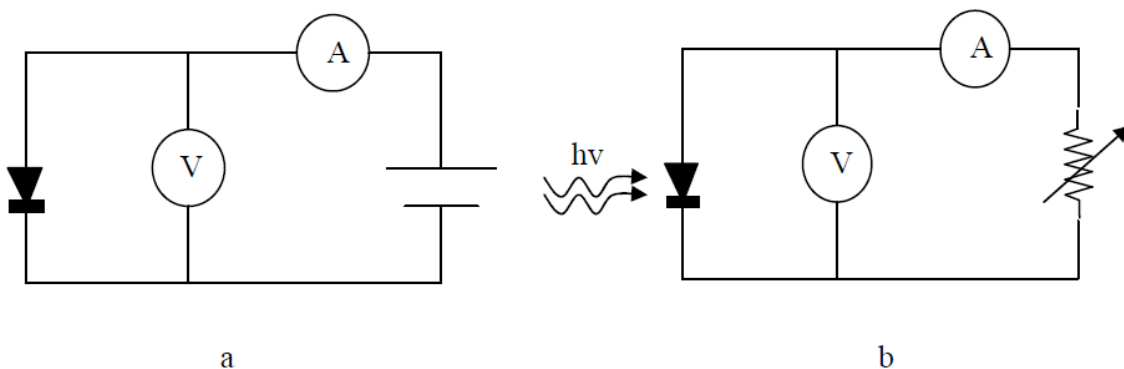


Gambar 4.2: Struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO (gambar atas) dan struktur-hetero metal/CdTe/CdS:Zn/ITO (gambar bawah)

Struktur hetero CdTe/CdS yang ditumbuhkan adalah tipe “ *Superstrate configuration*” dengan struktur metal/p-CdTe/n-CdS/ITO/glass seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Pada penelitian ini ditumbuhkan struktur hetero; (1) metal/p-CdTe/n-CdS/ITO/glass dan (2) metal/p-CdTe/n-CdS:Zn/ITO/glass. Metal yang digunakan logam perak (*silver conductive paint*) yang mempunyai sifat ohmik kontak.

#### 4.6. Pengukuran I-V (arus-tegangan)

Pengukuran I-V pada kondisi tanpa pencahayaan (*dark*) dimaksudkan untuk melihat karakteristik persambungan struktur-hetero CdTe/CdS:Zn. Rangkaian pengukuran I-V saat gelap dan disinari ditunjukkan pada gambar 4.3. Lampu yang digunakan untuk penyinaran adalah lampu halogen dengan intensitas 10.000 lux. Dari hasil pengukuran I-V tanpa disinari (*dark*) dapat dikaji karakteristik struktur-hetero CdTe/CdS:Zn, sedangkan dari hasil pengukuran I-V dengan disinari lampu halogen dapat ditentukan besarnya efisiensi konversi struktur solar sel.

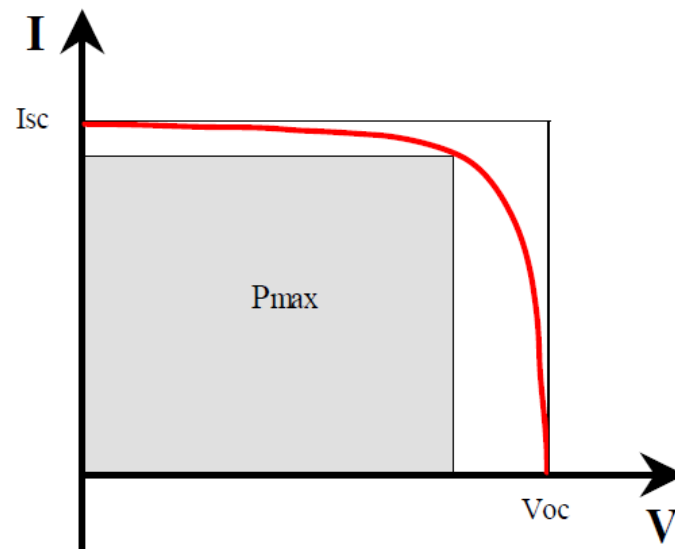


Gambar 4.3: Rangkaian yang digunakan untuk (a) mengukur karakteristik I-V struktur hetero pada kondisi gelap, (b) mengukur karakteristik I-V pada saat disinari

Parameter-parameter utama yang dapat ditentukan dari perilaku sel surya saat disinari adalah  $V_{oc}$  (*open circuit voltage* = tegangan rangkaian terbuka),  $I_{sc}$  (*short circuit current* = arus hubung singkat), FF (*Fill Factor* = Faktor Pengisian sel surya), dan  $\eta$  (*conversion efficiency* = efisiensi konversi). Nilai *Fill Factor* ditentukan melalui Persamaan : (Moller, 1993)

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

dimana  $I_m$  dan  $V_m$  adalah arus dan tegangan listrik pada titik kerja optimum, yaitu yang menghasilkan daya keluaran maksimum  $P_{max}$  (Gambar 4.4).



Gambar 4.4. Daya maksimum ( $P_{max}$ ) dapat dihitung berdasarkan luas maksimum dari kurva I-V

Sedangkan efisiensi konversi ( $\eta$ ) dihitung melalui persamaan : (Moller, 1993)

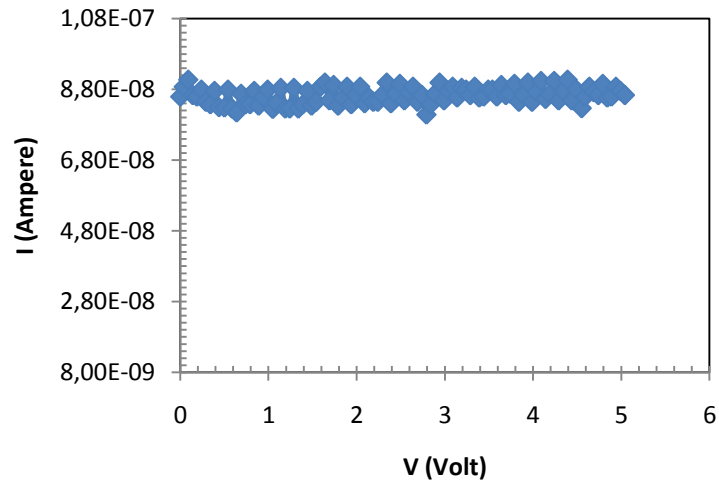
$$\eta = \frac{FF V_{oc} I_{sc}}{P_{in}} \times 100\%$$

dengan  $P_{in}$  adalah daya input cahaya lampu yang digunakan.

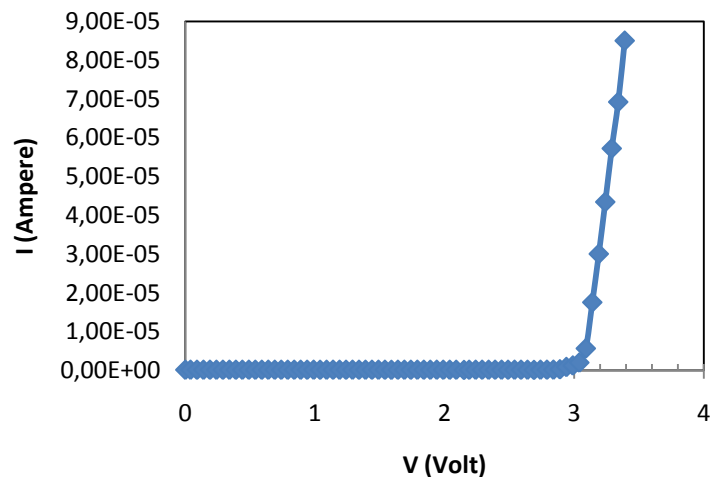
## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Hasil Pengukuran I-V struktur-hetero Al/CdTe/CdS/ITO (tanpa penyinaran)

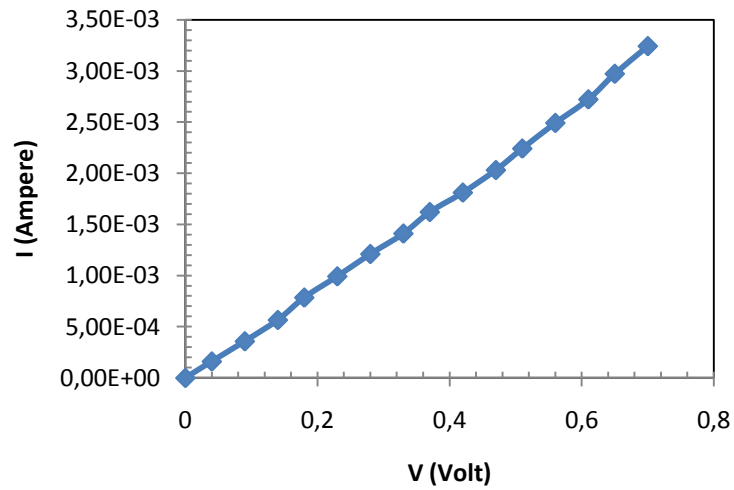
Pengukuran I-V tanpa penyinaran (*dark*) dimaksudkan untuk mengetahui apakah struktur hetero Ag/CdTe/CdS/ITO/glass yang ditumbuhkan telah menunjukkan karakteristik persambungan p-n (p-CdTe/n-CdS). Hasil pengukuran I-V tanpa penyinaran ditunjukkan pada Gambar 5.1.



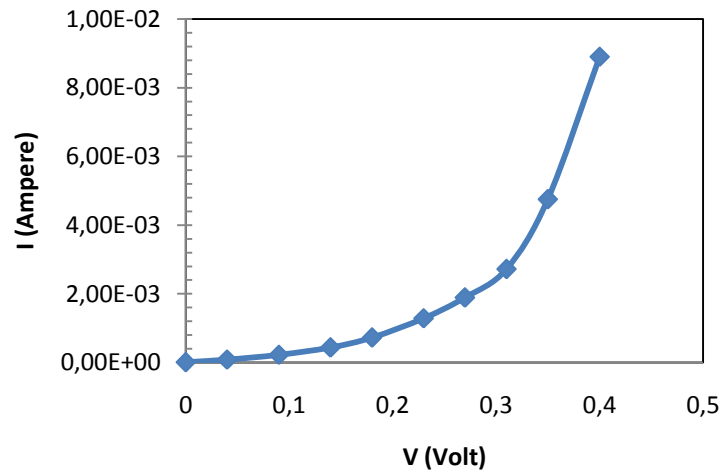
Gambar 5.1a: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#1, dengan ketebalan CdS/CdTe = 200nm/600nm )



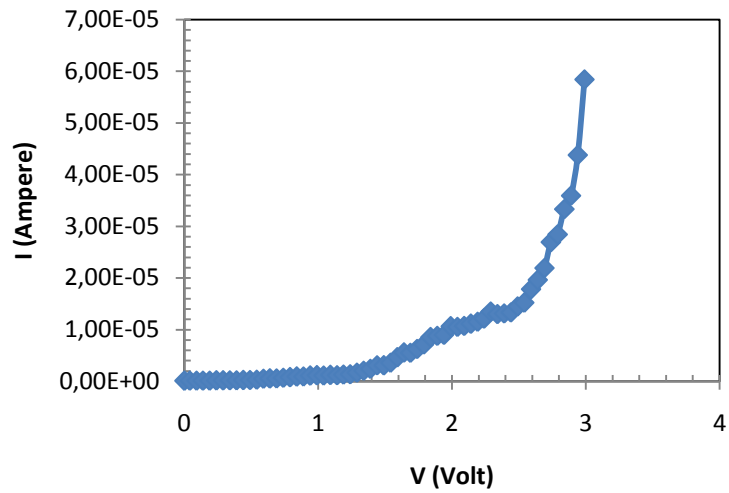
Gambar 5.1b: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#2, dengan ketebalan CdS/CdTe = 200nm/600nm)



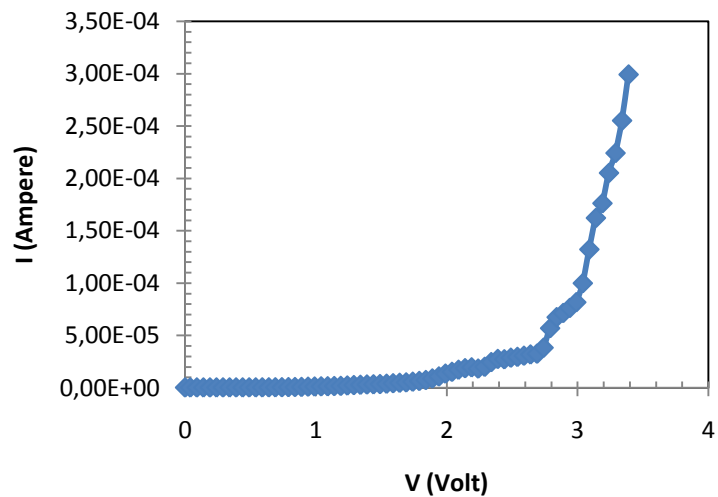
Gambar 5.1c: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS #3, dengan ketebalan CdS/CdTe = 100nm/300nm)



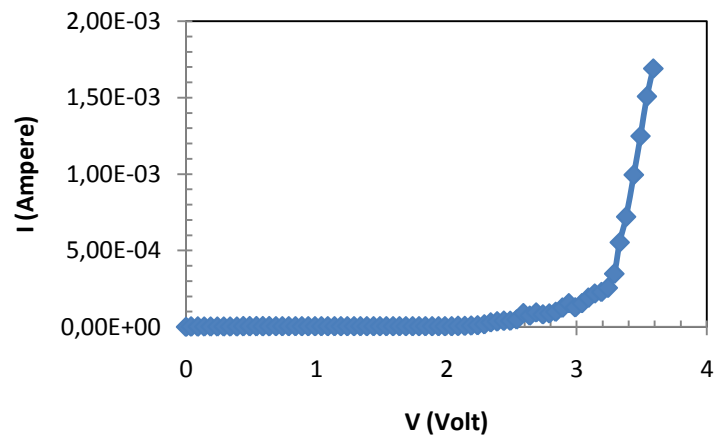
Gambar 5.1d: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#4, dengan ketebalan CdS/CdTe = 100nm/600nm)



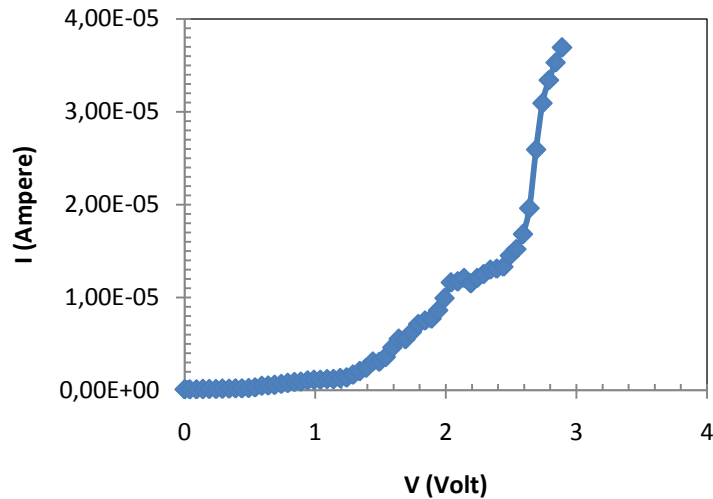
Gambar 5.1e: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#5, dengan ketebalan CdS/CdTe = 100nm/900nm)



Gambar 5.1f: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#6, dengan ketebalan CdS/CdTe = 200nm/900nm)



Gambar 5.1g: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#7, dengan ketebalan CdS/CdTe = 300nm/900nm)



Gambar 5.1h: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS #8, dengan ketebalan CdS/CdTe = 400nm/900nm)

Hasil pengukuran I-V menunjukkan bahwa pada saat film CdS (sebagai *window layer*) ditumbuhkan pada suhu 400°C (sampel HS#1) struktur hetero Ag/CdTe/CdS/ITO/glass tidak menunjukkan karakteristik diode persambungan p-n. Ketika temperatur penumbuhan film CdS dinaikkan menjadi 450°C, struktur-hetero Ag/CdTe/CdS/ITO/glass pada telah menunjukkan karakteristik *rectifying* seperti perilaku ideal diode persambungan p-n, kecuali pada sampel sampel HS#3. Ketika diberikan bias mundur besarnya arus rekombinasi juga nol. Fenomena *rectifying* menunjukkan terjadinya difusi muatan di daerah persambungan p-CdTe/n-CdS sehingga membentuk penghalang (*barrier*) di daerah persambungan (daerah deplesi). Lebar daerah deplesi ini merupakan parameter yang ikut memberikan kontribusi performance dari sel surya. Dari grafik I-V (gambar 5.2) menggambarkan lebar daerah deplesi dipengaruhi oleh ketebalan film CdS dan CdTe. Ketebalan film CdTe sebagai absorber sangat kritis terkait dengan besarnya parameter panjang difusi dari material CdTe. Ketebalan film CdTe mempengaruhi karakteristik persambungan p-n. Sampel-sampel yang menunjukkan karakteristik diode persambungan p-n ini merupakan persyaratan untuk dapat diaplikasikan pada solar cell.

Analisis karakteristik pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran dapat memberikan informasi besarnya arus saturasi dan faktor ideal persambungan p-n (the device ideality factor). Ketika struktur hetero CdTe/CdS diberikan bias maju maka berlaku persamaan (Sze, 1981):



$$I = I_s \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)$$

Dengan  $I_s$  adalah arus saturasi,  $n$  adalah faktor ideal device,  $k$  adalah konstanta Boltzman,  $q$  adalah muatan, dan  $T$  adalah temperatur. Karakteristik I-V (skala logaritmik) dari salah satu sampel struktur-hetero ditunjukkan pada Gambar 5.2. Dari gambar 5.2 dapat diperkirakan besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi, yang ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1. Besarnya arus saturasi difusi, arus saturasi rekombinasi struktur hetero CdTe/CdS

Sampel	$I_s$ rekombinasi	$I_s$ difusi
HS#2	$\sim 0$	$1,0 \times 10^{-7}$ A
HS#3	$8,0 \times 10^{-6}$ A	$8,0 \times 10^{-4}$ A
HS#4	$1,0 \times 10^{-5}$ A	$1,0 \times 10^{-4}$ A
HS#5	$1,0 \times 10^{-7}$ A	$3,0 \times 10^{-8}$ A
HS#6	$1,0 \times 10^{-7}$ A	$1,0 \times 10^{-8}$ A
HS#7	$1,0 \times 10^{-7}$ A	$8,0 \times 10^{-9}$ A
HS#8	$1,0 \times 10^{-7}$ A	$3,0 \times 10^{-8}$ A

Data dari tabel 5.1 menunjukkan bahwa untuk sampel dengan ketebalan lapisan absorber CdTe yang besar ( $> 900$  nm) mempunyai nilai arus saturasi yang relatif rendah antara  $10^{-7}$  sd  $10^{-9}$  A. Nilai ini serupa dengan hasil eksperimen Lee (2011) yang menumbuhkan hetero-strukture CdTe/CdS dengan rf magnetron suttering. Nilai arus saturasi yang besar menunjukkan adanya kebocoran arus (*leake current*) di sekitar daerah deplesi. Kondisi ini terkait dengan ketidaksempurnaan material dan parameter lain ketika film ditumbuhkan dengan dc manetron sputtering.

## 5.2. Pengukuran I-V dengan penyinaran pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS/ITO/glass

Pengukuran I-V dengan penyinaran lampu halogen telah dilakukan pada delapan sampel struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO. Ketika struktur hetero disinari lampu halogen, saat itu pula dibaca besarnya tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus listrik yang dihasilkan oleh persambungan p-CdTe/n-CdS. Hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2: Hasil pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO dengan penyinaran lampu halogen pada luasan sampel  $\sim 0,50 \text{ cm}^2$

Nama Sampel	Tegangan $V_{oc}$ (mV)	Arus Listrik $I_{sc}$ ( $\mu\text{A}$ )
HS #1	0	0
HS #2	6,7	1,9
HS #3	0,9	1,3
HS #4	12,3	1,6
HS#5	11,2	2,1
HS#6	1,6	0,7
HS#7	2,5	1,9
HS#8	6	0,9

Jika diperhatikan data pada Tabel 5.2. besarnya tegangan  $V_{oc}$  dan arus listrik ketika sampel disinari langsung dengan lampu halogen masih menunjukkan nilai yang sangat rendah. Dengan memperhatikan karakteristik p-n junction yang sudah baik sementara besarnya tegangan  $V_{oc}$  dan arus listrik yang dihasilkan masih sangat rendah sehingga perlu kajian untuk optimasi selanjutnya. Optimasi dilakukan dengan menggunakan lapisan CdS:Zn(5%) sebagai *window layer*. Tujuannya untuk memperlebar rentang spektrum cahaya yang akan diterima solar sel.

### 5.3. Pengukuran I-V pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass

Hasil pengukuran I-V pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass (sampel HS#9) **pada kondisi tanpa disinari** ditunjukkan pada gambar 5.2. Ketika struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass ditumbuhkan dengan daya rendah (24 watt) belum menunjukkan karakteristik diode yang baik. Upaya optimasi dilakukan dengan menaikkan daya plasma saat penumbuhan film CdTe dengan tujuan untuk menghasilkan grain film CdTe yang lebih besar dan laju penumbuhan yang bertambah agar diperoleh film CdTe yang lebih tebal. Film yang ditumbuhkan dengan daya 35 (sampel HS#10) dan daya 50 (sampel HS#11) tampak menunjukkan karakteristik ideal diode persambungan p-n. Dengan menggunakan skala logaritmik dapat ditentukan besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi yang dirangkum pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3: Besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass

Sampel	Daya plasma	$I_s$ rekombinasi	$I_s$ difusi
HS#9	24 watt	$1,0 \times 10^{-5}$ A	$3,0 \times 10^{-4}$ A
HS#10	35 watt	$1,0 \times 10^{-6}$ A	$1,0 \times 10^{-5}$ A
HS#11	50 watt	$1,0 \times 10^{-10}$ A	$3 \times 10^{-6}$ A

Pengukuran I-V pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass (sampel HS#9) **pada kondisi disinari** dengan lampu halogen menghasilkan informasi besarnya tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) seperti ditunjukkan pada Tabel 5.4.

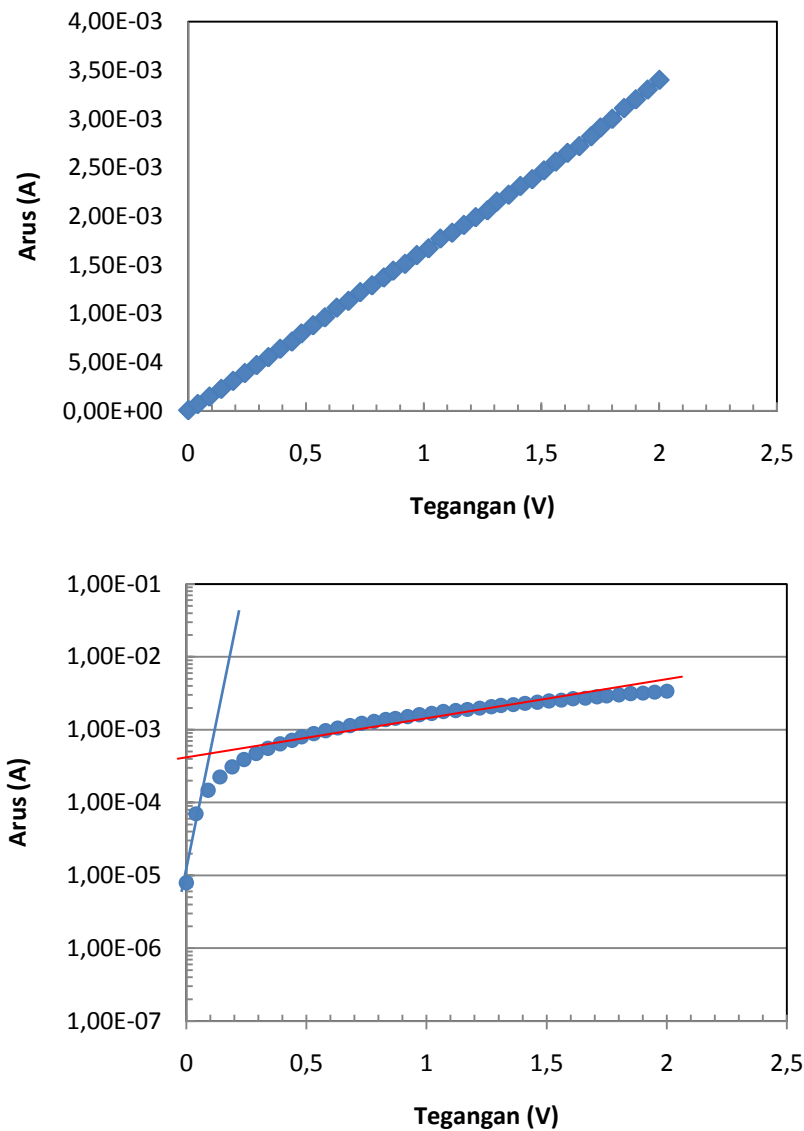
Tabel 5.4: Besarnya tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_{sc}$  struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass

Nama Sampel	Daya plasma	Tegangan $V_{oc}$ (mV)	Arus Listrik $I_{sc}$ ( $\mu$ A)
HS #9	24 watt	15,1	2,5
HS #10	35 watt	20,2	2,8
HS #11	50 watt	25,3	3,0

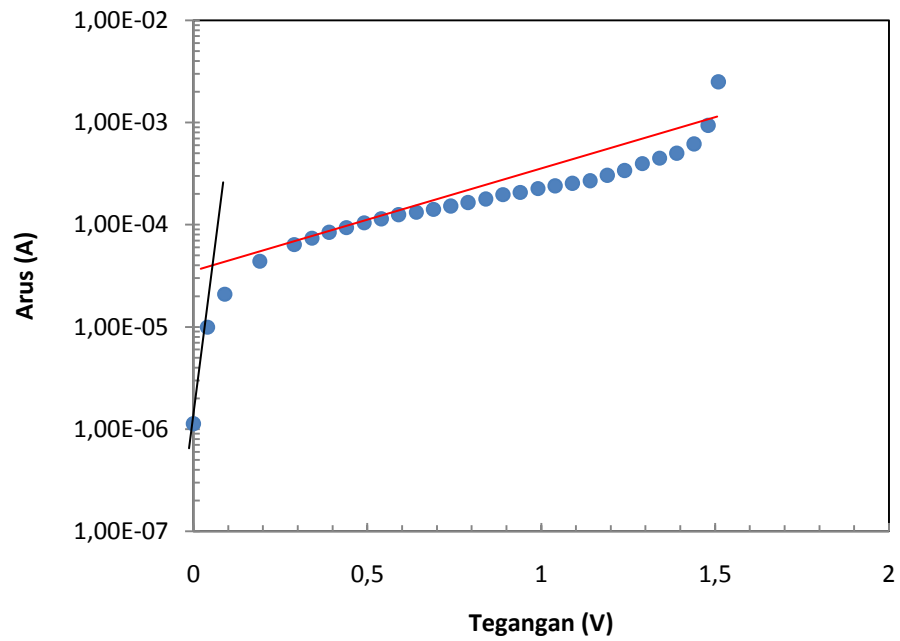
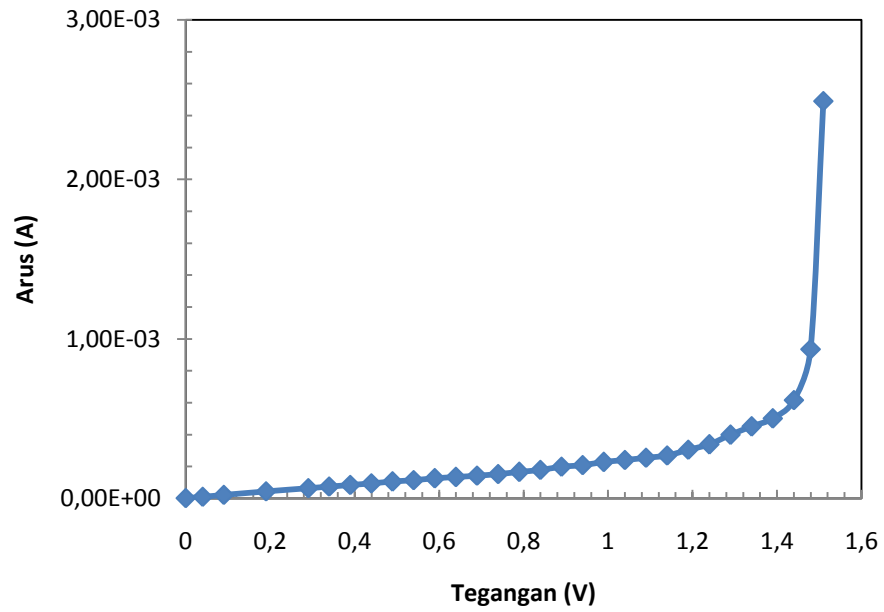
Berdasarkan data besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi tampak bahwa untuk film CdTe sebagai lapisan absorber yang ditumbuhkan pada daya lebih tinggi menunjukkan nilai arus saturasi difusi maupun arus saturasi rekombinasi yang semakin rendah. Kondisi ini menunjukkan performan dari persambungan p-n menjadi lebih baik ketika film CdTe ditumbuhkan dengan daya yang lebih tinggi. Pada sampel HS#11 tampak mempunyai arus saturasi rekombinasi pada orde  $10^{-10}$  A yang memberikan petunjuk akan mudah terjadinya generasi elektron ketika struktur hetero solar cell menerima foton atau disinari. Kondisi ini sejalan dengan besarnya tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_{oc}$  semakin meningkat seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Penumbuhan pada daya tinggi pada dc magnetron sputtering menghasilkan ukuran grain yang lebih besar selain juga menambah laju penumbuhan film CdTe.

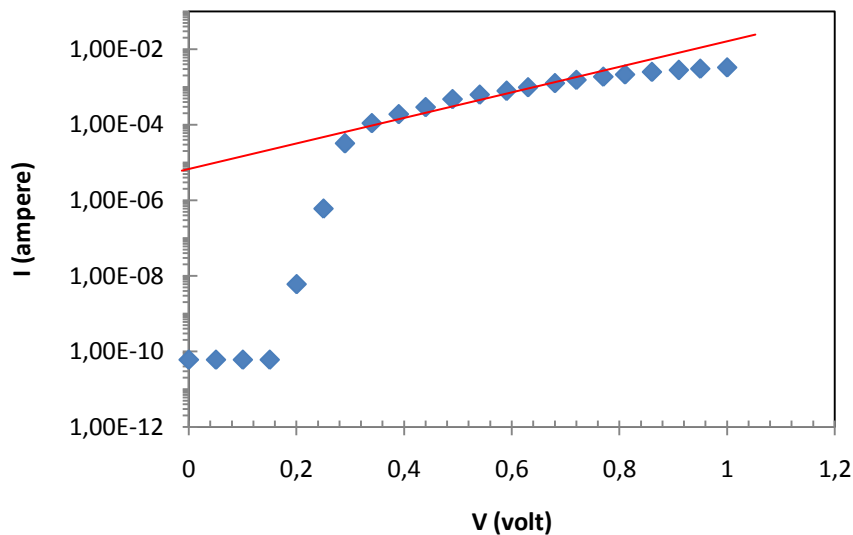
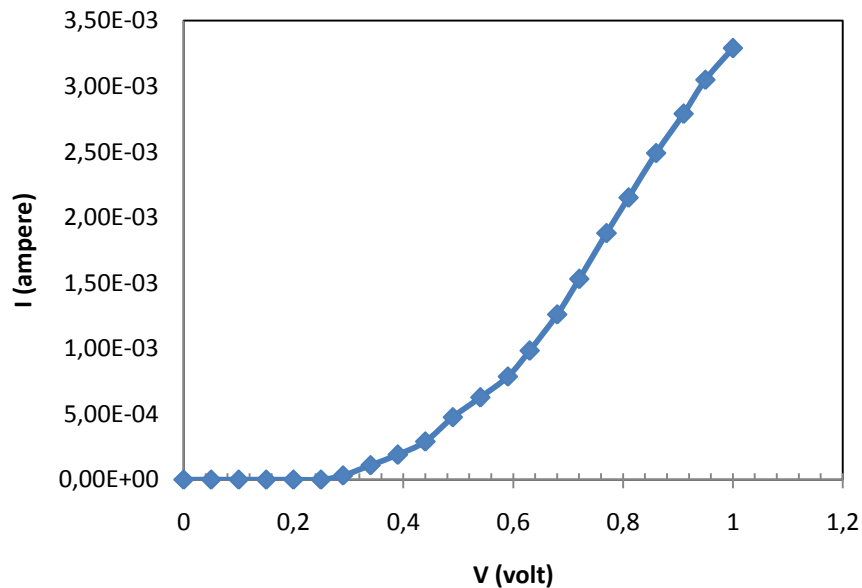
Peningkatan performan dari struktur hetero ini akibat kontribusi dari semakin besarnya ukuran grain dan ketebalan CdTe. Untuk itu upaya optimasi performan dari struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass selanjutnya dapat dilakukan dengan berbagai cara yang dapat memperbesar ukuran grain dari CdTe sebagai lapisan absorber dan menambah ketebalan CdTe. Pada penelitian ini telah dilakukan dengan melakukan treatment  $\text{CdCl}_2$ .



Gambar 5.2a: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#9) ditumbuhkan dengan daya 24 watt.



Gambar 5.2b: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#10) ditumbuhkan dengan daya 35 watt.

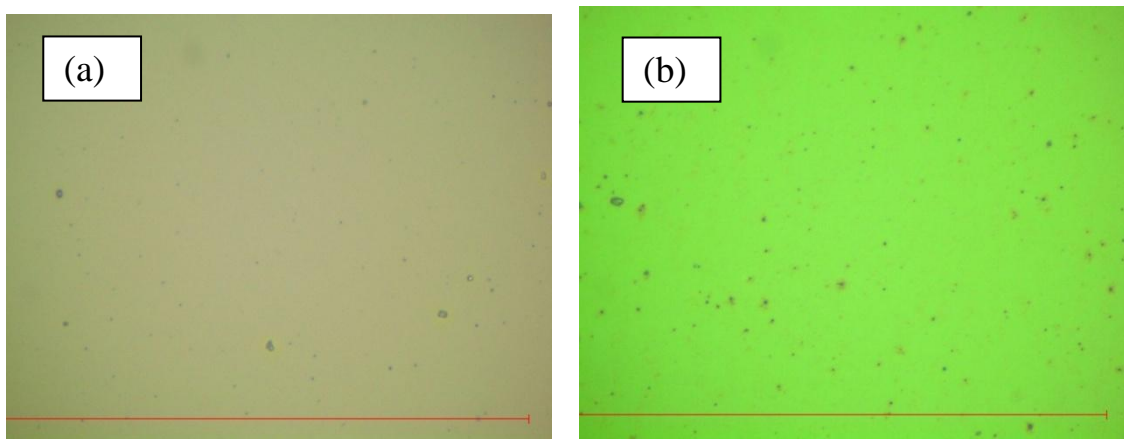


Gambar 5.2c: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#11) ditumbuhkan dengan daya 50 watt.

#### 5.4. Treatment $\text{CdCl}_2$ pada film CdTe

Beberapa hal yang menyebabkan rendahnya nilai  $V_{oc}$  dan arus yang dihasilkan antara lain kualitas kristal CdTe yang berperan sebagai lapisan absorber. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa film CdTe maupun CdS yang ditumbuhkan dengan dc sputtering menunjukkan struktur mikrokristalin. Untuk struktur mikrokristalin pada film CdS menguntungkan sementara mikrokristalin pada CdTe kemungkinan menjadi salah satu penyebab rendahnya tegangang atau arus listrik yang dihasilkan. Ukuran grain yang besar memungkinkan terjadinya difusi pada daerah interface CdTe/CdS dan cenderung

meningkatkan performan solar cell. Upaya memperbesar ukuran grain pada kristal CdTe (*recrystalize*) telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain oleh Shah et al (2010) dan Xiaoxu Huo et al (2013) yaitu dengan memberikan *treatment dengan CdCl<sub>2</sub> solution*. Film CdTe dicelup dalam CdCl<sub>2</sub> solution (1 g/60 ml etanol) selama 5 sekon. Kemudian film CdTe dipanaskan dalam vacuum pada suhu 400°C -420C selama 30 menit. Pada gambar 5.3 diperlihatkan struktur film CdTe sebelum dan setelah dilakukan treatment CdCl<sub>2</sub> dengan menggunakan kamera digital CCD pada perbesaran 2400x. Film yang di-treatment dengan menggunakan CdCl<sub>2</sub> mengalami perubahan warna dari abu-abu menjadi kehijauan dengan ukuran grain yang lebih besar. Untuk jelasnya struktur tersebut di waktu lain akan dilakukan dengan menggunakan SEM.

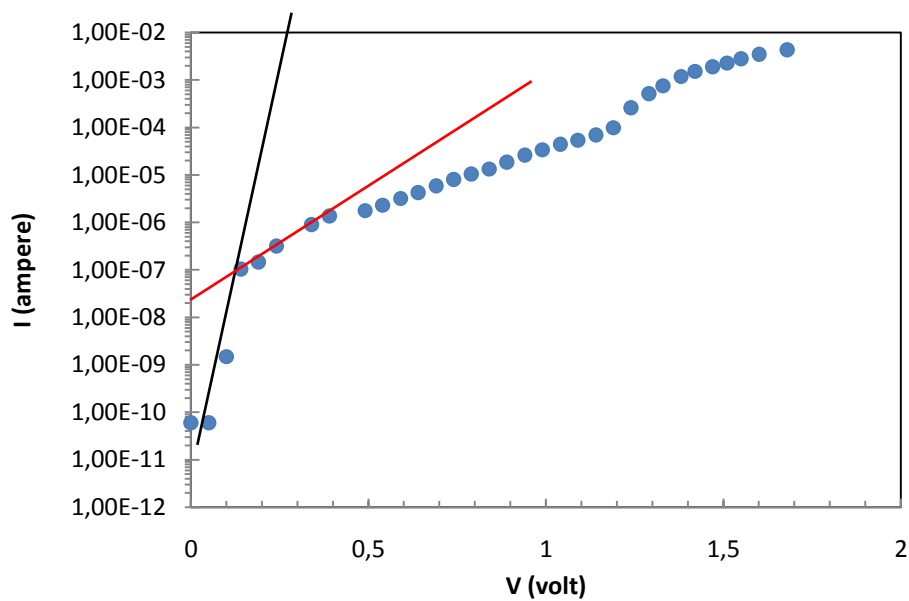
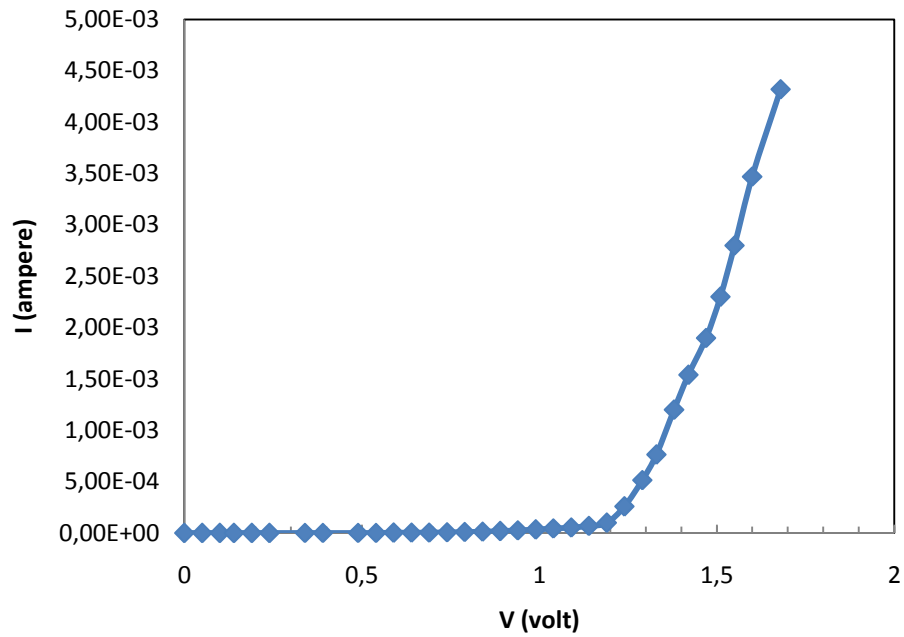


Gambar 5.3: Citra permukaan film CdTe sebelum (a) dan sesudah dilakukan threathmen CdCl<sub>2</sub> (b)

Hasil pengukuran I-V pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass setelah dilakukan threathmen CdCl<sub>2</sub> (sampel HS#12) **pada kondisi tanpa disinari** ditunjukkan pada gambar 5.4. tampak menunjukkan karakteristik ideal diode persambungan p-n. Dengan menggunakan skala logaritmik dapat ditentukan besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi yang dirangkum pada Tabel 5.5. Besarnya arus saturasi difusi maupun arus saturasi rekombinasi yang mempunyai orde  $10^{-8}$  sd  $10^{-11}$  lebih rendah dibandingkan dengan sampel sebelumnya sehingga perlakuan threathmen CdCl<sub>2</sub> ini telah meningkatkan performa dari struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass. Hasil pengukuran  $V_{oc}$  dan  $I_{oc}$  pada saat struktur hetero (sampel HS#12) disinari dirangkum pada Tabel 5.5

Tabel 5.5: Besarnya arus saturasi difusi, arus saturasi rekombinasi, tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_c$  struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass dengan *treatment*  $CdCl_2$

Sampel	Daya plasma	$I_s$ rekombinasi	$I_s$ difusi	$V_{oc}$	$I_{sc}$
SH#12	55 watt	$9,0 \times 10^{-11}$ A	$1,0 \times 10^{-8}$ A	32,9 mV	$4,0 \mu A$

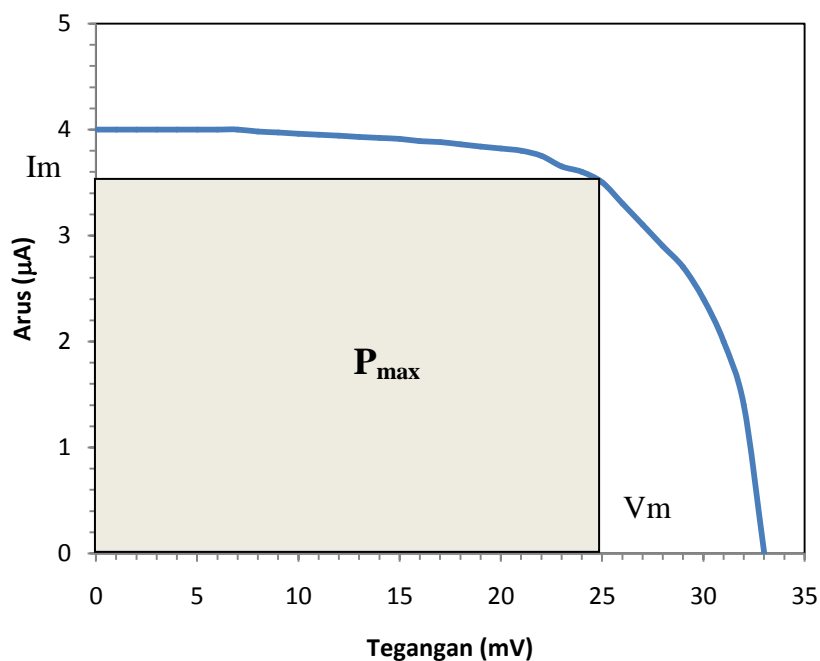


Gambar 5.4: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#12) ditumbuhkan dengan daya 50 watt dengan *treatment*  $CdCl_2$



## 5.5. Pengukuran Efisiensi

Gambar 5.5 menunjukkan hasil pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO (sampel HS#12) dalam kondisi disinari lampu halogen dengan intensitas 10.000 lux. Dari hasil pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO tersebut dapat ditentukan besarnya tegangan maksimum ( $V_m$ ) dan arus maksimum ( $I_m$ ) yang dihasilkan oleh solar solar. Hasil pengukuran sampel lainnya di lampiran 2. Selanjutnya dapat dihitung besarnya *fill factor* (FF) dan efisiensi solar cell seperti dirangkum dalam Tabel 5.6.



Gambar 5.5: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#12) ditumbuhkan dengan daya 50 watt dengan *treatment*  $CdCl_2$  dalam kondisi disinari.

Tabel 5.6. Data tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_c$ , tegangan maksimum ( $V_m$ ), arus maksimum ( $I_m$ ), fill factor (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO

Sampel	Daya plasma (watt)	$V_m$ (mV)	$I_m$ ( $\mu A$ )	FF	$\eta$ (%)
HS#5	24	8	1,7	0,58	0,002
HS#9	24	11	2,1	0,61	0,003
HS#10	35	16	2,2	0,62	0,005
HS#11	50	19	2,5	0,63	0,006
HS#12	50 <sup>*)</sup>	25	3,5	0,66	0,012

<sup>\*)</sup> dengan *treatment*  $CdCl_2$

Dari data pada Tabel 5.6 menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn (5%) mempunyai performan yang lebih baik dari Ag/CdTe/CdS:Zn (sampel HS#5) dengan ditandainya nilai fill factor (FF) dan efisiensi konversi daya ( $\eta$ ) yang lebih besar. Penumbuhan struktur hetero dengan daya lebih tinggi dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> juga telah meningkatkan nilai fill factor dan efisiensi. Namun kalau ditinjau dari besarnya efisiensi konversi daya Ag/CdTe/CdS:Zn (5%) masih sangat rendah dibandingkan dengan nilai efisiensi solar cell di pasaran. Rendahnya efisiensi ini terlihat dari nilai tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ) dan arus short circuit ( $I_{sc}$ ) yang memberikan petunjuk bahwa hambatan seri ( $R_s$ ) dari film yang ditumbuhkan masih sangat besar karena pengaruh *grain boundaries* film yang mikrokristalin. Selain juga dapat dipengaruhi konsentrasi pembawa muatan elektron pada CdS dan hole pada CdTe yang belum optimal. Preparasi metalisasi (kontak) dengan cara memoleskan *silver conductive paint* juga perlu dikaji lagi. Umumnya metalisasi menggunakan logam emas (Au) dengan metode evaporasi.

Fabrikasi solar cell dengan menggunakan dc magnetron sputtering (home made) pertamakali dilakukan di laboratorium Fisika Material Unnes sehingga masih perlu dilakukan optimasi untuk mendapatkan hasil efisiensi yang layak. Penelitian ini tetap akan dilanjutkan secara mandiri dengan upaya memperbaiki kualitas kristal CdTe dan CdS yang memenuhi untuk fabrikasi solar cell. Selain juga mencari alternatif penumbuhan CdTe dengan metode lain seperti CSS (*close space sublimation*) atau spin coating sehingga kemungkinan kontaminasi saat penumbuhan CdTe dan CdS pada satu reaktor dapat dihindarkan. Metalisasi akan dilakukan dengan logam emas (Au) dengan evaporasi.

## BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Struktur hetero metal Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass telah difabrikasi dengan menggunakan reaktor dc magnetron sputtering (*home made*). Pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran (*dark*) menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass mempunyai karakteristik ideal diode persambungan p-n. Arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi pada saat diberikan bias maju besarnya orde  $10^{-8} - 10^{-11}$ A. Karakteristik ini memenuhi persyaratan untuk dapat diaplikasikan pada solar cell.

Penambahan doping Zn (5%) pada CdTe telah meningkatkan performa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass. Penumbuhan struktur hetero dengan daya tinggi dan *treatment* dengan CdCl<sub>2</sub> telah meningkatkan performa solar cell karena ukuran grain yang bertambah besar. Tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) masih sangat rendah menunjukkan bahwa hambata seri ( $R_s$ ) dari material struktur hetero masih besar. Kondisi ini menyebabkan efisiensi konversi sangat rendah dibandingkan dengan solar cell dipasaran. Upaya optimasi akan dilakukan dengan memperbaiki kualitas kristal CdTe dengan metode penumbuhan lain sedang CdS tetap menggunakan CdS untuk menghindari kontaminasi. Selain itu metalisasi akan dilakukan dengan logam emas (Au) dengan evaporasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Crossy, A., Buecheler, S., Kranz, L., Perrenoud, J., Fella, C.M., Romanyuk, Y.E., Tiwari, A.N., 2012, Spray-deposition Al-doped ZnO transparent contacts for CdTe solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 101, 262-269.
- El Chaar, L., Lamont, L.A., El Zein, N., 2011, *Review of photovoltaic technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2165-2175
- Fleisher, K., Arca, E., Shvets, I.V. 2012. Improving solar cell efficiency with optical optimized TCO layers, *Solar Energy materials & Solar Cells* 101, 262-269
- Gaewdang, T., Wongcharoen, N., Wongcharoen, T., 2012, Characterization of cdS/CdTe heterojunction Solar Cells by Current-Voltage Measurements at Various Temperature under Illumination, *Energy Procedia* 15, 299-304.
- Gupta, A., Compaan, A.D., 2004, All-sputtered 14% CdS/CdTe thin-film solar cell with ZnO:Al transparent conducting oxide, *Applied Physics Letters* 85, 684-686.
- Gupta, A., Virol P, dan Compaan, AD, 2006, High Efficiency Ultra Thin Sputtered CdTe solar Cell, *Solar Energy Material & Solar Energy*, 90, 2263-2271.
- Lee, J., 2011, Effect of heat treatment of vacuum evaporated CdCl<sub>2</sub> layer on the properties of CdS/CdTe solar cells, *Current Applied Physics* 11, S103-S108
- Moller, H. J., 1993, *Semiconductor for Solar Cells*, London: Artech House Inc.
- Perrenoud, J., Kranz, L., Buecheler, S., Pianezzi, F., Tiwari, A.N., 2011, The use of aluminium doped ZnO as transparent conducting oxide for CdS/CdTe solar cells, *Thin Solid Films* 519, 7444-7448.
- Podesta, A., N. Armani, G. Salviati, N. Romeo, A. Bosio, M. Prato, 2006, Influence of the fluorine doping on the optical properties of CdS thin films for photovoltaic applications, *Thin Solid Films* 511-512, 448-452.
- Razykov, T.M., Ferekides, C.S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, H.S., and Upadhyaya, H.M., 2011, Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy* 85, 1580-1608.
- Repins I., Conteras M., Egaas B., DeHart C., Scharf J., Perkins C.L., 2008, 19,9%-efficient ZnO/CdS/CuInGaSe<sub>2</sub> solar cell with 81.2% fill factor, *Prog Photovoltaics Res Appl* 16, 235-239
- Sugianto, Ngurah Made, Putut Marwoto, dan Oktalina, 2009 Pengaruh Temperatur Penumbuhan pada Struktur dan Sifat Optik Film Tipis CdS yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron, *Jurnal MIPA* Vol. 32 No. 2, hal.126 – 132.
- Sugianto, Nathan H, Putut Marwoto, Edy Wibowo, (2010) Pengaruh Daya Plasma pada Struktur Mikro dan Sifat Optik Film Tipis CdTe yang Ditumbuhkan dengan DC Magnetron Sputtering, *Prosiding Seminar Nasional HFI 2010 - Pertemuan Ilmiah XXIV Himpunan Fisika Indonesia Jateng & DIY*, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Diponegoro Semarang, Semarang, hal: 134 - 138,
- Sugianto, Putut Marwoto, Ngurah Made DP, 2012, Sel Surya berbahan film tipis CdTe dan CdS, Laporan Penelitian Penugasan Unggulan Unnes (*unpublish*).,
- Syah, N.A, Ali, A, Hussain S, Magsood, A, 2010, CdCl<sub>2</sub>-treated CdTe thin films deposited by the closed spaced sublimation technique, *J. Coat. Technol. Res.*, 7 (1) pp.105-110

- Wu, X., Keane, J.C., DeHart, C., Albin, d.S., Duda, A., Gessert, T.A., Asher, S., Levi, D.H., Scheldon, P., 2001, 16.5% efficient CdS/CdTe polycrystalline thin film solar cell. In: *Proc. Of the 17th European Photovoltaic Solar Energy Convergence, Munich, Germany*, pp. 995-999.
- Xiaoxu Huo, Xiangyi Peng, Wei Liu, 2013, Comparason between the effects of CdCl<sub>2</sub> heat treatment on CdTe films Prepared by RF sputtering and closed spaced sublimation methods, *J. Mater Sci: Mater Electron* 24, pp 2479-2484.
- Yang, W., Yu, H., Tang, J., Su, Y., Wan, Q., Wang, Y., 2011, Omnidirectional light absorption in thin film silicon solar cell with dual anti-reflection coatings, *Solar Energy*, 2551-2559.
- Zweibel, K., The Terawatt challenge for thin film PV. In: Poortmans, J., Archipov, V. (Eds)., 2005, *Thin Film Solar Cells: Fabrication, Characterization and Application*. John Wiley, pp. 18-22.

## LAMPIRAN 1:

### INSTRUMEN PENELITIAN

#### A. Judul Penelitian

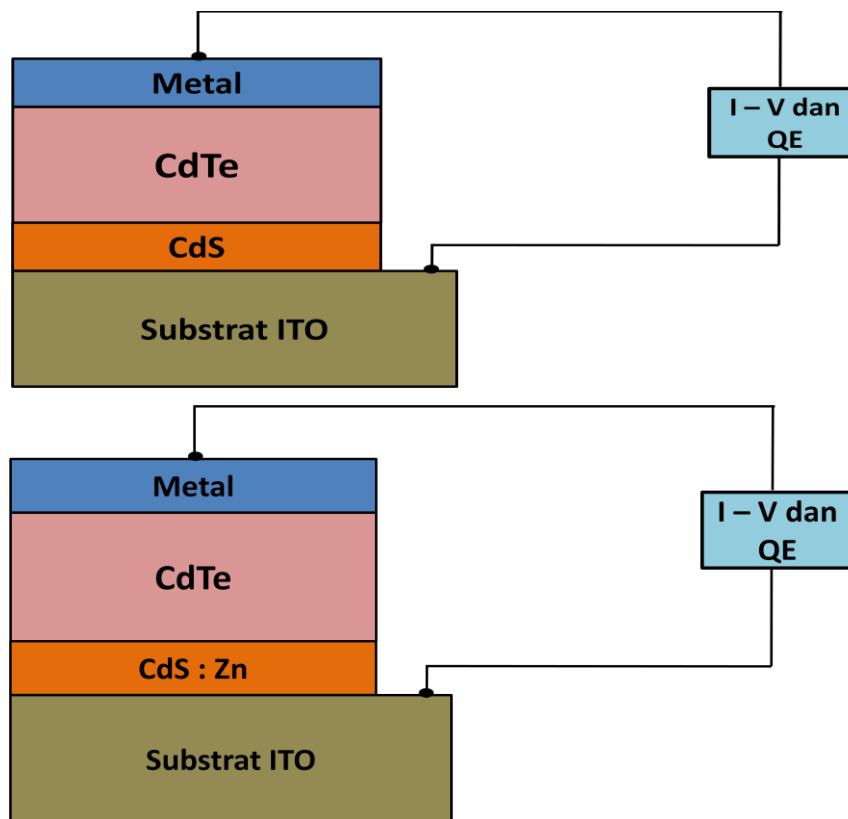
Fabrikasi Struktur-Hetero CdTe/CdS:Zn untuk Aplikasi Sel Surya .

#### B. Tujuan

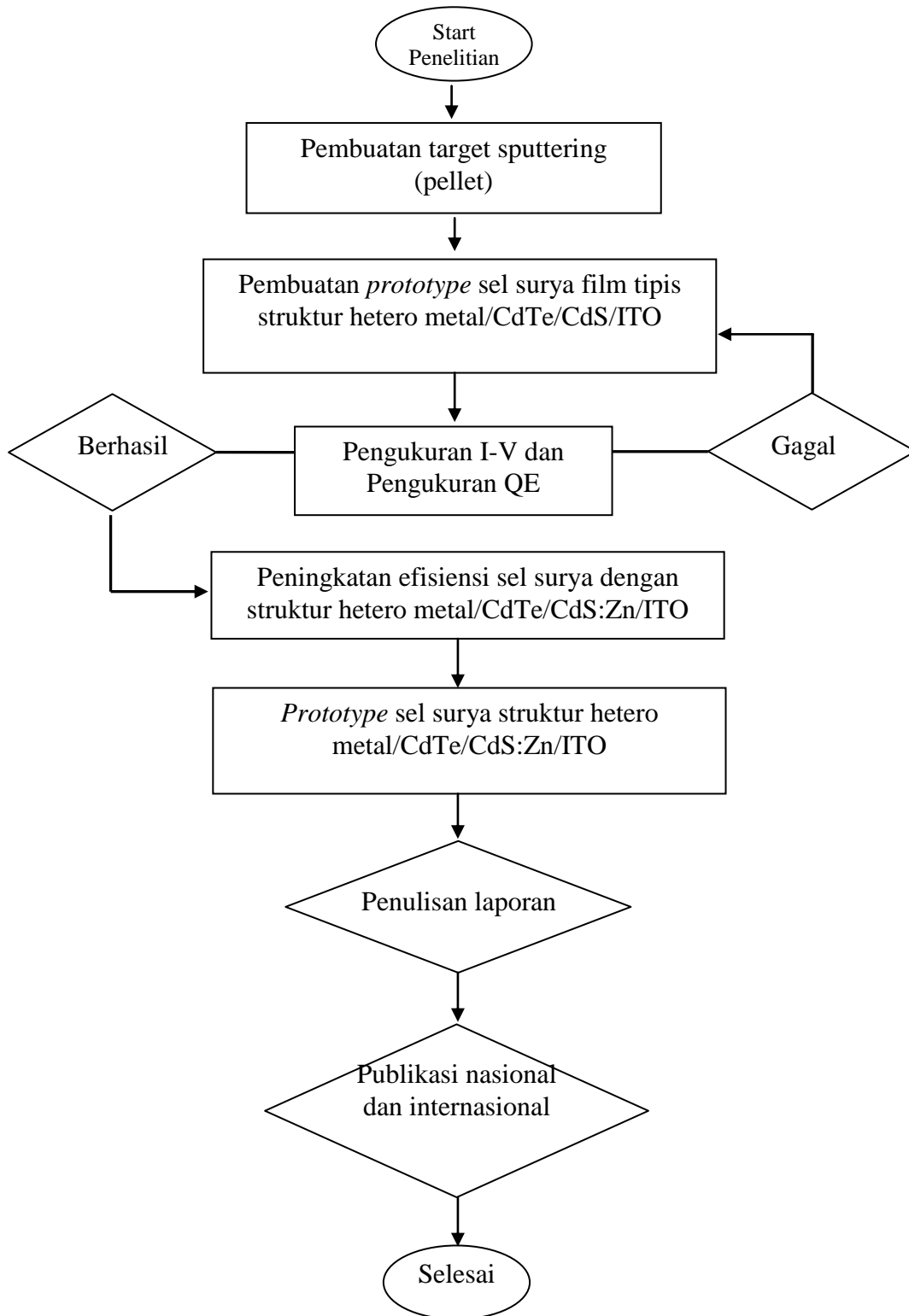
Fabrikasi struktur-hetero CdTe/CdS:Zn dengan doping Zn bervariasi untuk memperlebar bandgap agar menghasilkan efisiensi optimal.

#### C. Metodologi Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental, dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut: (1) Penyiapan target untuk sputtering dalam bentuk pellet yaitu CdTe, CdS, dan CdS:Zn. Target dipress dilanjutkan dengan pemanasan dalam furnace pada suhu 600°C selama dua jam; (2) Penumbuhan struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO; dan metal/CdTe/CdS:Zn/ITO (Gambar 1). Metal yang digunakan sebagai kontak ini adalah logam aluminium (99,99%) yang ditumbuhkan dengan evaporator. (3) Karakterisasi sifat listrik struktur-hetero dengan menggunakan *I-V measurement*. Sedangkan pengukur efisiensi sel surya film tipis diuji menggunakan *QE measurement*.



Gambar 1: Struktur-hetero CdTe/CdS (gambar atas) dan struktur-hetero CdTe/CdS:Zn (gambar bawah)



**Gambar 2: Diagram Alir Penelitian**

## 1. Parameter Penumbuhan Struktur hetero

Tabel 1. Parameter Penumbuhan Struktur-hetero Film Tipis CdTe/CdS/ITO

Nama sampel	CdS			CdTe		
	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth
CdTe/CdS/ITO (#1)						
CdTe/CdS/ITO (#2)						
dst						
CdTe/CdS:Zn (#Z-1)						
CdTe/CdS:Zn (#Z-2)						
Dst						

## 2. Pelaksanaan Eksperimen

Tabel 2. Tabel pelaksanaan penelitian

No	Aktivitas	Alat	Hasil
1	Penumbuhan struktur-hetero CdS/CdTe/ITO	<i>Sputtering</i>	Film tipis struktur-hetero CdTe/CdS/ITO
2	Penumbuhan struktur-hetero CdS/CdTe:Zn/ITO	<i>Sputtering</i>	Film tipis struktur CdTe/CdS:Zn/ITO
3	Metalisasi dengan logam Al	<i>Evaporator</i>	Prototype sel surya film tipis struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO dan metal/CdTe/CdS:Zn/ITO
4	Karakterisasi Sifat Listrik	Pengukuran I-V	Diketahuinya konduktivitas/resistivitas film dan karakteristik persambungan p-n dari CdTe/CdS dan CdTe/CdS:Zn
5	Uji efisiensi konversi daya	Pengukuran QE	Diketahuinya efisiensi konversi daya



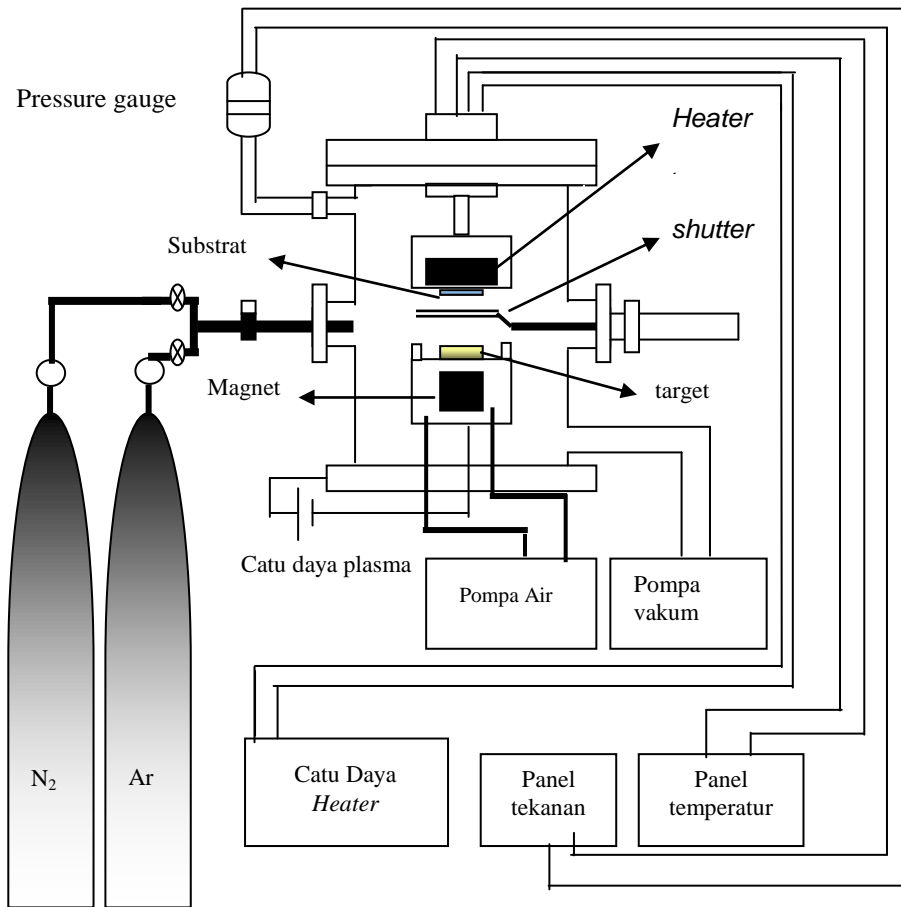
**Tabel Uji Analisis/Karakterisasi:**

No	Nama Sampel	Pengukuran I-V				Efisiensi	
		$V_{oc}$	$I_{sc}$	$V_m$	$I_m$	FF	$\eta$
1							
2							
3							
4							
5							
dst							

## LAMPIRAN 2: Peralatan dan Kegiatan Penelitian



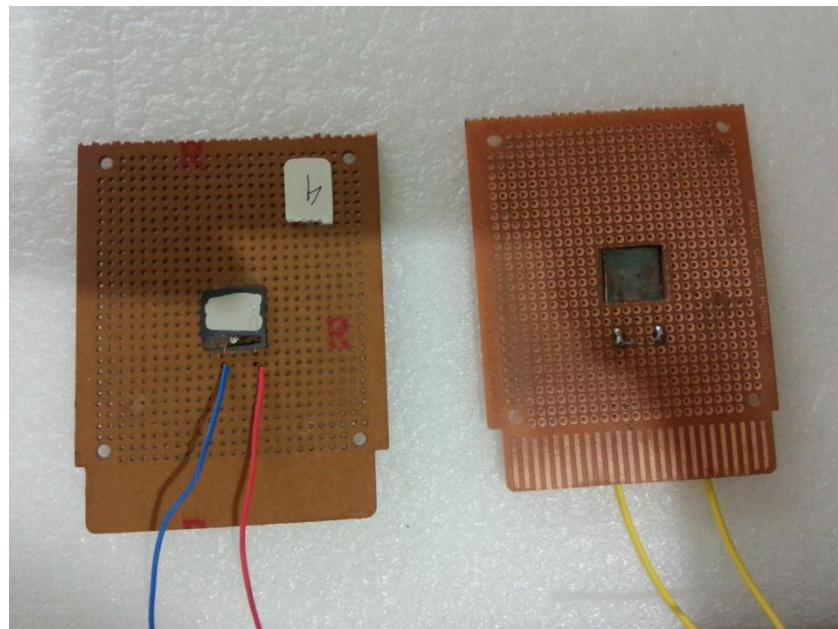
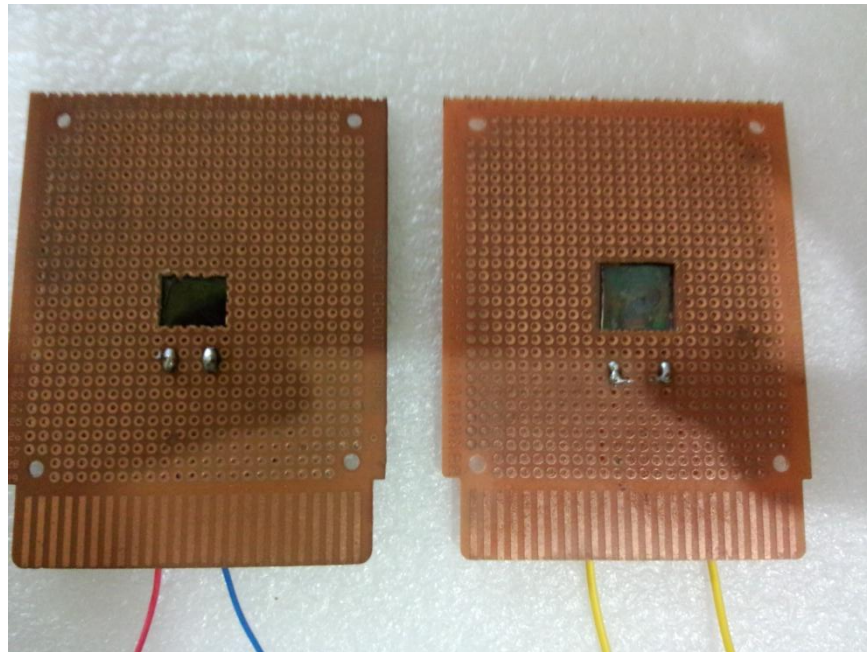
Gambar L2.1. Reaktor dc Magnetron Sputtering (*home made*)  
di Laboratorium Fisika Material Unnes



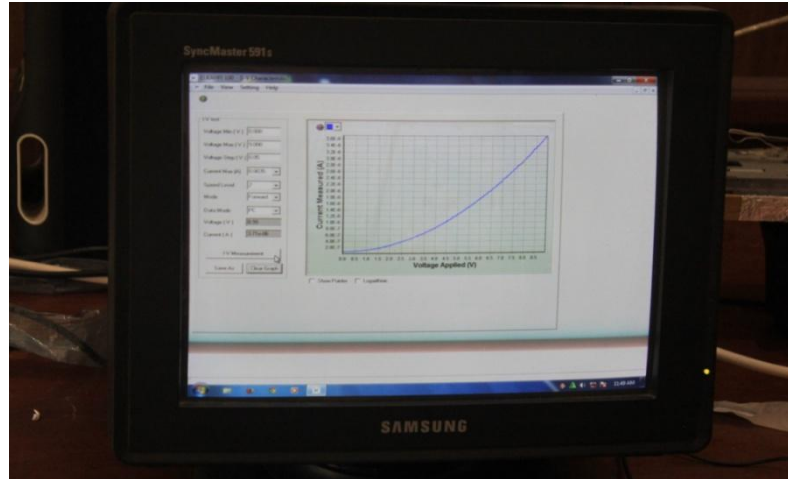
Gambar L2.2. Sistem reaktor *dc magnetron sputtering*



Gambar L2.3: Pemasangan subtrat ITO pada holder sample sebelum proses penumbuhan struktur-hetero CdTe/CdS:Zn



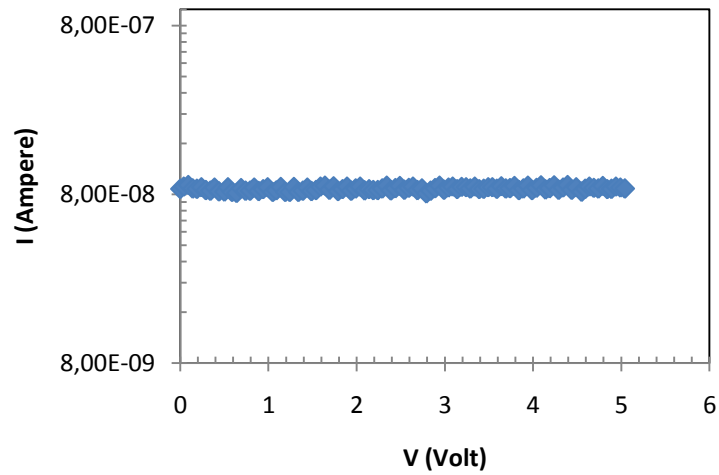
Gambar L2.4.: Sampel struktur hetero di tempatkan pada holder (PCB) untuk pengukuran I-V



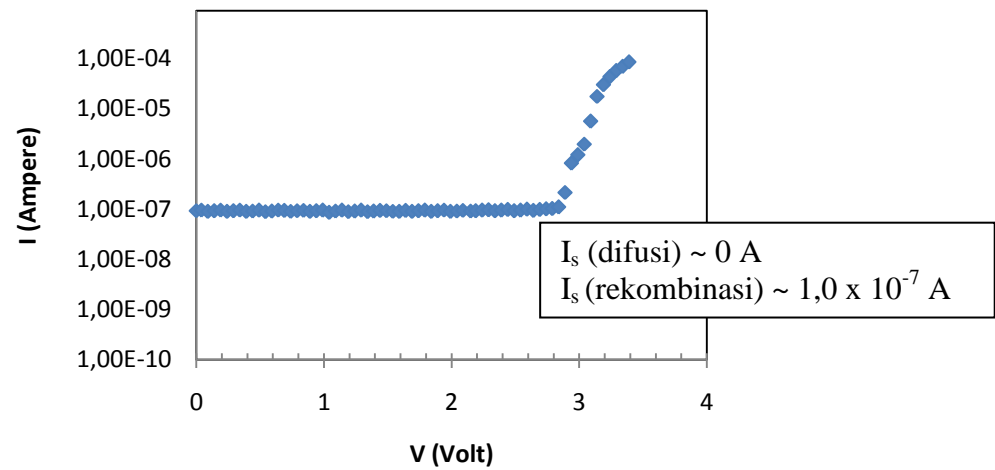
Gambar L2.5: Pengukur Arus-Tegangan struktur-hetero CdTe/CdS:Zn

### LAMPIRAN 3:

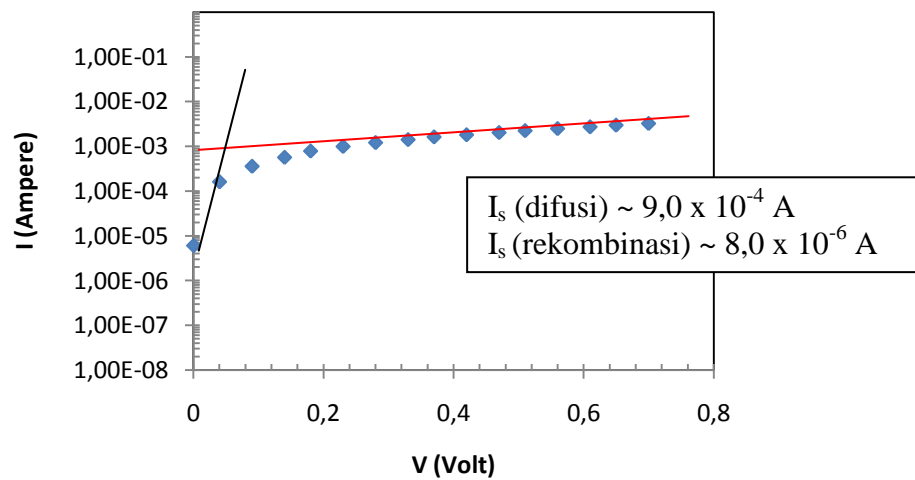
#### 3.1. Penentuan besarnya Arus Saturasi pada kondisi tanpa penyinaran



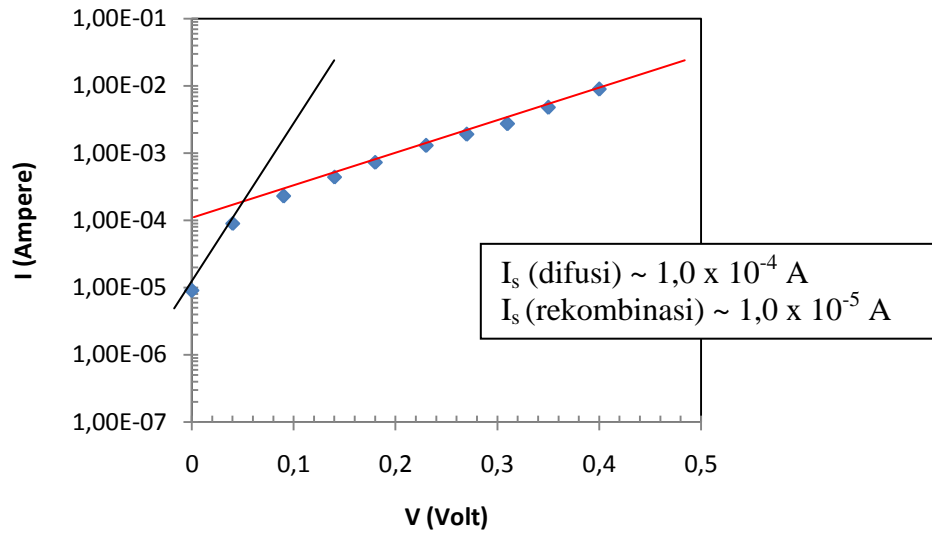
Gambar L3.1. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#1



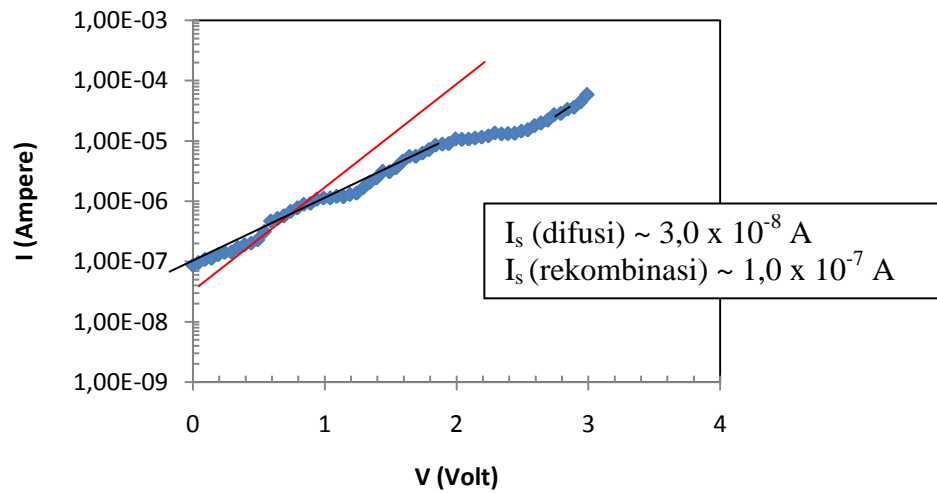
Gambar L3.2. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#2



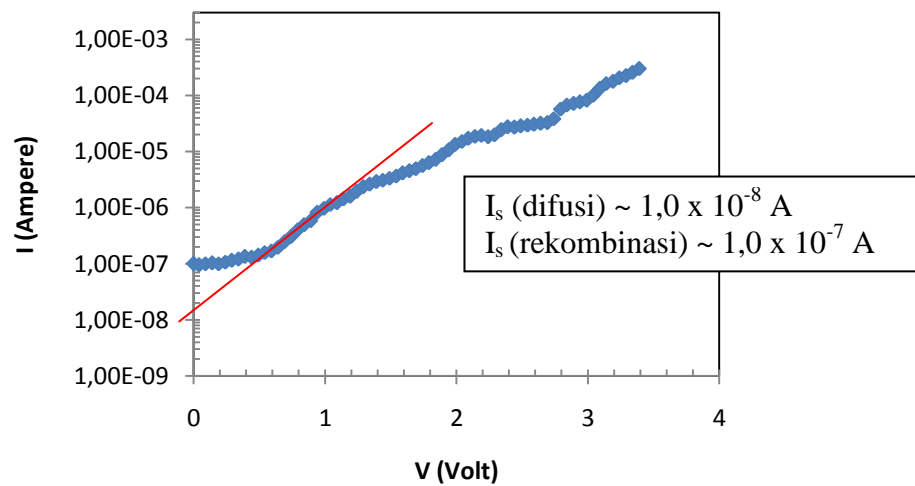
Gambar L3.3. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#3



Gambar L3.4. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#4

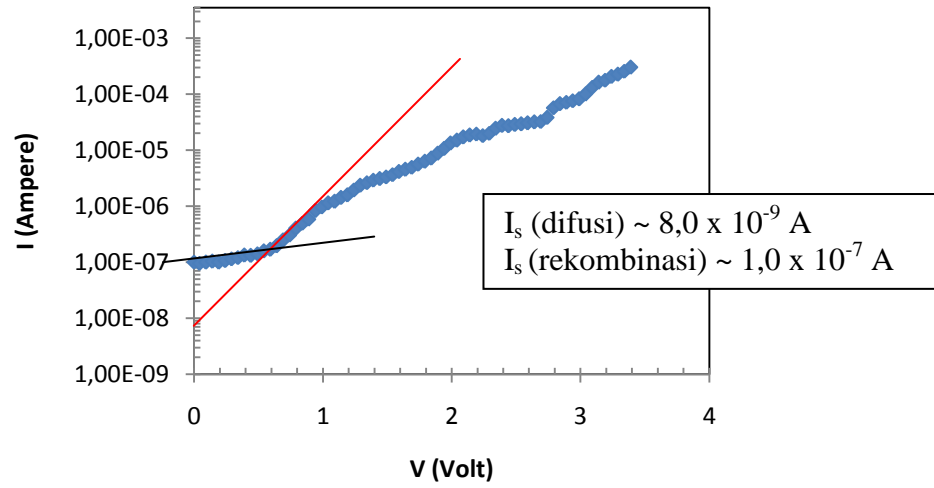


Gambar L3.5. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#5

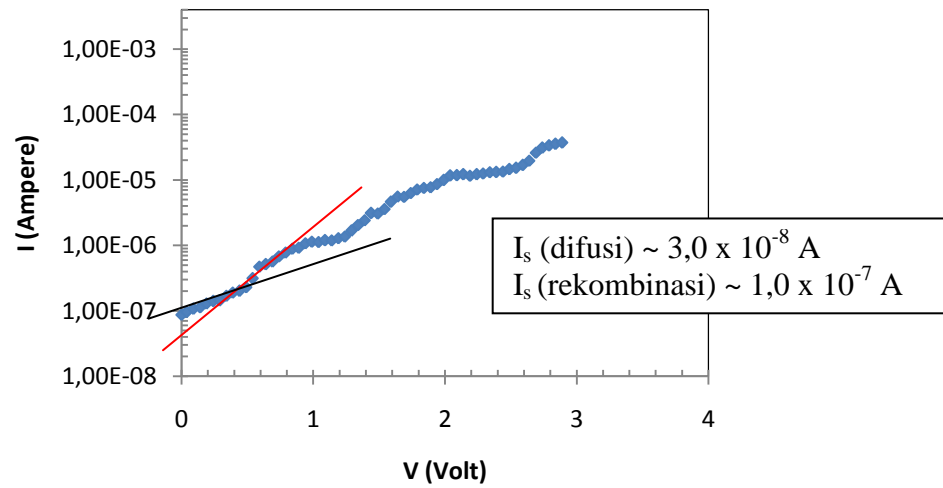


Gambar L3.6. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#6



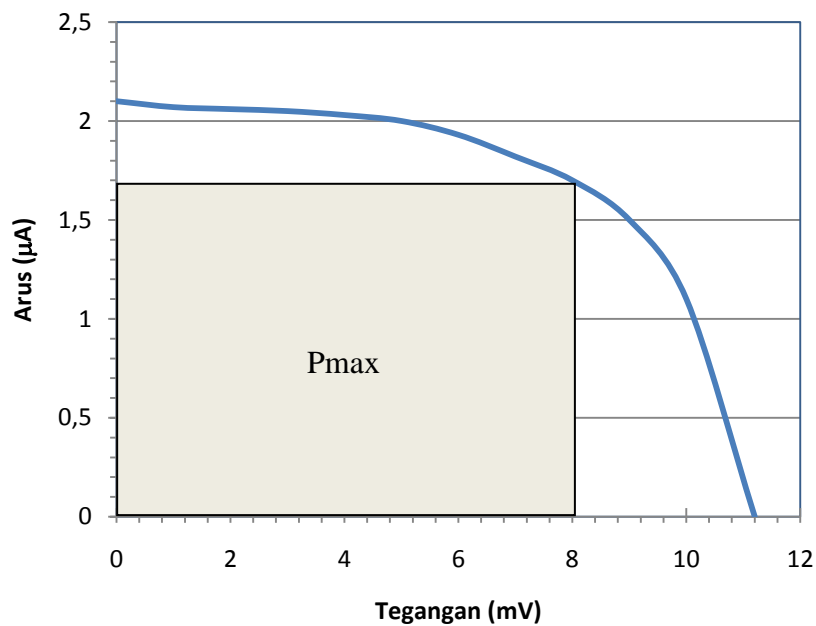


Gambar L3.7. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#7

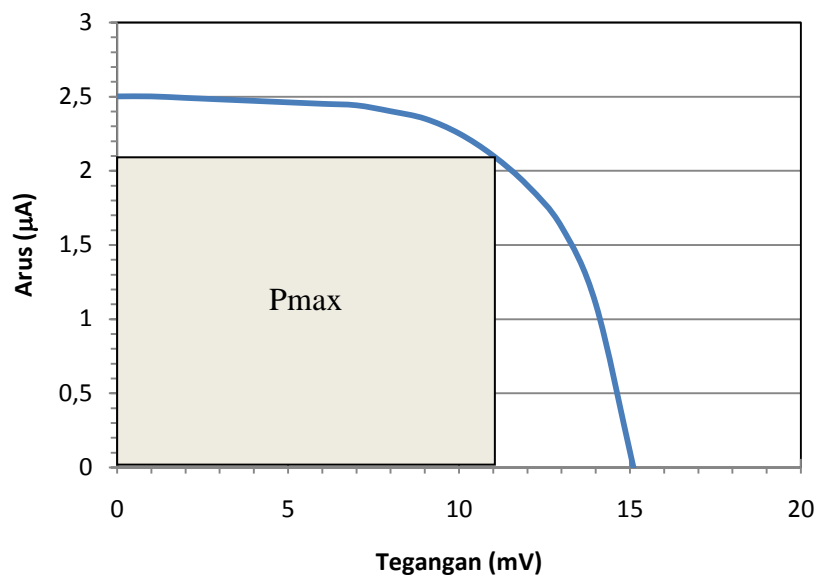


Gambar L3.8. Gravik I-V (skala logaritmik) dari sampel SH#8

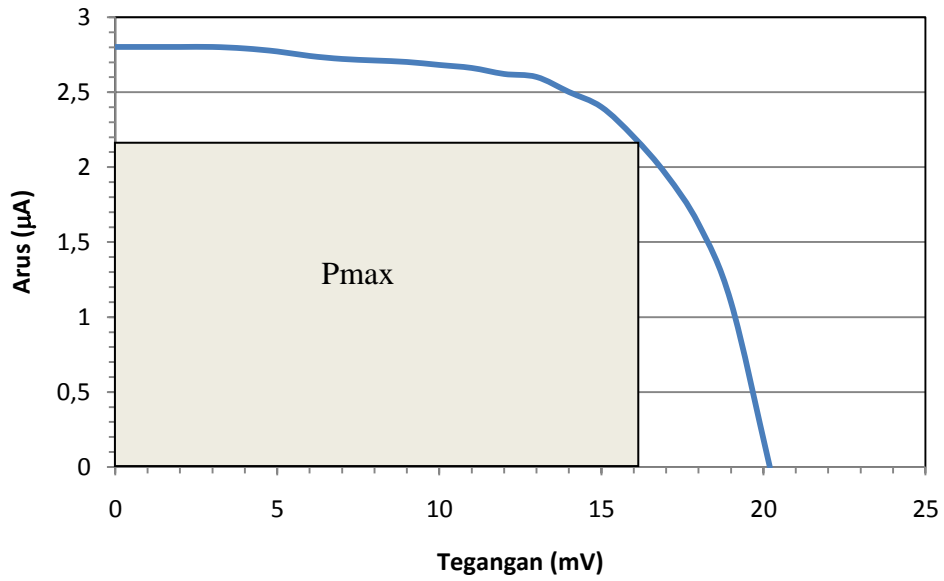
### 3.2. Pengukuran I-V dalam kondisi disinari untuk menghitung besarnya efisiensi konversi daya



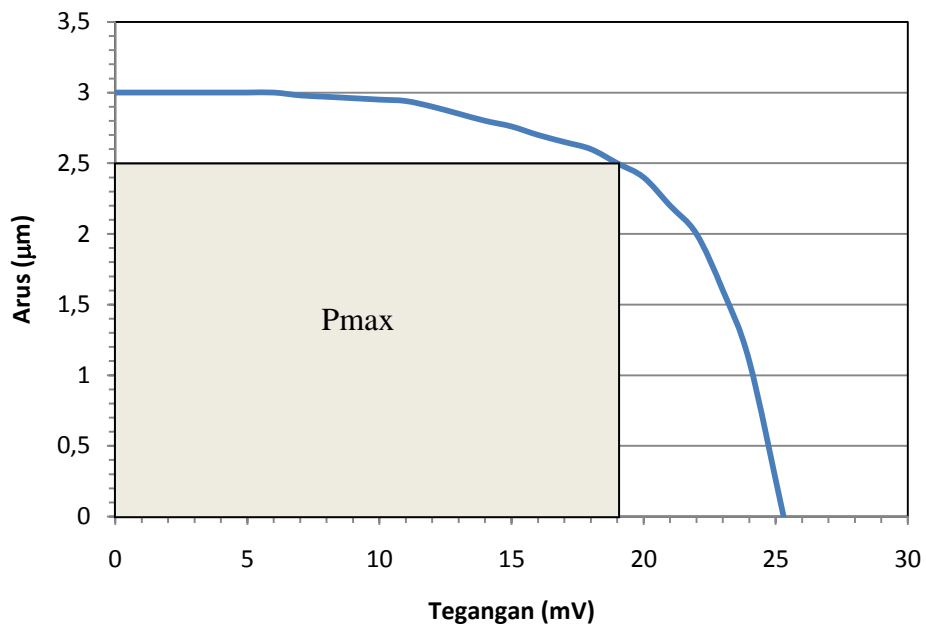
Gambar L3.9: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#5) dalam kondisi disinari



Gambar L3.10: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#9) dalam kondisi disinari



Gambar L3.11: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#10) dalam kondisi disinari



Gambar L3.12: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#11) dalam kondisi disinari

**LAMPIRAN 4: Personalia Tenaga Peneliti beserta kualifikasinya**

No	Nama/NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/mg)	Uraian Tugas
1	Dr. Sugianto, M.Si (0019026105) (Ketua)	UNNES	Fisika Material Elektronik	16 jam	<ul style="list-style-type: none"><li>• Penumbuhan struktur-hetero</li><li>• Analisis</li><li>• Menyusun Laporan</li></ul>
2	Dr. Putut Marwoto, M.S (0021086306) (Anggota)	UNNES	Fisika Material Elektronik	8 jam	<ul style="list-style-type: none"><li>• Penumbuhan struktur-hetero</li><li>• Analisis</li></ul>
3	Sunarno, S.Si, M.Si (Anggota)	UNNES	Instrumentasi	8 jam	<ul style="list-style-type: none"><li>• Penumbuhan struktur-hetero</li><li>• Pengukuran I-V dan QE</li></ul>
4	Agus Andi Wibowo, S.Si (Teknisi)	UNNES	Fisika Materoal	16 jam	<ul style="list-style-type: none"><li>• Penumbuhan struktur-hetero</li><li>• Pengukuran I-V dan QE</li></ul>

## Fabrikasi Struktur Hetero CdTe/CdS:Zn dengan DC Magnetron Sputtering (*homemade*) untuk Aplikasi Sel Surya

Sugianto, Putut, M., Sunarno  
Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang  
Gd. D7 Lt.2 Kampus Sekaran Gunungpati-Semarang  
e-mail: [sugianto@staff.unnes.ac.id](mailto:sugianto@staff.unnes.ac.id)

### Abstrak

Deposisi film tipis struktur hetero CdTe/CdS:Zn dilakukan dengan metode dc magnetron sputtering (*home made*) untuk aplikasi sel surya. Struktur hetero yang ditumbuhkan adalah tipe “*Superstrate configuration*” dengan struktur Ag/p-CdTe/n-CdS:Zn/ITO/glass. Optimasi performa struktur-hetero dilakukan dengan doping Zn pada CdS, variasi daya plasma dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> pada film CdTe. Karakterisasi sifat listrik struktur-hetero menggunakan pengukuran arus-tegangan (*I-V*). Pengukuran *I-V* pada kondisi tanpa penyinaran (*dark*) menunjukkan struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass mempunyai karakteristik ideal diode persambungan p-n. Arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi pada saat diberikan bias maju besarnya orde 10<sup>-8</sup> – 10<sup>-11</sup> A. Penambahan doping Zn (5%) pada CdTe telah meningkatkan performa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass. Penumbuhan struktur hetero dengan daya tinggi dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> telah meningkatkan efisiensi sel surya. Tegangan *open circuit* (*V<sub>oc</sub>*) dan arus *short circuit* (*I<sub>sc</sub>*) yang masih rendah mengindikasikan bahwa hambatan seri (*R<sub>s</sub>*) dari material struktur hetero masih besar.

*Kata Kunci:* Sel surya, struktur-hetero CdTe/CdS:Zn, film tipis, dc magnetron sputtering

### 1. Pendahuluan

Material sel surya yang menarik untuk dikaji adalah *cadmium telluride* (CdTe) dan *cadmium sulfida* (CdS). Kedua material ini memiliki peranan penting dalam teknologi sel surya film tipis. CdTe merupakan material dengan *direct bandgap* sebesar 1,5 eV (Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011) sehingga mampu menyerap seluruh spektrum pada rentang panjang gelombang cahaya tampak. Selain itu, material CdTe memiliki koefisien absorpsi yang sangat tinggi ( $\alpha > 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ), 1  $\mu\text{m}$  film CdTe mampu mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *bandgap* (Gupta & Compaan, 2004). CdS sebagai material dengan energi *bandgab* yang lebar (2,4 eV) dalam teknologi sel surya film tipis berperan sebagai *window layer* (Gaewdang *et al.*, 2012). Dengan adanya lapisan ini, hampir seluruh cahaya dengan panjang gelombang pendek mampu melewati *interface* antar lapisan di bawah *window layer*. Selain itu, *window layer* yang merupakan daerah persambungan berfungsi sebagai tempat singgah sementara pembawa muatan minoritas yang dibangkitkan oleh cahaya sebelum terjadi rekombinasi (Gaewdang *et al.*, 2012; Gupta & Compaan, 2004). Oleh sebab itu, jika kedua material tersebut dikombinasikan dan diolah dengan tepat untuk aplikasi sel surya film tipis, maka sangat mungkin sekali akan dihasilkan sel surya film tipis dengan performa yang unggul.

Sel surya film tipis yang menggunakan material CdTe sebagai lapisan absorber, secara teori memungkinkan memiliki efisiensi konversi daya sebesar 29 % (El Chaar *et al.*, 2011; Gaewdang *et al.*, 2012). Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan efisiensi teoritis sel surya

silikon amorf dan CIS (El Chaar *et al.*, 2011). Akan tetapi, fakta dilapangan menunjukkan bahwa sel surya film tipis berbasis CdTe yang telah berhasil diproduksi masih memiliki efisiensi yang jauh lebih rendah dari efisiensi teoritisnya. Sel surya film tipis CdTe yang telah diproduksi hanya mampu mencapai nilai efisiensi maksimal 16,5% (Crossy *et al.*, 2012; Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011). Untuk kepentingan yang lebih luas, maka nilai efisiensi ini masih harus ditingkatkan.

Upaya untuk meningkatkan efisiensi sel surya film tipis berbasis material CdTe dan CdS telah dilakukan dengan berbagai cara. Metode pertama adalah pelebaran *bandgap* CdS *window layer*. Pelebaran *bandgap* material CdS sebagai *window layer* dapat dilakukan dengan pemberian doping. Podesta *et.al* (2006) melakukannya dengan melakukan doping gas flourin pada CdS ketika penumbuhan film berlangsung. Pada penelitian ini material CdS didoping dengan unsur Zn. Dengan bertambah lebarnya *bandgap* CdS *window layer*, akan mengakibatkan rentang spektrum cahaya yang dapat menembus lapisan tersebut semakin bertambah sehingga diharapkan jumlah elektron yang dibebaskan oleh foton juga ikut meningkat (Perrenoud *et al.*, 2011). Meningkatnya jumlah elektron bebas pada sel surya mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan sel surya tersebut semakin besar. Sehingga secara tidak langsung, pelebaran *bandgap* dari *window layer* akan meningkatkan efisiensi sel surya. Metode lain untuk meningkatkan performa sel surya CdTe/CdS adalah memperbesar ukuran grain pada kristal CdTe (*recrystalize*) melalui *treatment dengan CdC<sub>2</sub> solution* (Shah *et al*, 2010 dan Xiaoxu Huo *et al*, 2013)

Struktur hetero CdTe/CdS telah ditumbuhkan dengan berbagai metode antara lain dengan CSS (*close space sublimation*) (Linam *et al* , 2001) dan rf magnetron sputtering (Lee, 2011). Pada penelitian ini struktur hetero CdTe/CdS:Zn ditumbuhkan dengan dc magnetron sputtering (*home made*).

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan menjadi tiga tahap yaitu: (1) Penyiapan target sputtering dalam bentuk pellet yaitu CdTe, CdS, CdS:Zn (5%); (2) Penumbuhan struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO/gelas; dan metal/CdTe/CdS:Zn/ITO/gelas; (3) Karakterisasi sifat listrik dan pengukuran efisiensi konversi energi menggunakan pengukuran arus-tegangan (I-V). Target sputtering dibuat dengan cara powder CdTe, CdS, CdS:Zn(5%) masing-masing dipress dengan pompa hidraulik dilanjutkan pemanasan dalam furnace pada suhu 600°C selama dua jam, kemudian didinginkan secara alami.

Penumbuhan film dilakukan di atas substrat ITO (indium tin oxide). Proses deposisi diawali dengan preparasi substrat ITO. Substrat dipotong dengan ukuran kurang lebih 0,50 cm<sup>2</sup> kemudian dicuci dengan acetone dan metanol dalam ultrasonicbath selama 10 menit. Substrat dibilas dengan air dan dikeringkan dengan cara disemprot gas nitrogen. Substrat ITO segera ditempatkan pada *sampel holder* dan reaktor divakumkan hingga tekanan reaktor lebih rendah dari 1 mTorr. Selama penumbuhan gas argon dialirkan dalam reaktor hingga tekanan rektor menjadi sekitar 450 mTorr. Kemudian temperatur pemanas diseting sesuai parameter yang ditentukan, gas argon dialirkan, dan diberikan tegangan tinggi sehingga menghasilkan plasma. Penumbuhan film CdS dan CdTe dilakukan dalam waktu penumbuhan yang ditentukan guna memperoleh ketebalan yang ditetapkan sebelumnya. Daya penumbuhan film CdTe divariasikan mulai dari 24 watt hingga 50 watt. Parameter penumbuhan struktur hetero dirangkum dalam Tabel 1.

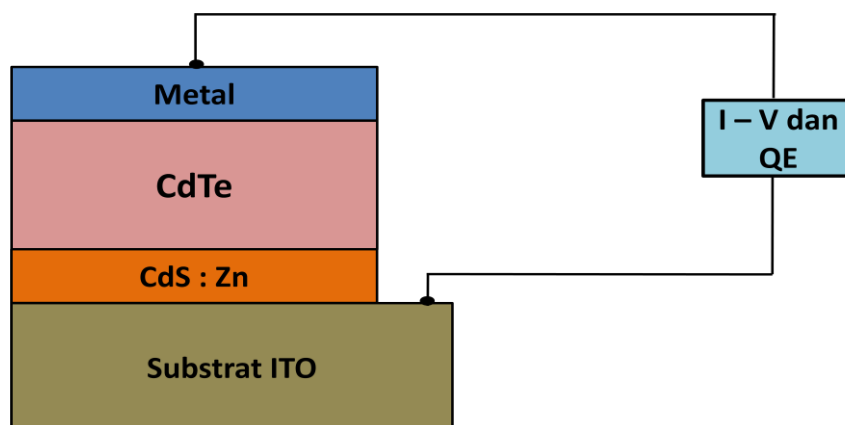
Struktur hetero CdTe/CdS yang ditumbuhkan adalah tipe “*Superstrate configuration*” dengan struktur metal/p-CdTe/n-CdS/ITO/glass seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Metal yang digunakan logam perak (*silver conductive paint*) yang mempunyai sifat ohmik

kontak. Pengukuran arus – tegangan dilakukan dengan menggunakan I-V meter (ELKAHFI 100). Pengukuran I-V untuk mengkaji karakteristik persambungan p-n, besarnya arus saturasi dan efisiensi konversi daya. Pengukuran efisiensi menggunakan lampu halogen dengan intensitas 10.000 lux.

Tabel 1. Parameter penumbuhan struktur hetero CdTe/CdS:Zn

Nama sampel	CdS				CdTe			
	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)
HS#A (Zn=0%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS#B (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS#C (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	35 watt	180 menit	1000
HS#D (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	50 watt	180 menit	1100
HS#E (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	50 watt	180 menit <sup>*)</sup>	1100

<sup>\*)</sup> treatment dengan CdCl<sub>2</sub>



Gambar 1. Struktur hetero metal/CdTe/CdS:Zn/ITO/gelas

### 3. Hasil dan Pembahasan

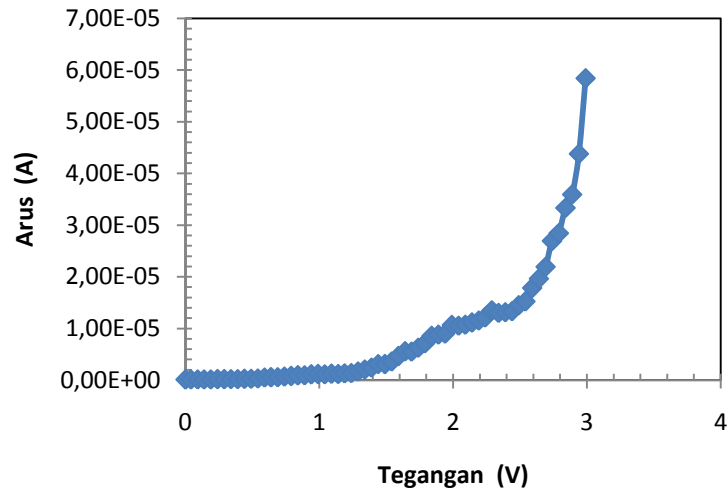
#### Pengukuran I-V tanpa disinari

Hasil pengukuran I-V struktur-hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass tanpa penyinaran (*dark*) telah menunjukkan karakteristik *rectifying* seperti perilaku ideal diode persambungan p-n sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2a, Gambar 2b dan Gambar 2c. Ketika diberikan bias mundur besarnya arus rekombinasi juga nol. Fenomena *rectifying* menunjukkan terjadinya difusi muatan di daerah persambungan p-CdTe/n-CdS sehingga membentuk penghalang (*barrier*) di daerah persambungan (daerah deplesi). Lebar daerah deplesi ini merupakan parameter yang ikut memberikan kontribusi performance dari sel surya. Analisis karakteristik pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran dapat memberikan informasi

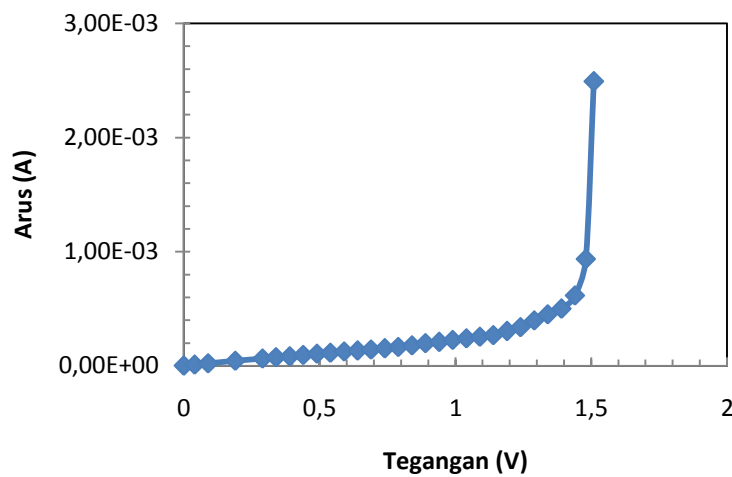
besarnya arus saturasi dan faktor ideal persambuangan p-n (*the device ideality factor*). Ketika struktur hetero CdTe/CdS diberikan bias maju maka berlaku persamaan:

$$I = I_s \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)$$

dengan  $I_s$  adalah arus saturasi,  $n$  adalah faktor ideal devise,  $k$  adalah konstanta Boltzman,  $q$  adalah muatan, dan  $T$  adalah temperatur. Besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi dapat ditentukan dengan menggunakan skala semilogaritmik hasil pengukuran I-V yang ditunjukkan pada Tabel 2.

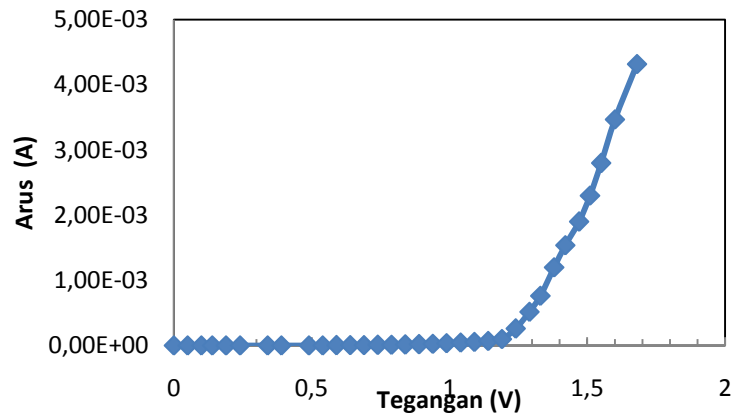


Gambar 2a: Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#A) tanpa disinari.



Gambar 2.b: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdSZn(5%)/ITO/gelas (sampel HS#D, ditumbuhkan dengan daya palsa 50 watt) tanpa disinari.





Gambar 2.c: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdSZn(5%)/ITO/gelas (sampel #D, ditumbuhkan dengan daya plasma 50 watt) dan treatment  $\text{CdCl}_2$  ) tanpa disinari.

Tabel 2. Besarnya arus saturasi difusi, arus saturasi rekombinasi struktur hetero CdTe/CdS

Sampel	$I_s$ rekombinasi	$I_s$ difusi
HS#A	$1,0 \times 10^{-7}$ A	$3,0 \times 10^{-8}$ A
HS#B	$1,0 \times 10^{-5}$ A	$3,0 \times 10^{-4}$ A
HS#C	$1,0 \times 10^{-6}$ A	$1,0 \times 10^{-5}$ A
HS#D	$1,0 \times 10^{-10}$ A	$3,0 \times 10^{-6}$ A
HS#E	$9,0 \times 10^{-11}$ A	$1,0 \times 10^{-8}$ A

Struktur hetero yang ditumbuhkan dengan dc magnetron mempunyai nilai arus saturasi yang serupa dengan hasil eksperimen Lee (2011) yang menumbuhkan hetero-structure CdTe/CdS dengan rf magnetron suttering. CdTe sebagai lapisan absorber yang ditumbuhkan pada daya lebih tinggi (50 watt, sampel HSD) menunjukkan nilai arus saturasi yang semakin rendah. Kondisi ini menunjukkan performan dari persambungan p-n menjadi lebih baik ketika film CdTe ditumbuhkan dengan daya yang lebih tinggi. Pada sampel HS#D tampak mempunyai arus saturasi rekombinasi pada orde  $10^{-10}$  A yang memberikan petunjuk akan mudah terjadinya generasi elektron ketika struktur hetero sel surya menerima foton atau disinari. Penumbuhan pada daya tinggi dengan dc magnetron sputtering menghasilkan ukuran grain yang lebih besar selain juga menambah laju penumbuhan film CdTe. Peningkatan performan dari struktur hetero ini akibat kontribusi dari semakin besarnya ukuran grain dan ketebalan CdTe. Untuk itu upaya optimasi performan dari struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass selanjutnya dapat dilakukan dengan berbagai cara yang dapat memperbesar ukuran grain dari CdTe sebagai lapisan absorber dan menambah ketebalan CdTe. Pada penelitian ini telah dilakukan dengan melakukan treatment  $\text{CdCl}_2$  yang menghasilkan ukuran grain CdTe yang lebih besar sehingga memperbaiki kualitas kristal material CdTe.

## Pengukuran I-V dengan penyinaran

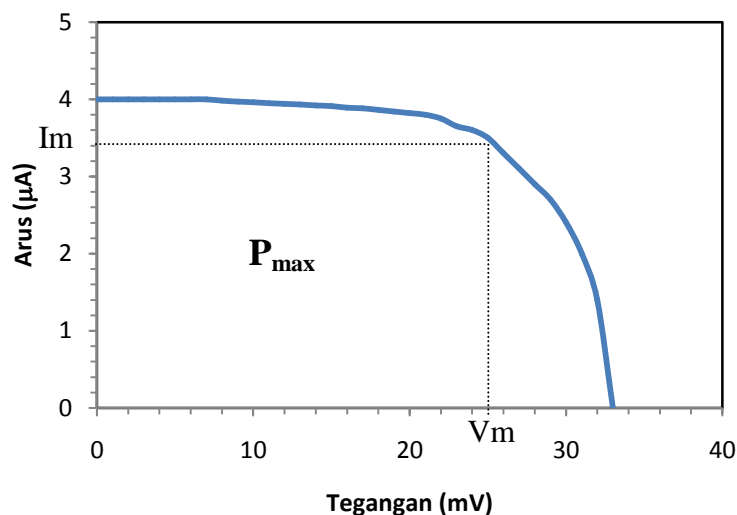
Pengukuran I-V pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass **pada kondisi disinari** dengan lampu halogen menghasilkan informasi besarnya tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Penambahan doping Zn pada CdS sebagai *window layer* menunjukkan peningkatan tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_{sc}$  dibandingkan dengan tanpa doping. Penambahan doping Zn pada CdS telah memperlebar rentang spektrum sumber cahaya yang diterima sehingga menambah jumlah elektron yang mengalami generasi. Treatment  $CdCl_2$  juga telah meningkatkan tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_{sc}$ . Kondisi ini sesuai dengan meningkatnya kualitas persambungan p-n ketika struktur hetero ditumbuhkan dengan daya lebih tinggi.

Tabel 3: Besarnya tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass

Sampel	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu A$ )
HS#A	11,2	2,1
HS#B	15,1	2,5
HS#C	20,2	2,8
HS#D	25,3	3,0
HS#E	32,9	4,0

### Pengukuran Efisiensi

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO (sampel HS#E) dalam kondisi disinari lampu halogen dengan intensitas 10.000 lux. Dari hasil pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO tersebut dapat ditentukan besarnya tegangan maksimum ( $V_m$ ) dan arus maksimum ( $I_m$ ) yang dihasilkan oleh sel surya. Selanjutnya dapat dihitung besarnya *fill factor* (FF) dan efisiensi sel surya seperti dirangkum dalam Tabel 4.



Gambar 3: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#E) dalam kondisi disinari.

Tabel 4. Data tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_c$ , tegangan maksimum ( $V_m$ ), arus maksimum ( $I_m$ ), *fill factor* (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO

Sampel	Daya plasma	$V_m$	$I_m$	FF	$\eta$
--------	-------------	-------	-------	----	--------

	(watt)	(mV)	( $\mu$ A)		(%)
HS#A	24	8	1,7	0,58	0,002
HS#B	24	11	2,1	0,61	0,003
HS#C	35	16	2,2	0,62	0,005
HS#D	50	19	2,5	0,63	0,006
HS#E	50 <sup>*)</sup>	25	3,5	0,66	0,012

<sup>\*)</sup> dengan *treatment* CdCl<sub>2</sub>

Dari data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn (5%) mempunyai performan yang lebih baik dari Ag/CdTe/CdS:Zn (sampel HS#A) dengan ditandainya nilai *fill factor* (FF) dan efisiensi konversi daya ( $\eta$ ) yang lebih besar. Penumbuhan struktur hetero dengan daya lebih tinggi dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> juga telah meningkatkan nilai *fill factor* dan efisiensi konversi daya. Namun kalau ditinjau dari besarnya efisiensi konversi daya Ag/CdTe/CdS:Zn (5%) masih sangat rendah. Rendahnya efisiensi ini terlihat dari nilai tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan *arus short circuit* ( $I_{sc}$ ) yang memberikan petunjuk bahwa hambatan seri ( $R_s$ ) dari film yang ditumbuhkan masih sangat besar. Selain juga dapat dipengaruhi konsentrasi pembawa muatan elektron pada CdS dan hole pada CdTe yang belum optimal serta kualitas kontak saat pengukuran I-V.

#### 4. Simpulan

Struktur hetero metal Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass telah difabrikasi dengan menggunakan reaktor dc magnetron sputtering (*home made*). Pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran (*dark*) menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass mempunyai karakteristik ideal diode persambungan p-n. Arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi pada saat diberikan bias maju besarnya orde  $10^{-8} - 10^{-11}$  A. Karakteristik ini memenuhi persyaratan untuk dapat diaplikasikan pada sel surya.

Penambahan doping Zn (5%) pada CdTe telah meningkatkan performa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass. Penumbuhan struktur hetero dengan daya tinggi dan *treatment* dengan CdCl<sub>2</sub> telah meningkatkan performa sel surya karena ukuran grain yang bertambah besar. Tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan *arus short circuit* ( $I_{sc}$ ) masih sangat rendah menunjukkan bahwa hambatan seri ( $R_s$ ) dari material struktur hetero masih rendah yang menyebabkan efisiensi konversi sangat rendah. Upaya optimasi perlu dilakukan seperti memperbaiki kualitas kristal CdTe dan kualitas kontak saat pengukuran I-V.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membeayai penelitian ini melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Negeri Semarang Nomor: 023.04.2.189822/2013, tanggal 5 Desember 2012 dan Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Penelitian Desentralisasi Nomor: 1.14.5/PPK.3.1/2013, Tanggal 14 Mei 2013.

#### Daftar Pustaka

- Crossy, A., Buecheler, S., Kranz, L., Perrenoud, J., Fella, C.M., Romanyuk, Y.E., Tiwari, A.N., 2012, Spray-deposition Al-doped ZnO transparent contacts for CdTe solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 101, 262-269.
- El Char, L., Lamont, L.A., El Zein, N., 2111, *Review of photovoltaic technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2165-2175

- Gaewdang, T., Wongcharoen, N., Wongcharoen, T., 2012, Characterization of cdS/CdTe heterojunction Solar Cells by Current-Voltage Measurements at Various Temperature under Illumination, *Energy Procedia* 15, 299-304.
- Gupta, A., Compaan, A.D., 2004, All-sputtered 14% CdS/CdTe thin-film solar cell with ZnO:Al transparent conducting oxide, *Applied Physics Letters* 85, 684-686.
- Lee, J., 2011, Effect of heat treatment of vacuum evaporated CdCl<sub>2</sub> layer on the properties of CdS/CdTe solar cells, *Current Applied Physics* 11, S103-S108
- Linam, D.L., Singh, V.P., McClure, J.C., Lush, G.B., Mathew, X., Sebastian, P.J., 2001, Light and voltage dependence of junction transport properties of CdTe/CdS photovoltaics, *Solar Energy Material & Solar Cell* 70, 335 – 344.
- Perrenoud, J., Kranz, L., Buecheler, S., Pianezzi, F., Tiwari, A.N., 2011, The use of aluminium doped ZnO as transparent conducting oxide for CdS/CdTe solar cells, *Thin Solid Films* 519, 7444-7448.
- Podesta, A., N. Armani, G. Salviati, N. Romeo, A. Bosio, M. Prato, 2006, Influence of the fluorine doping on the optical properties of CdS thin films for photovoltaic applications, *Thin Solid Films* 511-512, 448-452.
- Syah, N.A, Ali, A, Hussain S, Magsood, A, 2010, CdCl<sub>2</sub>-treated CdTe thin films deposited by the closed spaced sublimation technique, *J. Coat. Technol. Res.*, 7 (1) pp.105-110
- Xiaoxu Huo, Xiangyi Peng, Wei Liu, 2013, Comparison between the effects of CdCl<sub>2</sub> heat treatment on CdTe films Prepared by RF sputtering and closed spaced sublimation methods, *J. Mater Sci: Mater Electron* 24, pp 2479-2484.