

# Struktur Kristal, Morfologi Permukaan dan Sifat Optik Bahan CdSe Hasil Preparasi dengan Teknik *Close Spaced Vapor Transport* (CSV) untuk Aplikasi Sel Surya

Ariswan

Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta  
Email ariswan@uny.ac.id

**Abstrak** - Penelitian ini secara umum bertujuan untuk melakukan preparasi dan karakterisasi bahan semikonduktor lapisan tipis CdSe dengan teknik *Close Spaced Vapor Transport* (CSV). Hasil preparasi selanjutnya dikarakterisasi untuk mengetahui struktur kristal menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), sedangkan komposisi kimia dan morfologi permukaan diketahui dengan sistem terintegrasi Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) dan Scanning Electron Microscope (SEM), selanjutnya energy gap ditentukan dengan spektrofotometer. Hasilnya menunjukkan bahwa lapisan tipis berbentuk polikristal dalam sistem Heksagonal dengan parameter kisi  $a=b= 4,289 \text{ \AA}$  dan  $c = 7,032 \text{ \AA}$ . Seluruh permukaan bahan memiliki warna homogen dan hasil EDS menunjukkan bahwa komposisi kimia non stoichiometri kaya cadmium dengan perbandingan Cd/Se adalah 100/44 serta Energi gap CdSe diperoleh sebesar 1,65 eV.

**Kata kunci** : fotovoltaik, Heksagonal, sel surya

**Abstract** - This research aims to prepare and characterize of CdSe thin-films semiconductor materials by *Close Spaced Vapor Transport* (CSV) techniques. Those results further characterized to determine the crystal structure by X-Ray Diffraction (XRD), the chemical composition and surface morphology using Energy dispersive spectroscopy (EDS) and Scanning Electron Microscope (SEM). Thin films of CdSe were polycrystalline with hexagonal structure,  $a = b = 4.289 \text{ \AA}$  and  $c = 7.032 \text{ \AA}$ . The entire surface of the material has a homogeneous color and EDS results showed that the chemical composition of non-stoichiometry. The compound is rich in cadmium with, ratio Cd / Se is 100/44, and optical bandgap of 1.65 eV was obtained.

**Key words**: Photovoltaic, Hexagonal Structure, solar cells

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi pada kehidupan modern terus meningkat, sehingga para peneliti terus berupaya mengembangkan sumber-sumber energi terbarukan, untuk menggantikan sumber energi konvensional yang telah mapan selama ini. Energi terbarukan yang selama ini terus dikembangkan meliputi energi surya, energi angin, energi air dan lain-lain yang secara umum sumber energi terbarukan tersebut tidak akan habis. Disamping itu energi terbarukan lebih menjaga keseimbangan alam karena hampir bebas dari persoalan polusi. Khusus bagi energi surya para peneliti terus mengembangkan material yang sesuai untuk teknologi sel surya yaitu piranti yang langsung mengubah energi surya menjadi energi listrik. Selama ini bahan utama piranti sel surya adalah silikon wafer, selanjutnya telah dikembangkan sel surya berbahan lapisan tipis sebagai sel surya generasi kedua dan bahkan sel surya generasi ketiga telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi dunia saat ini dan saat yang akan datang.

Bahan semikonduktor CdSe adalah bahan yang sangat promotif dalam salah satu penerapannya yaitu pada teknologi fotovoltaik. Teknologi ini memungkinkan perubahan energi matahari (surya) langsung diubah menjadi energi listrik. Bahan CdSe adalah bahan semikonduktor bertipe n, sehingga jika disambung

dengan semikonduktor tipe p, akan diperoleh sambungan p-n yang bisa menghasilkan piranti sel surya. Sebagai contoh sel surya bentuk ini adalah CuS- CdSe. Pada terapan lain, mengingat bahan ini memiliki energi gap sekitar 1,65 eV [1], maka bahan ini dapat dipakai sebagai *buffer* dalam sistem sel surya berbasis CuInSe<sub>2</sub> (CIS). Bahan ini merupakan senyawa biner, sehingga berbagai teknik preparasi dapat diterapkan untuk menghasilkan lapisan tipis. Cadmium Selenida termasuk dalam semikonduktor *direct bandgap* seperti silikon dan material lainnya [2], berbentuk padatan dengan warna coklat kehijauan sampai merah gelap. Berbeda dengan senyawa analognya CdTe merupakan material semikonduktor tipe p namun dapat keduanya sama-sama dapat dimanfaatkan sebagai lapisan penyangga dalam sel surya berbasis CIS.

Atas dasar uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan preparasi dan karakterisasi bahan CdSe sebagai langkah awal dalam preparasi lapisan tipis bahan tersebut. Selanjutnya tentu akan sampai pada bagaimana terapan bahan dalam merealisasikan sel surya berbasis CdSe lapisan tipis.

## II. LANDASAN TEORI

Efek fotovoltaik pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839. Kemudian baru

tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori, mekanisme fenomena tersebut, namun masih sebatas eksperimen di laboratorium. Baru setelah perang dunia ke II, yakni pada tahun 1950 direalisasikan sel surya pertama kalinya. Sel surya tersebut menggunakan bahan kristal silikon dan memiliki efisiensi konversi 4 %. Selanjutnya pada 1970 ketika dunia dihadapkan dengan krisis energi, penelitian mengenai sel surya dilakukan secara intensif. Hasilnya adalah bahwa pada tahun 1979 telah dibangun pusat listrik tenaga surya hingga mencapai 1 M Watt. Kebutuhan sumber energi dunia dengan proses nir polutan terus diperlukan, sehingga perkembangan listrik tenaga surya terus berkembang terutama di negara-negara maju. Pada tahun 1995 telah dibangun listrik tenaga surya sampai 500 M.watt dan sampai dengan tahun 2000 telah dibangun hingga mencapai 1 G.watt [3]. Dan terus meningkat setiap tahunnya.

Sel surya yang digunakan saat ini sebagian besar terbuat dari silikon. Persentase penggunaan bahan sel surya dewasa ini adalah 43 % silikon polikristal, 39 % silikon kristal tunggal, 1 % silikon lapisan tipis, 3 % silikon dalam bentuk ribbon sedangkan 14 % bahan selain silikon. Silikon mendominasi bahan sel surya karena teknologi fabrikasinya memang sudah mapan. Namun demikian penelitian menggunakan bahan lain terus dilakukan hingga kini dan bahkan pada masa-masa yang akan datang. Beberapa penelitian dalam tingkat sel surya telah dihasilkan sehingga diperoleh efisiensi konversi yang lebih besar lagi dibandingkan dengan temuan sebelumnya. Seperti GaAs(kristal) [4] dengan efisiensi mencapai 25 %, Cu(Ga,In)Se [5] memberikan efisiensi 18.8 % dan apabila menggunakan konsentrator mencapai 21,5 %. Bahkan dengan sistem multi sambungan (multijunction) efisiensinya diharapkan dapat mencapai 40 %- 45 % [6,7]. Dengan demikian penelitian ini jelas memiliki arti penting dalam memberikan kontribusi pada penciptaan piranti sel surya berbasis selain Silikon.

CdSe,, merupakan senyawa dari Cadmium dan Selenium, dengan perbandingan molaritas yang sama. CdSe termasuk jenis bahan semikonduktor bertipe konduktivitas n sehingga dapat diwujudkan menjadi sel surya bila disambung dengan semikonduktor tipe p misalnya dengan CdTe. Hal ini sangat penting dilakukan, oleh karena bahan tersebut sangat promotif dalam teknologi sel surya. Oleh karena itu jelas bahwa bahan CdSe adalah senyawa biner memiliki dua teknologi aplikasi. Pertama pada sel surya berbasis Cu(In,Ga)(Se,S)<sub>2</sub>, sebagai lapisan penyangga (*buffer*), kedua sebagai lapisan aktif tipe n yang disambung dengan semikonduktor tipe p misalnya CuS. Atau bisa juga dengan CdTe.

#### Difraksi Sinar X

Prinsip dasar penentuan struktur adalah dengan teknik difraksi sinar x karakteristik, dimana berlaku hukum Bragg :

$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

dengan  $d$  adalah jarak antar bidang atom-atom dalam kristal ( bidang dengan indeks Miller tertentu),  $\theta$  adalah sudut difraksi dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar X yang dipergunakan. Bila diambil bidang-bidang dengan indeks Miller berbeda maka dengan menggunakan metode analitik, dapat ditentukan sitem dan parameter kisi kristal.

Teknik perhitungan parameter kisi tergantung pada struktur kristal bahan. Untuk bahan berstruktur heksagonal perhitungan parameter kisi tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.[8]

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

Teknik tersebut dinamakan teknik analitis dimana prinsipnya adanya nilai tertentu yang sama pada puncak-puncak difraktogram yang sesuai  $d$  adalah jarak antara bidang (hkl), adan  $c$  berturut- turut parameter kisi. Selanjutnya bila disubstitusikan persamaan (1) dan (2) dengan mengambil  $n = 1$ , akan diperoleh persamaan

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

Menurut metode analitik persamaan terakhir dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$C l^2 = \sin^2 \theta - A(h^2 + hk + k^2) \quad (4)$$

A dan C adalah konstanta yang besarnya masing-masing :  $A = \lambda^2/3a^2$  dan  $C = \lambda^2/4c^2$ .

Bila bidang dengan  $l=0$ , maka dapat dicari nilai A yang sama dari berbagai sudut defraksi  $\theta$ , mengingat untuk  $l=0$  berlaku  $\sin^2 \theta = A (h^2+hk+k^2)$ . Nilai A yang sama dari beberapa sudut defraksi  $\theta$ , maka diperoleh nilai parameter kisi  $a = \lambda/V(3A)$ . Selanjutnya parameter  $c$  dapat ditentukan dengan mencari nilai yang sama bagi konstanta C. Bila nilai tersebut telah diketahui maka dapat ditentukan parameter kisi  $c = \lambda/2V(C)$ .

### III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dapat dibedakan dalam dua tahapan. Pertama adalah metode preparasi bahan dan kedua metode karakterisasi yang meliputi penentuan struktur dan komposisi kimia serta morfologi permukaan sampel.

#### 1. Metode preparasi bahan masif

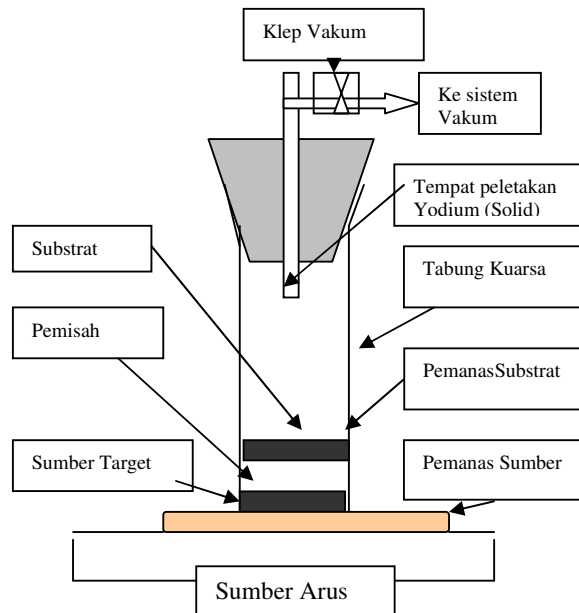
Bahan yang diperlukan untuk preparasi paduan masif adalah Cadmium (Cd) dan Selenium (Se) yang masing masing memiliki derajat kemurnian 99.99 %. Preparasi ini dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut:

a. menyusun system peralatan metode Bridgman dengan skema preparasi seperti tampak pada referensi [9].

- b. preparasi CdSe, dengan cara mula- mula menimbang Cadmium (Cd) misalnya p gram. Selanjutnya dapat dihitung massa selen Se sebesar p dibagi dengan Berat Atom Cd dikalikan dengan Berat Atom Se.
- c. Ketiga bahan tersebut dimasukkan dalam tabung *pyrex* yang memiliki diameter dalam dan luar berturut turut 12 mm dan 16 mm. Tabung tersebut dicuci dengan campuran larutan HF,  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  dengan perbandingan 2:3:5. dan dikeringkan dalam ruang pemanas bersuhu  $80^\circ\text{C}$  selama 8 jam. Tabung bersama bahan- bahan di atas ditempatkan pada vakum berorde  $10^{-5}$  Torr dan dilas pada salah satu ujungnya. Tabung *pyrex* yang telah dilas tersebut kemudian ditempatkan pada furnace yang temperaturnya dapat di atur sesuai kebutuhan yang telah ditentukan melalui penentuan diagram alur suhu- waktu.

*Metode Preparasi Lapisan Tipis*

Hasil preparasi masif selanjutnya digerus sehingga berbentuk serbuk. Serbuk kemudian dibuat pelet dengan dimensi yang sesuai diameter reaktor. Preparasi lapisan tipis dengan teknik CSVT, dengan skema preparasi seperti tampak pada gambar 1.



**Gambar 1.** Skema teknik CSVT.

Sistem evaporasi terbuat dari tabung kuarsa diameter 25 mm dan panjangnya 230 mm. Sumber adalah paduan CdSe hasil preparasi dengan teknik Bridgman yang kemudian digerus dan dibentuk pelet menggunakan tekanan sekitar  $5 \times 10^4 \text{ N/cm}^2$ . Yodium merupakan katalisator transport, sehingga pemanasan sumber cukup berkisar antara  $400^\circ\text{C}$  sampai  $700^\circ\text{C}$  dan suhu ini dapat diketahui menggunakan termokopel. Antara sumber dan substrat dipisahkan oleh suatu pemisah yang jaraknya

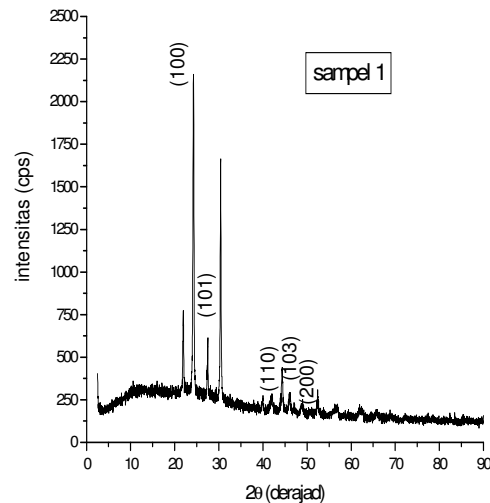
antara 2,0 mm sampai 6,0 mm, sedangkan di sekitar substrat dipanasi oleh karena kristalissi lapisan tipis akan terjadi dengan suhu substrat di atas  $300^\circ\text{C}$  [10]. Kelebihan teknik ini adalah bahwa hasil lapisan tipis memiliki komposisi dan struktur yang sama dengan sumber target pelet paduan masifnya dan tekanan kerja reaktor cukup berorde  $10^{-4}$  Torr, sehingga hanya menggunakan pompa primer saja.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

*1. Analisis XRD (X-ray Diffraction)*

*X-Ray Diffraction (XRD)* digunakan untuk mengetahui struktur kristal dari lapisan tipis CdSe. Teknik XRD dapat digunakan untuk menganalisis struktur kristal karena setiap unsur atau senyawa memiliki pola difraksi tertentu.

Analisis XRD dilakukan pada sampel dan hasilnya seperti pada Gambar 2. Pada difraktogram tersebut tampak kaitan antara sudut  $2\theta$  tertentu dengan intensitas cacah detector yang telah ada dalam sistem XRD. Besarnya intensitas tersebut tentu ditentukan oleh beberapa faktor utamanya oleh sudutnya memenuhi hukum Bragg, dan Faktor struktur F memberikan nilai maksimum,



**Gambar 2.** Difraktogram lapisan tipis CdSe

Struktur Kristal dapat diketahui dengan membandingkan data hasil karakterisasi XRD dengan data standart JCPDS. Selanjutnya Membnadinkan tersebut dimaksudkan untuk mengetahui bidang dengan indeks Miller (hkl) tertentu pada puncak-puncak difraksi yang terbentuk pada difraktogram. Indeks miller dari suatu kristal diperlukan untuk menentukan nilai dari parameter kisi kristal (a, b, dan c). Hasilnya dapat diketahui bahwa lapisan tipis CdSe yang terbentuk merupakan kristal berbentuk polikristal dengan sistem kristal heksagonal. Kristal ini memiliki parameter kisi  $a = b \neq c$ ;  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ,

dan  $\gamma = 120^\circ$ . Perbandingan data XRD dengan Data JCPDS ditunjukkan pada Tabel 1

**Tabel 1.** Perbandingan data XRD penelitian lapisan tipis CdSe sampel 1 dengan data JCPDS bahan CdSe.

Peak	CdSe sampel	CdSe JCPDS	
	$2\theta$ (derajat)	$2\theta$ (derajat)	hkl
1	23.7600	23.901	100
2	27.4529	27.080	101
3	41.9950	41.968	110
4	45.8200	45.788	103
5	48.7600	48.845	200

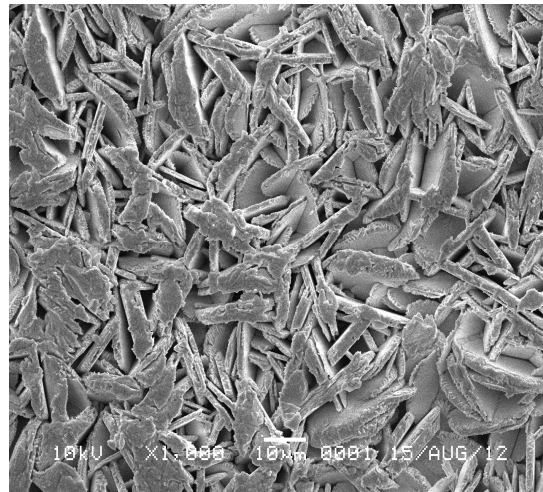
Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui sudut difraksi ( $2\theta$ ), intensitas ( $I$ ) dan jarak antar bidang ( $d_{hkl}$ ). Seperti telah disebutkan di atas, setelah data hasil XRD dibandingkan dengan data JCPDS maka akan diketahui nilai-nilai indeks miller ( $hkl$ ) pada puncak-puncak difraksi yang terbentuk. Berdasarkan data yang telah diperoleh, nilai parameter kisi dari kristal lapisan tipis CdSe yang terbentuk dapat dihitung dengan metode analitik. Hasil perhitungan nilai parameter kisi ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan parameter kisi kristal lapisan tipis CdSe sampel 1 dan 2 dengan metode analitik.

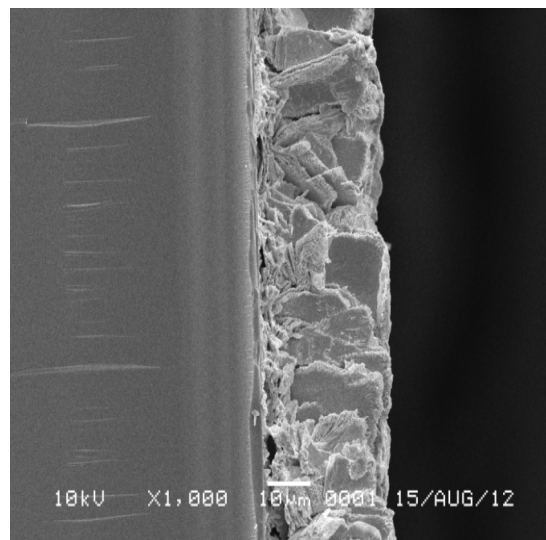
Parameter kisi	Sampel Lapisan Tipis CdSe	JCPDS CdSe
$a$	4,289 Å	4,299 Å
$b$	4,289 Å	4,299 Å
$c$	7,032 Å	7,010 Å

## 2. Analisis SEM (Scanning Electron Microscopy)

SEM digunakan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan bahan lapisan tipis CdSe. Prinsip kerja pirantinya adalah interaksi antara berkas electron yang dikenakan pada sampel dan atom-atom sampel. Hasil dari SEM ini berupa morfologi permukaan dari kristal yang terbentuk. Hasilnya dapat dilihat permukaan lapisan tipis pada Gambar 3 a dan b. Hasil SEM tampak depan dari lapisan tipis CdSe digunakan perbesaran 1000 kali terlihat bahwa struktur sampel berupa kristalin dengan ukuran grain berkisar antara 5 sampai 10  $\mu\text{m}$  berbentuk lonjong yang mengarah pada sistem Kristal Heksagonal. Sedangkan dari tampak lintang lapisan tipis terlihat bahwa struktur sampel berupa kristalin dengan ketebalan sekitar 25  $\mu\text{m}$ . Ketika pemanasan selama 10 menit menunjukkan bahwa laju deposisi sebesar 0,07  $\mu\text{m}/\text{detik}$



(a)

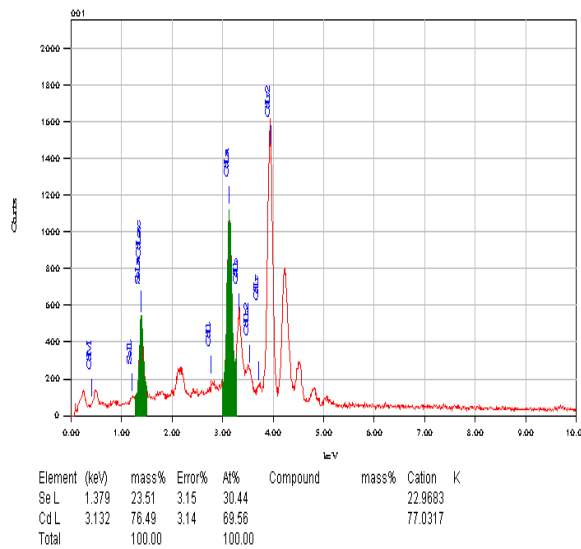


(b)

**Gambar 3.** SEM (a). Hasil pemotretan permukaan lapisan tipis CdSe perbesaran 1000 kali. (b). Penampang lintang lapisan tipis CdSe perbesaran 5000 kali.

## 3. Analisis EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)

Komposisi kimia dari preparasi lapisan tipis CdSe yang terbentuk dapat diketahui dengan menggunakan piranti EDS yang biasanya selalu terintegrasi dengan SEM di atas. Hasil analisis EDS berupa grafik hubungan antara intensitas dengan energi yang menyatakan hasil spektrum energi sinar-X karakteristik dari bahan sampel yang dikarakterisasi. Hasil analisisnya ditunjukkan pada Gambar 4.

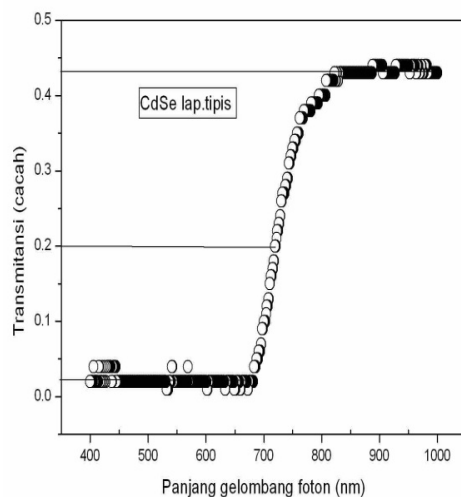


**Gambar 4.** Grafik hubungan antara intensitas dengan energi hasil karakterisasi EDAX lapisan tipis CdSe yang dipreparasi dengan teknik CSVT.

Hasil karakterisasi EDS untuk lapisan tipis CdSe yang telah dipreparasi dengan teknik CSVT memberikan hasil persentase komposisi kimia yang terbentuk yaitu Se: 30,44 %, Cd: 69,56 %. Hasil ini menunjukkan bahwa perbandingan molaritas senyawa dapat dinyatakan dalam rumusan  $CdSe_{0,44}$ . Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa senyawa adalah non stosiometri kaya atom Cd mengingat  $Cd/Se = 2,29$ , namun demikian jelas bahwa fase CdSe telah terbentuk dalam sampel lapisan tipis.

#### Spektrofotometer

Karakterisasi ini berkaitan dengan bagaimana respon lapisan tipis CdSe terhadap foton yang kita kenakan dalam sistem piranti Spektrofotometer. Hasil respon tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Transmittansi CdSe pada panj. glb. antara 400 nm sampai 1000 nm.

Dalam respon tampak bahwa terjadi serapan yang berubah secara drastic pada panjang gelombang antara 676 nm dan 827 nm, sehingga panjang gelombang rata-rata serapan maksimum adalah 751 nm. Dari fenomena ini dapat ditentukan bahwa pada panjang gelombang tersebut sangat berkaitan dengan energy gap bahan CdSe. Oleh karena itu energi gap dapat dihitung dengan cara merata- rata kedua nilai panjang gelombang dan  $E_g = 1,24/751$  dikalikan 1000, besarnya  $E_g = 1,65$  eV. Dengan demikian jelas bahwa energy gap sampel CdSe hasil preparasi dengan teknik CSVT sebesar 1,65 eV dan nilai ini sangat sesuai dengan teori yaitu sebesar 1,65 eV.

#### KESIMPULAN

Setelah melakukan kajian atas hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Telah berhasil dilakukan preparasi lapisan tipis CdSe dengan teknik CSVT. CdSe memiliki struktur heksagonal dengan parameter kisi berturut-turut  $a = b = 4,289 \text{ \AA}$  dan  $c = 7,032 \text{ \AA}$ .
2. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa terjadi homogenitas warna yang berarti sangat mungkin bahan yang terjadi adalah homogen dengan ukuran butir kristalin tampak terlihat mengarah pada struktur heksagonal.
3. Selanjutnya atas dasar hasil EDAX komposisi kimia non stoichiometri dengan perbandingan molaritas Cd:Se adalah 1: 0,44.
4. Hasil karakterisi fotospektroskopi menunjukkan bahwa energy gap CdSe sebesar 1,65 eV dan nilai ini menunjukkan bahwa bahan CdSe adalah sangat promotif dalam upaya merealisasikan sel surya lapisan tipis berbasis bahan CdSe.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Direktur DP2M Dirjen Dikti yang telah memberikan kesempatan untuk meneliti bahan semikonduktor lapisan tipis dengan teknik CSVT dalam sistem Cd(Se,Te) melalui dana dalam Riset Fundamental tahun 2011-2012 dengan nomor surat perjanjian kontrak : No.1/H.34.21/SPLHF/DP2M/2011.

#### PUSTAKA ACUAN

- [1] C. Baban, G.I. Rusu, P. Prapetita, Jurnal of Optoelectronics and Advance Materials, Vol. 7, 2005, p.817- 821
- [2] N.J. Suthan Kesinger, M. Jayachandran, K. Perumala, and Sanjevi Raja, Bul. Mater. Scie, vol 30, 2007, p.547-551
- [3] G.H. Lin, G.E Carlson, International Journal of Hydrogen Energy, 25(2000), p.807-811.
- [4] M. Contreras, Egaas B, Ramanathan K, Preferred orientasion in polycrystalline Cu(In,Ga)se2 and its effecton absorber thin films and device, 16<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference (1-5 Mey 2000)p.372.

- [5] M. Contreras, B. Egas, K. Ramanathan, Prog. Photovoltaic 7 1999 p. 311
- [6] James E. Rannels, Solar Energy Materials & Solar Cells 65 2001 p.3-8.
- [7] Martin A. Green, Physica E, 14 2002. P. 65-70
- [8] C. Suryanarayana and M. Grant Norton, Plenum Press- New York and London, 1998
- [9] Ariswan, Struktur dan komposisi Kimia bahan semikonduktor Cd(Se,S) masif hasil preparasi dengan teknik Bridgman, Proseeding Semnas Pendidikan dan Penerapan Mipa, Yogyakarta 2009.
- [10] Zouaoui, A; Lachab, M ; Hidalgo, M.L; Chaffa, A, Llinares, C; and Kesri, N, *Thin Solid Films* 339 (1999)p.10