

# Preparasi Dan Penentuan Energi Gap Film Tipis TiO<sub>2</sub>:Cu Yang Ditumbuhkan Menggunakan Spin Coating

Vita Efelina

Universitas Singaperbangsa Karawang

Email : vita.efelina@mail.ugm.ac.id

Received February 1, 2017; Revised March 20, 2017; Accepted March 23, 2017

## Abstrak

Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat kaca dengan teknik *spin coating*. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu dibuat dengan konsentrasi doping 1 hingga 10 wt.% dengan suhu *annealing* 500°C. Hasil analisis spektrum transmitansi pada daerah UV-Vis menunjukkan bahwa lapisan tipis yang ditumbuhkan dengan suhu *annealing* 500°C memiliki *energy gap* untuk transisi langsung sebesar 3,51-3,59 eV dan untuk transisi tidak langsung sebesar 3,26-3,57 eV. *Energy gap* paling sempit yang dapat dicapai pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu dengan suhu *annealing* 500°C adalah pada konsentrasi Cu 8%. Penggunaan doping Cu dapat memperlebar spektrum serapan cahaya dari lapisan tipis TiO<sub>2</sub> sehingga lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu dapat diaplikasikan sebagai anti pantulan pada sel surya.

**Kata kunci:** TiO<sub>2</sub>, Cu, UV Vis, spin coating

## *Preparation And Study Of Gap Energy TiO<sub>2</sub>:Cu Thin Film Fabricated By Spin Coating Technique*

### Abstract

*Cu doped TiO<sub>2</sub> thin film have been successfully grown on corning substrates by spin coating technique. Concentration of Cu doping on TiO<sub>2</sub> thin films are in the range 1 to 10 wt.%. Analysis of transmission spectrum from ultra violet to visible energy range show that TiO<sub>2</sub>: Cu thin film grown at annealing temperature of 500°C has direct transition energy gap is 3,51-3,59 eV and indirect transition is 3,26-3,57 eV. The narrowest energy gap TiO<sub>2</sub>: Cu thin films under annealing temperature of 500°C yields when the Cu doping concentration is 8%. The value of direct and indirect energy gap of its are respectifely 3,51 eV and 3,26 eV.. The direct and indirect energy gap on this condition are respectively 3,53 eV and 3,32 eV. Cu doping thin films can widen the range of light absorption spectra of TiO<sub>2</sub> so these thin films, can be applied as an anti-reflecting layer on solar cell.*

**Keywords:** TiO<sub>2</sub>, Cu, UV Vis, spin coating

## PENDAHULUAN

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan bahan yang memiliki konstanta dielektrik tinggi. Salah satu manfaat dari bahan yang memiliki konstanta dielektrik tinggi yaitu dapat mencegah kebocoran arus. TiO<sub>2</sub> dapat dijadikan sebagai bahan utama dalam pembuatan alat-alat elektronik dan sensor. TiO<sub>2</sub> memiliki stabilitas kimia tinggi dan tidak beracun. Titanium dioksida murni memiliki energi gap yang lebar yaitu sebesar 3,2 eV. TiO<sub>2</sub> hanya mampu menyerap cahaya di bawah 400 nm yaitu pada daerah UV, sehingga untuk memaksimalkan serapan energi matahari khususnya pada spektrum sinar tampak, TiO<sub>2</sub> perlu didoping dengan dopan tertentu[Indah, 2009].

Penggunaan doping dilakukan untuk memperkecil energi gap dan memperbesar spektrum serapan cahaya dari Titanium dioksida. Doping yang baik harus dapat meningkatkan tepi atas pita valensi dan memperkecil energi gap. Salah satunya adalah melalui proses doping logam yang dapat memperbesar respon cahaya dari TiO<sub>2</sub> terhadap spektrum sinar tampak[Choi, 1994]. Penelitian sebelumnya tentang pengujian film tipis Ba<sub>0,5</sub>Sr<sub>0,5</sub>TiO<sub>3</sub> sebagai sensor cahaya berbantuan rangkaian elektronika. Penelitian tersebut menggunakan metode *chemical solution deposition* (CSD)[Farida dkk, 2016]. Beberapa penelitian telah dilakukan salah satunya TiO<sub>2</sub> doping Cu untuk berbagai kandungan Cu (Cu-Nitrat, Cu-Sulfat, Cu-Asetat dan Cu-Klorida)

dengan variasi konsentrasi sebesar 1%, 3%, dan 5%. Mereka menyatakan dari hasil karakterisasi DRS (*Diffuse Reflectance Spectroscopy*) dapat menurunkan energi *gap* dari 3,2 hingga 2,58 eV. Dari berbagai kandungan Cu yang digunakan tersebut, doping Cu-Nitrat dengan variasi konsentrasi 1%, 3% dan 5% paling efektif menurunkan energi *gap* berturut-turut sebesar 2,97 eV, 2,83 eV dan 2,58 eV. Cu-Nitrat digunakan dalam penelitian ini sebagai doping karena paling efektif memperkecil energi *gap* pada TiO<sub>2</sub> [Slamet, 2007].

Pembuatan lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu dilakukan dengan teknik *spin coating*. *Spin coating* merupakan metode fabrikasi yang dapat digunakan untuk menumbuhkan lapisan tipis dengan kualitas yang baik, mudah dibuat pada suhu kamar dan murah. Namun kualitas film tipis yang ditumbuhkan dengan teknik ini sangat peka terhadap parameter fabrikasi yang digunakan, antara lain pelarut, substrat dan temperatur *annealing* [Muslihafatun, 2010].

Karakterisasi sifat optik lapisan tipis dilakukan dengan menggunakan spektrometer UV-Vis (*Ultra violet-visible*). Spektroskopi UV-Vis dilakukan untuk memperoleh data transmitansi dari TiO<sub>2</sub>: Cu sehingga dapat diketahui energi *gap*-nya melalui perhitungan ketebalan lapisan, indek bias dan koefisien absorpsi. Berdasarkan pemaparan tersebut, maka penelitian yang akan dilakukan adalah pengaruh konsentrasi doping Cu pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang ditumbuhkan dengan teknik *spin coating* terhadap energi *gap*.

## METODE

### 2.1 Tahap Menyiapkan Substrat, larutan Cu dan larutan TiO<sub>2</sub>

Substrat dibersihkan menggunakan Ethanol, selanjutnya substrat tersebut dikeringkan menggunakan *hotplate* selama 5 menit dengan temperatur 100 °C untuk menghilangkan uap air yang tertinggal. Setelah itu, pembuatan larutan Cu (Cu-Nitrat) dengan variasi konsentrasi 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% menggunakan larutan HCl. Dalam penelitian ini Cu yang digunakan dalam bentuk padatan yang masing-masing konsentrasi dicampur dengan 0,01 liter HCl. Kemudian pembuatan larutan TiO<sub>2</sub> dengan 0,5 M. Konsentrasi 0,5 M didapat dari 0,39 gram bubuk TiO<sub>2</sub> yang dicampur dengan 0,01 liter aquades. Larutan

TiO<sub>2</sub> dan Cu masing-masing diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam dengan laju putaran 700 rpm. Setelah larutan Cu dan TiO<sub>2</sub> selesai dibuat, maka kedua larutan tersebut dicampur dengan cara menuangkan larutan Cu ke dalam larutan TiO<sub>2</sub>. Campuran larutan diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirrer*, kemudian dibiarkan selama 24 jam [Prathama, 2010].

### 2.2 Tahap Pembuatan Lapisan Tipis

Tahap berikutnya adalah pembuatan lapisan tipis, yaitu dengan mengambil 4 tetes larutan TiO<sub>2</sub>: Cu untuk diteteskan pada substrat kaca yang sudah ditempatkan pada alat *spin coating*. Kemudian substrat yang telah ditetesi larutan TiO<sub>2</sub>: Cu (1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% dan 10%) diputar dengan tegangan 7,5 volt (kecepatan putar piringan 1371 rpm) selama 15 detik. Setelah dilakukan proses pemutaran menggunakan *spin coating*, langkah berikutnya adalah melakukan pemanasan awal (*pre annealing*) dengan menggunakan *hotplate* dengan suhu 150 °C selama 30 menit. *Pre annealing* berfungsi untuk menghilangkan uap air (pelarut) pada lapisan tipis. Kemudian melakukan pemanasan (*annealing*) dengan menggunakan *furnace* dengan variasi suhu 500 °C dan 600 °C selama 8 jam. Proses *annealing* berfungsi untuk memperbaiki struktur kristal [Prathama, 2010]. Larutan TiO<sub>2</sub> yang di campurkan dengan H<sub>2</sub>O menjadi TiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O→TiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O, sedangkan untuk larutan Cu nitrat yang ditambahkan dengan HCl menjadi : Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>+2HCl→CuCl<sub>2</sub>+2HNO<sub>3</sub> [Faith dkk, 1975] . Larutan yang diteteskan di atas substrat adalah larutan Cu-doped TiO<sub>2</sub> [Coleman, N, 2015].

### 2.3 Tahap Spektroskopi UV-Vis

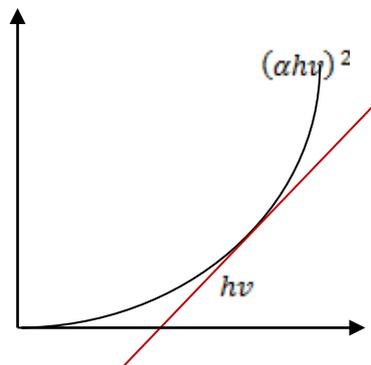
Lapisan tipis TiO<sub>2</sub>:Cu diuji menggunakan spektrometer UV-Vis. Pengukuran dengan menggunakan spektrometer UV-Vis diperoleh data dalam bentuk data transmitansi. Data antara panjang gelombang dari cahaya ultraviolet hingga cahaya tampak terhadap transmitansi lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu. Data-data tersebut dianalisis untuk mengetahui besarnya energi *gap* pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu. Penentuan energi *gap* lapisan TiO<sub>2</sub>: Cu dapat ditentukan dengan metode *Tauc plot* [Tauc, 1966]. Metode *Tauc Plot* yaitu dengan menarik ekstrapolasi pada

daerah linier dari grafik hubungan  $(h\nu)$  sebagai absis dan  $(\alpha h\nu)^n$  sebagai ordinat hingga memotong sumbu energi. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan  $\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n$ . Jika transisi terjadi secara langsung, maka  $n = 1/2$  sehingga persamaan menjadi [Chong, 2006]:

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{1/2}, \quad (1)$$

$$(\alpha h\nu)^2 = A^2(h\nu - E_g), \quad (2)$$

$$(\alpha h\nu)^2 = A^2 h\nu - A^2 E_g, \quad (3)$$



Gambar 1. Penentuan energi gap

dengan menggunakan persamaan garis  $Y = mx + C$ , maka:

$$0 = A^2 h\nu - A^2 E_g,$$

$$0 = h\nu - E_g,$$

$$E_g = h\nu \quad (4)$$

Gambar 1 dibawah ini menggambarkan hubungan antara  $h\nu$  dengan  $(\alpha h\nu)^2$  yang digunakan untuk menentukan energi gap.

Koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) merupakan hubungan antara transmitansi sebagai fungsi gelombang dengan ketebalan lapisan tipis yang di ukur [Swanepoel, 1983].

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln T \quad (5)$$

(d) Ketebalan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$ : Cu dapat ditentukan dengan menggunakan metode Swanepoel [Swanepoel, 1983]

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (6)$$

dengan  $d$  ketebalan lapisan (nm),  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$  adalah panjang gelombang pada masing-masing puncak,  $n_1$  dan  $n_2$  adalah indeks bias lapisan tipis pada masing-masing panjang gelombang  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$ .

indeks bias ( $n$ ) lapisan tipis yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut [Swanepoel, 1983]

$$n = \sqrt{N + \sqrt{N^2 - n_s^2}} \quad (7)$$

$$N = 2n_s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (8)$$

$n_s$  adalah indeks bias substrat kaca (1.51),  $T_M$  dan  $T_m$  masing-masing adalah nilai transmitansi maksimum (%) dan transmitansi minimum (%).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pembuatan Larutan $\text{TiO}_2$ dan Cu

Larutan  $\text{TiO}_2$  didapatkan dari 0,39 gram bubuk  $\text{TiO}_2$ . Bubuk  $\text{TiO}_2$  diencerkan menggunakan 0,01 liter aquades, sehingga diperoleh larutan  $\text{TiO}_2$ . Kemudian pembuatan larutan Cu (Cu-Nitrat) dengan variasi konsentrasi 1%, 2 %, 3%, 4 %, 5%, 6 %, 7%, 8 %, 9% dan 10 % menggunakan larutan HCl. Cu yang digunakan masih dalam bentuk padatan yang masing-masing konsentrasi dicampur dengan 0,01 liter HCl. Cu dengan konsentrasi 1% diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$1\% = \frac{x}{x + TiO_2}$$

$$0,01 = \frac{x}{x + 0,39}$$

$$0,01(x + 0,39) = x$$

$$0,01x + 3,9 \cdot 10^{-3} = x$$

$$x = 0,0039 \text{ gram}$$

Pembuatan larutan Cu dengan berbagai konsentrasi HCl di tunjukkan pada tabel 1. di bawah ini :

Tabel 1 .Pembuatan larutan Cu

Larutan	Konsentrasi		
	Cu (%)	Cu (g)	HCl (ml)
Sampel-1	1	0,0039	10
Sampel-2	2	0,0080	10
Sampel-3	3	0,0121	10
Sampel-4	4	0,0162	10
Sampel-5	5	0,0205	10
Sampel-6	6	0,0249	10
Sampel-7	7	0,0294	10
Sampel-8	8	0,0339	10
Sampel-9	9	0,0386	10
Sampel-10	10	0,0433	10

Larutan  $TiO_2$  dan Cu diaduk menggunakan *magnetic stirer* selama 3 jam dengan laju putaran 700 rpm. Setelah larutan Cu dan  $TiO_2$  selesai dibuat, maka kedua larutan tersebut

dicampur dengan cara menuangkan larutan Cu ke dalam larutan  $TiO_2$ . Campuran larutan diaduk selama 30 menit menggunakan *magnetic stirer*, kemudian dibiarkan selama 24 jam.

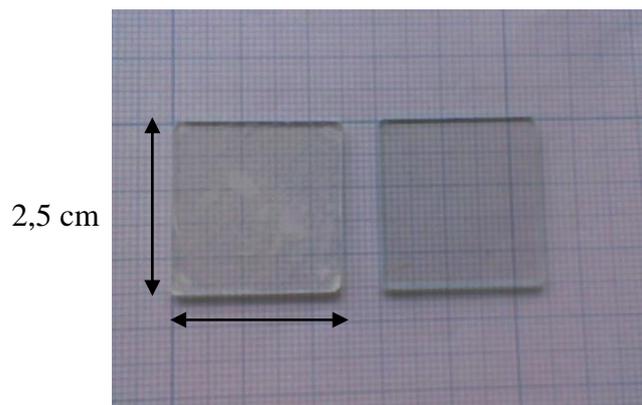


Gambar 2. Larutan  $TiO_2$  murni dan  $TiO_2$  doping Cu

Tahap berikutnya didapatkan lapisan tipis TiO<sub>2</sub>:Cu menggunakan teknik *spin coating* dengan variasi pemanasan (*annealing*) 500°C dan 600°C. Sampel tersebut dikarakterisasi menggunakan spektrometer UV-VIS untuk mengetahui besarnya nilai transmitansi pada panjang gelombang daerah UV-VIS.

### 3.2 Pembuatan Lapisan Tipis Menggunakan Teknik *Spin Coating*

Lapisan tipis dari bahan TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> doping Cu telah dibuat di atas substrat kaca menggunakan teknik *spin coating*. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu dibuat dengan variasi konsentrasi doping Cu 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% dan 10%. Lapisan tipis yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut :

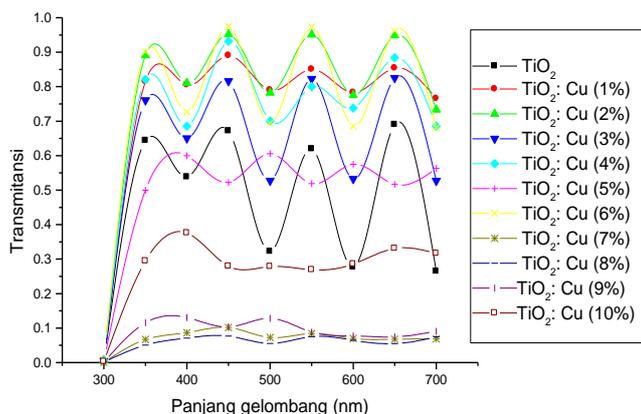


Gambar 3. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu dan substrat kaca

### 3.3 Pengaruh Konsentrasi Doping Cu pada lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> terhadap Energi *Gap* dengan Suhu *Annealing* 500°C

*Energy gap* pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu dapat diketahui dengan mengolah data transmitansi yang diperoleh dengan menggunakan spektrometer UV-Vis (UV mini-

1240 Shimadzu). Data yang diperoleh yaitu data transmitansi antara panjang gelombang dari cahaya ultraviolet hingga cahaya tampak (300 nm - 700 nm). Data transmitansi pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub>:Cu dengan suhu *annealing* 500°C ditampilkan pada Gambar 2.4 berikut ini.



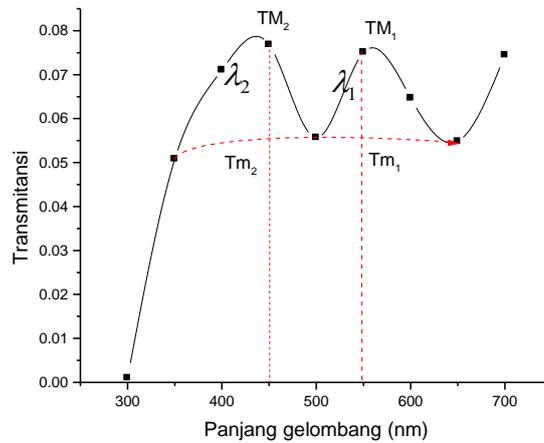
Gambar 4. Transmitansi lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu dengan suhu *annealing* 500°C

Pada gambar 4. teramati dengan jelas transmitansi minimum berada pada konsentrasi

doping Cu 8%. Transmitansi pada panjang gelombang 300 nm sangat kecil dibandingkan

400 nm-700 nm. Berdasarkan hukum *lambert beer* apabila cahaya yang diteruskan pada panjang gelombang 300 nm bernilai kecil maka cahaya yang diserap besar [Sawitri, 2010]. Transmittansi maksimum pada panjang gelombang 300-700 nm menunjukkan bahwa elektron tidak dapat menyerap energi pada panjang gelombang tersebut, sehingga energi yang diberikan hanya diteruskan saja. Nilai transmittansi minimum pada 300 nm ini merupakan nilai optimum penyerapan energi

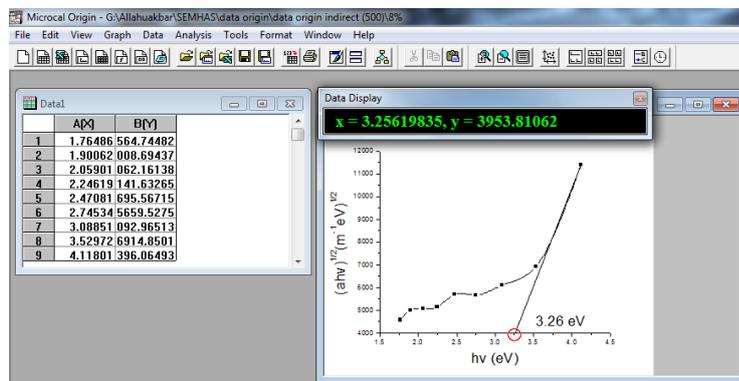
oleh elektron sehingga elektron memiliki energi yang cukup untuk melewati *energy gap* [Romzie, 2008]. Data transmittansi dengan panjang gelombang 300 hingga 700 nm dapat digunakan untuk menentukan nilai indeks bias dan ketebalan lapisan tipis dengan menggunakan metode Swanepoel [Swanepoel, 1983]. Grafik transmittansi lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu (8%) dengan suhu *annealing* 500°C ditampilkan pada Gambar 5 berikut ini.



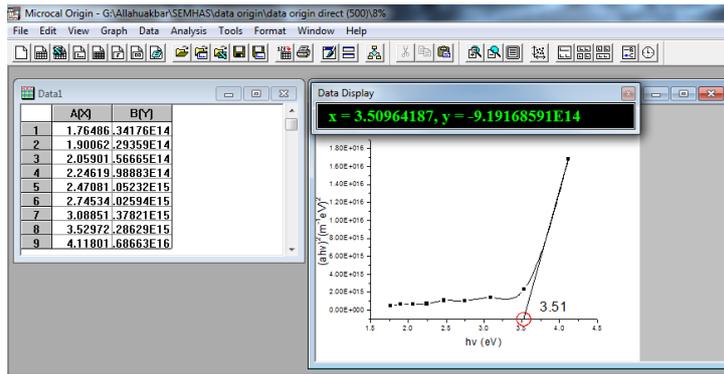
Gambar 5. Transmittansi lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu (8%) dengan suhu *annealing* 500°C

Pembuatan grafik lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu dibuat dengan menggunakan *software Origin 5.0*. Nilai *energy gap* lapisan tipis TiO<sub>2</sub> doping Cu dengan

suhu *annealing* 500 °C ditunjukkan pada gambar 6 dan 7 di bawah ini :



Gambar 6. *Direct gap* TiO<sub>2</sub>: Cu(8%) dengan suhu *annealing* 500 °C



Gambar 7. Indirect gap TiO<sub>2</sub>: Cu(8 %) dengan suhu annealing 500 °C

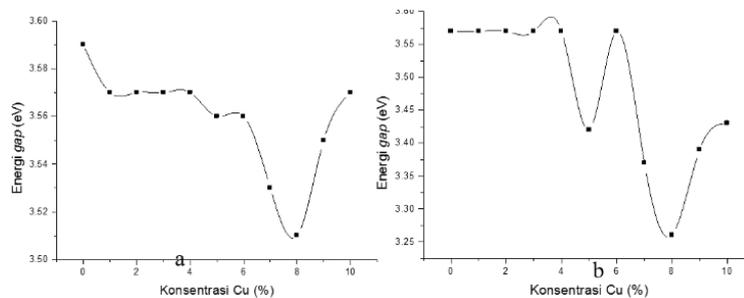
Besarnya nilai *energy gap* TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>: Cu ditunjukkan pada tabel 2.berikut ini.

Tabel 2. Nilai *energy gap* TiO<sub>2</sub>: Cu (500 °C)

Konsentrasi doping (%)	Direct gap(eV)	Indirect Gap (eV)
0	3.59	3,57
1	3.57	3,57
2	3.57	3,57
3	3.57	3,57
4	3.57	3,57
5	3.56	3,42
6	3.56	3,57
7	3.53	3,37
8	3.51	3,26
9	3.55	3,39
10	3.57	3,43

Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa *doping* Cu pada TiO<sub>2</sub> cenderung mempersempit *energy gap* film tipis. Penyempitan *energy gap* ini disebabkan oleh munculnya level energi baru diantara level valensi dan level konduksi yang

dibentuk oleh *doping* Cu[10]. Pengaruh konsentrasi *doping* terhadap *energy gap* dengan suhu annealing 500°C disajikan pada Gambar 8a untuk *direct gap* dan Gambar 8b untuk *indirect gap* berikut ini.



Gambar 8 Pengaruh konsentrasi *doping* Cu terhadap *energy gap* lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dengan suhu annealing 500°C, a. *direct gap* dan b. *indirect gap*

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa konsentrasi Cu yang baik untuk mempersempit *energy gap* lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu dengan suhu *annealing* 500 °C adalah konsentrasi doping Cu 8 %. Konsentrasi yang kurang atau berlebihan tidak baik untuk bahan semikonduktor TiO<sub>2</sub>. Pada konsentrasi tertentu *energy gap* mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan kemampuan Cu tidak dapat mensubstitusi titanium, Cu hanya berada pada permukaan titanium. Sehingga walaupun Cu yang didopingkan banyak, Cu yang mensubstitusi titanium tetap sedikit [Romzie, 2008].

### KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut hasil karakterisasi sifat optik menggunakan spektrometer UV-Vis menunjukkan bahwa *energy gap* yang paling sempit pada lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu dengan suhu *annealing* 500 °C dapat dicapai pada konsentrasi Cu sebesar 8 wt.%. Untuk menyempurnakan penelitian ini maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang karakterisasi sifat listrik lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu yang telah dibuat. Selain itu, penelitian lebih lanjut tentang karakterisasi XRD dan SEM untuk mengetahui struktur dan morfologi lapisan tipis TiO<sub>2</sub>: Cu yang telah dibuat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Choi W.Y., Termin A., Hoffmann M.R, (1994). "The Role of Metal Ion Dopants in Quantum-Sized TiO<sub>2</sub>: Correlation between Photoreactivity and Charge Carrier Recombination Dynamics", J. Phys Chem, Volume 98. 13669–13679.
- Chong W., (2006) "Optical Properties of Amorphous Selenium Films", University of Saskatchewan, Canada, Thesis.
- Faith, W.L, Donald B Keyes, Ronald L Clark, (1975). "Industrial Chemical". Wiley, Newyork.
- Huriawati, F., Kurniadi, E., & Irzaman, I. (2016). Pengujian Film Tipis Ba<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) Sebagai Sensor

Cahaya Berbantuan Rangkaian Elektronika. *JURNAL PENDIDIKAN FISIKA DAN KEILMUAN (JPFK)*, 2(2), 61-64.

Indah, A. A., (2009). "Distribusi Celah Pita Energi Titania Kotor", Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi, Edisi khusus Agustus 2009. ISSN 1979-0880.

Muslihafatun S., (2010). "Penumbuhan Film Tipis TiO<sub>2</sub>: Nb dengan Metode Spin Coating dan Karakterisasinya", Purwokerto, Skripsi S1 UNSOED.

Nathaniel Coleman Jr. (2015). "Synthesis and Characterization of metal doped titanium dioxide, transition metal phosphides, sulfides and thiophosphates for photocatalysis and energy applications. University of Jowa. Theses and Dissertations.

Prathama R.R. (2010) "Penumbuhan Film Tipis TiO<sub>2</sub>: Fe dengan Metode Spin Coating dan Karakterisasinya", Purwokerto, Skripsi S1 Fisika.

Romzie M., (2008) "Studi Konduktivitas Listrik Kurva I-V dan Celah Energi Fotodioda Berbasis Film Tipis Ba<sub>0,75</sub>Sr<sub>0,25</sub>TiO<sub>3</sub> (BST) yang Didadah Galium (BSGT) Menggunakan Metode *Chemical Solution Deposition* (CSD)", IPB, Bogor, Skripsi S1 Fisika.

Sawitri A., (2010) "Pengaruh Konsentrasi dan Ketebalan terhadap penyerapan cahaya (Hukum Beer-Lambert)", Jurnal Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Jati, Bandung.

Slamet R., Marliana E., (2007). "Pengolahan limbah Cr(VI) dan Fenol dengan Fotokatalis Serbuk TiO<sub>2</sub> dan CuO/TiO<sub>2</sub>", Reaktor, Vol.11 No.2, Hal: 78-85.

Swanepoel R., (1983) "Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon", Journal of Physics E:

Scientific Instruments 16(12), pp. 1214–1222,.

Structure of Amorphous Germanium.,  
Phys. Stat. sol. 15, 627.

Tauc J, Grigorovici R. and Vancu A.,(1966)  
Optical Properties and Electronic