

## SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS TiO<sub>2</sub> YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE SOL GEL SPIN COATING

Ramadhani Perdana, Dahyunir Dahlan, Harmadi  
Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis – Padang  
([ramadhani.perdana.phys@gmail.com](mailto:ramadhani.perdana.phys@gmail.com))

### ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode *Sol Gel Spin Coating* dari prekursor *Titanium butoxide*. Larutan TiO<sub>2</sub> dideposisikan diatas substrat kaca dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 detik. Lapisan TiO<sub>2</sub> yang terbentuk dipanaskan pada suhu 500 °C dengan waktu tahan selama 1 jam. Karakterisasi optik lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300- 800 nm. Hasil karakterisasi menunjukkan energi *gap* TiO<sub>2</sub> yang dipanaskan pada suhu 500 °C dengan variasi waktu *aging* 0, 24, 48, dan 72 jam berturut- turut adalah 3,74 eV, 3,79 eV, 3,81 eV, dan 3,78 eV. Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian waktu *aging* berdampak terhadap besarnya energi *gap* TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan.

**Kata kunci** : TiO<sub>2</sub>, *Sol Gel Spin Coating*, Waktu *aging*, Energi *gap*

### ABSTRACT

Synthesized of thin-film TiO<sub>2</sub> with Sol Gel Spin Coating method from Titanium butoxide precursor has been conducted. TiO<sub>2</sub> solution was deposited on the glass substrate with 2500 rpm angular velocity for 30 seconds. Thin-film product was heated at 500 °C with 1 hour holding time. Optical characterisation of the produced thin-film TiO<sub>2</sub> was using UV-Vis Spectrophotometer at 300- 800 nm wavelength. Characterisation results shows the energy gap of TiO<sub>2</sub> heated at 500 °C with aging time variation of 0, 24, 48, and 72 hours are 3,74 eV, 3,79 eV, 3,81 eV, and 3,78 eV respectively. This result shows that applying aging time affected the energy gap of TiO<sub>2</sub>.

**Key words** : TiO<sub>2</sub>, Sol Gel Spin Coating, Aging Time, Energy Gap

### 1. PENDAHULUAN

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan material semikonduktor tipe-n yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi, seperti: sel surya (Grätzel, 2003), bahan pembatas dalam sensor inframerah (Yusrianto et al., 2010), sensor gas (Sotter et al., 2005), pigmentasi cat (Kong et al., 2007), *self cleaning* pada cat (Kusmahetingsih, 2012),

fotokatalis (Jitputti et al., 2007) dan aplikasi lainnya. TiO<sub>2</sub> menjadi pilihan dalam banyak aplikasi karena beberapa alasan, antara lain: tidak beracun, nonkorosif, lebih stabil, tersedia secara luas, memiliki kemampuan oksidasi yang tinggi, tidak larut dalam reaksi baik secara biologis maupun kimia, serta biaya pembuatannya relatif terjangkau (Grätzel, 2003).

Beberapa metode yang sering digunakan dalam pembuatan lapisan TiO<sub>2</sub> antara lain: *Chemical Vapor Deposition* (CVD), *Physical Vapor Deposition* (PVD), *Pulsed Laser Deposition* (PLD), *RF Magnetron Sputtering*, (Lei Zhao et al., 2008), *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) (Misook et al., 2003), dan *Sol Gel Spin Coating*, (Lazim et al., 2013). Diantara sekian banyak metode tersebut, *Sol Gel Spin Coating* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam menghasilkan lapisan tipis TiO<sub>2</sub>. Metode *Sol Gel Spin Coating* memiliki beberapa keuntungan antara lain:

biayanya murah, komposisinya yang homogen, dapat dilakukan pada suhu rendah, tidak menggunakan ruang dengan tingkat kevakuman yang tinggi, serta ketebalan lapisan bisa dikontrol (Widodo, 2010).

Beberapa penelitian mengenai sintesis lapisan TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *sol gel spin coating* telah pernah dilakukan. Lazim et al. (2013), berhasil menumbuhkan lapisan TiO<sub>2</sub> dari prekursor *Titanium tetraisopropoxide* Ti(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub>. Pada penelitian tersebut lapisan TiO<sub>2</sub> dideposisikan di atas substrat ITO dan diputar dengan kecepatan 2000 rpm. Dari penelitian tersebut didapatkan kristal TiO<sub>2</sub> dalam fasa *anatase* dengan energi *gap* sebesar 3,69 eV pada pemanasan 550 °C. Dengan metode yang sama, Karabay et al. (2011) mensintesis TiO<sub>2</sub> dari prekursor *Titanium butoxide* Ti(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub> yang dilarutkan dengan Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), asam asetat (CH<sub>3</sub>COOH), *acetylacetone* (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) serta H<sub>2</sub>O. Pada penelitian tersebut, larutan TiO<sub>2</sub> dideposisikan di atas substrat kaca dan diputar dengan kecepatan 3000 rpm selama 20 detik. Lapisan TiO<sub>2</sub> yang terbentuk selanjutnya dipanaskan pada suhu 500 °C selama 24 jam, sehingga didapatkan TiO<sub>2</sub> dalam fasa *anatase* dengan ukuran kristal 34,5 nm dan energi *gap* sebesar 3,78 eV.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa energi *gap* TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan masih cukup besar, jika dibandingkan dengan energi *gap* TiO<sub>2</sub> fasa *anatase* yaitu sekitar 3,2 eV dan *rutile* sekitar 3,0 eV (Dorian et al., 2012). Dalam penelitian ini dilakukan sintesis lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang dideposisikan pada substrat kaca dengan metode *Sol Gel Spin Coating* dengan variasi waktu *aging*. *Aging* adalah penyimpanan larutan dalam kurun waktu tertentu yang bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimal dari larutan sebelum dideposisikan pada substrat. Prekursor yang digunakan dalam sintesis larutan TiO<sub>2</sub> adalah *Titanium butoxide* Ti(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub> karena bersifat ramah lingkungan, memiliki kandungan metal yang tinggi, mudah dilarutkan, tidak mudah menguap dan harganya relatif terjangkau. Karakterisasi lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui karakteristik optik lapisan yang dihasilkan.

## 2. METODE

### Persiapan substrat

Kaca substrat dipotong dalam ukuran 1 cm x 2 cm. Kaca substrat yang telah dipotong kemudian dibersihkan untuk menghilangkan kotoran organik maupun anorganik yang menempel (Yusrianto, 2010). Kaca substrat dimasukkan ke dalam gelas beker berisi larutan aseton dan digetarkan dengan Ultrasonic Cleaner selama 15 menit. Selanjutnya dengan langkah yang sama kaca substrat digetarkan dalam larutan Metanol selama 15 menit. Setelah selesai, kaca substrat dibilas dengan aquades lalu dikeringkan dengan hair dryer.

### Preparasi Larutan TiO<sub>2</sub>

Sebanyak 1 ml Titanium Butoxide dicampurkan dengan 5 ml etanol dan diaduk dengan menggunakan Magnetic Stirer selama 6 jam pada suhu kamar. Sesaat setelah proses pengadukan berlangsung, sebanyak 0,3 ml aquades diteteskan kedalam larutan, diikuti dengan 0,4 ml HCl. Perbandingan komposisi molaritas campuran Ti(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>4</sub> : C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH : H<sub>2</sub>O : HCl yang digunakan adalah 1:26,5:1:1 (Yusrianto et al., 2010). Larutan TiO<sub>2</sub> yang telah disintesis kemudian diaging pada suhu kamar dengan variasi waktu 0, 24, 48, dan 72 jam untuk menghasilkan larutan yang lebih homogen.

### Pelapisan Larutan TiO<sub>2</sub>

Larutan TiO<sub>2</sub> dideposisikan pada permukaan substrat kaca dan diputar dengan kecepatan 2500 rpm selama 30 detik. Kecepatan putaran ini akan menghasilkan lapisan TiO<sub>2</sub> yang tersebar secara merata dan bebas retak (Miah, 2001). Setelah selesai, sampel dikeringkan di udara terbuka selama 15 menit untuk menguapkan sisa-sisa pelarut yang masih tersisa

(Adem, 2003). Selanjutnya lapisan tersebut dipanaskan dengan suhu 500 °C dengan waktu tahan 60 menit. Proses ini bertujuan untuk menumbuhkan kristal, meningkatkan homogenitas butir, dan menguatkan gaya adhesi antar lapisan dengan substrat. Larutan TiO<sub>2</sub> hasil sintesis yang belum digunakan lalu disimpan untuk kemudian dideposisikan pada 24, 48, dan 72 jam berikutnya.

### Perhitungan energi gap

Perhitungan energi gap lapisan TiO<sub>2</sub> dimulai dari penentuan nilai transmitansi maksimum dan minimum. Dari nilai tersebut dapat ditentukan besarnya indeks bias lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan menggunakan Persamaan (1), Persamaan (2), dan Persamaan (3).

$$N_2 = 2n_s \frac{T_{M2} - T_{m1}}{T_{M2}T_{m1}} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (1)$$

$$N_1 = 2n_s \frac{T_{M1} - T_{m2}}{T_{M1}T_{m2}} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (2)$$

$$n_2 = \sqrt{N_2 + \sqrt{N_2^2 - n_s^2}} \quad (3)$$

Dimana  $n_s$  menyatakan nilai indeks bias substrat,  $N_2$  dan  $N_1$  merupakan indeks bias lapisan,  $T_{M1}$  dan  $T_{M2}$  adalah nilai Transmittansi maksimum 1 dan 2,  $T_{m1}$  dan  $T_{m2}$  adalah nilai Transmittansi minimum 1 dan 2, sedangkan  $n_1$  dan  $n_2$  adalah indeks bias lapisan tipis pada masing-masing panjang gelombang  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$ . Setelah indeks bias ditentukan, maka ketebalan lapisan dapat ditentukan melalui Persamaan (4).

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (4)$$

Setelah ketebalan lapisan tipis diketahui, maka koefisien serap lapisan tipis TiO<sub>2</sub> untuk masing-masing panjang gelombang dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (5).

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

Penentuan energi gap lapisan dapat ditentukan dengan metode Tauc Plot yaitu dengan menarik ekstrapolasi pada daerah linier dari grafik hubungan hingga memotong sumbu energi. Perhitungan tersebut menggunakan persamaan (6) (Abdullah et al., 2009).

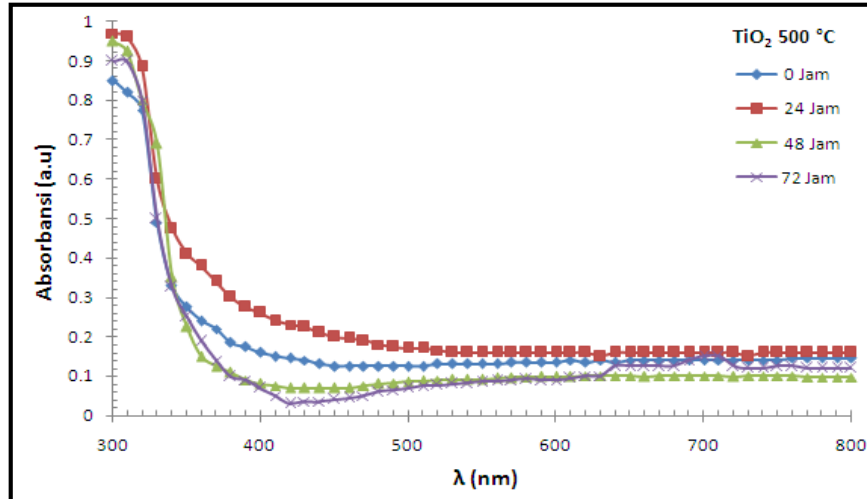
$$\alpha hf = A(hf - E_g)^{0,5} \quad (6)$$

Dengan  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi, A adalah konstanta,  $hf$  adalah energi (eV), dan  $E_g$  (eV) adalah energi gap pada material.

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### Karakteristik Absorbansi dan Transmittansi Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub>

Hasil pengukuran absorbansi optik dengan Spektrometer UV-Vis berada pada rentang panjang gelombang 300- 800 nm yang ditunjukkan pada Gambar 1.



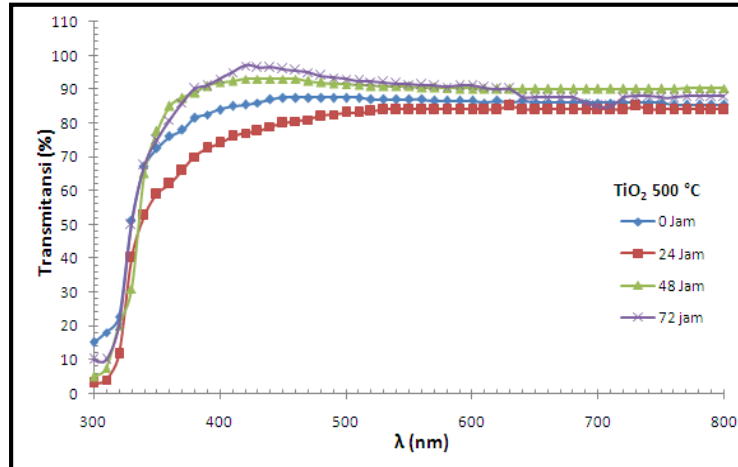
**Gambar 1.** Grafik hubungan absorbansi terhadap panjang gelombang lapisan TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging*

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai absorbansi maksimum terjadi pada daerah dengan panjang gelombang 300- 400 nm yang merupakan daerah panjang gelombang ultraviolet. Pada kondisi ini lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan cenderung untuk menyerap semua cahaya yang datang kepadanya, sehingga menyebabkan nilai absorbansi masing-masing sampel menjadi tinggi. Pada Gambar 1 dapat juga dilihat bahwa nilai absorbansi maksimum tiap lapisan TiO<sub>2</sub> berada pada panjang gelombang 300 nm. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan dalam fasa *anatase*, karena lebih dekat dengan spektrum panjang gelombang ultraviolet (Afrozi, 2010).

Pada Gambar 1 dapat dilihat adanya perbedaan nilai absorbansi maksimum pada tiap lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Nilai absorbansi maksimum TiO<sub>2</sub> yang dipanaskan pada suhu 500 °C dengan variasi waktu *aging* 0, 24, 48, 72 jam berturut-turut adalah 0,84, 0,97, 0,95, dan 0,90. Nilai absorbansi maksimum tertinggi dimiliki oleh TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan waktu *aging* 24 jam, sedangkan nilai absorbansi maksimum terendah dimiliki oleh TiO<sub>2</sub> 500 °C 0 jam (tanpa *aging*). Perbedaan nilai absorbansi maksimum ini disebabkan oleh adanya perbedaan ketebalan lapisan yang dihasilkan. Proses *aging* dapat menyebabkan semakin rapat dan teraturnya atom- atom penyusun TiO<sub>2</sub>, yang berpengaruh kepada ketebalan lapisan yang dihasilkan.

Dari nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dapat ditentukan besarnya nilai transmitansi lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Grafik hubungan transmitansi terhadap panjang gelombang dari lapisan TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging* dapat dilihat pada Gambar 2.

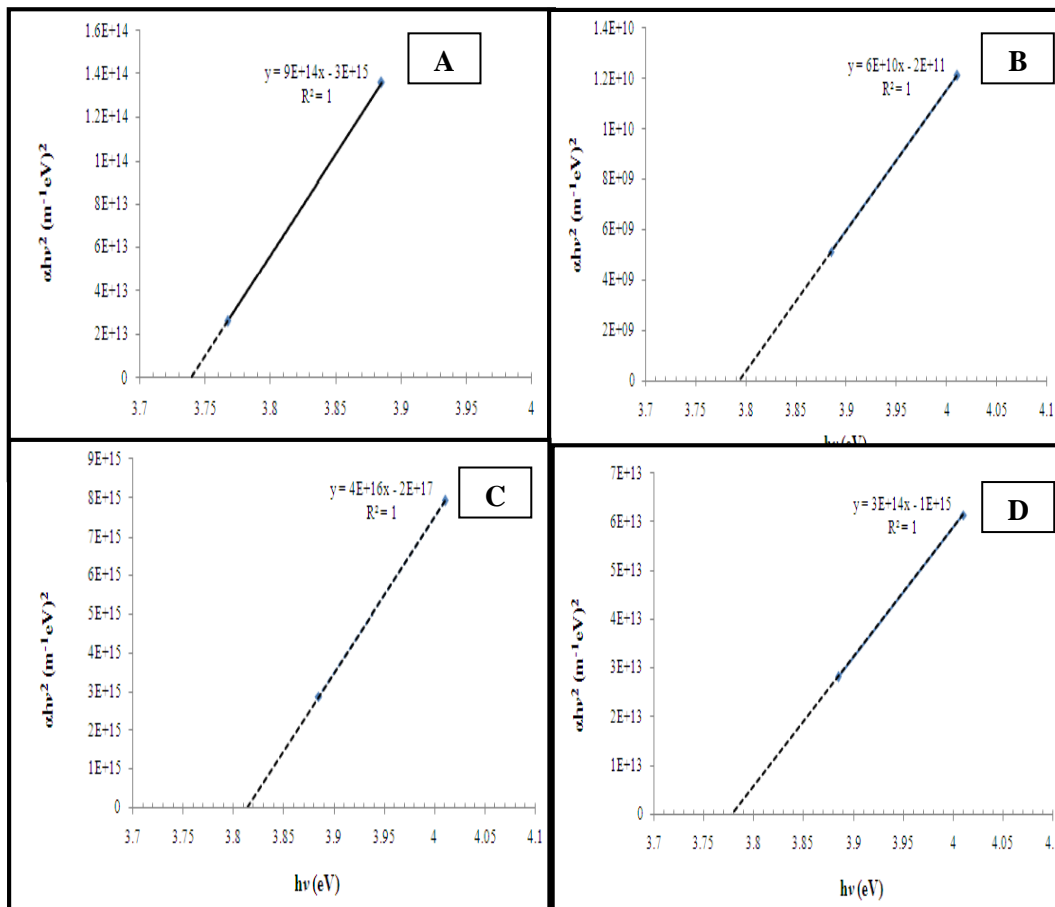
Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai transmitansi yang cukup tajam pada rentang panjang gelombang 300 nm sampai 400 nm yang menunjukkan adanya serapan optis yang cukup tinggi pada panjang gelombang tersebut. Sedangkan pada daerah spektrum cahaya tampak, lapisan tipis TiO<sub>2</sub> cenderung untuk meneruskan semua berkas sinar yang datang kepadanya. Hal ini dapat dibuktikan dengan tingginya nilai transmitansi pada wilayah tersebut. Nilai transmitansi maksimum lapisan TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging* berturut-turut adalah 87,5%, 84%, 93%, dan 97 %. Dari nilai tersebut dapat dilihat bahwa nilai transmitansi terendah terjadi pada TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan waktu *aging* 24 jam. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan waktu *aging* 24 jam memiliki kemampuan absorbansi yang maksimum.



**Gambar 2.** Grafik hubungan transmitansi terhadap panjang gelombang lapisan TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging*

**Perhitungan Energi Gap**

Energi *gap* lapisan TiO<sub>2</sub> ditentukan dengan metode *Tauc Plot* yaitu dengan menarik ekstrapolasi pada daerah linier dari grafik hubungan  $\alpha hv^2$  dan  $hv$  hingga memotong sumbu energi. Hasil ekstrapolasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Kurva  $(\alpha hv)^2$  terhadap  $(hv)$  lapisan tipis TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging* (a) 0 Jam, (b) 24 Jam, (c) 48 Jam, (d) 72 Jam

Tabel 1 Energi *gap* TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging*.

Sampel	Energi <i>Gap</i> (eV)
TiO <sub>2</sub> 500°C 0 jam	3,74
TiO <sub>2</sub> 500°C 24 jam	3,79
TiO <sub>2</sub> 500°C 48 jam	3,81
TiO <sub>2</sub> 500°C 72 jam	3,78

Hasil perhitungan energi *gap* lapisan TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging* menggunakan metode *Tauc Plot* dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa ada kecenderungan kenaikan nilai energi *gap* TiO<sub>2</sub> mulai dari waktu *aging* 0 jam hingga 48 jam. Namun pada saat waktu *aging* 72 jam, energi *gap* TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa pada saat *aging* 48 jam terjadi kondisi yang dinamakan dengan *peak-aged*, dimana pada saat itu lapisan TiO<sub>2</sub> yang telah dideposisikan tersebar secara merata. Kondisi ini berdampak kepada ketebalan lapisan yang dihasilkan sehingga berpengaruh pada tingginya energi *gap* yang dihasilkan. Sedangkan pada saat waktu *aging* 72 jam, lapisan TiO<sub>2</sub> telah memasuki kondisi yang dinamakan dengan *over-aged*. Pada kondisi ini kualitas lapisan TiO<sub>2</sub> sudah mulai mengalami penurunan. Kondisi ini berdampak terhadap ketebalan lapisan yang dihasilkan sehingga menyebabkan terjadinya penurunan energi *gap* TiO<sub>2</sub> pada saat itu.

Berdasarkan Tabel 1 juga dapat dilihat bahwa energi *gap* TiO<sub>2</sub> 500 °C dengan variasi waktu *aging* berada pada rentang 3,74 eV sampai dengan 3,81 eV. Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan energi *gap* yang dimiliki TiO<sub>2</sub> fasa *anatase* yaitu 3,2 eV (Dorian et al., 2012). Besarnya energi *gap* yang dimiliki oleh TiO<sub>2</sub> ini disebabkan oleh adanya kandungan material lain dalam bahan TiO<sub>2</sub> yang menjadikan TiO<sub>2</sub> tersebut tidak murni. Kandungan material tersebut akan menghasilkan energi *gap* sendiri yang akan menyerap energi foton yang bersesuaian dengan celah pita energi yang dimilikinya, sehingga memperlebar spektrum absorpsi TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan (Nurmawati et al., 2009).

#### 4. KESIMPULAN

Sintesis TiO<sub>2</sub> dari prekursor *Titanium butoxide* menggunakan metode *Sol Gel Spin Coating* telah berhasil dilakukan. Hasil karakterisasi optik menggunakan Spektrometer UV-Vis menunjukkan bahwa energi *gap* TiO<sub>2</sub> yang dipanaskan pada suhu 500° C dengan variasi waktu *aging* 0, 24, 48, dan 72 jam berturut-turut adalah 3,74 eV, 3,79 eV, 3,81 eV, dan 3,78 eV. Terdapat kecenderungan kenaikan nilai energi *gap* TiO<sub>2</sub> mulai dari waktu *aging* 0 jam hingga 48 jam. Namun pada saat waktu *aging* 72 jam, energi *gap* TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada saat waktu *aging* 48 jam terjadi kondisi *peak aged* dan pada saat waktu *aging* 72 jam terjadi kondisi *over aged*. Kedua kondisi ini akan berpengaruh terhadap ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan. Sehingga akan berdampak juga terhadap energi *gap* TiO<sub>2</sub>. Selain itu besarnya energi *gap* yang dimiliki oleh TiO<sub>2</sub> ini disebabkan oleh adanya kandungan material lain dalam bahan TiO<sub>2</sub> yang menjadikan TiO<sub>2</sub> tersebut tidak murni.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI melalui DIPA (Daftar isian Pelaksanaan Anggaran) Universitas Andalas No. **DIPA:023.04.2.41506/2013**, atas bantuan pembiayaan pada Penelitian Hibah Program Pascasarjana Unand 2013 ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Abdullah, M., Khairurrijal, 2009, Review: Karakterisasi Nanomaterial, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, ISSN 1979-0880, Vol. 2 No.1
2. Adem, U., 2003, Preparation of  $BaxSr_{1-x}TiO_3$  Thin Films By Chemical Solution Deposition and Their Electrical Characterization, *Thesis*, The Department of Metallurgical & Materials Engineering. The Middle East Technical University.
3. Afrozi, A.S, 2010, Sintesis dan Karakterisasi Katalis Nanokomposit Berbasis Titanium Untuk Produksi Hidrogen Dari Gliserol Dan Air, *Skripsi*, FMIPA, UI, Depok
4. Dorian A.H. Hanaor., Mohammed H.N. Assadi., Sean Li., Aibing Yu., Charles C. Sorrell, 2012, Ab Initio Study of Phase Stability in Doped  $TiO_2$ , *Computational Mechanics* 50,(2) pp 185-194
5. Grätzel, M., 2003, Review Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, Volume 4, hal 145–153.
6. Jiputti, J., Pavasupree S., Suzuki Y., dan Yoshikawa S., 2008, Synthesis of  $TiO_2$  Nanotube and Its Photocatalytic Activity For  $H_2$  Evolution, *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 47, Number 1, hal 751-756.
7. Karabay., S. Aydın Yüksel., F. Ongül., S. Öztürk., M. Asli, 2011, Structural and Optical Characterization of  $TiO_2$  Thin Films Prepared by Sol–Gel Process, *Proceedings of the International Congress on Advances in Applied Physics and Materials Science*, Vol. 121 No.1
8. Kong F.T., Dai S.Y., dan Wang K.J., 2007, *Review of Recent Progress in Dye-Sensitized Solar Cells*, Hindawi Publishing Corporation Advances in OptoElectronics, Article ID 75384.
9. Kusmahetiningasih, N., Dyah Sawitri., 2012, Aplikasi  $TiO_2$  Sebagai Self Cleaning Pada Cat Tembok dengan Dispersant Polietilen Glikol (PEG), *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 1, No. 1, hal 1-5
10. Lazim, H.G., Ajeel, K.I., Hassan., 2013, Syntesis and Characterization of Titanium Dioxide Films and There Application In P3HT/ $TiO_2$  Solar Cells, *Indian Journal of Applied Research*, Vol. 3
11. Lei Zhao., Qing Jiang., Jianshe Lian., 2008, Visible-Light Photocatalytic Activity Of Nitrogen-Doped  $TiO_2$  Thin Film Prepared By Pulsed Laser Deposition, *Applied Surface Science*, 254, PP. 4620-4625.
12. Miah, M.Y, 2001, Preparation of Mesoporous  $TiO_2$  thin films by Surfactan Templating, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 285: 90- 95.
13. Misook, K., Jong, H. L., Sang, H.L., Chan, H. C., 2003, Preparation of  $TiO_2$  Film by The MOCVD Method and Analysis For Decomposition of Trichloroethylene Using In Situ FT-IR Spectroscopy , *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 193 PP 273–283
14. Nurmawarti, I., Abdullah, M, 2009, Distribusi Celah Pita Energi Titania Kotor, *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, ISSN 1979-0880, hal 38-42.
15. Sotter, E., X. Vilanova, E. Liobet, M. Stankova. Correig., 2005, Niobium Doped Titanium Nano powder for gas sensor Applications. *Journal of Optoelectronics and Advanced Material* Vol.7. No.3. PP. 1395-1398.
16. Widodo, S, 2010, Teknologi Sol Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida Untuk Aplikasi Sensor Gas, *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*.
17. Yusrianto, E., Noor Baa'yah Ibrahim., Zahari Ibarahim., 2010, The Effect Of  $TiO_2$  Thin Films on The Sensitivity, Repeatability and Current Density of The Dielectric Bolometer  $Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO_3$  as a Distance Sensor, *Solid State Science and Technology*, Volume 18, Number 2, hal 52 – 60.