Youngster Physics Journal *ISSN : 2303 - 7371*
Vol. 3, No. 3, Juli 2014, Hal 223-230

ANALISIS SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS *BILAYER* ZnO/TiO_2 YANG DIDEPOSISIKAN MENGGUNAKAN METODE *SOL-GEL SPRAY COATING* DAN APLIKASINYA SEBAGAI FOTODEGRADASI ZAT WARNA

Hanum Yuda Aditya, Heri Sutanto
Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
e-mail: hanumaditya@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

ZnO/TiO_2 bilayer thin films have been deposited on a glass substrate by using sol-gel method with spin coating technique. The quality of films deposited on buffer layer is found to be superior to those grown directly on a substrate. The ability of photodegradation of ZnO/TiO_2 was observed through the dye test by various molarities of ZnO solution. ZnO sol was prepared by dissolving zinc acetate dehydrate into a solvent of isopropanol then add monoethanolamine and stirred for 30 min at 70°C. For preparing TiO_2 sol, titanium tetraisopropoxide is first dissolved in a mixture containing isopropanol and ethanol at room temperature. Then after 30 min stirring, the sol was titrated with a mixture of acetic acid, ethanol and deionized water. The process was followed by 60 min at room temperature. ZnO sol as a first layer is first deposited on a glass substrate and then proceed TiO_2 sol on it, for the both deposition was heated at 450°C. The optical properties of ZnO/TiO_2 bilayer thin films was characterized by using spectrophotometer UV-Vis. The results showed that the molarity of the ZnO sol affects the optical properties of ZnO/TiO_2 bilayer thin films. The band gap energy of the ZnO/TiO_2 bilayer thin films with different molarity of ZnO sol respectively 0,1 M, 0,3 M, 0,5 M and 0,7 M has been measured about 3,21 eV, 3,27 eV, 3,32 eV and 3,36 eV. The results of the photodegradation test of the ZnO/TiO_2 bilayer thin films have been able degrade methylene blue up to 99,85%, methyl orange 50,68% and batik's dye 49,87%.

***Keywords**: sol-gel, spray coating, photocatalist, ZnO/TiO_2, band gap energy*

INTISARI

Lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2 telah dideposisikan di atas substrat kaca menggunakan metode *sol*-gel dengan teknik *spray coating*. Kualitas lapisan tipis yang ditumbuhkan pada lapisan penyangga lebih baik daripada lapisan tipis yang ditumbuhkan langsung pada substrat. Kemampuan fotodegradasi ZnO/TiO_2 diamati melalui pengujian terhadap zat warna dengan variasi molaritas larutan ZnO. Pembuatan larutan ZnO dilakukan dengan melarutkan *zinc acetate dehydrate* ke dalam larutan *isopropanol* lalu ditambahkan *monoethanolamine* dan diaduk selama 30 menit dengan suhu 70°C. Pembuatan larutan TiO_2, pertama *titanium tetraisopropoxide* dilarutkan ke dalam campuran berisi *isopropanol* dan etanol pada temperatur ruang. Setelah 30 menit, larutan dititrasi dengan campuran asam asetat, etanol, dan air murni dan diaduk selama 60 menit pada temperatur ruang. Larutan ZnO sebagai lapisan pertama dideposisikan terlebih dahulu di atas substrat kaca kemudian dilanjutkan larutan TiO_2, temperatur deposisi sama sebesar 450°C. Sifat optik lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2 dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengujian menunjukan bahwa molaritas larutan ZnO mempengaruhi sifat optik lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2. Molaritas larutan ZnO sebesar 0,1 M, 0,3 M, 0,5 M dan 0,7 M memiliki nilai celah pita energi yang berbeda dengan masing-masing sebesar 3,21 eV, 3,27 eV, 3,32 eV dan 3,36 eV. Hasil pengujian fotodegradasi, lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2 mampu mendegradasi zat warna *methylene blue* hingga 99,85%, *methyl orange* 50,68% dan pewarna batik 49,87%.

Kata kunci: *sol-gel*, *spray coating*, fotokatalis, ZnO/TiO_2, celah pita energi

PENDAHULUAN

Perkembangan industri semakin pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi global. Perkembangan industri yang tinggi ini telah memakan begitu banyak lingkungan tanah yang seharusnya digunakan sebagai daerah resapan air. Di sisi lain, perkembangan industri juga menyebabkan pencemaran lingkungan, khususnya lingkungan air.

Limbah industri memiliki dampak langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan disekitarnya. Pewarna tekstil merupakan salah satu limbah industri yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Pewarna sintetis yang banyak digunakan adalah yang mengandung kromofor azo, antara lain: *methyl orang*e dan *methylene blue*. Pewarna ini merupakan kelas terbesar dari pewarna sintesis yang bersifat *non biodegradable*. Senyawa azo memiliki struktur umum R─N═N─R', dengan R dan R' adalah rantai organik yang sama atau berbeda. Senyawa ini memiliki gugus ─N═N─ yang dinamakan struktur azo. Senyawa azo dapat berupa senyawa aromatik atau alifatik. Senyawa azo aromatik bersifat stabil dan mempunyai warna menyala [1].

Banyak penelitian difokuskan pada fotokatalitik untuk degradasi polutan air organik dengan material semikonduktor. Berbagai oksida semikonduktor, TiO_2 dan ZnO secara teknologi adalah dua jenis material penting karena memiliki sifat elektronik, kimia dan optik yang sangat baik. TiO_2 yang digabung dengan ZnO dapat meningkatkan efektifitas fotokatalis karena efek dari penggabungan sifat fotokatalisnya. Oleh karena itu, menggabungkan dua bahan-bahan tersebut ke dalam struktur terintegrasi bisa meningkatkan fungsi kerja dari sebuah material fotokatalis [2]. Proses pembuatannya adalah dengan cara melapisi larutan oksida semikonduktor pada substrat padatan. Alasan penggunaan lapisan daripada penggunaan berupa serbuk, antara lain: lapisan oksida semikonduktor tidak mudah lepas jika tergores, tidak mudah terpengaruh oleh perubahan suhu, dan bersifat stabil terhadap pengaruh kimiawi bahan. Hal ini memungkinkan penggunaannya secara terus menerus dan tidak mencemari kandungan larutan yang menjadi obyek degradasi.

Dalam penelitian ini, dibahas tentang pengaruh pelapisan material TiO_2 di atas lapisan ZnO menggunakan metode *sol-gel spray coating*. Deposisi lapisan tipis ZnO menggunakan variasi molaritas sebesar 0,1 M, 0,3 M, 0,5 M, dan 0,7 M kemudian lapisan tipis ZnO yang telah jadi dideposisikan lagi dengan TiO_2 di atasnya sebagai lapisan kedua, molaritas TiO_2 dibuat tetap sebesar 0,5 M. Hasil dari lapisan tipis ini akan dibandingkan dengan lapisan ZnO tanpa TiO_2.

LANDASAN TEORI

Semikonduktor dan Fotokatalis

Semikonduktor adalah sebuah bahan dengan *energy gap* yang berada di antara insulator dan konduktor (Eg = ±1-5,6 eV) dan memiliki nilai hambatan jenis (ρ) antara konduktor dan isolator yakni sebesar 10^{-6} s.d. 10^{4} (ohm.m). Fotokatalis dapat didefinisikan sebagai suatu proses kombinasi antara fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses transformasi kimiawi yang melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi tersebut.

Proses di dalam fotokatalis adalah jika partikel semikonduktor berada di dalam cairan maupun gas dan dikenai cahaya UV baik yang berasal dari cahaya matahari maupun lampu UV, maka akan menghasilkan pasangan elektron dan lubang (*hole*). Pasangan elektron dan lubang (*hole*) ini akan berdifusi ke permukaan partikel semikonduktor tersebut dan menyebabkan proses oksidasi dan reduksi polutan yang terdapat di dalam medium. Elektron bebas (e^-) dan hole (h^+) berperan dalam proses pembentukan ion radikal bebas yang digunakan untuk mendegradasi ikatan

kimia zat warna organik. Persamaan persentase degradasi ditunjukkan oleh persamaan (1)

$$\% \text{ degradasi} = (C_o - C_t)/C_o \times 100\% \quad (1)$$

dengan C_o adalah konsentrasi awal, C_t adalah konsentrasi akhir [3].

Celah Pita Energi

Absorpsi optik dapat digunakan untuk menentukan nilai terbaik dari celah pita energi (*band gap*). Berdasarkan absorpsi optik, celah pita energi suatu kristal dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu celah pita langsung dan celah pita tidak langsung. Celah pita energi lapisan tipis diperoleh melalui pengeplotan data absorbansi menggunakan persamaan transisi langsung (*direct bandgap*) seperti ditunjukkan oleh persamaan (2)

$$\alpha h\vartheta = \mathrm{K}(h\vartheta - E_g)^{1/2} \quad (2)$$

dengan α adalah koefisien absorbsi, $h\vartheta$ adalah energi foton (eV), celah pita energi (eV) dan K adalah konstanta [4].

Seng Oksida (ZnO)

Zinc oxide (ZnO) merupakan fotokatalis dengan stabilitas termal dan kimia yang sangat baik pada temperatur kamar [5]. ZnO merupakan bahan semikonduktor tipe-n dengan celah pita sebesar 3,37 eV dan energi ikat sebesar 60 meV [6]. ZnO adalah bahan oksidasi yang baik digunakan sebagai fotokatalis. ZnO telah banyak digunakan untuk menangani berbagai limbah seperti limbah farmasi, limbah percetakan, air limbah pembuatan kertas [7] dan sebagainya.

Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioxide (TiO_2) merupakan bahan semikonduktor yang sensitif terhadap cahaya tampak dan memiliki transmitansi optik yang sangat baik [6]. TiO_2 telah banyak dipelajari dan digunakan dalam banyak aplikasi karena kemampuan oksidasinya yang tinggi untuk de-komposisi polutan organik, superhidrofilitas, stabilitas kimia, ketahanan yang tinggi, tidak beracun, murah, dan aktif sampai rentang cahaya tampak [8].

Lapisan Tipis *Bilayer* ZnO/TiO_2

Material TiO_2 murni masih memiliki resistensi yang tinggi, di sisi lain masih ada kendala dalam pemakaian material ZnO sebagai fotokatalis, yaitu rekombinasi pembawa muatan terjadi dalam skala nano detik. Berbagai macam sistem, termasuk sistem penggabungan ZnO/semikonduktor, penggabungan dua atau lebih material semikonduktor dengan tingkat energi yang tepat - termasuk lapisan ZnO berbasis multi-layer dapat menjadi solusi. Lapisan tipis multi-layer menunjukkan sifat fisik yang berbeda dengan lapisan tipis monolayer konvensional. Kualitas lapisan tipis yang ditumbuhkan pada lapisan penyangga tampak lebih baik daripada lapisan tipis yang ditumbuhkan langsung pada substrat [9].

Lapisan tipis ZnO dan TiO_2, keduanya memiliki celah pita yang lebar, indeks refraktif tinggi, stabilitas tinggi dan katalis yang baik di mana keduanya cocok dipasangkan untuk dibentuk menjadi struktur multi-layer. Di satu sisi, TiO_2 akan menjadi lapisan penyangga antara ZnO dan substrat Si. Ketidak-sebandingan kisi dan termal dapat terjadi dan kualitas dari lapisan ZnO akan meningkat karena TiO_2 dapat mencegah atom permukaan silikon dari rampasan atom oksigen pada lapisan ZnO. Lebih jauh lagi, penumbuhan lapisan tipis ZnO di atas TiO_2 dapat meningkatkan keadaan permukaan dan mobilitas atom permukaan [6].

Metode *Sol-Gel Spray Coating*

Metode *sol-gel* didefinisikan sebagai proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah di mana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspense koloid (*sol*) membentuk fasa cair kontinyu (*gel*).

Metode *spray coating* merupakan proses dimana material pelapis sebagai partikel individu didorong dengan aliran gas bertekanan ke suatu permukaan (substrat). Partikel tersebut menabrak substrat, menempel, dan membentuk permukaan tipis yang sesuai [10].

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui 4 tahap, yaitu: proses pembuatan larutan ZnO dan TiO_2 dengan metode *sol-gel*, proses pelapisan (deposisi) *bilayer* ZnO/TiO_2 di atas substrat kaca dengan metode *spray coating*, karakterisasi lapisan ZnO/TiO_2 menggunakan spektrofotometer UV-Vis, serta pengujian fotodegradasi zat warna *methylene blue*, *methyl orange*, dan limbah pewarna batik menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

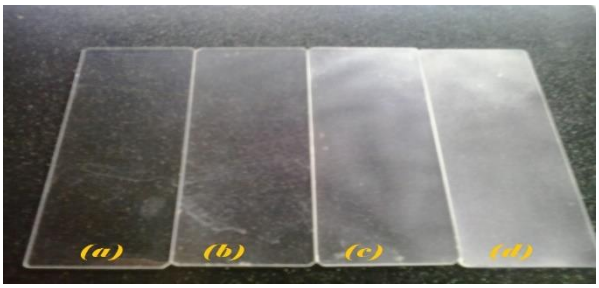
Proses pembuatan larutan ZnO dan TiO_2 dilakukan dengan menggunakan metode *sol-gel*. Molaritas larutan ZnO yang dibuat sebanyak empat variasi, yaitu: 0,1 M, 0,3 M, 0,5 M, dan 0,7 M serta TiO_2 0,5 M. Pembuatan larutan ZnO dilakukan dengan melarutkan *zinc acetate dehydrate* (Strem Chemical, 99,998%) ke dalam larutan *isopropanol* (Merck, 99,8%) lalu ditambahkan *monoethanolamine* (Merck, 99,8%)dan diaduk selama 30 menit dengan suhu 70^oC sampai larutan (prekursor) homogen. Pembuatan larutan TiO_2, pertama *titanium tetraisopropoxide* (Aldrich, 97%) dilarutkan ke dalam campuran berisi *isopropanol* dan etanol pada temperatur ruang. Setelah 30 menit, larutan dititrasi dengan campuran asam asetat, etanol, dan air murni dan diaduk selama 60 menit pada temperatur ruang. Proses pelapisan ZnO/TiO_2 di atas substrat kaca menggunakan teknik *spray coating*. Sebelum proses deposisi, substrat kaca dibersihkan terlebih dahulu sesuai standar RCA (*Radio Corporation of America*) untuk menghilangkan kotoran organik.

Substrat kaca yang telah dibersihkan diletakkan di atas *hot plate* pada temperatur 450 ^oC selama 10 menit kemudian larutan ZnO disemprot di atas substrat kaca dilanjutkan pelapisan kedua untuk larutan TiO_2 sebesar 0,5 M di atas lapisan ZnO secara merata. Setelah proses deposisi selesai, lapisan didiamkan selama 30 menit sebelum diangkat dari *hot plate* untuk memberikan waktu agar atom-atom kristal terbentuk secara merata di permukaan substrat kaca.

Lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 dan hasil fotodegradasi zat warna dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Mini 1240SA (Shimadzu) dengan rentang panjang gelombang sinar ultraviolet sampai cahaya tampak (200-800 nm). Perhitungan persentase nilai degradasi zat warna ditentukan melalui nilai absorbsi zat warna setelah dilakukan uji degradasi. Nilai degradasi yang tinggi menandakan bahwa lapisan bilayer ZnO/TiO_2 memiliki kemampuan fotokatalis yang tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses deposisi dilakukan dengan variasi konsentrasi larutan ZnO sebesar 0,1 M, 0,3 M, 0,5 M dan 0,7 M dengan konsentrasi larutan TiO_2 tetap sebesar 0,5 M.

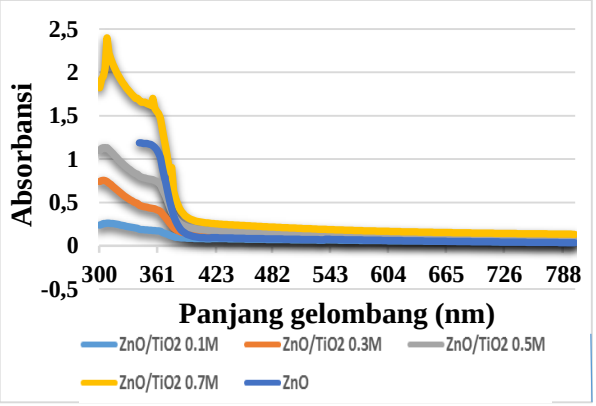


Gambar 1 Lapisan tipis bilayer ZnO/TiO_2 yang ditumbuhkan di atas substrat kaca dengan variasi molaritas ZnO (a) 0,1 M (b) 0,3 M (c) 0,5 M (d) 0,7 M

Hasil substrat kaca yang terlapisi lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2 menunjukkan bahwa semakin besar molaritas/ konsentrasi larutan ZnO maka lapisan terlihat semakin tebal (tidak transparan), sehingga nilai transmitansi lapisan akan semakin kecil. Hal ini disebabkan karena semakin tebal lapisan tipis yang ditumbuhkan di atas substrat kaca maka atom penyusunnya

akan semakin banyak yang terbentuk mengakibatkan tumbukan partikel cahaya (foton) dengan atom-atom tersebut menjadi lebih sering sehingga semakin sulit bagi berkas cahaya untuk melewatinya. Ketebalan lapisan memberikan pengaruh terhadap beberapa sifat optik material, antara lain: absorbansi, transmitansi dan konstanta peredaman. Semakin tebal (tidak transparan) lapisan yang terbentuk, akan menyebabkan nilai absorbansi dan nilai konstanta peredaman semakin besar dan nilai transmitansi semakin kecil [11]

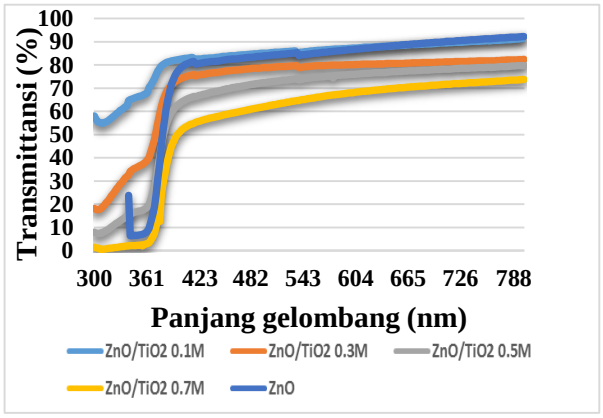
Pengujian karakteristik sifat optik lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 dilakukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis 1240 SA dalam rentang panjang gelombang antara 200 nm hingga 800 nm. Data yang diperoleh dari pengujian ini adalah data nilai transmitansi dan absorbansi.



Gambar 2 Spektrum absorbsi UV-Vis lapisan tipis bilayer ZnO/TiO_2 dengan variasi konsentrasi ZnO

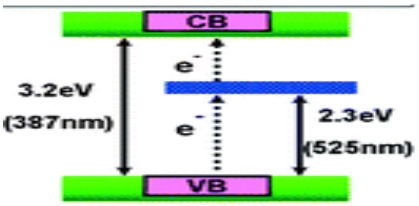
Nilai absorbansi untuk semua sampel menurun untuk panjang gelombang yang lebih tinggi. Semakin tebal lapisan maka nilai absorbansi akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan banyaknya atom-atom bahan yang terlibat dalam proses penyerapan berkas cahaya. Sehingga, nilai absorbansi pada panjang gelombang yang sama akan lebih tinggi untuk konsentrasi yang tinggi.

Secara umum, hasil pengujian sifat optik lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan transmitansi pada rentang panjang gelombang 380-400 nm. Rata-rata nilai transmitansi ZnO/TiO_2 lebih rendah jika dibandingkan dengan ZnO. Hal ini diduga karena pelapisan yang dilakukan dua kali untuk membentuk lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2, sehingga lapisan permukaan lebih tebal jika dibandingkan lapisan ZnO yang hanya sekali pelapisan. Suatu substrat tidak akan memiliki nilai transmitansi 100% karena menandakan bahwa substrat tersebut tidak terlapisi.



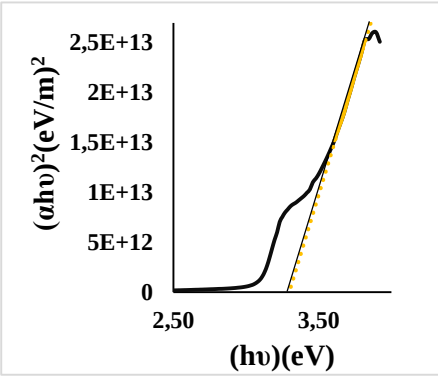
Gambar 3 Transmitansi UV-Vis lapisan tipis bilayer ZnO/TiO_2 dengan variasi konsentrasi ZnO

Gambar 3 menunjukkan adanya perubahan transmitansi yang cukup tajam pada rentang panjang gelombang 360-380 nm yang merupakan nilai daerah panjang gelombang *ultraviolet*.



Gambar 4 Peristiwa *trapping electron*

Gambar 4 terlihat bahwa pada panjang gelombang sekitar 400 nm dan 540 nm terbentuk semacam *pick*. Hal tersebut muncul diakibatkan oleh sebab-sebab tertentu, salah satunya karena terjadi *trapping electron*. *Trapping electron* adalah peristiwa terjebaknya electron pada daerah antara pita valensi dan pita konduksi [12].



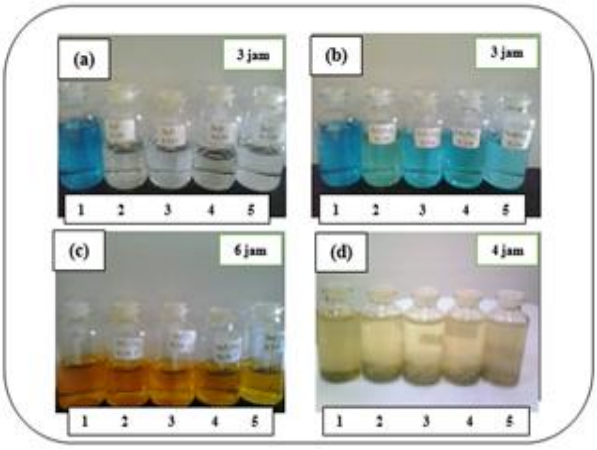
Gambar 5 Plot $(\alpha h\upsilon)^2$ vs hυ lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2

Penentuan celah pita energi suatu bahan semikonduktor perlu diketahui untuk memberikan analisis mengenai sifat optik yag berkaitan dengan nilai koefisien absorbsi terhadap frekuensi foton. Perhitungan celah pita energi pada transisi lansung ditentukan menggunakan persamaan (1) dengan memplotkan $(\alpha h\upsilon)^2$ vs hυ dan mengekstrapolasi bagian linier dari kurva ke sumbu x (*the energi axis)* pada nilai absorbsi nol (α=0).

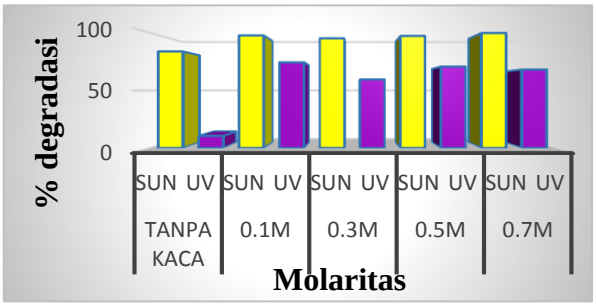
Tabel 1 Nilai celah pita energi

Konsentrasi ZnO (M)	Eg (eV)
0,1	3,21
0,3	3.27
0,5	3,32
0,7	3,36

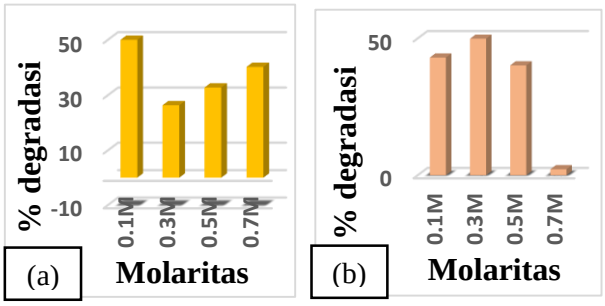
Celah pita energi merupakan daerah terlarang untuk ditempati elektron yang terletak di antara pita valensi dan pita konduksi. Besar kecilnya nilai pita celah energi mempengaruhi sifat optik material semikonduktor karena berkaitan dengan energi foton untuk mengeksitasi elektron. Ada beberapa hal yang mempengaruhi nilai celah pita energi, antara lain: parameter preparasi, metode preparasi dan perlakuan *annealing* [13].



Gambar 6 Hasil pengujian fotodegradasi (a) *methylene blue* penyinaran di bawah sinar matahari, (b) *methylene blue* penyinaran di bawah lampu UV, (c) *methyl orange* penyinaran di bawah lampu UV, (d) pewarna batik penyinaran di bawah sinar matahari



Gambar 7 Tingkat kecepatan fotodegradasi lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 terhadap zat warna *methylene blue*



Gambar 8 Tingkat degradasi lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 (a) zat warna *methyl orange* dan (b) pewarna batik

Penyinaran di bawah sinar matahari lebih efektif dalam proses fotodegradasi zat warna. Hal ini karena sinar matahari memiliki intensitas tinggi dan panjang gelombang yang bermacam-macam (polikromatik). Berbeda

dengan lampu UV yang hanya memiliki rentang panjang gelombang di daerah *ultraviolet* (~250-400 nm).

Dalam penelitian ini menunjukan bahwa lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 (ZnO 0,1 M) memiliki tingkat degradasi paling tinggi sebesar 50,68% untuk degradasi *methyl orange* dan 74,41% untuk degradasi *methylene blue*. Posisi tingkat degradasi yang tinggi ini diperoleh dari penyinaran dengan lampu *ultraviolet*. Hal ini menunjukan bahwa lapisan *bilayer* ZnO/TiO2 dengan konsentrasi ZnO 0,1 M bekerja sangat baik di rentang panjang gelombang *ultraviolet*. Terdapat tiga hal yang dapat disimpulkan dari lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 ini, yaitu: 1) konsentrasi ZnO yang tinggi tidak menjamin kemampuan fotodegradasi material fotokatalis juga tinggi, 2) molaritas ZnO 0,1 M pada lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 memiliki serapan energi yang efektif dan efisien dalam rentang panjang gelombang *ultraviolet*, 3) proses fotodegradasi lebih efektif jika dilakukan di bawah sinar matahari.

KESIMPULAN

Lapisan tipis *bilayer* ZnO/TiO_2 telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat kaca dengan metode *sol-gel spray coating*, dengan variasi molaritas larutan ZnO 0,1 M, 0,3 M, 0,5 M dan 0,7 M. Dengan molaritas TiO_2 yang tetap sebesar 0,5 M, semakin besar molaritas larutan ZnO maka nilai absorbansi semakin meningkat dan nilai transmitansi menurun dengan nilai celah pita energi menunjukan peningkatan. Pengujian fotodegradasi memperlihatkan bahwa lapisan *bilayer* ZnO/TiO_2 mampu mendegradasi *methylene blue* sebesar 99,85%, *methyl orange* 50,86% dan pewarna batik 47,87%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Christina, Mu'nisatun, Saptaaji, R., Darjanto, D., 2007, *Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 Kev/10 Ma*, Jfn, vol. 1 no. 1.

[2] Deng, J., Yu Bo, Lou, Z., Wang, L., Wang, R., Zhang, T., 2013, *Facile Synthesis and Enhanced Ethanol Sensing Properties of The Brush-Like ZnO–TiO_2 Heterojunctions Nanofibers*, Sensors and Actuators B vol. 184 hal. 21– 26.

[3] Amornpitoksuk, P., Suwanboon, S., Sangkanu, S., Sukhoom, A., Muensit, N., Baltrusaitis, J., 2012, *Synthesis, Characterization, Photocatalytic and Antibacterial Activities of Ag-Doped ZnO Powders Modified with A Diblock Copolymer*, vol. 219 hal. 158-164.

[4] Abdullah, M., Virgus, Y., Nirmin, Khairurrijal, 2008, *Review: Sintesis Nanomaterial*, Jurnal Nanosains & Nanoteknologi vol. 1 no. 2.

[5] Duan, L., Lin, B., Zhang, W., Zhong.S., Fu, Z., 2006, *Enhancement of Ultraviolet Emissions from ZnO Films by Ag Doping*, vol. 88.

[6] Gu, Y.Z., dkk, 2013, *Optical and Microstructural Properties of ZnO/TiO_2 Nanolaminates Prepared by Atomic Layer Deposition*, Nanoscale Research Letters 8:107.

[7] Meng, Z., Juan, Z., 2008, *Wastewater Treatment by Photocatalytic Oxidation of Nano-ZnO*, vol. 12 hal. 1-9.

[8] Nakata, K. dan Fujishimaa, A., 2012, *TiO2 photocatalysis: Design and Applications*, Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews vol. 13 hal. 169– 189.

[9] Talebian, N., Nilforoushan, Salehi Z., 2012, *Effect of Heterojunction on Photocatalytic Properties of*

Multilayered ZnO-Based Thin Films, Ceramics International vol. 38 hal. 4623–4630.

[10] Prawara, B., 2006, *Rancang Bangun Thermal Spray Coating dengan Menggunakan Sistem Hight Velocity Oxygen Fuel,* Kegiatan: 4977.0127: Rekayasa Peralatan.

[11] Maddu, A., dkk, 2010, *Pengaruh Ketebalan terhadap Sifat Optik Lapisan Semikonduktor Cu_2O yang Dideposisikan dengan Metode Chemical Bath Deposition*, Pusat Penelitian Fisika – LIP, Departemen Fisika – FMIPA, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Indonesia.

[12] Macdonald, I.R., dkk, 2012, *EPR Studies of Electron and Hole Trapping in Titania Photocatalysts*, Catalysis Today vol. 182 hal. 39–45.

[13] Xu, L., Zheng, G., Wu, H., Wang, J., Gu, F., Su, J., Xian, F., dan Liu, Z., 2013, *Strong Ultraviolet and Violet Emissions from ZnO/TiO_2 Multilayer Thin Films*, Optical Materials vol. 35 hal. 1582–1586.