



## AKTIVITAS FOTOKATALIS $\text{TiO}_2$ DAN $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ YANG DIDEPOSISIKAN DIATAS SUBTRAT KACA MENGUNAKAN METODE *SOL-GEL SPRAY COATING*

Wilda Amananti<sup>✉</sup>, Heri Susanto

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*  
Diterima Juli 2016  
Disetujui Agustus 2016  
Dipublikasikan Oktober 2016

*Kata Kunci:*  
Fotokatalis, energy ikat,  
gap  $\text{TiO}_2$ , ZnO

*Keywords:*  
photocatalyst, energy band  
gap  $\text{TiO}_2$ , ZnO

### Abstrak

Pada penelitian ini telah dipelajari penggunaan ZnO pada  $\text{TiO}_2$  untuk memperbaiki kemampuan fotokatalis  $\text{TiO}_2$  terhadap degradasi *Methylene blue*. Larutan prekursor  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dideposisikan menggunakan metode sol-gel Teknik *Spray Coating*. Zinc acetate dehydrate ( $\text{Zn}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dilarutkan ke dalam pelarut isopropanol ( $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ ) kemudian ditambahkan monoethanolamine (MEA:  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ). Larutan diaduk pada temperatur  $70^\circ\text{C}$  hingga didapatkan larutan yang jernih dan homogen. Titanium Tetraisopropoxide (TTIP) 0,73 ml dilarutkan ke dalam 4,27 ml isopropanol dan 20 ml etanol. Setelah itu larutan dititrasikan dengan 5 ml etanol, 3,4 ml acetic acid, dan 0,26 ml  $\text{H}_2\text{O}$ , kemudian diaduk di atas hot plate stirrer pada temperature ruang ( $25^\circ\text{C}$ ). Selanjutnya gel prekursor  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  disemprotkan pada substrat kaca yang dipanaskan pada temperatur  $450^\circ\text{C}$ , pengujian sifat optik lapisan tipis dilakukan menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis. Aktivitas fotokatalis diuji pada degradasi *Methylene blue*. Penggabungan  $\text{TiO}_2$  dengan ZnO ( $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ ) yang ditumbuhkan langsung di atas kaca menghasilkan celah pita energi yang lebih kecil dari pada  $\text{TiO}_2$  dan meningkatkan kemampuan fotokatalis dari lapisan tipis. Lapisan tipis  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  memiliki kemampuan fotokatalis yang lebih baik daripada lapisan tipis  $\text{TiO}_2$ .

### Abstract

In this research has studied the use of ZnO on  $\text{TiO}_2$  to improve the ability of  $\text{TiO}_2$  photocatalyst to the degradation of Methylene blue. The precursor solutions  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2 / \text{ZnO}$  deposited using sol-gel method Spray Coating Technique. Zinc acetate dehydrate ( $\text{Zn}(\text{COOCH}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dissolved into the solvent isopropanol ( $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ ) was then added monoethanolamine (MEA:  $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ). The solution was stirred at  $70^\circ\text{C}$  and came up with a solution that is clear and homogeneous. Titanium Tetraisopropoxide (TTIP) 0,73 ml dissolved in 4.27 ml of isopropanol and 20 ml of ethanol. After the solution was titrated with 5 ml of ethanol, 3.4 ml of acetic acid, and 0.26 ml  $\text{H}_2\text{O}$ , then stirred on a hot plate stirrer at room temperature ( $25^\circ\text{C}$ ). Furthermore, the gel precursor of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  sprayed on glass substrate is heated at a temperature of  $450^\circ\text{C}$ , testing the optical properties of a thin layer made using a Spectrophotometer UV-Vis. Activities photocatalysts tested on the degradation of Methylene blue. the incorporation of  $\text{TiO}_2$  with ZnO ( $\text{TiO}_2 / \text{ZnO}$ ) is grown directly on the glass generates energy band gap smaller than the photocatalytic  $\text{TiO}_2$  and improve the ability of thin layers. A thin layer of  $\text{TiO}_2 / \text{ZnO}$  has the ability photocatalyst better than a thin layer of  $\text{TiO}_2$ .

© 2016 Universitas Pancasakti Tegal

<sup>✉</sup>Alamat korespondensi:  
Prodi D3 Farmasi  
Politeknik Harapan Bersama  
Jl. Mataram No 9 Kota Tegal 52142, Indonesia  
Telp. (0283) 352000  
E-mail: amananti\_wilda@yahoo.com

ISSN 2528-6714

## PENDAHULUAN

Limbah industri yang berupa cairan merupakan masalah utama dalam lingkungan industri tekstil yang memberikan pengaruh paling luas, karena karakteristik fisik maupun karakteristik kimia limbah ini dapat memberikan dampak negatif terhadap perairan 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 orange* 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 (Christina dkk, 2008).

Zat warna *methylene blue* dengan rumus kimia  $C_{16}H_{18}ClN_3S$  adalah senyawa hidrokarbon aromatik yang beracun dan merupakan *dye* kationik dengan daya adsorpsi yang sangat kuat. *Methyl orange* dan *methylene blue* bersifat karsinogenik dan mutagenik, sehingga perlu alternatif yang efektif untuk mendegradasi senyawa tersebut.

Beberapa teknologi alternatif yang digunakan untuk mengolah limbah cair yang mengandung zat pewarna yang ada dalam limbah cair industri tekstil, misalnya dengan teknik koagulasi, flokulasi, adsorpsi dengan karbon aktif. Penghilangan warna dengan proses koagulasi, flokulasi, adsorpsi dengan karbon aktif sifatnya hanya memindahkan zat warna dari fase cair ke dalam fase padat, bukan menguraikan senyawa-senyawa kompleks pembentukan warna. Partikel-partikel warna yang menggumpal bersama bahan perlu diproses lebih lanjut sehingga tidak menimbulkan pencemaran lanjutan atau limbah baru.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian difokuskan pada fotokatalitik untuk degradasi polutan air organik menggunakan material semikonduktor. Degradasi polutan air organik menggunakan material fotokatalis di bawah iradiasi sinar matahari adalah solusi cerdas untuk masalah lingkungan. Tantangan terbesar adalah menemukan material fotokatalis yang efisien yang bekerja dibawah

spektrum yang luas dari iradiasi sinar matahari. Diantara berbagai oksida semikonduktor,  $TiO_2$  dan  $ZnO$  secara teknologi adalah dua jenis material penting karena memiliki sifat elektronik, kimia dan optik yang sangat baik. 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.

$TiO_2$  dikenal sebagai material yang baik untuk degradasi polutan lingkungan karena aktivitas fotokatalitiknya tinggi, tidak beracun dan stabil dalam larutan air serta biaya yang relatif rendah (Tian, dkk., 2009; Firdaus, dkk., 2012).  $TiO_2$  dalam bentuk lapisan tipis lebih menguntungkan dari pada  $TiO_2$  dalam bentuk serbuk karena lebih mudah dalam penyimpanan dan aplikasinya dalam berbagai tempat, karena lapisan tahan gores dan tidak bisa larut dalam air maupun gas.  $TiO_2$  dalam bentuk serbuk dirasa tidak efisien karena serbuk  $TiO_2$  sulit dilakukan pemisahan dari larutan zat yang didegradasi, sehingga dapat menimbulkan limbah baru. Senada dengan penelitian sebelumnya yaitu upaya penghapusan pewarna sintetis *Direct Fast Blue B2RL* melalui teknik adsorpsi menggunakan serbuk material titanium dioksida Degussa P25 yang hasilnya kurang efisien dalam aplikasi fotokatalis (Mekki, dkk., 2013).

Penggunaan material  $TiO_2$  dalam bentuk lapisan tipis juga masih ditemukan kendala-kendala dalam aplikasinya untuk fotokatalis yaitu terjadinya reaksi rekombinasi yang sangat cepat, sehingga proses fotodegradasi yang terjadi di permukaan fotokatalis  $TiO_2$  tidak dapat berkerja secara maksimal (Diebold, 2003).

Laju rekombinasi  $TiO_2$  dapat diturunkan melalui perpaduan antara  $TiO_2$  dengan suatu oksida lain sebagai suatu komposit. Salah satu oksida yang banyak digunakan sebagai komposit adalah  $ZnO$  karena penyerapan optik di daerah ultraviolet dengan celah pita energi hampir sama dengan  $TiO_2$  (Tian, dkk., 2009). Senada dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya yaitu dengan perpaduan  $TiO_2$  dan  $ZnO$  dalam

bentuk lapisan tipis menunjukkan aktivitas fotokatalis yang tinggi dalam mendegradasi larutan paraquat dan malathion (Ali dan Hassan, 2008). Rekombinasi dapat dikurangi dengan mendesain suatu sistem fotokatalitismelalui penggabungan semikonduktor, sehinggameningkatkan aktivitas fotokatalis yang lebih dari masing-masing semikonduktor yang dipadukan (Ortega, dkk., 2014).

Telah banyak metode yang digunakan deposisi lapisan tipis ZnO, antara lain: *sol-gel*, *sputtering*, *ultrasonic spray pyrolysis*, *laser-assisted pyrolysis*, *co-precipitation method*, dan *hydrothermal crystallisation*. Dari sejumlah metode sintesis ZnO nanopartikel, metode *sol-gel* merupakan salah satu metode yang dikenal luas. Metode ini relatif sederhana dan menghasilkan koloid ZnO dengan ukuran partikel sekitar 3 nm dalam waktu beberapa jam (Abdullah dkk, 2008).

Berangkat dari permasalahan yang ada dan penelitian terdahulu, maka dalam penelitian ini dilakukan pembuatan lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> / ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca melalui metode *sol-gel* dengan teknik *spray coating*, serta mengkaji pula perbedaan sifat optis pada lapisan TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca.

## METODE

Penelitian dilakukan melalui 3 tahap, yaitu proses pembuatan larutan prekursor TiO<sub>2</sub> dan ZnO dengan metode *sol-gel*, proses deposisi larutan prekursor TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/ZnO diatas substrat kaca dengan metode *spray coating*. Lapisan tipis tersebut dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

### Proses Pembuatan Prekursor TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO

Proses pembuatan larutan prekursor TiO<sub>2</sub> dan ZnO dilakukan menggunakan metode *sol-gel*. Larutan prekursor ZnO dibuat dengan cara melarutkan *Zinc acetate dehydrate* (Zn(COOCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) kedalam *isopropanol* ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CHOH) lalu diaduk dengan *magnetic stirrer* pada temperatur 70° C kemudian ditambahkan *monoethanolamine* (MEA: HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>) dengan cara titrasi. Larutan prekursor diaduk selama 30 menit hingga didapatkan larutan prekursor yang jernih dan homogen. Larutan prekursor ZnO yang diperoleh sebesar 0,5M. *Titanium Tetraisopropoxide* (TTIP) 0,73 ml dilarutkan ke dalam 4,27 ml *isopropanol* dan 20 ml etanol kemudian diaduk selama 30 menit. Setelah itu larutan dititrasi dengan 5 ml etanol, 3,4 ml

*acetic acid*, dan 0,26 ml H<sub>2</sub>O, kemudian diaduk di atas *hot plate stirrer* pada temperature ruang (25 °C) selama 60 menit sampai larutan (prekursor) homogen, sehingga dihasilkan larutan prekursor TiO<sub>2</sub> berwarna bening dengan molaritas 0,5M.

### Proses Deposisi Larutan Prekursor TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO di atas Subtrat Kaca

Proses pelapisan prekursor TiO<sub>2</sub> diatas subtrat kaca, menggunakan teknik *spray coating*. Pertama substrat kaca yang telah dibersihkan diletakkan di atas *hot plate* pada temperatur 450 °C selama 60 menit, sementara itu larutan prekursor TiO<sub>2</sub> dimasukkan ke dalam alat *spray gun*. Prekursor TiO<sub>2</sub> disemprotkan secara merata diatas subtrat kaca. Pendiaman selama 30 menit kemudian suhu diturunkan secara perlahan.

Pendeposisian yang kedua yaitu pendeposisian prekursor TiO<sub>2</sub>/ZnO di atas substrat kaca. Hal yang pertama dilakukan adalah dengan mendeposisikan larutan prekursor ZnO di atas substrat kaca pada suhu 400°C. Setelah proses deposisi selesai, lapisan didiamkan selama 120 menit. Setelah lapisan ZnO didiamkan selama 120 menit, suhu dinaikan menjadi 450°C agar atom-atom kristal terbentuk secara merata di permukaan substrat kaca, kemudian dilakukan pelapisan kedua untuk prekursor TiO<sub>2</sub>. Prekursor TiO<sub>2</sub> disemprotkan di atas lapisan ZnO secara merata. Setelah proses deposisi selesai, lapisan didiamkan selama 30 menit dalam suhu 450°C. setelah 30 menit suhu di turunkan secara perlahan.

### Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas Subtrat Kaca

Pengujian sifat optik lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO di atas substrat kaca dilakukan dengan menggunakan alat Spektrofotometer UV-Vis untuk memperoleh nilai transmitansi pada rentang panjang gelombang sinar UV sampai sinar *near infra red* (NIR) yaitu antara 200-800 nm.

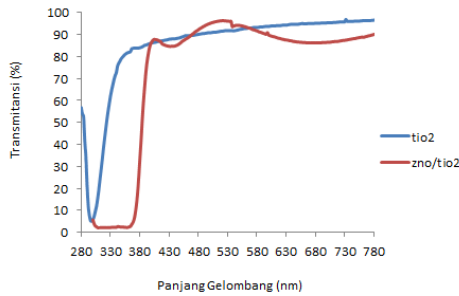
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO telah berhasil dideposisikan di atas substrat kaca menggunakan teknik *spray coating*. Karakterisasi lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca meliputi analisis sifat optik menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

**Karakteristik Sifat Optik Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO di atas substrat kaca**

Karakteristik sifat optik lapisan TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca 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 nilai transmitansi yang selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai celah pita energi dari masing-masing sampel lapisan.

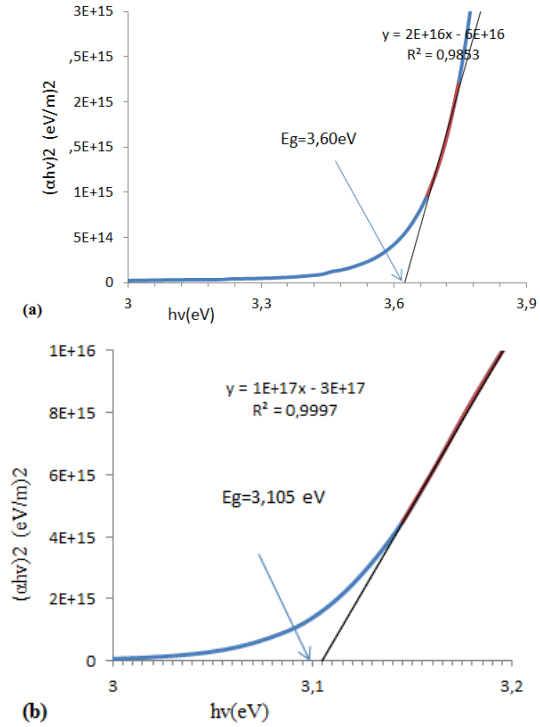
Pengukuran spektrum transmitansi UV-vis dapat dilihat pada gambar 1. dapat dibagi dalam dua bagian yaitu daerah transparan dengan karakteristik pada panjang gelombang panjang, dan daerah absorpsi pada panjang gelombang pendek.



Gambar 1 Spektrum transmitansi lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO di atas substrat kaca dan lapisan penyangga ZnO

Hasil pengujian sifat optik menunjukkan bahwa tepi absorpsi pada lapisan tipis yang dideposisikan di atas substrat kaca yaitu lapisan tipis komposit TiO<sub>2</sub>/ZnO bergeser ke panjang gelombang lebih panjang (redshift) dari lapisan tipis TiO<sub>2</sub>.

Menurut teori penyerapan optik, hubungan antara koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) dengan energi foton ( $h\nu$ ) untuk transisi langsung adalah  $(\alpha h\nu)^2 = h\nu - E_g$ , dimana  $E_g$  adalah celah pita energi dari lapisan tipis. Gambar 2 menunjukkan celah pita energi lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>:ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca.



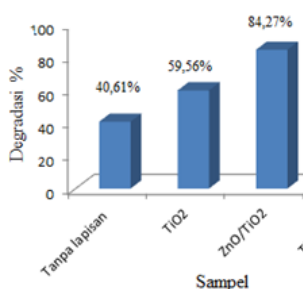
Gambar 2 Celah pita energi lapisan tipis (a) TiO<sub>2</sub>, (b) ZnO/TiO<sub>2</sub>.

**Tabel Celah pita energi lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca.**

Sampel	Celah pita energi (eV)
TiO <sub>2</sub>	3,600
ZnO/TiO <sub>2</sub>	3,105

**Kemampuan Fotokatalis Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ ZnO di atas substrat kaca**

Pengujian fotodegradasi zat warna *methylene blue* 10 ppm dilakukan untuk mengetahui kemampuan aktivitas fotokatalis lapisan TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca. Fotodegradasi *methylene blue* dilakukan menggunakan sinar matahari selama 4 Jam. Gambar 3 menunjukkan grafik degradasi pada masing-masing sampel. Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca memiliki kemampuan fotokatalis untuk mendegradasi (mereduksi) polutan organik berupa zat warna.



Gambar 3 Degradasi lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca untuk *methylene blue* selama 4 jam

Kenaikan degradasi tertinggi di peroleh untuk lapisan tipis TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan di atas substrat kaca. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa lapisan penambahan ZnO pada TiO<sub>2</sub> memiliki pengaruh yang besar terhadap aktivitas fotokatalis. Hal itu terjadi juga karena adanya pengaruh mengecilnya celah pita energi.

Hal ini dikarenakan penurunan celah pita energi dapat mengurangi energi minimum yang diperlukan untuk eksitasi elektron (Firdaus, dkk., 2012) sehingga lebih banyak rentang energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan pasangan elektron dan *hole*.

Meskipun TiO<sub>2</sub> dan ZnO memiliki celah pita yang hampir sama, tetapi penggunaan kombinasi keduanya dapat memodifikasi proses migrasi *electron* dan *hole*. Pita valensi dari TiO<sub>2</sub> terdiri atas orbital *s* dan di pita konduksi terdiri orbital *d*, yang mengakibatkan *elektron* di pita konduksi cenderung mudah untuk berekombinasi kembali. Kombinasi dengan ZnO akan mengurangi tingkat rekombinasi karena pita valensi dari ZnO terdiri atas orbital *d* sedangkan di pita konduksi terdiri atas orbital *sp*. Ketika lapisan tipis TiO<sub>2</sub> /ZnO diradiasi oleh cahaya, tidak hanya TiO<sub>2</sub> yang terlibat dalam proses fotokatalis, tetapi juga ZnO.

## SIMPULAN

Lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub>/ZnO telah berhasil dideposisikan di atas substrat kaca dengan metode *spray coating*. Pengujian sifat optik dan aktivitas fotokatalis memberikan kesimpulan bahwa Penggabungan TiO<sub>2</sub> dengan ZnO (TiO<sub>2</sub>/ZnO) yang ditumbuhkan di atas kaca menimbulkan pengecilan celah pita energi yang berakibat meningkatnya kemampuan fotokatalis dari lapisan tipis. Lapisan tipis TiO<sub>2</sub>/ZnO memiliki kemampuan fotokatalis yang lebih baik daripada lapisan

tipis TiO<sub>2</sub> yang ditumbuhkan di atas substrat kaca.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akasaki, I., Amano, H., Koide, Y., Hiramatsu, K, dan Sawaki N, 1989. *Effects of buffer layer on crystallographic structure and on electrical and optical properties of GaN and Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N (0 < x < 0.4) films grown on sapphire substrate by MOVPE*. Journal.Crystal Growth, 98, 209.
- Akin, M.B. dan Oner M, 2013. *Photodegradation of Methylene Blue with Sphere-Like ZnO Particles Prepared Via Aqueous Solution*. Ceramics International 39 9759–9762.
- Ali, M dan Hassan,S,H, 2008. *Degradation Studies on Paraquat And Malathion Using TiO<sub>2</sub>/ZnO Based Photocatalyst*. The Malaysian Journal of sciences Vol. 12 No 1.
- Lanje, S,A., Sharma, J,S., Ningthoujam, S.R., Ahn, dan Pode, B,R, 2013. *Low temperature dielectric studies of zinc oxide (ZnO) nanoparticles prepared by precipitation method*. Advanced Powder Technology 24 (2013) 331–335.
- Ardizzone, S., Gabrielli, G, dan Lazzari, P, 1993. *Adsorption of Methylene Blue at Solid / Liquid and Water / Air Interfaces, Colloids Surfaces*. vol. 76 hal.149–157.
- Arutanti, O., Abdullah M., Khairurrijal, dan Mahfudz H, 2009. *Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>)*. Jurnal nanosains dan Nanoteknologi Edisi khusus,ISSN 1979-088V.
- Baruah, S., Samir, K.P, dan Joydeep, D, 2012. *Nanostructured Zinc Oxide for Water Treatment*. Nanoscience & Nanotechnology-Asia, Vol. 2, No. 2.
- Cho, M.H dan Lee,G.H, 2008. *Growth of high quality rutile TiO<sub>2</sub> thin film using ZnO buffer layer on Si(100) substrate*. Thin Solid Films 516 (2008) 5877–5880.
- Chunxia, L., Suihu, D., Caili Z., Liping W, dan Peide H, 2014. *Effects of native defects on the electronic structure and photocatalytic activity in anatase TiO<sub>2</sub> by first principles calculations*. Optik 125 3145–3149.
- Day, R.A, dan Underwood, A.L, 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. alih bahasa

- Pudjatmaka, A.H., Erlangga, Jakarta, hal. 390-392.
- Diebold, U, 2003. *The Surface Science of Titanium Dioxide*. Surface science reports 48 52-229.
- Effendy, 2004. *Ikatan Ionik dan Cacat-Cacat pada Kristal Ionik*. Malang: Bayumedia Publishing.
- Gibson, R. F, 1984. *Prinsip of Composite Material Mechanics*. New York: Mc Graw Hill.
- Ortega, R.D., Meléndez, M, A, dan Pena, A,P, 2014. *Semiconducting properties of ZnO/TiO<sub>2</sub> composites by electrochemical measurements and their relationship with photocatalytic activity*. Electrochimica Acta 140 541–549.
- Khan, A,F., Mehmood, M, dan Durrani, S,K, 2015. *Structural and optoelectronic properties of nanostructured TiO<sub>2</sub> thin films with annealing*. Materials Science in Semiconductor Processing 29 161–16.
- Fatimah, I. dan Karna, W, 2005. *Sintesis TiO<sub>2</sub>/Zeolit sebagai Fotokatalis pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka secara Adsorpsi-Fotodegradasi*. Jogjakarta: TEKNOIN, vol. 10 No. 4 hal. 257-267.
- Firdaus, C.M., Rizam M.S.B.S., Rusop M., dan Hidayah S.R, 2012. *Characterization of ZnO and ZnO:TiO<sub>2</sub> Thin Films Prepared by Sol-Gel Spray-Spin Coating Technique*. Procedia Engineering 41 1367 – 1373.
- Giannakopoulou, G., Todorova, N., Giannouri, M., Yu, J, dan Trapalis, C, 2014. *Optical and photocatalytic properties of composite TiO<sub>2</sub>/ZnO thin films*. Catalysis Today 230 174–180.
- Gu, Y.Z, 2013. *Optical and Microstructural Properties of ZnO/TiO<sub>2</sub> Nanolaminates Prepared by Atomic Layer Deposition*. Nanoscale Research Letters 2013 8:107.
- Guanglong, Z, 2007. *Orientation Enhancement of Polycrystalline ZnO Thin Films Through Thermal*. Elsevier Materials Letters 61: p. 4305–4308.
- Ivanova, T., Harizanova A., Koutzarova T, dan Vertruyen B, 2011. *Preparation and Characterization of ZnO/TiO<sub>2</sub> Films Obtained by Sol-gel Method*. Journal of Non-Crystalline Solids 375 2840-2845.
- Jain, A., Sagar P, dan Mehra R.M, 2007. *Changes of Structural, Optical and Electrical Properties of Sol-Gel Derived ZnO Films with Their Thickness*. Materials Science Poland Vol. 25 No. 1.
- Kaur, S., Singh, V, 2007. *Visible light inducing sonophotocatalytic degradation of reactive red dye 198 using dye sensitized TiO<sub>2</sub>*. Ultrason.Sonochem. 14 531–537.
- Kaya, M, dan Atici, Y, 2004. *Studies of lattice mismatch and threading dislocations in GaAs/Si grown by MBE*. Superlattices and Microstructures 35 (2004) 35–44.
- Khopkar, S.M, 2002. *Konsep Dasar Kimia Analitik, Terjemahan Basic Concepts of Analytical Chemistry*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kittel, C, 1996. *Introduction to Solid State Physics 7<sup>th</sup> Edition*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Marotti, R.E., Giorgi, P., Machado, G, dan Dalchiele, E.A, 2006. *Crystallite size dependence of band gap energy for electrodeposited ZnO grown at different Temperatures*. Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006) 2356–2361.
- Mekkawi, D,E, dan Galal, H,R, 2013. *Removal of a synthetic dye “Direct Fast Blue B2RL” via adsorption and photocatalytic degradation using low cost rutile and Degussa P25 titaniumdioxide*. Journal of Hydro-environment Research 7 219-226.
- Milton, W,G. 2002. *The Theory of Composite*. New York: Cambridge University Press.
- Mukhidin, 2014. *Deposisi Lapisan Tipis Fotokatalis ZnO:TiO<sub>2</sub> Untuk Degradasi Polutan Organik Limbah Cair, Skripsi, jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*.
- Shi-qian, L., Pei-jiang, Z., Wan-shun, Z., Sheng, C, dan Hong, P, 2014. *Effective photocatalytic decolorization of methylene blue utilizing ZnO/rectorite nanocomposite under simulated solar irradiation*. Journal of Alloys and Compounds 616 227–234.
- Ningsih, T.S, 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalisis Ni<sup>2+</sup> - ZnO Berbasis Zeolit Alam*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.
- Pant, H.R., Pant B., Sharma R.K., Amarjargal A., Kim H.J., Park C.H., Tijing L.D, dan Kim C.S, 2013. *Antibacterial and Photocatalytic Properties of Ag/TiO<sub>2</sub>/ZnO Nano-Flowers Prepared by Facile One-Pot Hydrothermal Process*. Ceramics International 39 1503–1510.
- Peng, L.P., Fang, L., Wu, W.D., Wang, X.M, dan Wang, Y.Y, 2012. *The structure and optical properties of ZnO films on various LiNbO<sub>3</sub> substrates*. Vacuum 86 (2012) 1147-1149.

- Priowirjanto, G, 2003. *Ilmu Bahan Listrik*. Jakarta: Dikmenjur.
- Pusvitasari, M, 2013. *Deposisi Lapisan Tipis Zinc Oxide (ZnO) di atas Substrat Kaca dengan Metode Sol-Gel untuk Aplikasi Degradasi Warna*, Skripsi, jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Rahmawati, Fitria, Sayekti, W, dan Pamularsih, A.W, 2006. *Synthesis of Thin Film of TiO<sub>2</sub> on Graphite Substrate by Chemical Bath Deposition*, Indo. J. Chem. 6 (2), 121-126.
- Shukla, S., Sharma.K,N, dan Sajal, V, 2015. *Sensitivity enhancement of a surface plasmon resonance based fiber optic sensor using ZnO thin film, a theoretical study*. Sensors and Actuators B 206 (2015) 463–470.
- Sartono, A. A, 2006. *Scanning Electron Microscope (SEM)*, Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.
- Scarlat, F, dan Niculescu. 2010. *Methylene-Blue Modified Polypyrrole Film Elektrode for Optoelectronic Application*. vol. 256 hal. 4543–4547.
- Sujana, M.G., Chattopadyay, K.K, dan Anand, S, 2008. *Characterization and Optical Properties of Nano-Ceria Synthesized by Surfactant-Mediated Precipitation Technique in Mixed Solvent System*. Applied Surface Science 254, Science Direct, 7405–7409.
- Sulzer, 2013. *An Introduction to Thermal Spray*, Metco, Issue 4.
- Talebian, N., Nilforoushan, dan Salehi Z, 2012. *Effect of Heterojunction on Photocatalytic Properties of Multilayered ZnO-Based Thin Films*. Ceramics International vol. 38 hal. 4623–4630.
- Tanti, H., Novita, A, dan Siti, M, 2014. *Pengaruh suhu sol-gel dan pelarut polyetilen glycol (peg) pada aktivitas fotokatalis zn-tio2 sebagai pendegradasi limbah cair pewarna tekstil*. jurnal penelitian kimia, vol. 10, no. 2, hal. 148-156.
- Takashi., Kiyoshi., Yoshikawa., Alkihiko., Sandu, dan Adarsh, 2007. *Wide Bandgap Semiconductor: Fundamental Properties and Modern Photonic and Electronic Devices*. Springer. P. 357. ISBN 3540472347.
- Tian, J., Chen L., Yin Y., Wang X, Dai J., Zhu Z., Liu X, dan Wu P, 2009. *Photocatalyst of TiO<sub>2</sub>/ZnO Nano Composite Film: Preparation, Characterization, and Photodegradation Activity of Methyl Orange*. Surface & Coatings Technology 204 205–214.
- Tian, J., Wang J., Dai J., Wang X., dan Yin Y, 2009. *N-Doped TiO<sub>2</sub>/ZnO Composite Powder and Its Photocatalytic Performance for Degradation of Methyl Orange*. Surface & Coatings Technology 204 723–730.
- Topkaya, E., Mehmet, K, dan Cengiz, 2014. *Pure ZnO and Composite ZnO/TiO<sub>2</sub> Catalyst Plates: A Comparative Study for Degradation of Ozo, Pesticide and Antibiotic in Aqueous Solution*. Journal of Colloid and Interface Science 430 6-11.
- Trisnawati, T, 2008. *Studi Adsorpsi Karbon Mesopori Sintetik terhadap Methylene Blue*, Bandung: FMIPA ITB.
- Tucker, R. C. Jr, 1994. *Thermal Spray Coatings*. ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering, 497-509.
- Liu, W.S., Chen, W., Zhao, S, dan Zhang, 2009. *Study on the photocatalytic degradation of trichlorfon in suspension of titanium dioxide*. Desalination 249 1288–1293.
- West, R.A, 1984. *Solid State Chemistry and Its Application*, John Wiley & Sons Ltd, New York.
- 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<sub>2</sub> Multilayer Thin Films*. Optical Materials 35 1582–1586.
- Xue-wen, W., Li Z, dan Feng L, 2013. *ZnO Disks Loaded with Reduced Graphene Oxide for the Photodegradation of Methylene Blue*. New Carbon Materials, 28(6):408–413.
- Hao Lin, Y., Ying Lee, H., Ting Lee, C, dan Chou, C, 2012. *Mechanisms of ZnO buffer layer in bottom gate ZnO:Al transparent thin film transistors*. Materials Chemistry and Physics 134 (2012) 1203-1207.
- Zhao. D. G., Xu, S. J., Xie M. H, dan Tong, S. Y, 2003. *Stress and its effect on optical properties of GaN epilayers grown on Si(111), 6H-SiC(0001), and c-plane sapphire*. Applied Physics Letters Volume 83, Number 4.
- Zhao, L., Xia, M., Liu, Y., Zheng, B., Jiang, Q, dan Lian, J, 2012. *Structure and Photocatalysis of TiO<sub>2</sub>/ZnO Double-Layer Film Prepared by Pulsed Laser Deposition*. Materials Transactions, Vol. 53, No. 3 (2012) pp. 463 to 468.

- Zhang, W., Zhao J., Liu Z., Zhaojun L, dan Fu Z, 2010. *Influence of Growth Temperature of TiO<sub>2</sub> Buffer on Structure and PL Properties of ZnO Films*. Applied Surface Science 256 4423–4425.
- Zhang, X., ShuyiM ., Yang, F., Zhao, Q., Li, F, dan Liu, J, 2013. *The evolution behavior of microstructures and optical properties of ZnO films using a Ti buffer layer*. Ceramics International 39(2013)7993–7999.