



## DEGRADASI METIL VIOLET MENGGUNAKAN KATALIS ZnO-TiO<sub>2</sub> SECARA FOTOSONOLISIS

Hary Sanjaya, Hardeli, Riri Syafitri

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang  
e-mail : hary\_sanjaya@yahoo.com  
DOI : 10.24036/eksakta/vol19-iss01/131

### ABSTRACT

*Research on the degradation of methyl violet has been done by using photolysis method. The purpose of this study is to determine how much time the optimum, optimum pH and the amount of doping TiO<sub>2</sub> optimum degrade methyl violet as well as the percent degradation, determined the crystal structure and particle size of the catalyst synthesis of ZnO-TiO<sub>2</sub> optimum degrade methyl violet using XRD, determine the value of the band gap Of the optimum ZnO-TiO<sub>2</sub> catalyst synthesis in degrading methyl violet using UV-DRS, determining the absorption peak of Zn-O-Ti bonds from optimum ZnO-TiO<sub>2</sub> catalyst synthesis in degrading methyl violet using FTIR. The results showed that the optimum time to degrade methyl violet was 45 minutes with 94,1371% degradation percentage. For pH variation, the optimum degradation results at pH 6 with percent degradation of 99.2857%. The effect of TiO<sub>2</sub> doping variation showed optimum degradation result obtained on doping variation of TiO<sub>2</sub> 5% with percentage degradation of 96,2500%. The optimum catalyst structure of ZnO-TiO<sub>2</sub> catalyst in degrading methyl violet with XRD is wurtzite (anatase) and the particle size is 42.65 - 107.60 nm. The band gap value of the optimum ZnO-TiO<sub>2</sub> catalyst in degrading methyl violet with UV-DRS is 3.18 eV. The absorption peak of ZnO-Ti for optimum catalyst ZnO-TiO<sub>2</sub> in degrading methyl violet with FTIR is 745.70 cm<sup>-1</sup>.*

**Keywords**—Band gap, Degradation, Photolysis, Methyl Violet, ZnO-TiO<sub>2</sub>

### PENDAHULUAN

Industri tekstil, percetakan dan pencelupan merupakan penghasil limbah zat warna paling banyak dan dapat merusak lingkungan. Pembuangan limbah zat warna ke sungai akan merusak kehidupan biota air karena sifatnya beracun, dan penyebab kanker, mutagenik bila masuk dalam tubuh manusia (Youssef, *et al.*, 2016).

Zat warna dapat mencegah penetrasi cahaya pada air dan terdegradasi sangat lambat dengan cahaya matahari karena struktur aromatis pada zat warna mempunyai resistensi terhadap pengaruh

lingkungan seperti efek ph, suhu dan mikroba (Qodri, 2011 dan Anwar, *et al.*, 2015). Zat warna dapat digolongkan berdasarkan struktur kimianya antara lain; zat warna azo, zat warna quinolin, zat warna xanten, dan zat warna trifenilmetana. Metil violet merupakan salah satu zat warna dari golongan trifenilmetana yang paling banyak digunakan khususnya pada industri tekstil. Metil violet memiliki sifat persisten, sulit dibiodegradasi dan mengandung senyawa anilin yang bersifat toksik, mutagenik dan karsinogen sehingga perlu dilakukan

penanganan yang serius jika zat tersebut menjadi limbah (Hardeli, *et al.*, 2014).

Berbagai metode telah digunakan untuk menanggulangi permasalahan limbah zat warna diantaranya adalah (1) metode fisika seperti adsorpsi, pengendapan dan osmosis terbalik, (2) metode kimia (klorinasi, ozonasi, fotosonolisis). Diantara metode tersebut yang paling efektif digunakan untuk degradasi zat warna adalah metode fotosonolisis karena merupakan salah satu metode *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) yang mengkombinasikan metode fotolisis dan sonolisis (Rashid, 2011).

Pada fotolisis terjadi interaksi antara molekul air dan radiasi sinar matahari (UV/Visible) sedangkan pada sonolisis dihasilkan gelombang mekanik dengan mempengaruhi efek kavitasi pada air (Safni, *et al.*, 2007). Metode fotosonolisis menggunakan katalis semikonduktor berpotensi menghilangkan/mendegradasi limbah zat warna lebih cepat (Salehi, *et al.*, 2012).

Zink oksida (ZnO) adalah salah satu semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi limbah zat warna. ZnO memiliki efisiensi fotokatalitik berada pada daerah sinar uv (Kasuma, 2012).

Untuk meningkatkan aktifitas fotokatalitik semikonduktor dapat dilakukan dengan mengurangi *band gap* energi ZnO. Pengurangan *band gap* ZnO dapat dilakukan dengan cara menambahkan semikonduktor lain yang mempunyai *band gap* lebih kecil dari ZnO, salah satunya adalah TiO<sub>2</sub>.

Degradasi metil violet dengan katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara fotosonolisis dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu lama waktu degradasi, pH limbah zat warna dan % doping TiO<sub>2</sub> yang digunakan sebagai katalis. Degradasi metil violet meningkat dengan bertambahnya waktu sampai tercapainya

kontak optimum antara foton dengan katalis yang digunakan dan akan mengalami penurunan saat H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terlalu banyak terbentuk (Youssef, *et al.*, 2016). pH juga mempengaruhi absorpsi metil violet terhadap katalis, pada pH rendah metil violet lebih mudah terabsorbs pada permukaan katalis dimana absorpsi yang terlalu besar akan menghambat penyinaran pada katalis yang akan mempengaruhi proses degradasi (Dini, *et al.*, 2014). Jumlah % doping TiO<sub>2</sub> akan mempengaruhi degradasi metil violet, dimana variasi doping akan menghasilkan ukuran partikel dan nilai *band gap* yang baru yang baru yang bisa meningkatkan aktivitas fotokatalis atau menurunkan aktivitas fotokatalis (Basthomi, 2016).

Penelitian ini dilakukan untuk melihat berapa waktu, pH dan % doping TiO<sub>2</sub> optimum dalam mendegradasi metil violet dan persen degradasi dari masing-masingnya serta untuk melihat keefektifan antara katalis ZnO dan ZnO-TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi metil violet. Hasil degradasi akan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan katalis yang akan digunakan dikarakterisasi dengan XRD, UV-DRS dan FTIR.

## METODOLOGI PENELITIAN

### A. Alat dan bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu: Kotak fotokatalis dan Ultrasonik, Magnetic Stirer, Oven, Neraca analitis, Furnace, Spektrofotometer UV-Vis, XRD, FTIR, Spektrofotometer UV-DRS, pH meter, Peralataan gelas

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu: Kristal metil violet, ZnO, TiO<sub>2</sub>, Metanol p.a, HCl 1 M, NaOH 1 M, Aquades.

### B. Prosedur Penelitian

### 1. Preparasi katalis ZnO–TiO<sub>2</sub>

Katalis ZnO sebanyak 0,95 gram dan TiO<sub>2</sub> sebanyak 0,05 dilarutkan dalam metanol p.a sebanyak 100 mL, lalu distirer selama 60 menit dan di lanjutkan dengan sonikasi selama 30 menit agar homogen. ZnO-TiO<sub>2</sub> yang telah dilarutkan dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 60 menit kemudian dikalsinasi selama 30 menit dan didapatkan bubuk ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%. Prosedur yang sama dibuat untuk mendapatkan ZnO-TiO<sub>2</sub> 10%, ZnO-TiO<sub>2</sub> 15%, ZnO-TiO<sub>2</sub> 20% dan ZnO-TiO<sub>2</sub> 25%.

### 2. Pembuatan Larutan metil violet

Sebanyak 0,2 gram kristal metil violet dilarutkan dengan sedikit metanol sampai benar-benar larut (Hardeli, *et al.*, 2014), kemudian diencerkan dengan aquades dalam labu ukur 1000 mL sehingga diperoleh larutan metil violet dengan konsentrasi 200 ppm yang disebut larutan induk. Selanjutnya 50 mL larutan induk dipipet dan diencerkan dengan aquades sehingga diperoleh larutan metil violet konsentrasi 10 ppm.

### 3. Degradasi metil violet secara fotosonolisis

Sebelum degradasi dilakukan, larutan metil violet terlebih dahulu diukur absorbansi maksimumnya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 400-800 nm untuk mengetahui panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{\text{mak}}$ ) dari metil violet. Dari pengukuran yang dilakukan  $\lambda_{\text{mak}}$  dari metil violet adalah 579 nm.

Sampel yang sudah didegradasi diukur absorbansinya pada  $\lambda_{\text{mak}}$  dan dihitung persen degradasinya (% D) menggunakan persamaan berikut:

$$\% D = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100\%$$

dengan  $A_0$  adalah absorbansi sebelum degradasi dan  $A_t$  adalah absorbansi sesudah degradasi pada waktu  $t$  (Parshetti, *et al.*, 2011).

#### a. Degradasi metil violet dengan variasi waktu secara fotosonolisis

Larutan metil violet 10 ppm sebanyak 80 mL dimasukkan kedalam gelas piala 250 mL, kemudian ditambahkan 0,1 gram ZnO, selanjutnya disinari dengan lampu UV dan disonifikasi dengan alat ultrasonik selama 15 menit. Hal yang sama juga dilakukan untuk waktu 30, 45, 60, 75 dan 90 menit.

#### b. Degradasi metil violet dengan variasi pH secara fotosonolisis

Larutan metil violet 10 ppm sebanyak 80 mL diatur pHnya dengan penambahan HCl 1M dan NaOH 1M menggunakan pH meter. Larutan divariasikan dengan pH 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 setelah pH diatur larutan selanjutnya ditambah 0,1 gram ZnO kemudian disinari dengan lampu UV dan disonifikasi dengan alat ultrasonik pada waktu optimum degradasi metil violet.

#### c. Degradasi metil violet dengan variasi % katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara fotosonolisis

Larutan metil violet 10 ppm sebanyak 80 mL diatur pada pH optimum dan ditambahkan dengan 0,1 gram ZnO-TiO<sub>2</sub> 5% selanjutnya disinari dengan lampu UV dan disonifikasi dengan alat ultrasonik frekuensi pada waktu optimum degradasi pada metil violet. Hal yang sama juga dilakukan dengan penambahan ZnO-TiO<sub>2</sub> 10%, ZnO-TiO<sub>2</sub> 15%, ZnO-TiO<sub>2</sub> 20% dan ZnO-TiO<sub>2</sub> 25%.

### 4. Karakterisasi Katalis

#### a. Karakterisasi katalis dengan XRD

Struktur kristal dan ukuran partikel katalis dianalisa dengan instrumen XRD. Sampel yang akan dikarakterisasi adalah katalis ZnO, TiO<sub>2</sub> dan ZnO doping TiO<sub>2</sub> optimum dari hasil fotodegradasi model metil violet secara fotosonolisis. Hasil karakterisasi dengan XRD untuk mendapatkan informasi morfologi dan bentuk kristal. Karakterisasi memperlihatkan pengaruh penambahan TiO<sub>2</sub> terhadap ZnO. Untuk menentukan struktur kristal dapat menggunakan persamaan Scherrer:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

dengan D adalah ukuran kristal, k adalah konstanta Scherrer untuk kristal berbentuk sferis (0,94),  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X (0,154),  $\beta$  adalah nilai FWHM masing-masing puncak karakteristik,  $\theta$  adalah sudut difraksi.

#### b. Karakterisasi katalis dengan UV-DRS

Katalis ZnO, TiO<sub>2</sub> dan ZnO doping TiO<sub>2</sub> optimum untuk degradasi dikarakterisasi dengan UV-DRS untuk melihat *band gap* energi masing-masingnya. Energi *band gap* diperoleh dengan mengubah besaran % R kedalam faktor Kubelka-Munk (F(R)).

$$F R = \frac{(1 - R)^2}{2 R}$$

Metode Kubelka-Munk dapat digunakan untuk mencari *band gap* (E<sub>g</sub>), dimana:

$$E_g = hv = \frac{h c}{\lambda}$$

Energi celah pita diperoleh dari grafik hubungan antara hv (eV) vs (F(R')hv)<sup>1/2</sup>. E<sub>g</sub> adalah energi *band gap* (eV), h adalah konstanta planck (6,626×10<sup>-34</sup> Js), c adalah kecepatan cahaya (1,872452 x 10<sup>36</sup>) dan  $\lambda$  adalah

panjang gelombang (nm). Energi *band gap* semikonduktor adalah besarnya hv pada saat F(R) hv)<sup>1/2</sup> = 0, yang diperoleh dari persamaan regresi linier kurva tersebut (Fiolida, 2016).

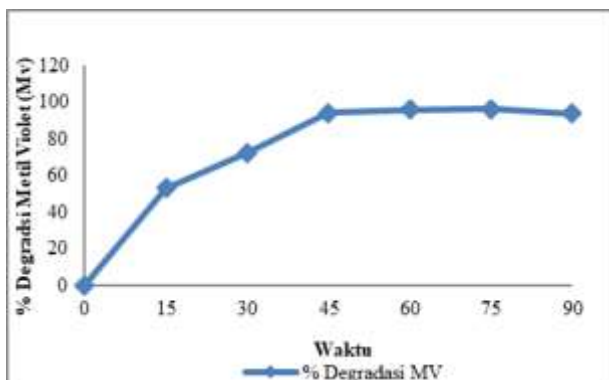
#### c. Karakterisasi katalis dengan FTIR

Katalis ZnO, TiO<sub>2</sub> dan ZnO-TiO<sub>2</sub> optimum dikarakterisasi dengan FTIR. Hasil karakterisasi dengan FTIR untuk mendapatkan informasi gugus yang terdapat pada masing-masing katalis.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Degradasi Metil Violet dengan Variasi Waktu secara Fotosonolisis

Waktu adalah salah satu faktor yang mempengaruhi degradasi metil violet. Pengaruh waktu untuk degradasi metil violet divariasikan pada waktu 15, 30, 45, 60, 75 dan 90 menit yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 terlihat bahwa degradasi metil violet meningkat dengan bertambahnya waktu degradasi dalam waktu 75 menit karena semakin lama waktu penyinaran dan sonikasi jumlah •OH yang dihasilkan untuk mendegradasi semakin banyak. Tetapi degradasi lebih lanjut pada waktu 90 menit menunjukkan degradasi metil violet mengalami penurunan dari 95,9348 % - 93,4768%. Penurunan persen degradasi metil violet pada waktu 90 menit dikarenakan banyaknya H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yang dihasilkan pada proses sonikasi yang kemudian bereaksi dengan •OH menghasilkan radikal hidroperoksi (•OOH) (Youssef, *et al.*, 2016). Dari hasil penelitian kondisi optimum untuk degradasi metil violet adalah 45 menit.

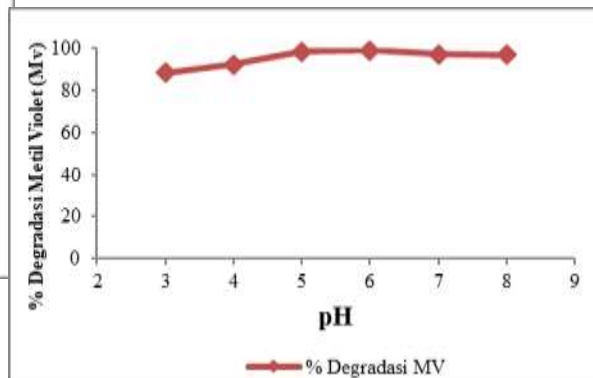


Gambar 1. Kurva pengaruh waktu terhadap persen degradasi metil violet

*B. Degradasi Metil Violet dengan Variasi pH secara Fotosonolisis*

Selain waktu degradasi, pH juga merupakan faktor yang mempengaruhi degradasi metil violet. Pengaruh pH untuk degradasi metil violet divariasikan pada pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 yang ditunjukkan pada Gambar 2. Dari Gambar diketahui bahwa degradasi metil violet meningkat dari pH 3-6 dengan persen degradasi terbaik diperoleh pada pH 6. Meningkatnya persen degradasi dari pH 3-6 disebabkan ketika pH dinaikkan maka permukaan katalis ZnO akan bermuatan negatif oleh ion hidroksil yang teradsorpsi yang mempromosikan pembentukan  $\bullet\text{OH}$  sehingga laju degradasi meningkat (Suhail, *et al.*, 2015). Kecilnya persen degradasi metil violet pada pH asam disebabkan karena pada pH tersebut terjadi adsorpsi yang tinggi dari metil violet pada katalis ZnO sehingga menghambat penyerapan sinar UV pada katalis yang menyebabkan  $\bullet\text{OH}$  yang dihasilkan berkurang (Dini, *et al.*, 2014). Peningkatan pH lebih lanjut pada pH 7 dan 8 menunjukkan penurunan persen degradasi dari 99,2857 % - 97,1429 %. Hal ini disebabkan telah terjadinya kontak optimum antara ZnO dan metil violet dan banyaknya  $\bullet\text{OOH}$  yang terbentuk, selain itu rekombinasi dari

$\bullet\text{OH}$  juga mempengaruhi penurunan persen degradasi metil violet.



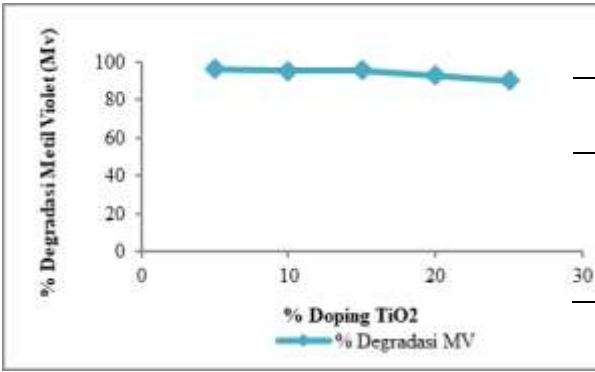
Gambar 2. Kurva pengaruh pH terhadap persen degradasi metil violet

*C. Degradasi Metil Violet dengan Variasi % Katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara Fotosonolisis*

Degradasi metil violet juga dipengaruhi oleh variasi % doping TiO<sub>2</sub>. Degradasi metil violet dilakukan menggunakan katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> dengan variasi doping 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yang ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa persen degradasi metil violet menurun dengan penambahan variasi doping TiO<sub>2</sub>. Persen degradasi optimum diperoleh pada variasi doping TiO<sub>2</sub> 5% dengan persen degradasi 96,2500 %. Penurunan persen degradasi ini dikarenakan penambahan dari jumlah doping TiO<sub>2</sub> pada katalis ZnO yang membuat zat warna semakin banyak terserap pada permukaan katalis.

Akan tetapi persen degradasi dengan menggunakan katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan katalis ZnO. Penyebab turunnya persen degradasi dari metil violet pada katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> 5% jika dibandingkan dengan degradasi menggunakan katalis ZnO adalah karena pengaruh dari pH larutan metil violet yang digunakan untuk mendegradasi. Katalis ZnO yang didoping TiO<sub>2</sub> 5%

mengalami penurunan aktivitas fotokatalis pada pH yang tinggi (pH 6) karena pada pH tinggi aktivitas fotokatalis dari TiO<sub>2</sub> akan menurun disebabkan banyaknya metil violet yang teradsorpsi sehingga TiO<sub>2</sub> tidak terdistribusi pada permukaan metil violet (Dini, *et al.*, 2014 & Herrmann, 1999).



Gambar 3. Kurva pengaruh jumlah doping TiO<sub>2</sub> terhadap degradasi metil violet

D. Karakterisasi Katalis

1. Menggunakan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD bertujuan untuk melihat struktur kristal dan ukuran partikel katalis ZnO, TiO<sub>2</sub>, ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%. Hasil pengukuran dengan XRD akan memberikan pola difraktogram yang digunakan untuk analisa struktur kristal yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pola difraktogram pada Gambar 4 memberikan puncak karakteristik dari masing-masing katalis pada posisi 2θ(°). Puncak karakteristik untuk TiO<sub>2</sub> pada posisi 2θ(°) = 25,26; 37,72; 47,97; 53,83; 55,00; 62,62 yang merupakan puncak karakteristik untuk struktur kristal anatase. Puncak karakteristik untuk ZnO pada posisi 2θ(°) = 31,72; 34,37; 36,20; 47,48; 56,54; 62,80; 67,89 dan 69,03 yang merupakan puncak karakteristik dari struktur kristal wurtzite. Untuk katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> 5% didapatkan puncak karakteristik pada 2θ(°) = 31,71; 34,36; 36,19; 47,48;

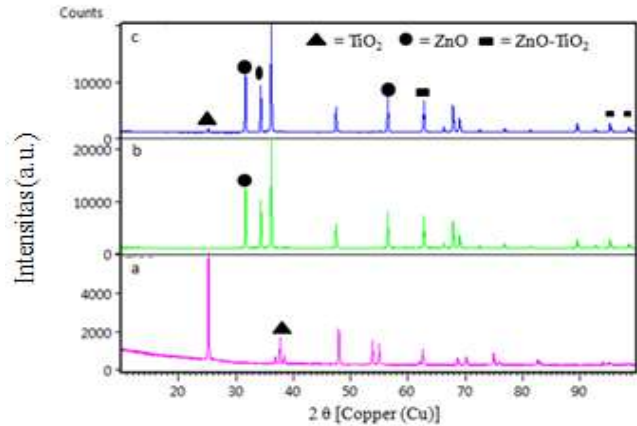
48,00; 56,53; 62,80; 67,89; 69,03 yang merupakan puncak karakterisasi dari struktur kristal wurtzite (anatase).

Hasil pengukuran dengan XRD juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran partikel dari masing-masing katalis menggunakan persamaan scherrer yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran partikel katalis ZnO, TiO<sub>2</sub>, ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%

Katalis	Range ukuran partikel (nm)
ZnO	48,50 – 80,70
TiO <sub>2</sub>	48,96 - 83,81
ZnO-TiO <sub>2</sub> 5%	42,65 - 107,60

Dari Tabel 1 terlihat bahwa ukuran partikel ZnO-TiO<sub>2</sub> 5% lebih besar dari pada ukuran partikel ZnO dan TiO<sub>2</sub>. Ukuran partikel mempengaruhi aktivitas katalis dalam mendegradasi metil violet, ukuran partikel yang besar akan memperluas permukaan katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> sehingga mengurangi laju degradasi.

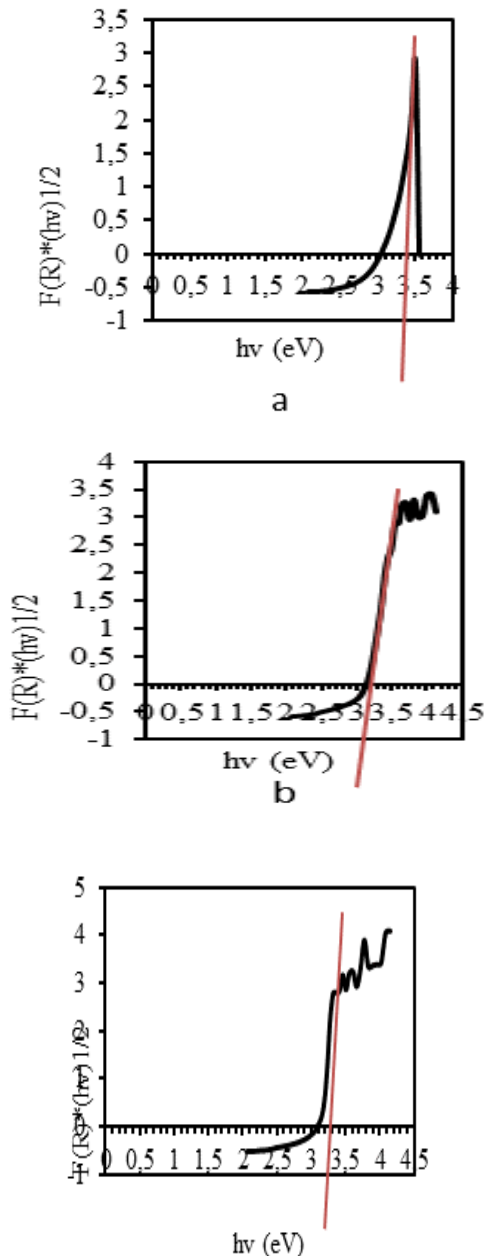


Gambar 4. Difraktogram (a) TiO<sub>2</sub> (b) ZnO dan (c) ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%

2. Menggunakan UV-DRS

Karakterisasi dengan UV-DRS bertujuan untuk melihat band gap dari masing-masing katalis yang digunakan untuk mendegradasi metil violet. Nilai band gap fotokatalis didapatkan dengan melakukan ekstrapolasi dari bagian

grafik yang membentuk garis lurus menuju sumbu x ( $h\nu$ ) ( $y = (F(R) \cdot h\nu)^{1/2}$ ) = 0). Grafik nilai *band gap* dari masing-masing katalis ditunjukkan pada Gambar 5.



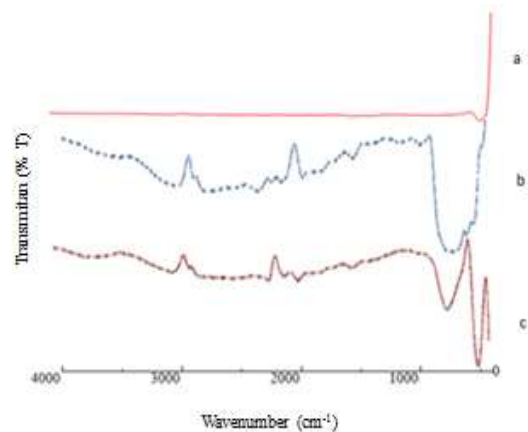
Gambar 5. Grafik nilai *band gap* (a) ZnO, (b) TiO<sub>2</sub> dan (c) ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%.

Dari Gambar 5 didapatkan nilai *band gap* yang dimiliki ZnO-TiO<sub>2</sub> 5% untuk

mendegradasi metil violet pada kondisi optimum yaitu 3,18 eV.

### 3. Menggunakan FTIR

Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk analisis pita serapan dari vibrasi gugus fungsi katalis ZnO, TiO<sub>2</sub>, ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%. Hasil karakterisasi dengan FTIR ditunjukkan pada Gambar 6. Karakterisasi ZnO dengan FTIR menunjukkan puncak serapan dari Zn-O adalah pada daerah bilangan gelombang 490,07 cm<sup>-1</sup>. Karakterisasi TiO<sub>2</sub> dengan FTIR memperlihatkan puncak serapan tajam pada daerah bilangan gelombang 693,72 cm<sup>-1</sup>. Karakterisasi ZnO-TiO<sub>2</sub> 5% dengan FTIR menunjukkan puncak serapan pada bilangan gelombang 745,70 cm<sup>-1</sup> yang merupakan puncak serapan dari Zn-O-Ti.



Gambar 6. Spektra FTIR (a) ZnO, (b) TiO<sub>2</sub> dan (c) ZnO-TiO<sub>2</sub> 5%

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian waktu optimum untuk degradasi metil violet adalah 45 menit dengan persen degradasi 94,1371%, pH optimum adalah pH 6 dengan persen degradasi 99,2857%, variasi doping TiO<sub>2</sub> optimum yaitu pada doping TiO<sub>2</sub> 5% dengan persen degradasi

96,25% dengan struktur kristal *wurtzite* (anatase), ukuran partikel 42,65-107,60 nm, *band gap* 3,18 eV dan puncak serapan ikatan Zn-O-Ti pada bilangan gelombang 745,70  $\text{cm}^{-1}$ .

#### REFERENSI

- Anwar, Devi Indah. 2015. *Synthesis of Fe-TiO<sub>2</sub> Composite as a Photocatalyst for Degradation of Methylene Blue*. *Procedia Chemistry* 17: 49-54.
- Basthomi, Ibnu Abas Al. 2016. "Sintesis, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) Anatas Terdoping Vanadium (III) Menggunakan Metode Sonikasi." Skripsi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang.
- Dini, Eka Wahyu Putri dan Sri Wardhani. 2014. Degradasi Metilen Biru menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem Prog*. Vol 7. No 1.
- Hardeli., Afrianti Ramadhani., Desy Kurniawati., Nopri Andriko., Hary Sanjaya. 2014. Degradasi Methil Violet dan Methilen Blue oleh Fotokatalis TiO<sub>2</sub>. *Eksakta*. Vol 1.
- Harnum, Belina. 2009. "Degradasi Methyl Violet secara Fotolisis dan Sonolisis dengan Katalis TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>." Skripsi, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia.
- Herrmann, J. M. 1999. *Heterogeneous Photocatalysis: Fundamentals and Applications to the Removal of Various Types of Aqueous Pollutants*. *J. Catalysis*. Vol.53.
- Kasuma, Nola Yulia. 2012. "Penggunaan Komposit ZnO-CuO yang Disintesis secara Sonochemistry yang digunakan sebagai Katalis untuk Fotodegradasi Metil Orange dan Zat Antibakteri." Skripsi, Universitas Andalas. Padang, Indonesia.
- Rashid, Md Mamunur dan Chikashi Sato. 2011. *Photolysis, Sonolysis, and Photolysis of Trichloroethane (TCA), Trichloroethylene (TCE) and Tetrachloroethylene (PCE) Without Catalyst*. *Water Air Soil Pollut*. Vol 216: 429-440.
- Parshetti, G. K., Parshetti, S. G., Telke, A. A., Kalyani, D. C., Doong, R. A. dan Govindwar, S. P. 2011. *Biodegradation of Crystal Violet by Agrobacterium radiobacter*. *Journal of Environmental Science*. Vol.23.No. 8
- Qodri, A. A. 2011. "Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow FG dengan Fotokatalis Komplit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>." skripsi jurusan kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Safni., Fardila Sari., Maizatisna dan Zulfarman. 2007. Degradasi Zat Warna Methanil Yellow Secara Sonolisis dan Fotolisis Dengan Penambahan TiO<sub>2</sub> Anatase. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol 11. No 1.
- Salehi, Marziyeh Hassan Hashemipour., Mohammad Mirzaee. 2012. *Experimental Study of Influencing Factors and Kinetics in Catalytic Removal of Methylene Blue with TiO<sub>2</sub> Nanopowder*. *American Journal of Environmental Engineering*; 2(1): 1-7
- Suhail, Falah Shreef Abed., Muthana Saleh Mashkour., Deemah Saeb. 2015. *The Study On Photo Degradation Of Crystal Violet By Polarographic Technique*. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS* Vol 15. No 3
- Wardiyati, Siti., Adel Fisli., Saeful Yusuf. 2014. *Sintesis Nanokatalis*



TiO<sub>2</sub> Anatase dalam Larutan Elektrolit dengan Metode Sol – Gel. Jurnal Sains Materi Indonesia.

Youssef, N. A., Seham A. Shaban., Fatma A. Ibrahim., Aya S. Mahmoud. 2016. Degradation of Methyl Orange using Fenton catalytic reaction. Egypt. J. Petrol.