

DEGRADASI METHYLENE BLUE MENGGUNAKAN KATALIS ZnO-PEG DENGAN METODE FOTOSONOLISIS

Hary Sanjaya^{1*)}, Pinta Rida¹⁾, Sherly Kasuma Warda Nigsih¹⁾

¹⁾Jurusan Kimia, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri
Padang Jln. Prof.Dr.Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp. 0751 7057420
hary_sanjaya@yahoo.com, sherly14@fmipa.unp.ac.id, pintarida@yahoo.com

ABSTRACT

Study about degradation of methylene blue using photolysis method has been done. This research aims to investigate effect of variation radiation times, pH, and concentrations doping PEG (polyethylene glycol). The absorbance of samples was measured by a UV-Vis spectrophotometer. The result showed maximum time of irradiation to degradate methylene blue at 120 minutes, with percentage degradation is 94.55%. The effect of pH showed maximum pH at 7 with percentage degradation is 96,83%. Meanwhile, the effect of variation concentration doping PEG showed maximum result at ZnO-PEG 15%, with percentage degradation is 87,12%. Sample was characterization by XRD, FTIR and UV-DRS. The XRD pattern showed wurtzite (hexagonal) structure and has crystal size of 47-88 nm. FTIR spectrum showed that 425,33 cm^{-1} vibration strain for Zn-O. Analysis UV-DRS obtained band gap value is 3.19 eV.

Keywords: Degradation, methylene blue, ZnO-PEG, photolysis, wurtzite, band gap

PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembang pesatnya dunia perindustrian pewarna sintetis akhirnya diciptakan untuk memenuhi keperluan industri yang digunakan membuat produk menjadi lebih cerah, lebih berwarna, dengan penggunaan yang cepat dan mudah. Akan tetapi bahan kimia yang digunakan dalam pembuatan pewarna sintetis tersebut umumnya bersifat racun, karsinogenik serta mudah terbakar. Jika pewarna sintetis ini terkandung di dalam limbah, akan sangat sulit untuk di hilangkan karena mengandung senyawa organik, tahan terhadap pengolahan secara aerob, stabil terhadap cahaya dan panas. Hal ini yang menyebabkan pewarna sintetis menjadi masalah ekologi [4], sehingga

diperlukan penghilangan kontaminan organik dari limbah sebelum dibuang agar tidak merusak ekologi sekitarnya [7]

Salah satu pewarna sintetis yang banyak digunakan adalah *methylene blue* dengan rumus kimia $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$. *Methylene Blue* ini merupakan pewarna kationik dan senyawa hidrokarbon aromatik yang bersifat racun. *Methylene Blue* jika terkandung dalam air limbah dapat menimbulkan dampak bagi kesehatan mata, mual, muntah, serta diare [8,12].

Sekarang telah banyak metode penanganan masalah limbah yang masih mengandung kontaminan organik, salah satunya metode oksidasi (AOPs) [5]. *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) terdapat metode fotolisis

yang mengkombinasikan fotolisis dan sonolisis [11]. Pada penelitian ini menggunakan fotokatalis semikonduktor zinc oxide (ZnO) dengan *band gap* sebesar 3,37 eV dan energi ikat sebesar 60 MeV [7].

Untuk meningkatkan aktifitas fotokatalitik dari ZnO dilakukan pendopingan dengan *polyethylene glycol* (PEG) [13]. Penambahan PEG diharapkan dapat meningkatkan efisiensi fotokatalis dan meningkatkan aktivitas fotokatalis dengan memperbesar luas permukaan spesifik [10]. Penelitian ini bertujuan untuk mendegradasi *methylene blue* menggunakan katalis ZnO-PEG dengan metode fotosonolisis.

METODE PENELITIAN

2.1 Material

Alat – alat yang digunakan pada penelitian ini adalah kotak fotokatalis yang terdiri dari lampu UV ($\lambda=254$ nm dengan daya 60 watt) 3 buah dan Ultrasonik (45 KHz dengan daya 30 watt) merk Ultrasonic Cleaner 968, Oven merk Xu 225 France Etuves, Neraca analitis merk Kern, Furnance merk Neycraft, Spektrofotometer UV-Vis merk (Agilent 8453), Fourier Transorm Infrared (FTIR) merk Perklin Elmer Frontier Optica, X-ray Difrraction (XRD) merkpANaltycal(9) pH meter merk Schott Instrument, Spektrofotometer UV-Diffuse Reflectance (UV-DRS) merk Analytic Jena, Peralataan gelas: labu ukur, gelas kimia, erlenmeyer, dan peralatan gelas standar lainnya. Bahan-bahan yang digunakan adalah zat warna *methylene blue* merk Merck KGaA, Zink Oxide (ZnO) merk BDH Chemicals, Serbuk PEG (BM 4000), Metanol p.a merk Merck KGaA, HCl 1 M, NaOH 1 M, Aquades.

2.2 Eksperimental

2.2.1 Pembuatan model limbah *methylene blue*

Model limbah *methylene blue* dibuat dengan melarutkan 0,5g serbuk *methylene blue* dalam 1000 mL aquades, larutan ini disebut larutan induk. Sebanyak 20 mL larutan induk dipipet dan diencerkan dengan aquades hingga tanda batas 1 L sehingga diperoleh *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm.

2.2.2 Preparasi katalis ZnO-PEG

Katalis ZnO sebanyak 0,475 gram dan serbuk PEG sebanyak 0,025 gram dilarutkan dalam metanol p.a sebanyak 100 mL, lalu distirer selama 60 menit agar terbentuk sol yang homogen, dan distirer lagi selama 30 menit. Sol ZnO-PEG ini disonikasi selama 30 menit lalu dipanaskan dalam oven pada suhu 96-115 °C selama 60 menit. Selanjutnya dilakukan kalsinasi pada suhu 400 °C yang bertujuan untuk menguapkan semua pelarutnya hingga kering. Hasilnya didapatkan katalis ZnO-PEG 5%. Prosedur yang sama dibuat untuk mendapatkan ZnO-PEG 10%, 15%, dan 20%.

2.2.3 Degradasi model limbah *methylene blue* secara fotosonolisis

- Penentuan pengaruh variasi lama penyinaran terhadap degradasi *methylene blue*

Larutan *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm sebanyak 80 mL dimasukkan kedalam gelas piala 250 mL, kemudian ditambahkan 0,1 gram ZnO. Selanjutnya disinari dengan lampu UV 254 nm dan disonifikasi menggunakan ultrasonik pada frekuensi 45 KHz dengan waktu berkala 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit. Larutan hasil degradasi

dianalisa dengan spektrofotometer UV-Vis.

- b. Penentuan pengaruh variasi pH terhadap degradasi *methylene blue*

Larutan *methylene blue* 10 ppm sebanyak 80 mL dimasukkan kedalam gelas piala 250 mL, kemudian diatur pH-nya dengan menambahkan HCl 1M atau NaOH 1M hingga didapatkan pH 3. Selanjutnya ditambahkan 0,1 gram ZnO kedalam larutan *methylene blue*, lalu disinari dengan lampu UV 254 nm dan disonifikasi menggunakan ultrasonik dengan frekuensi 45 KHz pada waktu lama penyinaran maksimum. Lakukan hal yang sama untuk pH 4, 5, 6, dan 7. Larutan hasil degradasi dianalisa dengan spektrofotometer UV-Vis.

- c. Penentuan pengaruh konsentrasi doping PEG terhadap degradasi *methylene blue*

Larutan *methylene blue* sebanyak 80 mL pada pH optimum ditambahkan dengan 0,1 gram ZnO-PEG 5%. Larutan tersebut didegradasi dengan cara disinari menggunakan lampu UV 254 nm dan disonifikasi dengan alat ultrasonik dengan frekuensi 45 KHz pada waktu maksimum. Hasil degradasi dianalisa dengan spektrofotometer UV-Vis. Lakukan hal yang sama untuk penambahan ZnO-PEG 10%, ZnO-PEG 15%, dan ZnO-PEG 20%.

2.2.4 Karakterisasi Fotokatalis

a. Teknis analisis data

Data yang diperoleh berupa absorbansi larutan *methylene blue* yang diukur dengan alat spektrofotometer UV-Vis. Analisis data dilakukan dengan membandingkan sisa larutan uji sebelum dan sesudah didegradasi serta perbandingan pada berbagai variasi lama penyinaran, variasi pH, dan penambahan katalis ZnO-PEG. Persentase degradasi (%D) dihitung dengan persamaan:

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

dimana, A_0 (cm^{-1}) adalah absorbansi mula-mula, A_t (cm^{-1}) adalah absorbansi pada waktu t [9]. Untuk melihat pengaruh penambahan PEG terhadap fotokatalis ZnO dilakukan karakterisasi dengan FTIR, XRD serta UV-DRS.

b. Karakterisasi dengan XRD

Struktur kristal diukur dengan instrumen XRD. Fotokatalis ZnO-PEG yang diukur dilihat dari doping PEG maksimum dari hasil fotodegradasi model limbah *methylene blue* secara fotosonolisis. Hasil karakterisasi dengan XRD untuk mendapatkan informasi morfologi dan bentuk kristal. Karakterisasi memperlihatkan pengaruh penambahan PEG terhadap ZnO. Dimana, pola difraktogram dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal (*crystallite size*) dengan menggunakan persamaan Scherrer:

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

dengan, D adalah ukuran kristal, $k = 0,94$ adalah konstanta Scherrer untuk kristal berbentuk sferis, $\lambda = 0,154$ nm adalah panjang gelombang sinar-X, β adalah nilai FWHM masing-masing puncak karakteristik, θ adalah sudut difraksi.

c. Karakterisasi dengan FTIR

Fotokatalis ZnO-PEG yang diukur dilihat dari doping PEG maksimum hasil fotodegradasi model limbah *methylene blue* secara fotosonolisis. Hasil karakterisasi dengan FTIR untuk mendapatkan informasi gugus yang terdapat pada sampel ZnO-PEG.

d. Karakterisasi dengan UV-DRS (UV- Diffuse Reflectance)

Katalis ZnO-PEG maksimum dikarakterisasi dengan UV-DRS (UV- Diffuse Reflectance). Hasil karakterisasi UV-DRS untuk mendapatkan informasi

berupa lebar celah pita (*band gap*). Energi celah pita diperoleh dengan mengubah besaran %R ke dalam faktor Kubelka-Munk ($F(R)$), sesuai dengan rumus sebagai berikut:

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

dimana, $F(R)$ adalah faktor Kubelka-Munk, K adalah koefisien absorptansi, S merupakan koefisien scattering, dan R merupakan nilai reflektansi. Energi celah pita diperoleh dari grafik hubungan antara $h\nu$ (eV) vs $(F(R')h\nu)^{1/2}$. Nilai $h\nu$ (eV) ditentukan dengan persamaan berikut:

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

dimana, E_g adalah energi celah pita (eV), h adalah tetapan Planck ($6,624 \times 10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya di udara ($2,998 \times 10^8$ m/s), dan λ adalah panjang gelombang (nm). Energi celah pita semikonduktor adalah besarnya $h\nu$ pada saat $(F(R')h\nu)^{1/2}=0$, yang diperoleh dari persamaan regresi linier kurva tersebut [1].

HASIL DAN PEMBAHASAN

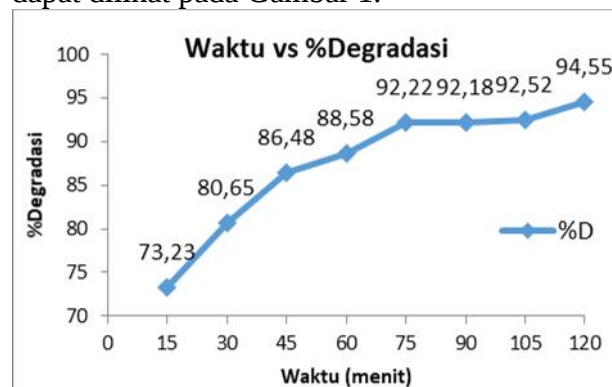
A. Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotosonolisis

1. Penentuan Pengaruh Variasi Lama Penyinaran

Proses degradasi *methylene blue* dilakukan dengan konsentrasi awal 10 ppm. Penentuan lama penyinaran terhadap proses fotosonolisis *methylene blue* dilakukan dengan cara memvariasikan lama waktu penyinaran dari 15 menit sampai 120 menit dengan waktu berkala 15 menit.

Absorbansi *methylene blue* setelah didegradasi dengan metode fotosonolisis dengan variasi lama penyinaran 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, dan 120 menit menunjukkan semakin lama waktu penyinaran, absorbansi yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini menunjukkan

persentase degradasi *methylene blue* semakin besar. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan %D larutan *methylene blue* yang paling tinggi yaitu 94,55% pada waktu 120 menit dan yang paling rendah pada waktu 15 menit dengan %D adalah 73,23%. Adapun kurva pengaruh lama penyinaran terhadap persentase degradasi *methylene blue* dapat dilihat pada Gambar 1.



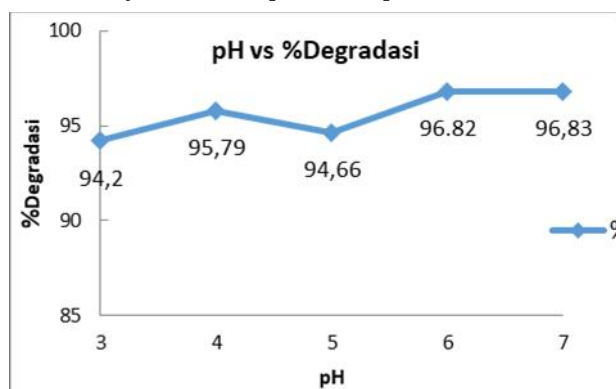
Gambar 1. Kurva Pengaruh Lama Penyinaran terhadap Degradasi Larutan *Methylene Blue* Menggunakan Katalis ZnO dengan Metode Fotosonolisis.

Gambar 1 memperlihatkan pengaruh lama penyinaran terhadap persentase *methylene blue* yang terdegradasi. Persentase *methylene blue* yang terdegradasi terlihat semakin meningkat seiring dengan bertambahnya lama waktu penyinaran, karena semakin banyak foton yang mengenai katalis ZnO, sehingga jumlah radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang dihasilkan semakin bertambah. Radikal $\bullet\text{OH}$ ini yang akan menyerang molekul *methylene blue* dan mendegradasinya menjadi senyawa yang lebih sederhana [3]. Berdasarkan data diatas, menunjukkan bahwa pengaruh lama penyinaran maksimum degradasi *methylene blue* adalah 120 menit.

2. Penentuan Pengaruh Variasi pH

Pada penelitian ini pengaruh pH dipelajari terhadap larutan *methylene blue* 10 ppm dalam beberapa variasi pH yaitu 3, 4, 5, 6, dan 7 yang didegradasi secara fotosonolisis. Waktu yang digunakan untuk mendegradasi yakni selama 120 menit, yang merupakan waktu penyinaran maksimum yang diperoleh untuk mendegradasi *methylene blue*.

Persentase degradasi larutan *methylene blue* yang paling tinggi yaitu 96,83% pada pH 7 dan yang terendah 94,20% pada pH 3. Adapun kurva pengaruh pH terhadap persentase degradasi *methylene blue* dapat dilihat pada Gambar 2.

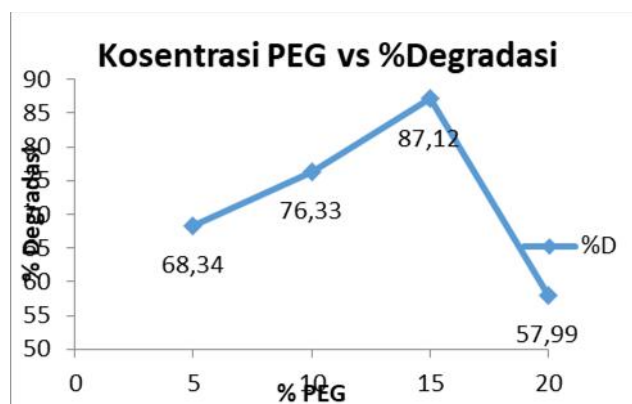


Gambar 2. Kurva Pengaruh pH terhadap Degradasi Larutan *Methylene Blue* Menggunakan Katalis ZnO dengan Metode Fotosonolisis.

Gambar 2 memperlihatkan pengaruh pH terhadap persentase *methylene blue* yang terdegradasi. Persentase degradasi mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan pH namun mengalami penurunan pada pH 5. Semakin tinggi nilai pH maka akan semakin banyak terbentuk ion OH^- yang akan mengakibatkan peningkatan jumlah radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang terbentuk. Banyaknya radikal hidroksil yang terbentuk mengakibatkan semakin banyak *methylene blue* yang akan terdegradasi [3].

3. Pengaruh konsentrasi doping PEG

Absorbansi *methylene blue* setelah didegradasi dengan metode fotosonolisis dengan variasi konsentrasi PEG 5, 10, 15, dan 20% menunjukkan bahwa penambahan PEG dengan konsentrasi 5% sampai 15% mengalami penurunan absorbansi dan kembali naik pada penambahan 20%. Adapun kurva pengaruh jumlah konsentrasi doping PEG terhadap persentase degradasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva Pengaruh Doping PEG Terhadap Degradasi Larutan *Methylene Blue* Menggunakan Katalis ZnO dengan Metode Fotosonolisis.

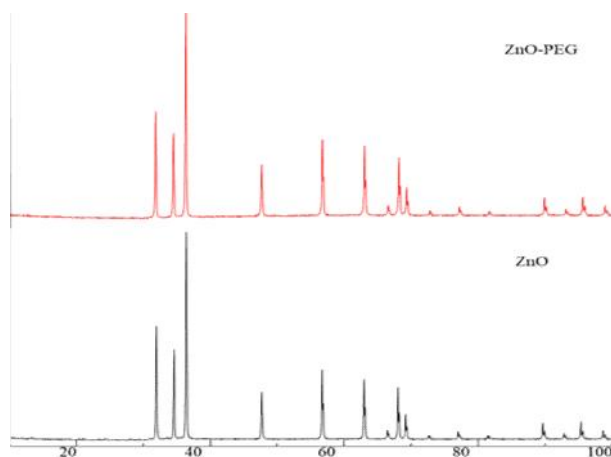
Gambar 3 menunjukkan peningkatan kenaikan persentase degradasi secara signifikan hingga penambahan PEG 15%, hal ini menunjukkan kemampuan katalis ZnO yang berkombinasi dengan PEG dapat bekerja secara bersamaan dalam proses degradasi sampel. Pada penambahan doping PEG 20%, terlihat penurunan persentase degradasi. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan PEG yang berlebih akan menyebabkan bagian sisi aktif dari katalis yang berkontak dengan sampel tidak mendapatkan penetrasi foton yang optimal dan memungkinkan akan terjadi rekombinasi

elektron dan *hole* sebelum sampai pada permukaan. Berdasarkan uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa penambahan doping PEG 15% merupakan konsentrasi doping PEG maksimum yang diperoleh dalam mendegradasi sampel *methylene blue* dengan persentase degradasi sebesar 87,12%.

B. Karakterisasi

1. Karakterisasi ZnO dan ZnO-PEG dengan XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mendapatkan informasi struktur dan ukuran kristal dari katalis ZnO dan ZnO-PEG.



Gambar 4. Difraktogram (a) ZnO- PEG dan (b) ZnO

Gambar 4 menunjukkan adanya puncak-puncak dengan intensitas tinggi dari sampel ZnO dan ZnO-PEG. Difraktogram ZnO dan ZnO-PEG ini dicocokkan dengan data ICDD (*International Center for Diffraction Data*). Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur kristal dari ZnO komersil adalah struktur *hexagonal* (*wurzite*).

Pola difraktogram yang diperoleh juga dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal (*crystallite size*) dari katalis ZnO dan ZnO-PEG berdasarkan nilai

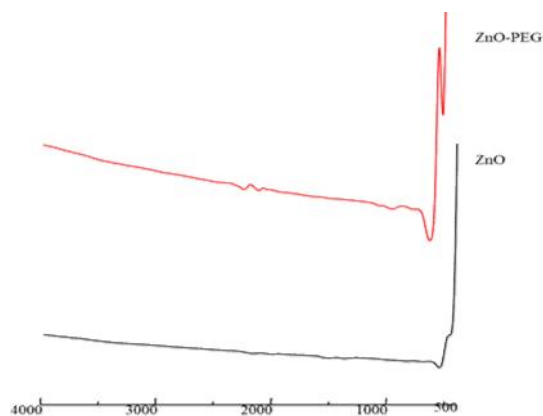
FWHM (*Full Width at Half Maximum*) pada berbagai puncak dengan menggunakan persamaan Scherrer.

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

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh ukuran kristal ZnO berkisar 48,90 – 81,32 nm dan ZnO-PEG berkisar 47,00 nm – 88,80 nm. Ukuran kristal ini tergolong kedalam kristal yang berukuran nanometer, karena ukuran kristalnya berkisar antara 0-100 nm. Penambahan polimer berupa *polyethilen glycol* (PEG) pada katalis ZnO menambah besar ukuran partikel kristal yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa katalis ZnO telah berhasil di doping dengan PEG

2. Karakterisasi ZnO dan ZnO-PEG dengan FTIR

Analisa FTIR dilakukan pada sampel katalis ZnO dan ZnO-PEG 15%. Sampel yang digunakan yang merupakan sampel katalis ZnO komersil dan ZnO-PEG yang dilihat dari doping PEG maksimum dari hasil fotodegradasi model limbah *methylene blue* secara fotosonolisis. Spektra FTIR dari katalis ZnO dan ZnO-PEG dapat dilihat pada Gambar 5.

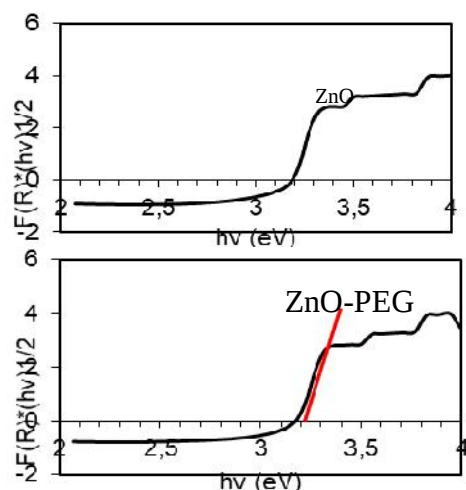


Gambar 5. Spektra FTIR dari ZnO dan ZnO-PEG.

Puncak serapan tajam pada bilangan gelombang $425,33 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan daerah regangan Zn-O. Penelitian yang dilakukan oleh [15], [14], dan [2] juga menyebutkan daerah renggangan Zn-O berada pada daerah bilangan gelombang $400\text{-}500 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $541,84 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tekuk O-H dari gugus hidroksil dan bilangan gelombang $877,97 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terbentuknya koordinasi tetrahedral dari Zn [6].

3. Analisis Band Gap ZnO dan ZnO-PEG dengan UV-DRS

Analisis dengan menggunakan UV-DRS hanya dilakukan pada sampel ZnO-PEG 15% yang merupakan sampel katalis ZnO-PEG maksimum yang dilihat dari hasil fotodegradasi model limbah *methylene blue* secara fotosonolisis. Grafik *band gap* dari ZnO dan ZnO-PEG terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik nilai *band gap* ZnO dan ZnO-PEG dengan menggunakan UV-DRS.

Nilai *band gap* dari semikonduktor dapat dihitung dengan menggunakan teori Kubelka-Munk. Nilai *band gap* dari ZnO dan ZnO-PEG dihitung dari spektra reflektan. Berdasarkan Gambar 11, terlihat nilai *band gap* yang diperoleh untuk ZnO $\sim 3,2 \text{ eV}$ dan ZnO-PEG $\sim 3,18 \text{ eV}$. Hal ini menunjukkan bahwa dengan pendopingan PEG pada katalis ZnO menurunkan nilai *band gap*. Akan tetapi, kecilnya nilai *band gap* yang diperoleh pada ZnO-PEG tidak memiliki korelasi dengan aktifitas fotokatalitik yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa.

1. Lama penyinaran maksimum yang diperoleh untuk mendegradasi *methylene blue* 10 ppm menggunakan katalis ZnO secara fotosonolisis adalah 120 menit, dengan persentase degradasi sebesar 94,55%.
2. Nilai pH maksimum yang diperoleh untuk mendegradasi *methylene blue* 10 ppm menggunakan katalis ZnO secara fotosonolisis adalah pH 7, dengan persentase degradasi sebesar 96,83%.
3. Konsentrasi doping PEG maksimum yang diperoleh untuk mendegradasi *methylene blue* 10 ppm secara fotosonolisis adalah 15%, dengan persentase degradasi sebesar 87,12%.

B. Saran

Disarankan bagi peneliti selanjutnya:

1. Untuk mempelajari pengaruh doping lainnya dalam mendegradasi zat warna (*dye*).

2. Untuk mempelajari proses degradasi zat warna lainnya dengan menggunakan metode fotosonolisis.
3. Untuk dapat mempelajari pengaruh jumlah katalis, konsentrasi larutan serta efektivitas proses degradasi zat warna.

Applied Catalyst B: Environmental. Vol 31.

Javed, R., Muhammad Usman., Saira Tabassum dan Muhammad Zia. 2016. Effect of Capping Agents: Structural, Optical and Biological Properties of ZnO Particles. Applied Surface Science. Researchgate.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah Mikrajuddin, Khairurrijal. 2008. *Nanopartikel Ceria yang Didop Neodimium untuk Aplikasi Solid Oxide Fuel Cell (SOFC)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Mun, Kian Lee., Chin W.L., Koh, S.N dan Joon, C. J. 2015. Recent Development of Zinc Oxide Based Photocatalyst in Water Treatment Technology: A Review. Water Research. Journal Elsevier. Vol 88.

Ayu. D.W., Ni Putu Diantariani., dan Sri Rahayu Santi. 2015. Pembuatan Komposit ZnO-Arang Aktif Sebagai Fotokatalis Untuk Mendegradasi Zat Warna Metilen Biru. Jurnal Kimia. Jurusan Kimia. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Udayana. Bali. Vol. 1. 109-116.

Palupi, Endang. 2006. Degradasi Methylene Blue Dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂. Bogor: FMIPA ITB.

Diantariani, N.P. Widihati, dan Ratih Megasari. 2014. Fotodegradasi Metilen Biru dengan Sinar Ultraviolet dan Katalis ZnO. Jurnal Kimia. Jurusan Kimia FMIPA. Universitas Udayana. Bali. Hal 137-143

Parshetti, G. K., Parshetti, S. G., Telke, A. A., dan 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.

George, Kyzas., Jie F., Kostas A. 2013. The Change from Past to Future for Absorbent Material in Treatment of Dyeing Wastewater. Journal MDPI. Vol 6.

Pratama, Rezki. 2012. Penentuan Kondisi Optimum Proses Degradasi Zat Warna Methylene Blue pada Reaktor Fotokatalitik TiO₂-PEG. Padang: FMIPA UNP.

Houas, A., Lachheb, H., Ksibi, M., dan Elaloui, E. 2001. Photocatalytic Degradation Pathway of Methylene Blue in Water. Journal Elsevier.

Rashid, M dan Chikashi Sato. 2011. Photolysis, Sonolysis, and Photosonolysis of Trichloroethane (TCA), Trichloroethylene (TCE), and Tetrachloroethylene (PCE) Without Catalyst. Journal Water Air Soil Pollutant. Vol 216. 429-440.

- Salehi, M., Hashemipour, H., Mirzaee, M., 2012. Eksperimental Study of Influencing Factors and Kinetics in Catalytic Removal of Methylene Blue with TiO₂ Nanopowder. American Journal of Environmental Engineering. Vol 2.
- Sistesya, DilladanSusantoHeri. 2013. Sifat Optis Lapisan ZnO: Ag yang Dideposisikan Diatas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD) dan Aplikasinya pada Degradasi Zat Warna Methylene Blue. Youngster Physics Journal. Vol 1.No. 4.
- Suwanbon. S. 2008. Structural and optical properties of nanocrystalline ZnO powder from sol-gel method. ScienceAsia, Vol.34. No. 1, pp. 31–34.
- Thirugnanam, T. 2013. Effect of Polymers (PEG and PVP) on Sol-Gel Synthesis of Microsize Zinc Oxide. Journal of Nanomaterial. Hindawi Publishing Corporation. Vol. 2013.