

FOTODEGRADASI FENOL MENGGUNAKAN KOMPOSIT Ag/ZnO YANG DISINTESIS DENGAN METODE KOPRESIPITASI

Ni Putu Diantariani* dan Ida Ayu Gede Widihati

Program Studi Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80361

**E-mail: putu_diantariani@unud.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian ini mengenai fotodegradasi fenol dengan menggunakan komposit Ag/ZnO yang disintesis dengan metode kopresipitasi. Penelitian yang dilakukan meliputi sintesis komposit Ag/ZnO, penentuan kondisi optimum fotodegradasi, penentuan efektivitas dan laju fotodegradasi fenol dengan menggunakan fotokatalis komposit Ag/ZnO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode kopresipitasi dapat menghasilkan komposit Ag/ZnO dengan persentase Ag dalam komposit sebesar 3,4%. Komposit Ag/ZnO yang dihasilkan mempunyai aktivitas fotokatalitik yang tinggi. Kondisi optimum proses fotodegradasi fenol dengan komposit Ag/ZnO yaitu menggunakan komposit Ag/ZnO sebanyak 50 mg, pH larutan fenol 7 dan diradiasi dengan sinar UV selama 8 jam. Efektivitas fotodegradasi fenol rata-rata dengan fotokatalis komposit Ag/ZnO pada kondisi optimum sebesar $(82,88 \pm 0,41)\%$.

Kata kunci : Fenol, komposit Ag/ZnO, fotokatalis

ABSTRACT

This research paper is about the photodegradation of phenol using composite Ag/ZnO synthesized by coprecipitation method. The study included synthesis of Ag/ZnO composite, the determination of optimum condition of photodegradation (pH, amount of photocatalyst and irradiation time), the effectivity of photodegradation, photodegradation rate and the reusability capacity of composite to degrade phenol. The result showed that coprecipitation method can produce Ag/ZnO composite with the Ag percentage of 3.4%. The synthesized Ag/ZnO composite showed high photocatalytic activity. The optimum condition of phenol photodegradation were photocatalyst amount of 40 mg, pH 7 and irradiation time of 8 hours. The effectivity of photocatalytic degradation of phenol at optimum conditions was $(82,88 \pm 0,41)\%$.

Keywords : Ag/ZnO composite, phenol, photocatalyst

PENDAHULUAN

Pencemaran perairan oleh fenol dan turunannya menjadi isu penting yang berkembang dalam beberapa tahun terakhir. Menurut penelitian yang dilakukan Winarno *et al.* (2006), kandungan fenol di beberapa lokasi perairan di Teluk Jakarta sudah melebihi batas ambang yang diizinkan pemerintah, yaitu 0,002 mg/L. Kandungan fenol pada air tanah dangkal pada jarak 1 – 375 meter dari TPA Sampah Suwung Kelurahan Pedungan Denpasar sudah tergolong dalam tingkatan tercemar berat, yaitu kandungannya mencapai 17,39 mg/L (Arbain, dkk, 2008). Penelitian yang dilakukan pada beberapa Danau di Indonesia pada bulan Maret-Juli 2011 juga menunjukkan kadar

fenol yang telah melebihi ambang batas, di mana kadarnya di Danau Tempe (Makasar) 0,009-0,03 mg/L, Danau Limboto (Makasar) 0,002-0,047 mg/L, Danau Singkarak (Sumatra Barat) 0,008-0,044 mg/L, dan Danau Rawa Pening (Jawa Tengah) 4,14-6,11 mg/L (Anonim, 2011).

Metode fotodegradasi menggunakan fotokatalis sangat potensial untuk menguraikan fenol menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana dan kurang toksik. Dalam penelitian ini akan digunakan fotokatalis ZnO karena memiliki berbagai keunggulan antara lain memiliki *band gap* yang lebar yaitu 3,37 eV (Pearton *et al.*, 2005, Kołodziejczak-Radzimska dan Jesionowski, 2014; Wang, 2015), cenderung murah dan memiliki

aktivitas fotokatalitik tinggi (Sakthivel, *et. al.*, 2003).

Kinerja fotokatalis ZnO dapat ditingkatkan dengan kombinasi ZnO dengan partikel logam mulia yang dikenal dengan komposit logam mulia/ZnO. Partikel logam mulia dapat meningkatkan kinerja fotokatalitik ZnO dengan menghambat rekombinasi dari pasangan *electron-hole* karena rekombinasi yang cepat dari pasangan *electron-hole* akan menurunkan efisiensi katalitik. Hambatan Schottky (*Schottky barrier*) pada antarmuka logam-semikonduktor dapat memisahkan elektron fotoinduksi dan *hole* secara efektif karena logam mulia dapat berfungsi sebagai penyerap elektron (*electron sinks*), sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya (Xu, *et al.*, 2013; Divband, *et al.*, 2013). Diantara semua logam mulia, perak mempunyai potensi yang sangat besar untuk meningkatkan aktivitas degradasi dari ZnO dan harganya paling murah (Simon, 2011).

Komposit Ag/ZnO dapat dibuat dengan beberapa metode antara lain metode kopresipitasi, metode sol-gel, teknik induksi hibrid dan pemanasan laser, fotoreduksi, fotolisis impregnasi, pirolisis semprot nyala, dan pirolisis semprot ultrasonik (Benhebal, *et al.*, 2012; Jazi, *et al.*, 2012). Dalam penelitian ini sintesis komposit Ag/ZnO dibuat dengan metode kopresipitasi karena metode ini mudah, sederhana dan ukuran partikel yang diperoleh lebih kecil dan seragam serta morfologi partikel lebih mudah dikontrol (Jazi, *et al.*, 2012).

Persentase Ag dalam komposit Ag/ZnO secara signifikan mempengaruhi jumlah senyawa organik yang terfotodegradasi oleh komposit. Persentase fotodegradasi untuk MB, MO, dan Orange G oleh komposit Ag/ZnO meningkat dengan bertambahnya kandungan Ag dalam komposit (Cheng, *et al.*, 2013; Gao, *et al.*, 2011; Amornpitoksuk, *et al.*, 2012). Berdasarkan latar belakang di atas maka dalam penelitian ini dilakukan sintesis komposit Ag/ZnO dengan metode kopresipitasi, selanjutnya komposit yang dihasilkan untuk mendegradasi fenol yang merupakan limbah yang sangat sukar didegradasi secara alami di alam.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah berkualitas pro analisis (p.a) yaitu : AgNO₃, Zn(NO₃)₂. 6 H₂O, Na₂CO₃, C₆H₅OH, NaOH, HCl, NH₄OH, KH₂PO₄, K₂HPO₄, 4-aminoantipirin, K₄Fe(CN)₆. Selain itu juga digunakan akuades, akuabides, dan kertas saring Whatman 42.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: alat-alat gelas, timbangan analitik, pH meter, pengaduk magnetik, pemanas, oven, tanur, vacuum water jet pump, reaktor radiasi, plastik hitam, lampu Philips TUV 15 W / G15 T8, spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu, X-Ray Fluorecence (XRF) merk PAN analytical Tipe Minipal 4, Scanning Electron Microscope (SEM) Merk FEI Type Inspect-S50 yang dilengkapi dengan EDX, dan X-Ray Diffraction (XRD).

Cara Kerja

Sintesis komposit Ag/ ZnO

Metode sintesis yang digunakan adalah metode Jazi, *et. al.*, 2012 dengan memodifikasi konsentrasi reaktan. Sebanyak 50 mmol Zn(NO₃)₂. 4H₂O dan 1,57 mmol AgNO₃ dilarutkan dengan akuabides hingga volumenya 50 mL dan dihomogenkan. Larutan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL dan ditambahkan 125 mL larutan Na₂CO₃ 0,5 M dengan cara penetesan melalui corong dengan kecepatan 2 mL/menit. Selama reaksi berlangsung diaduk dengan kuat pada suhu kamar dan terus diaduk selama 15 menit setelah reagen Na₂CO₃ 0,5 M habis ditetaskan. Endapan perak dan seng karbonat yang terbentuk dibiarkan semalam. Selanjutnya endapan dicuci sampai pH filtrat sama dengan pH akuabides dan kemudian disaring dengan kertas whatman 42 menggunakan penyaring vacuum. Selanjutnya endapan dikeringkan angin semalam. Endapan digerus kemudian diayak dengan ayakan 200 mesh. Serbuk yang lolos 200 mesh ini kemudian di oven suhu 110°C selama 2 jam. Setelah kering endapan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam. Komposit Ag/ZnO yang terbentuk dari hasil kalsinasi didinginkan kemudian disimpan dalam desikator untuk penelitian lebih lanjut.

Penentuan jumlah komposit Ag/ZnO optimum dalam fotodegradasi

Enam buah gelas beker 250 mL diisi 100 mL larutan fenol 50 ppm dan ditambahkan komposit Ag/ZnO sebanyak 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 mg. Gelas beker yang telah berisi campuran fenol dan komposit dimasukkan ke reaktor. Selanjutnya campuran diradiasi dengan lampu UV selama 5 jam, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, suspensi disaring dan filtrat diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum fenol.

Penentuan pH optimum fotodegradasi

Tujuh buah gelas beker 250 mL diisi 100 mL larutan fenol 50 ppm dan ditambahkan komposit Ag/ZnO pada jumlah optimumnya. Keenam larutan tersebut diatur pHnya dari 4, 5, 6, 7, 8, 10, dan 11. Kemudian gelas beker yang telah berisi campuran fenol dan komposit diradiasi dengan sinar UV selama 5 jam, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, filtrat dari masing-masing perlakuan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum fenol.

Penentuan waktu optimum fotodegradasi

Delapan buah gelas beker 250 mL diisi 100 mL larutan fenol 50 ppm, ditambahkan komposit Ag/ZnO pada jumlah optimumnya, kemudian pHnya diatur pada pH optimum yang diperoleh pada prosedur di sebelumnya. Selanjutnya gelas yang telah berisi campuran fenol dan komposit diradiasi dengan sinar UV masing-masing selama 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 jam, sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Kemudian filtrat masing-masing perlakuan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum fenol.

Penentuan efektivitas proses fotodegradasi

Tiga buah gelas beker 100 mL diisi 50 mL larutan fenol 50 ppm, ditambahkan komposit Ag/ZnO pada jumlah optimumnya, kemudian pHnya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker yang telah berisi campuran fenol dan komposit diradiasi dengan sinar UV selama waktu optimum sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, filtrat masing-masing perlakuan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum fenol. Absorbansi yang diperoleh

kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan fenol, sehingga diperoleh konsentrasi fenol. Efektivitas fotodegradasi fenol dengan bahan fotokatalis komposit Ag/ZnO dan sinar UV dapat ditentukan dengan perhitungan persentase degradasi (% D).

Penentuan efektivitas proses fotodegradasi

Tiga buah gelas beker 100 mL diisi 50 mL larutan fenol 50 ppm, ditambahkan komposit Ag/ZnO pada jumlah optimumnya, kemudian pHnya diatur pada pH optimum. Selanjutnya gelas beker yang telah berisi campuran fenol dan komposit diradiasi dengan sinar UV selama waktu optimum sambil diaduk dengan pengaduk magnetik. Setelah proses radiasi, filtrat masing-masing perlakuan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum fenol. Absorbansi yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear larutan fenol, sehingga diperoleh konsentrasi fenol. Efektivitas fotodegradasi fenol dengan bahan fotokatalis komposit Ag/ZnO dan sinar UV dapat ditentukan dengan perhitungan persentase degradasi (% D).

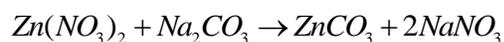
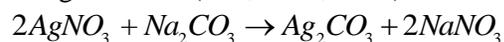
Analisis Fenol dengan Spektrofotometer UV-Vis.

Sebanyak 50 mL filtrat hasil fotodegradasi dimasukkan ke dalam gelas beker. Filtrat ditambahkan 2,5 mL larutan NH₄OH 0,5 N dan pHnya diatur menjadi $7,9 \pm 0,1$ dengan penambahan larutan penyangga fosfat. Selanjutnya ditambahkan 1 mL larutan aminoantipirin sambil diaduk, ditambahkan 1 mL larutan kalium ferisianida sambil diaduk, didiamkan sampai terbentuk warna merah stabil. Larutan dimasukkan ke dalam kuvet pada alat spektrofotometer, dan dibaca absorbansi pada panjang gelombang maksimum fenol.

HASIL DAN PEMBAHASAN

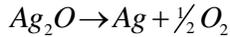
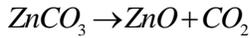
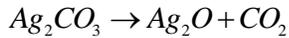
Komposit Ag/ZnO

Reaksi yang terjadi pada sintesis komposit Ag/ZnO dengan metode kopersipitasi adalah sebagai berikut (Jazi, *et al.*, 2012) :



Endapan perak karbonat dan seng karbonat yang terbentuk dikeringkan dalam oven suhu

110°C, selanjutnya endapan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 4 jam untuk merubah perak karbonat dan seng karbonat menjadi komposit Ag/ZnO, dengan reaksi berikut (Jazi, *et. al.*, 2012):



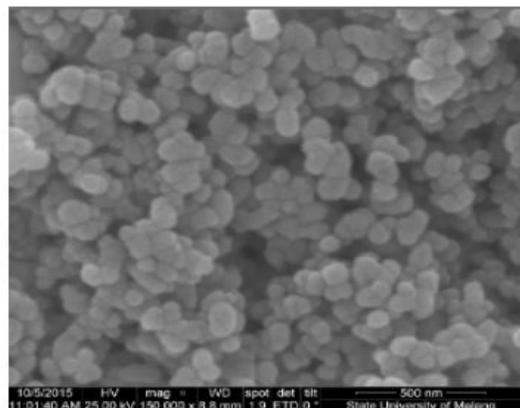
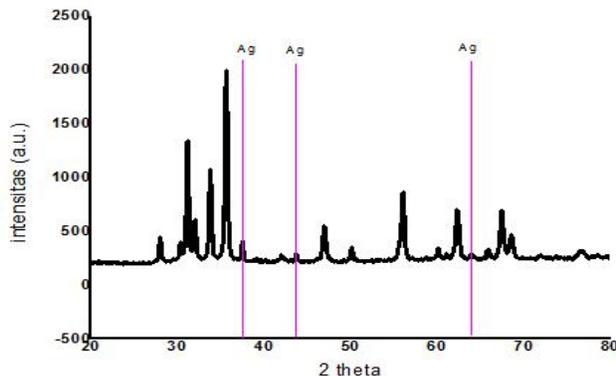
Berdasarkan pola difraksi sinar X (XRD), ZnO hasil sintesis mempunyai struktur Wurtzite heksagonal yang ditunjukkan oleh adanya puncak-puncak khas pada 2θ 31,09°; 33,76° dan 36,60°. Puncak-puncak difraksi juga menunjukkan adanya Ag dengan struktur *face centre cubic (fcc)* pada 2θ 37,84°; 43,76° dan 63,88°. Data analisis semikuantitatif dengan XRF menunjukkan persentase Ag dalam komposit Ag/ZnO sebesar 3,4 %. Sementara karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa komposit Ag/ZnO berbentuk bulat dan bergerombol seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

Jumlah komposit Ag-ZnO optimum dalam fotodegradasi fenol

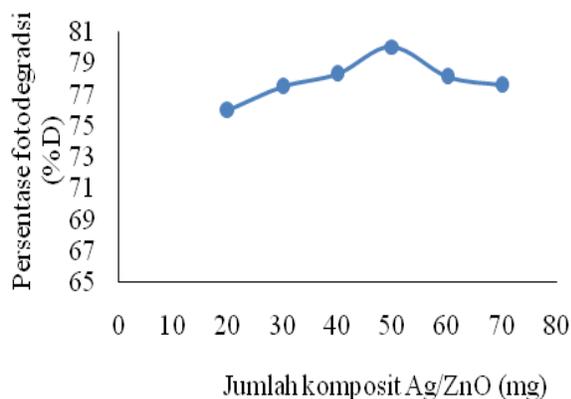
Penentuan jumlah komposit Ag/ZnO optimum dalam proses fotodegradasi fenol dilakukan dengan memvariasikan jumlah komposit Ag/ZnO, yaitu 20, 30, 40, 50, 60 dan 70 mg. Untuk mengetahui jumlah komposit Ag/ZnO optimum dalam proses fotodegradasi fenol dilakukan dengan membuat kurva hubungan antara jumlah

komposit Ag/ZnO sebagai sumbu x dengan persentase fotodegradasi sebagai sumbu y. Kurva yang diperoleh pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

Pada awal kurva pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa penambahan jumlah komposit Ag/ZnO yang semakin banyak, semakin meningkatkan persentase fenol yang terdegradasi, dimana persentase fotodegradasi maksimum dicapai pada penambahan komposit 50 mg. Namun selanjutnya penambahan jumlah komposit Ag/ZnO yang lebih besar dari 50 mg justru menurunkan persentase fotodegradasi fenol. Hal ini karena penambahan jumlah komposit yang berlebihan, sebagian komposit hanya menyebabkan kekeruhan pada larutan yang menghalangi sinar UV masuk lebih jauh ke larutan sehingga mengurangi jumlah elektron (e^-_{cb}) dan *hole* (h^+_{vb}) yang dihasilkan oleh fotokatalis komposit dan akibatnya jumlah fenol yang terdegradasi juga tidak maksimal. Dengan demikian jumlah komposit Ag/ZnO sebesar 50 mg adalah jumlah optimum yang dapat ditambahkan untuk mendegradasi 100 mL larutan fenol 50 ppm. Sampai batas maksimal jumlah fotokatalis 50 mg ini, persentase degradasi (%D) fenol yang terdegradasi semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya jumlah permukaan fotokatalis yang menyediakan radikal anion superoksida dan radikal hidroksil yang dapat mendegrasi fenol.



Gambar 1. Pola difraksi sinar X dan foto SEM komposit Ag/ZnO

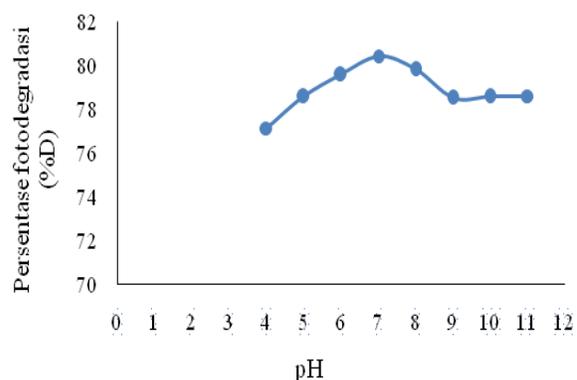


Gambar 2. Kurva hubungan antara jumlah komposit Ag/ZnO (mg) terhadap persentase fenol yang terdegradasi (%D)

Pada proses fotokatalisis, ketika permukaan fotokatalis dikenai sinar ultraviolet (UV) dengan energi foton yang sama atau lebih tinggi dari energi celah pita, elektron yang ada pada pita valensi tereksitasi ke pita konduksi sehingga meninggalkan lubang pada pita valensi. Elektron fotogenerasi pada pita konduksi (e^-_{cb}) ini bereaksi dengan oksigen menghasilkan radikal anion superoksida ($\cdot O_2^-$) sedangkan lubang pada pita valensi (h^+_{vb}) bereaksi dengan molekul air menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot OH$). Kedua radikal inilah yang berperan untuk mendegradasi fenol. Namun pada proses fotokatalisis sebagian dari elektron pada pita konduksi dan lubang pada pita valensi bergabung kembali sebelum sempat bereaksi menghasilkan radikal anion superoksida ataupun radikal hidroksil. Peristiwa rekombinasi ini tentunya mengurangi aktivitas fotokatalitik dari fotokatalis (Lachheb, *et al.*, 2002, Han *et al.*, 2013; Sinde *et al.*, 2011). Adanya nanopartikel Ag (Ag NPs) dalam komposit Ag/ZnO meningkatkan segregasi muatan dan mencegah rekombinasi dari pasangan *electron-hole* ini, dimana Ag NPs ini bertindak sebagai *electron sinks* yang memerangkap elektron dari pita konduksi sehingga mencegah rekombinasi elektron dengan lubang (Divband *et al.*, 2013; Trandafilovic *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015). Dengan demikian pembentukan radikal anion superoksida ataupun radikal hidroksil semakin optimal dan persentase fenol yang terdegradasi juga semakin banyak.

Pengaruh pH terhadap fotodegradasi fenol

pH mempunyai pengaruh yang signifikan pada kecepatan fotodegradasi fenol dalam proses fotokatalitik. Pengaruh pH diteliti dalam rentang pH 4-11 yang diatur dengan menambahkan sejumlah kecil HCl atau NaOH sebelum radiasi. Berdasarkan hasil penelitian yang diperlihatkan pada Gambar 3, persentase fotodegradasi fenol meningkat dari pH 4 sampai 7 dan setelah itu mengalami penurunan.

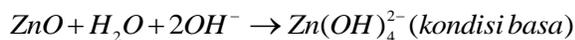
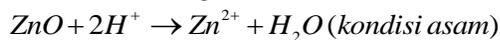


Gambar 3. Kurva hubungan antara pH larutan terhadap persentase fotodegradasi fenol

Pengaruh pH pada fotodegradasi fenol oleh semikonduktor oksida ZnO berhubungan dengan *pH zero point charge* (pHzpc) ZnO dan pKa fenol. Nilai pH dari permukaan ZnO yang tidak bermuatan (pHzpc ZnO) adalah 9,3 sedangkan pKa fenol adalah 9,9 (Sin *et al.*, 2013). Pada $pH < pHzpc$, permukaan ZnO bermuatan positif sedangkan $pH > pHzpc$ permukaan ZnO bermuatan negatif.

Dalam kondisi asam, efisiensi fotodegradasi fenol oleh fotokatalis komposit Ag/ZnO rendah. Dalam kondisi asam, permukaan komposit Ag/ZnO bermuatan positif, sementara fenol mengalami protonasi sehingga akan menghalangi adsorpsi fenol pada permukaan komposit. Terhalangnya adsorpsi fenol pada permukaan komposit, menyebabkan degradasi fenol oleh komposit Ag/ZnO juga terhalangi sehingga persentase fotodegradasi rendah (Meshram, *et al.*, 2011). Di samping itu pada kondisi asam kuat, ZnO juga mudah mengalami disosiasi menghasilkan ion Zn^{2+} , sedangkan dalam kondisi basa kuat terdisosiasi menghasilkan $Zn(OH)_4^{2-}$ sehingga mengurangi efisiensi katalitik

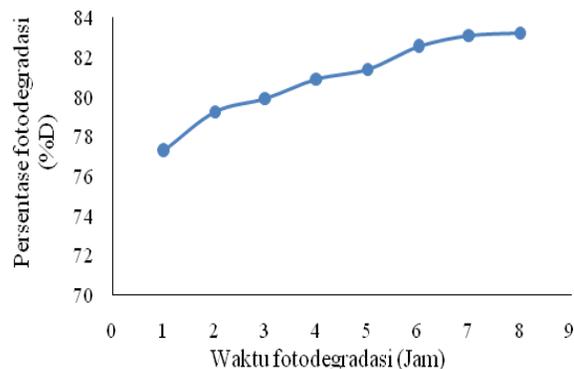
dari komposit pada kondisi tersebut. Reaksi disosiasi ZnO dalam suasana asam kuat dan basa kuat adalah sebagai berikut (Sin, *et al.*, 2013):



Efisiensi fotodegradasi fenol oleh komposit Ag/ZnO juga dipengaruhi oleh ion disosiasi yang berasal dari zat pengatur pH yaitu HCl dan NaOH. Ion disosiasi dari pengatur pH ini dapat berkompetisi dengan molekul fenol pada permukaan Ag/ZnO. Pada kondisi asam, ion Cl⁻ dari HCl mungkin teradsorpsi pada permukaan Ag/ZnO sehingga mengurangi jumlah fenol yang dapat terdegradasi. Di sisi lain, pada kondisi basa, terjadi adsorpsi kompetitif fenol dan ion dari NaOH pada permukaan Ag/ZnO sehingga menurunkan aktivitas fotokatalitik ZnO terhadap fenol. Selain itu, pada pH tinggi (pH > pHzpc dari ZnO), permukaan komposit Ag/ZnO bermuatan negatif sehingga anion fenolat (C₆H₅O⁻) ditolak oleh permukaan fotokatalis dan menghalangi fotodegradasi fenol pada permukaan komposit Ag/ZnO (Sin, *et al.*, 2013). Pada pH sekitar 6-8, hanya sedikit menambahkan HCl atau NaOH untuk mengatur pH karena larutan fenol yang digunakan mempunyai pH sekitar 7, sehingga daya tarik elektrostatik antara muatan positif ZnO dengan anion fenolat tidak dipengaruhi oleh ion disosiasi zat pengatur pH dan menyebabkan efisiensi degradasi fotokatalitik fenol oleh komposit Ag/ZnO maksimal. Persentase fotodegradasi maksimum terjadi pada pH 7, sehingga pH 7 dipakai sebagai pH kondisi optimum fotodegradasi fenol oleh komposit Ag/ZnO.

Pengaruh waktu terhadap fotodegradasi fenol

Untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap jumlah fenol yang terdegradasi dilakukan dengan memvariasikan waktu reaksi, yaitu 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 jam. Dari data yang diperoleh dibuat kurva dengan menghubungkan waktu reaksi larutan fenol dengan persentase fotodegradasi (%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



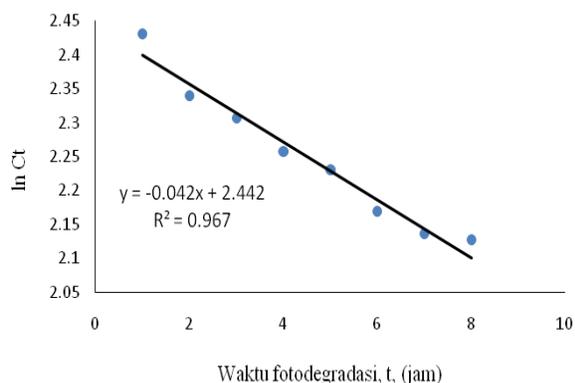
Gambar 4. Kurva hubungan antara waktu fotodegradasi (jam) terhadap persentase fotodegradasi fenol (%D)

Kurva diatas menunjukkan bahwa persentase fotodegradasi (%D) fenol semakin meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu fotodegradasi. Semakin lama komposit Ag/ZnO disinari sinar ultraviolet, semakin banyak jumlah radikal anion superoksida ($\cdot\text{O}_2^-$) dan hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang terbentuk sehingga semakin banyak juga jumlah fenol yang mengalami fotodegradasi. Dalam penelitian ini, waktu fotodegradasi sampai 8 jam, jumlah fenol yang terdegradasi masih meningkat namun peningkatan lebih kecil dibandingkan waktu sebelumnya. Pada waktu fotodegradasi 8 jam, komposit Ag/ZnO mampu mendegradasi fenol sebesar 83,22%.

Laju Fotodegradasi Fenol

Penentuan konstanta laju fotodegradasi fenol menggunakan data pengaruh waktu reaksi terhadap jumlah fenol yang terdegradasi. Data yang diperoleh dibuat kurva hubungan $\ln [C]$ vs t (waktu), dimana harga *slope* dari kurva merupakan tetapan laju reaksi (k). Kurva hubungan $\ln [C]$ vs t (waktu) diperlihatkan pada Gambar 5.

Persamaan laju fotodegradasi fenol dengan komposit Ag/ZnO adalah $y = -0.0428x + 2,4422$. Nilai *slope* dari persamaan laju merupakan negatif dari konstanta laju fotodegradasi ($-k$). Dengan demikian, nilai tetapan laju fotodegradasi fenol dengan fotokatalis komposit Ag/ZnO adalah $0,0428 \text{ jam}^{-1}$.



Gambar 5. Kurva laju fotodegradasi fenol dengan fotokatalis komposit Ag/ZnO

Efektivitas Fotodegradasi

Efektivitas proses fotodegradasi fenol dilakukan dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Fenol diberi perlakuan pada kondisi optimum yang diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya dengan menambahkan komposit Ag/ZnO sebanyak 50 mg, diatur pada pH 7 dan diradiasi dengan sinar UV selama 8 jam. Efektivitas fotodegradasi fenol rata-rata dengan fotokatalis komposit Ag/ZnO sebesar $(82,88 \pm 0,41)\%$. Dari nilai persentase fotodegradasi ini, fotokatalis komposit Ag/ZnO ini lebih efektif dalam mendegradasi fenol 50 ppm dibandingkan dengan fotokatalis ZnO yang diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Permata, dkk. (2016) yaitu hanya sebesar $63,53 \pm 49\%$. Adanya Ag NPs dalam komposit Ag/ZnO terbukti mampu meningkatkan efektivitas fotodegradasi dari fotokatalis komposit Ag/ZnO dibandingkan dengan fotokatalis ZnO.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Metode presipitasi dapat menghasilkan komposit Ag/ZnO yang berbentuk bulat bergerombol (*clustered spherical shape*) dengan persentase Ag dalam komposit sebesar 3,4%. Hasil difraksi sinar X menunjukkan ZnO dengan struktur Wurtzite heksagonal dan Ag dengan struktur *face center cubic* (fcc). Komposit Ag/ZnO yang dihasilkan mempunyai aktivitas fotokatalitik yang tinggi. Kondisi optimum proses fotodegradasi fenol dengan komposit Ag/ZnO yaitu dengan menggunakan komposit Ag/ZnO sebanyak 50 mg,

pH larutan fenol 7 dan diradiasi dengan sinar UV selama 8 jam. Laju fotodegradasi fenol dengan fotokatalis komposit Ag/ZnO sebesar $0,0428 \text{ jam}^{-1}$ dan efektivitas fotodegradasinya pada kondisi optimum sebesar $(82,88 \pm 0,41)\%$.

Saran

Dari penggunaan di lapangan limbah fenol seringkali bercampur dengan polutan yang lain, oleh karena itu perlu dikaji bagaimana pengaruh polutan lain ini terhadap kemampuan fotodegradasi Ag/ZnO terhadap fenol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LPPM Universitas Udayana yang telah memberikan dana penelitian melalui Penelitian Produk Terapan dana RISTEKDIKTI tahun 2016 dengan kontrak nomor: 486.65/UN14.2/PNL.01.03.00/2016.

DAFTAR PUSTAKA

- 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, *Powder Technology*, 219: 158–164
- Anonim, 2011, *Laporan Pemantauan Kualitas Air Danau di Indonesia*, PUSARPEDAL Kementerian Lingkungan Hidup, Serpong
- Arbain, NK Mardana, IB Sudana, 2008, Pengaruh Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Suwung terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal di Sekitarnya di Kelurahan Pedungan Kota Denpasar, *Ecotrophic*, 3 (2): 55-60
- Cheng, Y., An, L., Lan, J., Gao, F., Tan, R., Li, X., Wang, G., 2013, Facile synthesis of pompon-like ZnO-Ag nanocomposites and their enhanced photocatalytic performance, *Materials Research Bulletin*, 48: 4287–4293
- Divband, B., Khatamian, M., Eslamian, G. R. K. & Darbandi, M., 2013, Synthesis of Ag/ZnO nanostructures by different methods and

- investigation of their photocatalytic efficiency for 4-nitrophenol degradation. *Appl. Surf. Sci.*, 284: 80–86
- Gao, S., Jia, X., Yang, S., Li, Z., Jiang, K., 2011, Hierarchical Ag/ZnO micro/nanostructure: Green synthesis and enhanced photocatalytic performance, *Journal of Solid State Chemistry*, 184: 764–769
- Jazi, F. S., Parvina, N., Rabiei, M., Tahriri, M., Shabestari, Z. M., and Azadmehr, A. R., 2012, The effect of the synthesis route on the grain size and morphology of ZnO/Ag Nanocomposite, *Journal of Ceramic Processing Research*, 13(5): 523-526
- Kołodziejczak-Radzimska, A. & Jesionowski, T., 2014, Zinc Oxide—From Synthesis to Application: A Review. *Materials (Basel)*, 7: 2833–2881
- Meshram, S., Limaye, R., Ghodke, S., Nigam, S., Sonawane, S., Chikate, R., 2011, Continuous flow photocatalytic reactor using ZnO-bentonite nanocomposite for degradation of phenol, *Chemical Engineering Journal*, 172: 1008-1015
- Nezamzadeh-Ejhi, A., Khorsandi, S., 2014, Photocatalytic degradation of 4-nitrophenol with ZnO supported nanoclinoptilolite zeolite, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20: 937-946
- Pearton, S. J., Norton, D. P. & Ip, K., 2005, Recent progress in processing and properties of ZnO, *Progress in Materials Science*, 50: 293–340
- Permata, D.S., Diantariani, N.P, Widihati, I.A.G., 2016, Degradasi fotokatalitik fenol menggunakan fotokatalis ZnO dan sinar UV, *Jurnal Kimia Universitas Udayana*, 10 (2): 263-269
- Sakthivel S., B. Neppolian, M. V. Shankar, B. Arabindoo, M. Palanichamy, and M. Murugesan. 2003. Solar Photocatalytic Degradation of Azo Dye: Comparison of Photocatalytic Efficiency of ZnO and TiO₂. *Solar Energy Material and Solar Cells.*, 77: 65 – 82
- Simon, et. al., 2011, Plasma-assisted synthesis of Ag/ZnO nanocomposites: First example of photo-induced H₂ production and sensing, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 15527-15537
- Sin, J.C, Lam, S.M., Lee, K.T., Mohamed, A.R., 2013, Preparation and photocatalytic properties of visible light-driven samarium-doped ZnO nanorods, *Ceramics International*, 39: 5833-5843
- Winarno, E. K., Andayani, W., and Sumartono, A., 2006, Distribution of Surfactant and Phenol in Coastal Waters of Jakarta Gulf, *Indo. J. Chem.*, 6 (3): 251 – 255
- Wang, Z. L., 2015, Splendid One-Dimensional Nanostructures of Zinc Oxide: A New Nanomaterial Family for Nanotechnology, *ACS Nano*, 2: 1987–1992
- Xu, F., Yuan, Y., Wu, D., Zhao, M., Gao, Z., Jiang, K., 2013, Synthesis of ZnO/Ag/graphene composite and its enhanced photocatalytic efficiency. *Mater. Res. Bull.*, 48: 2066–2070