

**DEGRADASI ZAT WARNA PADA AIR GAMBUT
MENGUNAKAN METODE FOTOKATALITIK ZnO**
*DEGRADATION COLOR SUBSTANCES IN PEAT WATER USING
PHOTOCATALYTIC ZnO*

Fatimah Juhra* dan Suprihanto Notodarmojo

Program Magister Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil Dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung Jl. Ganesha no. 10 40132

Bandung Jawa Barat

Email : fatimahzuhra28@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang degradasi intensitas zat warna air gambut dengan fotokatalis ZnO. Air di wilayah gambut merupakan sumber air baku potensial untuk diolah menjadi air bersih, terutama di daerah pedalaman Kalimantan, Sumatera dan Papua. Penelitian ini merupakan proses post-treatment yang mana sebelumnya air gambut telah melewati proses pre-treatment dengan penentuan jumlah optimum fotokatalis ZnO, pH optimum dan konstanta laju reaksi (k). Hasil penelitian Pada proses fotokatalis menunjukkan bahwa kondisi optimum proses degradasi intensitas zat warna pada air gambut memerlukan 0,5 g/L katalis ZnO, pH 4 dan waktu radiasi sinar UV selama 120 menit. Konstanta laju fotodegradasi intensitas zat warna sebesar 0,0209 menit⁻¹ dengan persentase degradasi sebesar 20,54 %. Metode fotokatalis ZnO dapat digunakan sebagai metode yang tepat untuk proses post-treatment air gambut yang memiliki konsentrasi warna tinggi yaitu sekitar 500 Pt.Co.

Kata kunci: Air gambut, Fotokatalis, ZnO

ABSTRACT

Has done research on the degradation of color substances in peat water with photocatalysts ZnO process. Water in Peat area is a potential source of raw water to be processed into clean water, especially in rural areas of Kalimantan, Sumatera and Papua. This study is post treatment to determine the optimum dose of ZnO photocatalyst, optimum pH and the reaction rate constant (k). Photocatalysts process showed that the optimum condition of color substance degradation in peat water requires 0,5 g/L ZnO, pH 4 and UV radiation for 120 minutes. Photodegradation rate constant of 0,0209 min⁻¹ and the percentage of degradation is 20,54%. ZnO photocatalyst method can be used as an appropriate method to post-treatment process water peat has a high color concentration is about 500 Pt.Co.

Key Words: Peat water, photocatalytic, ZnO

1. PENDAHULUAN

Sumber air bersih saat ini sulit didapatkan sedangkan populasi manusia semakin bertambah sehingga kebutuhan air bersih meningkat. Salah satu sumber daya air di Indonesia adalah air gambut, Indonesia memiliki lahan gambut terluas di antara negara tropis, yaitu sekitar 21 juta ha,

yang tersebar terutama di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Di Kalimantan sebaran air gambut terdapat di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Saat ini sebagian besar lahan gambut dimanfaatkan dalam bidang pertanian. Masyarakat yang mendiami wilayah gambut masih kesulitan dalam mendapatkan air bersih karena air gambut bersifat asam dan berwarna cokelat. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air mendefinisikan air gambut tidak layak di konsumsi sehingga harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar menjadi layak di konsumsi.

Telah banyak metode yang digunakan dalam pengolahan air gambut namun masih kurang efektif. Seperti pada penggunaan metode adsorpsi yang kurang efektif karena zat warna yang diadsorpsi akan terakumulasi dengan adsorben sehingga dapat menimbulkan masalah baru (Wijaya, et al, 2006). Metode lumpur aktif juga kurang efektif karena beberapa jenis zat warna memiliki sifat yang resisten untuk didegradasi secara biologis (Nandiyanto, 2008). Banyaknya kelemahan metode yang dilakukan dalam pengolahan air, maka diperlukan alternatif pengolahan yang murah dan mudah dengan mengembangkan metode fotodegradasi menggunakan semikonduktor fotokatalis dan sinar ultraviolet.

Bahan fotokatalis yang sering digunakan adalah TiO_2 , ZnO dan Fe_2O_3 . Saat ini penggunaan fotokatalis seperti TiO_2 adalah yang paling sering digunakan pada beberapa penelitian. Penelitian Jayadi, et al 2014 menggunakan Fotokatalis TiO_2 untuk mendegradasi zat warna pada air gambut. Namun semikonduktor ZnO memiliki keuntungan dibandingkan TiO_2 karena ZnO mampu menyerap spektrum matahari dan kuantum cahaya lebih banyak dibandingkan dengan TiO_2 (Hutabarat, 2012). Material ZnO juga memiliki jarak celah pita atau band gap (E_g) yang lebih besar (3,4 eV) daripada TiO_2 sebesar 3,2 eV (Singh, 2009). Fotokatalis telah berhasil digunakan untuk mengoksidasi berbagai macam pencemaran senyawa organik dengan proses oksidasi lanjutan dan Oksida logam heterogen seperti ZnO memiliki potensi untuk mendegradasi senyawa organik dari perairan lingkungan dengan menggunakan pancaran cahaya sinar UV (Antoine, 2012).

Fotokatalis ZnO telah banyak digunakan untuk mendegradasi intensitas zat warna dan asam humat, seperti pada penelitian Oskoei, dkk (2016) dan Taghi, dkk (2014) melakukan penelitian penyisihan asam humat dari larutan dengan menggunakan UV/ ZnO yang menghasilkan persen penyisihan asam humat yaitu 98,95% dan 70 %.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian degradasi zat warna pada air gambut dengan fotodegradasi menggunakan semikonduktor fotokatalis ZnO dengan menggunakan sinar UV. Penggunaan fotokatalis dalam mendegradasi zat warna pada air gambut belum banyak dilaporkan dalam literatur walaupun proses ini dapat digunakan sebagai proses *post-treatment* yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi untuk pengolahan air gambut menjadi air bersih dengan mendegradasi intensitas zat warna.

2. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnetik stirer, spektrofotometer, pH meter, Turbidity meter, alat gelas, sentrifugasi, stopwatch. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain air gambut, ZnO , larutan induk Pt.Co .

Identifikasi Warna Air Gambut

Kurva Kalibrasi Larutan Standar Pt.Co

Warna air gambut diukur dengan alat spektrofotometer pada panjang gelombang 400 nm larutan standar. Dari hasil pengukuran dibuat kurva standar antara absorbansi terhadap konsentrasi warna (Pt.Co). Kurva standar dibuat dengan mengukur absorbansi larutan standar pada panjang gelombang, $\lambda = 400$ nm.

Prosedur Penelitian

Eksperimen fotokatalis dilakukan setelah kondisi optimum proses pre- treatment koagulasi. Didapatkan, 500 mL air gambut yang telah melewati tahap koagulasi dilanjutkan ke tahap post treatment yaitu fotokatalis yang kemudian diaduk dengan katalis ZnO dan proses oksidasi dengan sinar lampu UV A selama 120 menit. Proses ini untuk menentukan kondisi optimum pada proses fotodegradasi intensitas zat warna. Diuji tingkat dan rentang variabel untuk mendapatkan hasil yang optimal pada reaktor fotokatalis.

Karakteristik Kimia Katalis

Karakterisasi katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah XRD, BET dan FTIR. Tujuannya adalah untuk mengetahui ukuran pori katalis, luas permukaannya dan gugus fungsi pada katalis sebelum dan setelah proses fotokatalis.

Percobaan Optimasi Fotokatalis

Variasi pH

Menurut Ali and Siew (2006) pH berperan untuk mengkarakterisasi air yang akan diolah dan menghasilkan radikal hidroksi. Radikal hidroksi ini memiliki kereaktifan yang tinggi dalam mengoksidasi reagen sehingga dengan meningkatnya jumlah radikal hidroksi maka semakin banyak intensitas zat warna yang akan terdegradasi. Variasi pH pada penelitian ini menggunakan pH setelah koagulasi (kondisi asam), 7 dan 10 dengan tujuan mewakili kandungan asam, netral dan basa pada air gambut.

Variasi Berat Katalis

Menurut Qourzal, et al., (2009) Jumlah katalis yang digunakan juga perlu dipelajari karena penambahan jumlah katalis akan meningkatkan reaksi fotokatalisis. Akan tetapi penambahan katalis yang berlebih dapat menurunkan aktivitas katalis dalam membentuk radikal hidroksi. Sehingga dilakukan variasi dosis pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan katalis ZnO pada dosis (0,2; 0,5; 0,8 g/L).

Pengukuran Analitis

Terdapat lima parameter yang dianalisis yaitu kekeruhan, TSS, TDS, intensitas zat warna dan pH. Kekeruhan diukur dengan menggunakan turbidimeter jenis TurbiCheck (Lovibond). TSS diukur dengan metode Gravimetri. TDS diukur dengan TDS meter. Analisa zat warna menggunakan Spektrofotometer jenis Spectronic 20+ dan pH menggunakan pH 300 (Hanna Instrument). Efektifitas penyisihan dapat dicari dengan menggunakan Pers. 1 berikut :

$$\text{efektifitas \%} = 100 - \left(\frac{\text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100 \right) \quad (1)$$

Kinetika Fotokatalis

Model Langmuir-Hinshelwood (L-H) dilihat pada Pers. 2 berikut:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = kKt = k't \quad (2)$$

Dimana, C_0 adalah konsentrasi awal (mg/L), C adalah konsentrasi warna pada waktu t (mg/L), t adalah waktu penyinaran, k' adalah dekolorisasi pada waktu konstan (/min), k adalah nilai pada saat reaksi konstan (/min) dan K adalah koefisien adsorpsi (l/mg).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Air Gambut

Sebelum dilakukan perlakuan air gambut dengan proses fotokatalis ZnO dilakukan pengolahan *pre-treatment* menggunakan koagulasi. Tabel 1 menunjukkan karakteristik air gambut setelah proses *pre-treatment*.

Tabel 1. Karakteristik air gambut

Parameter	Unit	Nilai
pH	-	4,0
Turbidity	NTU	3,8
Warna	Pt.CO	119,1
Zat Organik	mg/L	83
Alkalinitas (HCO_3^-)	mg/L	36,3
Zeta Potensial	mV	-1,57

Sumber : Uji Laboratorium

Air gambut merupakan air permukaan yang mengandung senyawa humus yang terdiri dari asam humat, asam fulvat dan humin. Ketiga senyawa tersebut mengakibatkan air gambut berwarna coklat dan bersifat asam. Air gambut pada penelitian ini memiliki pH asam yaitu 4,0 dan setelah dihitung berdasarkan larutan standar Pt.Co yang digunakan maka konsentrasi zat warnanya adalah 119,1 Pt.Co. konsentrasi warna air gambut berada diatas standar warna yang ditetapkan oleh pemerintah melalui MENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2012 tentang standar kualitas air minum. Berdasarkan permenkes tersebut standar nilai pH 6,5-8,5 dan konsentrasi warna air maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar 15 TCU.

Proses Fotokatalis ZnO

Karakteristik Katalis

Untuk mengetahui ukuran pori katalis maka dilakukan pengujian karakteristik kimia pada katalis ZnO dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* dan mengetahui luas permukaan menggunakan analisa BET . Ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Karakteristik katalis

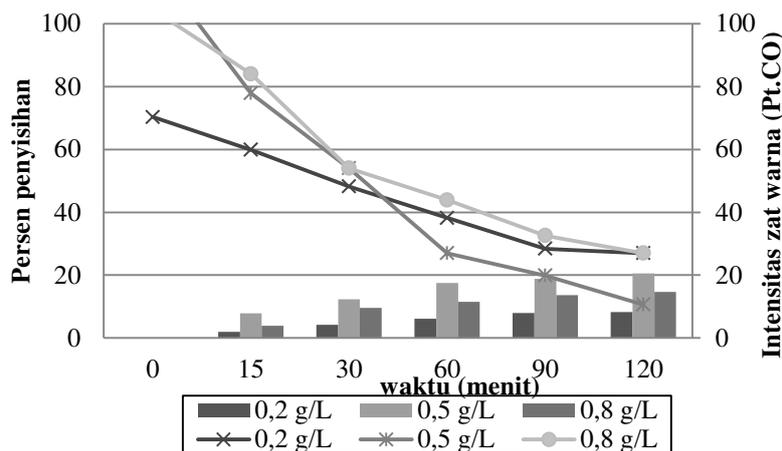
Katalis ZnO	Struktur
Bentuk Kristal	Wurtrize (Heksagonal)
Komposisi	100 %
Luas Permukaan	3,059 m ² /g

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa katalis ZnO yang digunakan pada penelitian ini memiliki komposisi 100 % mengandung kristal ZnO yang berarti katalis yang digunakan murni mengandung

ZnO dan memiliki luas permukaan 3,059 m²/g. Luas permukaan berhubungan dengan laju degradasi penyisihan intensitas zat warna pada air gambut. Semakin luas zat permukaan pada suatu katalis maka peluang untuk bereaksi akan semakin besar sehingga laju reaksinya juga akan semakin cepat.

Pengaruh Dosis Katalis Terhadap Proses Fotokatalis

Dalam penelitian ini dilakukan proses fotokatalis dengan variasi dosis 0,2 mg/L, 0,5 mg/L dan 0,8 mg/L. Pada Gambar 1 menunjukkan pengaruh dosis katalis ZnO terhadap proses fotokatalis.

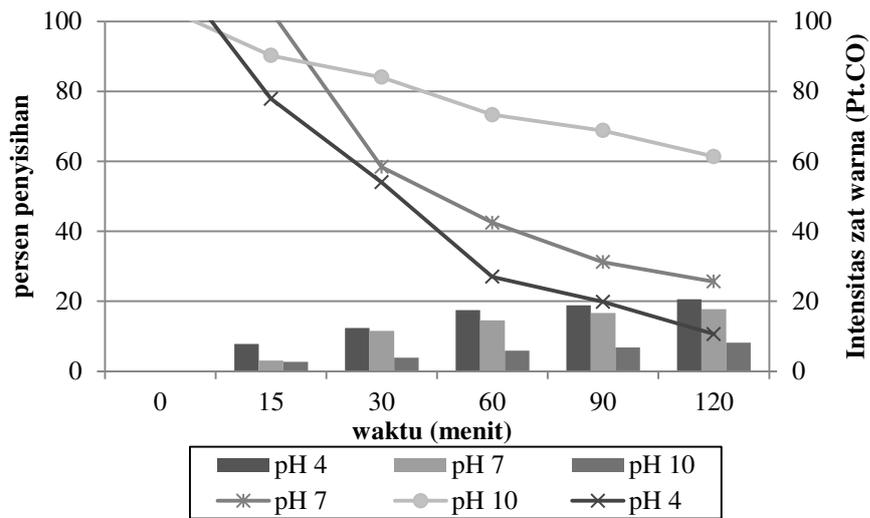


Gambar 1. Persentase penyisihan intensitas zat warna air gambut

Dari Gambar 1 menunjukkan bahwa pemberian dosis 0,2 g/L hingga 0,8 g/L mengalami peningkatan degradasi intensitas zat warna. Pada dosis 0,2 g/L terlihat bahwa persentase penyisihan tertinggi berada pada 8,22 % dan terjadi peningkatan penyisihan pada dosis 0,5 g/L menjadi 20,59 %. Hal ini disebabkan semakin mendekati keadaan optimum, radikal hidroksil yang terbentuk akan semakin banyak, sehingga dapat mempercepat intensitas zat warna (Ramadhana, dkk 2013). Namun ketika dosis ditambahkan menjadi 0,8 g/L terjadi penurunan persen penyisihan menjadi 14,70 %. Fenomena ini disebabkan naiknya kekeruhan dari larutan yang diakibatkan dosis fotokatalis yang tinggi. Apabila sinar UV sulit menembus larutan, maka sistem fotokatalis ZnO akan menyerap lebih sedikit energi. Akibatnya elektron yang tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih sedikit, sehingga pembentukan radikal hidroksil (*OH) yang terbentuk juga menjadi lebih sedikit dan menyebabkan persen penyisihan intensitas zat warna menurun (Teng Ong, dkk 2012)

Pengaruh Waktu terhadap Proses Fotokatalis

Pengaruh waktu fotokatalis terhadap penurunan absorbansi air gambut dapat dilihat pada Gambar 2. Fotokatalis dilakukan selama 120 menit. Setiap 30 menit air gambut dalam wadah diambil untuk menentukan penurunan absorbansi.

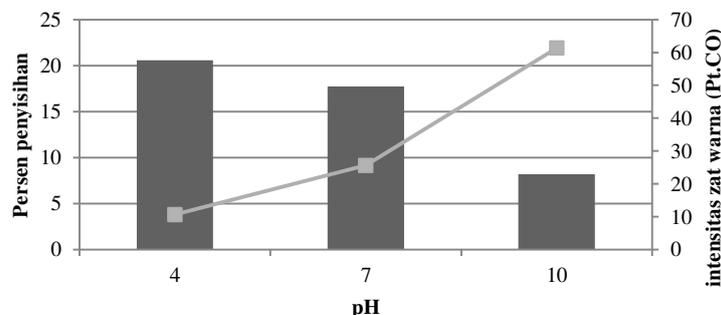


Gambar 2. Persentase penyisihan intensitas zat warna air gambut selama 120 menit

Gambar 2 menunjukkan penurunan absorbansi terhadap waktu radiasi UV dengan katalis ZnO dengan persentase penyisihan 20,59 % pada pH 4 hingga waktu 120 menit dan 17,74 % pada pH 7 serta 8,18 % pada pH 10. Persentase penurunan intensitas zat warna pada air gambut terus meningkat setiap waktunya hingga mencapai waktu kontak penyinaran 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses fotokatalis berlangsung terjadi proses penyerapan energi foton ($h\nu$), sehingga banyak elektron pada pita valensi yang tereksitasi pada pita konduksi. Kondisi ini menyebabkan lubang positif atau hole⁺ yang terbentuk semakin banyak. Hole⁺ tersebut akan bereaksi dengan dengan H₂O atau ion hidroksil atau membentuk radikal *OH yang kemudian digunakan untuk mengurai senyawa organik (Hoffman, 1995). Sehingga dengan menggunakan proses fotokatalis ZnO terjadi penguraian senyawa organik yang terkandung didalam air gambut selama 120 menit penyinaran. Hal ini menyebabkan intensitas zat warna pada air gambut menjadi berkurang karena warna air gambut berasal dari zat organik yang ada pada air gambut seperti asam humat.

Pengaruh pH pada Proses Fotokatalis

Nilai pH memiliki peranan penting dalam menentukan karakteristik limbah dan pembentukan radikal hidroksil. Fotodegradasi zat warna dapat terjadi melalui mekanisme reaksi, yaitu serangan radikal hidroksil dan oksidasi langsung oleh hole⁺ tergantung pada keadaan dasar substrat dan pH. Pada Gambar 3 dapat dilihat pengaruh pH pada proses fotokatalis ini.



Gambar 3. Pengaruh pH terhadap aktifitas fotokatalis

Pada Gambar 3 terlihat bahwa semakin tinggi nilai pH yang digunakan maka akan terjadi penurunan persentase penyisihan intensitas zat warna. Kondisi penyisihan terbaik pada kondisi pH asam (4) yang mencapai persen penyisihan hingga 20,59 % karena pada kondisi asam pH dapat mempengaruhi muatan pada partikel ZnO. Menurut Oskoei, dkk 2016 menyatakan peningkatan asam humat pada pH 4 karena adanya ion asam H⁺ (hidrogen) yang meningkat, pembentukan *OH radikal dapat dihasilkan melalui beberapa cara yaitu saat *OH menyerang cincin aromatik dan pemisahan ikatan hidrogen karbon sehingga terbentuk *OH dan *H, lampu UV digunakan untuk memasok energi agar ikatan kovalen terputus dan ketika H dan *OH dari HO2 radikal menggunakan kehadiran oksigen didalam larutan untuk membentuk *OH radikal. Degradasi asam humat meningkat dengan adanya radikal *OH yang terbentuk selama proses fotokatalis. Kinerja yang baik dari degradasi anionik asam humat dalam suasana asam oleh katalis ZnO berkontribusi terhadap muatan positif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa muatan yang dominan pada katalis ZnO adalah positif dalam suasana asam yang kemudian menyerap anion asam humat. Hal ini menyatakan bahwa degradasi asam humat yang paling efisien adalah pH 4. Pada Tabel 3 menunjukkan hasil setelah proses fotokatalis.

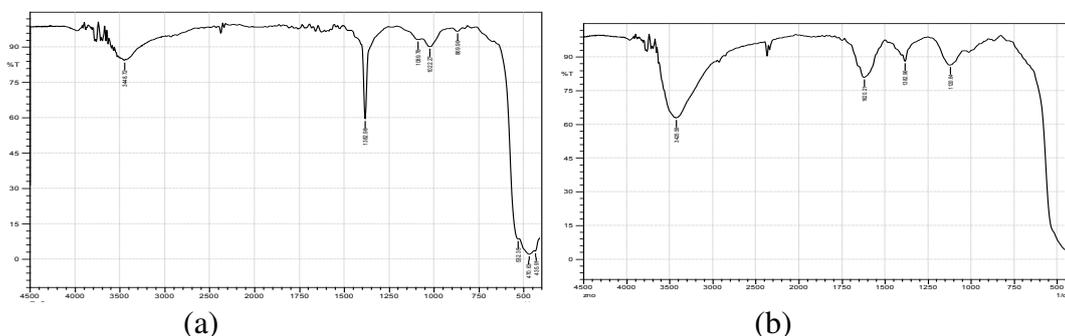
Tabel 3. Hasil pengolahan proses fotokatalis

Kondisi	Warna (PtCo)	% Penyisihan	pH
Sinar UV	10,64	20,59	6,7
Tanpa Sinar UV	38,2	8,99	6,53
Tanpa Katalis	98,09	3,68	4,18

Dari Tabel dapat dilihat bahwa pada proses fotokatalis menggunakan sinar UV dengan dosis katalis 0,5 g/L dan pH 4 menghasilkan penurunan intensitas zat warna menjadi 10,64 PtCo dan nilai pH menjadi 6,7, sedangkan proses tanpa sinar UV dan tanpa katalis masih memiliki intensitas zat warna yang relatif tinggi. Menurut MENKES No. 907/MENKES/SK/VII/2012 baku mutu air minum adalah 15 Pt.Co dengan pH 6,5 – 8,5 maka dengan pengolahan air gambut menggunakan proses fotokatalis ZnO sudah memenuhi baku mutu air minum untuk parameter warna dan pH.

Spektrum FTIR Katalis ZnO

Analisa FT-IR yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pembentukan *support* Zno dan mengidentifikasi setiap spesies yang teradsorb pada permukaan katalis. Gambar 4 menunjukkan spektrum FTIR katalis ZnO sebelum dan sesudah proses fotokatalis.



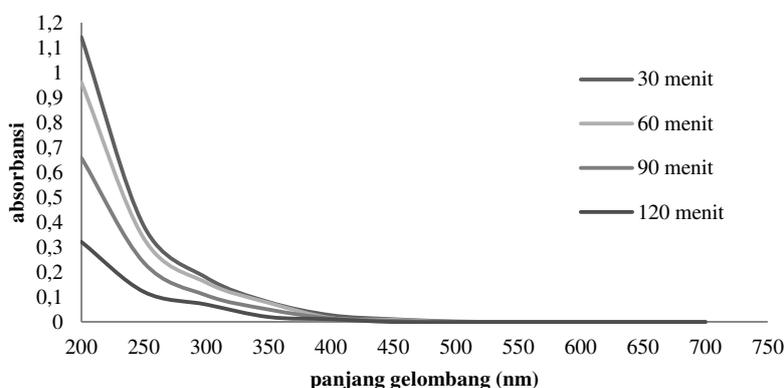
Gambar 4. Spektrum FTIR Katalis ZnO (a) sebelum proses fotokatalis dan (b) sesudah proses fotokatalis

Gambar 4 (a) menunjukkan spektrum FT-IR ZnO yang terlihat pada angka gelombang 3448,72 cm⁻¹ merupakan vibrasi ulur O-H yang diindikasikan dari molekul air yang ada pada permukaan ZnO

dan spektrum ZnO dapat dilihat pada serapan pada daerah 400-450 cm^{-1} yang pada sampel ini ditunjukkan pada angka gelombang 470,63 cm^{-1} . Pada Gambar 6 (b) menunjukkan adanya vibrasi ulur OH yang teridentifikasi pada angka gelombang 3425,58 cm^{-1} . Pita serapan pada angka gelombang 1620,21 cm^{-1} menunjukkan C=C aromatik. Berdasarkan hasil analisis spektra inframerah tersebut dapat dinyatakan bahwa air gambut yang berasal dari Kalimantan Selatan didominasi oleh gugus fungsi -COOH yang ditandai dengan puncak serapan pada spektrum asam karboksilat yaitu munculnya puncak serapan pada angka gelombang 3400 cm^{-1} sebagai vibrasi ulur -OH dari -COOH. Adanya vibrasi ulur C=C aromatik pada panjang gelombang 1620 cm^{-1} yang merupakan bagian dari gugus fungsi asam humat menjadi meyakinkan bahwa asam humat telah teradsorb pada permukaan katalis ZnO.

Spektrum Absorbansi UV-Vis

Spektrum absorbansi UV-Vis bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada air gambut. Pengujian dilakukan dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 200-700 nm. Gambar 5 menunjukkan grafik spektrum absorbansi UV-Vis hasil degradasi intensitas zat warna air gambut pada pH 4 dan dosis koagulan ZnO 0,5 g/L.



Gambar 5. Spektrum absorbansi UV-Vis pada kondisi optimum

Grafik spektrum absorbansi menunjukkan penurunan puncak absorbansi pada panjang gelombang 200 nm. Panjang gelombang 200 nm merupakan tipikal absorpsi untuk (RCOOH) (Affolter, dkk 2000). Penurunan puncak pada panjang gelombang 200 nm menunjukkan pemutusan (RCOOH) pada air gambut selama proses fotokatalis berlangsung. seperti pada pengujian FT-IR pada katalis ZnO, (RCOOH) merupakan asam karboksilat yang diindikasikan sebagai gugus fungsi asam humat yang terdapat pada air gambut. Kompleks senyawa yang bervariasi menyebabkan degradasi (RCOOH) terlihat lambat.

Kinetika Proses Fotokatalis

Kinetika kimia ini bertujuan untuk mengetahui laju reaksi atau seberapa cepat proses reaksi berlangsung dalam waktu tertentu. Tabel 4 Menunjukkan hasil plot dari model kinetika degradasi.

Tabel 4. Linearitas hasil plot pada setiap proses

Dosis (g/L)	L-H		orde 0		orde 1		orde 2	
	k (1/menit)	R ²						
0,5	0,0209	0,9735	1,1038	0,6632	0,0209	0,9735	0,0006	0,91

Dari Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk proses degradasi intensitas zat warna pada air gambut dengan dosis 0,5 g/L mengikuti persamaan kinetika Langmuir-Hinshelwood yang merupakan kinetika fotokatalis dengan laju reaksi 0,0209 menit⁻¹. Hal ini dikarenakan adanya peran katalis yang dapat mempercepat laju reaksi ke arah produk maupun ke arah pereaksi, sehingga menghasilkan rendemen produk lebih cepat. Katalis juga dapat menurunkan energi pengaktifan dengan cara menyediakan mekanisme energi yang berbeda yang memiliki jalur energi peaktifan lebih rendah dan cahaya juga merupakan faktor yang dapat mempengaruhi laju reaksi karena akan memudahkan tercapainya energi pengaktifan untuk terjadinya suatu reaksi (Siregar. 2008).

4. KESIMPULAN

Proses Fotokatalis ZnO dapat digunakan sebagai proses *post-treatment* dalam mendegradasi intensitas zat warna pada air gambut memiliki kondisi optimum dengan dosis katalis 0,5 g/L, pH 4 dan waktu radiasi sinar UV selama 120 menit dengan persen penyisihan intensitas zat warna sebesar 20,54 %.

Kinetika degradasi zat warna memenuhi persamaan model Langmuir-Hinshelwood pada saat pH 4 dan dosis 0,5 g/L dengan nilai tetapan laju degradasi intensitas zat warna adalah 0,0209 menit⁻¹. Kombinasi koagulasi dan fotokatalis ZnO dapat dijadikan suatu pengolahan yang efektif dalam mendegradasi intensitas zat warna hingga memenuhi baku mutu air minum yaitu 15 PtCo dan pH 6,5-8,5. Pada proses ini dapat mendegradasi intensitas zat warna hingga mencapai 10,64 PtCo dan pH menjadi 6,7.

DAFTAR PUSTAKA

- Affolter, C., Pretsch, C., dan Buhlman, P., (2000). Structure Determination of Organic Compound. ISBN: 3-540-67815-5 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Ali, R. and Siew, dan ooi Bon, (2006). Photodegradation of New Methylen Blue N in Aqueous Solution Using Zinc Oxide and Titanium Dioxide as Catalyst, *Jurnal Teknologi*, 45 : 31-42
- Hoffman, R.M., (1995): Environmental Applications of Semiconductor of Photocatalysis, *Chemical Reviews*, Vol. 95, No. 1, pp, 69-96
- Jayadi, S., Destiantim L., dan Berlian, S., (2014). *Pembuatan Reaktor Fotokatalis dan Aplikasinya untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Katalis TiO₂*. Jurnal. Fakultas MIPA. Universitas Tanjungpura.
- Khezrianjoo, A. Revanasiddapa, H, D. (2012). *Langmuir-Hinshelwood Kinetic Expression for The Photocatalytic Degradation of Metanil Yellow Aqueous Solution by ZnO Catalyst*
- Nandiyanto, A. B. D., 2008. Catatan Kecil Mengenai Pengolahan Limbah Dengan Menggunakan Sinar Matahari, <http://io.ppi-jepang.org>,
- Oskoei, V. 2016. *Journal of Molecular Liquids* 213 (2016): 374-380
- Qourzal, S., Tamimi, M., Assabbane, A., dan Ait-Ichou, Y., 2009. Photodegradation of 2-Naphthol Using Nanocrystalline TiO₂, *M.J. Condensed Mater*, 11(2) : 55-59
- Ramadhana, Al Kautsar Kurniawan., Wardhani., Sri dan Purwonugroho, Dinar, (2013). Fotodegradasi Zat Warna Methyl Orange menggunakan TiO₂-Zeolit dengan Penambahan Ion Persulfat. *Kimia Student Journal*. Vol. 1 (2) ; 168-174
- Singh, S. (2009). Electrical Transport and Optical Studies of Transition Metal Ion Doped ZnO and Synthesis of ZnO based Nanostructure by Chemical Route, Thermal Evaporation and Pulsed Laser Deposition. Thesis. Departmen Of Physics Indian, Institute Of Technology Madras.

- Siregar.,T.,B.(2008). Kinetika Kimia Reaksi Elementer. *ISBN: 979-458-390-1*
- Sutapa I. (2010). *Kajian Jar Test Koagulasi-Flokulasi sebagai Dasr Perancangan Instalasi Pengolahan Air Gambut (IPAG) menjadi Air Bersih*.Research Centre for Limnology. LIPI. Cibinong
- Sutapa I. (2003.: ”Efisiensi alum sulfat sebagai koagulan dalam proses produksi air bersih.” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia, Jakarta*
- Suherman, D.,dan Nyoman, S., (2013). Menghilangkan Zat Warna dan Zat Organik Air Gambut dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Suasana Bahasa. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. *ISSN 0125-9849*.
- T.E.Antoine, Y.K. Mishra,dan J. Trigilio, V. Tiwari, et al.(2012). 363-375
- Teng Ong,Siew.,Sim Cheong, Wai dan Tse Hung, Yung, (2012). Photodegradation of Commercial Dye, Methylene Blue Using Immobilized TiO₂. *International Conference on Chemical , Biological and Environment Engineering. Vol 43.(23)*
- Taghi, M.,(2014.: Humic Acid Degradation by The Synthesized Flower-like Ag/ZnO nanostructure as an Efficient Photocatalyst.*12:138*
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., dan Kurniaysih, D., (2006). Utilisasi TiO₂-Zeolit dan Sinar UV Untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red, *Teknoin, 11(3) : 199–209*
- Wulandari, I., Wardhani, S.,dan Purwonugroho,D., (2014). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. Universitas Brawijaya. Malang. *Kimia Student Journal, Vol. 1, No.2, pp. 241-247.*