

DEGRADASI BAHAN ORGANIK PADA AIR GAMBUT DENGAN FOTOKATALIS TiO_2 LAPIS TIPIS

Safitri Ulfah Ramadhani^{1*}, Lia Destiarti¹, Intan Syahbanu¹

¹Progam Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,

Jln. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi 78124, Pontianak

*email: safitriulfahramadhani@yahoo.com

ABSTRAK

Zat organik pada air gambut didominasi oleh senyawa humat menyebabkan warna, bau dan rasa pada air gambut. Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan air gambut. Penelitian ini menggunakan metode fotokatalisis menggunakan titanium oksida (TiO_2) lapis tipis dalam pengolahan air gambut dengan variasi waktu (0, 2, 4, 6 dan 8 jam) serta pH (3, 5 dan 7). Karakterisasi TiO_2 lapis tipis dilakukan dengan menggunakan analisis X-Ray Diffraction (XRD). Berdasarkan pola XRD, puncak difraksi yang kuat terjadi pada $25,3^\circ$ dan $48,1^\circ$ yang menandakan TiO_2 berstruktur anatase. Penentuan kondisi optimum ditinjau dari penurunan absorbansi bahan organik pada panjang gelombang 343 nm menggunakan spektrofotometri UV-VIS dan penurunan permanganat bahan organik menggunakan metode permanganometri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan organik pada air gambut dapat didegradasi oleh katalis TiO_2 lapis tipis dengan waktu optimum 4 jam dengan persentase penurunan absorbansi sebesar 69,63% dan penurunan permanganat sebesar 24,62%. Pada pH 5 degradasi bahan organik pada air gambut mencapai persentase penurunan absorbansi sebesar 36,11% dan penurunan permanganat sebesar 16,34%. Dengan demikian, TiO_2 lapis tipis yang telah dipreparasi mampu mendegradasi bahan organik pada air gambut melalui proses fotokatalisis dengan persentase penurunan bahan organik mencapai hampir 70%.

Kata Kunci: fotokatalisis, katalis TiO_2 lapis tipis, anatase

PENDAHULUAN

Sumber air di Kalimantan Barat adalah air gambut, yaitu air permukaan yang terdapat pada daerah berawa dan dataran rendah. Air ini tersebar di Sumatera dan Kalimantan. Air gambut di Kalimantan Barat memiliki kekeruhan rendah, bewarna coklat tua hingga kehitaman (124-850 PtCo), kadar organik tinggi (138-1560 mg/L KMnO_4), bersifat asam dengan pH 3,7-5,3 (Eri dan Hadi, 2008). Zat organik pada air gambut didominasi oleh senyawa humat yang bersifat sulit dirombak oleh mikroorganisme yang menyebabkan warna, bau dan rasa pada air. Selain itu, senyawa humat secara alami dapat membentuk senyawa trihalometan ketika bereaksi senyawa klorin yang dicurigai bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan penyakit kanker (Andayani dan Bagyo, 2010). Berdasarkan data tersebut maka perlu pengolahan air gambut sebelum dimanfaatkan untuk keperluan sehari-hari.

Teknologi alternatif yang berpotensi dalam pengolahan air gambut adalah metode fotokatalisis. Melalui metode fotokatalisis menggunakan katalis titanium oksida (TiO_2) dapat mendegradasi bahan organik dan penurunan bahan organik pada air gambut sebesar 89,4 % (Jayadi *et al.*, 2014). Andayani dan Bagyo (2010) mendegradasi senyawa humat pada air gambut secara fotokatalitik menggunakan TiO_2 bead mengakibatkan penurunan pada intensitas warna dan nilai COD (*chemical oxygen demand*). Maryani *et al.* (2010) Titanium oksida (TiO_2) bead diimobilisasi dengan silika gel sebagai penyangga dan berhasil mendegradasi campuran *linear alkilbenzen sulfonat* dan *alkil benzen sulfonat* sebesar 53,45%. Selain itu, katalis TiO_2 Degussa P-25 menunjukkan hasil terbaik dengan penyisihan limbah sebesar 84,98%. Fotokatalisis merupakan suatu proses yang dibantu cahaya dan katalis untuk menurunkan energi aktivasi sehingga mempercepat proses reaksi dan dapat

mengoksidasi polutan organik menjadi karbondioksida dan air (Zilfa *et al.*, 2011).

Katalis TiO_2 dalam bentuk bubuk sulit dalam pemisahan katalis dari larutan yang didegradasi. Apabila campuran sampel terlalu keruh maka radiasi UV tidak mampu secara sempurna untuk mengaktifkan partikel fotokatalisnya (Tjahjanto dan Gunlazuardi, 2001). Setiawati *et al* (2006) membuat lapis tipis pada plat baja dan diuji katalis TiO_2 dengan disinari UV sehingga dapat mereduksi Cr(IV) sebesar 18,41% pada pH 7 dan 53,39% pada pH 2. Rahmawati *et al* (2006) menggunakan semikonduktor TiO_2 dengan penempelan lapis tipis pada substrat grafit.

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan modifikasi katalis dengan membuat TiO_2 menjadi bentuk lapis tipis pada plat kaca kemudian dikarakterisasi dengan XRD. Setelah itu, katalis digunakan dalam mendegradasi bahan organik pada air gambut dengan adanya radiasi sinar UV. Variasi yang dilakukan pada air gambut yaitu variasi waktu kontak 0, 2, 4, 6 dan 8 jam dan variasi pH 5, 7 dan 9. Adapun parameter ujinya adalah penurunan absorbansi air gambut dan penurunan kadar permanganat.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca analitik, *stopwatch*, seperangkat alat gelas, spektrofotometri UV-Vis Genesys 6, XRD *PanAlytical expert pro*, reaktor fotokatalisis dengan lampu UV A black light (320-400 nm), buret coklat 25 mL, pH meter, botol sampel dan kaca preparat berukuran $2,54 \times 7,62$ cm dengan ketebalan 1,0-1,2 mm.

Bahan yang digunakan adalah sampel air gambut diambil di Desa Wonodadi Jalan Wonodadi 2 Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat, aseton, titanium dioksida (TiO_2) Merck, etanol 96%, akuades (H_2O), larutan asam sulfat (H_2SO_4), larutan natrium hidroksida (NaOH), larutan kalium permanganat (KMnO_4), larutan asam oksalat ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) dan batu didih.

Prosedur Kerja

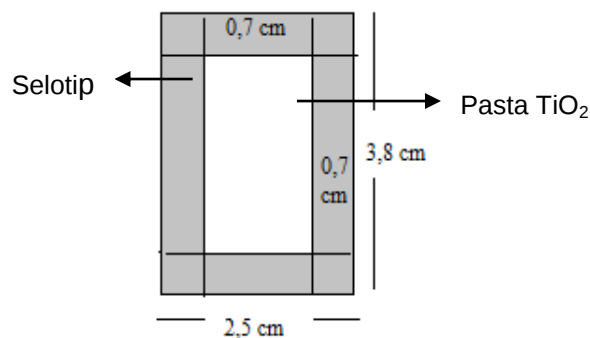
Pengambilan sampel air gambut

Sampel air gambut diambil di Desa Wonodadi Jalan Wonodadi 2 Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat. Sampel

diambil pada 8 titik. Wadah penyimpanan dan wadah pengambil sampel dicuci terlebih dahulu dengan air gambut sebanyak 2 kali. Cara yang dilakukan dalam pengambilan sampel air gambut ini adalah dengan memasukkan wadah pengambil sampel ke dalam air, kemudian pH air di dalam wadah tersebut diukur dengan pH meter. Air gambut tersebut kemudian dimasukkan ke dalam jerigen yang telah diberi label dan sampel air gambut kemudian didinginkan.

Pembuatan Katalis Titanium Dioksida (TiO_2) Lapis Tipis (Nuryadi, 2011, dengan Modifikasi)

Sampel kaca preparat dengan ukuran panjang 7,62 cm dipotong menjadi 3,81 cm. Kemudian, dicuci dengan air deterjen dan dibilas dengan air dan aseton. Setelah itu kaca yang telah bersih ditimbang terlebih dahulu dan kemudian diberi pembatas luar di semua sisi menggunakan selotip dengan lebar 0,7 cm.



Gambar 1. Skema kaca preparat

Teknik pelapisan TiO_2 dengan metode *slip casting*. Pembuatan pasta TiO_2 dilakukan dengan memasukkan padatan TiO_2 3,5 gram kedalam 15 mL etanol 96% dan selanjutnya diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan 300 rpm. Pasta tersebut kemudian disonikasi selama 30 menit.

Deposisi lapisan TiO_2 , dilakukan dengan cara meneteskan pasta TiO_2 pada kaca preparat yang telah disiapkan, kemudian dilakukan *slip casting*, dan dibiarkan hingga kering. Setelah dikeringkan, selotip pada kaca preparat dilepaskan. Kemudian TiO_2 lapis tipis dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam. Selesai dikalsinasi, sampel didiamkan hingga dingin dan kemudian ditimbang. Lapisan TiO_2 dikarakterisasi dengan XRD.

Proses fotokatalis air gambut dengan Pengaruh Waktu (Jayadi *et al.*, 2014)

Proses fotokatalis air gambut dilakukan dalam reaktor, sebanyak 70 mL air gambut dimasukkan ke dalam gelas beker. Ditambahkan 7 buah plat TiO₂ lapis tipis. Air gambut diiradiasikan dengan lampu UV dengan variasi waktu 0, 2, 4, 6 dan 8 jam penyinaran. Absorbansi air gambut diukur dengan spektrofotometri UV-VIS pada panjang gelombang optimum dan diukur bilangan permanganat. Percobaan diulang sebanyak 2 kali.

Proses fotokatalis air gambut dengan Pengaruh pH (Andayani *et al.*, 2012)

Air gambut diambil 70 mL dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Sampel air dikondisikan dengan variasi pH 5, 7 dan 9 menggunakan larutan NaOH 0,1 M dan H₂SO₄ 0,1 M. Setelah itu, diiradiasikan dengan lampu UV pada waktu optimum dengan menambahkan 7 buah plat katalis TiO₂ lapis tipis. Absorbansi air gambut diukur dengan spektrofotometri UV-VIS pada panjang gelombang optimum dan optimum dan diukur bilangan permanganat. Percobaan diulang sebanyak 2 kali.

Penentuan Panjang Gelombang Optimum (Jayadi *et al.*, 2014)

Penentuan panjang gelombang optimum diperlukan untuk mendapatkan absorbansi maksimum senyawa organik pada air gambut dengan spektrofotometri UV-VIS. Pengukuran panjang gelombang menggunakan air gambut, diukur serapannya pada panjang gelombang 200-400 nm.

Penentuan Kadar Bahan Organik Air gambut dengan Metode Permanganometri (Standar Nasional Indonesia No 06-6989. 22, 2004)

Sampel air gambut sebelum dan sesudah diolah diambil sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan 3 butir batu didih. Larutan KMnO₄ 0,01 N ditambahkan beberapa tetes kedalam sampel hingga terbentuk warna merah muda. Selanjutnya, ditambahkan 5 mL H₂SO₄ 8 N dan sampel dipanaskan pada suhu 105°C.

Larutan baku KMnO₄ 0,01 N dipipet 10 mL dan ditambahkan ke dalam sampel. Sampel dipanaskan hingga mendidih selama

10 menit dan setelah itu ditambahkan 10 ml larutan H₂C₂O₄ 0,01 N. Larutan kemudian dititrasi dengan KMnO₄ 0,01 N hingga terbentuk warna merah muda dan catat volume KMnO₄ yang digunakan dalam titrasi.

$$\text{KMnO}_4 \text{ (mg/L)} = \frac{[(10-a)b - (10-c)] \times 31,6 \times 1000}{d} \times f$$

Keterangan:

a : volume KMnO₄ yang sebenarnya (mL)

b : normalitas KMnO₄ yang sebenarnya (N)

c : normalitas asam oksalat (N)

d : volume sampel (mL)

f : faktor pengenceran contoh uji

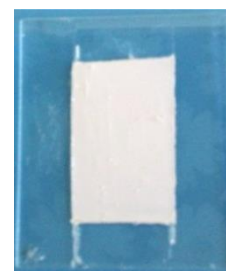
Analisa Data

Analisa data dilakukan setelah proses pengumpulan data setiap perlakuan. Data yang diperoleh dianalisa dengan metode *analysis of variance* (ANOVA) untuk mengetahui beda nyata pada perlakuan (Gomez dan Gomez, 1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

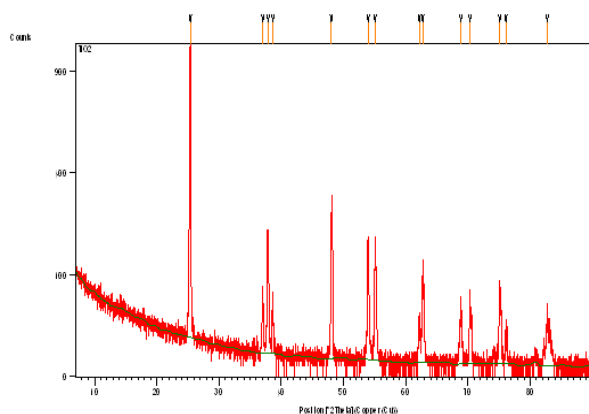
Karakterisasi Titanium Oksida (TiO₂) Lapis Tipis

Titanium Oksida (TiO₂) Lapis Tipis yang telah dipreparasi menghasilkan katalis berwarna putih dan dapat melekat sempurna pada plat kaca. Gambar 2. menunjukkan katalis TiO₂ lapis tipis.



Gambar 2. Katalis TiO₂ lapis tipis

Berdasarkan data hasil karakterisasi kristal fase anatase menunjukkan bahwa TiO₂ yang telah dipreparasi dominan mengandung kristal fase anatase, fase inilah yang memiliki aktivitas fotokatalis yang baik. Intensitas puncak difraksi kristal fase anatase tertinggi yaitu terlihat pada $2\theta = 25,3^\circ$ dan $48,1^\circ$.

Gambar 3. Pola XRD dari TiO₂

Melalui data hasil karakterisasi dapat diketahui juga ukuran kristal (*crystallite size*) dengan menghitung menggunakan persamaan persamaan *Debye Scherrer* yaitu (El-Sherbiny *et al.*, 2014):

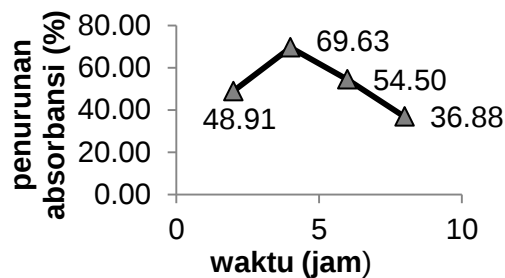
$$D = \frac{k \times \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Nilai D adalah ukuran kristal, β adalah FWHM (*full width at half maximum*), λ adalah panjang gelombang sinar x yaitu 0,154 nm, k adalah konstanta dengan nilai 0,9 dan θ adalah sudut difraksi sinar x. Puncak difraksi kristal fase anatase pada $2\theta = 25,3^\circ$ dan $48,1^\circ$ memiliki ukuran kristal masing-masing 45,9863 nm dan 73,6709 nm.

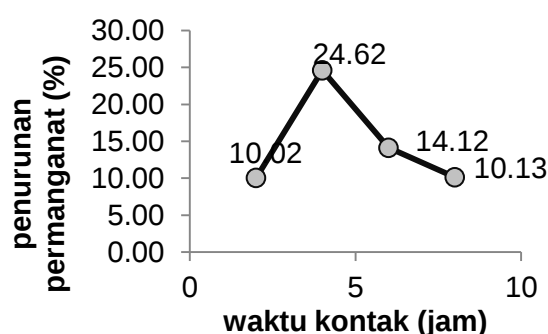
Proses Fotokatalisis Air Gambut dengan Pengaruh Waktu Penyinaran Sinar UV

Tujuan penentuan waktu penyinaran sinar UV adalah untuk mengetahui keefektifan proses fotokatalisis TiO₂ lapis tipis dalam mendegradasi bahan organik. Penentuan waktu penyinaran sinar UV dilakukan dengan variasi waktu yaitu 2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam.

Hasil uji tersebut menunjukkan penurunan bahan organik pada air gambut mencapai maksimum pada waktu penyinaran selama 4 jam dengan penurunan absorbansi yang terjadi sebesar 69,63% dan penurunan permanganat sebesar 24,62%. Penyinaran lebih lama menyebabkan penurunan absorbansi untuk waktu 8 jam menurun sebesar 36,88% dan penurunan permanganat sebesar 10,33 %.

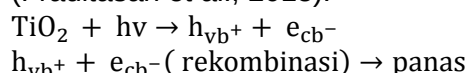


Gambar 4. Grafik pengaruh waktu penyinaran UV terhadap penurunan absorbansi air gambut



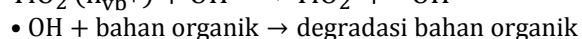
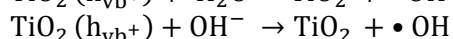
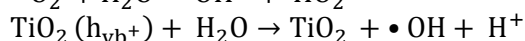
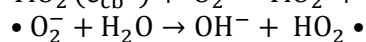
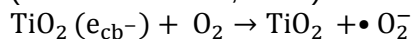
Gambar 5. Grafik pengaruh waktu penyinaran UV terhadap penurunan permanganat air gambut

Penyinaran dengan sinar UV menyebabkan terjadinya interaksi dengan fotokatalis TiO₂. Interaksi yang terjadi berupa terbentuknya radikal $\cdot\text{OH}$ akibat penyinaran. Radikal $\cdot\text{OH}$ tersebut berinteraksi dengan bahan organik pada proses degradasi. Ketika fotokatalis TiO₂ dikenai energi foton akan mengalami eksitasi elektron sehingga membentuk elektron dan *hole*. Elektron dan *hole* berkombinasi kembali di dalam ruah semikonduktor dengan membebaskan energi kalor dan sebagian lagi bertahan pada permukaan semikonduktor. Reaksi ketika TiO₂ dikenai sinar UV sebagai berikut (Fraditasari *et al.*, 2015):



Elektron pita konduksi (e_{cb}^-) pada permukaan TiO₂ bereaksi dengan O₂ membentuk anion radikal superoksida. Anion tersebut bereaksi dengan molekul air yang teradsorpsi untuk menghasilkan ion hidroksida. Sedangkan *hole* pita valensi

($h_{\nu b}^+$) pada permukaan TiO_2 bereaksi dengan air dan dapat juga bereaksi dengan ion hidroksida (OH^-) membentuk radikal $\bullet\text{OH}$ yang merupakan agen pengoksidasi kuat. Radikal $\bullet\text{OH}$ ini lah yang akan mendegradasi bahan organik (Andayani *et al.*, 2012). Berikut adalah reaksi pembentukan ion hidroksida (OH^-) dan radikal $\bullet\text{OH}$ (Fraditasari *et al.*, 2015):



Semakin lama waktu penyinaran maka semakin banyak energi foton yang diserap oleh fotokatalis, sehingga radikal $\bullet\text{OH}$ yang terbentuk pada permukaan fotokatalis semakin banyak dan interaksi antara fotokatalis dengan bahan organik pada air gambut juga semakin lama sehingga akan meningkatkan efektivitas fotodegradasi bahan organik (Aprilita *et al.*, 2008). Akan tetapi, pada waktu penyinaran yang lebih lama pada penelitian ini tidak terjadi kenaikan efektivitas fotodegradasi bahan organik lagi yang diakibatkan dari terlepasnya TiO_2 dari plat kaca sehingga bercampur dengan air gambut menyebabkan kekeruhan pada air sehingga aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi bahan organik pada air gambut menurun.

Berdasarkan uji statistik ANOVA menggunakan uji *least significant difference* (LSD) menunjukkan bahwa pada derajat kepercayaan 95%, degradasi bahan organik pada air gambut dengan fotokatalis TiO_2 lapisan tipis ditinjau dari penurunan absorbansinya pada waktu penyinaran 4 jam tidak berbeda signifikan dengan waktu penyinaran 2, 6 dan 8 jam meskipun demikian degradasi bahan organik pada air gambut dengan fotokatalis TiO_2 lapisan tipis ditinjau dari penurunan permanganatnya pada waktu penyinaran 4 jam berbeda signifikan dengan waktu penyinaran 2, 6 dan 8 jam.

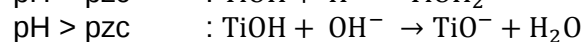
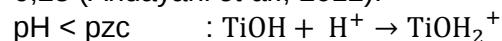
Proses Fotokatalisis Air Gambut dengan Pengaruh pH

Proses fotokatalisis dilakukan dengan air gambut dikondisikan dalam pH 5 (asam), 7 (netral) dan 9 (basa) dan waktu penyinaran sinar UV selama 4 jam. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pH yang paling optimum

dalam proses fotokatalis dalam penurunan bahan organik pada air gambut. Pengaruh pH terhadap proses fotokatalis ditunjukkan pada gambar 6 dan 7. Hasil uji yang didapat pH yang paling baik untuk menurunkan bahan organik adalah dalam kondisi pH 5 (asam). Penurunan absorbansi bahan organik pada pH 5 sebesar 36,11% sedangkan penurunan permanganat bahan organik pH 5 sebesar 16,34%.

Nilai pH sangat mempengaruhi dalam mendegradasi bahan organik, dalam kondisi asam pada pH 5 persentase penurunan bahan organik paling optimum. Hal ini, disebabkan oleh reaksi degradasi bahan organik secara fotokatalisis dipengaruhi oleh kecepatan pembentukan radikal $\bullet\text{OH}$ yang memiliki kemampuan sebagai oksidator. Radikal $\bullet\text{OH}$ terbentuk berdasarkan reaksi antara *hole* bermuatan positif pada TiO_2 dengan gugus OH^- yang berasal dari larutan. Kecepatan pembentukan radikal $\bullet\text{OH}$ dipengaruhi oleh migrasi ion OH^- ke permukaan TiO_2 . Selain itu, kecepatan migrasi dipengaruhi oleh nilai pH larutan. Pada pH rendah, daya hantar listrik larutan cukup tinggi sehingga ion OH^- dapat dengan cepat bermigrasi ke permukaan fotokatalis (Panggabean dan Suseno, 2002).

Muatan fotokatalis TiO_2 dalam suatu larutan sangat dipengaruhi oleh kondisi pH larutan. Nilai pH pada larutan dimana semikonduktor tidak bermuatan disebut dengan pH_{pzc} , dengan nilai sebesar 6,25. Berdasarkan nilai pH_{pzc} tersebut diketahui bahwa permukaan TiOH akan tetap bermuatan positif pada pH kurang dari 6,25 dan bermuatan negatif pada pH lebih dari 6,25 (Andayani *et al.*, 2012).

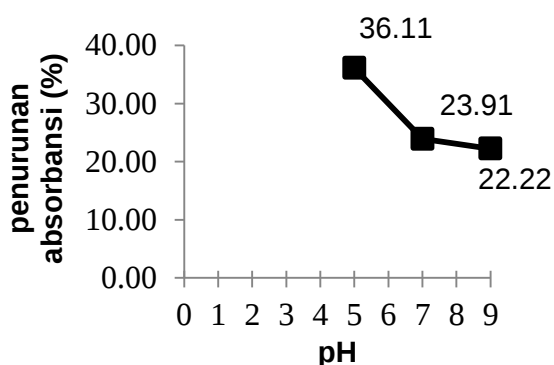


ket: pzc : *point of zero charge*

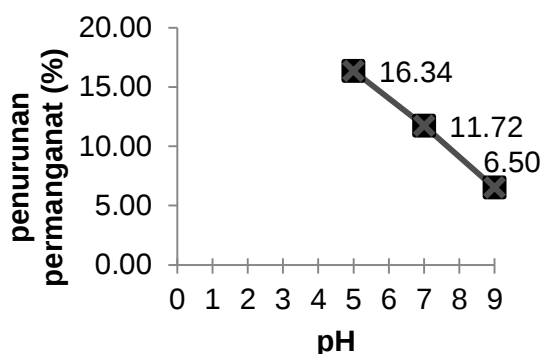
Dalam kondisi asam, terjadi tarik menarik muatan positif dari permukaan fotokatalis TiO_2 dengan muatan negatif bahan organik pada air gambut mengakibatkan proses penyerapannya lebih mudah terjadi dan meningkatkan proses degradasi fotokatalis. Muatan negatif bahan organik disebabkan oleh gugus fungsional (karboksil, hidroksil fenolik, karbonil, hidroksil alkohol) bahan organik terionisasi. Bahan organik air gambut pada permukaan TiO_2 pada kondisi basa dan netral akan sangat kuat dihambat penyerapannya dan

menurunkan efesiensi proses fotokatalisis yang disebabkan oleh tolak menolak antara muatan bahan organik pada air gambut dengan permukaan katalis TiO_2 (Andayani *et al.*, 2012).

Berdasarkan uji statistik ANOVA menggunakan uji *least significant difference* (LSD) menunjukkan bahwa pada derajat kepercayaan 95%, persentase penurunan absorbansi bahan organik air gambut pada pH 5 berbeda signifikan dengan pH 7 dan 9. Dan persentase penurunan absorbansi bahan organik air gambut pada pH 5 berbeda signifikan dengan pH 7 dan 9. Oleh karena itu, pH optimum untuk adsorpsi bahan organik pada air gambut adalah pH 5.



Gambar 6. Pengaruh pH terhadap penurunan absorbansi pada air gambut



Gambar 7. Pengaruh pH terhadap penurunan pemanganat pada air gambut

Proses fotokatalisis pada penelitian ini, ditinjau dari metode penurunan permanganat berdasarkan SNI No 06-6989.22, 2004 dan penurunan absorbansi dengan spektrofotometri UV-VIS. Hasil penelitian menunjukkan trend grafik yang mirip berdasarkan kedua metode tersebut, oleh

karena itu penurunan absorbansi dengan spektrofotometri UV-VIS dapat digunakan untuk mengamati efek fotokatalisis pada air gambut.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa karakter katalis TiO_2 lapis tipis dengan XRD menunjukkan pola XRD puncak difraksi yang kuat pada $25,3^\circ$ dan $48,1^\circ$ yang menandakan TiO_2 yang telah dipreparasi berstruktur anatase. Bahan organik pada air gambut dapat didegradasi oleh katalis TiO_2 lapis tipis dengan waktu 4 jam dengan persentase penurunan absorbansi sebesar 69,63% dan penurunan permanganat sebesar 24,62%. Pada pH 5 degradasi bahan organik pada air gambut mencapai persentase penurunan absorbansi sebesar 36,11% dan penurunan permanganat sebesar 16,34%.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standar Nasional, 2004, Air dan Air Limbah-Bagian 22: Cara Uji Nilai Permanganat Secara Titrimetri, SNI 06-6989.22-2004
- Andayani, W., and Bagyo, A.N.M., 2010. TiO_2 Beads For Photocatalytic Degradation Of Humic Acid In Peat Water. *Indo.J.Chem*, 11(3), 253 - 257.
- Andayani, W., Sumartono, A. dan Lindu, M., 2012, Penguraian Zat Organik Terlarut dalam Air Tanah Secara Fotokatalis Menggunakan Lapisan Tipis TiO_2 pada Plat Stainless Steel, *J.Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, 8(1) :11-18.
- Aprilita, N.H., Kartini, I. dan Ratnaningtyas, H.S., 2008, Self-cleaning Kaca Berbasis Lapis Tipis TiO_2 dengan Perlakuan Asam dan Asam Palmitat sebagai Model Polutan. *Indo. J. Chem*, 8(2):200 - 206.
- El-Sherbiny, S., Morsy, F., Samir, M. and A. Fouad, O., 2014, Synthesis, Characterization and Application of TiO_2 Nanopowders as Special Paper Coating Pigment, *J.Appl Nanosci*, 4:305-313.
- Eri, I.R. dan Hadi, W., 2008, Kajian Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih dengan Kombinasi Proses Upflow Anaerobik Filter dan Slow Sand Filter, (Tesis).

- Fraditasari, R., Wardhani, S., dan Khunur, M., 2015, Degradasi Methyl Orange Menggunakan Fotokatalis TiO_2 -N : Kajian Pengaruh Sinar Dan Konsentrasi TiO_2 -N, *J.Kimia.Student*, 1(1):606-612.
- Gomez, K.A. dan Gomez, A.A., 1995, Prosedur Statistik Untuk Penelitian Pertanian, Alih Bahasa: Sjamsuddin, E. & Baharsjah, J.S., Universitas Indonesia, Jakarta.
- Jayadi, S.F., Destiarti, L. dan Sitorus, B., 2014, Pembuatan Reaktor Fotokatalis dan Aplikasinya untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Katalis TiO_2 , *J. Kimia Khatulistiwa*, 3(3):55-58.
- Maryani, Y., Kustiningsih, I., Rakhma, M.Y. dan Nufus, H., 2010, Uji Aktivitas Beberapa Katalis Pada Proses Degradasi Senyawa Aktif Deterjen Secara Fotokatalis, In Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses, Semarang, 2010, Universitas Diponegoro.
- Nuryadi, R., 2011, Efek Adsorpsi Dye ke dalam Lapisan TiO_2 dengan Metode Elektroforesis : DSSC Berbasis Lapisan TiO_2 Terbuat dengan Metode Slip Casting dan Metode Elektroforesis, *J.Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 8(1):35-40
- Panggabean, S.M. dan Suseno, H., 2002, Degradasi Simulasi Limbah Organik Cair Menggunakan Suspensi Fotokatalis TiO_2 , Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2002, 22 -23 Oktober.
- Rahmawati, F., Wahyuningsih, S. dan Pamularsih, A.W., 2006. Sintesis Lapis Tipis TiO_2 Pada Substrat Grafit Secara Chemical Bath Deposition. *Indo. J. Chem.*, 6(2), pp.121-126.
- Setiawati, T., I.S, Amalia. dan A.A., Wisnu, 2006. Sintesis Lapisan Tipis TiO_2 dan analisis sifat fotokatalisnya. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 141-146.
- Tjahjanto, R.T. dan Gunlazuardi, J., 2001, Preparasi Lapisan Tipis TiO_2 sebagai Fotokatalis:Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis, *Makara, J.Penelitian Universitas Indonesia*, 5(2):81-91.
- Zilfa, Suyani, H., Safni dan Jamarun, N., 2011, Penggunaan Zeolit Sebagai Pendegradasi Senyawa Pemetrin Dengan Metoda Fotolisis, *J.Natur Indonesia*, 14(1):14-18.