

# PENGOLAHAN LIMBAH BATIK CAIR MENGGUNAKAN FOTOKATALIS TiO<sub>2</sub>-ABU VULKANIK DESA WUKIRSARI YOGYAKARTA

Rico Nurillahi<sup>1</sup>, Dwi Nur Halimah<sup>2</sup>, Dwi Gusti Apriliani<sup>3</sup>, Is Fatimah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Prodi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan katalis TiO<sub>2</sub> yang termodifikasi abu vulkanik sehingga memiliki serapan energi yang lebih aktif untuk mendegradasi senyawa polutan dalam limbah batik cair. Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan oksidasi fotokatalitik dengan biaya rendah dan bahan baku yang melimpah di alam. Bahan fotokatalis dibuat dengan cara mendispersikan prekursor titanium ke dalam suspensi material abu vulkanik yang diikuti dengan pengeringan dan kalsinasi. Karakterisasi material dilakukan dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), Fourier Transform InfraRed (FT-IR), dan Spektrofotometri UV-Visible. Materi tersebut diaplikasikan pada fotooksidasi air limbah batik dengan variasi penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai oksidator. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki efektifitas yang lebih baik dalam metode pengolahan limbah ini sehingga TiO<sub>2</sub> termodifikasi abu vulkanik merupakan bahan potensial yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah batik.

**Kata kunci:** Abu vulkanik, fotokatalis, limbah batik, TiO<sub>2</sub>

## 1. PENDAHULUAN

Batik telah dinobatkan sebagai warisan budaya dunia oleh *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO)* sejak tahun 2009. Pengakuan ini diberikan UNESCO dengan melihat berbagai upaya yang dilakukan oleh Indonesia, terutama karena penilaian terhadap keragaman motif batik yang penuh makna filosofi mendalam. Pengakuan oleh *United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO)* telah mendorong banyaknya industri batik yang berkembang. Salah satu industri batik tersebut ialah di Desa Wukirsari, Yogyakarta.

Industri batik merupakan salah satu penghasil limbah cair yang berasal dari proses pencelupan (*dyeing*), pencucian (*washing*), pengukuran (*sizing*), pencetakan (*printing*), dan penyempurnaan (*finishing*) (Abdullah, M., Arutanti, O., Amalia, 2011). Selain kandungan zat warnanya tinggi, limbah

industri batik juga mengandung bahan-bahan organik sintetik yang sukar terurai, bersifat resisten, dan toksik. Limbah cair industri batik mempunyai karakteristik berwarna keruh, berbusa, pH tinggi, konsentrasi COD tinggi, kandungan lemak alkali dan zat warna dimana didalamnya terdapat kandungan logam berat. Senyawa logam berat yang bersifat racun yang terdapat pada buangan industri batik adalah krom (Cr), Timbal (Pb), Nikel (Ni), tembaga (Cu), dan mangan (Mn) yang berdampak buruk bagi manusia dan lingkungan sekitar.

Pengolahan limbah batik cair selama ini telah dilakukan dengan proses adsorpsi. Namun, metode ini memiliki kelemahan yaitu tingkat selektifitasnya yang rendah terutama pada limbah cair kompleks, selain regenerasi yang cukup sulit (Fatimah dan Setiaji, 2001). Pada metode adsorpsi polutan yang teradsorpsi masih terakumulasi di dalam adsorben yang

pada suatu saat nanti yang akan menimbulkan suatu masalah baru selain itu pada metode adsorpsi ini hanya dapat mengadsorpsi beberapa senyawa polutan saja. Metode adsorpsi juga memerlukan biaya yang cukup mahal dalam pengolahannya sehingga diperlukan metode lain yang dapat memperhatikan factor efisiensi dan optimalisasi dalam pengolahan limbah batik cair. Sebagai alternatif, dikembangkan metode fotodegradasi dengan menggunakan bahan fotokatalis. Dengan metode fotodegradasi ini, zat warna dan polutan akan diurai menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana, karena proses degradasi yang sempurna akan menghasilkan CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O yang aman untuk lingkungan sehingga mengurangi factor regenerasi (Qodri, A.A., 2011).

Oksida logam titanium (TiO<sub>2</sub>) banyak dilaporkan sebagai material semikonduktor yang aktif sebagai fotokatalis. Aktivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat ditingkatkan melalui pengembanan pada material pendukung. Salah satu yang dapat digunakan untuk kepentingan tersebut adalah SiO<sub>2</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang terdapat dalam abu vulkanik gunung berapi. Abu vulkanik merupakan bahan material vulkanik yang disemburkan ke udara saat terjadi letusan gunung berapi yang banyak mengandung silica (SiO<sub>2</sub>) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Penggunaan abu vulkanik sebagai cetakan pori material TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan volume permukaan pori sehingga proses fotokatalisis menjadi lebih efektif. Keuntungan lain yang diharapkan dari pengembanan TiO<sub>2</sub> pada abu vulkanik antara lain potensi abu vulkanik yang belum dimanfaatkan selama ini di Indonesia menjadikan penekanan biaya dalam metode ini. Material TiO<sub>2</sub> teremban pada abu vulkanik memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben serta sebagai fotokatalis.

Berdasar latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membuat fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Abu Vulkanik dan karakterisasinya serta melakukan pengujian aktifitas katalis yang telah dibuat dalam pengolahan limbah batim cair yang diambil dari Desa Wukirsari, Yogyakarta.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Peningkatan volume industri batik tidak sejalan dengan pengetahuan para pengrajin untuk mengolah limbah yang dihasilkan pada proses akhir industri sehingga jumlah limbah yang dihasilkan meningkat sehingga dapat merusak, mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia (Purba, 2009). Limbah yang dihasilkan dari industri batik khususnya limbah zat warna yang berasal dari proses pewarnaan batik sering langsung dibuang ke perairan sehingga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan (Alerts dan Santika, 1984).

Upaya penanggulangan limbah batik dapat dilakukan dengan metode fotodegradasi. Fotodegradasi adalah proses peruraian suatu senyawa (biasanya senyawa organik) dengan bantuan energi foton. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis, yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Prinsip fotodegradasi adalah adanya loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada logam semikonduktor jika dikenai suatu energi foton. Loncatan elektron ini menyebabkan timbulnya hole (lubang elektron) yang dapat berinteraksi dengan pelarut (air) membentuk radikal OH. Radikal bersifat aktif dan dapat berlanjut untuk menguraikan senyawa organik target (Maldotti, A., Andrenalli, L., Mollinari, A., Varani, G., Cerichelli, G., Chiarini, M., 2001)

Diantara beberapa logam fotokatalis, TiO<sub>2</sub> adalah katalis semikonduktor yang paling efektif pada fotokatalis karena mempunyai *energy gap* relatif besar (3,2 eV) yang cocok digunakan untuk fotokatalis, tidak beracun, dan harganya terjangkau dan melimpah di alam. Jika katalis semikonduktor dikenai sinar dengan energi yang lebih besar, maka elektron (e<sup>-</sup>) pada pita valensi bereksitasi menuju pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* (h<sup>+</sup>) pada pita valensi. *Hole* (h<sup>+</sup>) akan berinteraksi dengan H<sub>2</sub>O dan OH<sup>-</sup> yang berada pada permukaan katalis membentuk OH radikal (•OH) yang bersifat sebagai oksidator kuat.

Elektron ( $e^-$ ) akan bereaksi dengan  $O_2$  yang berada pada katalis membentuk radikal superoksida ( $\bullet O_2^-$ ) yang bersifat sebagai reduktor. Titanium dioksida atau dikenal dengan Titania, yang secara alami merupakan oksida dari titanium. Beberapa keunggulan yang dimiliki titania, yaitu memiliki sifat optik yang baik, tidak beracun, harganya murah, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, semikonduktor dengan bandgap yang lebar, ketersediaan yang melimpah, tidak larut dalam air, memiliki permukaan yang luas (Chen dkk. 2012; Pang dkk. 2012), stabilitas mekanik dan termal yang tinggi (Dastan dkk. 2014; Hema dkk. 2013), dan ramah lingkungan (P. Sivakumar dkk 2015). Dalam reaksi fotokatalis dengan  $TiO_2$  dalam bentuk kristal anatase  $TiO_2$  dilaporkan sebagai komponen aktif sedangkan dalam bentuk rutile kurang menunjukkan aktifitasnya.  $TiO_2$  dengan bentuk kristal anatase dan rutile jika dikenai suatu sinar UV dengan  $\lambda < 385$  nm untuk anatase dan  $\lambda = 405$  nm untuk rutile, akan menghasilkan spesies oksidator pada permukaannya.  $TiO_2$  merupakan spesies oksidator kuat yang ditunjukkan  $H^+$  pada permukaannya. Oleh karenanya  $TiO_2$  mampu mengoksidasi spesies kimia yang mempunyai potensi redoks yang lebih kecil. Pengurangan ukuran kristal berguna untuk menekan rekombinasi fotoeksitasi electron ( $e^-$ ) dan lubang ( $H^+$ ) (Ranjit, K., Willner, I., Bossmann, S., Braun, A., 1998).

Aktivitas fotokatalis (fotoaktivitas)  $TiO_2$  dapat ditingkatkan melalui pengembanan pada material pendukung. Salah satu yang dapat digunakan untuk kepentingan tersebut adalah abu vulkanik karena didalam abu vulkanik terdapat kandungan  $SiO_2$  dan  $Fe_2O_3$  yang melimpah sehingga dapat digunakan sebagai pengemban material  $TiO_2$ . Secara umum abu atau material dari letusan gunung berapi seperti Gunung Merapi mengandung oksida beberapa unsur logam seperti Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, dan K serta belerang. (Cas and Wright, 1988; Smith, et al, 1983; Christenson, 2000). Komposisi

oksida logam khususnya Si, Al, dan Ca yang terkandung dalam material memberikan potensi kepada material tersebut untuk dapat dimanfaatkan dalam fotokatalis.

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam preprasi adalah Ti-butoksida, isopropanol, aquades,  $H_2O_2$ , sisa abu vulkanik diperoleh dari Desa Kinahrejo Yogyakarta, dan limbah batik diperoleh dari sentra batik di Desa Wukirsari Yogyakarta.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah yaitu gelas beaker 250 ml, pipet volum 10 ml, pipet volum 5 ml, pipet tetes, kaca arloji, sendok sugu, pengaduk kaca, magnetik stirer, kertas saring whatman, corong, erlenmayer 250 ml, cawan porselein, reactor fotokatalis, furnace thermo scientific, oven merk memmert UN 110. Peralatan instrumen meliputi untuk karakterisasi Difraction Sinar- X (XRD) Shimadzu X6000, X-Ray Fluorescence (XRF), Spektrofotometer UV-Vis HITACHI U-2010, FTIR Nicolet Avatar.

#### 3.2 Pengambilan dan Preparasi

##### Limbah Batik

Limbah cair batik diambil dari sentra batik di Desa Wukirsari Yogyakarta. Limbah cair ini dimasukan ke dalam jirigen. Limbah cair ini disaring dengan kertas saring untuk menghilangkan padatan (seperti malam) yang dapat mengganggu analisis.

##### 3.3 Sintesis Ti-Abu Vulkanik

Sintesis Ti-Abu Vulkanik dibuat dengan memasukan 1 mL Ti-butoksida kedalam larutan yang berisi isopropanol dan air dengan perbandingan (10:10) dalam 20 mL. Kemudian dilakukan dengan cara pengadukan dengan stirrer selama 2 jam. Selanjutnya larutan yang terbentuk ditetesi perlahan-lahan kedalam larutan abu vulkanik yang berisi 10gram abu vulkanik dan 50 ml aquades. Kemudian dilakukan pengadukan kembali dengan stirrer selama 4 jam.

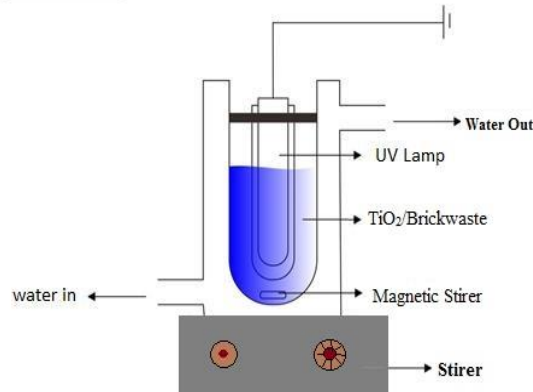
Hasil larutan yang terbentuk kemudian dilakukan proses pengovenan selama satu malam pada suhu  $100^\circ C$  untuk menghilangkan kadar air.

Kemudian dilakukan proses kalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam.

### 3.4 Fotodegradasi Limbah Batik

Fotodegradasi dilakukan dengan mengambil limbah batik cair sebanyak 250 mL dan diencerkan sebanyak 2x kemudian ditambahkan dengan 0,5 gram fotokatalis Ti-abu vulkanik. Kemudian ditambahkan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sebagai

oksidator sebanyak 1 mL dalam reaktor fotokatalis dengan bantuan sinar Uv dengan variasi waktu penyinaran 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120 dan 180 menit.

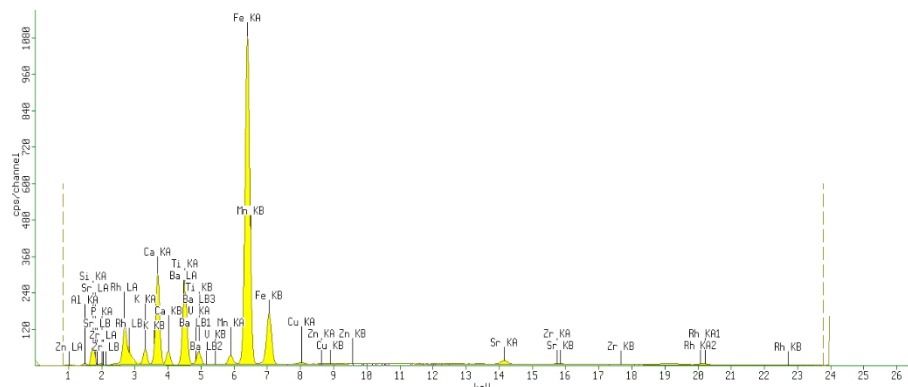


Gambar 1. Reaktor Fotokatalisis

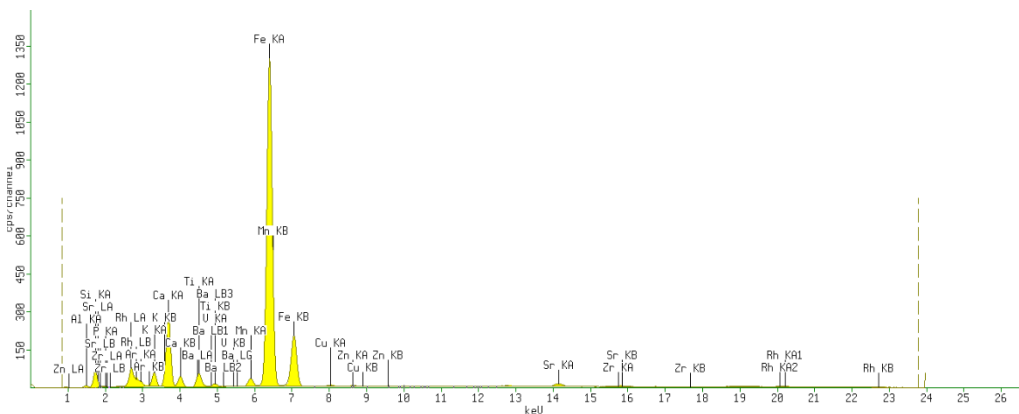
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis material komposit Ti-Abu vulkanik menggunakan melalui proses sol-gel. Hasil karakterisasi yang dilakukan dengan X-Ray Fluorescence (XRF) yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia unsur-unsur yang terkandung pada senyawa abu vulkanik murni dan pada material komposit Ti-Abu vulkanik yang telah disintesis. Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi dari peristiwa efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron

dalam atom target (sampel) terkena berkas berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X). Bila energi sinar tersebut lebih tinggi dari pada energi ikat elektron dalam orbit K, L, atau M atom target, maka elektron atom target akan keluar dari orbitnya. Dengan demikian atom target akan mengalami kekosongan elektron. Kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital yang lebih luar diikuti pelepasan energi yang berupa sinar-X. Hasil karakterisasi sampel dengan menggunakan XRF dapat dilihat pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Difraktogram XRF Abu Vulkanik Murni



**Gambar 3.** Difraktogram XRF Ti-Abu Vulkanik

Pada hasil data difraktogram Gambar 2. Menunjukkan bahwa terdapat peak tertinggi yaitu pada unsur Fe dan Si dengan hasil oksidasi menunjukkan senyawa  $Fe_2O_3$  dan  $SiO_2$  yang menandakan kedua senyawa tersebut memiliki kandungan unsur terbesar dalam sampel abu vulkanik yang pada digunakan sebagai logam pengemban dari titanium. Kemudian pada Gambar 3. Menunjukkan terdapat peak tertinggi juga

pada unsur yang sama yaitu Fe dan Si dengan hasil oksidasi  $Fe_2O_3$  dan  $SiO_2$  namun pada peak tersebut juga muncul unsur senyawa Ti yang menandakan bahwa senyawa Titanium dengan oksida  $TiO_2$  telah terbentuk atau telah terembankan pada hasil sintesis yang telah dilakukan. Data tersebut kemudian didukung dengan adanya tabel presentase kandungan didalamnya yang ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

**Tabel 1.** Kandungan Abu Vulkanik Murni

Unsur	Senyawa Oksida	Presentase Kandungan %
Al	$Al_2O_3$	11
Si	$SiO_2$	42
P	$P_2O_5$	1,2
K	$K_2O$	3,22
Ca	CaO	15,4
Ti	$TiO_2$	2,21
V	$V_2O_5$	0,12
Mn	MnO	0,59
Fe	$Fe_2O_3$	23,8
Cu	CuO	0,088
Zn	ZnO	0,046
Sr	SrO	0,26
Zr	$ZrO_2$	0,053
Ba	BaO	0,2

**Tabel 2.** Kandungan Ti-Abu Vulkanik

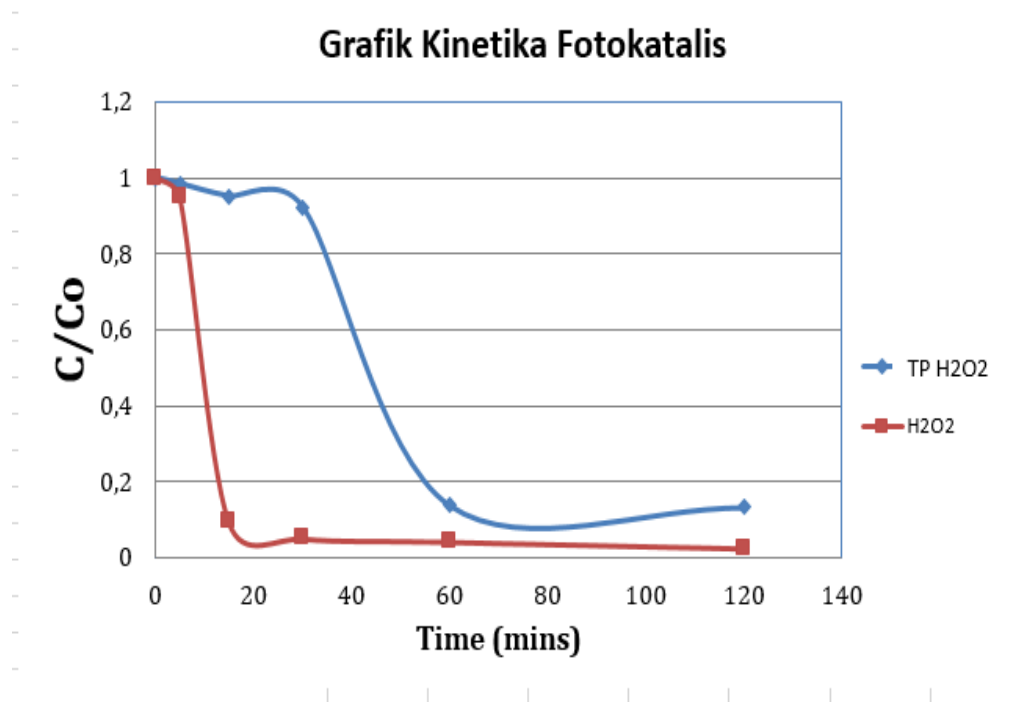
Unsur	Senyawa Oksida	Presentase Kandungan %
Al	$Al_2O_3$	11
Si	$SiO_2$	38,9
P	$P_2O_5$	1,1
K	$K_2O$	2,68
Ca	CaO	14,9

<b>Ti</b>	TiO <sub>2</sub>	10,7
<b>V</b>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03
<b>Mn</b>	MnO	0,561
<b>Fe</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20
<b>Cu</b>	CuO	0,083
<b>Zn</b>	ZnO	0,037
<b>Sr</b>	SrO	0,26
<b>Zr</b>	ZrO <sub>2</sub>	0,051
<b>Ba</b>	BaO	0,1

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2. dapat diketahui bahwa unsur yang lebih mendominasi adalah unsur Si dan Fe dimana pada sampel abu vulkanik murni dengan senyawa oksida SiO<sub>2</sub> memiliki presentase 42% sedangkan pada senyawa oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki presentase 23,8%. Pada kandungan Ti-Abu vulkanik atau hasil pengembunan dapat terlihat bahwa unsur yang lebih mendominasi ialah senyawa yang sama yaitu Si dan Fe dengan senyawa oksida SiO<sub>2</sub> yang memiliki presentase 38,9% dan senyawa oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki presentase 20% walaupun terdapat penurunan namun hal tersebut menunjukkan bahwa telah terjadinya ikatan dengan Titanium dengan senyawa oksida TiO<sub>2</sub> yang menunjukkan bahwa proses pengembunan tersebut telah berhasil terbentuk, dimana dari hasil yang diperoleh juga menunjukkan terjadinya peningkatan presentase kandungan unsur Ti dari 2,21% menjadi 10,7%.

Hasil komposit Ti-Abu vulkanik yang terbentuk kemudian dilakukan fotodegradasi. Fotodegradasi merupakan reaksi pemecahan senyawa oleh adanya cahaya. Proses fotodegradasi memerlukan suatu fotokatalis, yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Reaksi

fotodegradasi membutuhkan empat komponen utama yaitu: senyawa target, fotokatalis, cahaya (foton) dan oksigen. Dalam penelitian ini, digunakan cahaya yang bersumber dari lampu uv dengan daya 40 watt dan panjang gelombang 358 nm, senyawa target pada proses fotodegradasi ini adalah larutan limbah batik, larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pekat sebagai oksidator dan fotokatalis Ti-Abu vulkanik. Fotodegradasi limbah batik cair dengan katalis Ti-Abu vulkanik selama proses penyinaran sinar UV berlangsung dilakukan dalam ruang gelap, dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* agar reaksi fotodegradasi berlangsung secara merata. Penyinaran dilakukan dengan variasi waktu 5, 10, 15, 30, 45, 60, 120 menit untuk mempelajari aktivitas fotokatalitiknya sebagai fungsi waktu. Larutan yang telah tercampur dengan katalis diambil larutan supernatannya setelah diendapkan selama 24 jam kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimumnya. Pada penelitian ini dilakukan 2 variasi pengujian yaitu dengan adanya penambahan oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan tanpa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Hasil kinetika reaksi dari aktivitas fotokatalis keduanya disajikan pada grafik pada gambar 3.



**Gambar 3.** Grafik Kinetika Fotokatalis

Gambar 3. menunjukkan bahwa konsentrasi sampel limbah batik seiring dengan bertambahnya waktu penyinaran sinar UV maka konsentrasinya semakin menurun. Pada hasil kinetika fotokatalisis juga menunjukkan bahwa katalis Ti-Abu vulkanik menggunakan oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

mempunyai hasil persentase yang lebih baik dibandingkan tanpa oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dimana proses fotokatalis menggunakan oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> berhasil mendegradasi limbah batik ini dengan presentase 97,43% sedangkan dengan tanpa oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki presentase hasil 86%.



**Gambar 4.** Perubahan Warna Sebelum dan Setelah Fotodegradasi

Berdasarkan gambar 4. Memperlihatkan bahwa limbah batik cair setelah dilakukan fotokatalisis berubah warnanya menjadi bening. Degradasi ini

disebabkan karena adanya penyinaran dengan sinar UV yang menyebabkan terbentuknya radikal OH. Semakin lama waktu penyinaran maka radikal OH

semakin banyak terbentuk. Dimana radikal OH ini yang berperan untuk mengoksidasi zat warna yang terdapat pada limbah batik. Pada hasil proses fotokatalis ini juga terjadinya penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dari 4270 ppm menjadi 115,7 ppm 121,1mg/L maka dapat disimpulkan bahwa metode ini juga dapat menurunkan nilai COD sehingga limbah batik yang dibuang ke lingkungan adalah limbah yang aman dan tidak berbahaya sesuai dengan Baku Mutu Lingkungan yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup No.51/MENLH/10/1995 menyatakan baku mutu limbah cair COD 300 ppm.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Arutanti, O., Isnaeni, V.A., Fitria, I., Amalia, Maturi, Aliah, H., dan Khairurrijal. (2011) Pengolahan Air Limbah dengan Material Struktur Nanometer, *Jurnal Seminar Kontribusi Fisika*, INV05.
- Alerts, G., dan Santika, S., 1984,. *Metode Penelitian Air*, Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.
- Chen, D., Qian, Z., Fengsan, Z., Xutao, D., Fatang.(2012). Synthesis And Photocatalytic Performances Of The TiO<sub>2</sub> Pillared Montmorillonite. *Journal of Hazardous Materials*, 235-236, 186– 193
- Dastan, Davoud, N. B., Chaure. (2014). Influence of Surfactants on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Grown by Sol-Gel Technique. *International Journal of Materials Mechanics and Manufacturing*, 2(1), 21-24.
- Fatimah, I. dan Setiaji, B. (2001) Zeolit Alam sebagai Adsorben Limbah Cair Industri Tapioka, Prosiding The 1st Indonesian Seminar on Zeolite ISSN : 1411-6723, Hal 64-70
- Hema, M., Yelil, A. Tamilselvi, Anbarasan, R. Titania Nanoparticles Synthesized by Sol-Gel Technique. *Chemical Science Transactions*, 2(1), 239-245.
- Maldotti, A., Andrenalli, L., Mollinari, A., Varani, G., Cerichelli, G., Chiarini, M. (2000) Photocatalytic Properties Of Iron-Phorpyrin Revisited In Aqueous Micellar Environment, *Green Chemistry*, 3, 42-46.
- Pang, S.C., Sze, Y.K., Suk, F.K. (2012). Fabricatio of Magnetite/ Silica/ Titania Core-Shell Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, 1-6
- Purba, M. E. K., 2009, Analisa Kadar Total Suspended Solid (TSS), Amoniak (NH<sub>3</sub>) Sianida (CN<sup>-</sup>), dan Sulfida (S<sup>2-</sup>) pada Limbah Cair BAPEDALDASU, Karya Ilmiah, Departemen Kimia, Progran Studi Diploma-3 Kimia Analisis FMIPA USU.
- Ranjit, K., Willner, I., Bossmann, S., Braun, A. (1998) Iron (III) Phtalocyanine Modified Titanium Dioxide: A Novel Photocatalyst for Echanged Photodegradation of Organic Pollutans, *J. Phys.Chem. B.*, 102, 9397-9403
- Sivakumar, P., dan Sudha, D. (2015). Photocatalytic Activity of Various Composite Catalysts. *Chemical Engineering and Processing*.
- Qodri, A.A. (2011). *Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow Fg dengan Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>*. Surakarta : FMIPA Universitas Sebelas Maret.