

# DEGRADASI ZAT WARNA PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TEKSTIL DENGAN METODE FOTOKATALITIK MENGGUNAKAN NANOKOMPOSIT $\text{TiO}_2$ – ZEOLIT

## (COLOR DEGRADATION IN TEXTILE INDUSTRIAL WASTEWATER WITH PHOTOCATALYTIC METHOD USING NANOCOMPOSITE $\text{TiO}_2$ -ZEOLITE)

Siti Naimah, Silvie Ardhanie A., Bumiarto Nugroho Jati, Novi Nur Aidha dan Agustina  
Arianita C.

Balai Besar Kimia dan Kemasan, Kementerian Perindustrian RI  
Jl. Balai Kimia I Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur

E-mail : st.naimah@gmail.com

Received : 1 Oktober 2014 ; revised : 7 Oktober 2014 ; accepted : 15 Oktober 2014

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian degradasi zat warna pada limbah cair industri tekstil menggunakan metode fotokatalitik dengan penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  - zeolit. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efektifitas kemampuan nanokomposit dalam mendegradasi zat warna serta parameter-parameter yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Zeolit alam diaktivasi terlebih dahulu sebelum dikompositkan dengan  $\text{TiO}_2$ . Perbandingan  $\text{TiO}_2$  : zeolit yang digunakan pada pembuatan nanokomposit adalah 100:0, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, dan 0:100. Percobaan pendahuluan dilakukan dengan menggunakan limbah cair tekstil buatan yang dibuat dari pewarna *Synolon yellow S-G6LS* (untuk warna kuning) dan *B/Blue R 150% special* (untuk warna biru), sedangkan limbah cair industri tekstil diambil dari salah satu industri di Bogor. Waktu degradasi zat warna dilakukan dalam reaktor fotokatalitik selama 180 menit. Pada perbandingan  $\text{TiO}_2$  : zeolit 40:60 didapatkan degradasi zat warna tekstil buatan berwarna kuning maksimal adalah 99,9 % dan zat warna tekstil buatan berwarna biru maksimal 99,8%. Analisis warna menggunakan spektrofotometer dan HPLC. Nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit 40 : 60 merupakan perbandingan optimal sehingga digunakan pada uji coba limbah cair industri tekstil. Degradasi maksimal warna kuning dengan pengolahan fotokatalitik yang ditambahkan nanokomposit pada limbah cair industri tekstil sebesar 98,4%, sedangkan untuk parameter uji zat organik, TSS, TDS, BOD, COD, dan lemak/minyak diperoleh nilai di bawah baku mutu yang dipersyaratkan.

Kata kunci : Reaksi fotokatalitik, Limbah cair tekstil, Nanokomposit,  $\text{TiO}_2$ , Zeolit

### ABSTRACT

Research has been done on the color degradation of textile industrial wastewater using photocatalytic method by adding nanocomposite  $\text{TiO}_2$  : zeolite. The purpose of this study to determine the effectiveness of nanocomposite ability to degrade the color as well as the parameters in line with Government Regulation Number 82, 2001 on water quality management and water pollution control. Zeolites is firstly activated before made the nanocomposite. The ratio between nanocomposite  $\text{TiO}_2$  : zeolite is 100:0, 20:80, 40:60, 50:50, 60:40, and 0:100. Preliminary experiments using artificial textile effluent made from color *Synolon yellow S-G6LS* (yellow color) and *B/Blue R 150% special* (blue color), while the textile industry wastewater taken from textile industry in Bogor. Color degradation time in the photocatalytic reactor for 180 minutes. In comparison nanocomposite  $\text{TiO}_2$ :zeolite 40:60 obtained artificial textile color degradation yellow maximum 99,9% and artificial textile color degradation blue maximum 99,8%. Color analysis using spectrophotometer and HPLC. Nanocomposite  $\text{TiO}_2$ : zeolite 40: 60 is the optimal ratio to be used in trials of textile industrial wastewater. The maximum degradation of yellow color by photocatalytic nanocomposite processing in the textile industrial wastewater is 98.4% while for organic substances, TSS, TDS, BOD, COD, and fat/oil parameters values obtained under the required quality standard.

Keywords: Photocatalytic reaction, Textile waste water, Nanocomposite,  $\text{TiO}_2$ , Zeolite

## PENDAHULUAN

Industri tekstil di Indonesia mengalami peningkatan yang semakin pesat guna memenuhi kebutuhan masyarakat akan sandang. Jumlah Industri tekstil yang ada di Indonesia mencapai 2.251 pada tahun 2011 (bps.go.id). Namun besarnya jumlah industri tekstil di Indonesia ini tidak diimbangi dengan pengolahan limbah cair dengan baik dan benar. Perkiraan beban pencemaran limbah cair dari industri tekstil skala menengah dan besar di lingkungan DKI Jakarta pada 2012 untuk kadar BOD mencapai 10.516,72 ton/tahun, kadar COD 5.421,09 ton/tahun, kadar padatan tersuspensi (SS) adalah 4.943,49 ton/tahun, dan *Total Dissolved Solid (TDS)* sebesar 12.305,29 ton/tahun (bplhd.go.id). Sebagian besar industri tekstil tersebut menggunakan pewarna sintetis dengan alasan murah, tahan lama, mudah diperoleh, dan mudah dalam penggunaan. Penggunaan pewarna tekstil sintetis menimbulkan masalah, yakni limbah yang dihasilkan masih berwarna dan sulit terdegradasi. Limbah pewarna tekstil harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran air. Ini disebabkan karena sekitar 10% hingga 15% zat pewarna yang sudah dipakai, tidak dapat digunakan ulang dan harus dibuang (Ruzicka dkk 2014).

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat. Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya, serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna (Manurung dkk 2004).

Beberapa cara pengolahan limbah cair tekstil secara konvensional telah banyak dikembangkan oleh para peneliti antara lain klorinasi, ozonisasi, dan biodegradasi. Beberapa kelemahan dari metode tersebut antara lain biaya operasional tinggi dan relatif sulit diterapkan di Indonesia. Proses adsorpsi yang saat ini banyak digunakan kurang efektif, karena limbah organik yang teradsorpsi masih terakumulasi di dalam adsorben yang pada suatu saat nanti akan menimbulkan masalah baru bagi lingkungan (Utubira *et al.* 2006).

Salah satu alternatif pengolahan limbah tekstil adalah dengan menggunakan prinsip fotokatalitik (Alinsafi *et al.* 2006). Fotokatalitik merupakan kombinasi antara proses fotokimia

dan katalis. Pada proses fotokatalitik diawali dengan terbentuknya pasangan *electron hole* positif ( $e^-$ ,  $h^+$ ) dalam partikel semikonduktor. Pasangan *electron hole* positif mengalami reaksi reduksi oksidasi menghasilkan radikal hidroksil ( $\cdot OH$ ) yang diduga dapat mendegradasi polutan organik berbahaya (Sakti *et al.* 2013).

Proses fotokatalitik terjadi pada fase teradsorpsi (Fogler 1992), hal ini menimbulkan masalah baru dalam proses fotodegradasi karena semikonduktor yang digunakan memiliki daya adsorpsi yang lemah. Penambahan suatu adsorben yang dapat menopang semikonduktor dapat mengurangi kekurangan tersebut (El-Maazawi 2000). Penggabungan fotokatalitik dan adsorben dilakukan dengan harapan kontak fotokatalitik dengan polutan menjadi lebih optimal. Selain itu, adsorben yang digunakan tidak perlu digenerasi karena polutan yang menempel pada adsorben akan didegradasi secara insitu oleh fotokatalis sehingga kejenuhan adsorben dapat dihindari (Matsuoka and Anpo 2003, Slamet *et al.* 2008).

Kelebihan proses fotokatalitik dibandingkan dengan metode konvensional lain adalah hasil limbah tidak berbahaya dan lebih hemat dalam pemakaian bahan kimia serta energi. Fotokatalitik juga merupakan metode yang potensial dan efektif dalam mengolah limbah-limbah senyawa organik dan non organik karena mempunyai kemampuan sebagai reduktor dan oksidator (Parent and Blake 1996, Slamet 2004).

Penelitian menggunakan metode fotokatalitik untuk degradasi limbah cair industri tekstil telah banyak dilakukan, antara lain penelitian pengolahan limbah cair tekstil batik dengan menggunakan metode fotokatalitik  $TiO_2$ -dopan-N (campuran  $TiO_2$ :urea) menggunakan sinar matahari selama 5 jam oleh Riyani *et al.* (2012) dimana penambahan urea berfungsi untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dan penelitian dengan menggunakan metode fotokatalitik  $TiO_2$ -zeolit dengan bantuan sinar UV untuk degradasi limbah tekstil di Jogja oleh Utubira dkk (2006).

Penelitian menggunakan metode fotokatalitik untuk degradasi limbah cair tekstil buatan antara lain penelitian penurunan zat warna sintetis *C. I acid blue 40* untuk tekstil menggunakan kitosan bipolarimer dan  $TiO_2$  dengan lampu UV, penurunan warna dilakukan dengan mengukur absorbansinya menggunakan alat spektrometer UV-VIS (Chen *et al.* 2010). Saleh (2005) juga telah melakukan penelitian

pengujian warna tekstil sintetis menggunakan HPLC, dengan menggunakan pewarna sintetis berupa *direct red 81*, *direct blue 15*, *direct black 22*, dan *direct orange 34*.

TiO<sub>2</sub> merupakan bahan semikonduktor paling sering digunakan sebagai fotokatalis dalam aplikasi reaksi fotokatalitik khususnya pengolahan limbah. Beberapa keunggulan TiO<sub>2</sub> dibandingkan fotokatalisis semikonduktor yang lain yaitu TiO<sub>2</sub> mempunyai energi gap relatif besar (3,2 eV) yang cocok digunakan untuk fotokatalis, tidak beracun, harganya terjangkau, melimpah di alam, memiliki stabilitas kimia tinggi pada kisaran pH yang besar, katalis dan bahan kimia berbiaya rendah, tidak ada atau terhambatan rendah dengan keberadaan ion yang umumnya berada di air, memerlukan kondisi reaksi yang relatif ringan dan berhasil mendekomposisi beberapa polutan beracun dan sulit terurai (Andari dan Wardhani 2014, Bayarri *et al.* 2005)

Penggunaan TiO<sub>2</sub> akan lebih efektif jika menggunakan adsorben. Adsorben yang digunakan adalah zeolit. Penelitian penggunaan zeolit sebagai bahan adsorben pada oksida logam TiO<sub>2</sub> telah banyak dilakukan. Pemanfaatan zeolit sebagai matriks untuk sintesis oksida-oksida logam disebabkan karena zeolit mempunyai pori-pori yang berdimensi nanometer sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembatas pertumbuhan partikel. Zeolit berfungsi untuk meningkatkan aktivitas fotokatalisis. Dengan mendispersikan bahan TiO<sub>2</sub> ke dalam pori-pori zeolit, maka penggunaan bahan menjadi lebih irit dan juga lebih mudah menanganinya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas kemampuan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit dalam mendegradasi zat warna dan zat organik pada limbah cair industri tekstil supaya sesuai dengan baku mutu lingkungan. Pada penelitian ini zeolit alam diaktivasi terlebih dahulu sebelum dikompositkan dengan TiO<sub>2</sub>. Dibuat nanokomposit TiO<sub>2</sub> dan zeolit dengan perbandingan tertentu. Percobaan pendahuluan dilakukan dengan menggunakan limbah cair tekstil buatan yang dibuat dari pewarna *Synolon yellow S-G6LS* (untuk warna kuning) dan *B/Blue R 150% special* (untuk warna biru), sedangkan limbah cair industri tekstil diambil dari salah satu industri di Bogor.

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *synolon yellow S-G6LS*, *B/Blue R 150% special*, limbah industri tekstil diambil dari

industri di Bogor, HCl pekat, HF pekat, NH<sub>4</sub>Cl 0.1M, zeolit alam Lampung, serbuk TiO<sub>2</sub> *Grade Degussa P-25*, *TEOS (tetraethylorthosilicate)*, *aquadest*, KMnO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, *ethanol*, dan *dichloromethane for HPLC*. Peralatan penelitian yang digunakan yaitu spektrofotometer DR/2000, sonikator, *hot plate*, reaktor fotokatalitik, ayakan 180 µm, *stirrer*, *oven* dan neraca analitik.

### Metode

#### Aktivasi Zeolit Sebagai Adsorben

Sebelum zeolit digunakan sebagai nanokomposit, dilakukan aktivasi terlebih dahulu. Zeolit alam Lampung (50 gram) dicuci menggunakan *aquadest* sebanyak 2 kali, kemudian disaring dan dikeringkan di dalam oven (120°C selama 2 jam). Setelah dikeringkan, zeolit dilarutkan dengan HF 1% sebanyak 200 mL, lalu dilakukan sentrifugasi selama 10 menit. Tahapan setelah sentrifugasi adalah pencucian bebas asam dengan menggunakan *aquadest* sampai larutan atas menjadi jernih tidak berwarna dan dilanjutkan dengan penyaringan zeolit. Sebanyak 200 mL HCL 6M ditambahkan, kemudian dilakukan refluks pada suhu 90°C selama 30 menit, lalu dilakukan pencucian bebas Cl<sup>-</sup> dengan menggunakan *aquadest* sampai larutan atas menjadi jernih tidak berwarna. Zeolit kemudian disaring, diambil endapan, dimasukkan ke dalam erlenmeyer, dan ditambahkan NH<sub>4</sub>Cl 0,1 M sebanyak 200 mL. Endapan direndam selama 24 jam. Setelah direndam, dilakukan refluks terhadap endapan tersebut selama 180 menit/hari selama 5 hari berturut-turut, kemudian dibilas dengan menggunakan *aquadest*, disaring, dan dimasukkan ke dalam cawan untuk dikalsinasi di tanur pada suhu 500°C selama 5 jam.

#### Pembuatan Nanokomposit TiO<sub>2</sub> - Zeolit

TiO<sub>2</sub> dan zeolit ditimbang secara terpisah dengan perbandingan (100:0, 20:80; 40:60; 50:50; 60:40; dan 0:100) dengan berat total 5 gram. TiO<sub>2</sub> yang telah ditimbang kemudian dilarutkan dengan 100 mL *aquadest*, lalu disonikasi selama 30 menit. Setelah disonikasi, ditambahkan *TEOS (Tetraethylenorthosilicate)* sebanyak 0,10 mL (2 tetes), disonikasi kembali selama 2 menit, kemudian ditambahkan adsorben yang telah ditimbang, diaduk sampai homogen, dan disonikasi selama 30 menit. Tahap berikutnya nanokomposit dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 80°C hingga 90°C dengan pengadukan hingga air menjadi kurang lebih 20 mL - 30 mL, kemudian dikalsinasi dalam tanur pada suhu 300°C selama 2 jam,

didinginkan, dan terakhir dihaluskan menggunakan lumpang.

#### **Pengolahan Limbah Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Zeolit, TiO<sub>2</sub> dan Nanokomposit (TiO<sub>2</sub> : Zeolit)**

Sampel limbah cair tekstil 300 mL ditambahkan zeolit 3 gram (untuk zeolit 100%) atau 3 gram TiO<sub>2</sub> (untuk TiO<sub>2</sub> 100%) atau ditambahkan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit (dengan perbandingan 20 : 80, 40 : 60, 50 : 50, dan 60 : 40) yang telah ditimbang terlebih dahulu sebanyak 3 gram. Setelah zeolit atau TiO<sub>2</sub> atau nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit ditambahkan, lalu dimasukkan ke dalam reaktor fotokatalitik. Waktu yang digunakan pada pengolahan limbah cair tekstil dengan metode fotokatalitik adalah 180 menit. Hal ini berdasarkan pada kekuatan intensitas sinar matahari yang merupakan sumber sinar UV di alam pada kisaran pukul 11:40 hingga 14:00, yaitu 180 menit. Penelitian ini menggunakan lampu UV sebagai sumber sinar UV. Sampling dilakukan setiap 10 menit selama 180 menit dan dimasukkan ke dalam tube.

#### **Analisis Warna Limbah Cair Tekstil Buatan dan Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Spektrofotometer**

Larutan standar dipersiapkan terlebih dahulu, untuk limbah cair berwarna kuning dibuat dengan konsentrasi 60 mg/L dan deret pengencerannya, sedangkan larutan standar untuk limbah cair berwarna biru dibuat dengan konsentrasi 40 mg/L dan deret pengencerannya. Larutan standar disiapkan dalam tube 20 mL. Untuk sampel limbah cair tekstil yang ada dalam test tube, disaring menggunakan siring injection dengan menggunakan kertas saring 0,45 µm. Sampel dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 450 nm untuk sampel berwarna kuning dan 700 nm untuk sampel berwarna biru. Preparasi analisis spektrofotometer untuk sampel berwarna kuning ditambahkan methanol dengan perbandingan 4:3.

#### **Analisis Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan HPLC**

Sampel limbah cair industri tekstil 300 mL yang telah dipreparasi dimasukkan ke dalam wadah. Ditambahkan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit 3 gram dengan perbandingan 40 : 60, setelah itu dimasukkan dalam reaktor fotokatalitik dan sampling sebanyak 40 mL dilakukan selama 40 menit dan 170 menit. Sampel limbah cair industri tekstil yang berada dalam tabung erlenmeyer dipindahkan ke dalam corong pemisah dan

ditambah methanol 4 : 3. Ditambahkan 20 mL *dichloromethane* kemudian diekstrak sebanyak dua kali. Setelah didapat hasil ekstrak, dipisahkan dari limbah dimasukkan ke labu evaporasi kemudian diuapkan dengan menggunakan alat evaporasi sampai tersisa 1 sampai dengan 2 mL. Setelah itu diuji dengan menggunakan HPLC.

#### **Analisis Zat Organik, TSS, TDS, BOD, COD dan Lemak/Minyak Sesuai Baku Mutu Lingkungan**

Analisis zat organik, TSS, TDS, BOD, COD dan minyak lemak dilakukan untuk membandingkan hasil yang telah diperoleh dengan ambang batas baku mutu lingkungan yang berlaku yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Analisis zat organik dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri permanganometri, analisis TSS dilakukan sesuai dengan SNI 06-6989.3-2004, analisis TDS dilakukan sesuai dengan SNI 06-6989.27-2005, analisis BOD sesuai dengan SNI 6989.72-2009, analisis COD sesuai dengan SNI 6989.2-2009, dan analisis minyak lemak sesuai SNI 06.6989.10-2004.

#### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada analisis yang telah dilakukan dapat diketahui efektifitas penggunaan perbandingan TiO<sub>2</sub>:Zeolit dalam mendegradasi zat warna tekstil buatan berwarna kuning dan biru yang maksimal. Perbandingan nanokomposit yang optimal pada degradasi tersebut digunakan untuk proses degradasi limbah tekstil industri.

#### **Hasil Analisis Warna Limbah Cair Tekstil Buatan Dengan Menggunakan Spektrofotometer**

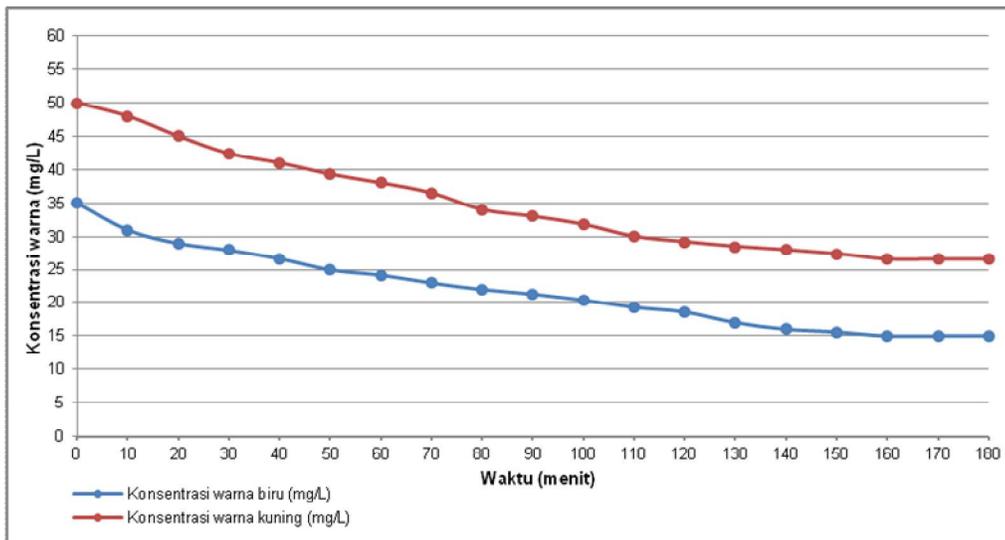
Hasil analisis penambahan adsorben zeolit 100% pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru *B/Blue R* (35 mg/L) dan limbah cair tekstil buatan berwarna kuning *synolon yellow S-G6LS* (50 mg/L) yang diproses menggunakan reaktor fotokatalitik selama 180 menit, menunjukkan hasil degradasi warna seperti pada Gambar 1. Analisis degradasi limbah buatan warna kuning dan biru dilakukan menggunakan alat spektrofotometer UV-VIS, sedangkan analisis degradasi limbah industri menggunakan HPLC.

Gambar 1. menunjukkan bahwa uji efektifitas penggunaan adsorben zeolit 100% terhadap degradasi warna limbah cair tekstil buatan berwarna kuning dengan konsentrasi awal sebesar 50 mg/L. Degradasi maksimal

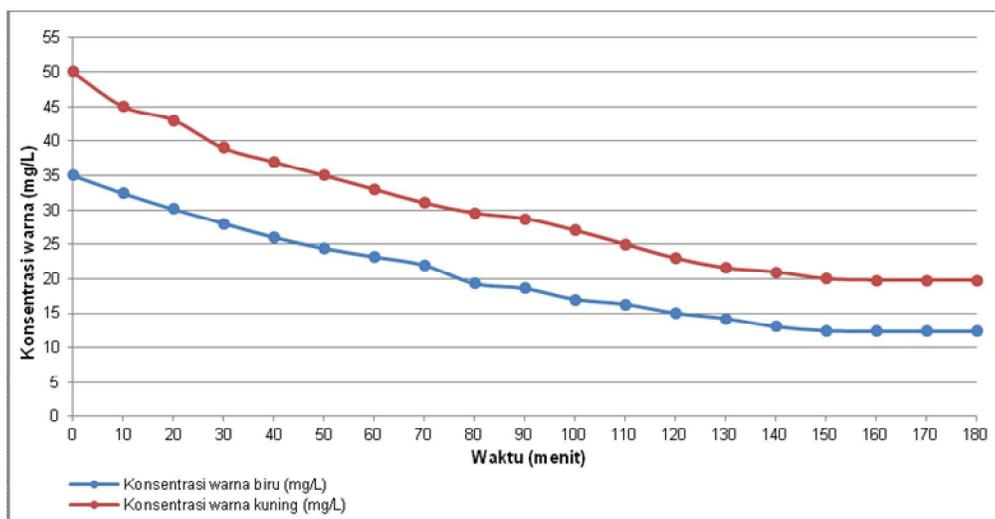
terjadi pada menit ke 160 yaitu 47%. Meskipun waktu iradasi diperpanjang sampai dengan 180 menit, namun tidak terjadi degradasi warna. Begitu juga dengan limbah cair tekstil buatan berwarna biru dengan konsentrasi awal 35 mg/L,

Pada menit ke 160 terjadi degradasi maksimal yaitu sebesar 57,14%. Percobaan dengan menggunakan adsorben zeolit 100% mendapatkan hasil degradasi warna dengan persentase yang rendah. Degradasi zat warna setiap 10 menit tidak signifikan, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai persentase degradasi yang

diinginkan. Hal ini disebabkan tidak ada katalis yang berperan utama dalam penurunan zat warna. Penggunaan sinar *UV* tanpa menggunakan katalis dapat mendegradasi zat warna meskipun persentase yang diperoleh sangat kecil. Hal ini disebabkan ikatan-ikatan rangkap pada senyawa zat warna tereduksi dengan bantuan *hv*, namun senyawa zat warna tidak dapat tereduksi dengan baik terlihat dari nilai absorbansi yang cukup besar sehingga nilai persen degradasi yang didapat sangat kecil (Amrinah 2011)



Gambar 1. Degradasi warna limbah cair tekstil buatan dengan menggunakan adsorben zeolit 100%



Gambar 2. Degradasi warna limbah cair tekstil buatan dengan menggunakan katalis TiO<sub>2</sub> 100%

Pada analisis menggunakan spektrofotometer ditunjukkan bahwa penambahan katalis  $\text{TiO}_2$  100% pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru (35 mg/L) dan limbah cair tekstil buatan berwarna kuning (50 mg/L) menggunakan reaktor fotokatalitik selama 180 menit, menunjukkan hasil degradasi warna seperti pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan uji efektifitas dengan menggunakan katalis  $\text{TiO}_2$  100% terhadap degradasi warna limbah cair tekstil buatan berwarna kuning dengan konsentrasi awal 50 mg/L. Degradasi maksimal terjadi pada menit ke 170 yaitu 60,4%. Meskipun waktu iradasi diperpanjang sampai dengan 180 menit, tidak terjadi degradasi warna. Pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru dengan konsentrasi awal 35 mg/L menunjukkan degradasi maksimal sebesar 65% pada menit ke 160. Kemampuan penggunaan katalis  $\text{TiO}_2$  100% terhadap degradasi zat warna pada limbah cair tekstil buatan mengalami peningkatan dibandingkan zeolit 100%. Hal ini disebabkan oleh, reaksi karena pengaruh cahaya dan katalisis berlangsung secara bersamaan pada metode fotokatalitik. Katalis ini dapat mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik dalam keadaan dasar maupun keadaan tereksitasinya, atau dengan fotoproduk utama yang bergantung pada mekanisme fotoreaksi tersebut. Umumnya katalis yang digunakan merupakan semikonduktor yang baik seperti katalis  $\text{TiO}_2$ . Pada reaksi fotokatalitik, semikonduktor dapat berperan sebagai pengaktivasi/katalis reaksi redoks cahaya dikarenakan pita valensi yang penuh berisi elektron dan pita konduksi yang kosong, dengan energi celah diantara kedua pita tidak terlalu besar (Riswiyanto *et al.* 2010).

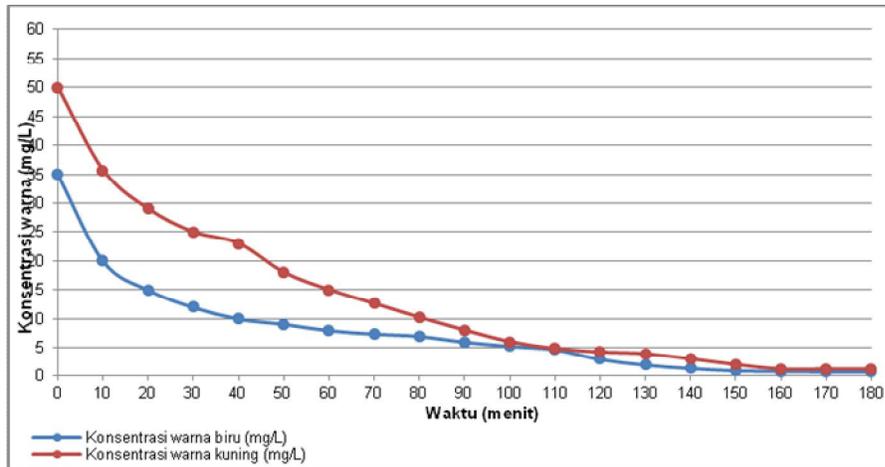
Hasil analisis menggunakan spektrofotometer menunjukkan hasil degradasi warna akibat penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  - zeolit dengan perbandingan 20 : 80 pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru (35 mg/L) dan limbah cair tekstil buatan berwarna kuning (50 mg/L) yang diproses dengan menggunakan reaktor fotokatalitik selama 180 menit (Gambar 3).

Gambar 3 menunjukkan bahwa uji efektifitas penggunaan perbandingan 20 : 80 nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan terhadap degradasi warna limbah tekstil buatan berwarna kuning dengan konsentrasi awal 50 mg/L, degradasi maksimal terjadi pada menit ke 160 yaitu 97,6%. Begitu juga dengan limbah tekstil

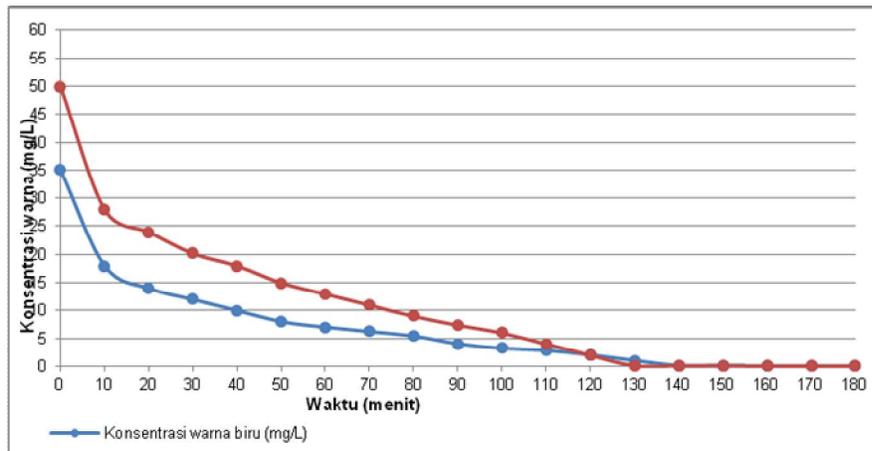
buatan berwarna biru dengan konsentrasi awal 35 mg/L menunjukkan bahwa terjadi degradasi maksimal yaitu 97,7% pada menit ke 170. Iradasi dilanjutkan sampai dengan 180 menit, namun degradasi warna tidak terjadi lagi. Pada penggunaan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit, terjadi peningkatan degradasi warna apabila dibandingkan dengan hanya menggunakan katalis 100 % maupun adsorben 100%. Hal ini disebabkan karena aktivitas fotokatalitik  $\text{TiO}_2$  dapat ditingkatkan melalui pengembangan pada material pendukung, seperti adsorben. Salah satu yang dapat digunakan untuk kepentingan tersebut adalah zeolit alam, yang mempunyai pori dan luas permukaan yang relatif besar. Material  $\text{TiO}_2$  terhempas pada zeolit alam akan menghasilkan adsorben yang dapat menyerap sekaligus mampu menguraikan zat warna menjadi senyawa yang aman di lingkungan (Fatimah dan Wijaya 2005).

Hasil analisis menggunakan spektrofotometer ditunjukkan bahwa penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru (35 mg/L) dan limbah cair tekstil buatan berwarna kuning (50 mg/L) menggunakan reaktor fotokatalitik selama 180 menit, menunjukkan hasil degradasi warna pada Gambar 4.

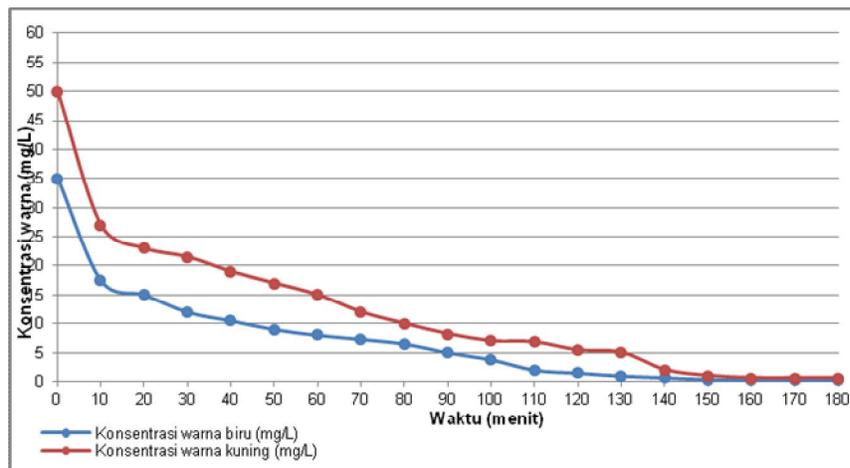
Gambar 4 menunjukkan uji efektifitas penggunaan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 terhadap degradasi zat warna limbah cair tekstil buatan berwarna kuning dengan konsentrasi awal 50 mg/L yang menghasilkan degradasi maksimal sebesar 99,9% pada menit ke 170. Pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru dengan konsentrasi awal 35 mg/L, dengan penambahan waktu iradasi pada menit ke 150 terjadi degradasi maksimal sebesar 99,8%. Iradasi dilanjutkan hingga 180 menit, namun degradasi warna tidak terjadi lagi. Persentase degradasi warna dengan menggunakan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit = 40 : 60 lebih besar daripada menggunakan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit = 20 : 80, hal ini disebabkan karena bertambahnya konsentrasi  $\text{TiO}_2$  pada nanokomposit akan meningkatkan sisi aktif fotokatalis. Peningkatan sisi aktif menyebabkan banyak ion yang terserap pada permukaan  $\text{TiO}_2$  yang memiliki *hole* bermuatan positif. *Hole* pada  $\text{TiO}_2$  ini akan bereaksi dengan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  atau ion  $\text{OH}^-$  dan memproduksi radikal hidroksil ( $-\text{OH}$ ) semakin banyak yang berperan dalam mendegradasi warna (Damayanti *et al.* 2014).



Gambar 3. Degradasi warna limbah cair tekstil buatan dengan perbandingan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 20 : 80



Gambar 4. Degradasi warna limbah cair tekstil buatan dengan perbandingan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 40 : 60



Gambar 5. Degradasi warna limbah cair tekstil buatan dengan perbandingan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 50 : 50

Pada hasil analisis menggunakan spektrofotometer ditunjukkan bahwa penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 50 : 50 pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru (35 mg/L) dan limbah cair tekstil buatan berwarna kuning (50 mg/L) yang diproses dengan menggunakan 2 reaktor fotokatalitik selama 180 menit, menunjukkan hasil degradasi warna seperti pada Gambar 5.

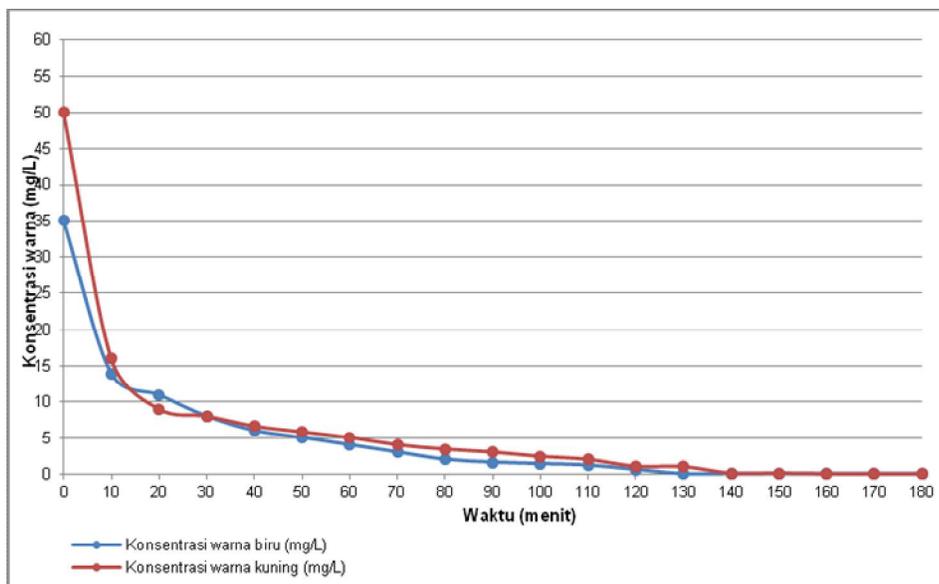
Gambar 5 menunjukkan uji efektifitas penggunaan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 50 : 50 terhadap degradasi zat warna limbah cair tekstil buatan berwarna kuning dengan konsentrasi awal 50 mg/L. Degradasi maksimal terjadi pada menit ke 170 sebesar 98,8%. Begitu juga limbah cair tekstil buatan berwarna biru dengan konsentrasi awal 35 mg/L, dengan bertambahnya waktu iradasi pada menit ke 170 terjadi degradasi maksimal sebesar 99,1%. Jika dibandingkan dengan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 40 : 60, hasil degradasi nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 50 : 50 lebih rendah. Hal ini disebabkan karena perbandingan komposisi  $\text{TiO}_2$  dengan zeolit sama besar. Molekul-molekul  $\text{TiO}_2$  akan berdesak-desakan dengan molekul zeolit sehingga dapat menurunkan aktivitas fotokatalitiknya (Qodri, 2011).

Hasil analisis penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 60 : 40 pada limbah cair tekstil buatan berwarna biru (35 mg/L) dan limbah cair tekstil buatan berwarna kuning (50 mg/L) yang diproses dengan menggunakan reaktor fotokatalitik selama 180 menit, menunjukkan hasil degradasi warna seperti pada Gambar 6. Analisis ini dilakukan menggunakan spektrofotometer.

Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa uji efektifitas penggunaan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 60 : 40 untuk mendegradasi zat warna limbah cair tekstil buatan berwarna kuning dengan konsentrasi awal 50 mg/L, degradasi maksimal terjadi pada menit ke 160 yaitu sebesar 99,99% (100%). Sama halnya dengan limbah tekstil buatan berwarna kuning, limbah cair tekstil buatan berwarna biru dengan konsentrasi awal sebesar 35 mg/L, dengan bertambahnya waktu iradasi pada menit ke 150 terjadi degradasi maksimal yaitu sebesar 99,99% (100%). Perbandingan

komposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit 60 : 40 mengalami degradasi zat warna yang sempurna, hal ini dikarenakan pada perbandingan komposit tersebut terdapat jumlah katalis  $\text{TiO}_2$  yang lebih banyak sehingga proses fotokatalitik berjalan dengan efektif.

Dasar reaksi fotodegradasi atau reaksi penguraian senyawa organik merupakan reaksi oksidasi yang diinduksi oleh cahaya ultra violet. Reaksi tersebut dapat berlangsung apabila didalam suatu sistem terdapat sumber cahaya (*foton*), substrat organik, oksigen dan fotokatalis. Degradasi limbah cair tekstil menggunakan fotokatalis  $\text{TiO}_2$ -zeolit secara umum terjadi melalui proses adsorpsi limbah cair tersebut ke permukaan fotokatalis yang disertai dengan proses oksidasi katalitik terhadap limbah cair tersebut. Pada saat fotokatalis tersebut terkena radiasi sinar ultra violet yang memiliki energi yang bersesuaian atau bahkan melebihi energi celah pita dari oksida titan tersebut, maka elektron-elektron dalam pita valensi dari fotokatalis tersebut akan tereksitasi ke pita konduksi yang akan menghasilkan  $e_{cb}$  dan kekosongan atau *hole* ( $h_{vb}$ ) yang berperan sebagai muatan positif. Selanjutnya  $h_{vb}$  akan bereaksi dengan hidroksida logam yaitu hidroksida oksida titan yang terdapat dalam larutan membentuk radikal hidroksida logam yang merupakan oksidator kuat untuk mengoksidasi senyawa – senyawa yang terdapat dalam limbah cair tersebut. Untuk elektron yang ada pada permukaan semikonduktor akan terjebak dalam hidroksida logam dan dapat bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{O}$  atau  $\text{O}_2$  yang ada dalam larutan membentuk radikal hidroksi (-OH) atau superoksida (-O) yang akan mengoksidasi senyawa-senyawa yang terdapat dalam limbah cair tersebut. Radikal-radikal ini akan terbentuk terus-menerus selama  $\text{TiO}_2$ -zeolit masih dikenai radiasi sinar ultra violet dan akan menyerang senyawa-senyawa yang terdapat dalam limbah cair tersebut yang berada di permukaan katalis sehingga akan mengalami degradasi menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak berbahaya. Jadi semakin banyak fotokatalis yang ditambahkan maka sisi aktif yang akan menghasilkan (-OH) semakin banyak (Linsebigler, 1995).



Gambar 6. Degradasi warna limbah cair tekstil buatan dengan perbandingan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit = 60 : 40

**Hasil Analisis Warna Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Menggunakan Spektrofotometer**

Setelah dilakukan analisis degradasi warna penambahan  $\text{TiO}_2$  100%, zeolit 100%, maupun nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan berbagai perbandingan konsentrasi terhadap limbah cair industri tekstil buatan, maka penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit sebesar 40 : 60 dipilih untuk dianalisis efektivitasnya dalam mendegradasi limbah tekstil berwarna kuning pada limbah cair industri tekstil. Perbandingan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit sebesar 40 : 60 ini dipilih berdasarkan pertimbangan efektivitas waktu  $\text{TiO}_2$  mengendap dan pertimbangan ekonomis (harga  $\text{TiO}_2$  yang lebih mahal daripada zeolit).

Hasil analisis menggunakan spektrofotometer penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 pada limbah cair industri tekstil yang diproses dengan menggunakan reaktor fotokatalitik selama 180 menit, menunjukkan hasil degradasi warna seperti pada Gambar 7.

Gambar 7 menunjukkan bahwa uji efektifitas dengan menggunakan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 terhadap degradasi zat warna kuning limbah cair industri tekstil dengan konsentrasi awal sebesar 50 mg/L, degradasi maksimal terjadi pada menit ke 170 yaitu sebesar 98,4%.

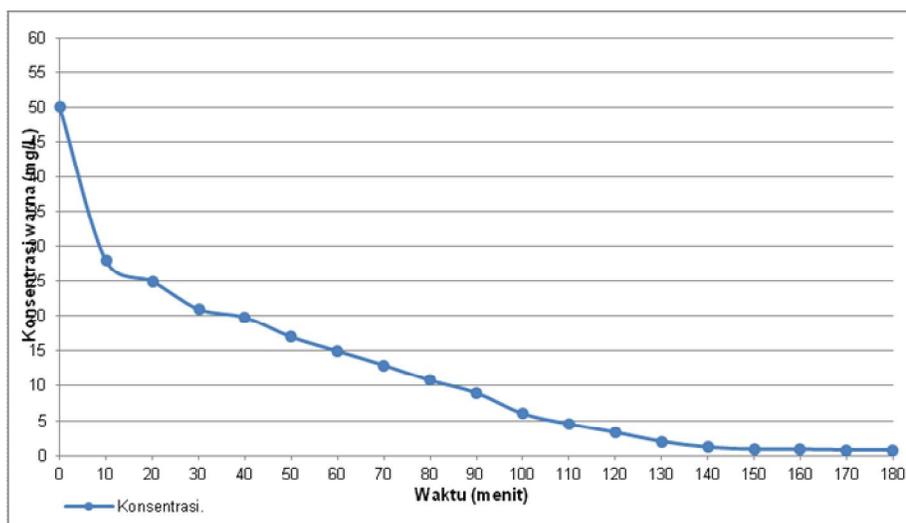
**Hasil Analisis Zat Organik, TSS, TDS, BOD, COD, dan Lemak/Minyak Pada Limbah Cair Industri Tekstil**

Selain uji efektifitas dengan menggunakan spektrofotometer penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit (40 : 60) untuk mendegradasi warna kuning pada limbah cair industri tekstil, dilakukan pula analisis zat organik, TSS, TDS, BOD, COD, dan lemak/minyak supaya sesuai dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas dan pengendalian pencemaran air. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi degradasi pada setiap parameter uji dari limbah cair industri tekstil. Hasil analisis parameter pada limbah cair industri tekstil awal seperti yang terlihat pada Tabel 1 cukup tinggi, kemudian dilakukan penambahan nanokomposit  $\text{TiO}_2$  : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 yang disampling pada menit terakhir yaitu pada menit 180. Hasil limbah cair industri tekstil yang diperoleh tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui TSS, TDS, BOD, COD, dan lemak/minyak selain konsentrasi zat warna yang sudah dianalisis. Penurunan hasil yang didapat sudah memenuhi syarat baku mutu. Untuk zat organik sendiri dapat terlihat degradasi dari 238 ppm (sebelum penambahan nanokomposit) menjadi 52 ppm atau sebesar 78% (perlakuan fotokatalitik pada menit 180). Penurunan kadar

TSS, COD, dan BOD berturut-turut adalah sebesar 93,75%; 51,39%; dan 46,42%. Utubira dkk (2013) berhasil menurunkan kadar COD sebesar 57,85% menggunakan proses fotokatalis TiO<sub>2</sub>-Zeolit pada limbah tekstil di

Yogyakarta. Perbedaan penurunan kadar COD dikarenakan karakteristik limbah yang berbeda, komposisi pencampuran antara nanokomposit dengan limbah, serta proses pembuatan nanokomposit yang berbeda.



Gambar 7. Degradasi warna limbah cair industri tekstil dengan perbandingan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 40 : 60

Tabel 1. Hasil analisis parameter uji pada limbah air industri tekstil

Parameter	Konsentrasi limbah cair industri tekstil awal (mg/L)	Konsentrasi limbah cair industri tekstil akhir (mg/L)	Baku mutu (mg/L)
TSS	400	25	50
BOD	140	75	75
COD	216	105	100
Phenol	-	-	0.5
Lemak/Minyak	7.6	1	3
Zat Organik	238	52	85
pH	10	7	6-9

Tabel 2. Hasil analisis degradasi warna limbah cair industri tekstil dengan penambahan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 menggunakan HPLC

No	Waktu sampling (menit)	Bobot contoh (mL)	Volume pengenceran (mL)	Volume injeksi (uL)	Waktu referensi (menit)	Area contoh	Hasil analisis warna (mg/L)
1	40	40	500	20	7,9	42,2	31,1
2	170	40	5	20	7,9	130,7	0,9

## Hasil Analisis Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Metode HPLC

Selain dilakukan uji efektifitas nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 agar hasil yang diperoleh sesuai dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, dilakukan pula pengujian dengan menggunakan HPLC untuk mengetahui komponen penurunan warna. Hasil analisis degradasi warna limbah cair industri tekstil dengan penambahan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit dengan perbandingan 40 : 60 menggunakan HPLC ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa sampel nomor 1 merupakan limbah yang telah dilakukan proses fotokatalitik selama 40 menit, sedangkan sampel nomor 2 merupakan limbah yang telah dilakukan proses fotokatalitik selama 170 menit, yang kemudian kedua sampel diuji dengan menggunakan HPLC. Hasil yang diperoleh terlihat bahwa terjadi degradasi warna dari konsentrasi 31,1 mg/L (37,8%) menjadi 0,9 mg/L (98,2%). Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit sebesar 40 : 60 yang ditambahkan dalam limbah cair industri tekstil dapat menghasilkan degradasi zat warna yang sempurna.

## KESIMPULAN

Penggunaan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit dengan metode fotokatalitik mampu mendegradasi zat warna pada limbah cair industri tekstil. Berdasarkan pertimbangan efektivitas waktu TiO<sub>2</sub> mengendap, pertimbangan ekonomis, serta dari hasil percobaan pendahuluan terhadap limbah cair tekstil buatan, maka digunakan perbandingan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 40 : 60 untuk mendegradasi warna limbah cair industri tekstil. Uji efektivitas penambahan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 40 : 60 terhadap degradasi zat warna kuning limbah cair industri tekstil menggunakan spektrofotometer menunjukkan degradasi maksimal pada menit ke 170 sebesar 98,4%. Hasil analisis zat organik, TSS, TDS, BOD, COD, dan lemak/minyak terhadap penggunaan nanokomposit TiO<sub>2</sub> : zeolit = 40 : 60 dengan metode fotokatalitik menunjukkan nilai parameter uji dibawah baku mutu lingkungan yang dipersyaratkan sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alinsafi, A., F. Evenou, E.M. Abdulkarim, M.N. Pons, O. Zahraa, A. Benhammou, A.Nejmeddine.2007. *Treatment of textile of Industry Waste Water by Supported Photocatalysis. Dyes and pigments-Dye Pigment*.74(2) : 439-445.
- Amrinah, I. 2011. *Effect of chitosan biopolymer and UV/TiO<sub>2</sub> method for the decoloration of acid blue 40 simulated textile wastewater*. Skripsi. Universitas Indonesia, Depok. Indonesia.
- Andari, N.D. dan Sri Wardani. 2014. Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-zeolit untuk degradasi metilen biru. *Chem. Prog* 7 (1) : 9 – 14.
- Bayarri, B., J. Giménez, D. Curcó, and S. Esplugas. 2005. *Photocatalytic degradation of 2,4-dichlorophenol by TiO<sub>2</sub>/UV: kinetics, actiometries and models*. *Catalysis Today* 101 : 227-236.
- Chen, S. M., M. Shien Yen, and Y. Hwei Shen. 2010. *Effect of chitosan biopolymer and UV/TiO<sub>2</sub> method for the decoloration of acid blue 40 simulated textile wastewater*. *African Journal of Biotechnology* 9 (34) : 5575 – 5580.
- Damayanti, C. A., S. Wardhani, dan D. Purwonugroho. 2014. Pengaruh konsentrasi TiO<sub>2</sub> dalam zeolit terhadap degradasi methylene blue secara fotokatalitik. *Kimia Student Journal* 1 (1) : 8 – 14.
- El-Maazawi, M.S., A.N.Finken, A.B. Nair, A.V. Grassian.2000. *Adsorption and Photocatalytic Oxidation of Acetone on TiO<sub>2</sub> : An In Situ Transmission FTIR Study*. *Journal of catalysis*. 191(1):138-146.
- Fatimah, I. dan K. Wijaya. 2005. Sintesis TiO<sub>2</sub>/zeolit sebagai fotokatalis pada pengolahan limbah cair industri tapioka secara adsorpsi-fotodegradasi. *TEKNOIN* 10 (4) 257 – 267.
- Fogler, H.S. 1992. *Element of chemical reaction Engineering Second Ed*. USA: Prentice Hall, Inc. 185-191.
- <http://bplhd.jakarta.go.id/slhhd2012/Docs/pdf/Buku%20II/Tabel%20SP-9.pdf>. Perkiraan Beban Pencemaran Limbah Cair Dari Industri Skala Menengah Dan Besar DKI Jakarta 2012. (diakses pada 20 Oktober 2014).
- [http://www.bps.go.id/tab\\_sub/view](http://www.bps.go.id/tab_sub/view) . Jumlah Perusahaan Industri Besar Sedang

- Menurut SubSektor , 2008-2013. (diakses pada 20 Oktober 2014).
- Linsebliger, A.L, L. Guangquan, and J.T. Yates.Jr. 1995. *Photocatalysis on TiO<sub>2</sub> Surfaces : Principles, Mechanism, and Selected Results*, Chem. Rev. 95: 735-758.
- Manurung, R., R. Hasibuan, dan Irvan. 2004. *Perombakan zat warna azo secara anaerob – aerob*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan. Indonesia.
- Matsuoka, M. and M. Anpo. 2003. *Local Structures, Excited States and Photocatalytic Reactivities of Highly Within Zeolites*. *J. Photochem. and Photobiol. C : Photochem.Rev.*, 3: 225-252.
- Parent, Y., D. Blake. 1996. *Solar Photocatalytic Process for the Purification of Water: State of Development and Barriers to Commercialization*. *Solar Energy.*, 56: 429-437.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air.
- Qodri, A. A., 2011, Fotodegradasi zat Warna *Remazol Yellow* FG dengan Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Riswiyanto, S., R. Bakri, and A. Titis. 2010. Degradasi fotokatalitik zat warna *direct yellow* dan *direct violet* dengan katalis tio<sub>2</sub>/agi - sinar UV. *Valensi* 2 (1) : 319 – 324.
- Riyani, K, T. Setyaningtyas dan D. Windy Dwiasih.2012. Pengolahan Limbah Cair Batik menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Dopan-N dengan Bantuan Sinar Matahari, *Valensi* 2:581-587.
- Ruzicka, O. dan L. Safira. 2014. Aplikasi Fotokatalis Tio<sub>2</sub> Pada Degradasi Limbah Cair Zat Warna Tekstil, Lomba Karya Ilmiah Sumber Daya Air Tahun 2014
- Sakti, R.B., A. Subagio dan H. Sutanto. 2013. Sintesis Lapisan Tipis Nanokomposit TiO<sub>2</sub>/CNT Menggunakan Metode Sol-Gel dan Aplikasinya untuk Fotodegradasi Zat Warna Azo *Orange* 3R. *Youngster Physics journal*. Vol 1(3) : 41-48.
- Saleh, S.M. A. A. 2005. *HPLC Determination of Four Textile Dyes and Studying Their Degradation Using Spectrophotometric Technique*. *Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University, Nablus.Palestine*
- Slamet, M. Ellyana, dan S. Bismo. 2008. Modifikasi Zeolit Alam Lampung Dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya Untuk Penyisihan Fenol. *Jurnal Teknologi*, 1: 59-68.
- Slamet. 2004. Laporan pelaksanaan Riset Unggulan Terpadu XI Pengolahan Limbah Logam Jamak (Logam Berat, Organik dan Asam) Secara Simultan dengan Fotoreaktor Berenergi Surya.
- Utubira, Y. K. Wijaya, Triyono and E. Sugiharto. 2006. *Preparation and Characterization Of TiO<sub>2</sub>-Zeolite and Its Application To Degrade Textille Wastewater By Photochatalytic Method*. *Indo J. Chem*. 6(3) : 231-237.
- Yaacoubi, A. Nejmeddine. 2007. *Tretament Of Textille Industry waste Water By Supported Photocatalysis*. *Dyes and Pigments-Dye Pigment*. 74(2) : 439 - 445.