

Sintesis Nanopartikel TiO₂-SiO₂ Berpori Sebagai Fotokatalis untuk Penjernihan Air Limbah Rumah Tangga

Mieke Wulandari*, Astuti, Muldarisnur

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163

*wulandari.mieke@gmail.com

ABSTRAK

Sintesis nanopartikel TiO₂-SiO₂ berpori dilakukan menggunakan metode pemanasan sederhana dalam larutan polimer. Polimer yang digunakan adalah polietilen glikol (PEG 6000). Sintesis dilakukan pada suhu 400 °C dengan waktu tahan 0 jam, 0,5 jam, dan 1 jam. Hasil karakterisasi XRD dan SEM menunjukkan bahwa ukuran kristal adalah 53,1 nm, sedangkan rata-rata diameter partikel adalah 101,7 nm, 114,8 nm, dan 119,8 nm untuk waktu tahan 0 jam, 0,5 jam, dan 1 jam. Ukuran kristal tidak dipengaruhi oleh waktu tahan, sedangkan diameter partikel semakin besar dengan semakin lamanya waktu tahan. Penambahan SiO₂ pada TiO₂ menyebabkan partikel mengalami sedikit aglomerasi. Nanopartikel TiO₂-SiO₂ dapat menurunkan nilai pH air limbah rumah tangga dari 8,8 menjadi 7,5 dan menurunkan nilai TDS dari 208 mg/L menjadi 161 mg/L. Penurunan nilai pH dan TDS lebih tinggi diperoleh untuk nanopartikel TiO₂-SiO₂ dengan waktu tahan 0 jam yang memiliki ukuran kristal paling kecil. Nanopartikel TiO₂-SiO₂ lebih efisien menurunkan nilai pH dan TDS air limbah rumah tangga dibandingkan TiO₂ tanpa silika.

Kata kunci : TiO₂-SiO₂, TDS, fotokatalis, PEG 6000, air limbah rumah tangga

ABSTRACT

Porous TiO₂-SiO₂ nanoparticles had been synthesized using simple heating method in polymer solution. Polyethylene glycol (PEG 6000) was used as the polymer. The nanoparticles were synthesized at a temperature of 400 °C and the holding time of 0 h, 0.5 h, and 1 h. The XRD and SEM results indicate that the crystal size is 53.1 nm and the average particle diameters are 101.7 nm, 114.8 nm, and 119.8 nm with holding time at 0 h, 0.5 h, and 1 h respectively. Crystal size is independent of holding time, while the particle size increases. Addition of SiO₂ into TiO₂ causes a little bit agglomeration of particles. TiO₂-SiO₂ nanoparticles reduced pH value of household wastewater from 8.8 to 7.5 and decreases TDS from 208 mg/L to 161 mg/L. The decreased of pH and TDS are larger for TiO₂-SiO₂ nanoparticles with 0 hour holding time, this is likely due to its smallest crystalline size. TiO₂-SiO₂ nanoparticles decreases pH and TDS of household wastewater more efficiently than TiO₂ particle without silica does.

Keyword : TiO₂-SiO₂, TDS, photocatalyst, PEG 6000, household wastewater

I. PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan adalah peristiwa masuknya makhluk hidup, zat, atau komponen lain ke dalam lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas lingkungan menurun pada tingkat tertentu (Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, 1998). Pencemaran akibat pembuangan air limbah yang tidak dikelola dengan baik menjadi masalah terutama di daerah perkotaan (Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, 1992). Bahan pencemar air berasal dari limbah rumah tangga (40%), limbah industri (30%), sisanya berasal dari limbah rumah sakit, pertanian, dan peternakan. (Kurniadie, 2011). Air limbah rumah tangga merupakan penyumbang pencemaran air terbesar dan masih belum dikelola dengan baik.

Air limbah rumah tangga telah didaur ulang dengan berbagai metode. Nusanthary dkk. (2012) mengusulkan daur ulang air limbah rumah tangga secara biologis menggunakan lumpur aktif. Lumpur aktif dapat mengoksidasi material organik menjadi karbon dioksida (CO₂), air (H₂O), dan sel biomassa baru. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar surfaktan menurun, akan tetapi belum mencapai nol bahkan setelah diberi perlakuan 6 hari. Air limbah rumah tangga juga telah diolah menggunakan filter sederhana dari medium pasir, ijuk, kerikil, arang, dan batu bara. Medium yang digunakan harus berukuran lebih kecil dibanding senyawa tersuspensi di dalam air limbah, agar senyawa tersuspensi tidak terbawa saat proses penyaringan. Kurang efektifnya metode-metode di atas mendorong dikembangkannya metode alternatif seperti penggunaan fotokatalis untuk memurnikan air limbah rumah tangga.

Pemurnian air limbah dengan fotokatalis memanfaatkan material semikonduktor oksida atau sulfida (Herman, 1999). Fotokatalis semikonduktor oksida yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah adalah TiO_2 . TiO_2 memiliki beberapa keunggulan dibandingkan fotokatalis semikonduktor lainnya. Kelebihan tersebut antara lain adalah celah pita (band gap) yang lebar, fotostabil, penyerap sinar ultraviolet yang baik, *inert*, tidak beracun, dan mampu mendegradasi senyawa organik menjadi CO_2 dan H_2O yang relatif tidak berbahaya (Sturini dkk., 2012).

TiO_2 telah dimanfaatkan sebagai fotokatalis untuk penjernihan air limbah. Arutanti dkk. (2009) menjernihkan air dengan menaburkan serbuk TiO_2 secara langsung ke dalam air limbah organik. Penulis ini menemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi TiO_2 , semakin jernih air yang dihasilkan. Penaburan serbuk TiO_2 secara langsung mengakibatkan terbentuknya endapan TiO_2 di dalam air limbah yang sulit dipisahkan bahkan dengan menggunakan filter. Fajar (2010) meneliti karbon aktif yang dilapisi kristal TiO_2 anatase untuk mereduksi bakteri *Escherichia Coli* hingga 100% setelah proses penjernihan selama 3 jam. Struktur yang diteliti oleh Fajar belum pernah digunakan untuk bahan pencemar lainnya.

Tussa'adah dan Astuti (2015) telah melakukan sintesis TiO_2 dengan ukuran kristal 59,09 nm menggunakan PEG 6000. TiO_2 yang disintesis mampu mereduksi zat pewarna pada limbah tekstil dan menurunkan nilai pH dari 10,9 menjadi 9,06. Pada penelitian ini, akan dilakukan sintesis nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ berpori menggunakan metode pemanasan sederhana dalam larutan polimer. SiO_2 berfungsi sebagai senyawa pendukung yang dapat meningkatkan kinerja fotokatalis TiO_2 (Rilda dkk., 2014). Polimer yang digunakan adalah Polietilen Glikol (PEG) 6000 yang memiliki rantai panjang sehingga dapat menutupi permukaan TiO_2 sehingga mencegah terjadinya aglomerasi pada partikel TiO_2 . Nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ berpori akan disintesis dengan memvariasikan waktu tahan sintering untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap ukuran kristal dan partikel.

II. METODE

Pada penelitian ini, $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ disintesis menggunakan metode pemanasan sederhana dalam larutan polimer. Polimer yang digunakan adalah PEG 6000. TiO_2 (Merck, 99%), SiO_2 (Merck), dan PEG 6000 (Merck) dengan massa masing-masing 10 g, 2,5 g, dan 20 g dilarutkan di dalam 100 ml aquades. Kemudian disintering pada suhu 400 °C dengan variasi waktu tahan 0 jam, 0,5 jam, dan 1 jam. Sampel yang terbentuk digerus selama 1 jam, sehingga didapatkan bentuk $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$.

2.1 Karakterisasi $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$

Powder $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan XRD (*X-Ray Diffraction*). SEM akan memberikan pencitraan bentuk morfologi permukaan yang direkam oleh detektor. Gambaran morfologi tersebut yang akan dibaca untuk menentukan ukuran partikel. Struktur dan ukuran kristal ditentukan dengan menggunakan XRD. XRD memanfaatkan difraksi radiasi Cu $K\alpha$ oleh kisi kristal. Ukuran kristal dapat ditentukan menggunakan persamaan Scherrer :

$$S = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

dengan S adalah ukuran kristal (nm), λ adalah panjang gelombang berkas sinar-X (nm), B adalah FWHM (*Full Widht at Half of Maximum*) (rad), θ adalah sudut dari puncak dengan intensitas tinggi (°), dan k adalah faktor bentuk (0,9).

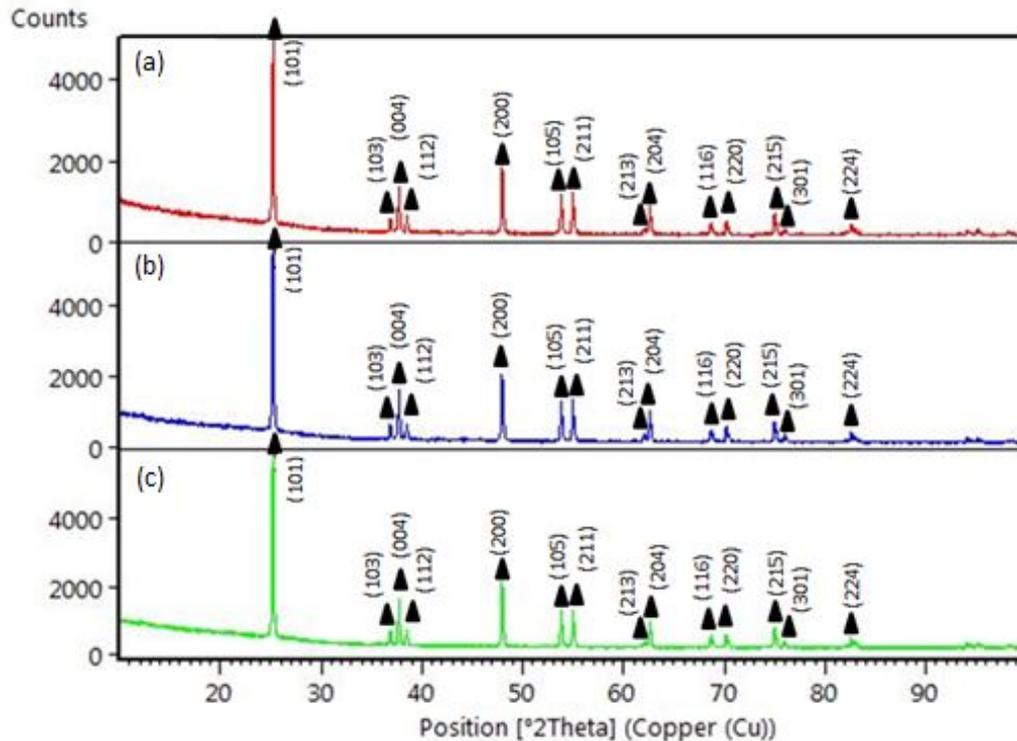
2.2 Uji Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$

Uji fotokatalis dilakukan dengan memasukkan 2 g *powder* $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ke dalam 150 ml air limbah rumah tangga dan kemudian dibiarkan dibawah sinar cahaya matahari selama 6 jam. Setelah itu, dilakukan uji kualitas air yang meliputi nilai derajat keasaman (pH) air dengan menggunakan pH meter dan uji jumlah padatan terlarut (TDS) menggunakan TDS meter.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis XRD

Pola difraksi sinar-X TiO_2 tanpa silika dengan waktu tahan selama 0 jam (tanpa ditahan), $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 0 jam, dan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 1 jam ditampilkan pada Gambar 1. Pola difraksi sinar-X TiO_2 tanpa silika ini digunakan sebagai data pembanding.



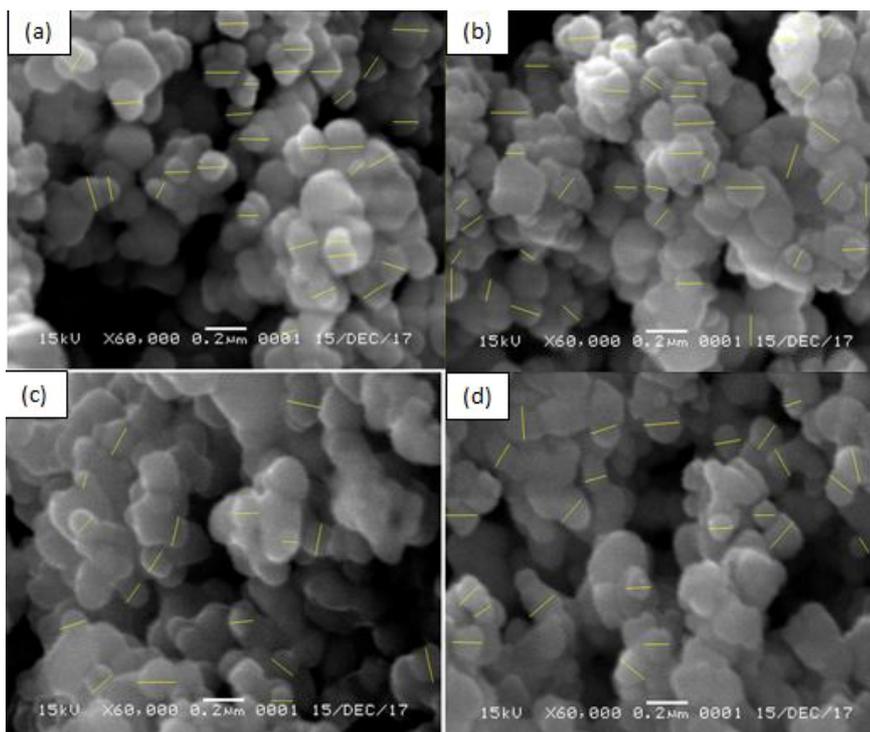
Gambar 1 Pola difraksi sinar-X : (a) TiO_2 tanpa silika dengan waktu tahan 0 jam, (b) $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 0 jam, dan (c) $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 1 jam.

Puncak difraksi sinar-X pada Gambar 1 menunjukkan puncak difraksi berada pada sudut $2\theta = 25^\circ, 37^\circ, 38^\circ, 39^\circ, 48^\circ, 54^\circ, 55^\circ, 62^\circ, 63^\circ, 69^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 76^\circ,$ dan 83° . Puncak dengan intensitas tertinggi berada pada $2\theta = 25^\circ$ yang dihasilkan oleh bidang (101). *Fitting* dengan metode Rietveld menunjukkan bahwa TiO_2 tanpa silika ataupun $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ memiliki sistem kristal tetragonal. Berdasarkan intensitas pada 2θ tersebut, maka struktur kristal pada *powder* TiO_2 tanpa silika ataupun $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ adalah anatase dengan ukuran kristal yang terbentuk sebesar 53,1 nm

Berdasarkan data XRD yang diperoleh, tidak ada pergeseran pada posisi puncak difraksi, tetapi adanya perubahan intensitas puncak tertinggi. Intensitas puncak tertinggi untuk TiO_2 dengan waktu tahan 0 jam, $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 0 jam, dan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 1 jam masing-masingnya yaitu 4561, 5238, dan 5573. Intensitas puncak semakin meningkat dengan adanya penambahan SiO_2 dan pengaruh dari lamanya waktu tahan. Penambahan SiO_2 pada TiO_2 juga tidak mempengaruhi ukuran kristal. Terlihat ukuran kristal TiO_2 tanpa silika sama dengan ukuran kristal $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$. Hal tersebut dikarenakan SiO_2 bukan sebagai dopan, tetapi hanya sebagai senyawa pendukung untuk meningkatkan kinerja fotokatalis TiO_2 .

3.2 Analisis SEM

Morfologi permukaan dan diameter partikel dapat diamati dengan menggunakan SEM. Pengamatan dilakukan pada tegangan 15 kV dengan perbesaran 60.000 kali. Berdasarkan data SEM yang diperoleh, tampak bahwa PEG dapat membentuk nanopartikel berpori. Partikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ yang terbentuk memiliki morfologi permukaan yang hampir sama yaitu bulat.



Gambar 2 (a) Morfologi permukaan partikel TiO_2 dengan waktu tahan 0 jam, (b) Morfologi permukaan partikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 0 jam, (c) Morfologi permukaan partikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 0,5 jam, dan (d) Morfologi permukaan partikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 1 jam.

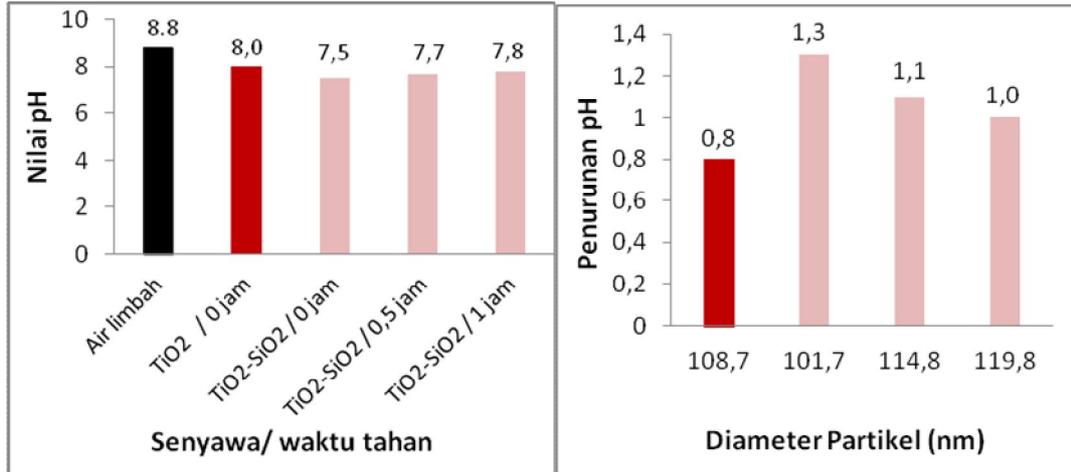
Morfologi partikel dapat dilihat pada Gambar 2 (a-d). Pada gambar tersebut tampak permukaan yang seragam dan berpori. Pori ditandai dengan daerah gelap pada gambar. Pada Gambar 2 (b-d) tampak penambahan SiO_2 pada TiO_2 memberi pengaruh terhadap morfologi permukaan partikel yaitu partikel mengalami sedikit aglomerasi. Hal tersebut disebabkan karena ukuran *powder* SiO_2 yang besar. Peningkatan waktu tahan sintering juga akan meningkatkan ukuran diameter partikel yang terbentuk, dimana ukuran diameter rata-rata partikel pada Gambar 2 (a-d) masing-masing sebesar 108,7 nm, 101,7 nm, 114,8 nm, dan 119,8 nm. Hal tersebut disebabkan oleh pertumbuhan leher (*neck growth*) antara partikel yang bersentuhan, sehingga terbentuklah diameter partikel yang semakin besar. Namun senyawa $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ pada waktu tahan 0 jam memiliki ukuran diameter partikel yang lebih kecil dibanding TiO_2 tanpa silika.

3.3 Uji Fotokatalis

3.3.1 Analisis Derajat Keasaman (pH)

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air adalah nilai derajat keasaman (pH). Air yang telah tercemar suatu zat ataupun mikroorganisme berbahaya memiliki pH yang mampu merusak lingkungan. pH dari air limbah rumah tangga sebelum diberikan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ yaitu sebesar 8,8. Nilai pH air sesudah ditambahkan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ke dalam air limbah yang disinari cahaya matahari selama 6 jam dapat dilihat pada Gambar 3.

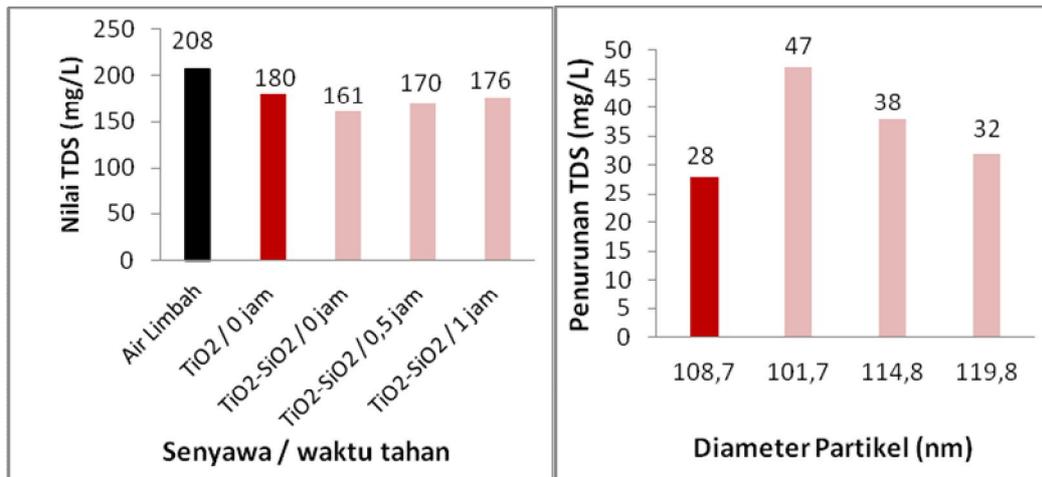
Berdasarkan Gambar 3 (a dan b) terlihat penurunan nilai pH air limbah setelah ditambahkan $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ yang disinari dengan cahaya matahari selama 6 jam. pH air limbah rumah tangga turun jauh pada waktu tahan 0 jam yaitu dari 8,8 turun menjadi 7,5. Hal tersebut disebabkan oleh ukuran partikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan waktu tahan 0 jam lebih kecil dari waktu tahan 0,5 jam dan 1 jam yaitu sebesar 101,7 nm. Diameter partikel yang semakin kecil memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik, sehingga pH airpun menjadi lebih baik. Senyawa $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ mampu menurunkan pH lebih baik dari senyawa TiO_2 tanpa silika, dikarenakan SiO_2 mampu meningkatkan kinerja fotokatalis dari TiO_2 .



Gambar 3 (a) Grafik nilai pH dan (b) grafik korelasi diameter partikel dengan penurunan pH

3.3.2 Analisis Jumlah Padatan Terlarut (TDS)

Nilai jumlah padatan terlarut (TDS) pada air limbah rumah tangga sebesar 208 mg/L. Nilai TDS air limbah setelah ditambahkan TiO₂-SiO₂ dengan disinari cahaya matahari selama 6 jam dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 (a) Grafik nilai TDS dan (b) grafik korelasi diameter partikel dengan penurunan TDS

Berdasarkan Gambar 4 (a dan b) terlihat penurunan nilai TDS air limbah setelah ditambahkan TiO₂-SiO₂ yang disinari dengan cahaya matahari selama 6 jam. TDS air limbah rumah tangga turun jauh pada waktu tahan 0 jam yaitu dari 208 mg/L menjadi 161 mg/L. Hal tersebut disebabkan oleh diameter rata-rata partikel TiO₂-SiO₂ dengan waktu tahan 0 jam lebih kecil dari waktu tahan 0,5 jam dan 1 jam yaitu sebesar 101,7 nm. Diameter partikel yang semakin kecil memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik, sehingga nilai TDS air menurun lebih besar. Senyawa TiO₂-SiO₂ mampu menurunkan TDS lebih baik dari senyawa TiO₂ tanpa silika, dikarenakan SiO₂ mampu meningkatkan kinerja fotokatalis dari TiO₂.

IV. KESIMPULAN

Metode pemanasan sederhana telah mampu menghasilkan nanopartikel TiO₂-SiO₂ berpori dengan ukuran kristal sebesar 53,1 nm dan diameter rata-rata partikel sebesar 101,7 nm. Hasil SEM diperoleh bahwa kenaikan waktu tahan dapat meningkatkan pertumbuhan diameter partikel. Senyawa TiO₂-SiO₂ mampu menurunkan nilai pH air limbah rumah tangga dari 8,8 menjadi 7,5 dan menurunkan nilai TDS dari 208 mg/L menjadi 161 mg/L pada sampel dengan waktu tahan 0 jam. Diameter partikel yang semakin kecil akan lebih efisien dalam menurunkan pH dan TDS air limbah rumah tangga.

DAFTAR PUSTAKA

- Arutanti, O., Abdullah, M., Khairurrijal, dan Mahfudz, H., "Penjernihan Air dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO₂)", *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi*, **Edisi Khusus**, 53-55 (2009).
- Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum, *Pedoman Pengelolaan Persampahan Sampah Perkotaan Bagi Pelaksana* (Dirjen Cipta Karya Departemen PU, Jakarta, 1992).
- Fajar T. M., "Sistem Penjernihan Air yang Tercemar Bakteri E.Coli Berbasis Fotokatalis TiO₂ Dikombinasikan dengan Karbon Aktif", Skripsi S1, Universitas Diponegoro, 2010.
- Hermann, J. M., "Heterogenous Photocatalysis Fundamental and Application to the Removal of Various Types of Aqueous Pollutans", *Catal Today*, **53**, 115-129 (1999).
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, *Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan* (Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, Jakarta, 1998).
- Kurniadie, D., "Wastewater Treatment Using Vertical Subsurface Flow Constructed Wetland in Indonesia", *American Journal of Environmental Sciences*, **7**, 15-19 (2011).
- Nusanthary, D. L., Colby, E. R., dan Santosa, H., "Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga Secara Biologis dengan Media Lumpur Aktif", *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, **1**, 454-460 (2012).
- Rilda, Y., Alif, A., dan Kurniawan, S., "Synthesis Titania-Silicate Nanoporous Based Anatase with Variation Curing and Crystallization Time", *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Science*, **6**, 1511-1518 (2014).
- Sturini, M., Speltini, A., Maraschi, F., Profumo, A., Pretali, L., Irastorza, E. A., Fasuni, E., dan Albini, A., "Photolytic and photocatalytic degradation of fluoroquinolones in untreated river water under natural sunlight", *Applied Catalysis B : Environmental*, **119**, 32-39 (2012).
- Tussa'adah, R. dan Astuti, "Sintesis Material Fotokatalis TiO₂ untuk Penjernihan Limbah Textil", *Jurnal Fisika Unand*, **4**, 91-96 (2015).