



# JOURNAL OF ENERGY, MATERIAL, AND INSTRUMENTATION TECHNOLOGY

Journal Webpage <https://jemit.fmipa.unila.ac.id/>



## Pengaruh Laju Penambahan Doping Fosfor terhadap Aktivitas Fotokatalis Nanotitania Menggunakan Metode Sol Gel

Yunita<sup>a</sup>, Posman Manurung<sup>b</sup>, dan Agus Riyanto<sup>c</sup>

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

### Article Information

#### Article history:

Received January 20th, 2021

Received in revised form May 15th, 2021

Accepted May 17th, 2021

#### Keywords:

nanotitania, phosphor doped, photocatalyst, remazol yellow.

### Abstract

*Abstract. Nanotitania is most widely used as a photocatalyst. The purpose of this study was to determine the effect of the addition rate of phosphor doping to the photocatalyst activity of nanotitania. In this study, P-TiO<sub>2</sub> was synthesized by the sol-gel method. Raw material used in this were tween 80, isopropyl alcohol, titanium isopropoxide (TTIP), and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> with ratio of 11 ml: 60 ml: 7 ml: 0.2 ml. The addition of phosphorus doping was varied at the rate of addition of 0.5; 1; 1.5; and 2 hours stirring for 24 hours. P-TiO<sub>2</sub> was calcined at 450°C, then characterized by using transmission electron microscopy (TEM) to analyze the particle size of P-TiO<sub>2</sub> and UV-Vis spectrophotometer to determine the absorbance value. The results of TEM characterization by using imageJ software showed that particle size of P-TiO<sub>2</sub> sample is (9,8 ± 1,4) nm. Based on result of spectrophotometer UV-Vis, the rate of phosphorus doping addition, there was no significant difference in increasing photocatalyst activity. However, sample with the rate of 0,2 ml/ hour show that in increase in photocatalyst activity is slightly higher.*

### Informasi Artikel

#### Proses artikel:

Diterima 20 Januari 2021

Diterima dan direvisi dari 15 Mei 2021

Accepted 17 Mei 2021

#### Kata kunci:

doping fosfor, fotokatalis, nanotitania, remazol kuning, sol-gel.

### Abstrak

Nanotitania paling banyak digunakan sebagai fotokatalis. Tujuan dilakukan penelitian ini, yaitu untuk mengetahui pengaruh laju penambahan doping fosfor terhadap aktivitas fotokatalis nanotitania. Pada penelitian ini, P-TiO<sub>2</sub> disintesis dengan metode sol-gel. Bahan awal yang digunakan yaitu tween 80, isopropil alkohol, titanium isopropoksida (TTIP), dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan perbandingan 11 ml: 60 ml: 7 ml: 0,2 ml. Penambahan doping fosfor divariasikan pada laju penambahannya 0,5; 1; 1,5; dan 2 jam yang diaduk selama 24 jam. P-TiO<sub>2</sub> dikalsinasi pada suhu 450°C, kemudian dikarakterisasi menggunakan transmission electron microscopy (TEM) untuk menganalisis ukuran partikel P-TiO<sub>2</sub> dan uji menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansinya. Hasil karakterisasi menggunakan TEM dengan bantuan perangkat lunak imageJ diperoleh ukuran partikel sampel P-TiO<sub>2</sub> sebesar (9,8 ± 1,4) nm. Berdasarkan uji menggunakan spektrofotometer UV-Vis, laju penambahan doping fosfor tidak berpengaruh secara signifikan terhadap peningkatan aktivitas fotokatalis P-TiO<sub>2</sub>. Namun, pada laju penambahan doping 0,2 ml/jam diperoleh peningkatan aktivitas fotokatalis yang sedikit lebih tinggi.

## 1. Pendahuluan

TiO<sub>2</sub> merupakan salah satu bahan semikonduktor berbasis oksida dan dapat aktif apabila dipancarkan cahaya serta bersifat setengah penghantar diantara isolator dan konduktor (Prasetyowati, 2012). TiO<sub>2</sub> mempunyai tiga macam struktur kristal, yaitu anatase, rutil, dan brookit. Besar celah pita yang dimiliki menjadi berbeda, pada anatase rentang energinya 3,2 eV dan rutil 3,0 eV (Triandi & Gunlazuardi, 2001). TiO<sub>2</sub> dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti pemurnian air (You et al., 2014), anti bakteri (Wong et al., 2010), dan sebagai fotokatalis (Nakata & Fujishima, 2012).

Sebagai fotokatalis, TiO<sub>2</sub> yang tersedia secara komersial memiliki aktivitas fotokatalis belum optimal,

\* Corresponding author.

E-mail address: (a\*) yunitasantoso10@gmail.com, (b) posman65@unila.ac.id, (c) agus.riyanto@fmipa.unila.ac.id

sehingga dibutuhkan  $\text{TiO}_2$  yang memiliki aktivitas fotokatalis yang lebih baik (Qourzal, S., Tamimi, M., Assabbane, A., Bouamrane, A., Nounah, A., Laanab, L., dan Ait-Ichou, n.d.). Aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$  sangat bergantung pada ukuran partikel, penurunan ukuran butir partikel menunjukkan adanya peningkatan luas permukaan yang mengarah pada peningkatan aktivitas fotokatalis (Mao et al., 2005). Salah satu usaha untuk meningkatkan aktivitas fotokatalis dari  $\text{TiO}_2$  dapat dilakukan melalui modifikasi struktur dan ukuran partikel dengan penambahan doping pada  $\text{TiO}_2$  (Sreethawong & Yoshikawa, 2006).

Pada penelitian sebelumnya, telah digunakan beberapa jenis doping untuk memodifikasi  $\text{TiO}_2$ , seperti fluor (Fakhrudinova et al., 2015), nitrogen (Lei et al., 2015), dan fosfor. Penambahan doping fosfor secara tetes demi tetes (*dropwise*) menggunakan mikropipet dengan metode sol-gel, menghasilkan ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  yang semakin kecil dari  $(27,2 \pm 2,3)$  nm menjadi  $(13,0 \pm 1,3)$  nm dan menyebabkan aktivitas katalis nanotitania di bawah sinar matahari mengalami peningkatan (Ceria et al., 2017).

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan doping fosfor diketahui dapat menurunkan ukuran partikel  $\text{TiO}_2$  sehingga aktivitas fotokatalis mengalami peningkatan.

Dalam menyintesis nanotitania ada beberapa metode yang telah dilakukan, seperti metode mikroemulsion (Su et al., 2004), hidrotermal (Kim & Kwak, 2007), dan sol-gel. Selain menggunakan temperatur rendah, metode sol-gel pada umumnya relatif lebih murah dan lebih homogen (Sinaga, 2011).

Berdasarkan ulasan tersebut, maka pada penelitian ini digunakan metode sol-gel dalam menyintesis  $\text{TiO}_2$  dengan prekursor TTIP dan doping fosfor. Penambahan doping dilakukan dengan cara berbeda, yaitu dengan variasi laju penambahan doping fosfor yang bersumber dari  $\text{H}_3\text{PO}_4$  untuk mengetahui pengaruhnya terhadap aktivitas fotokatalis  $\text{TiO}_2$ . Pada penelitian ini dilakukan karakterisasi menggunakan *transmission electron microscopy* (TEM) untuk mengetahui ukuran partikel dan spektrofotometer ultra violet-visibel (UV-Vis) untuk mengetahui aktivitas fotokatalis nanotitania yang diperoleh.

## 2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah titanium (IV) isopropoksida  $[\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4]$  dengan kemurnian 97% dari Sigma-Aldrich, isopropil alkohol 98% Merck, asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 98%, tween-80 ( $\text{C}_{64}\text{H}_{124}\text{O}_{26}$ ) Merck, remazol kuning dan aquabides. Sementara alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah mikro pipet, pengaduk magnetik, neraca digital, oven, *furnace*, mortar akik, lampu UV ultra vitalux 230 E27 Osram dan pompa injeksi XB-500. Untuk karakterisasi digunakan alat TEM JEOL JEM 1400 dan spektrofotometer UV-Vis Cary 100.

Sampel P- $\text{TiO}_2$  disintesis dengan mencampurkan tween-80 dan isopropil alkohol di dalam sebuah gelas beker dan diaduk selama  $\pm 15$  menit. Setelah itu, dilanjutkan dengan pemberian TTIP tetes demi tetes (*dropwise*) menggunakan makropipet. Larutan tersebut terus diaduk selama  $\pm 30$  menit dan disebut sebagai larutan  $\text{TiO}_2$ . Larutan  $\text{TiO}_2$  ditambahkan doping berupa asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 0,2 ml secara langsung tanpa menggunakan *syringe pump* (sampel A), selanjutnya penambahan doping dengan variasi laju penambahannya dilakukan pada sampel B-E seperti yang disajikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Variasi laju penambahan doping fosfor pada setiap sampel.

Sampel	Tween-80 (g)	i-PrOH (ml)	TTIP (ml)	$\text{H}_3\text{PO}_4$ (ml)	Laju penambahan doping (jam)
A	11	60	7	0,2	-
B	11	80	7	0,2	0,5
C	11	80	7	0,2	1,0
D	11	80	7	0,2	1,5
E	11	80	7	0,2	2,0

Setelah penambahan doping, pengadukan dilanjutkan selama 24 jam agar semua bahan homogen. Selanjutnya, dilakukan pengeringan menggunakan oven pada suhu  $\pm 80^\circ\text{C}$  selama 24 jam, kemudian dilakukan kalsinasi. Suhu kalsinasi dimulai dari  $30^\circ\text{C}$  sampai  $250^\circ\text{C}$  selama 1 jam, kemudian pada suhu  $250^\circ\text{C}$  ditahan selama 2 jam dan dilanjutkan penambahan suhu dari  $250^\circ\text{C}$  ke  $450^\circ\text{C}$  selama 1 jam, pada suhu  $450^\circ\text{C}$  ditahan selama 5 jam. Hasil akhir sampel berupa serbuk halus berwarna putih.

Pengujian aktivitas fotokatalis dilakukan menggunakan lampu ultra vitalux 230 E27 osram dengan daya 300 W sebagai sumber foton dan remazol kuning sebagai zat warna yang akan terurai/terdegradasi. Larutan remazol dibuat dengan 3 ml remazol dan 297 ml aquabides, kemudian diaduk hingga homogen. Setelah itu, larutan remazol dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi 0,25 gram sampel P- $\text{TiO}_2$ . Proses penyinaran dilakukan selama 50 menit, pada setiap 10 menit larutan diambil sebanyak 10 ml untuk pengambilan data absorbansi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Cary 100 dengan rentang panjang gelombang yang digunakan saat uji yaitu 200-600 nm.

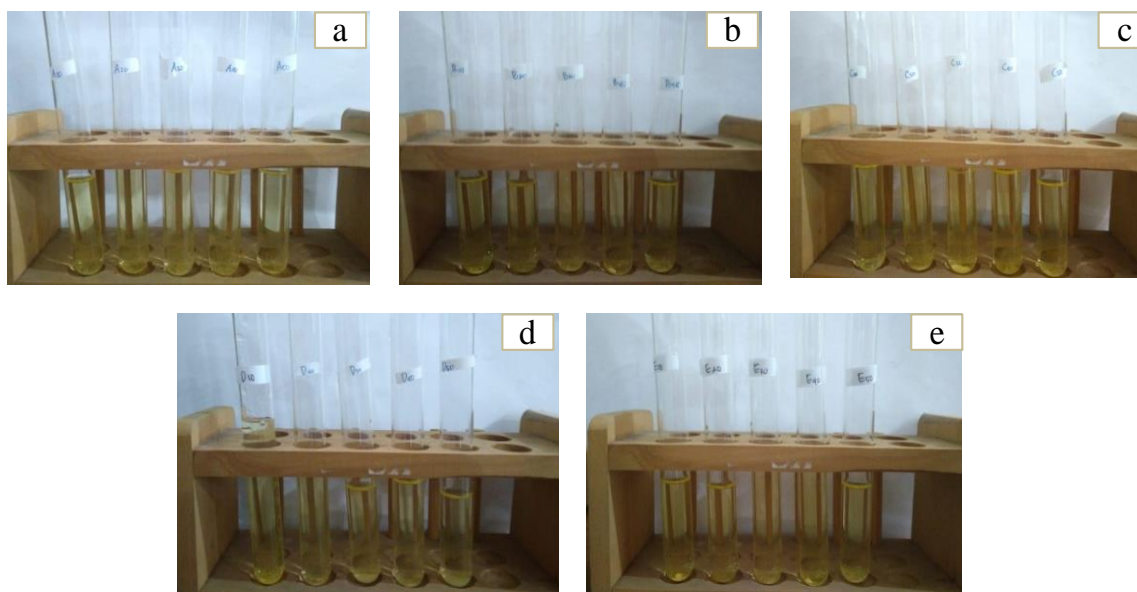
Karakterisasi TEM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ukuran partikel dan morfologi sampel P- $\text{TiO}_2$ . Berdasarkan karakterisasi TEM ini diperoleh data berupa gambar, kemudian dianalisis menggunakan bantuan perangkat lunak imageJ untuk mengetahui ukuran partikel yang dihasilkan.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

Setelah penyinaran menggunakan lampu UV, larutan mengalami perubahan warna menjadi lebih jernih, namun perubahannya tidak terlalu signifikan berdasarkan lama waktu penyinaran. Perubahan warna terjadi karena zat warna telah terdegradasi oleh P-TiO<sub>2</sub> sebagai katalis yang mengakibatkan intensitas warnanya menurun.

Proses degradasi warna terjadi ketika bahan semikonduktor dikenai cahaya maka energi cahaya tersebut dapat mengeksitasi elektron (e<sup>-</sup>) dari pita valensi menuju pita konduksi, sehingga pada pita valensi terbentuk *hole* (h<sup>+</sup>) (Triandi & Gunlazuardi, 2001). Kondisi ini memungkinkan interaksi antara pasangan elektron dan lubang dengan zat kimia lain pada permukaan. Kemampuan ini yang dimanfaatkan untuk menyerap senyawa organik seperti zat warna dalam larutan (Diebold, 2003).

Hasil uji fotokatalis dari pendegradasian remazol kuning menggunakan P-TiO<sub>2</sub> pada sampel A-E di bawah penyinaran lampu UV ditampilkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Hasil fotokatalis menggunakan lampu UV: (a) sampel A; (b) sampel B; (c) sampel C; (d) sampel D; (e) sampel E.

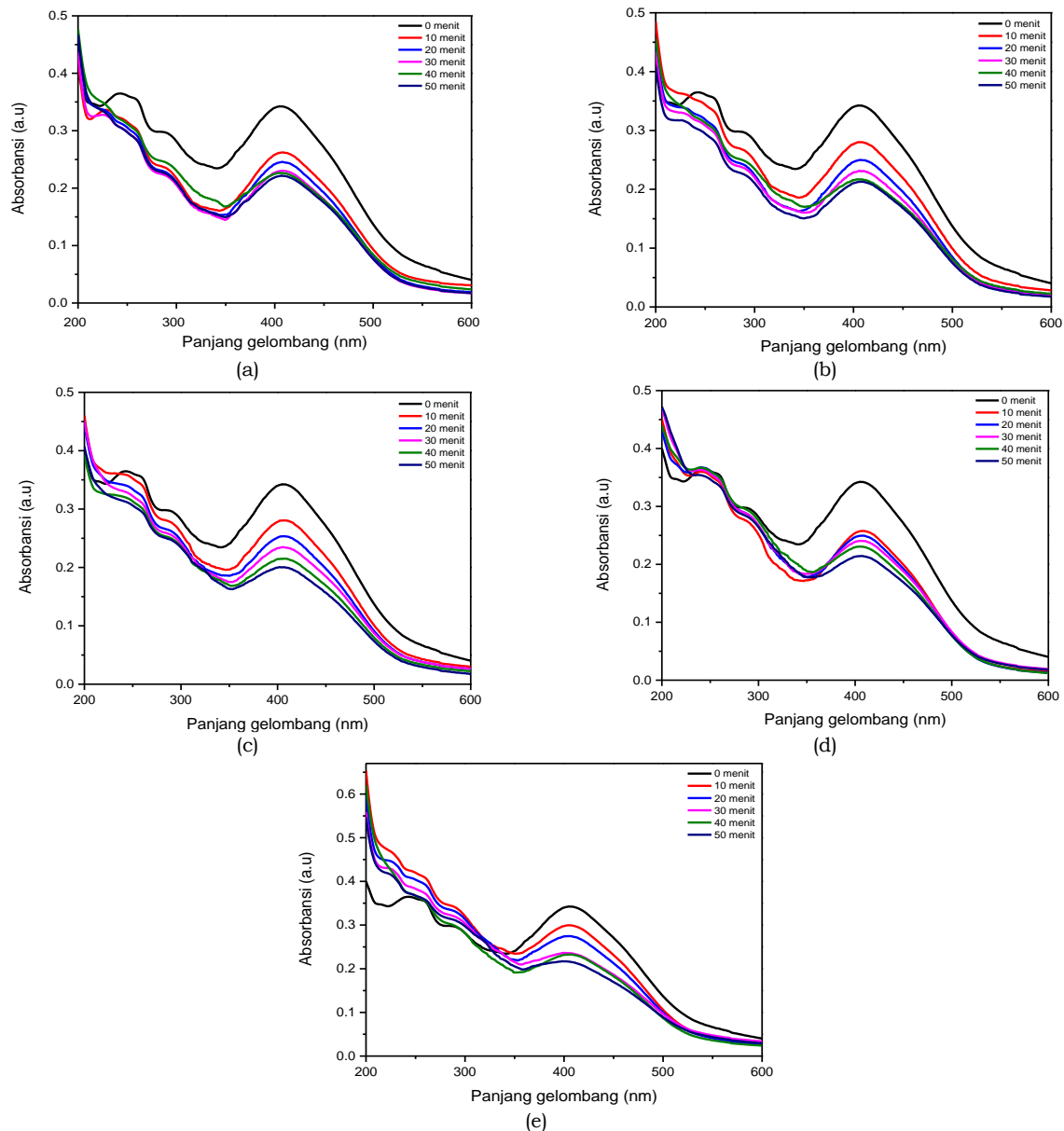
Untuk mengetahui besarnya penurunan absorbansi pada zat warna remazol kuning, dilakukan uji absorbansi menggunakan spektrofotometri UV-Vis Cary 100, besarnya nilai absorbansi yang diperoleh ini akan menunjukkan bagaimana aktivitas fotokatalisnya.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh grafik hubungan absorbansi dan panjang gelombang. Puncak absorbansi diperoleh pada panjang gelombang 408 nm. Puncak absorbansi pada panjang gelombang tersebut menunjukkan bahwa degradasi warna remazol kuning terletak pada daerah sinar tampak.

Grafik hasil uji aktivitas fotokatalis pada sampel A-E yang diperoleh menunjukkan bahwa semua sampel mengalami penurunan nilai absorbansi yang linier seiring lamanya waktu penyinaran. Saat penyinaran 10 menit pertama semua sampel mengalami penurunan absorbansi yang cukup signifikan. Pada menit selanjutnya degradasi zat warna yang terjadi semakin

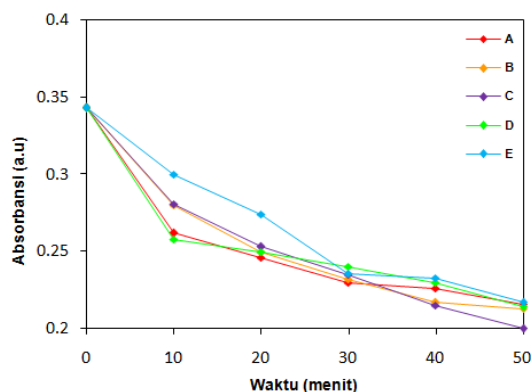
sedikit, sehingga penurunan absorbansi yang terjadi pada remazol kuning hanya sedikit. Namun, pada sampel C dengan laju penambahan doping 0,2 ml/jam penurunan absorbansi terjadi secara berkala dan lebih teratur dengan penurunan absorbansi yang lebih besar per 10 menitnya, dan nilai absorbansi sampel C pada menit ke-50 lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel A, B, D, dan E. Hal tersebut menandakan bahwa aktivitas fotokatalis meningkat pada sampel C, meskipun peningkatannya hanya sedikit dan tidak jauh berbeda dengan sampel lainnya.

Menurut Rohman (2007) untuk senyawa berwarna dengan bertambahnya waktu pengukuran, maka kemungkinan besar senyawa tersebut terurai yang mengakibatkan intensitas warnanya menurun sehingga absorbansinya menurun. Grafik hubungan absorbansi dan panjang gelombang dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Grafik hubungan absorbansi dan panjang gelombang: (a) sampel A; (b) sampel B; (c) sampel C; (d) sampel D; (e) sampel E.

Penurunan nilai absorbansi pada setiap sampel terhadap waktu penyinaran dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 3**. Grafik pada **Gambar 3** menunjukkan penurunan absorbansi pada kelima sampel paling tajam terjadi pada menit ke-10. Pada waktu 20 menit, kelima sampel masih mengalami penurunan absorbansi yang cukup tajam. Untuk selanjutnya sampai menit ke-50 penurunan nilai absorbansinya terjadi tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan semakin sedikitnya zat warna yang terdegradasi. Rata-rata degradasi yang terjadi sampel A, B, C, D, dan E berturut-turut sebesar 0,022, 0,026, 0,029, 0,026, dan 0,025. Berdasarkan variasi laju penambahan doping, penurunan nilai absorbansi tidak terjadi secara signifikan.

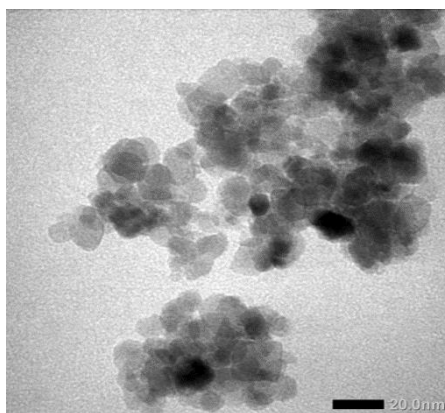


**Gambar 3.** Grafik penurunan nilai absorbansi sampel P-TiO<sub>2</sub>

Berdasarkan variasi laju penambahan doping, penurunan nilai absorbansi tidak terjadi secara signifikan. Meskipun demikian, diperoleh rata-rata degradasi maksimum terjadi pada sampel C dengan laju penambahan doping 0,2 ml/jam, yaitu sebesar 0,029. Absorbansi terendah terjadi pada sampel C pada menit ke-50. Rendahnya nilai absorbansi menandakan bahwa aktivitas fotokatalis mengalami peningkatan.

Analisis TEM pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ukuran partikel dari P-TiO<sub>2</sub> pada sampel dengan laju penambahan doping fosfor 0,2 ml/jam. Untuk menganalisis ukuran partikel yang diperoleh dari TEM dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ.

Analisis ukuran partikel menggunakan perangkat lunak ImageJ dilakukan dengan cara menarik garis secara horizontal. Dalam pengukuran ini, diambil 20 partikel dengan ukuran yang berbeda untuk memperoleh rata-rata ukuran partikel pada sampel C. Rata-rata ukuran partikel P-TiO<sub>2</sub> yang diperoleh pada sampel C adalah (9,8 ± 1,4) nm. Ukuran partikel yang diperoleh dapat dikategorikan sebagai nanomaterial yang berukuran ultra halus, hal itu ditandai dengan ukuran partikel yang dihasilkan <100 nm (Editor & Editor, 2013). Hasil karakterisasi TEM dari P-TiO<sub>2</sub> pada sampel C ditampilkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Hasil TEM P-TiO<sub>2</sub> pada sampel C

**Gambar 4** menampilkan hasil analisis morfologi partikel yang berbentuk bulat dan cenderung teraglomerasi sehingga sulit untuk mengamati morfologi partikel secara spesifik karena partikel tampak saling menempel satu dengan yang lain.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, menyintesis P-TiO<sub>2</sub> menggunakan metode dan bahan yang sama, dengan penambahan doping H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> secara *dropwise* diperoleh ukuran partikel P-TiO<sub>2</sub> sebesar (13,0 ± 1,3) nm (Ceria et al., 2017). Sedangkan pada penelitian ini, diperoleh ukuran partikel P-TiO<sub>2</sub> sebesar (9,8 ± 1,4) nm.

Berdasarkan ulasan tersebut, dapat diketahui bahwa laju penambahan doping P pada nanotitania berpengaruh terhadap ukuran partikel yang dihasilkan. Metode sol-gel yang digunakan untuk menyintesis P-TiO<sub>2</sub> pada penelitian ini merupakan metode yang dipengaruhi oleh laju pengendapan prekursor. Laju pengendapan memberikan peluang untuk membentuk suatu jaringan yang sangat kecil, sehingga ukuran partikel yang dihasilkan semakin kecil (Sinaga, 2011). Penurunan ukuran partikel yang menjadi semakin kecil menunjukkan peningkatan luas permukaan yang mengarah pada peningkatan aktivitas fotokatalis (Mao et al., 2005).

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh ukuran partikel pada salah satu sampel P-TiO<sub>2</sub> yaitu sampel dengan laju penambahan doping 0,2 ml/jam yaitu sebesar (9,8 ± 1,4) nm. Absorbansi pada kelima sampel P-TiO<sub>2</sub> mengalami penurunan signifikan pada waktu 0-20 menit pertama, pada menit selanjutnya penurunan

absorbansinya tidak terlalu tajam sampai menit ke-50. Berdasarkan variasi laju penambahan doping, tidak terjadi perbedaan peningkatan aktivitas fotokatalis yang signifikan. Namun, pada laju penambahan doping 0,2 ml/jam diperoleh absorbansi terendah yang mengindikasikan bahwa peningkatan aktivitas fotokatalis yang sedikit lebih tinggi.

#### Ucapan Terima kasih

Terimakasih kepada Kepala Laboratorium Fisika Material FMIPA Universitas Lampung, Kepala Laboratorium Kimia Analitik FMIPA Universitas Lampung, dan Kepala Laboratorium Kimia UGM, yang telah memfasilitasi laboratorium dalam kepentingan penelitian.

#### 5. Daftar Pustaka

- Ceria, K., Putri, S., Pascasarjana, P., Fisika, M., Matematika, F., Ilmu, D. A. N., Alam, P., Lampung, U., & Lampung, B. (2017). *Karakterisasi Dan Uji Absorbansi Nanotitania Dengan Doping Fosfor ( P ) Terhadap Fenol Karakterisasi Dan Uji Absorbansi Nanotitania Dengan Doping Fosfor ( P ) Terhadap Fenol*.
- Diebold, U. (2003). [1] Diebold. *Surface Science Reports*, 48(5–8), 53–229. [https://doi.org/10.1016/S0167-5729\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0167-5729(02)00100-0)
- Editor, S. H., & Editor, N. S. (2013). *Microwaves in Nanoparticle Synthesis. Microwaves in Nanoparticle Synthesis*. <https://doi.org/10.1002/9783527648122>
- Fakhrudinova, E., Shabalina, A. V., & Sudareva, E. (2015). Synthesis of TiO<sub>2</sub> and F-Doping TiO<sub>2</sub> Powders via “Reverse” Hydrolysis of Titanium Tetraisopropoxide. *Advanced Materials Research*, 1085, 95–100. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1085.95>
- Kim, D. S., & Kwak, S. Y. (2007). The hydrothermal synthesis of mesoporous TiO<sub>2</sub> with high crystallinity, thermal stability, large surface area, and enhanced photocatalytic activity. *Applied Catalysis A: General*, 323, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.02.010>
- Lei, X. F., Xue, X. X., Yang, H., Chen, C., Li, X., Niu, M. C., Gao, X. Y., & Yang, Y. T. (2015). Effect of calcination temperature on the structure and visible-light photocatalytic activities of (N, S and C) co-doped TiO<sub>2</sub> nano-materials. *Applied Surface Science*, 332, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.01.110>
- Mao, L., Li, Q., Dang, H., & Zhang, Z. (2005). Synthesis of nanocrystalline TiO<sub>2</sub> with high photoactivity and large specific surface area by sol-gel method. *Materials Research Bulletin*, 40(2), 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2004.11.001>
- Nakata, K., & Fujishima, A. (2012). TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Design and applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 13(3), 169–189. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.06.001>
- Prasetyowati, R. (2012). Sel Surya Berbasis Titania Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*, 2 Juni 2012, 453–462.
- Qourzal, S., Tamimi, M., Assabbane, A., Bouamrane, A., Nounah, A., Laanab, L., dan Ait-Ichou, Y. (n.d.). *Preparation of TiO<sub>2</sub> Photocatalyst Using TiCl<sub>4</sub> as a Precursor and Its Photocatalytic Performance*.
- Sinaga, S. (2011). *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi – Iv. November*, 29–30.
- Sreethawong, T., & Yoshikawa, S. (2006). Enhanced photocatalytic hydrogen evolution over Pt supported on mesoporous TiO<sub>2</sub> prepared by single-step sol-gel process with surfactant template. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(6), 786–796. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2005.06.015>
- Su, C., Hong, B. Y., & Tseng, C. M. (2004). Sol-gel preparation and photocatalysis of titanium dioxide. *Catalysis Today*, 96(3), 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2004.06.132>
- Triandi, R., & Gunlazuardi, J. (2001). Preparasi Lapisan Tipis TiO<sub>2</sub> sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan dan Aktivitas Fotokatalisis. *Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*, 5(December 2001), 81–90.
- Wong, M. S., Sun, D. S., & Chang, H. H. (2010). Bactericidal performance of visible-light responsive titania photocatalyst with silver nanostructures. *PLoS ONE*, 5(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010394>
- You, Y. F., Xu, C. H., Xu, S. S., Cao, S., Wang, J. P., Huang, Y. B., & Shi, S. Q. (2014). Structural characterization

and optical property of TiO<sub>2</sub> powders prepared by the sol – gel method. *Journal of Ceramics International*, 40, 8659–8666. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.01.083>