

Sintesis dan Karakterisasi Film Lapis Tipis TiO₂ Sebagai Pendegradasi Pewarna Tekstil Procion Red MX-8B

Synthesis and Characterization Thin Film TiO₂As Degrading Procion Red MX-8B Tekstile Dye

Achmad Sholikhudin Almu'minin^{*)}, Tanti Haryati, Tri Mulyono

Jurusan Kimia Fakultas MIPA, Universitas Jember (UNEJ)

^{*)}Email: aminin828@gmail.com

ABSTRACT

TiO₂ photocatalyst is one of type semiconductor that is often used in textile dyes photodegradation method which characteristics are influenced by the size of crystal. Synthesis of TiO₂ photocatalysts can be done by several methods, one using the sol-gel method. By treating variations in the composition of the reactants and treatment of synthesis in sol-gel method, the size of the TiO₂ crystals can be controlled to produce the desired characteristics. This study has been made of TiO₂ photocatalysts in the form of thin-layer films using sol-gel method with annealing process at a temperature of 550°C. This study examines the effect of the concentration of precursor TTIP and hydrolysis ratio of the crystal structure, crystallinity, the band gap energy, and photocatalyst activity to degrade procion red mx-8b dye compound. The result obtained is known that the crystal synthesized has structure of TiO₂ anatase. Value crystal size, crystallinity, the band gap energy, and percent degradation has a value that depends on the composition of TTIP concentration and hydrolysis ratio. Although the results showed morphology of TiO₂ particle indicate that large size and crystallinity value is still low, but that is interesting each of the measurement results mutually support each other.

Keywords: photocatalyst, TiO₂, sol-gel, TTIP concentration, hydrolysis ratio

PENDAHULUAN

Limbah cair pewarna merupakan jenis limbah *non-biodegradable* yang berasal dari hasil samping industri tekstil yang mana jika kadarnya berlebih akan membahayakan lingkungan (Wijaya *et al.*, 2005). Oleh karena itu pengelolaan limbah ini merupakan hal yang sangat penting bagi pelaku industri sesuai standar yang diatur dalam peraturan pemerintah (Sastrawidana, 2011). Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengelola limbah tersebut yaitu metode fotodegradasi, yang mana menggunakan radiasi sinar UV dan fotokatalis padatan untuk mendegradasi limbah cair zat warna menjadi komponen yang lebih sederhana sehingga lebih aman ketika dilepas dilingkungan (Tjahjanto dan Gunlazuardi, 2001).

Bahan yang digunakan sebagai fotokatalis pada metode fotodegradasi yaitu logam semikonduktor dimana logam TiO₂ (Titanium Dioksida) merupakan logam yang paling sering digunakan. Logam ini dikenal sebagai fotokatalis yang memiliki keunggulan berupa ekonomis, tidak beracun, reaktif terhadap cahaya terutama sinar UV, dan memiliki energi band gap yang lebar (3,2 eV; $\lambda = 387$ nm) (Linsebigler *dkk.*, 1995). Untuk mendapatkan logam tersebut dapat dilakukan dengan sintesis dari serbuk TiO₂ ataupun dari prekursor misalnya TTIP, TiCl₄, atau yang lain. Sintesis TiO₂ dalam bentuk film lapis tipis dari prekursor TTIP dengan metode sol-gel dapat dipilih untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan fotokatalis (Tjahjanto dan Gunlazuardi, 2001). Metode sol-gel merupakan metode yang ideal dengan reaksi sederhana untuk mendapatkan material logam

oksida dalam ukuran yang dapat dikontrol yang mana sangat dipengaruhi oleh komposisi reaktan, kondisi lingkungan, dan perlakuan sintesis (Chaharmahali, 2012).

Faktor penting yang mempengaruhi aktivitas fotokatalis TiO₂ yaitu struktur kristalnya, dimana banyak dilaporkan bahwa TiO₂ dengan struktur anatase memiliki aktivitas fotokatalis terbaik (Linsebigler dkk., 1995). Berdasarkan banyak laporan juga, kristal TiO₂ dengan struktur anatase dapat diperoleh dengan perlakuan kalsinasi pada suhu 550°C pada tahapan sintesisnya (Tjahjanto dan Gunlazuardi, 2001). Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikaji mengenai pengaruh konsentrasi prekursor TTIP dan rasio hidrolisis yang digunakan dalam sintesis film lapis tipis TiO₂ sebagai fotokatalis terhadap karakterisasi struktur, energi band gap, dan aktivitas fotodegradasinya.

METODE

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Titanium isopropoksida 97% (Sigma-Aldrich), etanol absolute 99,99% (Merck), HCl 37% (Merck), aseton (Smartlab), pewarna tekstil (Procion Red MX-8B), limbah batik, kaca preparat, aqua bidestilata, dan aquades.

Alat-alat yang digunakan ialah gelas kimia, Pipet mohr, spatula, *stirrer magnetic*, pipet tetes, batang pengaduk, botol semprot, neraca analitik, labu ukur, gelas ukur, cawan petri, cawan porselen, *ball pipet*, *spin coater* sederhana, oven, *furnace*, lampu UV Philips 40 Watt, spektrofotometer Visibel model 721, spektrofotometer UV-Vis Hitachi U-2900, SEM (*Scanning Elektron microscopy*), dan XRD (*X-Ray diffraction*) XPERT-PRO PANalytical.

Sintesis Film Lapis Tipis TiO₂ Anatase

TTIP dibuat dengan variasi konsentrasi 0,05 M, 0,1 M, dan 0,15 M dalam pelarut etanol sambil distirer. Masing-masing larutan ditetesi HCl pH 1 dengan rasio hidrolisis TTIP terhadap air sebesar 1:4, 1:6, dan 1:8, yang kemudian distirer selama ±20 menit sampai membentuk sol (Tjahjanto dan Gunlazuardi, 2001). Sol TiO₂ yang dihasilkan digunakan untuk pendeposisian dengan metode *spin coating* pada substrat kaca kering yang sudah dibersihkan menggunakan aseton, etanol, dan aqua bidestilata. Kaca yang sudah terdeposisi sol TiO₂ dibiarkan ±1 jam sampai agak kering, kemudian dilakukan proses annealing dalam furnace pada suhu 550°C.

Karakterisasi

Film lapis tipis TiO₂ dikarakterisasi XRD untuk mengetahui struktur dan ukuran kristal TiO₂ dengan menggunakan persamaan Debye Scherrer (Abdullah, 2008):

$$d = \frac{k\lambda}{B \cdot \cos \theta}$$

Keterangan :

d : ukuran (diameter) kristalinites

λ : panjang gelombang sinar-X yang digunakan

θ : sudut Bragg

B : FWHM (*full width at half maximum*)

K : konstanta material, nilai *K* umumnya ≈ 0,9.

Energi band gap diukur dengan spektrofotometri UV-Vis yang hasilnya diolah menggunakan metode tauc plot melalui plot antara $(\alpha h\nu)^n$ sebagai sumbu Y dan $h\nu$ sebagai sumbu X. Nilai *n* bernilai ½ untuk *E_g* transisi tidak langsung dan 2 untuk *E_g* transisi langsung (Bilalodin, 2012):

$$(\alpha h\nu)^n = B(h\nu - E_g)$$

Dimana : *α* : koefisien serap

h : konstanta plank (6,63x10⁻³⁴J.s)

B : konstanta

E_g : Energi celah pita optik kristal lapis tipis

Uji Aktivitas Fotokatalis

Aktivitas fotokatalis diukur melalui uji fotodegradasi fotokatalis TiO₂ terhadap pewarna procion red mx-8b dalam suatu reaktor fotokatalis yang sudah terpasang lampu UV. Larutan pewarna ditentukan absorbansi maksimum dan kurva kalibrasinya untuk penentuan konsentrasi melalui persamaan regresi yang dihasilkan. 5 keping film fotokatalis TiO₂ dimasukkan ke dalam wadah yang terisi 100 mL pewarna dengan konsentrasi 50 ppm yang sudah diketahui absorbansinya (a), kemudian disinari oleh lampu UV sambil distirer selama ±24 jam. Larutan pewarna hasil fotodegradasi diukur kembali absorbansinya menggunakan Spektrofotometri Visibel untuk mengetahui konsentrasi akhirnya (b). Persentase kemampuan fotokatalis TiO₂ yang disintesis dalam mendegradasi senyawa procion mx-8b dapat ditentukan menggunakan persamaan (Sumerta dkk., 2002):

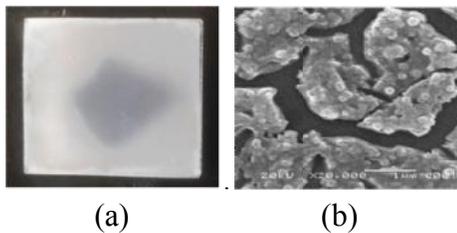
$$\text{Degradasi} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Pengukuran tambahan juga dilakukan pada uji aktivitas fotokatalis pada sampel limbah cair batik hasil samping dari proses produksi batik Rolla Jember. Sampel yang digunakan untuk uji fotodegradasi diencerkan dengan perbandingan terhadap air yaitu 1:400 untuk dapat diukur absorbansinya dan prosedur uji foto degradasinya sama dengan uji fotodegradasi pada pewarna procion red mx-8b (Adi, 2012).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Film Lapis Tipis TiO₂ dan Karakterisasinya

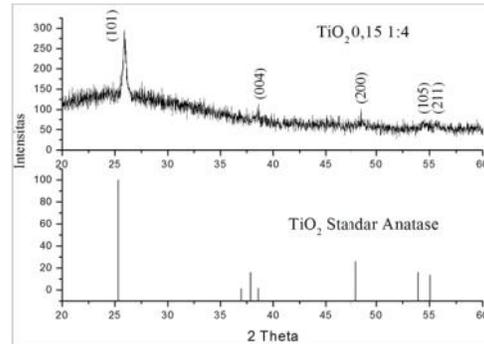
Sintesis film lapis tipis TiO₂ dengan menggunakan metode sol-gel berlangsung dalam dua tahapan reaksi yaitu hidrolisis dan kondensasi (Chaharmahali, 2012). Hasil sintesis film TiO₂ setelah dikalsinasi yaitu film lapis tipis yang mana permukaannya sudah terlapisi kristal TiO₂ yang berwarna putih agak transparan dan merata yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a).



Gambar 1. Tampilan fisik kristal TiO₂ yang terlapisi pada permukaan substrat kaca.

Gambar tersebut merupakan film fotokatalis dengan komposisi 0,15 M RH 1:4 yang dalam penelitian ini memiliki aktivitas paling optimum. Ukuran kristal TiO₂ berdasarkan perhitungan debye scherer dari hasil analisa XRD yang ditunjukkan pada Gambar 2 yaitu 84,471 nm, sedangkan ukuran partikel TiO₂ yang terdeteksi dari hasil analisa SEM pada gambar 1 (b) yaitu rata-rata 250 nm. Pada Gambar 1 (b) menunjukkan bahwa morfologi kristal TiO₂ belum begitu homogen dengan pertumbuhan inti kristal yang menyebar tidak merata pada beberapa bagian.

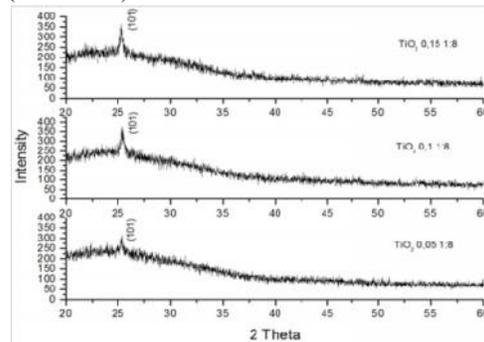
Analisa karakterisasi XRD untuk semua film TiO₂ yang disintesis dengan berbagai komposisi didapatkan pola difraksi yang mana memiliki kesesuaian puncak dengan standar TiO₂ anatase pada JCPDS 84-1286. Oleh karena itu, dapat dikatakan sintesis TiO₂ anatase berhasil disintesis dalam penelitian ini. Contoh plot pola difraksi TiO₂ dengan standar TiO₂ anatase ditunjukkan dalam gambar 2.



Gambar 2. Difraktogram Film Lapis Tipis TiO₂ 0,15 M RH 1:4

Pengaruh Konsentrasi TTIP dan Rasio Hidrolisis terhadap Struktur TiO₂

Pengaruh konsentrasi TTIP terhadap struktur kristal TiO₂ diamati pada film TiO₂ dengan komposisi 0,05 M, 0,1 M, dan 0,15 M dengan rasio hidrolisis yang dibuat tetap yaitu 1:8 (Gambar 3).

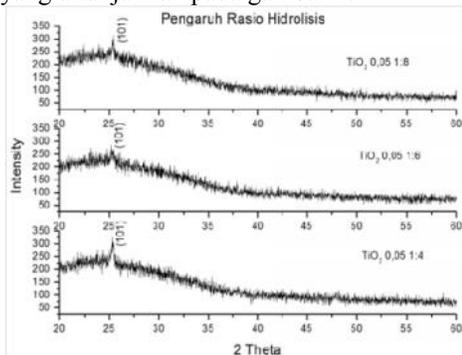


Gambar 3. Difraktogram TiO₂ Pengaruh Konsentrasi

Berdasarkan ketiga pola difraksi tersebut menunjukkan semakin besarnya konsentrasi menghasilkan kenaikan intensitas yang semakin tinggi dan pelebaran puncak yang semakin menurun. Data pelebaran puncak berpengaruh terhadap ukuran kristal (Abdullah, 2008), yang mana berdasarkan perhitungan didapatkan ukuran kristal yang semakin besar yaitu 32,665 nm, 44,685 nm dan 48,911 nm sebanding dengan semakin menurunnya pelebaran puncak. Semakin besarnya ukuran kristal yang didapatkan ini

karenakan semakin besarnya konsentrasi TTIP yang digunakan, sehingga laju reaksi hidrolisis dan kondensasi semakin tinggi dan mengakibatkan titik lewat jenuh cepat tercapai. Oleh karena itu, reaksi kondensasi dari produk intermediet titanol berlangsung cepat, sehingga waktu untuk proses nukleasi berlangsung singkat. Singkatnya waktu untuk pembentukan inti kristal titan ini mengakibatkan total bilangan nukleasi yang terbentuk juga berkurang sehingga menghasilkan kristal TiO_2 yang memiliki ukuran relatif besar (Ibrahim dkk., 2010).

Untuk pengaruh rasio hidrolisis terhadap struktur kristal TiO_2 diamati pada film TiO_2 pada komposisi rasio hidrolisis 1:4, 1:6, dan 1:8 dengan konsentrasi TTIP dibuat tetap yaitu 0,05 M yang ditunjukkan pada gambar 4.



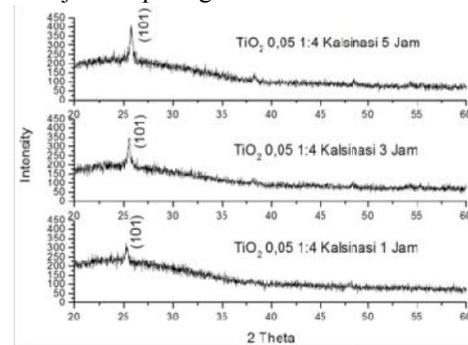
Gambar 4. Difraktogram TiO_2 Pengaruh Rasio Hidrolisis

Ketiga pola difraksi menunjukkan kecenderungan semakin tingginya rasio hidrolisis menghasilkan rata-rata intensitas yang semakin menurun dan pelebaran puncak yang semakin besar. Ukuran kristal yang didapat semakin kecil yaitu 49,024 nm, 16,330 nm, dan 32,665 nm sebanding dengan semakin meningkatnya rasio hidrolisis. Semakin tinggi rasio hidrolisis maka akan semakin banyak molekul air yang mengalami disosiasi menghasilkan ion HO^- yang semakin dominan, yang kemudian reaksi protonasi atom Ti pada molekul TTIP semakin mudah sehingga reaksi hidrolisis akan semakin mendominasi dibandingkan dengan reaksi kondensasi. Dominannya reaksi hidrolisis ini memungkinkan untuk terjadinya nukleasi yang dominan pula, sehingga proses pertumbuhan kristal akan tersebar untuk setiap inti yang sudah terbentuk

dan menghasilkan kristal akhir yang berukuran relatif kecil (Ibrahim dkk., 2010).

Pengaruh Waktu Kalsinasi terhadap Kristalinitas TiO_2

Berdasarkan difraktogram pada gambar 3 dan 4, dihasilkan intensitas yang tidak terlalu tinggi, sehingga perlu dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data kristalinitas yang maksimal. Pengukuran dilakukan pada film TiO_2 dengan komposisi 0,05 M RH 1:4 yang diberi perlakuan tambahan berupa variasi waktu kalsinasi yaitu 1 jam, 3 jam, dan 5 jam, yang mana hasilnya ditunjukkan pada gambar 5.



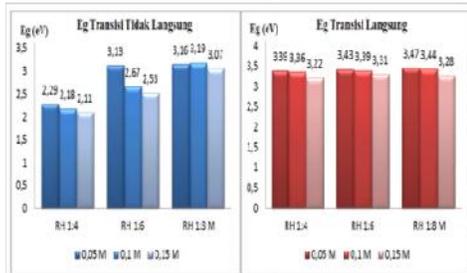
Gambar 5. Difraktogram TiO_2 Pengaruh Waktu Kalsinasi

Berdasarkan ketiga difraktogram yang dihasilkan diperoleh hubungan bahwa semakin lama waktu kalsinasi menghasilkan intensitas yang juga semakin tinggi dan pelebaran puncak yang semakin menurun. Untuk ukuran kristal semakin besar yaitu 49,024 nm, 60,912 nm, dan 101,416 nm sebanding dengan semakin lamanya waktu kalsinasi. Semakin lama waktu kalsinasi maka semakin banyak pula energi yang diperoleh atom-atom TiO_2 untuk menyempurnakan pertumbuhan kristal sehingga penyusunan bidang kristal semakin tinggi pula (Yulita dkk., 2012).

Pengaruh Konsentrasi TTIP dan Rasio Hidrolisis terhadap Energi Band Gap (E_g)

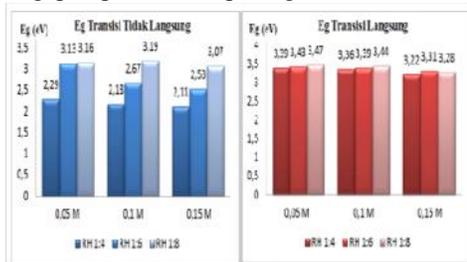
Energi band gap yaitu energi yang dibutuhkan oleh elektron untuk dapat bereksitasi dari pita valensi menuju pita konduksi (Abdullah, 2008). Nilai energi band gap (E_g) TiO_2 ada dua jenis yaitu E_g transisi langsung dan E_g transisi tidak langsung. E_g dalam penelitian ini masing-masing memiliki kesesuaian dengan $E_g\text{TiO}_2$ yang sudah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya (Valencia

dkk., 2012). Nilai E_g TiO₂ untuk fase anatase yaitu 3,2 eV (Linsebigler dkk., 1995), yang mana bersesuaian dengan hasil pengukuran E_g TiO₂ transisi langsung pada penelitian ini yaitu 3,22 eV.



Gambar 6. Energi Band Gap TiO₂ Pengaruh Konsentrasi TTIP.

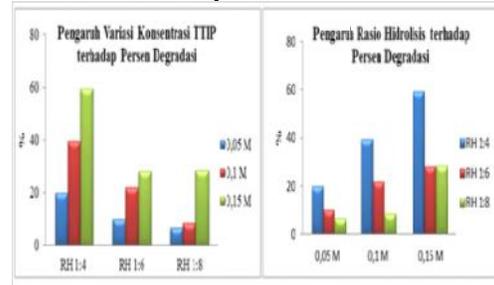
Pengaruh konsentrasi TTIP terhadap energi band gap dapat diamati pada gambar 6. yang mana menunjukkan rata-rata semakin besar konsentrasi TTIP menghasilkan energi band gap yang semakin kecil baik E_g transisi langsung maupun E_g transisi tidak langsung. Sedangkan, untuk pengaruh rasio hidrolisis terhadap energi band gap dapat diamati pada gambar 7.



Gambar 7. Energi Band Gap TiO₂ Pengaruh Rasio Hidrolisis

Difraktogram diatas menunjukkan rata-rata energi band gap baik E_g transisi langsung maupun E_g transisi tidak langsung memiliki kecenderungan semakin besar sebanding dengan semakin tingginya rasio hidrolisis. Semakin kecil atau besarnya E_g ini dipengaruhi oleh adanya ukuran partikel penyusun kristal TiO₂ yang dianalisa, dimana E_g akan bernilai besar sebanding dengan ukuran partikelnya yang kecil dan sebaliknya (Abdullah, 2008). Hal tersebut juga sejalan dengan hasil pada karakterisasi XRD yang mana ukuran kristal bergantung pada konsentrasi TTIP dan rasio hidrolisis.

Pengaruh Konsentrasi TTIP dan Rasio Hidrolisis terhadap Aktivitas Fotokatalis



Gambar 8. Persen Degradasi (a) Pengaruh Konsentrasi TTIP, (b) Pengaruh Rasio Hidrolisis.

Pengaruh konsentrasi TTIP terhadap aktivitas Fotokatalis TiO₂ dapat diamati pada gambar 8 (a), yang mana menunjukkan rata-rata persen degradasi semakin tinggi sejalan dengan semakin besarnya konsentrasi TTIP. Sedangkan pengaruh rasio hidrolisis terhadap aktivitas fotokatalis dapat diamati pada gambar 8 (b), yang mana dihasilkan rata-rata persen degradasi yang semakin kecil sejalan dengan semakin tingginya rasio hidrolisis. Semakin tinggi atau rendahnya persen degradasi yang dihasilkan ini dipengaruhi oleh adanya kristalinitas yang dimiliki oleh fotokatalis, dimana kristalinitas yang semakin tinggi mengindikasikan semakin banyak pula kristal TiO₂ yang terbentuk pada fotokatalis sehingga semakin meningkatkan sisi aktif fotokatalis untuk mengadsorbsi zat warna yang akan didegradasi oleh radikal hidroksil yang dihasilkan begitupun sebaliknya (Damayanti *et al.*, 2014).

Kebergantungan aktivitas fotokatalis yang dipengaruhi oleh kristalinitas ini didukung dengan data hasil karakterisasi XRD dan nilai energi band gap yang mana kristalinitas dan energi band gap TiO₂ dipengaruhi oleh konsentrasi TTIP dan rasio hidrolisis. Energi band gap fotokatalis yang semakin kecil akan semakin mudah pula fotokatalis untuk menangkap foton dengan tingkat energi yang kecil, sehingga reaksi fotodegradasi dapat cepat tercapai pula (Linsebigler dkk., 1995). Dari hasil pengukuran didapatkan komposisi fotokatalis yang optimum untuk mendegradasi zat warna procion red mx-8b yaitu pada fotokatalis 0,15 M

RH 1:4 dengan persen degradasi sebesar 59,46% dan sisa konsentrasi zat warna 19,19 ppm.

Pengujian Fotodegradasi Sampel Limbah Batik

Untuk mendapatkan konsentrasi sampel limbah batik terlebih dahulu harus diketahui absorbansi maksimum sampel yaitu pada 504 nm, dan persamaan regresi hasil dari pembuatan kurva kalibrasi pada larutan standar yaitu $y = 0,0149x + 0,023$ dengan nilai $R^2 = 0,9972$. Konsentrasi awal dari sampel limbah batik yang digunakan yaitu 31,60 ppm yang mana merupakan konsentrasi sampel limbah batik setelah diencerkan 400 kali, dari konsentrasi aslinya yaitu 12640 ppm. Dari hasil pengukuran fotodegradasi sampel limbah batik oleh fotokatalis TiO_2 0,15 M RH 1:4 diperoleh persen degradasi sebesar 3,83 % dengan konsentrasi sisa sebesar 30,39 ppm sehingga konsentrasi limbah batik yang terdegradasi yaitu 1,21 ppm. Sedikitnya konsentrasi sampel limbah batik yang dapat di-degradasi dimungkinkan karena pada sampel limbah batik mengandung pewarna yang kompleks dan memiliki kadar pewarna yang berbeda pada pewarna standard (procion red mx-8b) sehingga persen degradasi menghasilkan nilai yang berbeda pula.

KESIMPULAN

Semakin tinggi variasi konsentrasi TTIP maka menghasilkan fotokatalis TiO_2 dengan ukuran kristal yang semakin besar, kristalinitas yang semakin tinggi, energi band gap yang semakin turun, dan persen degradasi yang semakin meningkat. Sedangkan semakin tinggi rasio hidrolisis maka dihasilkan ukuran kristal yang semakin kecil, kristalinitas yang semakin rendah, energi band gap yang semakin besar, dan persen fotodegradasi yang semakin menurun. Selanjutnya, sintesis fotokatalis TiO_2 dapat dilakukan dengan dikombinasikan dengan logam transisi lain sebagai dopan yang memiliki pita valensi lebih tinggi dan pita konduksi lebih rendah dari yang dimiliki TiO_2 , misalnya Zn dan Ni untuk dapat mengubah sifat semikonduktornya sehingga dapat meningkatkan karakteristik fisika dan kimia seperti untuk meningkatkan ketahanan terhadap kerontokan dan memperkecil energi band gap. Selain itu,

penelitian lebih lanjut dapat dilakukan pada sampel limbah batik atau limbah pewarna jenis lainnya untuk didapatkan kombinasi fotokatalis yang efektif dengan persen degradasi yang optimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. 2008. *Pengantar Nanosains*. Bandung: ITB.
- Adi, Basuki W. 2012. *Penyisihan Zat Organik pada Air Limbah Industri Batik dengan Fotokatalis TiO_2* . Tidak Diterbitkan. Makalah. Surabaya: FTSP ITS Surabaya.
- Bilalodin. 2012. Pembuatan dan Penentuan Celah Pita Optik Film Tipis TiO_2 . Purwokerto. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*: 86-89.
- Chaharmahali, A. R. 2012. *The Effect of TiO_2 Nanoparticles on the Surface Chemistry, Structure and Fouling Performance of Polymeric Membranes*. Thesis. Sydney: University of New South Wales.
- Damayanti, C. A., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. 2014. Pengaruh konsentrasi TiO_2 dalam Zeolit terhadap Degradasi Methilene Blue secara Fotokatalitik. *Kimia Student Journal*. Vol. 1 (1): 8-14.
- Ibrahim, I. A. M., Zikry, A. A. F., & Sharaf, M. A. 2010. Preparation of Silica Nanoparticles: Stober Silica. *Journal of American Science*. Vol. 6 (11): 985-989.
- Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates, J. T. 1995. Photocatalysis on TiO_2 Surfaces: Principles, Mechanism, and Selected Result. *Chemical Reviews*, Vol. 95 (3): 735-758.
- Sastrawidana, I D. K. 2011. Studi Perombakan Zat Warna Tekstil Remazol Red RB secara Aerob Menggunakan Bakteri Enterobacter Aerogenes yang Diisolasi dari Lumpur Limbah Tekstil. *Jurnal Kimia*, Vol. 5 (2): 117-124.
- Sumerta, I. K., Wijaya, K., dan Tahir, I. 2002. *Makalah Seminar Pendidikan Kimia "Fotodegradasi Metilen Biru Menggunakan Katalis TiO_2 -Montmorilonit dan Sinar UV"*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Tjahjanto, R. T., & Gunlazuardi, J. 2001. Preparasi Lapisan Tipis TiO_2 sebagai Fotokatalis: Keterkaitan antara Ketebalan dan

- Aktivitas Fotokatalisis. *Makara Jurnal Penelitian Universitas Indonesia*. Vol. 5 (2): 81-91.
- Valencia, S., Marin, J. M. & Restrepo, G. 2010. Study of The Band Gap of Synthesized Titanium Dioxide Nanoparticules Using The Sol Gel Methode and a Hydrothermal Treatment. *The Open Materials science Journal*. Vol. 4 (1): 9-14.
- Wijaya, K., Tahir, I., & Haryanti, N. 2005. Synthesis of Fe₂O₃-Montmorillonite and Its Application as a Photocatalyst for Degradation of Congo Red Dye. *Jurnal Kimia Indonesia*. Vol. 5 (1): 41-47.
- Yulita, R., Septiani, U., & Rilda, Y. 2012. Optimasi Proses Kalsinasi pada Sintesis Komposit TiO₂/Kitosan. *Jurnal Kimia Unand*. Vol. 1 (1): 59-66

