

## SINTESIS DAN KARAKTERISASI ZEOLIT-TiO<sub>2</sub> SERTA PEMANFAATANNYA SEBAGAI FOTOKATALIS UNTUK DEGRADASI RHODAMIN B

W. A. Fauzi, I N. Simpen, dan I W. Sudiarta

Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana

Email: wempicaulifauzi@gmail.com

### ABSTRAK

Sintesis komposit zeolit-TiO<sub>2</sub> telah berhasil dilakukan dengan mencampurkan zeolit alam terkativasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan TiO<sub>2</sub>. Komposit yang terbentuk kemudian dikarakterisasi gugus fungsi dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan luas permukaan secara metode BET (Breunaur, Emmet dan Teller). Hasil karakterisasi FTIR dan BET menunjukkan bahwa sintesis komposit zeolit-TiO<sub>2</sub> relatif berhasil. Hal tersebut dapat dilihat dari karakterisasi BET, yaitu semakin tinggi luas permukaan komposit dari 63,031 m<sup>2</sup>/g menjadi 73,913 m<sup>2</sup>/g, kemudian diperkuat dengan munculnya gugus fungsi TiO<sub>2</sub> pada zeolit pada panjang gelombang 2345,44 cm<sup>-1</sup>, 792,74 cm<sup>-1</sup>, dan 424,34 cm<sup>-1</sup>. Selanjutnya, komposit digunakan untuk fotodegradasi zat warna rhodamin B dengan persentase tertinggi 97,39% pada waktu kontak irradiasi optimum menit ke-10 dan pH efektif larutan 4.

**Kata kunci:** fotodegradasi, rhodamin B, komposit zeolit-TiO<sub>2</sub>

### ABSTRACT

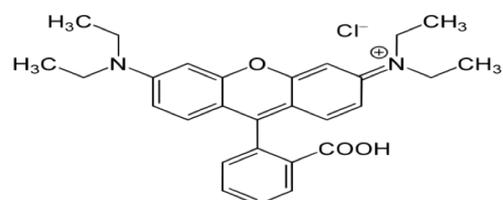
The synthesis of zeolite-TiO<sub>2</sub> composite has been successfully performed by mixing the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-enriched natural zeolite to TiO<sub>2</sub>. The composites are formed then characterized functional groups using Fourier Transform Infrared (FTIR) and surface area with BET (Breunaur, Emmet and Teller) method. The characterization results showed that the synthesis of zeolite-TiO<sub>2</sub> composites is relatively successful. Those can be seen from BET characterization higher to the composite surface area from 63.031 m<sup>2</sup>/g to 73.913 m<sup>2</sup>/g, then reinforced by the appearance of the functional groups of TiO<sub>2</sub> in zeolite at wavelength 2345.44 cm<sup>-1</sup>, 792.74 cm<sup>-1</sup>, and 424.34 cm<sup>-1</sup>. Furthermore, the composite is used for the photodegradation of rhodamin B dyes with the highest degradation percentage was 97.39% in optimal irradiation contact time was reached at 10 minutes and the effective pH of 4.

**Keywords :** photodegradation, rhodamin B, zeolite-TiO<sub>2</sub> composite

### PENDAHULUAN

Tingkat pencemaran lingkungan dewasa ini semakin meningkat. Bahan-bahan pencemar utama bersumber dari senyawa-senyawa kimia yang dibuang ke lingkungan. Industri tekstil merupakan salah satu sumber dari limbah tersebut karena masih banyak industri tekstil yang membuang limbah langsung ke lingkungan sekitar seperti sungai dan laut, tanpa melalui proses pengolahan dan penyaringan agar aman bagi mahluk hidup di sekitarnya (Sastrawijaya, 2000).

Rhodamin B merupakan salah satu zat warna yang sering digunakan dalam industri tekstil, karena menghasilkan warna yang menarik, harganya murah, dan mudah diperoleh (Syakri, 2017).



Gambar 1. Struktur rhodamin B (Nalwa, 2001)

Pengolahan limbah zat warna rhodamin B telah banyak dilakukan dengan berbagai metode, antara lain flotasi, sedimentasi, dan metode adsorpsi karbon aktif. Akan tetapi, metode-metode tersebut kurang efektif karena zat warna masih terakumulasi di dalam adsorben dalam bentuk senyawa yang kompleks, sehingga akan kembali dapat mencemari lingkungan jika dibuang langsung ke lingkungan. Sebagai alternatif, metode efektif untuk mengolah limbah zat warna tersebut yaitu dengan fotodegradasi menggunakan bahan fotokatalis dan irradiasi sinar ultraviolet. Dengan metode fotodegradasi ini, zat warna dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana yang relatif lebih aman untuk lingkungan (Wijaya dkk., 2005).

Fotodegradasi memerlukan suatu katalis yang bersifat semikonduktor seperti Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>). TiO<sub>2</sub> adalah material semikonduktor yang baik digunakan untuk aktivitas fotodegradasi karena mempunyai energi band gap yang besar yaitu 3,2 eV yang mampu menguraikan zat warna dan bersifat stabil terhadap temperatur (Batista *et al.*, 2010). Sifat inilah yang menjadi dasar penggunaan TiO<sub>2</sub> dalam penelitian ini.

Titanium dioksida memiliki daya adsorpsi yang rendah terhadap zat warna, sehingga efisiensi fotokatalitiknya rendah. Efektivitas fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat ditingkatkan dengan menambahkan pengemban pada katalis yang menyebabkan bertambahnya luas permukaan katalis. Pengemban yang digunakan adalah zeolit. Pemilihan zeolit sebagai materi pengemban katalis karena zeolit mempunyai pori-pori yang besar sehingga, stabil dalam suhu tinggi, dan keberadaannya di Indonesia melimpah. Katalis TiO<sub>2</sub> yang teremban pada zeolit diharapkan dapat memiliki fungsi ganda yaitu sebagai adsorben sekaligus fotokatalis (Wijaya dkk., 2005). Proses pengembanan TiO<sub>2</sub> pada zeolit dilakukan dengan metode keramik (*solid state reaction*). Metode keramik merupakan reaksi langsung antara reagen dengan

reagen lainnya pada temperatur berikisar 300<sup>0</sup>C-1600<sup>0</sup>C (Lufaso, 2014).

Pada penelitian Chandra (2012), melakukan fotodegradasi menggunakan TiO<sub>2</sub>/zeolit dengan metode impregnasi untuk mendegradasi rhodamin B menghasilkan persentase degradasi optimum 95,55% pada menit ke 120 dan pH rhodamin B adalah 4.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, maka dilakukan fotodegradasi zat warna rhodamin B menggunakan zeolit-TiO<sub>2</sub> yang disintesis secara metode keramik. Selanjutnya, dipelajari pengaruh variasi waktu kontak dan pH optimum dari proses fotodegradasi.

## MATERI DAN METODE

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam klipnoptilolit, TiO<sub>2</sub>, rhodamin B, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, akuades, HCl, indikator phenolphthalein, dan NaOH.

### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, corong, pipet volumetri, pipet tetes, pengaduk magnetik, batang pengaduk, timbangan analitik, tanur, oven, ayakan 200 mesh, botol vial, kotak penyinaran, kertas saring, plastik hitam, lampu UV, spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Surface Area Analyzer* (SAA), pH meter, dan spektrofotometer UV-vis.

### Cara Kerja

#### Aktivasi zeolit dengan asam sulfat

Seratus (100) g zeolit alam yang lolos ayakan 200 mesh dimasukkan ke dalam gelas beaker yang berisi 1000 mL akuades sambil diaduk dengan pengaduk magnetik selama 3-4 jam. Kemudian, zeolit disaring dan dipanaskan pada suhu 50<sup>0</sup>C sampai mencapai berat konstan. Ke dalam 100 g zeolit yang telah dicuci ditambahkan 1000 mL asam sulfat 2 M dan diaduk selama 14-16 jam menggunakan pengaduk magnet. Setelah

itu, dicuci dengan akuades sebanyak 3 kali dan dikeringkan pada suhu 120°C.

#### **Sintesis komposit zeolit-TiO<sub>2</sub>**

Sejumlah zeolit yang sudah dicuci dicampurkan dengan TiO<sub>2</sub> secara padat-padat dengan perbandingan zeolit:TiO<sub>2</sub> yaitu 100:1 (1 gram zeolit dengan 0,01 gram TiO<sub>2</sub>), 100:3 (1 gram zeolit dengan 0,03 gram TiO<sub>2</sub>), dan 100:5 (1 gram zeolit dengan 0,05 gram TiO<sub>2</sub>). Kemudian, campuran diaduk sampai homogen dan dipanaskan dalam tanur pada suhu 350°C selama 12 jam.

#### **Karakterisasi zeolit-TiO<sub>2</sub>**

Dua puluh (20) g serbuk zeolit-TiO<sub>2</sub> yang hasil sintesis dilakukan analisis menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi zeolit-TiO<sub>2</sub> dan metode BET untuk menentukan luas permukaan spesifik zeolit-TiO<sub>2</sub>.

#### **Penentuan waktu penyinaran optimum**

Tujuh buah gelas beker 50 mL dibungkus plastik hitam kemudian masing-masing diisi dengan 25 mL larutan rhodamin B 100 mg/L. Ke dalam tujuh gelas beker tersebut ditambahkan masing-masing 0,5 gram zeolit-TiO<sub>2</sub>. Setelah dimasukkan ke dalam kotak penyinaran bungkus plastik hitam dibuka. Tujuh buah gelas beker berisi zeolit-TiO<sub>2</sub> disinari dengan sinar UV 253,47 nm masing-masing selama 5, 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit. Pemisahan filtrat yang mengandung sisa zat warna dan suspensi dilakukan dengan sentrifugasi pada kecepatan 3500 rpm selama 10 menit.

#### **Penentuan pH efektif degradasi**

Enam gelas beker 50 mL yang telah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 25 mL larutan rhodamin B 100 mg/L dengan pH 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 dengan menambahkan HCl 0,5 M atau NaOH 0,5 M ke dalam larutan. Ke dalam masing-masing gelas beker dimasukkan sebanyak 0,5 gram katalis zeolit-TiO<sub>2</sub> dan diaduk sampai homogen.

Gelas beker kemudian dimasukkan ke dalam kotak penyinaran dengan sinar UV 253,47 nm dengan waktu optimum yang telah didapat pada prosedur sebelumnya. Pemisahan antara suspensi dan filtrat yang mengandung sisa zat warna dilakukan dengan sentrifugasi pada kecepatan 3500 rpm selama 10 menit.

#### **Penentuan fotodegradasi rhodamin B pada kondisi optimum**

Enam buah gelas 50 mL yang sudah dibungkus plastik hitam masing-masing diisi dengan 25 mL larutan rhodamin B konsentrasi optimum yang didapat pada prosedur sebelumnya. Ke dalam enam buah gelas dimasukkan 25 mL rhodamin B kemudian ditambahkan masing-masing 0,5 gram zeolit-TiO<sub>2</sub> dan diaduk sampai homogen. Tiga gelas dimasukkan ke dalam kotak penyinaran dan pembungkus plastik hitam dilepas. Gelas beker disinari sinar UV 253,47 nm selama waktu optimum. Tiga buah gelas beker sisanya dilakukan perlakuan yang sama namun tanpa penyinaran UV selama waktu optimum. Pemisahan antara suspensi dan filtrat yang mengandung sisa zat warna rhodamin B dilakukan sentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 10 menit.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan bahwa zeolit-TiO<sub>2</sub> 100 : 5 memiliki luas permukaan terbesar yaitu 73,913 m<sup>2</sup>/g. Dalam penelitian Maria (2013) didapatkan luas permukaan spesifik zeolit alam sebesar 63,031 m<sup>2</sup>/g. Kenaikan luas permukaan katalis disebabkan oleh bertambahnya pori-pori pada katalis setelah ditambahkan zeolit. Luas permukaan yang tinggi akan memperbesar kemampuan katalis untuk mengadsorpsi zat warna sehingga peluang untuk mendegradasi zat warna akan semakin tinggi.

Tabel 1. Hasil Penentuan Luas Permukaan Zeolit-TiO<sub>2</sub> dengan Metode BET

Komposit	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:1)	72,297
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:3)	62,659
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:5)	73,913

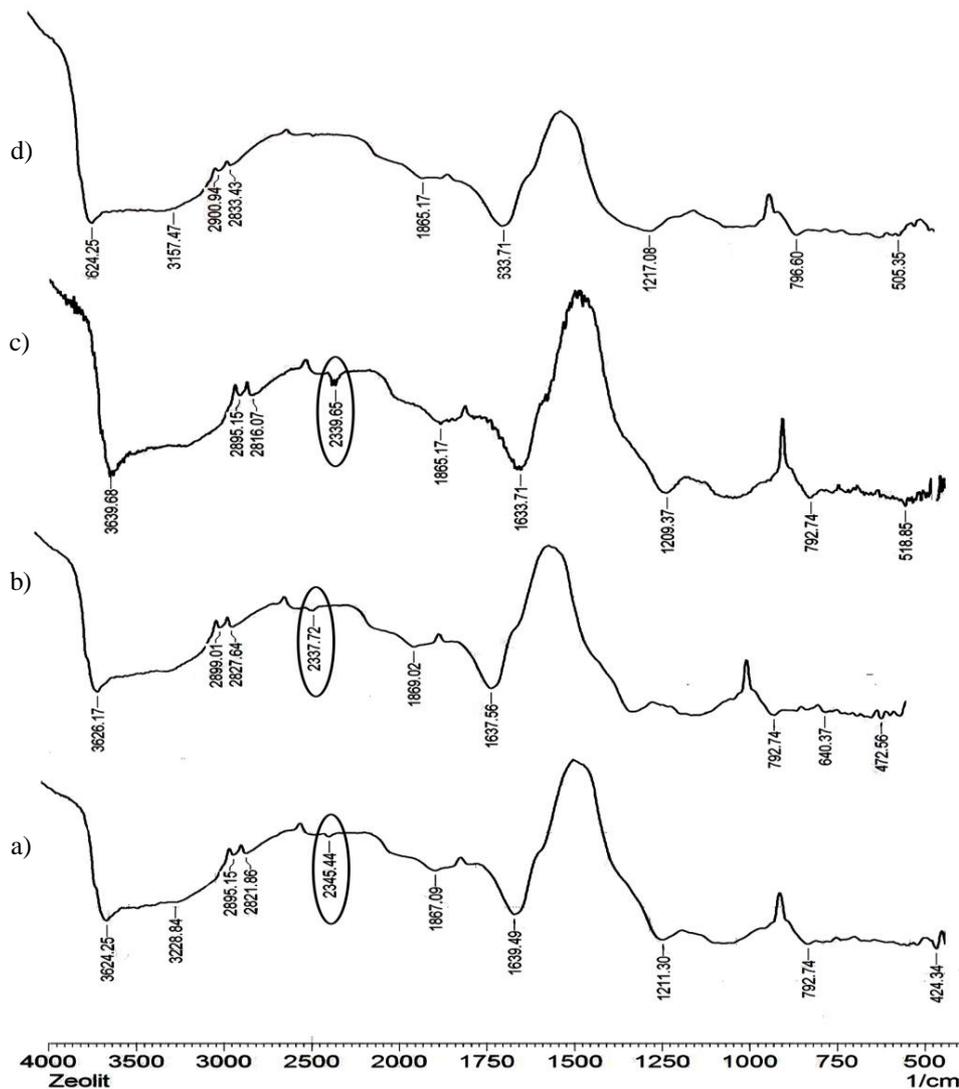
Hasil karakterisasi keasaman dan kebasaan permukaan zeolit-TiO<sub>2</sub> sesuai dengan Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa zeolit yang termodifikasi oleh TiO<sub>2</sub> memiliki sifat keasaman permukaan rendah dan kebasaan permukaan komposit yang tinggi. Terlihat bahwa kebasaan pada variasi zeolit-TiO<sub>2</sub> 100 : 5 kebasaan permukaannya paling tinggi dibandingkan zeolit-TiO<sub>2</sub> 100 : 3 dan 100 : 1 yaitu 21,6579±0,3240 mmol/g dengan jumlah situs basa 1,3042 x 10<sup>22</sup> atom/g. Kebasaan permukaan yang tinggi mampu untuk membantu proses adsorpsi zeolit-TiO<sub>2</sub> terhadap zat warna rhodamin B yang bersifat asam (Sibarani, 2016). Semakin tinggi daya adsorpsi zeolit-TiO<sub>2</sub> terhadap rhodamin B akan memperbesar peluang degradasi rhodamin B.

Tabel 2. Data Nilai Keasaman Permukaan dan Jumlah Situs Aktif Zeolit-TiO<sub>2</sub>

Komposit	Keasaman Permukaan (mmol/g)	Jumlah Situs Aktif Asam (atom/g)
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:1)	0,2561	1,5422 x 10 <sup>22</sup>
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:3)	1,5546	1,2162 x 10 <sup>22</sup>
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:5)	0	0

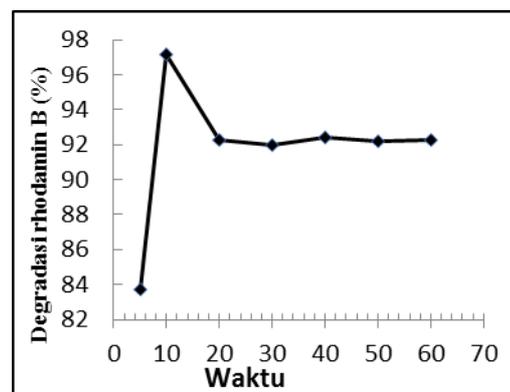
Tabel 3. Data Nilai Kebasaan Permukaan dan Jumlah Situs Aktif Zeolit-TiO<sub>2</sub>

Komposit	Kebasaan Permukaan (mmol/g)	Jumlah Situs Aktif Basa (atom/g)
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:1)	20,4047	1,2287 x 10 <sup>22</sup>
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:3)	20,1965	1,2162 x 10 <sup>22</sup>
Zeolit-TiO <sub>2</sub> (100:5)	21,6579	1,3042 x 10 <sup>22</sup>



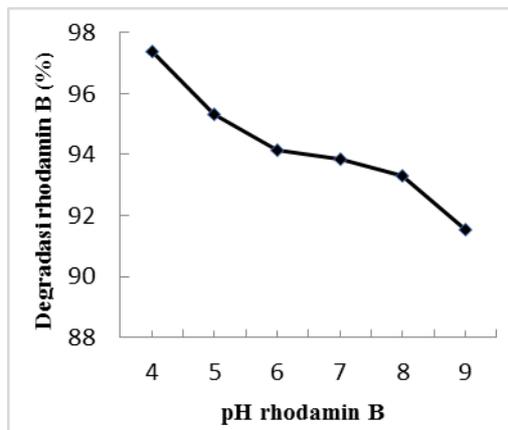
Gambar 2. Spektra FTIR (a) Zeolit-TiO<sub>2</sub> (100:5), (b) Zeolit-TiO<sub>2</sub> (100:3), (c) Zeolit-TiO<sub>2</sub> (100:1), dan (d) Zeolit alam

Berdasarkan Gambar 2 spektra zeolit, terdapat serapan pada bilangan gelombang 1217,08 cm<sup>-1</sup> dan 796,60 cm<sup>-1</sup> yang merupakan serapan regangan asimetris dan asimetris eksternal O-Si-O atau O-Al-O. Serapan pada bilangan gelombang 505,35 cm<sup>-1</sup> merupakan karakteristik ikatan Al-O dan Si-O (Stuart, 1999). Hadirnya TiO<sub>2</sub> pada permukaan zeolit, dibuktikan dengan munculnya serapan pada panjang gelombang 2339,65 cm<sup>-1</sup> (zeolit-TiO<sub>2</sub> 100:1), 2337,56 cm<sup>-1</sup> dan 640,37 cm<sup>-1</sup> (zeolit-TiO<sub>2</sub> 100:3), kemudian 2345,44 cm<sup>-1</sup>, 792,74 cm<sup>-1</sup>, dan 424,34 cm<sup>-1</sup> (zeolit-TiO<sub>2</sub> 100:5) yang merupakan karakteristik dari TiO<sub>2</sub> (Utubira dkk., 2006).



Gambar 3. Hubungan antara waktu kontak irradiasi dengan persentase degradasi

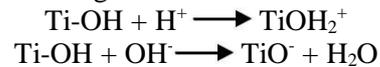
Berdasarkan Gambar 3 diketahui waktu penyinaran optimum zeolit-TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi rhodamin B menunjukkan bahwa dari menit ke-5 menuju menit ke-10 terjadi kenaikan persentase degradasi rhodamin B. Setelah mencapai menit ke-10, proses degradasi tidak meningkat secara signifikan. Penurunan persentase degradasi yang terjadi diperkirakan karena pada menit ke-10 kemampuan komposit dalam mendegradasi rhodamin B sudah mencapai titik optimumnya dengan mendapatkan persentase degradasi 97,14%. Penurunan persentase degradasi juga bisa disebabkan oleh komposit yang digunakan sebagai adsorben mengalami kejenuhan dalam mengadsorpsi larutan rhodamin B, sehingga ketika waktu adsorpsi melebihi waktu optimumnya, maka akan terjadi proses desorpsi. Akibatnya, konsentrasi larutannya kembali mengalami peningkatan yang menyebabkan persentase degradasi menjadi menurun (Agusriyanti, 2015).



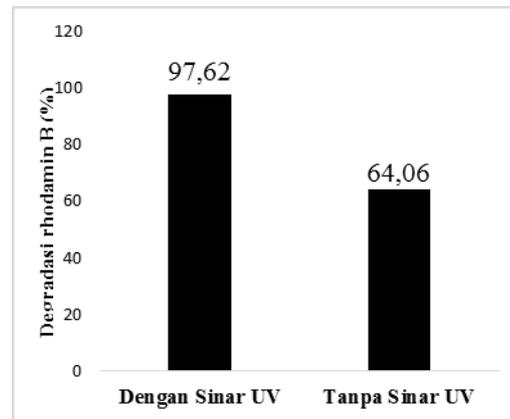
Gambar 4. Hubungan antara pH dengan persentase degradasi

Berdasarkan Gambar 4, diketahui bahwa rhodamin B lebih mudah terdegradasi pada pH asam dari pada pH basa yaitu didapatkan persentase degradasi tertinggi pada pH 4. Hal ini sesuai dengan teori  $pH_{pzc}$  (*point of zero charge*). Nilai  $pH_{pzc}$  adalah nilai pH permukaan suatu oksida tidak bermuatan. Nilai  $pH_{pzc}$  dari TiO<sub>2</sub> adalah sebesar 6,8. Jadi, permukaan titanium pada TiO<sub>2</sub> akan bermuatan positif pada kondisi asam ( $pH < 6,8$ ), sedangkan akan bermuatan negatif pada kondisi basa ( $pH > 6,8$ ) (Fang-bai *et al.*,

2001). Reaksi TiO<sub>2</sub> dalam asam dan basa dapat dituliskan sebagai berikut.



Dalam pelarut air, rhodamin B termasuk dalam zat warna bermuatan negatif. Hal ini menyebabkan rhodamin B tidak efektif terdegradasi dalam pH basa (Sibarani dkk., 2016). Permukaan TiO<sub>2</sub> akan bermuatan positif pada kondisi asam ditandai dengan adanya gugus TiOH<sub>2</sub><sup>+</sup> sehingga semakin banyak rhodamin B yang mampu terserap pada permukaan zeolit-TiO<sub>2</sub> dan bereaksi dengan radikal bebas (Park *et al.*, 2005). Permukaan TiO<sub>2</sub> bermuatan negatif pada kondisi basa dengan adanya gugus TiO<sup>-</sup>, sehingga rhodamin B tidak mudah diserap pada permukaan zeolit-TiO<sub>2</sub> dan sulit didegradasi oleh radikal bebas (Okitsu *et al.*, 2005). Hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chandra (2012), mendapatkan pH tertinggi 4 dengan persentase degradasi 95,32%, hal yang sama juga didapatkan oleh Sibarani (2016) yaitu pH degradasi optimum 4 dengan persentase 95,05%.



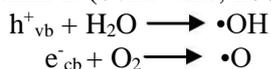
Gambar 5. Persentase degradasi rhodamin B dengan sinar UV dan tanpa sinar UV

Hasil fotodegradasi degradasi zeolit-TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 5, yaitu mendapatkan persen degradasi sebesar 97,62%. Sedangkan hasil persentase degradasi zeolit-TiO<sub>2</sub> tanpa sinar UV adalah sebesar 64,06%. Kemampuan zeolit-TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi zat warna disebabkan oleh kemampuan TiO<sub>2</sub> yang bersifat semikonduktor yang memiliki pita valensi yang berisi elektron dan pita konduksi yang masih kosong. Pada

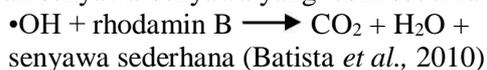
saat fotokatalis tersebut terkena irradiasi sinar UV yang memiliki energi yang sesuai atau bahkan melebihi energi celah pita dari oksida titan tersebut, maka elektron-elektron dalam pita valensi dari fotokatalis tersebut akan tereksitasi ke pita konduksi yang akan menghasilkan elektron ( $e^-_{cb}$ ) dan kekosongan atau *hole* ( $h^+_{vb}$ ) yang berperan sebagai muatan positif (He, *et al.*, 2009).



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 rhodamin B. 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 ( $\bullet\text{OH}$ ) atau superoksida ( $\bullet\text{O}$ ) yang akan mengoksidasi senyawa rhodamin B (Sonawane, 2006).



Radikal-radikal ini akan terbentuk terus-menerus selama zeolit- $\text{TiO}_2$  masih dikenai irradiasi sinar UV dan akan menyerang senyawa rhodamin B yang berada di permukaan komposit sehingga akan mengalami degradasi menghasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan senyawa-senyawa yang lebih sederhana.



Perbedaan persentase degradasi yang dihasilkan antara rhodamin B dengan zeolit- $\text{TiO}_2$  menggunakan sinar UV dan tanpa sinar UV yaitu sebesar 33,56% membuktikan adanya proses degradasi. Hal ini membuktikan bahwa adanya  $\text{TiO}_2$  berpengaruh terhadap proses fotodegradasi, yaitu sebagai fotokatalis yang mengoksidasi zat warna menjadi senyawa yang lebih sederhana (Agusriyanti dan Artsanti, 2015).

### SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa zeolit- $\text{TiO}_2$  100:5 memiliki luas permukaan sebesar 73,913  $\text{m}^2/\text{g}$ , mampu mendegradasi zat warna rhodamin B secara optimum pada menit ke-10, dan pH degradasi tertinggi 4 dengan persentase degradasi tertinggi 97,39%. Memperoleh hasil persentase fotodegradasi murni sebesar 33,73%.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terimakasih kepada ibu Emmy Sahara, ibu Wiwik Susanah Rita, dan ibu Iryanti E. Suprihatin atas saran-saran konstruktifnya.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agusriyanti, S., dan Artsanti, P., 2015, Pemanfaatan Zeolit Alam Ciamis sebagai Pengembangan Fotokatalis  $\text{TiO}_2$  untuk Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B, *J. Sains Dasar*, 4(1), 92-99
- Batista, A. P. L., Carvalho, H. W., Luz, G. H. P., Martins, P. F. Q., Goncalves, M., and Oliviera, L. C. O., 2010, Preparation of  $\text{Cu}/\text{SiO}_2$  and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue, *Journal of Environmental Chemistry*, (8), 63-67
- Chandra, D.A.P., 2012, Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Tekstil Rhodamin B Menggunakan Zeolit Terimpregnasi  $\text{TiO}_2$ , *Skripsi*, Universitas Airlangga, Surabaya
- Fang-bai., L., Guo-bang, G., Yun-Ji, H., and Hong-Fu, W., 2001,  $\text{TiO}_2$  Assisted Photo-Catalys Degradation Process of Dye Chemicals, *Journal of Environmental Sciences*, 13(1), 64-68
- He, Z., Sun, C., Yang, S., Ding, Y., He, H., and Wang, Z, 2009, Photocatalytic Degradation of Rhodamine B by  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  with Electron Accepting Agent Under Microwave Irradiation: Mechanism and Pathway, *Journal of Hazardous Material*, 162, 1477-1486
- Lufaso, M. 2014. *Solid State Chemistry Lecture-Synthesis of solids*, <https://www.unf.edu/~michael.lufaso/c hem4627/indeks.html>, tanggal akses 3 Agustus 2018
- Maria, D.C., Cotto-Maldonado, Teresa, C., Eduardo, E., Arancha, G.M., and Francisco, M., 2013, Photocatalytic Degradation of Rhodamine-B Under UV-Visible Light Irradiation using

- Different Nanostructured Catalysts, *American Science Journal*, 3, 178-202
- Nalwa, H. S., 2001, *Advances in Surface Science*, Vol. 38, Academic Press, Los Angeles, California, USA
- Okitsu, K., Iwasaki, K., Yobiku, Y., Bandow, H., Nishimura, R., and Maeda, Y., 2005, Sonochemical Degradation of Azo Dyes in Aqueous Solution: a New Heterogeneous Kinetics Model Taking into Account the Local Concentration of OH Radicals and Azo Dyes, *Journal Ultrasonic Sonochemistry*, 12(4), 255-262
- Park, H., and Choi, W., 2005, Photocatalytic Reactivities of Nanion-Coated TiO<sub>2</sub> for the Degradation of Organic Compounds under UV or Visible Light, *Journal Phys. Chem. B*, 109(23), 11667-11674
- Sastrawijaya, T., 2000, *Pencemaran Lingkungan*, PT. Rineka Cipta, Jakarta
- Sibarani, J., Purba, D.L., Suprihatin, I.E., dan Manurung, M., 2016, Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan ZnO/UV/Reagen Fenton, *Jurnal Cakra Kimia*, 4(1), 84-94
- Stuart, B., and Ando, D.J., 1999, *Modern Infrared Spectroscopy*, John Wiley & Sons, New York
- Sonawane, R.S., and Dongare, M.K., 2006, Sol-gel Synthesis of Au/TiO<sub>2</sub> Thin Films for Photocatalytic Degradation of Phenol in Sunlight, *Journal of Molecular Catalyst A: Chemical*, 243, 68-76
- Syakri, S., 2017, Analisis Kandungan Rhodamin B Sebagai Pewarna Pada Sediaan Lipstik Impor yang Beredar Di Kota Makasar, *Jurnal Farmasi UIN Alauddin Makasar*, 5(1), 40-45
- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono, E., 2006, Preparasi dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub>-Zeolit serta Pengujiannya pada Degradasi Limbah Industri Tekstil secara Fotokatalitik, *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 231-237
- Wijaya, K., Tahir, I., dan Haryati, N., 2005, Sintesis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Montmorillonit dan Aplikasinya sebagai Fotokatalis untuk Degradasi Zat Pewarna Congo Red, *Indo. J. Chem.*, 5(1), 41-47