

DEGRADASI *METHYL ORANGE* MENGGUNAKAN FOTOKATALIS $\text{TiO}_2\text{-N}$: KAJIAN PENGARUH SINAR DAN KONSENTRASI $\text{TiO}_2\text{-N}$

Risca Fraditasari, Sri Wardhani*, Mohammad Misbah Khunur

*Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran Malang 65145*

*Alamat korespondensi, Tel : +62-341-575838, Fax : +62-341-575835

Email: wardhani@ub.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui degradasi *methyl orange* menggunakan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dengan mempelajari pengaruh sinar UV dan sinar matahari serta variasi konsentrasi $\text{TiO}_2\text{-N}$ yang digunakan. Sintesis fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dilakukan dengan perbandingan mol $\text{TiO}_2\text{:urea}$ 10:0,1 menggunakan metode sonikasi. Karakterisasi fotokatalis dilakukan dengan menggunakan UV-DRS. Untuk mengetahui pengaruh sinar, aktivitas fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ diuji menggunakan 25 mL larutan *methyl orange* 10 mg/L dengan $\text{TiO}_2\text{-N}$ sebesar 3,2 g/L pada kondisi gelap, di bawah sinar UV, dan di bawah sinar matahari. Variasi konsentrasi $\text{TiO}_2\text{-N}$ yang digunakan sebesar 1,6; 3,2; 4,8; 6,4; dan 8,0 g/L pada penyinaran sinar UV maupun sinar matahari selama 3 jam. Konsentrasi larutan *methyl orange* setelah penyinaran ditentukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464,3 nm. Karakterisasi UV-DRS menghasilkan bahwa energi *band gap* dari $\text{TiO}_2\text{-N}$ sebesar 3,34 eV. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa penyinaran dengan sinar matahari menghasilkan degradasi lebih besar daripada sinar UV. Berdasarkan hasil uji statistika, konsentrasi $\text{TiO}_2\text{-N}$ yang paling optimum untuk degradasi *methyl orange* adalah sebesar 3,2 g/L dengan persen degradasi sebesar 93,93%.

Kata kunci : degradasi, fotokatalis, *methyl orange*, sinar matahari, $\text{TiO}_2\text{-N}$

ABSTRACT

This research aims to determine the degradation of methyl orange using $\text{TiO}_2\text{-N}$ photocatalyst by studying the effect of UV light and solar light irradiation and the variations of $\text{TiO}_2\text{-N}$ concentration. $\text{TiO}_2\text{-N}$ photocatalyst was synthesized by sonication method with a mol ratio of $\text{TiO}_2\text{:urea}$ is 10:0,1. Characterization of photocatalyst was investigated using UV-DRS. To determine the effect of light irradiation, activity of $\text{TiO}_2\text{-N}$ photocatalyst was tested on 25 mL of methyl orange at concentration 10 mg/L through 3,2 g/L $\text{TiO}_2\text{-N}$, that was done without light, under the UV light, and solar light irradiation. Variations of $\text{TiO}_2\text{-N}$ concentration are 1,6; 3,2; 4,8; 6,4; and 8 g/L using UV light and solar light irradiation for 3 hours. The concentration of methyl orange which had been exposed was measured using UV-Vis spectrophotometer at 464,3 nm. UV-DRS results the band gap energy of $\text{TiO}_2\text{-N}$ is 3,34 eV. This research concluded that solar light irradiation obtained higher degradation of methyl orange than UV light irradiation. Based on statistical test, the most optimum concentration of $\text{TiO}_2\text{-N}$ for methyl orange degradation is 3,2 g/L $\text{TiO}_2\text{-N}$ which gave 93,93% of percent degradation.

Keywords : degradation, methyl orange, photocatalyst, solar light, $\text{TiO}_2\text{-N}$

PENDAHULUAN

Methyl orange merupakan salah satu zat warna azo yang sering digunakan dalam industri tekstil. Senyawa azo bersifat karsinogenik dan sulit didegradasi, sehingga apabila dibuang ke sistem perairan akan merusak ekosistem di dalamnya [1].

Alternatif pengolahan limbah organik zat warna dengan memanfaatkan titanium dioksida melalui proses fotooksidasi dapat mengubah zat warna menjadi senyawa yang tidak

berbahaya seperti karbondioksida dan air [2]. Fotokatalis yang banyak digunakan adalah TiO_2 , karena merupakan bahan semikonduktor dengan aktivitas fotokatalis yang tinggi, tidak berbahaya, dan stabil secara kimia [3]. Fotokatalis TiO_2 memiliki *band gap* sebesar 3,2 eV yang dapat aktif di bawah radiasi sinar UV. Namun penggunaan sinar UV sebagai sumber radiasi tidak hanya berbahaya, tetapi juga membutuhkan biaya yang tinggi. Maka dari itu dilakukan beberapa penelitian untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 di bawah sinar matahari dengan menambahkan suatu *dopan* [4].

Unsur nitrogen merupakan *dopan* yang paling efektif pada fotokatalis TiO_2 karena memiliki energi ionisasi yang kecil, ukuran yang tidak jauh berbeda dengan oksigen, dan dapat mempersempit energi celah [5]. *Dopan* nitrogen diperoleh dari urea karena memiliki kandungan nitrogen yang cukup tinggi, mudah didapat, dan harganya relatif murah [3].

Menurut Diker, dkk [6], jumlah fotokatalis yang digunakan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fotodegradasi senyawa organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan $\text{TiO}_2\text{-N}$ dalam mendegradasi zat warna *methyl orange*, dengan mempelajari pengaruh sinar dan variasi konsentrasi $\text{TiO}_2\text{-N}$ yang digunakan.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah TiO_2 (*pharmacy grade*), urea p.a, akuademineralisasi (akua DM), akuades, serta zat warna *methyl orange* (*Sigma-Aldrich*). Sedangkan peralatan yang digunakan adalah seperangkat alat gelas, cawan porselain, mortar dan penggerus porselain, oven *Fischer Scientific Isotemp 655 F*, desikator, tanur *Furnace 1000*, neraca analitik *Mettler PE 300*, sonikator *Branson 2210*, spektrofotometer UV-Vis *Genesis 10s*, instrumen *Diffuse Reflectance Spectroscopy* (DRS) UV 1700, reaktor terbuat dari kayu berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm yang di dalamnya dilapisi dengan *aluminium foil*, dan lampu UV *Sankyo* 10 watt ($\lambda=352$ nm).

Sintesis Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$

Sintesis fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dibuat dengan perbandingan mol TiO_2 :urea 10:0,1 yaitu dengan mencampurkan 2,4 g TiO_2 dan 0,18 g urea. Campuran tersebut disuspensikan dengan menambahkan 5 mL akua DM dan dimasukkan dalam sonikator selama 30 menit. Suspensi kemudian diuapkan di atas hot plate selama 30 menit, lalu dikeringkan dalam oven pada temperatur 110 °C. Setelah kering, komposit $\text{TiO}_2\text{-N}$ dikalsinasi pada temperatur 500 °C

selama dua jam. Hasil kalsinasi dihaluskan menggunakan mortar dan penggerus porselain hingga berbentuk serbuk.

Pengaruh Sinar pada Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$

Tiga buah gelas kimia 100 mL diisi dengan 25 mL larutan *methyl orange* 10 mg/L dan ditambah fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dengan konsentrasi 3,2 g/L. Gelas pertama diletakkan pada kondisi gelap, gelas kedua diletakkan di bawah sinar UV, dan gelas ketiga di bawah sinar matahari. Setiap kondisi dilakukan selama 3 jam. Proses fotodegradasi dilakukan secara triplo. Konsentrasi larutan *methyl orange* diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464,3 nm.

Pengaruh Konsentrasi Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ terhadap Degradasi *Methyl Orange*

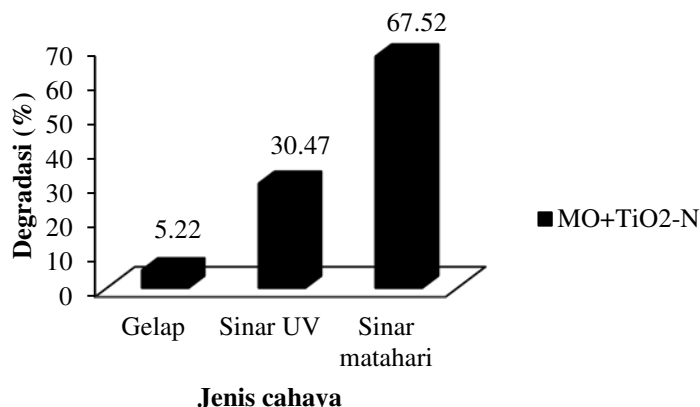
Lima buah gelas kimia 100 mL diisi dengan 25 mL larutan *methyl orange* 10 mg/L. Pada masing-masing gelas kimia tersebut ditambahkan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ sebanyak 1,6; 3,2; 4,8; 6,4; dan 8,0 g/L. Kelima gelas kimia tersebut disinari menggunakan sinar UV dan sinar matahari selama 3 jam. Uji ini dilakukan secara triplo. Konsentrasi larutan *methyl orange* diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 464,3 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis $\text{TiO}_2\text{-N}$

Fotokatalis TiO_2 murni dan $\text{TiO}_2\text{-N}$ hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis DR untuk mengetahui pengaruh *dopan N* terhadap TiO_2 . Dari hasil karakterisasi diketahui energi *band gap* TiO_2 sebesar 3,35 eV, sedangkan pada $\text{TiO}_2\text{-N}$ sebesar 3,34 eV. Selisih energi *band gap* pada $\text{TiO}_2\text{-N}$ sebesar 0,01 eV ini diperoleh dari perubahan energi pada pita valensi ke pita konduksi karena adanya N_{2p} diantara pita valensi dan pita konduksi TiO_2 [7], sehingga jarak untuk terjadinya eksitasi elektron menuju pita konduksi semakin sempit [3]. Tingkat energi baru dari N ini mengakibatkan terjadinya pergeseran panjang gelombang tepi menuju daerah sinar tampak atau pergeseran *red shift*, sehingga fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ memiliki aktivitas fotokatalitik yang lebih tinggi di daerah sinar tampak dibandingkan dengan fotokatalis TiO_2 murni. Hasil karakterisasi ini sesuai dengan beberapa penelitian mengenai $\text{TiO}_2\text{-N}$ [6, 8, 9]. Namun penurunan energi *band gap* dari $\text{TiO}_2\text{-N}$ hasil sintesis tidak terlalu signifikan, sehingga fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ masih memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi di daerah sinar UV.

Pengaruh Sinar terhadap Degradasi Zat Warna *Methyl Orange* Menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$

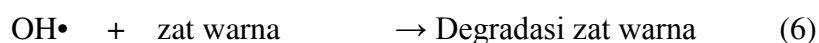
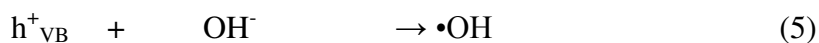
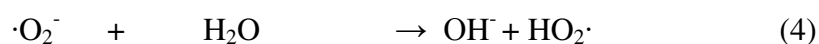
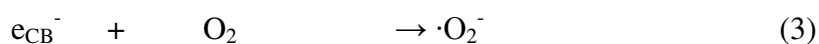
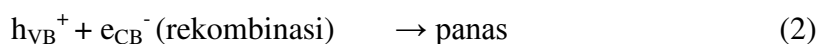
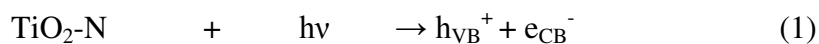


Gambar 1. Diagram hubungan antara variasi kondisi penyinaran terhadap degradasi larutan *methyl orange*.

Berdasarkan Gambar 1. menunjukkan bahwa degradasi yang dihasilkan kondisi gelap oleh larutan *methyl orange* relatif kecil, yakni sebesar 5,22%. Hal ini dikarenakan pada kondisi gelap tidak terdapat energi foton yang dapat mengaktifkan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ sehingga tidak terbentuk $\cdot\text{OH}$ untuk proses fotodegradasi senyawa *methyl orange*. Pada kondisi gelap ini hanya terjadi proses adsorpsi oleh partikel $\text{TiO}_2\text{-N}$ [8]. Peningkatan persen degradasi pada kondisi sinar UV dikarenakan adanya energi foton dari sinar UV yang menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi pada fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ untuk menghasilkan $\cdot\text{OH}$. Kondisi penyinaran sinar matahari menghasilkan persen degradasi yang paling besar, yakni sebesar 67,52%. Hal ini dikarenakan intensitas sinar matahari jauh lebih besar daripada intensitas sinar UV pada reaktor [10]. Selain itu, sinar matahari mengandung lebih dari satu panjang gelombang, yaitu sekitar 40% sinar tampak dan 3% sinar UV [11], sehingga energi foton dari sinar matahari lebih besar daripada sinar UV. Banyaknya energi foton yang mengenai sisi aktif fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ akan meningkatkan pembentukan $\cdot\text{OH}$ untuk fotodegradasi senyawa *methyl orange*.

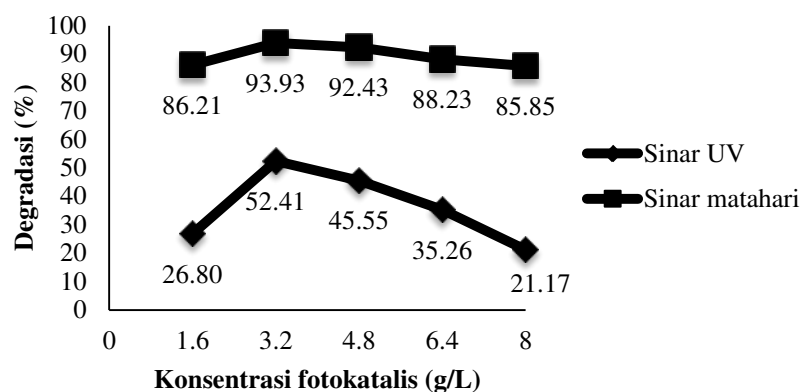
Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ memiliki kemampuan mendegradasi *methyl orange* lebih besar pada kondisi penyinaran sinar matahari daripada sinar UV. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil karakterisasi UV-DRS, fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ telah mengalami penurunan energi *band gap* sebesar 0,01 eV yang menyebabkan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dapat aktif di bawah radiasi sinar tampak.

Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ yang dikenai energi foton akan mengalami eksitasi elektron sehingga membentuk pasangan elektron dan *hole*. Elektron bereaksi dengan molekul O_2 pada permukaan TiO_2 untuk membentuk anion radikal superoksida ($\cdot\text{O}_2^-$). Anion tersebut akan bereaksi dengan molekul air (H_2O) yang teradsorpsi untuk menghasilkan ion hidroksida (OH^-). Ion hidroksida (OH^-) ini akan bereaksi dengan *hole* membentuk $\cdot\text{OH}$ yang merupakan agen pengoksidasi kuat [7]. $\cdot\text{OH}$ akan mendegradasi senyawa *methyl orange* [7, 12].



Pengaruh Konsentrasi Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ terhadap Degradasi *Methyl Orange*

Berdasarkan Gambar 2. menunjukkan bahwa pada kondisi penyinaran sinar UV maupun sinar matahari persen degradasi *methyl orange* meningkat dengan penambahan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dengan konsentrasi dari 1,6 hingga 3,2 g/L, namun menurun dari 3,2 hingga 8,0 g/L. Peningkatan persen degradasi ini disebabkan karena dengan bertambahnya jumlah fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ di dalam larutan *methyl orange*, maka jumlah sisi aktif fotokatalis akan meningkat, sehingga energi foton yang terserap oleh fotokatalis semakin banyak, dan meningkatkan terbentuknya $\cdot\text{OH}$ untuk proses fotodegradasi senyawa *methyl orange* [4, 13]. Sedangkan penurunan persen degradasi *methyl orange* disebabkan oleh terbentuknya agregat pada fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ yang terlalu banyak, sehingga menutupi sisi aktif pada permukaan fotokatalis untuk absorpsi sinar [4]. Selain itu, penurunan persen degradasi juga disebabkan oleh meningkatnya turbiditas larutan akibat terhamburnya fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ di dalam larutan *methyl orange*, sehingga mengurangi kuantitas sinar yang dapat diserap oleh permukaan fotokatalis [14]. Berkurangnya kuantitas sinar yang mengenai sisi aktif fotokatalis ini menyebabkan sedikitnya $\cdot\text{OH}$ yang terbentuk, sehingga kemampuan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dalam mendegradasi senyawa *methyl orange* menjadi berkurang. Berdasarkan perhitungan statistika, konsentrasi optimum dari fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ untuk degradasi larutan *methyl orange* pada kondisi penyinaran sinar UV maupun sinar matahari sebesar 3,2 g/L.



Gambar 2. Kurva hubungan antara konsentrasi fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ terhadap persen degradasi larutan *methyl orange*.

KESIMPULAN

Sintesis $\text{TiO}_2\text{-N}$ dapat dilakukan dengan mencampurkan TiO_2 dan urea dengan perbandingan mol 10:0,1 menggunakan metode sonikasi. Hasil karakterisasi UV-DRS pada $\text{TiO}_2\text{-N}$ hasil sintesis menunjukkan adanya penurunan energi *band gap* sebesar 0,1 eV dari TiO_2 murni. Degradasi *methyl orange* menggunakan fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-N}$ di bawah sinar matahari menghasilkan persen degradasi yang lebih besar dibandingkan dengan sinar UV. Konsentrasi optimum $\text{TiO}_2\text{-N}$ untuk degradasi *methyl orange* pada sinar UV maupun sinar matahari adalah 3,2 g/L.

DAFTAR PUSTAKA

1. Widjajanti, E., Tutik, R., dan Utomo, M. P., 2011, Pola Adsorpsi Zeolit terhadap Pewarna Azometil Merah dan Metil Jingga, *Pendidikan dan Penerapan MIPA*, Yogyakarta
2. Riyani, K. dan Setyaningtyas, T., 2011, Pengaruh Karbon Aktif terhadap Aktivitas Fotodegradasi Zat Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Fotokatalis TiO_2 , *Molekul*, Vol.6, No. 2, pp. 113-122.
3. Riyani, K., Setyaningtyas, T., dan Dwiasih, D.W., 2012, Pengolahan Limbah Cair Batik menggunakan Fotokatalis $\text{TiO}_2\text{-Dopan-N}$ dengan Bantuan Sinar Matahari, *Valensi*, Vol. 2 No. 5, pp. 581-587.
4. Kavitha, S. K., dan Palanisamy, P. N., 2010, Solar Photocatalytic Degradation of *Vat Yellow 4* Dye in Aqueous Suspension of TiO_2 - Optimization of Operational Parameters. *Advances in Environmental Sciences-International Journal of The Bioflux Society*, Vol. 2, No. 2, pp. 189-202.

5. Effendi M. dan Bilalodin, 2012, Analisis Sifat Optik Lapisan Tipis TiO₂ Doping Nitrogen yang Disiapkan dengan Metode Spin Coating, *Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, Purworejo
6. Diker, H., Varlikli, C., Mizrak, K., dan Dana, A., 2011, Characterizations and Photocatalytic Activity Comparisons of N-doped nc-TiO₂ Depending on Synthetic Conditions and Structural Differences of Amine Sources. *Energy* , pp. 1243-1254.
7. Cheng, X., Yu, X., dan Xing, Z., 2012, Characterization and Mechanism Analysis of N doped TiO₂ with Visible Light Response and Its Enhanced Visible Activity, *Applied Surface Science* , pp. 3244-3248.
8. Gurkan, Y. Y., Turkten, N., Hatipoglu, A., dan Cinar, Z., 2012, Photocatalytic Degradation of Cefazolin over N-doped TiO₂ under UV and Sunlight Irradiation: Prediction of The Reaction Paths via Conceptual DFT, *Chemical Engineering Journal* , pp. 113-124.
9. Parida, K. M., Pany, S., dan Naik, B., 2013, Green Synthesis of Fibrous Hierarchical Meso-Macroporous N doped TiO₂ Nanophotocatalyst with Enhanced Photocatalytic H₂ Production, *International Journal of Hydrogen Energy* , 38, pp. 3545-3553.
10. Chatti, R., Rayalu, S. S., Dubey, N., Labhsetwar, N., dan Devotta, S., 2007, Solar-based Photoreduction of Methyl Orange using Zeolite Supported Photocatalytic Materials, *Solar Energy Materials & Solar Cells* , pp. 180-190.
11. Charanpahari, A., Umare, S. S., Gokhale, S. P., Sudarsan, V., Sreedhar, B., dan Sasikala, R., 2012, Enhanced Photocatalytic Activity of Multi-doped TiO₂ for the Degradation of Methyl Orange, *Applied Catalysis A: General*, pp. 96-102.
12. Gokakakar, S. D. dan Salker, A. V., 2009, Solar Assisted Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Over Synthesized Copper, Silver, and Tin Metalloporphyrins, *Indian Journal of Chemical Technology* , 16, pp. 492-498.
13. Shrivastava, V. S., 2012, Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye and Chromium Metal From Wastewater Using Nanocrystalline TiO₂ Semiconductor, *Archives of Applied Science Research* , 4, pp. 1244-1254.
14. Kadam, A. N., Dhabbe, R. S., Kokate, M. R., Gaikwad, Y. B., dan Garadkar, K.M., 2014, Preparation of N doped TiO₂ via Microwave-Assisted Method and Its Photocatalytic Activity for Degradation of Malathion, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*.