

Mini Review: Sintesis Dan Karakterisasi Komposit TiO₂-Montmorillonit, Sebagai Fotokatalis Dalam Degradasi Zat Warna Metil Blue

Muhammad Nur Alam^{1*}, Muhammad Syahrir², Subakir Salnus³, Rini Perdana⁴,
Fibri Indira Lisanty⁵

^{1,2,3,4} Program Studi Kimia/Universitas Negeri Makassar, Makassar

⁵ Program Studi Kebidanan/Institut Ilmu Kesehatan Pelamonia, Makassar

* Corresponding Author: m.nur.alam@unm.ac.id

Abstract

TiO₂-Montmorillonite (Ti-MMT) composites have been synthesized with the aim of improving the photocatalytic ability of TiO₂ to degrade blue metal. TiO₂-MMT composites were characterized by FT-IR, XRD and SAA. Titanium dioxide is one of the important materials that has been widely studied by experts. TiO₂ has unique electronic and optical properties, so it can be used as a catalyst and in various other applications. This compound has been synthesized using various synthesis methods. This article aims to summarize various methods of TiO₂ synthesis, morphology, and crystallization of TiO₂ with nanostructures. The research was conducted through literature studies or literature reviews. The results of the review show that TiO₂ can be synthesized through various methods, including hydrothermal, solvothermal, sol-gel, direct oxidation, chemical vapor deposition, electrodeposition, sonochemistry, and microwave-based methods. The most common crystal phase found is the anatase phase.

Keywords: TiO₂-Montmorillonite, Synthesis Method, Morphology, Crystallization

Abstrak

Komposit TiO₂-Montmorillonit (Ti-MMT) telah disintesis dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan fotokatalis TiO₂ mendegradasi metal biru. Komposit TiO₂-MMT dikarakterisasi dengan FT-IR, XRD dan SAA. Titanium dioksida merupakan salah satu material penting yang telah banyak diteliti oleh para ahli. TiO₂ memiliki sifat elektronik dan optik yang unik, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai katalis serta dalam berbagai aplikasi lainnya. Senyawa ini telah disintesis menggunakan berbagai metode sintesis. Artikel ini bertujuan untuk merangkum beragam metode sintesis TiO₂, morfologi, dan kristalisasi TiO₂ dengan struktur nano. Penelitian dilakukan melalui studi literatur atau kajian pustaka. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa TiO₂ dapat disintesis melalui berbagai metode, termasuk hidrotermal, solvothermal, sol-gel, oksidasi langsung, deposisi uap kimia, elektrodeposisi, sonokimia, dan metode berbasis gelombang mikro. Fase kristal yang paling umum ditemukan adalah fase anatase.

Kata kunci: TiO₂-Montmorillonit, Metode sintesis, Morfologi, Kristalisasi

PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang limbah cair di lingkungan. Limbah industri mengandung bahan organik yang sulit untuk terurai, sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan perairan. Limbah industri tekstil mengandung polutan seperti kadmium (Cd), serta bahan-bahan pencemar kompleks yang memiliki intensitas warna yang tinggi. Polutan dapat mengalami dekomposisi oleh cahaya matahari secara alami, namun reaksi ini berlangsung lama. Limbah industri tekstil mengandung Cd yang dapat mengakibatkan penyakit berbahaya seperti paru-paru, liver, hipertensi, dan gangguan ginjal. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kadar zat warna diantaranya fotodegradasi, elektrokatalitik, koagulasi, adsorpsi dan fotokatalisis. Metode fotokatalisis membutuhkan suatu material padatan solid semikonduktor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Beberapa material fotokatalis yang dapat digunakan pada metode fotokatalisis adalah TiO₂, BiVO₄, dan CeO. TiO₂ merupakan material fotokatalis yang paling efisien bila dibandingkan

dengan material fotokatalis yang lain, hal ini disebabkan karena stabil, memiliki aktifitas fotokatalisis tinggi, ekonomis, dan nontoxic (Zuhaela et al., n.d.).

Sebagian besar industri tekstil menggunakan zat pewarna sintesis yang sukar terdegradasi pada hasil akhir produksi. Sehingga limbah yang dihasilkan butuh penanganan lanjutan. Zat pewarna sintesis yang sering digunakan pada industri tekstil ialah metilen biru, pewarna ini merupakan bahan pewarna dasar yang sangat melimpah dan relatif murah dibandingkan dengan pewarna lainnya. Metilen biru sering digunakan oleh industri dalam proses pewarnaan seperti pewarnaan kulit, kain mori, kain katun dan pewarna kapas. Padahal, metilen biru menimbulkan permasalahan pencemaran lingkungan terutama pada daerah perairan (Yulinda et al., 2020).

Metode degradasi telah banyak diupayakan untuk mengurangi senyawa methylene blue di perairan. Fotodegradasi adalah satu diantara upaya yang dilakukan. Metode ini memanfaatkan material fotokatalis sebagai reduktor dengan aktivasi oleh foton (Asri et al., 2022) (Ningsih, 2014). Material fotokatalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ adalah senyawa fotokatalis yang memiliki bandgap di sekitar 3,2 eV dan merupakan material yang baik dalam aktivitas fotokatalis karena memiliki luas permukaan yang besar dan stabilitas kimia yang baik (Asri et al., 2022). Kandungan utama dari bentonit adalah montmorillonit. Adanya rongga pada montmorillonit mempengaruhi kemampuannya dalam mengadsorpsi pewarna seperti metilen biru (MB), yang dapat diatur dengan memvariasikan suhu reaksi mendatang (Zhang et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Pada mini review ini dilakukan pencarian artikel yang relevan berbasis elektronik yaitu Google Scholar. kriteria artikel yang memenuhi syarat adalah artikel penelitian yang membahas tentang sintesis dan karakteristik komposit TiO₂-Montmorillonit, sebagai fotokatalis dalam degradasi zat warna Methyl Blue. Pencarian artikel menghasilkan 20 artikel yang sesuai dengan topik yang akan di-review.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Metode Sintesis dan Optimalisasi Kondisi

Sintesis TiO₂ dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya metode hidrotermal, metode sol-gel, metode sovotermal, metode direct oxidation dan elektrodeposisi. Metode hidrotermal adalah salah satu metode sintesis kristal dengan reaksi kimia heterogen yang melibatkan pelarut air pada suhu di atas 25°C dengan tekanan besar dari 1 atm pada sistem tertutup (Enriyani, 2022). Metode sol gel terjadi proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel) (Maharani & Nurzulla, 2022).

Metode solvotermal memiliki kontrol yang lebih baik dibandingkan dengan metode hidrotermal dalam hal distribusi ukuran dan bentuk serta kristalinitas partikel nano TiO₂. Metode solvotermal merupakan metode yang banyak digunakan untuk sintesis berbagai partikel nano dengan distribusi dan dispersi ukuran sempit (Karlina et al., 2023).

Tabel 1. Kondisi Optimum Sintesis

Kondisi optimum	Hasil	Ref.
Komposisi TiO ₂ 0,015 mol/g bentonit, waktu penyinaran 100 menit, dan pH 7	1. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan munculnya vibrasi Ti-O-Ti pada gelombang 623,25 cm ⁻¹ dan 708,83 cm ⁻¹	(Zuhaela et al., n.d.)

	2. Karakterisasi XRD menunjukkan TiO ₂ memiliki 2 fasa yaitu rutil dan anatase dengan komposisi masing-masing 64,8% dan 35,2%.	
waktu degradasi 45 menit, pH larutan 6, variasi doping TiO ₂ sebesar 5%	1. Struktur kristal katalis ZnO-TiO ₂ optimum adalah wurtzite (anatas) dengan ukuran partikel 42,65-107,60 nm. 2. Nilai band gap katalis ZnO-TiO ₂ optimum adalah 3,18 eV 3. Pita serapan ikatan Zn-O-Ti pada katalis ZnO-TiO ₂ optimum terdeteksi pada bilangan gelombang 745,70 cm ⁻¹ .	(Yulinda et al., 2020)
Konsentrasi TiO ₂ 10 mmol/g zeolit, pemakaian kembali fotokatalis hingga empat kali, dan waktu penyinaran methylene blue selama 50 menit menggunakan sinar UV	1. Nilai tertinggi konstanta laju degradasi yang dicapai adalah 0,019 menit ⁻¹ pada konsentrasi 10 mmol/g zeolite 2. Degradasi methylene blue mencapai 61,94% menggunakan TiO ₂ , sedangkan dengan TiO ₂ -zeolit, penurunan konsentrasi mencapai 80,23%.	(Asri et al., 2022)
Waktu penyinaran UV selama 330 menit, massa komposit TiO ₂ - Montmorillonit sebesar 200 mg, dan luas permukaan spesifik komposit 57,286 m ² /g	1. Dengan penyinaran UV selama 330 menit, komposit TiO ₂ -montmorillonit mencapai tingkat degradasi sebesar 81,4%. Tanpa penyinaran UV, tingkat degradasi hanya mencapai 33,25%. 2. Hasil maksimum degradasi sebesar 89,3% pada massa optimum 200 mg.	(Zhang et al., 2022)
fotokatalis TiO ₂ - N/Zeolit dengan energi celah pita 3,33 eV dan ukuran partikel rata-rata 4,96 μm	1. Karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan terbentuknya ikatan Ti-N pada fotokatalis TiO ₂ -N/Zeolit dengan serapan gelombang 505,31- 680,83 cm	(Enriyani, 2022)

	2. Pengukuran energi celah pita menggunakan UV-Vis DR menunjukkan penurunan energi celah pita pada TiO ₂ -N menjadi 3,34 eV dan TiO ₂ -N/Zeolit menjadi 3,33 eV dibandingkan TiO ₂ semula yaitu 3,35 eV	
	3. Uji aktivitas menunjukkan penurunan konsentrasi metilen biru tertinggi dicapai dengan sinar matahari yaitu 87,12% menggunakan fotokatalis TiO ₂ -N/Zeolit	
1. Variabel terikat: Persentase degradasi zat warna (metil jingga dan metil biru)	1. Pada penelitian ini, UVA/TiO ₂ dan UVC/TiO ₂ memberikan degradasi metil jingga (MJ) yang lebih tinggi daripada UVA atau UVC 65,55% dan 58,49%.	(Karlina et al., 2023)
2. Variabel bebas: a. Jenis cahaya (UVA, UVC)	2. pH 7 memberikan degradasi MJ tertinggi sebesar 65,55%.	
b. Penambahan TiO ₂ sebagai fotokatalis	3. Konsentrasi MJ 5 ppm menghasilkan degradasi tertinggi (65,55%) dibandingkan dengan 10 ppm (37,08%) dan 15 ppm (27,33%).	
c. Variasi pH larutan	4. Dosis TiO ₂ sebesar 0,5 gram mencapai degradasi metilen biru (MB) tertinggi yaitu 53,36% pada konsentrasi 5 ppm (53,36%).	
d. Variasi konsentrasi zat warna (metil jingga		

Aplikasi Fotokatalis Nanopartikel TiO₂

Proses fotokatalisis dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mengandung zat organik. Beragam polutan dapat mencemari lingkungan air dan menimbulkan pencemaran. Berbagai jenis pewarna dan zat berbahaya lainnya memiliki kelarutan rendah dan stabilitas tinggi, sehingga dapat membahayakan kehidupan akuatik (Zuhaela et al., n.d.). Baru-baru ini, nanopartikel yang disintesis dengan kemampuan katalitik tinggi dan struktur yang terorganisir telah ditemukan. Nanopartikel ini memiliki luas permukaan yang besar, menjadikannya katalis heterogen yang efektif. Katalis berbasis nanopartikel juga memiliki keunggulan karena dapat dengan mudah dipulihkan dan didaur ulang setelah proses reaksi. Berkat stabilitasnya yang tinggi, toksisitas rendah, serta sifat optiknya, nanopartikel TiO₂ sering digunakan dalam aplikasi katalisis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel TiO₂ yang disintesis secara ramah lingkungan dapat digunakan untuk fotokatalisis, mengurangi pewarna dan senyawa berbahaya seperti logam timbal (Pb), Rhodamine B, Coralline red, metilen biru, metilen oren, dan asam pikrat (Karlina et al., 2023).

Fotodegradasi adalah suatu fenomena di mana senyawa organik mengalami pemecahan menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana akibat paparan sinar. Proses ini dimungkinkan berkat adanya zat perantara yang disebut fotokatalis, umumnya berupa bahan semikonduktor (Dina & Maharani, 2020). Untuk berlangsungnya reaksi fotodegradasi, diperlukan empat unsur utama: senyawa organik sebagai target pemecahan, fotokatalis sebagai pemicu reaksi, cahaya sebagai sumber energi, dan oksigen sebagai salah satu reaktan yang berperan penting dalam proses oksidasi (Sari et al., 2021). Montmorillonit dapat mengembang (swelling) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan (exchangeable cations) serta dapat diinterkalasi (intercalated) (Nurillahi et al., 2020). Sehingga untuk memperoleh montmorillonit dengan kadar yang tinggi perlu digunakan suatu metode, yakni metode sedimentasi dan teknik siphoning (Wardhani et al., 2014).

Teknik Siphoning adalah suatu metode fraksinasi yang didasarkan pada perbedaan berat jenis dari material-material yang terdapat dalam bentonit dan bertujuan untuk menghilangkan mineral pengotor seperti kuarsa dan feldspar (Zhang et al., 2022). Montmorillonit yang dimodifikasi dengan biasanya menunjukkan adanya kompleksitas struktur dan heterogenitas permukaan yang terjadi akibat distribusi densitas muatan dari TiO₂ dan deformasi lapisan-lapisan montmorillonit. Selain itu struktur dari komposit Montmorillonit-TiO₂ juga dipengaruhi oleh metode preparasi, proses modifikasi hingga metode pengeringan (drying) (Sanjaya, 2018).

PENUTUP

Metode sintesis nanopartikel TiO₂ yang dapat digunakan dalam menghasilkan nanopartikel TiO₂ yaitu metode hidrotermal menghasilkan fasa anatase dengan diameter rata-rata 3-4 nm, solvothermal menghasilkan fasa anatase dengan ukuran 10-15 nm, metode sol-gel menghasilkan fasa anatase dengan rentang lebar 30-50 nm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh banyak peneliti, dapat disimpulkan bahwa sintesis komposit Montmorillonit-TiO₂ dilakukan dengan metode sonokimia, sol-gel, hidrotermal yang menghasilkan komposit dengan ciri-ciri: Jarak antar lapis montmorillonit mengalami peningkatan akibat adanya TiO₂, interaksi antara montmorillonit dan TiO₂ dalam komposit adalah interaksi fisik, luas permukaan komposit menurun, tetapi volume total pori dan jejari pori komposit mengalami peningkatan (Adnan & Faradilla, 2024). Metode oksidasi langsung menghasilkan campuran fasa anatase dan rutil, deposisi uap kimia dengan fasa anatase murni, elektrodposisi juga fasa anatase murni, sonokimia menghasilkan fasa rutil dan terakhir metode gelombang mikro dengan fasa anatase. Pada semua metode sintesis banyak yang menghasilkan struktur Kristal dengan fasa anatase (Okto, n.d.). Umumnya, fasa anatase lebih stabil dari pada fasa rutil dengan ukuran partikel di bawah 14 nm. Dengan demikian, TiO₂ membuka peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut, khususnya terkait aplikasi berkaitan dengan sifat optik. Kemajuan berkelanjutan dalam sintesis dan modifikasi TiO₂ berstrukturnano telah membawa sifat baru dan aplikasi baru dengan peningkatan kinerja (Bayuningrum, 2021)

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh mahasiswa Kimia program Mata Kuliah Tata Tulis Kimia yang telah berkontribusi dalam penyusunan artikel review ini. Terima kasih kepada Ketua Program Studi Kimia atas dukungannya dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adnan, F., & Faradilla, R. (2024). Degradasi Pewarna Sintesis Menggunakan Fotokatalis Berbasis TiO₂ Degradation Of Synthetic Dye Using TiO₂-Based Photocatalyst. *J. Chemurg*, 7(2), 70-79,.

-
- Asri, A., Arief, I. L., Hasanuddin, H., Faryuni, I. D., Nurhanisa, M., & Hidayat, W. (2022). Uji Kinerja polipropilena Berfotokatalis Semikonduktor Tio₂ Pada Fotodegradasi Methylene Blue. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika Fmipa Universitas Lambung Mangkurat*, 19(2), 182. <https://doi.org/10.20527/Flux.V19i2.11845>.
- Bayuningrum, W. A. (2021). *Curiosity Dalam Kehidupan Sehari-Hari*. 1(1), 32–36. <https://doi.org/10.22219/Pjsp.V1i1.15706>
- Dina, Q. A. 'Yun D., & Maharani, K. (2020). *Sintesis Dan Karakterisasi Tio₂ Untuk Aplikasi Sifat Hidrofobik Pada Kaca Synthesis And Characterization Of Tio₂ For Applications Of Hydrophobic Properties In Glass*.
- Enriyani, R. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi Titanium Oksida Dalam Cairan Ion 1-Butil- 3-Metil Imidazolium Klorida Dengan Metode Hidrotermal. *Jurnal Kartika Kimia*, 5(1). <https://doi.org/10.26874/Jkk.V5i1.111>.
- Karlina L., Sanjaya H., & Budiman S. (2023). Metode Sintesis Nanopartikel-Tio₂: A Review. *Masaliq*, 3(6), 1199-1214. <https://doi.org/10.58578/Masaliq.V3i6.1756>.
- Maharani, D., & Nurzulla, W. (2022). Sifat Mekanik Film Kitosan/Pva Dengan Zeolit Tersubstitusi Perak Sebagai Kemasan Aktif. *Unesa Journal Of Chemistry*, 11(1), 61–68. <https://doi.org/10.26740/Ujc.V11n1.P61-68>
- Nurillahi, R., Fatimah, I., Halimah, D. N., Apriliani, G. D., Dan, S. K. M., Nasional, S., Dan, K., & Kimia, P. (2020). Sintesis Tio₂/Abu Vulkanik Sebagai Fotokatalis Untuk Pengolahan Limbah Cair Batik Pada Skala Rumah Tangga. *Indones. J. Chem. Res*, 5(1), 33-41. <https://doi.org/10.20885/Ijcr.Vol5.Iss1.Art5>.
- Okto, H. S. (N.D.). *Review: Green Synthesis Nanopartikel Tio₂ Sebagai Material Fotokatalis*.
- Sanjaya, H. (2018). Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis Zno-Tio₂ Secara Fotosonolisis. *Eksakta Berk. Ilm. Bid. Mipa*, 19(1), 91-99. <https://doi.org/10.24036/Eksakta/Vol19-Iss1/131>.
- Sari, A. R., Wardhani, S., & Mutrofin, S. (2021). *The Indonesian Green Technology Journal Sintesis Granul Tio₂-Bentonit/Alginat Untuk Fotodegradasi Metilen Biru (Pp. 50-57)*. <https://doi.org/10.21776/Ub.lgtj.2021.009.01.03>.
- Wardhani, S., Damayanti, C. A., & Purwonugroho, D. (2014). Pengaruh Konsentrasi Tio₂ Dalam Zeolit Terhadap Degradasi Methylene Blue Secara Fotokatalitik. *Kim. Student J*, 1(1), 8-14.
- Yulinda, E., Nabela, D. Q., Lettu, J., No, S., Bojonegoro, K., & Timur, J. (2020). Pengaruh Penambahan Ion Nitrat (No₃-) Terhadap Kinetika Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Zeolit-Tio₂. *Inovasi Teknik Kimia*, 5(2), 59-67.
- Zhang, Y., Miao, B., Chen, Q., Bai, Z., Cao, Y., & Davaa, B. (2022). Synthesis, Structure, And Photocatalytic Activity Of Tio₂- Montmorillonite Composites. *Catalysts*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/Catal12050486>.
- Zuhaela, I. A., Cahyani, M. R., Nuzula, R. A., & Saraswati, T. E. (N.D.). *Pengembangan Lapis Tipis Tio₂ Termodifikasi Karbon Sebagai Fotokatalis Dalam Sistem Pengolahan Limbah Tekstil Berbasis Ozonasi Menjadi Air Bersih*.