

Degradasi Rhodamin B oleh $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang Diperoleh dari Metode Lelehan Garam Campuran NaCl/KCl

Degradation of Rhodamine B by $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Prepared Through Molten KCl/NaCl Salt Method

Syilfia Ainur Rohma Bashofia, Anton Prasetyo*

^aProgram Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Jalan Gajayana 50, Malang, 65144, Indonesia.

*Email: anton@kim.uin-malang.ac.id

(Received 16 August 2023; Revised 12 October 2023; Accepted 20 November 2023; Published 30 November 2023)

Abstrak

Rhodamin B adalah salah satu limbah zat warna yang berbahaya bagi ekosistem sehingga diperlukan usaha-usaha untuk menanganinya. Salah satu metode yang berpotensi digunakan dalam menangani limbah rhodamin B adalah metode fotokatalis. Salah satu senyawa yang mempunyai kemampuan aktivitas fotokatalis yang baik adalah senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan partikel bermorfologi *plate-like/sheets*. Salah satu metode sintesis yang dapat menghasilkan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ bermorfologi *plate-like/sheets* adalah metode lelehan garam. Dalam penelitian ini telah disintesis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl dan selanjutnya dilakukan uji degradasi rhodamin B. Difraktogram senyawa produk menunjukkan bahwa senyawa target $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ telah berhasil disintesis akan tetapi masih ditemukan sedikit pengotor berupa TiO_2 (rutil). Mikrograf menunjukkan bahwa senyawa produk mempunyai morfologi *plate-like/sheets*, dengan ukuran partikel pada rentang 2-6 μm . Hasil perhitungan spektrum reflektan dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk menunjukkan bahwa energi celah pita $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ adalah 2,88 eV. Hasil uji kemampuan degradasi menunjukkan bahwa rhodamin B mengalami penurunan konsentrasi pada rentang 39,84% sampai 50,61% dalam waktu 60 menit.

Kata kunci: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, fotokatalis, metode lelehan garam, rhodamin B

Abstract

Rhodamine B is a dye waste that harms the ecosystem, so efforts are needed to handle it. One method that can potentially be used in dealing with rhodamine B waste is the photocatalyst method. One of the compounds with good photocatalyst activity is the $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ particle compound with a plate-like/sheets morphology. The salt melt method is one of the synthesis methods that can produce $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ with a plate-like/sheets morphology. In this study, $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ was synthesized using the molten KCl/NaCl mixed salt method, and then a rhodamine B degradation test was carried out. The diffractogram sample showed that $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ targeted compound had been successfully synthesized, but a small amount of impurity in TiO_2 (rutile phase) was still found. The micrograph shows that the product compound has a plate-like/sheets morphology with particle size in range 2-6 μm . The results of calculations reflectance spectrum of sample by the Kubelka-Munk equation showed that the band gap energy of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ is 2.88 eV. The results of the degradation ability test showed that the rhodamine B concentration decreased in the range of 39.84 to 50.61% within 60 minutes.

Keywords: $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, molten salt method, Photocatalyst, Rhodamine B

1. Latar Belakang

Industri tekstil telah berkembang sangat pesat yang salah satu implikasinya adalah dihasilkan limbah zat warna yang melimpah. Salah satu limbah zat warna tersebut adalah rhodamin B yang bersifat toksik dan bersifat karsinogenik dan neurotoksik [1,2]. Oleh sebab itu diperlukan usaha-usaha untuk

menangani limbah rhodamin B. Beberapa metode yang dilaporkan dikembangkan untuk menangani limbah rhodamin B adalah adsorpsi, flokulagi/koagulai, degradasi anerobik, ion-exchange, filtrasi, fotokatalis dan *reverse osmosis* [1,3]. Teknologi fotokatalisis dilaporkan mempunyai kemampuan mendegradasi zat warna dengan sangat baik dan



mempunyai keuntungan yaitu kesederhanaan teknologi, senyawa akhir degradasi bukan senyawa yang berbahaya (CO_2 dan H_2O), katalis dapat digunakan kembali (*reusable*) dan lebih ekonomis [4,5].

Golongan senyawa berstruktur Aurivillius dilaporkan berpotensi digunakan sebagai material fotokatalis karena mempunyai sifat ferolektrik yang baik sehingga bisa menahan laju rekombinan electron (e^-) dan *hole* (h^+) yang menyebabkan peningkatan aktivitas fotokatalisnya [6]. Senyawa golongan Aurivillius mempunyai rumus molekul $[\text{Bi}_2\text{O}_2]^{2+}[\text{A}_{m-1}\text{B}_m\text{O}_{3m+1}]^{2-}$ yang tersusun bergantian antara lapis bismuth dan lapis perovskit. *A* merupakan kation dengan valensi 1,2 atau 3 seperti Na^+ , Ca^+ , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , atau Bi^{3+} , sedangkan *B* ditempati oleh kation bervalensi tinggi seperti Ti^{4+} , Nb^{5+} , dan Ta^{5+} dan *m* merupakan bilangan integer yang menunjukkan jumlah lapis perovskit [7]. Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ adalah salah satu golongan senyawa berstruktur Aurivillius lapis tiga dan dilaporkan banyak pihak mempunyai aktivitas fotokatalis yang baik dengan energi celah 2,87 eV [8]. Beberapa pihak telah melaporkan senyawa fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ mampu mendegradasi zat warna di antaranya adalah rhodamin B [9], metilen biru [10], dan metil *orange* [11].

Morfologi dan keseragaman ukuran partikel material fotokatalis dilaporkan berpengaruh terhadap aktivitas fotokatalis [12]. Beberapa pihak telah melaporkan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan morfologi *plate-like/sheets* mempunyai aktivitas fotokatalis yang lebih baik dibandingkan dengan morfologi lain [9,13]. Kemampuan aktivitas fotokatalis yang tinggi disebabkan karena $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ bermorfologi *plate-like/sheets* mempunyai jumlah situs aktif pada permukaannya yang tinggi dan mampu menghambat laju rekombinan e^- dan h^+ [9]. Salah satu metode sintesis yang dikenal dapat menghasilkan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ bermorfologi partikel *plate-like/sheets* adalah metode lelehan garam [14,15]. Metode ini memanfaatkan lelehan garam sebagai medium untuk bereaksi [16]. Keuntungan penggunaan metode lelehan garam adalah mempunyai kemampuan *morphology tunable*, sederhana, murah, ramah lingkungan, dan suhu sintesis yang lebih rendah [16,17].

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap morfologi partikel senyawa yang diperoleh dari metode sintesis lelehan garam adalah jenis garam,

suhu dan waktu sintesis, dan rasio senyawa target dengan garam [15,16,18,20]. Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dilaporkan bermorfologi *plate-like/sheets* dengan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl [20]. Mereka juga melaporkan bahwa ukuran partikel yang diperoleh adalah seragam dan tidak ditemukan partikel teraglomerasi [20]. Hal ini menunjukkan bahwa metode ini berpeluang digunakan untuk mensintesis material $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dengan aktivitas fotokatalis yang baik. Akan tetapi uji terkait kemampuan aktivitas fotokatalis senyawa mikrosheet $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ masih belum dilakukan sehingga masih belum didapatkan informasi terkait hal tersebut. Oleh karena itu kajian terkait sifat material *plate-like* $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang diperoleh dari metode lelehan garam NaCl/KCl menjadi penting untuk dilakukan. Dari uraian di atas maka dalam penelitian ini, senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ disintesis dengan menggunakan metode lelehan garam KCl/NaCl dan selanjutnya dilakukan uji aktivitas fotokatalisnya dalam mendegradasi zat warna rhodamin B.

2. Metodologi

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Bi_2O_3 (Sigma Aldrich, 99,9% serbuk), TiO_2 (Sigma Aldrich, 99,9% serbuk), SrCO_3 (Merck, 99,9% serbuk), NaCl (Merck, 99,9% serbuk), KCl (Merck, 99,9% serbuk), AgNO_3 (Merck, serbuk), aseton (Merck), dan akuades.

2.2 Sintesis Senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$

Sintesis senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ menggunakan metode lelehan garam campuran KCl/NaCl (dengan rasio mol 1:1). Sintesis ini menggunakan rasio mol produk ($\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$) dan garam (KCl/NaCl) adalah 1:7. Kebutuhan massa prekursor (SrCO_3 , Bi_2O_3 , dan TiO_2) dan garam (KCl dan NaCl) dihitung secara stoikiometrik dengan massa senyawa target sebanyak 4 gram.

Sintesis dilakukan dengan mencampurkan hasil penggerusan prekursor dan garam di mortar *agate* selama 1 jam. Untuk membantu menghomogenkan campuran tersebut maka ditambahkan aseton secukupnya. Selanjutnya dilakukan kalsinasi secara bertahap dengan suhu awal 675°C , dilanjutkan pada suhu 775°C , dan 825°C selama 6 jam. Penghilangan sisa garam pada sampel produk dilakukan dengan mencuci sampel dengan akuades panas. Kandungan garam pada



sampel diidentifikasi dengan larutan AgNO_3 dan jika tidak ditemukan endapan putih maka sampel tidak mengandung garam. Selanjutnya sampel produk dikeringkan dengan oven pada suhu 100°C selama 4 jam.

2.3 Karakterisasi Senyawa Produk

Fasa senyawa yang terbentuk diidentifikasi dengan menggunakan teknik difraksi sinar-X (XRD) serta morfologi partikel yang diperoleh dari pengujian dengan *scanning-electron microscopy* (SEM). Gambar SEM pada perbesaran 2000x digunakan untuk menghitung distribusi ukuran partikel sampel dengan menggunakan perangkat lunak Image-J. Nilai energi celah pita diperoleh dari hasil perhitungan spektrum reflektansi dari *ultraviolet-visible diffuse reflectance* spektroskopi (UV-Vis DRS) dengan persamaan Kubelka-Munk.

2.4 Uji Degradasi Rhodamin B

Uji degradasi rhodamin B dilakukan di dalam reaktor fotokatalis buatan sendiri berukuran $(40 \times 40 \times 40)$ cm. Sumber sinar pada reaktor menggunakan satu lampu komersial UV (Lampu Bohlam LED UV Anti Bakteri *Spotlight Bulb* 80 LEDs 220V E27) dengan jarak antara sumber sinar dan rhodamin B adalah 10 cm. Selama pengujian berlangsung dilakukan pengadukan menggunakan magnetit stirrer. Reaktor uji fotokatalis ditampilkan pada Gambar 1.

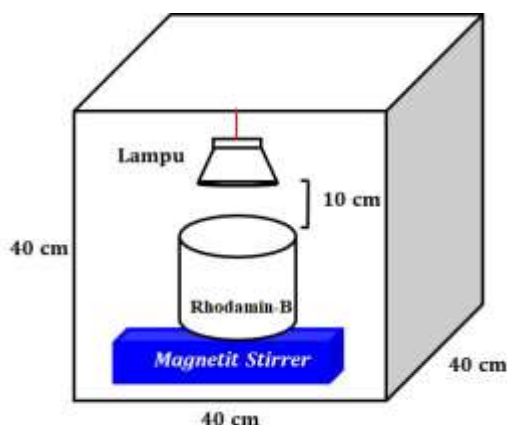
Tahap pertama dilakukan uji adsorpsi yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan penyerapan rhodamin B oleh senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (kemampuan adsorpsi). Pengujian dilakukan dengan mencampurkan rhodamin B 4 ppm sebanyak 100 ml dan 0,1 gram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Kemudian, larutan dimasukkan ke dalam reaktor dalam

kondisi gelap (tanpa adanya radiasi sinar) dan diaduk selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dari larutan dan kemudian dilakukan pengukuran absorbansi larutan dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Pengujian kemampuan adsorpsi $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dilakukan sebanyak satu kali.

Pada tahap berikutnya dilakukan pengujian degradasi rhodamin B. Larutan rhodamin B 4 ppm sebanyak 100 ml dicampurkan dengan 0,1 gram $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dan kemudian ditempatkan pada reaktor dalam keadaan gelap selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan penyinaran dengan lampu UV komersial selama 60 menit. Pengadukan dilakukan pada semua tahap pengujian. Selanjutnya dilakukan penyaringan untuk memisahkan senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dan dilakukan pengukuran absorbansi larutan rhodamin B dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-800 nm. Uji degradasi oleh $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dilakukan sebanyak 3 kali.

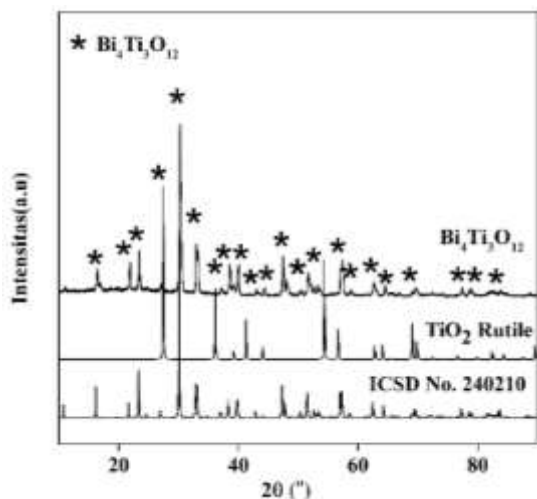
3. Hasil dan Pembahasan

Difraktogram senyawa produk ditampilkan pada Gambar 2. Difraktogram ini kemudian dibandingkan dengan difraktogram standar $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ pada *database international crystallography standard data* (ICSD) nomor 240210 dengan struktur ortorombik grup rupa *Aba2*. Dapat dilihat bahwa ditemukan kesesuaian polanya yang mengindikasikan bahwa senyawa target $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ berhasil disintesis. Puncak-puncak khas $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ditemukan pada posisi 2θ ($^\circ$): 16,34; 21,88; 23,48; 30,26; 33; 38,64; 40,06; 44,46; 47,56; 48,04; 51,72; 57,4. Namun, masih ditemukan



Gambar 1. Reaktor uji fotokatalis.

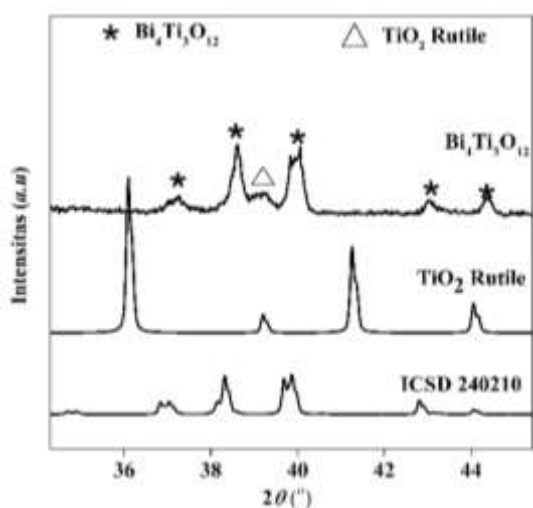




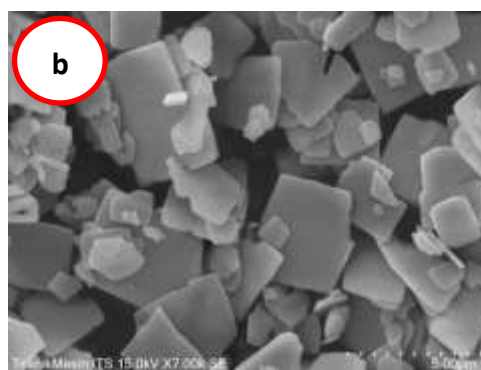
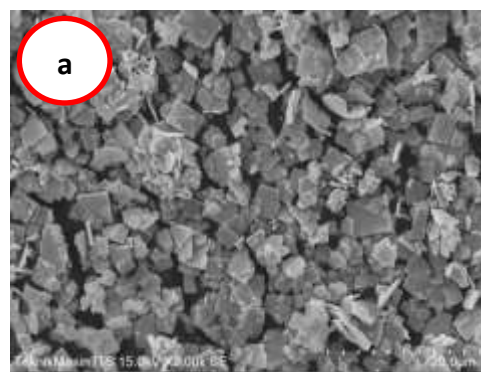
Gambar 2. Difraktogram senyawa produk $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$.

senyawa pengotor berupa TiO_2 (rutil) dengan konsentrasi yang sangat rendah. Hal ini ditunjukkan dengan keberadaan puncak difraktogram berintensitas sangat rendah pada posisi $39,06^\circ$ (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa prekursor TiO_2 dengan konsentrasi yang kecil tidak bereaksi dan ini dimungkinkan karena hasil pencampuran dan penggerusan prekursor pada mortar *agate* masih kurang homogen.

Mikrograf senyawa produk $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang ditampilkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa partikel $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ yang diperoleh berbentuk *plate-like/sheets*. Partikel bermorfologi *plate-like/sheets* merupakan morfologi khas dari senyawa Aurivillius yang telah banyak dilaporkan oleh peneliti terdahulu [14,20-22]. Gambar 4 juga

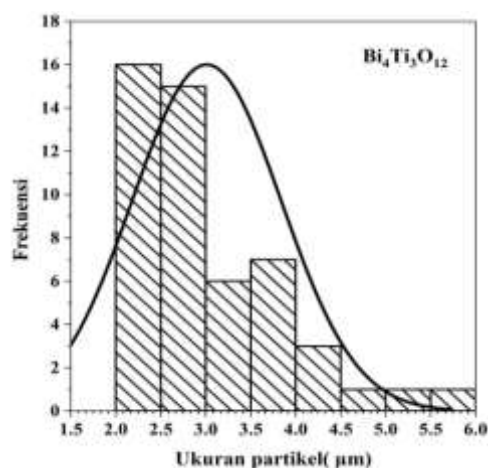


Gambar 3. Puncak difraktogram pada rentang 2θ : 34° - 46° .



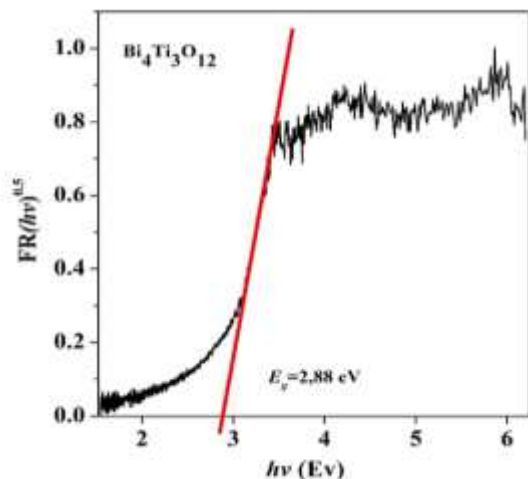
Gambar 4. Mikrograf senyawa produk $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (a) perbesaran $2000\times$, dan (b) perbesaran $7000\times$.

memperlihatkan bahwa morfologi partikel mempunyai bentuk dengan ukuran yang seragam serta tidak ditemukan partikel yang teraglomerasi. Morfologi ini juga sejalan dengan yang telah dilaporkan oleh peneliti yang mensintesis senyawa ini dengan metode lelehan garam [20-22]. Selain itu, hasil ini juga bersesuaian dengan kajian yang diperoleh ketika menggunakan jenis garam yang sama (campuran NaCl/KCl) [20]. Distribusi ukuran



Gambar 5. Distribusi ukuran partikel $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$.

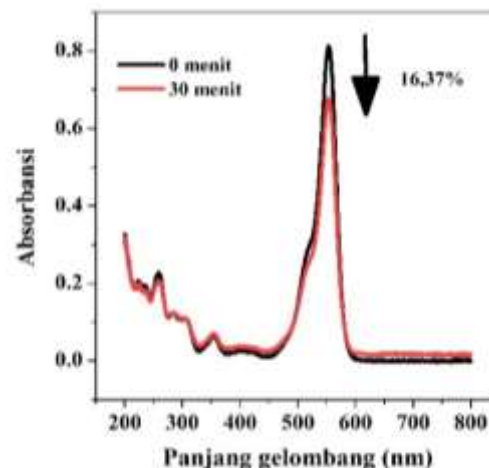



 Gambar 6. Plot tauc $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$.

partikelnya berada pada rentang 2-6 μm dengan partikel berukuran 2-3 μm adalah ukuran yang paling banyak terbentuk. Hasil perhitungan distribusi partikel ditampilkan pada Gambar 5.

Gambar 6 menunjukkan hasil perhitungan dengan persamaan Kubelka-Munk (plot tauc) terhadap spektrum reflektan senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Dari perhitungan diperoleh bahwa energi celah pita senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ adalah 2,88 eV (430,5 nm). Hasil ini mempunyai kemiripan dengan kajian sebelumnya [8]. Nilai energi celah menunjukkan bahwa senyawa fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ dapat bekerja pada daerah sinar biru. Hal ini menguntungkan untuk aplikasi dalam bidang fotokatalis karena dapat bekerja pada rentang spektrum panjang gelombang sinar yang lebih luas. Transisi elektronik yang terjadi pada senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ melibatkan elektron pada pita valensi di orbital $2p + \text{Bi } 6s$ ke pita konduksi pada orbital $\text{Ti } 3d + \text{Bi } 6p$ dan berpindah ke pita valensi [9].

Hasil uji kemampuan adsorpsi rhodamin B oleh $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ selama 30 menit ditampilkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa nilai absorbansi rhodamin B mengalami penurunan sebesar 16,37%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi rhodamin B setelah berinteraksi dengan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Penurunan konsentrasi rhodamin B menunjukkan bahwa senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ juga dapat berperan sebagai adsorben. Golongan senyawa Aurivillius memiliki kemampuan sebagai adsorben untuk menyerap metilen biru [23]. Selain itu, $\text{SrBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ terdoping Co mampu menyerap rhodamin B dengan tipe adsorpsi secara kimia [24].

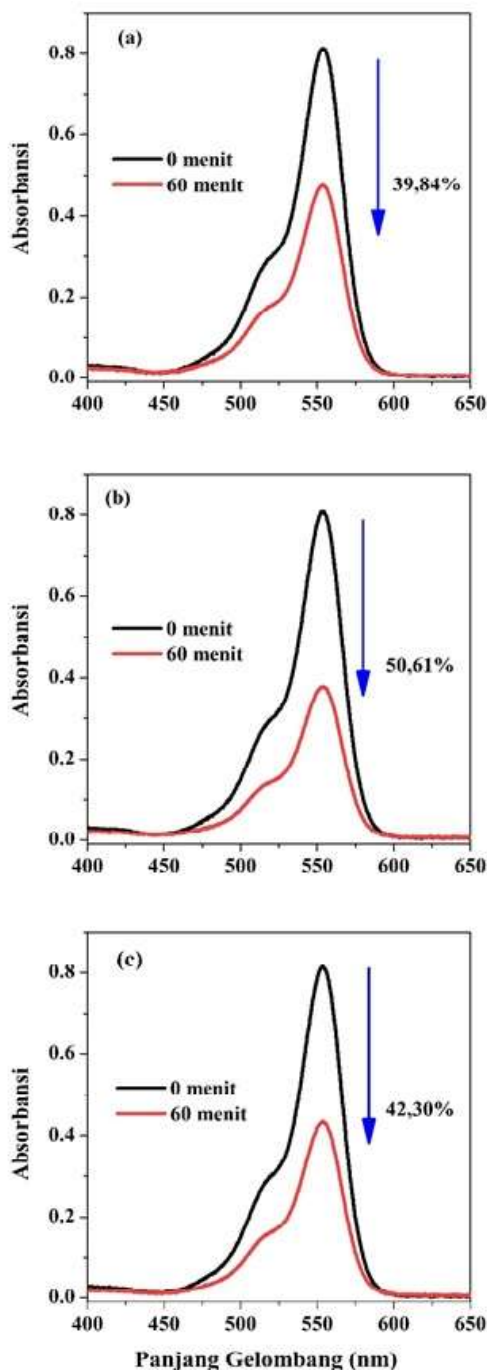

 Gambar 7. Uji kemampuan adsorpsi rhodamin B oleh $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ selama 30 menit.

Pengujian degradasi rhodamin B dilakukan sebanyak tiga kali dengan waktu pengujian yang sama dan ditampilkan pada Gambar 8. Spektrum UV-Vis menunjukkan bahwa setelah 60 menit terpapar sinar UV maka nilai absorbansi rhodamin B mengalami penurunan sebesar 39,84% pada pengujian pertama, kemudian penurunan 50,61% untuk pengujian kedua, dan penurunan sebesar 42,3% pada pengujian ketiga. Nilai absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi, sehingga ketika terjadi penurunan konsentrasi maka disertai pula dengan penurunan nilai absorbansi.

Terjadi penurunan konsentrasi rhodamin B yang cukup besar. Penurunan nilai absorbansi yang lebih besar dibandingkan dengan penurunan nilai absorbansi proses adsorpsi (Gambar 7) menunjukkan bahwa terjadi proses penguraian/degradasi rhodamin B dengan mekanisme fotokatalis. Akan tetapi dengan tidak adanya uji adsorpsi sampai dengan 60 menit, maka belum diperoleh informasi terkait seberapa banyak rhodamin B yang teradsorpsi selama waktu tersebut. Penurunan konsentrasi rhodamin B pada penelitian ini dapat diduga merupakan kontribusi dari dua mekanisme yaitu adsorpsi dan fotokatalis.

Mekanisme penguraian rhodamin B oleh material fotokatalis $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ adalah ketika sinar UV dipaparkan pada senyawa $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ maka terjadi transisi elektronik yang melibatkan perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Perpindahan ini membentuk h^+ pada pita konduksi dan e^- pada pita valensi. Selanjutnya h^+ bereaksi dengan $\text{OH}^-/\text{H}_2\text{O}$ sehingga membentuk radikal OH^\cdot . Sementara itu, e^- bereaksi dengan O_2

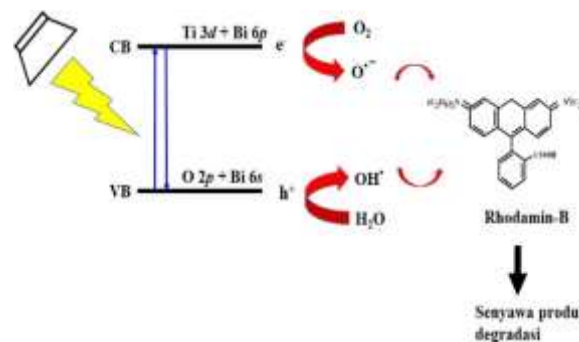




Gambar 8. Pengujian degradasi rhodamin B; (a) pertama, (b) kedua, dan (c) ketiga

akan membentuk radikal $O^{\cdot-}$. Keberadaan radikal inilah yang selanjutnya akan bereaksi dengan rhodamin B dan menyebabkan penguraian pada rhodamin B [9,23,25]. Mekanisme degradasi rhodamin B oleh $Bi_4Ti_3O_{12}$ ditampilkan pada Gambar 9.

Diperoleh hasil yang berbeda dari ketiga hasil pengujian aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi rhodamin B. Pengujian aktivitas fotokatalis dengan



Gambar 9. Mekanisme degradasi rhodamin B

zat warna mempunyai kelemahan yaitu zat warna dalam proses fotoeksitasi juga dapat menyerap sinar dan menyumbangkan elektron pada pita konduksi semikonduktor [26]. Hal ini menyebabkan dapat mempengaruhi hasil degradasi dari zat warna [26]. Faktor lain juga dimungkinkan dari teknis percobaan seperti kestabilan intensitas sinar dan kehomogenan pengadukan yang sulit untuk dikontrol. Apabila dibandingkan dengan hasil degradasi oleh senyawa yang sama [9], $Bi_4Ti_3O_{12}$ nanosheets yang diperoleh dari metode sol-gel hidrotermal mempunyai kemampuan mendegradasi sebesar 79,2% dalam waktu 90 menit. Hasil yang diperoleh sudah cukup baik karena berada pada kisaran 39% hingga 50% dan menggunakan waktu yang lebih singkat yaitu 60 menit [9].

4. Kesimpulan

Senyawa $Bi_4Ti_3O_{12}$ bermorfologi *plate-like/sheets* telah berhasil diperoleh melalui metode lelehan garam campuran NaCl/KCl akan tetapi masih ditemukan senyawa pengotor berupa TiO_2 (rutile). Hasil perhitungan spektrum reflektan $Bi_4Ti_3O_{12}$ menunjukkan bahwa energi celah pita sampel adalah 2,88 eV (430,5 nm). Uji adsorpsi rhodamin B oleh senyawa $Bi_4Ti_3O_{12}$ menunjukkan bahwa senyawa ini juga mempunyai kemampuan sebagai adsorben, sedangkan dari uji degradasi rhodamin B oleh senyawa $Bi_4Ti_3O_{12}$ selama 60 menit menunjukkan bahwa konsentrasi rhodamin B mengalami penurunan pada rentang 39,84% hingga 50,61%.

5. Ucapan Terima Kasih

Kami menyampaikan banyak terima kasih kepada Hartiningsih, S.Si yang telah membantu dalam pengujian degradasi rhodamin B.



Daftar Pustaka

- [1] Al-Gheethi, A.A, Azhar, Q.M., Kumar, P.S., Yusuf, A.A., al Buriahi, A.K., Mohamed, R.M.S.R., and al Shaibani, M.M., Sustainable approaches for removing Rhodamine B Dye using Agricultural Waste Adsorbents: A Review *Chemosphere*, **287**(2), 132080, 2022.
- [2] Lu, Q., Gao, W., Du, J., Zhou, L., and Lian, Y., Discovery of Environmental Rhodamine B Contamination in Paprika during the Vegetation Process, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **60**(19), 4773–4778, 2012.
- [3] Pavithre, G., Kumar, S., Jaikumar, V., and Rajan, P.S., Removal of Colorants from Wastewater: A Review on Sources and Treatment Strategies, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **75**, 1-19, 2019.
- [4] Lal, M., Sharma, P., Singh L., and Ram, C., Photocatalytic Degradation of Hazardous Rhodamine B Dye using Sol-Gel Mediated Ultrasonic Hydrothermal Synthesized of ZnO Nanoparticles, *Results in Engineering*, **17**, 100890, 2003.
- [5] Rahman, A., Jennings, J.R., Tan, A.L., and Khan, M.M., Molybdenum Disulfide-Based Nanomaterials for Visible-Light-Induced Photocatalysis, *ACS Omega*, **7**(26), 22089–22110, 2022.
- [6] Khan, M. A., Nadeem, M. A., and Idriss, H., Ferroelectric Polarization Effect on Surface Chemistry and Photo-Catalytic Activity: A Review. *Surface Science Reports*. **71**(1), 1–31. 2016.
- [7] Aurivillius, B., Mixed Bismuth Oxides with Layer Lattices. 1. The Structure Type of $\text{CaNb}_2\text{Bi}_2\text{O}_9$ *Ark. Kemi Band I*, **54**, 463–480, 1949.
- [8] Liu, Y., Zhang, M., Li, L., and Zhang, X., 2014 One-Dimensional Visible-Light-Driven Bifunctional Photocatalysts Based on $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Nanofiber Frameworks and Bi_2XO_6 ($X = \text{Mo}, \text{W}$) nanosheets, *Applied Catalysis B: Environmental*, **160–161**, 757–766, 2014.
- [9] Chen, Z., Hong, J., Wuliang, J., and Chunkai, S., Enhanced Photocatalytic Performance over $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Nanosheets with Controllable Size and Exposed $\{0\ 0\ 1\}$ Facets for Rhodamine B Degradation. *Applied Catalysis B: Environmental*, **180**, 698–706, 2016.
- [10] Zhao, W., Jia, Z., Lei, E., Wang, L., Li, Z., and Dai, Y., Photocatalytic degradation efficacy of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Micro-Scale Platelets over Methylene Blue under Visible Light, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, **74**, 1604–1607, 2013.
- [11] Yao, W.F., Wang, H., Xu, X.H., Shang, S.X., Hou, Y., Zhang, Y., and Wang, M., Synthesis and Photocatalytic Property of Bismuth Titanate $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, *Materials Letters*, **57**, 1899–1902, 2003.
- [12] Li, Y.F. and Liu, Z.P., Particle Size, Shape and Activity for Photocatalysis on Titania Anatase Nanoparticles in Aqueous Surroundings, *Journal of American Chemical Society*, **133**(39), 15743–15752, 2011.
- [13] Cheng, T., Sun, X., Xian, T., Yi, Z., Li, R., Wang, X., and Yang, H., Tert-butylamine/oleic acid-Assisted Morphology Tailoring of Hierarchical $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Architectures and Their Application for Photodegradation of Simulated Dye Wastewater, *Optical Materials* **112**, 110781, 2021.
- [14] Zhao, Z., Li, X., Ji, H., and Deng, M., Formation Mechanism of Plate-like $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Particles in Molten Salt Fluxes, *Integrated Ferroelectrics*, **154**(1), 154–158, 2014.
- [15] Marella, D.M., Aini, N., Hardian, A., Suendo, V., and Prasetyo, A., The Effect of Synthesis Temperature on the Plate-Like Particle of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Obtained by Molten NaCl Salt Method, *Journal of Pure and Applied. Chemical. Research.*, **10**(1), 64-71, 2021.
- [16] Kimura, T. Molten salt synthesis of ceramic Powders. *Advances in Ceramics Synthesis and Characterization, Processing and Specific Applications*. Rijeka: In Tech, 2011.
- [17] Gupta, K. and Mao, Y., Recent Developments on Molten Salt Synthesis of Inorganic Nanomaterials: A Review, *Journal of Physical Chemistry. C*, **125**(12), 6508–6533, 2021.
- [18] Januari T., Aini N., Barorroh H., and Prasetyo A., The Effect of Synthesis Time to Particle Size of $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ which Synthesized using Molten Single Salt NaCl Method, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **456**(1), 012013, 2020.
- [19] Akdogan E.K., Brennan R.E., Allahverdi M., and Safari A., Effects of Molten Salt Synthesis (MSS) Parameters on the Morphology of $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ and SrTiO_3 Seed Crystals, *Journal of Electroceramics*, **16**(2), 159–65, 2006.
- [20] Prasetyo A, Guntur, ANM., Himmah, S.N., Aini, N., Rouf, U.A., and Aziz, A., Synthesis of Microsheets $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$, and $\text{Bi}_4\text{Ti}_{2.95}\text{V}_{0.05}\text{O}_{12}$ via Molten NaCl-KCl Salt Method, *Journal of Pure & Applied Chemistry Research*, **11**(3), 207-213, 2022.
- [21] Wang, X., Wang, Y., Gao, M., Shen, J., Pu, X., Zhang, Z., Lin, H., and Wang, X., $\text{BiVO}_4/\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Heterojunction Enabling Efficient Photocatalytic Reduction of CO_2 with



- H₂O to CH₃OH and CO, Applied Catalysis B: Environmental, **270**, 118876, 2020.
- [22] Zhang, H., Liang, Y., Zhu, Y., Liu, S., Li, K., Yang, J., and Lei, W., Tuning Photoluminescence in Layered Pr doped Bi₄Ti₃O₁₂ Nanosheets via Molten Salt Process. Journal of Alloys and Compounds, **767**, 1030-1040, 2018.
- [23] Al-Abror, M.L., Hastuti, E., and Prasetyo, A., Molten Salt Synthesis of Photocatalyst Material SrBi₄Ti₄O₁₅ for Methylene Blue Degradation, Journal of Chemical Engineering and Environment, **17**(2), 182-189, 2022.
- [24] Ziyaadini, M. and Ghashang, M., Removal of Rhodamine B from Aqueous Solution using SrCo_xBi₄Ti_{4-x}O₁₅ Aurivillius Phase Ceramics, Inorganic and Nano-Metal Chemistry, **51**(10), 1337-1343, 2021.
- [25] Wang, Q., Lian, J., Ma, Q., Bai, Y., Tong, J., Zhong, J., Wang, R., Huang, H., and Su, B., Photodegradation of Rhodamine B over a Novel Photocatalyst of Feather Keratin Decorated CdS under Visible Light Irradiation, New Journal of Chemistry, **39**, 7112-7119, 2015.
- [26] Barbero, N. and Vione, D., Why Dyes Should Not Be Used to Test the Photocatalytic Activity of Semiconductor Oxides, Environmental Science & Technology, **50**(5), 2130-2131, 2016.

