

## Rhodamine B Photodegradation Using Silver Phosphate-Hydroxyapatite Composites From Skipjack Tuna Bones (*Katsuwonus pelamis*)

Lusiana E. Sari<sup>1\*</sup>, Audy D. Wuntu<sup>2</sup>, Max R.J. Runtuwene<sup>3</sup>, Lidya Irma Momuat<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences Sam Ratulangi University,  
Manado, Indonesia

\*Corresponding author: [lusianaesdk@gmail.com](mailto:lusianaesdk@gmail.com)

### ABSTRACT

Hydroxyapatite (HAp) treated with silver would produce silver phosphate ( $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ), which is a semiconducting material and can degrade synthetic dyes. This study aimed to synthesize a composite material with the main components of HAp from skipjack (*Katsuwonus pelamis*) bone and  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  used to degrade the synthetic dye Rhodamin B (RB) in aqueous solution. The resulting material was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy with Energy-Dispersive X-Ray (SEM-EDX), and Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. The photodegradation of Rhodamine B was evaluated under visible light irradiation with variations in the number of composites, irradiation intensity, and irradiation time. Characterization results showed the formation of  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ /HAp composites, and photodegradation tests showed that the higher the amount of photocatalyst used and the higher the light intensity, the more synthetic dyes were degraded.

**Keywords:**  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ; photodegradation; hydroxyapatite; rhodamine B; skipjack tuna bone

## Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan Komposit Perak Fosfat-Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*)

### ABSTRAK

Hidroksiapatit (HAp) yang diperlakukan dengan perak dapat menghasilkan perak fosfat ( $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ) yang merupakan material semikonduktor dan dapat mendegradasi pewarna sintetik. Penelitian ini dikerjakan dengan tujuan mensintesis suatu komposit dengan komponen utama HAp dari tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dan  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  yang kemudian digunakan untuk mendegradasi pewarna sintetik rhodamin B (RB) dalam larutan dengan pelarut air. Karakterisasi material yang dihasilkan dikerjakan menggunakan teknik-teknik Difraksi Sinar-X (XRD), Mikroskopi Pemindaian Elektron bersama dengan Sinar-X Dispersi Energi (SEM-EDX), dan Spektroskopi Infra Merah *Fourier-Transform* (FTIR). Fotodegradasi rhodamin B diuji di bawah radiasi sinar tampak dengan variasi jumlah komposit dan intensitas penyinaran. Hasil karakterisasi menunjukkan terbentuknya komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ /Hap dan uji fotodegradasi memperlihatkan bahwa semakin besar jumlah fotokatalis dan intensitas cahaya yang digunakan, semakin banyak pewarna sintetik yang terdegradasi.

**Kata kunci:**  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ ; fotodegradasi; hidroksiapatit; rhodamin B; tulang ikan cakalang

(Article History: Received 15-10-2023; Accepted 29-10-2023; Published 29-10-2023)

### PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil di Indonesia memberikan dampak positif bagi masyarakat sekaligus menimbulkan kerugian berupa degradasi lingkungan. Salah satu masalah lingkungan yang ditimbulkan adalah pencemaran oleh limbah cair dari industri



teksil. Pembuangan limbah cair yang tidak dikelola dengan benar dapat memberi dampak buruk terhadap lingkungan perairan, khususnya sumber daya air (Priya *et al.*, 2011). Komponen utama dalam limbah cair dari industri tekstil yang menyebabkan rendahnya kualitas air limbah dan berperan dalam penurunan kualitas lingkungan perairan adalah pewarna sintetik untuk tekstil dalam jumlah dan konsentrasi yang beragam. Pewarna sintetik telah dikenal sebagai senyawa organik yang tidak terurai secara biologis dan sangat berperan sebagai kontaminan di lingkungan perairan. Selain menjadi bahan pencemar pada lingkungan, limbah yang mengandung pewarna sintetik juga dikategorikan sebagai bahan berbahaya karena dapat bersifat toksik dan karsinogenik (Widjajanti *et al.*, 2011).

Salah satu jenis pewarna sintetik yang banyak digunakan dalam industri tekstil adalah rhodamin B (RB). Senyawa ini memiliki rumus molekul  $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$  dengan bobot molekul 479,02 gram/mol, berbentuk serbuk kristal yang berwarna kehijauan, memiliki kelarutan tinggi dalam air, alkohol, HCl, dan NaOH. Senyawa ini bersifat toksik dan membahayakan kesehatan jika terpapar langsung lewat mata, kulit, atau tertelan (Muarip *et al.*, 2020).

Salah satu metode yang dianggap cukup efektif dalam penanganan limbah pewarna sintetik adalah fotodegradasi yang dianggap relatif murah dan mudah untuk digunakan (Joshi & Shrivastava, 2010). Keefektifan metode ini didasarkan pada penggunaan material fotokatalis yang umumnya merupakan bahan semikonduktor. Material semikonduktor banyak dimanfaatkan karena memiliki kemampuan mendegradasi zat-zat kimia, termasuk pewarna sintetik, dengan memanfaatkan radiasi cahaya. Semikonduktor perak fosfat ( $Ag_3PO_4$ ) termasuk salah satu fotokatalis yang mampu menyerap energi dari radiasi cahaya yang berada pada kisaran cahaya tampak (Liu *et al.*, 2013).

Berbagai studi menyangkut pemanfaatan fotokatalis  $Ag_3PO_4$  dalam mendegradasi pewarna sintetik telah dilakukan, diantaranya adalah fotodegradasi RB, metil jingga, dan metilen biru yang dapat didegradasi hingga berturut-turut 98%, 81%, dan 100% (Zheng *et al.*, 2013). Studi oleh Khan *et al.* (2012) juga menunjukkan degradasi pewarna Eosin Y dan metilen biru yang mencapai lebih dari 90% dengan laju degradasi yang semakin besar dengan bertambahnya jumlah fotokatalis. Penelitian lain mengenai fotodegradasi *Orange G* dan kristal violet menunjukkan penurunan konsentrasi pewarna sintetik berturut-turut mencapai 57,3% dan 79,4% (Luo *et al.*, 2014).

Material  $Ag_3PO_4$  telah diketahui dapat disintesis melalui reaksi antara perak nitrat ( $AgNO_3$ ) dengan HAp ( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ) (Piccirillo *et al.*, 2015). HAp sendiri merupakan biomineral yang secara alami dapat disintesis dan menjadi penyusun tubuh makhluk hidup seperti tulang dan gigi. Dalam industri perikanan di Sulawesi Utara, ikan cakalang adalah salah satu ikan yang paling banyak diperdagangkan. Dagingnya dimanfaatkan sebagai sumber pangan sedangkan tulang ikan adalah bagian yang sering tidak dimanfaatkan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mensintesis komposit  $Ag_3PO_4$ /HAp menggunakan bahan dasar tulang ikan cakalang sebagai sumber HAp. Komposit yang diperoleh selanjutnya dievaluasi pemangfaatannya untuk fotodegradasi RB dalam larutan dengan pelarut air.

## METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah tulang ikan cakalang yang diperoleh dari tempat pengasapan ikan rumahan di Bitung, Sulawesi Utara, akuades,  $\text{AgNO}_3$  (Merck), dan RB (Merck). Peralatan utama yang digunakan adalah FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS10), SEM-EDX (JEOL JSM-6510LA), Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV-1800), dan XRD (D8 Advance (Eco)).

### Preparasi Sampel dan Pembuatan Serbuk Tulang Ikan

Tulang ikan cakalang direbus pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 30 menit, lalu diangkat dan ditiriskan. Setelah itu tulang dibersihkan dari daging yang masih menempel dengan cara disikat. Kemudian dilakukan pengeringan tulang dengan cara di oven selama 24 jam dengan suhu  $100^\circ\text{C}$ . Setelah tulang ikan kering, tulang ikan dihaluskan dengan cara digerus menggunakan lumpang dan alu lalu diayak menggunakan ayakan 100 mesh dan diperoleh serbuk tulang ikan cakalang 100 mesh.

### Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp)

Sintesis HAp mengikuti prosedur Mutmainnah *et al.*, (2017) yang dimodifikasi. Serbuk tulang ikan cakalang 100 mesh dikalsinasi menggunakan tanur dengan suhu  $1000^\circ\text{C}$  selama 5 jam. HAp hasil sintesis selanjutnya dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

### Sintesis dan Karakterisasi Komposit $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$

Sintesis komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  dari tulang ikan cakalang mengikuti prosedur Pangajow *et al.*, (2019) yang dimodifikasi. HAp ditimbang sebanyak 2,769 gr kemudian dicampurkan dengan larutan  $\text{AgNO}_3$  (rasio molar Ag:HAp yang digunakan adalah 5,5:1). Campuran tulang ikan dan perak nitrat diaduk selama 24 jam menggunakan magnetic stirrer. Campuran yang sudah diaduk tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring kemudian residu dimasukkan ke dalam oven pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Material selanjutnya dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

### Pengaruh Jumlah Fotokatalis Komposit $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$ dan Sumber Sinar Tampak pada Fotodegradasi Rhodamin B

Metode fotodegradasi yang digunakan mengikuti prosedur Fauzi *et al.*, (2019) yang dimodifikasi. Lima buah botol kaca masing-masing diisi dengan 20 mL larutan RB dengan konsentrasi 50 ppm dan kemudian ditambahkan dengan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  sebanyak 0, 25, 50, 75 dan 100 mg. Selanjutnya campuran tersebut dimasukkan ke dalam kotak reaktor selama tiga jam tanpa terpapar cahaya dan dilanjutkan dengan disinari cahaya tampak dari lampu pijar 75 Watt selama 2 jam. Setelah itu campuran disentrifugasi pada 3500 rpm selama 15 menit dan dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 554 nm. Prosedur yang sama juga dilakukan menggunakan cahaya tampak dari tiga buah lampu pijar 100 Watt sebagai sumber cahaya tampak.

Persentase RB yang terdegradasi dihitung menggunakan Persamaan 1.

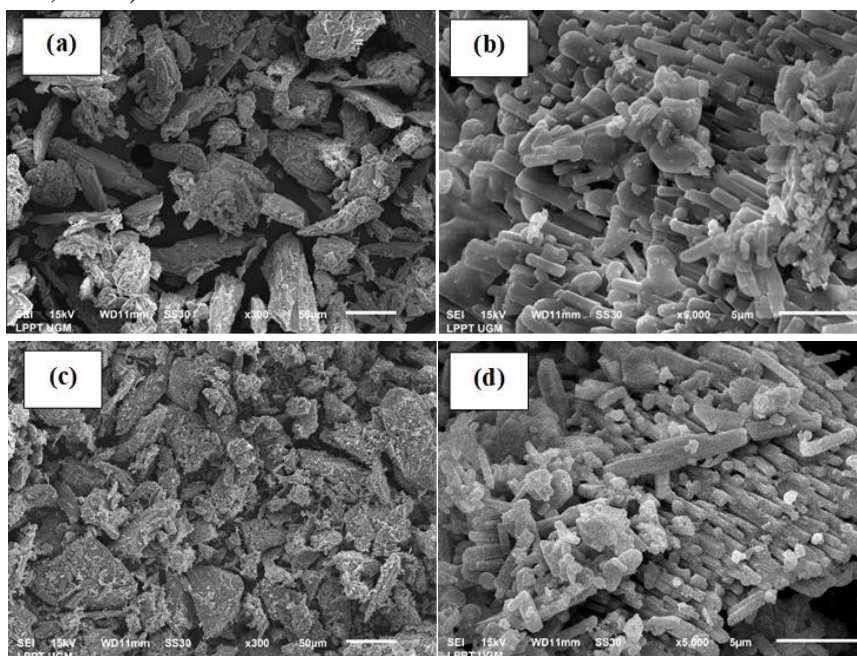
$$\% \text{ Fotodegradasi} = \left( \frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

dengan  $C_0$  adalah konsentrasi awal dan  $C_t$  adalah konsentrasi setelah penyinaran.

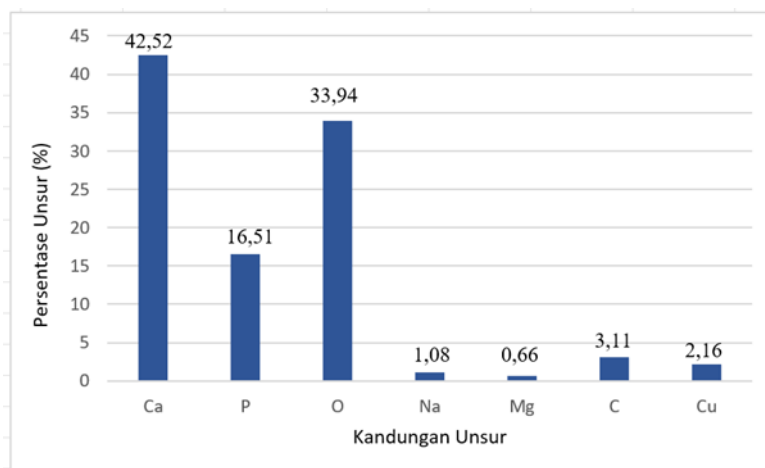
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Hasil Pengujian SEM-EDX

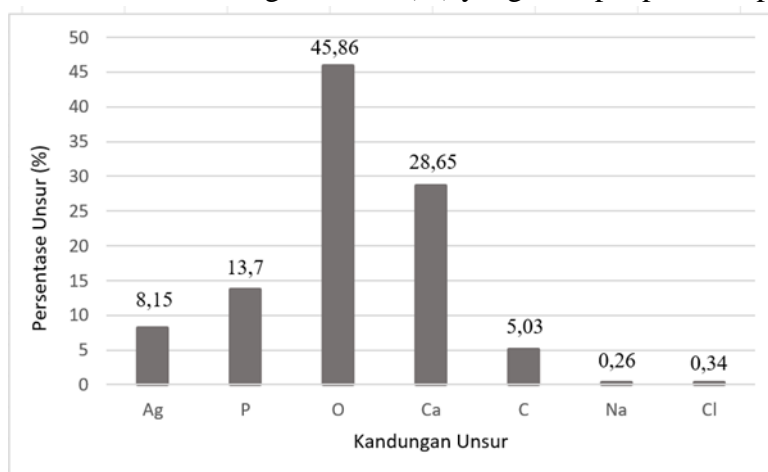
Gambar 1 menunjukkan morfologi permukaan dari HAp dan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  dengan masing-masing perbesaran  $300\times$  dan  $5000\times$ . HAp menunjukkan bentuk persegi panjang dengan permukaan yang halus (Gambar 1b), sedangkan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  menunjukkan adanya butiran-butiran halus berwarna putih di permukaannya (Gambar 1d). Partikel-partikel putih yang terbentuk pada citra SEM tersebut adalah partikel dari Ag. Pengujian menggunakan EDX dapat menunjukkan kandungan unsur-unsur yang terdapat pada sampel HAp dan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  (Gambar 2 dan 3). Pada semua sampel, 3 unsur yang dominan adalah Ca, P, dan O sebagai penyusun HAp, sedangkan pada komposit terdapat tambahan Ag sebagai penyusun perak fosfat. Unsur C yang terdeteksi dapat berasal dari ketidakmurnian karbonat yang terbentuk karena kontak dengan udara saat kalsinasi ((Morgan *et al.*, 2000).



**Gambar 1.** Citra SEM dari (a) HAp perbesaran  $300\times$ , (b) HAp perbesaran  $5000\times$ , (c) komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  perbesaran  $300\times$ , dan (d) komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  perbesaran  $5000\times$



Gambar 2. Kandungan Unsur (%) yang terdapat pada HAp

Gambar 3. Kandungan Unsur (%) yang terdapat pada komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$ 

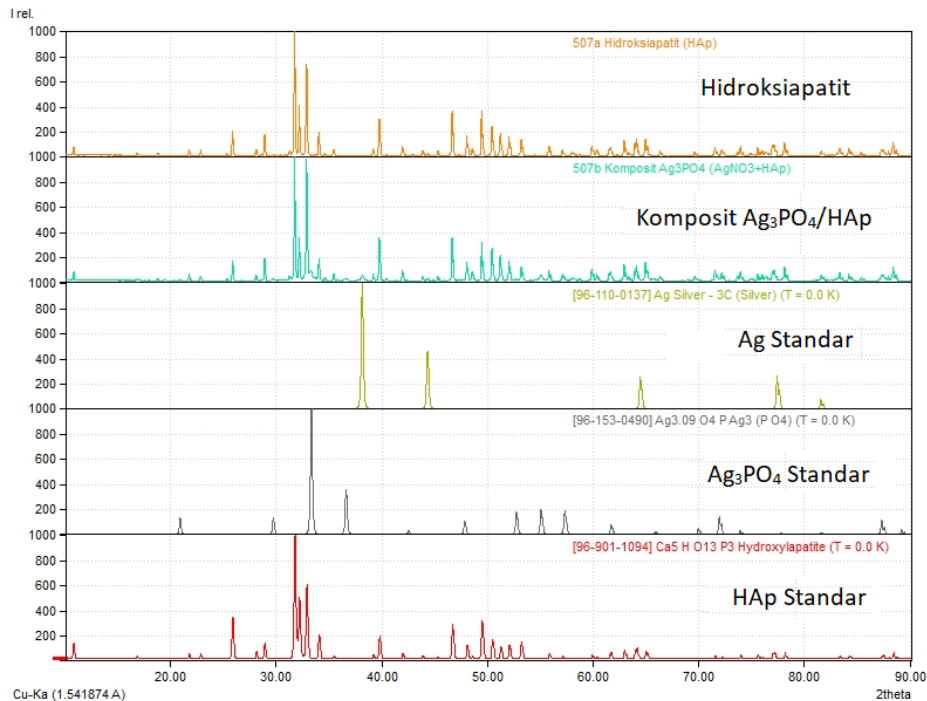
### Karakterisasi XRD

Difraktogram hasil karakterisasi XRD untuk material HAp dan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  ditunjukkan pada Gambar 4. Identifikasi fasa kristalin pada sampel HAp dan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  dikerjakan melalui penyesuaian antara difraktogram sampel dan material standar dalam basis data yang terintegrasi pada perangkat lunak software *Match 3!*.

Berdasarkan nilai *Full Widht at Half Maximum* (FWHM) yang sesuai dengan daerah  $2\theta$ , dapat dihitung ukuran kristalit dengan menggunakan Persamaan Scherrer (Tabel 1). Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa baik HAp maupun komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  yang disintesis memiliki ukuran nano.

Tabel 1. Ukuran kristalit HAp dan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$ 

Sampel	Ukuran Kriticalit (nm)
HAp	51,843
Komposit $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$	46,297



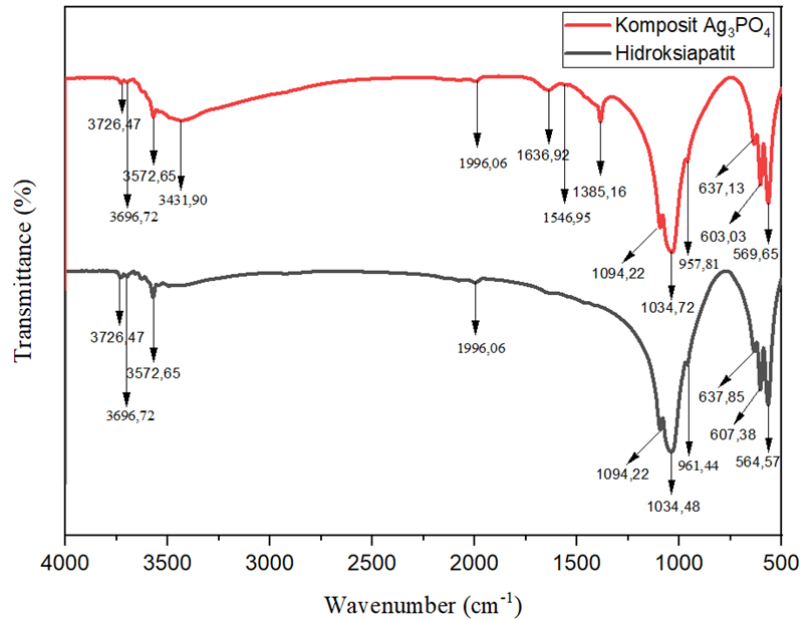
**Gambar 4.** Difraktogram Hasil XRD sampel HAp dan komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$

### Karakterisasi FTIR

Sampel komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  dianalisis menggunakan FTIR untuk mengetahui apakah komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  yang terikat silang dengan Ag sudah terbentuk. Hasil analisis tersebut dibandingkan dengan hasil FTIR dari HAp dan tersaji pada Gambar 5.

Pada spektrum FTIR dari HAp, munculnya pita serapan di daerah angka gelombang  $564,57\text{ cm}^{-1}$  dan  $1034,48\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan keberadaan ion  $\text{PO}_4^{3-}$ . Vibrasi ulur (*stretching*)  $\text{PO}_3^{3-}$  dapat muncul pada kisaran angka gelombang  $1000\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$  sedangkan vibrasi tekukan (*bending*) dapat muncul pada kisaran  $560\text{--}610\text{ cm}^{-1}$  (Pattanayak *et al.*, 2005). Gugus hidroksil  $\text{OH}^-$  ditandai dengan pita serapan pada angka gelombang  $3572,65\text{ cm}^{-1}$  akibat adanya penyerapan air. Keberadaan ion karbonat dikonfirmasi dengan pita serapan pada  $961,44\text{ cm}^{-1}$ . Karbonat dalam HAp dipandang sebagai ketidakmurnian yang berasal dari kontak dengan udara saat sintesis HAp (Morgan *et al.*, 2000). Adanya  $\text{H}_2\text{O}$  ditunjukkan dengan pita serapan pada daerah angka gelombang  $3696,72\text{ cm}^{-1}$  dan  $3726,47\text{ cm}^{-1}$ .

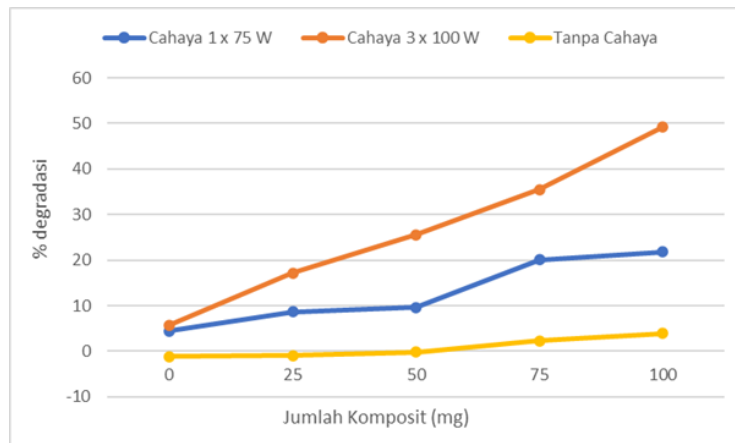
Spektrum FTIR dari komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  menunjukkan karakteristik yang mirip dengan spektrum dari HAp. Pita-pita serapan baru teramati pada daerah angka gelombang  $1385,16\text{ cm}^{-1}$ ,  $1546,95\text{ cm}^{-1}$ , dan  $1636,92\text{ cm}^{-1}$ . Pita serapan di daerah angka gelombang  $1385\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur Ag-O, pita serapan di daerah angka gelombang  $1546,95\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ion karbonat, sedangkan pita serapan di daerah angka gelombang  $1636,92\text{ cm}^{-1}$  muncul karena vibrasi tekuk  $\text{H}_2\text{O}$ . Pita serapan lain di daerah angka gelombang  $1630\text{ cm}^{-1}$  –  $1650\text{ cm}^{-1}$  berkaitan dengan tekukan  $\text{H}_2\text{O}$  (Ma *et al.*, 2013).



Gambar 5. Profil spektra FTIR HAp dan komposit Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/HAp

**Pengaruh Jumlah Komposit dan Intensitas Cahaya Tampak pada Fotodegradasi Rhodamin B**

Fotodegradasi RB terjadi saat komposit disinari menggunakan cahaya tampak. Persentasi jumlah RB yang terdegradasi ditunjukkan pada Gambar 6 dan terlihat bahwa semakin banyak RB terdegradasi saat jumlah komposit bertambah dan semakin tinggi intensitas cahaya yang digunakan. Semakin banyak material fotokatalis yang digunakan, semakin banyak elektron yang dapat dieksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dalam fotokatalis dan selanjutnya semakin banyak lubang positif yang tersedia. Dalam mekanisme fotodegradasi yang umum diterima, elektron pada pita konduksi mengubah O<sub>2</sub> menjadi radikal anion superoksida ( $\bullet\text{O}_2^-$ ) yang mendegradasi pewarna sintetik, sedangkan lubang positif mengubah H<sub>2</sub>O dan OH<sup>-</sup> menjadi radikal hidroksil ( $\bullet\text{OH}$ ) yang selanjutnya mengoksidasi pewarna sintetik. Persentasi degradasi paling tinggi adalah pada penggunaan 100 mg komposit Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/HAp dan disinari dengan 3 buah lampu pijar 100 Watt dengan jumlah terdegradasi sebesar 49,13%.



Gambar 6. Persentasi RB terdegradasi berdasarkan jumlah komposit Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>/HAp dan sumber sinar tampak



## KESIMPULAN

Komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  yang disintesis dari bahan dasar tulang ikan cakalang yang terkalsinasi pada suhu  $1000^\circ\text{C}$  memiliki kemampuan dalam mendegradasi zat warna RB di bawah radiasi sinar tampak. Hasil karakterisasi dengan instrumen-instrumen XRD, SEM-EDX, dan FTIR memberi konfirmasi terbentuknya komposit dengan komponen-komponen HAp dan  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ . Semakin banyak jumlah komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  di dalam larutan RB dan semakin tinggi intensitas cahaya yang digunakan, semakin tinggi persentasi RB yang terdegradasi. Aktivitas fotodegradasi dari komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{HAp}$  sebanyak 100 mg di bawah radiasi sinar tampak tiga buah lampu pijar 100 Watt selama 120 menit dapat mendegradasi 50 ppm RB hingga 49,12%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fauzi, W.A., Simpen, I.N., & Sudiarta I.W. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Zeolite-TiO<sub>2</sub> Serta Pemanfaatannya Sebagai Fotokatalis Untuk Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*, 13(1), 74–81.
- Joshi, K.M., & Shrivastava, V. (2010). Removal of hazardous textile dyes from aqueous solution by using commercial activated carbon with TiO<sub>2</sub> and ZnO as photocatalyst. *International Journal of ChemTech Research*, 2(1), 427–435.
- Khan, A., Qamar, M., & Muneer, M. (2012). Synthesis of highly active visible-light-driven colloidal silver orthophosphate. *Chemical Physics Letters*, 519–520, 54–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cplett.2011.11.015>
- Liu, W., Wang, M., Xu, C., Chen, S., & Fu, X. (2013).  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{ZnO}$ : An efficient visible-light-sensitized composite with its application in photocatalytic degradation of Rhodamine B. *Materials Research Bulletin*, 48(1), 106–113.
- Luo, L., Li, Y., Hou, J., & Yang, Y. (2014). Visible photocatalysis and photostability of  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  photocatalyst. *Applied Surface Science*, 319, 332–338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.04.154>
- Ma, J., Zou, J., Li, L., Yao, C., Zhang, T., & Li, D. (2013). Synthesis and characterization of  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$  immobilized in bentonite for the sunlight-driven degradation of Orange II. *Applied Catalysis B: Environmental*, 134–135, 1–6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2012.12.032>
- Morgan, H., Wilson, R.M., Elliott, J.C., Dowker, S.E.P., & Anderson, P. (2000). Preparation and characterisation of monoclinic hydroxyapatite and its precipitated carbonate apatite intermediate. *Biomaterials*, 21(6), 617–627. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(99\)00225-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0142-9612(99)00225-2)
- Muarip, S., Artsanti, P., Fajriati, I., & Krisdiyanto, D. (2020). Fotodegradasi Zat Warna Rhodamin B Dengan Fotokatalis Komposit TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, 3(1), 15–18.
- Mutmainnah, Chadijah, S., & Rustiah, W.O. (2017). Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Tuna Sirip Kuning (*Tunnus albacores*) dengan Metode Presipitasi. *Al-Kimia*, 5(2), 119–126.
- Pangajow, S.E.M., Wuntu, A., & Sangi, M.S. (2019). Kinetika Fotodegradasi Methylene Blue Menggunakan Komposit  $\text{Ag}_3\text{PO}_4/\text{Ag}/\text{HAp}$  Tilang Ikan Kakap Merah (*Lutjanus sp.*). *Chemistry Progress*, 12(2), 93–95.



- Pattanayak, D. K., Divya, P., Upadhyay, S., Prasad, R. C., Rao, B. T., & Mohan, T. R. R. (2005). Synthesis and Evaluation of Hydroxyapatite Ceramics. *Trends in Biomaterials & Artificial Organs*, 18(2), 87–92.
- Piccirillo, C., Pinto, R. A., Tobaldi, D. M., Pullar, R. C., Labrincha, J. A., Pintado, M. M. E., & Castro, P. M. L. (2015). Light induced antibacterial activity and photocatalytic properties of Ag/Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> -based material of marine origin. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 296, 40–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2014.09.012>
- Priya, P. G., Ramamurthi, V., & Anand, P. (2011). Degradation Studies of Tannery Effluents using Electro Flotation Technique. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 2(1), 104-107. Doi:10.4172/2157-7048.1000104
- Widjajanti, E., Tutik, R., & Utomo, M.P. (2011). Pola Adsorpsi Zeolit Terhadap Pewarna Azo Metil Merah Dan Metil Jingga. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*.
- Zheng, B., Wang, X., Liu, C., Tan, K., Xie, Z., & Zheng, L. (2013). High-Efficiently Visible Light-Responsive Photocatalysts:Ag<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Tetrahedral Microcrystals With Exposed {111} Facets of High Surface Energy. *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 12635–12640.