

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Masalah pencemaran air di dunia semakin memburuk akibat meningkatnya aktivitas industri dan pembuangan limbah cair yang tidak terkendali ke lingkungan perairan (Chowdhary et al., 2020). Berbagai sektor industri seperti tekstil, farmasi, percetakan, dan kimia menghasilkan limbah yang mengandung senyawa organik berbahaya, termasuk pewarna sintetis dan residu antibiotik, yang sulit terdegradasi secara alami. Kontaminan seperti pewarna sintetis umumnya banyak ditemukan dalam limbah industri dan menjadi salah satu penyebab utama penurunan kualitas air (Rasheed et al., 2019). Keberadaan zat warna di perairan dapat menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air sehingga mengganggu proses fotosintesis organisme akuatik. Selain itu, senyawa organik berbahaya tersebut bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik sehingga dapat membahayakan keanekaragaman hayati perairan serta kesehatan manusia (Lin et al., 2022). Permasalahan lingkungan perairan tersebut tidak hanya berdampak pada ekosistem, tetapi juga menghambat ketersediaan dan pengelolaan air bersih serta pelestarian sumber daya air secara berkelanjutan.

Di sisi lain, dunia juga menghadapi krisis energi akibat ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi fosil yang tidak terbarukan, seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Menurut laporan International Energy Agency (IEA), bahan bakar fosil masih memenuhi sekitar 80% kebutuhan energi global pada tahun 2023, menunjukkan bahwa ketergantungan terhadap energi fosil masih sangat tinggi di berbagai sektor industri dan transportasi. Penggunaan energi fosil secara terus-menerus menyebabkan menurunnya cadangan energi global dan meningkatkan emisi gas rumah kaca yang berdampak pada pemanasan global serta perubahan iklim. Selain itu, konsumsi bahan bakar fosil global bahkan masih mencapai rekor tertinggi dalam beberapa tahun terakhir meskipun pengembangan energi terbarukan terus meningkat. Peningkatan kebutuhan energi seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan industri semakin memperparah kondisi

tersebut. Oleh karena itu, pengembangan teknologi yang mampu mengatasi permasalahan lingkungan sekaligus menghasilkan energi bersih dan berkelanjutan menjadi sangat penting. Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah teknologi fotokatalisis dan fotoelektrokimia (PEC), yang memanfaatkan energi cahaya matahari untuk mendorong reaksi kimia, baik dalam degradasi polutan maupun produksi hidrogen sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan

Fotokatalisis berbasis semikonduktor telah menarik perhatian luas dalam beberapa dekade terakhir karena potensinya dalam degradasi polutan organik (Alijani et al., 2023). Keunggulan utama teknologi ini terletak pada sifatnya yang ramah lingkungan, karena mengubah polutan menjadi produk akhir yang lebih sederhana dan ramah lingkungan (Cheng et al., 2024). Selain itu, fotokatalisis memungkinkan mineralisasi polutan yang lengkap, sehingga tidak meninggalkan residu berbahaya di lingkungan (Luo et al., 2021). Teknologi ini juga menawarkan efisiensi tinggi, karena dapat dioperasikan dalam berbagai kondisi tanpa memerlukan suhu atau tekanan tinggi. Efektivitas sistem fotokatalisis sangat bergantung pada jenis material semikonduktor yang digunakan sebagai elektroda, yang harus menunjukkan penyerapan cahaya yang luas, mobilitas pembawa muatan yang tinggi, dan stabilitas elektrokimia yang sangat baik.

Berbagai semikonduktor telah dieksplorasi untuk degradasi polutan, seperti  $\text{BiVO}_4$  (Senasu et al., 2021),  $\text{TiO}_2$  (Kumar et al., 2023),  $\text{SnO}_2$  (da Trindade et al., 2022),  $\text{CuO/Cu}_2\text{O}$  (Arai et al., 2008), dan  $\text{ZnO}$  (Mirzaeifard et al., 2020).  $\text{BiVO}_4$  merupakan salah satu material semikonduktor yang paling menjanjikan karena sifat penyerapan cahaya yang sangat baik. Hal ini dihasilkan dari celah pita yang dapat disetel 2,4 – 2,5 eV untuk penyerapan cahaya dalam spektrum cahaya tampak. Selain itu biayanya terjangkau, memiliki toksisitas rendah, ketahanan yang baik, dan stabil secara kimia dan termal (Zhong et al., 2023). Namun, rekombinasi muatan pada semikonduktor tunggal membatasi kinerja degradasi polutan air. Semikonduktor berstruktur hetero meningkatkan pemisahan muatan ( $e^-$  dan  $h^+$ ) melalui pembentukan jembatan dan dapat mengatasi rekombinasi muatan pada antarmuka elektroda atau elektrolit (Li et al., 2022).

Penggunaan struktur *heterojunction* dengan menggabungkan dua semikonduktor yang memiliki tingkat energi yang cocok telah diakui sebagai metode efektif untuk meningkatkan pemisahan muatan dalam BiVO<sub>4</sub> (Zhang et al., 2022). Belakangan ini, berbagai fotoanoda berbasis *heterojunction* yang menggunakan CdS telah dikembangkan untuk mendukung proses oksidasi air di bawah cahaya tampak. Contohnya, fotokatalis seperti ZnS/CdS telah terbukti memiliki kinerja yang sangat baik dalam proses oksidasi air (Jin et al., 2024). Dalam penelitian ini, CdS dikombinasikan dengan BiVO<sub>4</sub> membentuk *heterojunction* BiVO<sub>4</sub>/CdS. CdS dipilih karena memiliki celah pita sebesar 2,25 eV, yang memungkinkan penyerapan cahaya yang lebih baik. Selain itu, tepi pita konduksi CdS yang lebih negatif memungkinkan elektron yang tereksitasi oleh cahaya mengalir ke BiVO<sub>4</sub>, sehingga meningkatkan pemisahan muatan (Wan et al., 2023).

Penambahan kokatalis pada permukaan semikonduktor juga dapat meningkatkan laju reaksi dengan meningkatkan transfer muatan antarmuka dan fotostabilitas elektroda pada saat yang sama. Permukaan BiVO<sub>4</sub> dapat dimuat dengan kokatalis yang baik untuk fotodegradasi polutan seperti Pt, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, Ni<sub>2</sub>P, dan CoP. Sebuah studi oleh Shi et al. (2025), menemukan bahwa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah kokatalis pada film tipis BiVO<sub>4</sub> yang baik untuk degradasi polutan organik berupa senyawa antibiotik norfloxacin. Demikian pula Kolhe et al. (2023), memverifikasi bahwa kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat digunakan untuk degradasi zat warna metilen biru. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan kokatalis yang baik untuk degradasi polutan karena berfungsi sebagai “*hole collector*”, mencegah rekombinasi pasangan elektron-hole yang terjadi pada semikonduktor utama. Dengan menangkap elektron dari pita konduksi (CB) semikonduktor, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memungkinkan lebih banyak hole tetap aktif di pita valensi (VB), sehingga meningkatkan pembentukan radikal hidroksil (•OH) yang sangat reaktif dalam degradasi zat warna.

Penelitian ini menawarkan strategi yang andal untuk mengembangkan semikonduktor BiVO<sub>4</sub> dengan *heterojunction* berupa CdS dan pengendapan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> guna mengoptimalkan kinerja fotoelektrokimia. Material yang dihasilkan dievaluasi melalui karakterisasi struktur, morfologi, dan sifat optik serta diaplikasikan untuk fotoelektrodegradasi zat warna metilen biru.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh metode deposisi *dip coating* dan *spin coating* terhadap pembentukan serta karakteristik lapis tipis BiVO<sub>4</sub> yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh modifikasi *heterojunction* CdS dan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada lapis tipis BiVO<sub>4</sub> terhadap karakteristik struktur, morfologi, optik, dan sifat fotoelektrokimia lapis tipis BiVO<sub>4</sub>?
3. Bagaimana pengaruh modifikasi lapis tipis BiVO<sub>4</sub> dengan *heterojunction* CdS dan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap efisiensi fotodegradasi zat warna metilen biru?

## 1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh metode deposisi *dip coating* dan *spin coating* terhadap pembentukan serta karakteristik lapis tipis BiVO<sub>4</sub> yang dihasilkan.
2. Menganalisis pengaruh modifikasi *heterojunction* CdS dan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap karakteristik struktur, morfologi, optik, dan sifat fotoelektrokimia lapis tipis BiVO<sub>4</sub>.
3. Mengevaluasi pengaruh pembentukan *heterojunction* CdS dan penambahan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap efisiensi fotodegradasi zat warna metilen biru pada lapis tipis BiVO<sub>4</sub>.

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan material fotoanoda berbasis BiVO<sub>4</sub> yang dimodifikasi dengan *heterojunction* CdS dan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk meningkatkan aktivitas fotoelektrokimia.
2. Menambah pemahaman ilmiah mengenai peran *heterojunction* CdS dan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam meningkatkan pemisahan pasangan elektron-hole, memperluas penyerapan cahaya, serta mempercepat transfer muatan pada lapis tipis BiVO<sub>4</sub>.
3. Memberikan data karakterisasi dan performa fotodegradasi dari sistem BiVO<sub>4</sub>/CdS/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dapat menjadi dasar pengembangan material fotoelektrokimia yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk aplikasi pengolahan limbah zat warna dan remediasi lingkungan.

## 1.5 Keaslian Penelitian

**Tabel 1. 1.** Keaslian penelitian

| No. | Jurnal                                                                                                                                                                                                                                    | Hasil                                                                                                                                           | Pengembangan                                                                                                                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | Xia, G., Xiao, S., Su, J., Zhou, H., Liu, Y. & Zhu, X. (2023). A dual-functional catalyst: wood-templated BiVO <sub>4</sub> -CdS for wood dye wastewater. <i>RSC Advances</i> .                                                           | Pembentukan <i>heterojunction</i> BiVO <sub>4</sub> /CdS berbentuk bulk/komposit untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik pada cahaya tampak. | Pembentukan <i>heterojunction</i> BiVO <sub>4</sub> /CdS dengan metode CBD berbentuk lapis tipis pada substrat FTO untuk meningkatkan aktivitas fotoelektrokatalitiknya. |
| 2   | Zhang, T., Wang, W., Jiang, X., Wang, H., He, Z.-H., Yang, Y., Wang, K., Liu, Z.-T. & Han, B. (2024). Fabricating CdS/Ag/BiVO <sub>4</sub> Z-heterojunction for solvent-free photocatalytic oxidation of amines. <i>Green Chemistry</i> . | Pembentukan <i>heterojunction</i> CdS skema Z untuk aplikasi oksidasi amina                                                                     | Pembentukan <i>heterojunction</i> BiVO <sub>4</sub> /CdS skema Z untuk aplikasi fotoelektrodegradasi limbah zat warna metilen biru                                       |
| 3   | Yang, J., Chao, M., Yao, R., Li, J. & Liu, G. (2026). Boosting charge separation and catalytic kinetics in BiVO <sub>4</sub> photoanodes via a coordinated                                                                                | Pembentukan BiVO <sub>4</sub> dengan kokatalis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /NiFeO <sub>x</sub> untuk aplikasi <i>water splitting</i>         | Pembentukan lapis tipis BiVO <sub>4</sub> hetrojunction CdS dan kokatalis Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> untuk aplikasi fotoelektrodegradasi                             |

|  |                                                                                                  |  |                                  |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------|
|  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /NiFeO <sub>x</sub> system.<br>Journal of Alloys and<br>Compounds |  | limbah zat warna<br>metilen biru |
|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------|

Berdasarkan Tabel 1.1, kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan material lapis tipis BiVO<sub>4</sub>/CdS/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dideposisikan pada substrat FTO, mengombinasikan heterojunction CdS dan kokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam satu sistem untuk meningkatkan pemisahan serta transfer muatan, yang kemudian diaplikasikan pada proses fotoelektrodegradasi metilen biru.