



APLIKASI FOTOKATALIS TiO_2 DAN ALTERNATIFNYA UNTUK DEGRADASI PEWARNA SINTETIS DALAM LIMBAH CAIR

Dui Yanto Rahman^{1*}, Rita Sulistyowati²

^{1,2}*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas PGRI Palembang*

*e-mail: duiyantorahmanmsi@gmail.com

ABSTRACT

Liquid waste containing synthetic dyes is a significant environmental problem, particularly in the textile industry, such as batik waste. Recent studies have shown the potential of TiO_2 photocatalysis in reducing color and Chemical Oxygen Demand (COD) in such waste. In addition to TiO_2 , ZnO nanoparticles and $\text{ZrO}_2\text{-TiO}_2$ composites have also been tested as alternative photocatalysts for the degradation of synthetic dyes. The use of immobilized TiO_2 nanoparticles on various substrates such as plastic sheets, hydrogels, or hybrid films has increased the efficiency of photocatalytic processes and allowed for the separation of photocatalysts from the waste after treatment. Furthermore, the combination of TiO_2 with additives such as Mg, Ag, and Fe has enhanced the photocatalytic performance in removing synthetic dyes from wastewater. The use of TiO_2 -based photocatalytic membranes also enables simultaneous filtration and degradation of pollutants in wastewater treatment. In addition to degrading synthetic dyes, TiO_2 photocatalysis has been successfully used to remove natural dyes like Congo red from industrial wastewater. Recent studies have also explored new synthesis methods to obtain TiO_2 photocatalysts with enhanced properties, such as TiO_2 nanocoating on nanocomposites or TiO_2 nanocoating on porous materials. Overall, these studies demonstrate that TiO_2 photocatalysis has great potential in liquid waste treatment, particularly in the degradation of synthetic dyes found in textile industry waste like batik waste.

Keywords: Photocatalysis, TiO_2 , Liquid Waste, Synthesis, Degradation

ABSTRAK

Limbah cair yang mengandung pewarna sintetis merupakan salah satu masalah lingkungan yang signifikan, terutama dalam industri tekstil seperti limbah batik. Penelitian-penelitian terkini telah menunjukkan potensi fotokatalis TiO_2 dalam mengurangi warna dan Chemical Oxygen Demand (COD) dalam limbah tersebut. Selain TiO_2 , nanopartikel ZnO dan komposit $\text{ZrO}_2\text{-TiO}_2$ juga telah diuji sebagai alternatif fotokatalis untuk degradasi pewarna sintetis. Penggunaan nanopartikel TiO_2 yang diimobilisasi pada berbagai substrat seperti lembaran plastik, hidrogel, atau film hibrida telah meningkatkan efisiensi proses fotokatalisis dan memungkinkan pemisahan

fotokatalis dari limbah setelah pengolahan. Selain itu, kombinasi TiO₂ dengan bahan tambahan seperti Mg, Ag, dan Fe telah meningkatkan kinerja fotokatalitik dalam menghilangkan pewarna sintetis dari air limbah. Penggunaan membran fotokatalitik berbasis TiO₂ juga memungkinkan filtrasi dan degradasi zat pencemar secara bersamaan dalam pengolahan air limbah. Selain degradasi pewarna sintetis, fotokatalis TiO₂ telah berhasil digunakan untuk menghilangkan zat pewarna alami seperti Congo red dari air limbah industri. Penelitian-penelitian terbaru juga telah menggali metode sintesis baru untuk memperoleh fotokatalis TiO₂ dengan sifat-sifat yang ditingkatkan, seperti nanolapisan TiO₂ pada nanokomposit atau nanolapisan TiO₂ pada bahan berpori. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini menunjukkan bahwa fotokatalis TiO₂ memiliki potensi yang besar dalam pengolahan limbah cair, khususnya dalam degradasi pewarna sintetis yang ditemukan dalam limbah industri tekstil seperti limbah batik.

Kata Kunci: fotokatalis, TiO₂, limbah cair, sintesis, degradasi

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber kehidupan bagi seluruh makhluk hidup terutama manusia. Kebutuhan manusia terhadap air semakin meningkat seiring bertambahnya populasi penduduk dunia (World Health Organization (WHO), 2019). Menurut laporan United Nations World Water Development Report 2021, total konsumsi air global pada tahun 2017 diperkirakan mencapai sekitar 4.600 km³ (kilometer kubik) per tahun. Ini termasuk penggunaan air di sektor domestik, industri, pertanian, dan lingkungan (United Nations Water, 2021). Secara rinci, sekitar 69% dari total konsumsi air global digunakan dalam sektor pertanian, terutama untuk irigasi tanaman. Sektor industri menggunakan sekitar 19% dari total konsumsi air, yang mencakup penggunaan air dalam proses produksi, pendinginan, dan berbagai kegiatan industri lainnya (UNESCO, 2021; World Wildlife Fund (WWF), 2021; Gleick, P. H., 2014). Sektor domestik, termasuk penggunaan air untuk air minum, kebersihan pribadi, dan kegiatan rumah tangga, menyumbang sekitar 12% dari total konsumsi air. Selain dikonsumsi, manusia juga membutuhkan air untuk kepentingan lain, contohnya seperti: mencuci, mandi, pertanian, peternakan

industri, pabrik dan sebagainya. Sehingga manusia memakai air yang sangat banyak untuk kehidupan sehari-hari (UNESCO, 2021; World Wildlife Fund (WWF), 2021; Gleick, P. H., 2014).

Tetapi sayangnya, ketersediaan air bersih yang dapat memenuhi kebutuhan hidup manusia untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya, menghadapi permasalahan berupa semakin meningkatnya permintaan air bersih dan semakin sulitnya mendapatkan air bersih disebabkan oleh beberapa faktor di antaranya : jumlah penduduk manusia yang semakin pesat, urbanisasi, kompetisi manusia, perubahan iklim global, penggunaan air yang berlebihan, faktor lingkungan dan terkontaminasinya air yang disebabkan aktifitas manusia seperti : membuang sampah atau limbah rumah tangga ke sungai, menggunakan peledak untuk menangkap ikan, memakai detergen dalam mencuci, pembuangan limbah industri tekstil dan lain-lain (United Nations, 2018).

Di antara faktor-faktor tersebut, pencemaran air yang disebabkan oleh berbagai aktifitas manusia tersebut menjadi salah satu faktor yang mendapat banyak perhatian pada saat ini karena

dapat berdampak buruk terhadap kesehatan manusia (World Health Organization (WHO), 2018). Pencemaran tersebut dapat menyebabkan penyakit hepatitis, kolera, giardiasis, dan blue baby syndrome (methemoglobinemia). Disamping itu, pencemaran air juga dapat berdampak terhadap kehidupan hewan dan tumbuhan yang menjadi sumber pangan bagi manusia (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2021; Hutton, G., & Haller, L., 2004)

Salah satu kandungan limbah yang ditemukan di dalam pencemaran air adalah limbah organik hasil pewarnaan tekstil. Limbah buangan yang apabila tidak diolah terlebih dahulu akan sangat berbahaya bagi lingkungan dan ekosistem terutama air dan secara langsung akan berdampak pada keseterdian air bersih (Behind, L. N. O., 2019; United Nations, 2015). Limbah tekstil memiliki ciri khas warna yang kuat walaupun konsentrasinya belum tinggi, menghalangi masuknya cahaya ke dalam air, beracun dan karsinogenik bila terkonsumsi (Kumari dkk., 2023).

Menyadari pentingnya air bersih untuk kelangsungan hidup manusia, berbagai usaha untuk menjaga keseterdian air bersih terus dilakukan. Berbagai riset termasuk pengolahan air limbah tekstil terus dikembangkan termasuk pengolahan air limbah untuk mengatasi krisis air bersih. Berbagai metode pengolahan limbah organik telah dikembangkan diantaranya biodegradasi, penggunaan klor, penggunaan karbon aktif, penyaringan atau filtrasi, dan sebagainya (Kumari dkk., 2023). Metode-metode tersebut masih memiliki beberapa kelemahan di antaranya menghasilkan endapan (residu) yang bisa berbahaya bagi tubuh dan lingkungan, tidak sederhana karena memerlukan penanganan lanjutan dan berbiaya mahal karena harus menyediakan dan konsumsi energi yang tinggi (Kumari dkk., 2023).

Mengatasi permasalahan tersebut, riset terus dikembangkan dengan

menggunakan Advanced oxidation process (AOP) yang dianggap mempunyai inovasi yang cukup baik dan menjanjikan bagi penelitian selanjutnya (Ma, D., dkk., 2021). AOP menggunakan radikal hidroksil. Beberapa metode AOP yang dikembangkan adalah : proses fotokatalis, Fenton (reaksi antara Fe dengan H₂O₂), penyinaran UV, dan penggunaan ozon (Mishra, N. S., dkk., 2017). Proses fotokatalis terpilih menjadi metode alternatif dalam pengolahan air limbah organik. Hal ini disebabkan karena metode ini memiliki proses yang ramah lingkungan, sederhana karena memanfaatkan sinar matahari sebagai media untuk mengaktifkan katalis, murah, tidak menghasilkan endapan yang berbahaya dan mengubah polutan menjadi CO₂ dan H₂O (Al-Nuaim, M. A., *et al.*, 2023).

Dalam proses fotokatalis, beberapa material yang umumnya digunakan diantaranya TiO₂, ZnO, Fe₂O₃, CdS, GaP, ZnS, dan WO₃ (Gupta, S. M., & Tripathi, M., 2012 ; Tahir, M. B., dkk., 2020). Dari berbagai macam material semikonduktor, TiO₂ dipilih dikarenakan stabilitas kimia yang tinggi, tahan terhadap korosi, oksidasi, dan degradasi oleh zat kimia agresif, efisiensi fotokatalisis yang tinggi, aman dan tidak beracun, ketersediaan dan biaya murah, dan stabilitas fisik yang baik, (Fujishima, A., & Zhang, X., 2006; Schneider, J., dkk., 2016). Titanium dioksida, disebut juga titanium (IV) oksida atau titania, adalah oksida titanium yang muncul secara alami dengan rumus kimia TiO₂. Dengan dibantu pencahayaan matahari, TiO₂ bisa menjernihkan air kotor seperti air limbah industri.

Tujuan penulisan paper review ini adalah memberikan pemahaman menyeluruh tentang penggunaan fotokatalisis berbasis TiO₂ dalam pengolahan air limbah. Paper ini akan menggambarkan prinsip kerja fotokatalisis, mekanisme reaksi yang terlibat, dan karakteristik bahan TiO₂ sebagai katalis. Menyajikan hasil penelitian terkini yang

telah dilakukan dalam pengolahan air limbah menggunakan fotokatalis TiO₂. Paper ini akan membahas berbagai studi kasus yang menunjukkan efektivitas dan aplikabilitas fotokatalis TiO₂ dalam menghilangkan berbagai polutan dalam air limbah, termasuk pewarna dan senyawa organik.

BAHAN DAN METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ini melibatkan pencarian dan analisis terhadap studi-studi terkait yang telah dilakukan sebelumnya. Pencarian literatur melalui basis data akademik dan jurnal ilmiah untuk mengidentifikasi penelitian-penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya. Artikel-artikel yang dipilih kemudian dianalisis secara mendalam untuk mengekstrak informasi tentang metode penggunaan fotokatalis TiO₂ dan alternatifnya dalam degradasi pewarna sintesis dalam limbah cair. Informasi yang diperoleh dari artikel-artikel terpilih disusun dan disintesis menjadi bagian-bagian yang terkait dengan penggunaan fotokatalis TiO₂ dan alternatifnya dalam degradasi pewarna sintesis. Hal ini dilakukan untuk membentuk struktur artikel yang koheren dan terorganisir. Informasi yang disintesis kemudian digunakan sebagai dasar untuk menulis artikel review ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme penjernihan air limbah oleh TiO₂ dalam fotokatalitik

Mekanisme penjernihan air limbah industri menggunakan TiO₂ dalam fotokatalitik melibatkan serangkaian proses reaksi fotokimia yang terjadi pada permukaan TiO₂ ketika terkena sinar matahari atau radiasi UV. Berikut adalah gambaran umum tentang mekanisme tersebut:

1. Adsorpsi: Partikel TiO₂ berinteraksi dengan senyawa polutan di dalam air

limbah dan menjaturnya pada permukaan mereka melalui interaksi fisik atau kimia.

2. Pembentukan pasangan elektron-holes: Saat partikel TiO₂ terkena sinar matahari atau radiasi UV, elektron-elektron di daerah valensi terangkat ke daerah konduksi, membentuk pasangan elektron-holes (celah kosong dalam daerah valensi).

3. Reaksi oksidasi: Holes yang dihasilkan di permukaan TiO₂ sangat reaktif dan dapat bereaksi dengan senyawa organik terjerap di permukaan atau terlarut dalam air limbah. Ini menghasilkan proses oksidasi yang mengoksidasi senyawa organik menjadi produk yang lebih sederhana seperti karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O).

4. Reaksi reduksi: Elektron yang dilepaskan dari partikel TiO₂ dapat terlibat dalam reaksi reduksi dengan senyawa oksidator seperti oksigen (O₂) terlarut dalam air limbah. Ini dapat membantu mengoksidasi senyawa organik yang sulit teroksidasi.

5. Pembentukan radikal hidroksil (•OH): Reaksi antara holes dengan molekul air atau ion hidroksida (OH⁻) yang ada dalam air limbah menghasilkan pembentukan radikal hidroksil yang sangat reaktif (•OH). Radikal ini dapat merusak ikatan kimia senyawa organik yang terlarut dalam air limbah, mengakibatkan degradasi dan mineralisasi senyawa tersebut.

Proses-proses ini berlangsung secara berulang-ulang saat air limbah melewati media fotokatalitik TiO₂, sehingga menghasilkan penjernihan air limbah dengan menghilangkan senyawa organik yang terkontaminasi. Namun, penting untuk memperhatikan faktor-faktor seperti konsentrasi polutan, ukuran partikel TiO₂, intensitas cahaya, pH, dan lain-lain (Al-Mamun, M. R., dkk., 2019)

Beberapa penelitian penjernihan air limbah oleh TiO₂ dalam fotokatalitik

Studi yang berjudul "Removal of Methylene Blue (MB) Dye from Textile

Synthetic Wastewater using TiO₂/UV-C Photocatalytic Process" yang dilakukan oleh Ehrampoush dkk. tahun 2010 membahas tentang penghilangan pewarna Methylene Blue (MB) dari air limbah sintetik tekstil menggunakan proses fotokatalitik TiO₂/UV-C. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan proses fotokatalitik TiO₂/UV-C dalam menghilangkan pewarna MB dari air limbah sintetik yang berasal dari industri tekstil. Metode ini melibatkan penggunaan fotokatalisator TiO₂ dan sinar ultraviolet tipe C (UV-C) untuk menghasilkan reaksi oksidasi fotokatalitik yang dapat memecah pewarna MB menjadi produk yang lebih aman. Dalam penelitian ini, sampel air limbah sintetik yang mengandung pewarna MB diuji menggunakan reaktor fotokatalitik yang mengandung TiO₂ dan terpapar sinar UV-C. Parameter seperti waktu reaksi, konsentrasi pewarna, dan dosis TiO₂ dievaluasi untuk menentukan efisiensi penghilangan pewarna MB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fotokatalitik TiO₂/UV-C efektif dalam menghilangkan pewarna MB dari air limbah sintetik tekstil. Efisiensi penghilangan pewarna MB meningkat dengan peningkatan dosis TiO₂ dan waktu reaksi yang lebih lama. Penggunaan sinar UV-C juga berkontribusi pada peningkatan efisiensi proses fotokatalisis. Studi ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah tekstil yang ramah lingkungan dengan menggunakan proses fotokatalisis TiO₂/UV-C. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan metode yang lebih efektif dalam mengatasi pencemaran pewarna dalam industri tekstil dan mempromosikan praktik produksi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Ehrampoush, M. H., dkk, 2010).

Sebuah penelitian yang berjudul "Degradasi Fotokatalitik Pewarna Tekstil dengan Menggunakan Nanopartikel Titanium Dioksida yang Didukung oleh

Hidrogel" yang ditulis oleh Harikumar dkk. pada tahun 2013 dan dipublikasikan dalam Journal of Environmental Engineering and Ecological Science. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki penggunaan nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) yang didukung oleh hidrogel untuk menguraikan pewarna tekstil secara fotokatalitik. Pewarna tekstil adalah zat pencemar lingkungan yang signifikan karena sifatnya yang bertahan lama dan potensial bahayanya terhadap ekosistem. Dalam penelitian ini, hidrogel digunakan sebagai matriks pendukung untuk nanopartikel TiO₂. Hidrogel memberikan lingkungan yang stabil dan terjebak bagi nanopartikel, meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Proses fotokatalisis melibatkan penyerapan energi cahaya oleh nanopartikel TiO₂, yang menghasilkan spesies reaktif yang dapat memecah molekul pewarna. Eksperimen dilakukan dengan mengekspos hidrogel yang didukung oleh nanopartikel TiO₂ terhadap sinar matahari simulasi atau sinar UV, yang mensimulasikan radiasi matahari. Efisiensi degradasi berbagai pewarna tekstil dievaluasi dengan memantau konsentrasi pewarna seiring berjalannya waktu. Pengaruh parameter seperti konsentrasi awal pewarna, jumlah katalis, dan pH terhadap proses fotokatalitik juga diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel TiO₂ yang didukung oleh hidrogel menunjukkan degradasi fotokatalitik yang efektif terhadap pewarna tekstil. Matriks hidrogel meningkatkan stabilitas dan dapat digunakan kembali untuk katalis, sementara nanopartikel TiO₂ memfasilitasi proses degradasi. Efisiensi fotokatalisis dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti konsentrasi pewarna dan jumlah katalis, dengan konsentrasi yang lebih tinggi dan peningkatan jumlah katalis menghasilkan peningkatan degradasi (Harikumar, P. S., dkk., 2013).

Dalam penelitian yang berjudul "Treatment of Aerobic Treated Palm Oil Mill Effluent (AT-POME) by Using TiO₂ Photocatalytic Process" yang dilakukan

oleh Tan dkk pada tahun 2014, peneliti melakukan studi tentang pengolahan limbah cair kelapa sawit yang telah mengalami perlakuan aerobik (AT-POME) menggunakan proses fotokatalisis TiO₂. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji efektivitas proses fotokatalisis TiO₂ dalam mengolah limbah cair AT-POME. AT-POME merupakan limbah cair yang dihasilkan dari industri kelapa sawit setelah melalui proses pengolahan aerobik untuk mengurangi kandungan organik dan zat-zat berbahaya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan penggunaan fotokatalisator TiO₂ untuk mendegradasi komponen organik dalam limbah cair AT-POME. Percobaan dilakukan dengan mengekspos limbah cair AT-POME yang telah dicampur dengan TiO₂ di bawah sinar matahari atau lampu UV. Selama eksperimen, peneliti memonitor perubahan kualitas air limbah seperti kandungan BOD (Biochemical Oxygen Demand) dan COD (Chemical Oxygen Demand). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fotokatalisis menggunakan TiO₂ efektif dalam mengolah limbah cair AT-POME. Penggunaan sinar matahari atau lampu UV mampu meningkatkan degradasi komponen organik dalam limbah cair, yang tercermin dari penurunan nilai BOD dan COD. Hal ini menunjukkan potensi aplikasi fotokatalisis TiO₂ dalam pengolahan limbah cair industri kelapa sawit. Studi ini memberikan wawasan tentang penggunaan proses fotokatalisis TiO₂ dalam pengolahan limbah cair AT-POME. Penelitian ini dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam mengatasi masalah limbah cair yang dihasilkan oleh industri kelapa sawit (Tan, Y. H., dkk., 2014).

Studi yang berjudul "Application of TiO₂ Nanoparticles Photocatalyst to Degrade Synthetic Dye Wastewater Under Solar Irradiation" ditulis oleh Agustina dkk, tahun 2015 dan diterbitkan dalam jurnal *Contemporary Engineering*

Sciences. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan katalis fotokatalitik berupa nanopartikel TiO₂ dalam degradasi air limbah pewarna sintesis di bawah radiasi matahari. Tujuan utamanya adalah untuk menguji efektivitas katalis TiO₂ dalam menghilangkan zat pewarna organik dari air limbah menggunakan energi matahari sebagai sumber cahaya. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode deposisi larutan basah untuk mempersiapkan nanopartikel TiO₂. Selanjutnya, mereka mengujinya dalam proses degradasi air limbah pewarna sintesis di bawah paparan sinar matahari (Agustina dkk., 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis nanopartikel TiO₂ mampu menghilangkan zat pewarna organik secara signifikan dalam air limbah pewarna sintesis di bawah radiasi matahari. Proses fotokatalitik melibatkan penyerapan cahaya oleh TiO₂ yang menghasilkan pasangan elektron-hol. Pasangan ini berpartisipasi dalam reaksi oksidasi yang menguraikan zat pewarna menjadi produk yang lebih aman dan tidak berbahaya. Penelitian ini memberikan wawasan tentang aplikasi katalis fotokatalitik TiO₂ dalam pengolahan air limbah pewarna sintesis menggunakan energi matahari. Pemanfaatan energi matahari sebagai sumber cahaya memiliki keuntungan dalam hal ketersediaan yang melimpah dan ramah lingkungan. Penggunaan katalis fotokatalitik TiO₂ ini menawarkan potensi sebagai solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam pengolahan air limbah pewarna sintesis di masa depan (Agustina dkk., 2015)

Studi yang dilakukan oleh Chantes dkk., pada tahun 2015 dengan judul "A Comparison Study of Photocatalytic Activity of TiO₂ and ZnO on the Degradation of Real Batik Wastewater" menyajikan perbandingan aktivitas fotokatalitik antara TiO₂ dan ZnO dalam degradasi air limbah batik yang nyata. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan efektivitas kedua fotokatalisator, yaitu TiO₂ dan ZnO, dalam

menghilangkan pencemar organik dalam air limbah batik sebenarnya. Metode fotokatalisis digunakan dengan menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi untuk mengaktifkan fotokatalisator dan menghasilkan reaksi oksidasi fotokatalitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua fotokatalisator, TiO₂ dan ZnO, memiliki potensi untuk mendegradasi pencemar organik dalam air limbah batik. Namun, TiO₂ menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam menghilangkan zat warna dan bahan organik dari air limbah batik dibandingkan dengan ZnO. Hal ini dapat disimpulkan dari tingkat degradasi yang lebih tinggi yang dicapai oleh TiO₂ dalam mengurangi parameter-parameter kualitas air, seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan konsentrasi zat warna. Studi ini memberikan kontribusi dalam memahami peran fotokatalisator dalam pengolahan air limbah batik dan memberikan pemahaman tentang perbandingan aktivitas fotokatalitik antara TiO₂ dan ZnO. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan teknologi fotokatalisis yang lebih efektif dalam mengatasi masalah limbah batik dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Namun, penting untuk dicatat bahwa studi ini dilakukan dalam skala laboratorium dan penelitian lebih lanjut mungkin diperlukan untuk menerapkan temuan ini dalam skala industri yang lebih besar (Chantes, P., dkk., 2015).

Studi yang dilakukan oleh Permadani et al. (2016) membahas penggunaan komposit ZrO₂-TiO₂ yang dihasilkan dari pasir zirkon lokal sebagai fotokatalis untuk degradasi metilena biru dalam air limbah pewarnaan batik tunggal. Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektivitas komposit ZrO₂-TiO₂ dalam menghilangkan metilena biru, zat pewarna yang umum digunakan dalam industri batik, dari air limbah. Para peneliti melakukan serangkaian eksperimen untuk mengevaluasi kemampuan fotokatalitik komposit ZrO₂-TiO₂ dalam degradasi

metilena biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit tersebut efektif dalam mengurangi konsentrasi metilena biru dalam air limbah, menunjukkan potensi aplikasinya dalam pengolahan air limbah dari industri batik. Studi ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan fotokatalisis untuk pemurnian air limbah pewarnaan batik dan pemanfaatan pasir zirkon lokal sebagai bahan baku fotokatalis (Permadani, I., dkk., 2016).

Dalam penelitian yang berjudul "Removal of methylene blue dye from aqueous solution using a newly synthesized TiO₂-SiO₂ photocatalyst in the presence of active chlorine species" yang dilakukan oleh Joseph dan Elilarasi pada bulan Juni 2017, penulis bertujuan untuk menghilangkan pewarna metilen biru dari larutan air menggunakan fotokatalis TiO₂-SiO₂ yang baru disintesis dalam keberadaan spesies klorin aktif. Metode sol-gel digunakan untuk mensintesis fotokatalis TiO₂-SiO₂ dengan proporsi tertentu antara TiO₂ dan SiO₂. Selanjutnya, fotokatalis yang disintesis diuji untuk melihat efisiensi penghilangan metilen biru dalam larutan air dengan paparan sinar UV dan keberadaan spesies klorin aktif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalis TiO₂-SiO₂ yang baru disintesis mampu menghilangkan metilen biru dari larutan air dengan efisiensi yang tinggi. Keberadaan spesies klorin aktif meningkatkan aktivitas fotokatalisis dan mempercepat degradasi metilen biru. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan fotokatalis yang efektif untuk penghilangan zat pewarna organik, seperti metilen biru, dalam air. Penggunaan kombinasi TiO₂ dan SiO₂ dalam fotokatalis TiO₂-SiO₂ dapat meningkatkan efisiensi fotokatalisis dan memberikan alternatif yang berpotensi untuk pengolahan air yang tercemar oleh pewarna organik (Joseph, C. G., & Elilarasi, L., 2017).

Sari dkk. melakukan penelitian dengan tujuan untuk menguji kemampuan

katalis TiO₂ dalam mendegradasi warna dan COD (Chemical Oxygen Demand) dalam proses fotokatalitik pewarna Procion Red di bawah radiasi matahari. Procion Red merupakan pewarna sintetis yang umum digunakan dalam industri tekstil dan memiliki efek negatif terhadap lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan katalis TiO₂ yang diaplikasikan pada substrat dan melakukan percobaan fotokatalisis menggunakan radiasi matahari. Warna dan COD larutan *Procion Red* diukur sebelum dan setelah perlakuan fotokatalitik untuk mengevaluasi efektivitas degradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis TiO₂ mampu menghasilkan degradasi warna dan pengurangan COD yang signifikan dalam larutan Procion Red di bawah radiasi matahari. Proses fotokatalisis yang terjadi melibatkan penyerapan cahaya oleh TiO₂, yang menghasilkan pasangan elektron-hol yang berpartisipasi dalam reaksi oksidasi yang menguraikan pewarna menjadi produk yang lebih aman dan tidak berbahaya. Studi ini memberikan bukti bahwa katalis TiO₂ dapat digunakan secara efektif dalam pengolahan air limbah pewarna sintetis di bawah radiasi matahari. Penggunaan energi matahari sebagai sumber cahaya dalam proses fotokatalisis menawarkan keuntungan dalam hal ketersediaan yang melimpah dan ramah lingkungan. (Sari, M. I., dkk., 2017)

Dalam artikel "Batik Wastewater Treatment Using TiO₂ Nanoparticles Coated on the Surface of Plastic Sheet" yang ditulis oleh Sutisna dkk., 2017 dilakukan penelitian untuk mengatasi masalah pengolahan air limbah dari industri batik menggunakan nanopartikel TiO₂ yang dilapisi pada permukaan lembaran plastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi dampak negatif dari limbah cair batik terhadap lingkungan dan mencari solusi yang efektif untuk pengolahan air limbah tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini

adalah dengan menyiapkan lembaran plastik yang dilapisi dengan lapisan tipis nanopartikel TiO₂. Lembaran plastik ini kemudian digunakan untuk mengolah air limbah batik dengan menggunakan fotokatalisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lembaran plastik yang dilapisi dengan nanopartikel TiO₂ dapat secara efektif menghilangkan zat pewarna organik dari air limbah batik. Proses fotokatalisis terjadi ketika nanopartikel TiO₂ menyerap sinar matahari dan menghasilkan pasangan elektron-hol yang berperan dalam menguraikan zat pewarna organik menjadi produk yang lebih aman dan tidak berbahaya. Pada kondisi eksperimen yang dilakukan, efisiensi penghilangan zat pewarna organik mencapai tingkat yang signifikan, menunjukkan potensi penggunaan metode ini dalam pengolahan air limbah batik secara efisien (Sutisna dkk., 2017).

Penggunaan lembaran plastik yang dilapisi dengan nanopartikel TiO₂ memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemudahan aplikasi, biaya yang relatif rendah, dan dapat digunakan berulang kali. Metode ini juga memiliki potensi untuk diterapkan dalam skala industri batik sebagai alternatif yang ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif limbah cair batik terhadap lingkungan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode pengolahan air limbah yang efektif dan ramah lingkungan untuk industri batik. Dengan menggunakan fotokatalisis menggunakan nanopartikel TiO₂ yang dilapisi pada permukaan plastik, zat pewarna organik dalam air limbah batik dapat diuraikan menjadi produk yang lebih aman sebelum dibuang ke lingkungan. (Sutisna dkk., 2017)

Telah dilakukan penelitian tahun 2017 mengenai pengembangan membran fotokatalitik berbasis Ag-TiO₂ nanosheet untuk pengolahan air menggunakan energi surya. Tujuan dari penelitian ini adalah menciptakan membran fotokatalitik yang efisien dalam menghilangkan polutan dari

air dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi. Membran fotokatalitik ini menggunakan nanosheet Ag- TiO_2 sebagai fotokatalis yang terintegrasi dalam struktur membran untuk meningkatkan efisiensi degradasi polutan. Metode yang digunakan melibatkan sintesis nanosheet Ag- TiO_2 dan penggabungannya ke dalam membran fotokatalitik melalui proses pencelupan dan pengeringan. Setelah pembuatan membran, kinerja fotokatalisis diuji dalam penghilangan polutan dari air menggunakan sinar matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran fotokatalitik yang mengandung nanosheet Ag- TiO_2 efektif dalam menghilangkan polutan dari air. Nanosheet Ag- TiO_2 membantu meningkatkan efisiensi fotokatalisis dan mempercepat degradasi polutan dalam air. Penggunaan energi surya sebagai sumber cahaya memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan dalam pengolahan air. Studi ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi membran fotokatalitik untuk pengolahan air. Membran fotokatalitik berbasis nanosheet Ag- TiO_2 memiliki potensi aplikasi yang luas dalam penghilangan polutan dari air dengan memanfaatkan energi surya (Nair, A. K., & Jagadeesh Babu, P. E., 2017)

Dalam penelitian yang berjudul "Photocatalytic Degradation of Congo Red Dye Based on Titanium Dioxide Using Solar and UV Lamp" yang dilakukan oleh Harun dkk. tahun 2018 yang melakukan studi tentang degradasi pewarna Congo Red menggunakan fotokatalisator titanium dioksida (TiO_2) dengan menggunakan sinar matahari dan lampu UV. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi efektivitas fotokatalisis TiO_2 dalam mendegradasi pewarna Congo Red menggunakan sumber energi sinar matahari dan lampu UV. Penulis melakukan serangkaian percobaan di laboratorium untuk menguji aktivitas fotokatalisis TiO_2 dalam menghilangkan pewarna dari larutan Congo Red. Metode

yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pemaparan larutan Congo Red yang mengandung TiO_2 di bawah sinar matahari dan lampu UV selama periode waktu tertentu. Selama eksperimen, penulis mengamati perubahan warna larutan dan menganalisis tingkat degradasi pewarna berdasarkan pengukuran absorbansi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalisis TiO_2 efektif dalam mendegradasi pewarna Congo Red baik dengan menggunakan sinar matahari maupun lampu UV. Kinerja degradasi lebih baik ketika menggunakan sinar matahari dibandingkan dengan lampu UV. Hal ini menunjukkan potensi penggunaan energi matahari sebagai sumber energi yang ramah lingkungan untuk fotokatalisis dalam pengolahan air limbah (Harun, N. H., dkk., 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Kiran dkk. 2018 dengan tujuan untuk mengevaluasi penggunaan titanium dioksida (TiO_2) dalam proses fotokatalisis untuk pengolahan air limbah tekstil yang mengandung pewarna dispersi. Air limbah dari industri tekstil sering mengandung pewarna dispersi yang sulit dihilangkan secara konvensional dan dapat mencemari lingkungan. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan TiO_2 sebagai katalis fotokatalitik dalam proses pengolahan air limbah. Proses fotokatalisis melibatkan penyerapan cahaya oleh TiO_2 yang menghasilkan pasangan elektron-hol. Pasangan ini berperan dalam menguraikan pewarna dispersi menjadi produk yang lebih aman dan tidak berbahaya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan air limbah tekstil yang mengandung pewarna dispersi dan mencampurkannya dengan TiO_2 . Campuran ini kemudian diuji menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi untuk memicu reaksi fotokatalisis. Sampel air limbah diambil sebelum dan setelah proses fotokatalisis untuk mengevaluasi efisiensi penghilangan pewarna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan TiO_2 dalam proses fotokatalisis efektif dalam menghilangkan

pewarna dispersi dalam air limbah tekstil. Efisiensi penghilangan pewarna bergantung pada faktor-faktor seperti dosis TiO₂, waktu pencahayaan, dan konsentrasi pewarna dalam air limbah. Studi ini memberikan bukti bahwa fotokatalisis menggunakan TiO₂ dapat menjadi metode yang efektif untuk mengatasi pencemaran pewarna dispersi dalam air limbah industri tekstil. Penggunaan metode ini dapat membantu mengurangi dampak negatif industri tekstil terhadap lingkungan dan memberikan solusi yang ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah (Kiran, S., dkk., 2018)

Penelitian yang dilakukan oleh Sirait pada tahun 2018 dengan judul "Cleaner Production Options for Reducing Industrial Waste: The Case of Batik Industry in Malang, East Java-Indonesia" merupakan kontribusi penting dalam upaya mengurangi limbah industri dan mempromosikan praktik produksi yang lebih bersih di industri batik. Studi ini fokus pada industri batik yang berlokasi di Malang, Jawa Timur, Indonesia, yang dikenal memiliki dampak lingkungan yang signifikan akibat limbah yang dihasilkan. Penelitian menggunakan pendekatan studi kasus dengan mengumpulkan data melalui wawancara, observasi, dan pengambilan sampel limbah dari bengkel batik. Data yang terkumpul dianalisis untuk mengidentifikasi sumber dan jenis limbah yang dihasilkan serta untuk mengusulkan opsi produksi yang lebih bersih. Hasil penelitian menunjukkan beberapa opsi produksi yang lebih bersih yang dapat diterapkan dalam industri batik untuk mengurangi generasi limbah dan mendorong praktik berkelanjutan. Opsi-opsi tersebut meliputi penggunaan pewarna dan bahan kimia ramah lingkungan, strategi pengelolaan air yang efisien, pemilahan dan daur ulang limbah, serta penggunaan sumber energi terbarukan. Penelitian ini menekankan pentingnya peningkatan kesadaran para pemangku kepentingan industri batik tentang dampak lingkungan dari generasi

limbah dan manfaat potensial yang dapat diperoleh melalui penerapan praktik produksi yang lebih bersih. Studi ini juga menyoroti perlunya kolaborasi antara pelaku industri, lembaga pemerintah, dan pemangku kepentingan lainnya untuk mendorong praktik pengelolaan limbah yang berkelanjutan di industri batik. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan berharga mengenai opsi produksi yang lebih bersih yang dapat diadopsi untuk mengurangi dampak lingkungan dari generasi limbah industri batik. Penelitian ini berkontribusi pada upaya yang sedang dilakukan untuk mempromosikan praktik industri yang berkelanjutan dan mengurangi jejak lingkungan dari industri batik di Malang, Jawa Timur, Indonesia (Sirait, M. 2018).

Dalam penelitian yang berjudul "Photocatalyst Based on TiO₂ and Its Application in Organic Wastewater Treatment Using Simple Spray Method" yang dilakukan oleh Utami, Rahman, Margareta, dan Abdullah pada bulan April 2019, penulis memfokuskan pada pengembangan fotokatalis berbasis TiO₂ dan aplikasinya dalam pengolahan air limbah organik menggunakan metode semprot sederhana. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan fotokatalis berbasis TiO₂ yang efektif dalam pengolahan air limbah organik. Metode semprot sederhana digunakan untuk menghasilkan lapisan tipis TiO₂ pada substrat yang digunakan dalam pengolahan air limbah. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode semprot sederhana untuk menghasilkan lapisan tipis TiO₂ pada substrat yang dipilih. Sampel fotokatalis yang dihasilkan kemudian diuji untuk melihat efektivitasnya dalam pengolahan air limbah organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fotokatalis berbasis TiO₂ yang dihasilkan menggunakan metode semprot sederhana mampu mengurangi kontaminan dalam air limbah organik. Proses fotokatalisis yang terjadi melibatkan interaksi antara TiO₂ dan cahaya untuk menghasilkan reaksi

oksidasi yang menguraikan kontaminan menjadi senyawa yang lebih aman. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan metode pengolahan air limbah organik yang efektif menggunakan fotokatalis berbasis TiO₂. Metode semprot sederhana yang digunakan dalam penelitian ini menawarkan potensi untuk diterapkan dalam skala industri sebagai solusi yang efisien dan praktis dalam pengolahan air limbah organik (Utami, F. D., dkk., 2019)

Penelitian yang berjudul "Immobilisasi TiO₂ pada Plastik Transparan dan Penerapannya dalam Pengolahan Air Limbah Melalui Fotokatalisis" yang ditulis oleh Utami dkk tahun 2019, yang mengembangkan metode efektif dalam pengolahan air limbah menggunakan fotokatalisis dengan mengimobilisasi TiO₂ pada plastik transparan. Metode ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi fotokatalisis dan memberikan solusi yang ramah lingkungan dalam pengolahan air limbah. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan teknik sol-gel elektrokimia untuk membentuk lapisan TiO₂ yang terikat erat pada permukaan plastik transparan. Sampel plastik yang dilapisi dengan TiO₂ kemudian diuji untuk mengamati aktivitas fotokatalisisnya dalam pengolahan air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa immobilisasi TiO₂ pada plastik transparan berhasil dilakukan. Sampel plastik yang diimobilisasi menunjukkan aktivitas fotokatalisis yang signifikan dalam pengolahan air limbah. Proses fotokatalisis melibatkan penyerapan cahaya oleh TiO₂ yang menghasilkan pasangan elektron-hole. Pasangan ini berperan dalam menguraikan kontaminan dalam air limbah menjadi produk yang aman dan tidak berbahaya. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi fotokatalisis, seperti dosis TiO₂, waktu pencahayaan, dan konsentrasi zat pencemar dalam air limbah. Temuan ini memberikan wawasan penting dalam

pengembangan teknik fotokatalisis yang lebih efektif dalam pengolahan air limbah. Studi ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang ramah lingkungan dengan menggunakan fotokatalisis menggunakan TiO₂ yang diimobilisasi pada plastik transparan. Metode ini memiliki potensi untuk diterapkan dalam skala industri sebagai solusi yang efisien dan praktis dalam pengolahan air limbah (Utami, F.D., dkk., 2019).

Penelitian oleh Kanakaraju dkk pada tahun 2019 tentang pengembangan fotokatalis berbasis titania yang didoping dengan besi (Fe) dan aplikasinya dalam degradasi metil oranye. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik titania dengan melakukan doping besi ke dalam strukturnya. Metode sol-gel digunakan untuk mensintesis fotokatalis berbasis titania yang didoping dengan besi, dan kemudian sampel yang dihasilkan diuji untuk melihat kemampuannya dalam degradasi metil oranye. Hasil penelitian menunjukkan bahwa doping besi pada fotokatalis titania mampu meningkatkan efisiensi degradasi metil oranye. Dengan penambahan besi, fotokatalis menunjukkan peningkatan dalam penyerapan cahaya UV-Vis, yang mengarah pada peningkatan generasi pasangan elektron-hole dan reaksi oksidasi yang lebih efisien. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan fotokatalis yang lebih efektif untuk degradasi zat pewarna organik. Doping besi pada titania menunjukkan potensi untuk meningkatkan aktivitas fotokatalitik dan menghasilkan hasil yang lebih baik dalam pengolahan air limbah yang mengandung metil oranye (Kanakaraju, D., dkk., 2019).

Ounas dkk. melakukan riset dengan melakukan immobilisasi TiO₂ ke dalam poli metil metakrilat (PMMA) sebagai film hibrida untuk degradasi fotokatalitik metilen biru. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan film hibrida yang menggabungkan sifat fotokatalitik TiO₂

dengan sifat mekanik dan termal PMMA. Metode deposisi spin-coating digunakan untuk menghasilkan film hibrida TiO₂-PMMA, dan kemudian film yang dihasilkan diuji untuk melihat aktivitas fotokatalitiknya dalam degradasi metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa film hibrida TiO₂-PMMA berhasil dihasilkan dengan sukses. Film ini menunjukkan efisiensi degradasi yang signifikan terhadap metilen biru di bawah paparan sinar UV. Immobilisasi TiO₂ dalam matriks PMMA meningkatkan stabilitas fotokatalitik dan memungkinkan penggunaan yang lebih praktis dalam aplikasi pengolahan air limbah. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan film hibrida yang efektif untuk degradasi fotokatalitik zat pewarna organik. Kombinasi antara sifat fotokatalitik TiO₂ dan sifat mekanik serta termal PMMA membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas dalam pengolahan air limbah dan perlindungan lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan wawasan baru dalam pengembangan film hibrida berbasis TiO₂-PMMA untuk degradasi zat pewarna organik, seperti metilen biru, dan memberikan alternatif yang berpotensi untuk pengolahan air limbah yang efisien dan ramah lingkungan (Ounas, O., dkk., 2020).

Dalam penelitian yang berjudul "Synthesis of TiO₂/GO nanocomposite for Methylene Blue Degradation" yang dilakukan oleh Kasmiarno, Floresyona, Raissa, dan Pambudi pada bulan April 2020, penulis fokus pada sintesis nanokomposit TiO₂/GO untuk degradasi metilen biru. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan nanokomposit TiO₂/GO sebagai katalis yang efisien dalam degradasi metilen biru. Metode sol-gel digunakan untuk menghasilkan nanokomposit dengan memadukan partikel TiO₂ dan graphene oxide (GO). Selanjutnya, nanokomposit yang dihasilkan diuji untuk melihat aktivitas katalitiknya dalam degradasi metilen biru.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanokomposit TiO₂/GO berhasil disintesis dengan sukses. Nanokomposit ini menunjukkan aktivitas katalitik yang signifikan dalam degradasi metilen biru di bawah paparan sinar UV. Keberadaan graphene oxide membantu meningkatkan efisiensi katalisis TiO₂ dalam degradasi zat pewarna organik. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan nanokomposit yang efektif untuk aplikasi degradasi zat pewarna organik. Kombinasi antara sifat fotokatalitik TiO₂ dan konduktivitas listrik graphene oxide (GO) membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas dalam pengolahan air limbah dan perlindungan lingkungan (Kasmiarno, L. D., dkk., 2020).

Studi yang dilakukan oleh Shivaraju, Yashas, dan Harini pada tahun 2020 berjudul "Penerapan bola tanah liat berongga berlapis TiO₂ terdop Mg yang mengapung untuk fotodegradasi polutan organik dalam air limbah" bertujuan untuk menyelidiki penggunaan bola tanah liat berongga yang dilapisi dengan TiO₂ terdop Mg untuk fotodegradasi polutan organik dalam air limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas bola berongga yang dilapisi ini sebagai fotokatalis untuk menghilangkan polutan organik dalam air limbah. Metode yang digunakan melibatkan sintesis bola tanah liat berongga dan pelapisannya dengan TiO₂ terdop Mg. Kinerja fotokatalitik dari bahan yang disintesis kemudian dievaluasi untuk degradasi polutan organik dalam air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bola tanah liat berongga yang dilapisi dengan TiO₂ terdop Mg efektif dalam fotodegradasi polutan organik dalam air limbah. Keberadaan dopan Mg dalam TiO₂ meningkatkan efisiensi fotokatalitik dan mempercepat degradasi polutan organik. Penggunaan bola tanah liat berongga yang dapat mengapung dalam air limbah memberikan keuntungan dalam proses pengolahan. Studi ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi fotokatalisis

untuk pengolahan air limbah. Penerapan bola tanah liat berongga berlapis TiO₂ terdop Mg memiliki potensi yang menjanjikan untuk fotodegradasi polutan organik dalam air limbah. (Shivaraju, H. P., dkk., 2020)

Studi yang berjudul "Photocatalytic Performance of TiO₂ Particles in Degradation of Various Organic Dyes under Visible and UV Light Irradiation" yang dilakukan oleh Le dkk. pada tahun 2020, membahas tentang kinerja fotokatalitik partikel TiO₂ dalam degradasi berbagai pewarna organik dengan menggunakan sinar UV dan sinar tampak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari efisiensi fotokatalisis partikel TiO₂ dalam menghilangkan pewarna organik di bawah iradiasi sinar UV dan sinar tampak. Peneliti melakukan serangkaian percobaan dengan menggunakan berbagai pewarna organik, termasuk metilena biru, metil oranye, dan kristal ungu. Dalam penelitian ini, partikel TiO₂ diuji dengan menggunakan metode fotokatalisis untuk menguraikan pewarna organik dalam larutan. Penulis juga membandingkan kinerja fotokatalisis partikel TiO₂ di bawah sinar UV dan sinar tampak untuk melihat pengaruh iradiasi terhadap efisiensi degradasi pewarna organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel TiO₂ memiliki kinerja fotokatalitik yang baik dalam degradasi berbagai pewarna organik di bawah iradiasi sinar UV dan sinar tampak. Efisiensi degradasi pewarna organik berbeda-beda tergantung pada jenis pewarna dan jenis iradiasi yang digunakan. Penelitian ini memberikan wawasan tentang potensi aplikasi partikel TiO₂ dalam pengolahan air limbah yang mengandung pewarna organik. Penggunaan sinar tampak sebagai sumber energi fotokatalisis menunjukkan kemungkinan penggunaan yang lebih luas dalam skala industri, karena sinar tampak lebih mudah diakses dan lebih berkelanjutan dibandingkan dengan sinar UV (Le, A. T., dkk., 2020)

Studi yang disebutkan oleh Wirosodarmo et al. (2020) berfokus pada fitoremediasi kromium dalam air limbah industri batik menggunakan *Cyperus haspan*. Studi ini menyelidiki potensi *Cyperus haspan*, sejenis tanaman air, dalam menghilangkan kontaminan kromium dari air limbah. Para peneliti melakukan percobaan untuk mengevaluasi efisiensi *Cyperus haspan* dalam menghilangkan kromium dan menganalisis kemampuan tanaman ini dalam menyerap dan mengakumulasi kromium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Cyperus haspan* menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam menghilangkan kromium, yang menunjukkan potensinya sebagai pilihan fitoremediasi untuk air limbah yang terkontaminasi kromium dalam industri batik. Studi ini memberikan wawasan berharga tentang penerapan fitoremediasi menggunakan *Cyperus haspan* untuk mengolah air limbah dari industri batik (Wirosodarmo, R., dkk., 2020)

Studi yang dilakukan oleh Nair dkk. Pada tahun 2021 membahas tentang penggunaan nanokomposit berbasis nanosheet TiO₂ sebagai fotokatalisator terapung untuk degradasi pewarna menggunakan energi matahari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan fotokatalisator terapung yang efektif dalam mendegradasi pewarna menggunakan sinar matahari. Penulis menggunakan nanokomposit yang terdiri dari nanosheet TiO₂ dan bahan pengapung untuk menciptakan fotokatalisator yang dapat mengambang di permukaan air dan menyerap energi matahari. Dalam penelitian ini, fotokatalisator terapung diuji dalam degradasi pewarna menggunakan energi matahari. Penulis melakukan serangkaian percobaan untuk mengukur efisiensi degradasi pewarna dan stabilitas fotokatalisator dalam jangka waktu tertentu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanokomposit berbasis nanosheet TiO₂ dapat digunakan sebagai fotokatalisator terapung yang

efektif dalam degradasi pewarna menggunakan sinar matahari. Fotokatalisator ini mampu menyerap energi matahari dengan baik dan memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi dalam mendegradasi pewarna. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan fotokatalisis berbasis energi matahari untuk pengolahan air limbah yang mengandung pewarna. Penggunaan fotokatalisator terapan memungkinkan aplikasi yang lebih praktis dalam pengolahan air limbah, karena dapat digunakan secara efisien di permukaan air tanpa memerlukan instalasi yang rumit (Nair, A. K., dkk., 2021).

KESIMPULAN

Berbagai penelitian menggunakan fotokatalis TiO₂ dalam proses degradasi limbah cair, terutama pewarna sintesis yang ditemukan dalam limbah industri tekstil seperti limbah batik menunjukkan bahwa TiO₂ efektif dalam mengurangi warna dan COD (Chemical Oxygen Demand) dalam limbah pewarna sintesis. Penggunaan nanopartikel TiO₂ yang diimobilisasi pada berbagai substrat seperti lembaran plastik, hidrogel, atau film hibrida telah diuji dalam beberapa penelitian. Substrat ini membantu meningkatkan efisiensi proses fotokatalisis dan memfasilitasi pemisahan fotokatalis dari limbah setelah pengolahan.

Selain TiO₂, penelitian juga menggunakan nanopartikel ZnO dan komposit ZrO₂-TiO₂ sebagai alternatif fotokatalis untuk degradasi pewarna sintesis dalam limbah batik. TiO₂ juga dikombinasikan dengan bahan tambahan seperti Mg, Ag, dan Fe untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik dalam menghilangkan pewarna sintesis dari air limbah. Beberapa penelitian menggunakan membran fotokatalitik berbasis TiO₂ untuk pengolahan air limbah, yang memungkinkan filtrasi dan degradasi zat pencemar secara bersamaan.

Selain degradasi pewarna sintesis, fotokatalis TiO₂ juga telah digunakan

untuk menghilangkan zat pewarna alami seperti Congo red dari air limbah industri. Beberapa penelitian juga mengeksplorasi metode sintesis baru untuk memperoleh fotokatalis TiO₂ dengan sifat-sifat yang ditingkatkan, seperti nanolapisan TiO₂ pada nanokomposit atau nanolapisan TiO₂ pada bahan berpori.

Keseluruhan penelitian ini menunjukkan bahwa fotokatalis TiO₂ memiliki potensi dalam pengolahan limbah cair, terutama dalam degradasi pewarna sintesis yang ditemukan dalam limbah industri tekstil seperti limbah batik. Namun, perlu dilakukan lebih banyak penelitian untuk memahami dan meningkatkan efisiensi proses fotokatalisis serta mengoptimalkan kondisi operasionalnya dalam konteks aplikasi lapangan yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E., Komala, R., & Faizal, M. (2015). Application of TiO₂ nano particles photocatalyst to degrade synthetic dye wastewater under solar irradiation. *Contemporary Engineering Sciences*, 8(34), 1625-1636.
- Al-Mamun, M. R., Kader, S., Islam, M. S., & Khan, M. Z. H. (2019). Photocatalytic activity improvement and application of UV-TiO₂ photocatalysis in textile wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 103248.
- Al-Nuaim, M. A., Alwasiti, A. A., & Shnain, Z. Y. (2023). The photocatalytic process in the treatment of polluted water. *Chemical Papers*, 77(2), 677-701.
- Behind, L. N. O. (2019). *The United Nations World Water Development Report 2019*.
- Chantes, P., Jarusutthirak, C., & Danwittayakul, S. (2015, May). A comparison study of photocatalytic activity of TiO₂ and ZnO on the

- degradation of real batik wastewater. In Proceedings of the International Conference on Biological, Environment and Food Engineering (BE-FE-2015), Singapore (pp. 15-16).
- Ehrampoush, M. H., Moussavi, G. H. R., Ghaneian, M. T., Rahimi, S., & Ahmadian, M. (2010). Removal of methylene blue (MB) dye from textile synthetic wastewater using TiO₂/UV-C photocatalytic process. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(9), 4279-4285.
- Fujishima, A., & Zhang, X. (2006). Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. *Comptes Rendus Chimie*, 9(5-6), 750-760.
- Gleick, P. H. (2014). Water, drought, climate change, and conflict in Syria. *Weather, Climate, and Society*, 6(3), 331-340.
- Gupta, S. M., & Tripathi, M. (2012). An overview of commonly used semiconductor nanoparticles in photocatalysis. *High Energy Chemistry*, 46, 1-9.
- Harikumar, P. S., Joseph, L., & Dhanya, A. (2013). Photocatalytic degradation of textile dyes by hydrogel supported titanium dioxide nanoparticles. *Journal of environmental engineering and ecological science*, 2(2).
- Harun, N. H., Rahman, M. A., Kamarudin, W. W., Irwan, Z., Muhamud, A., Akhir, N. E. F. M., & Yaafar, M. R. (2018). Photocatalytic degradation of Congo red dye based on titanium dioxide using solar and UV lamp. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(1S), 832-846.
- Hutton, G., & Haller, L. (2004). Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation Improvements at the Global Level. World Health Organization (WHO).
- Joseph, C. G., & Elilarasi, L. (2017, June). Removal of methylene blue dye from aqueous solution using a newly synthesized TiO₂-SiO₂ photocatalyst in the presence of active chlorine species. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 206, No. 1, p. 012090). IOP Publishing.
- Kanakaraju, D., bin Ya, M. H., bin Jasni, M. A. A., bin Endra, M. S., & Lim, Y. C. (2019). Fe Doped Titania Photocatalyst for Degradation of Methyl Orange. *Materials Today: Proceedings*, 19, 1657-1662.
- Kasmiarno, L. D., Floresyona, D., Raissa, R., & Pambudi, N. S. (2020, April). Synthesis of TiO₂/GO nanocomposite for Methylene Blue Degradation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 778, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Kiran, S., Nosheen, S., Iqbal, S., Abrar, S., Jalal, F., Gulzar, T., ... & Naseer, N. (2018). Photocatalysis using titanium dioxide for treatment of textile wastewater containing disperse dyes. *Chiang Mai J Sci*, 45, 2730-2739.
- Kumari, H., Sonia, Suman, Ranga, R., Chahal, S., Devi, S., ... & Parmar, R. (2023). A Review on Photocatalysis Used For Wastewater Treatment: Dye Degradation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(6), 349.
- Kumari, H., Sonia, Suman, Ranga, R., Chahal, S., Devi, S., ... & Parmar, R. (2023). A Review on Photocatalysis Used For Wastewater Treatment: Dye Degradation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(6), 349.
- Le, A. T., Pung, S. Y., Chiam, S. L., Josoh, N. A. H., Koay, T. Y., Lee, J. S., & Mustar, N. B. (2020, September). Photocatalytic performance of TiO₂ particles in degradation of various organic dyes

- under visible and UV light irradiation. In AIP conference proceedings (Vol. 2267, No. 1). AIP Publishing.
- Ma, D., Yi, H., Lai, C., Liu, X., Huo, X., An, Z., ... & Yang, L. (2021). Critical review of advanced oxidation processes in organic wastewater treatment. *Chemosphere*, 275, 130104.
- Mishra, N. S., Reddy, R., Kuila, A., Rani, A., Mukherjee, P., Nawaz, A., & Pichiah, S. (2017). A review on advanced oxidation processes for effective water treatment. *Curr. World Environ*, 12(3), 270-490.
- Nair, A. K., & Jagadeesh Babu, P. E. (2017). Ag-TiO₂ nanosheet embedded photocatalytic membrane for solar water treatment. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(4), 4128-4133.
- Nair, A. K., George, D. R., Baby, N. J., Reji, M., & Joseph, S. (2021). Solar dye degradation using TiO₂ nanosheet based nanocomposite floating photocatalyst. *Materials Today: Proceedings*, 46, 2747-2751.
- Ounas, O., El Foulani, A. A., Lekhlif, B., & Jamal-Eddine, J. (2020). Immobilization of TiO₂ into a poly methyl methacrylate (PMMA) as hybrid film for photocatalytic degradation of methylene blue. *Materials Today: Proceedings*, 22, 35-40.
- Permadani, I., Phasa, D. A., Pratiwi, A. W., & Rahmawati, F. (2016). The composite of ZrO₂-TiO₂ produced from local zircon sand used as a photocatalyst for the degradation of methylene blue in a single batik dye wastewater. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 11(2), 133-139.
- Sari, M. I., Agustina, T. E., Melwita, E., & Aprianti, T. (2017, November). Color and COD degradation in photocatalytic process of procion red by using TiO₂ catalyst under solar irradiation. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1903, No. 1, p. 040017). AIP Publishing LLC.
- Schneider, J., Bahnemann, D., Ye, J., Puma, G. L., & Dionysiou, D. D. (Eds.). (2016). *Photocatalysis: fundamentals and perspectives*. Royal Society of Chemistry.
- Shivaraju, H. P., Yashas, S. R., & Harini, R. (2020). Application of Mg-doped TiO₂ coated buoyant clay hollow-spheres for photodegradation of organic pollutants in wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 27, 1369-1374.
- Sirait, M. (2018). Cleaner production options for reducing industrial waste: the case of batik industry in Malang, East Java-Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 106, No. 1, p. 012069). IOP Publishing.
- Sutisna, Wibowo, E., Rokhmat, M., Rahman, D. Y., Murniati, R., & Abdullah, M. (2017). Batik wastewater treatment using TiO₂ nanoparticles coated on the surface of plastic sheet. *Procedia engineering*, 170, 78-83.
- Tahir, M. B., Rafique, M., Rafique, M. S., Fatima, N., & Israr, Z. (2020). Metal oxide-and metal sulfide-based nanomaterials as photocatalysts. In *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications* (pp. 77-96). Elsevier.
- Tan, Y. H., Goh, P. S., Lai, G. S., Lau, W. J., & Ismail, A. F. (2014). Treatment of aerobic treated palm oil mill effluent (AT-POME) by using TiO₂ photocatalytic process. *Jurnal Teknologi*, 70(2).
- UNESCO. (2021). *The United Nations World Water Development Report*

- 2021: Valuing Water. United Nations.
- United Nations Water. (2021). The United Nations World Water Development Report 2021.
- United Nations. (2015). Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World. United Nations.
- United Nations. (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions for Water. United Nations World Water Assessment Programme.
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2021). Water Pollution and Your Health. EPA.
- Utami, F. D., Rahman, D. Y., Margareta, D. O., & Abdullah, M. (2019, April). Photocatalyst based on TiO₂ and its application in organic wastewater treatment using simple spray method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1204, No. 1, p. 012086). IOP Publishing.
- Utami, F. D., Rahman, D. Y., Sustini, E., & Abdullah, M. (2019, February). Immobilization of TiO₂ on transparent plastic and its application in photocatalytic wastewater treatment. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1171, No. 1, p. 012030). IOP Publishing.
- Wirosoedarmo, R., Anugroho, F., Mustaqiman, A. N., Amanah, R., & Gustinasari, K. (2020). Phytoremediation of chrome in batik industry wastewater using *Cyperus haspan*. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 5, 1-7.
- World Health Organization (WHO) and United Nations Children's Fund (UNICEF). (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: Special focus on inequalities. World Health Organization.
- World Health Organization (WHO). (2018). Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth Edition. WHO Press.
- World Wildlife Fund (WWF). (2021). Water scarcity: Causes, impacts and solutions. WWF International.