

Available online at: <http://reactor.poltekaitpdg.ac.id/>**REACTOR****Journal of Research on Chemistry and Engineering**

| ISSN Online 2746-0401 |



Optimasi Pemanfaatan Katalis TiO_2 /Karbon Aktif (Sekam Padi) Untuk Degradasi *Methyl Violet* Secara Sonolisis dan Fotolisis

Safni *, Tasya Aldini, Yefrida, Zilfa, Deliza

Laboratory of Applied Analytical-Chemistry, Universitas Andalas, Padang, 25163, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: October 01, 2024

Revised: October 26, 2024

Accepted: November 02, 2024

KEYWORDS

Methyl Violet, Photolysis, Rice Husk, Sonolysis, TiO_2

CORRESPONDENCE*

Name: Safni

E-mail: safni@sci.unand.ac.id

ABSTRACT

The textile industry is a major contributor to pollution, with 10-15% of dyes lost in wastewater during processing, including Methyl Violet. The degradation products of these dyes are often carcinogenic. Conventional biological treatment methods are ineffective due to the complex nature of synthetic dyes. A study aimed to develop a new photocatalytic activity using a UV A lamp and sonolysis using a sonicator. The study modified TiO_2 /Activated Carbon from Rice Husk as a catalyst to degrade Methyl Violet and textile industry effluent effectively, which was dual benefits as an adsorbent-photocatalyst. Results showed that the degradation by sonolysis and photolysis was 12.99% and 79.16%, respectively. The degradation by photolysis was 14.95% and 94.12%. The light and catalyst with the highest percentage of degradation were TiO_2 /activated carbon with UV A light of 94.12%. This study aims to develop effective treatment techniques for the textile industry's dyes.

PENDAHULUAN

Methyl Violet merupakan salah satu zat warna sintetis yang sering digunakan dalam industri tekstil, kertas, dan kosmetik. Meskipun memiliki manfaat yang signifikan dalam berbagai aplikasi industri, zat warna ini dikenal memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. *Methyl violet* bersifat *non-biodegradable* dan mengandung senyawa beracun yang dapat menimbulkan efek serius bagi kesehatan manusia dan ekosistem, termasuk mencemari sumber air dan mengganggu proses fotosintesis di perairan dengan menghalangi penetrasi cahaya matahari. Oleh karena itu, pengolahan limbah yang mengandung menjadi tantangan besar dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, khususnya di daerah yang terpapar limbah industri tekstil [1].

Metode pengolahan limbah konvensional, seperti koagulasi, flokulasi, dan filtrasi, seringkali tidak efektif dalam menurunkan kadar zat warna ini secara signifikan, terutama karena sifat kimianya yang stabil. Oleh karena itu, diperlukan metode alternatif yang lebih efisien dan

ramah lingkungan. Fotokatalisis, yang melibatkan pemanfaatan katalis semikonduktor seperti TiO_2 , telah dikenal sebagai salah satu metode potensial untuk mendekomposisi senyawa organik berbahaya melalui reaksi oksidasi dan reduksi yang dipicu oleh cahaya [2]. Namun, fotokatalis konvensional seperti TiO_2 memiliki keterbatasan, terutama pada kapasitas adsorpsi dan efisiensi yang kurang maksimal dalam aplikasi nyata. Salah satu metode alternatif untuk mendegradasi senyawa ini adalah dengan proses *Advanced Oxydation Process* (AOPs). Teknologi AOPs merupakan metode oksidasi lanjutan yang didasari dengan pembentukan dan penggunaan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) sebagai hasil samping yang mengakibatkan kehancuran senyawa pencemar [3]. Radikal hidroksil dapat dibentuk melalui beberapa metode seperti gelombang ultrasonik frekuensi tinggi, sinar gamma, TiO_2 dan sinar UV, H_2O_2 dan sinar UV, O_3 dan sinar UV, reaksi fenton dan kombinasi dari proses [4].

Katalis berbasis semikonduktor (ZnO , TiO_2 , V_2O_5 , WO_3 , dll) dapat menarik perhatian luas untuk mendegradasi bahan pewarna karena kesederhanaannya, konsumsi

energi yang rendah, cara kerja yang efisien dan kondisi reaksi yang sederhana. Titanium dioksida (TiO_2) adalah katalis semikonduktor yang paling umum digunakan untuk menguraikan polutan organik seperti; pewarna, logam berat, pestisida dan fenol. Mendapatkan aktivitas fotokatalitik yang tinggi, banyak modifikasi material murni oleh logam dan nonlogam atau menggabungkan TiO_2 dengan semikonduktor lain [5].

Metoda lain yang menghasilkan radikal hidroksil juga aktif menyerang senyawa organik adalah sonolisis. Sonolisis merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendegradasi kontaminan organik didalam air dengan bantuan gelombang ultrasonik. Dalam proses ini akan dihasilkan radikal hidroksil dan efek kavitasi. Demi mempercepat proses degradasi, biasanya proses ini juga menggunakan TiO_2 sebagai katalis [6].

Salah satu usaha untuk membuat katalis ini menjadi lebih baik maka dilakukan distribusi ukuran dengan mendispersikan partikel semikonduktor pada material pendukung seperti silika, kaca, *zeolite*, lempung, dan karbon aktif. Karbon aktif merupakan padatan pendukung yang baik untuk mendispersikan semikonduktor, karena karbon aktif memiliki dua fungsi yaitu sebagai adsorben serta sebagai fotokatalis [7]. Salah satu adsorben alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan karbon dari limbah organik seperti limbah tanaman jagung, padi, pisang dan lainnya. Diantara limbah organik tersebut yang menarik adalah penggunaan sekam padi [8]. Aktivasi sekam padi menghasilkan karbon yang sangat berpori dengan luas permukaan yang sangat tinggi yang dapat mengubah bahan limbah menjadi produk bernilai tambah dengan berbagai aplikasi [9].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan degradasi *methyl violet* secara sonolisis dan fotolisis menggunakan katalis TiO_2 yang dikompositkan dengan SiO_2 dengan lampu sinar UV ($\lambda = 254 \text{ nm}$) dan menghasilkan persen degradasi sebesar 32,04% dan 91,32% setelah diiradiasi selama 240 menit [10]. Pada penelitian ini digunakan TiO_2 yang dikompositkan dengan karbon aktif sekam padi untuk mendegradasi zat warna *methyl violet* dimana karbon aktif dari sekam padi belum pernah digunakan. Kandungan karbon dari sekam padi berasal dari selulosa dimana sekam padi mengandung selulosa sebesar 31,12%, hemiselulosa 22,48%, lignin 22,34%, abu mineral 13,87% dan air 7,86% [11]. Pada penelitian ini dilihat bagaimana pengaruh TiO_2 /karbon aktif sekam padi dalam mendegradasi *methyl violet* secara sonolisis maupun fotolisis.

Inovasi dalam penelitian ini terletak pada penggunaan komposit TiO_2 dengan karbon aktif yang berasal dari

sekam padi, sebuah material alami yang murah dan melimpah. Sekam padi sebagai sumber karbon aktif tidak hanya meningkatkan kapasitas adsorpsi katalis, tetapi juga memperluas area permukaan spesifik dan meningkatkan efisiensi degradasi MV. Dalam penelitian ini, TiO_2 /karbon aktif sekam padi dikombinasikan dengan metode sonolisis dan fotolisis untuk memaksimalkan efisiensi degradasi zat warna tersebut. Metode sonolisis memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk menciptakan gelembung kavitasi yang mampu memecah senyawa organik kompleks, sementara fotolisis menggunakan sinar UV untuk memicu reaksi fotokatalitik. Kedua metode ini dikombinasikan dengan katalis TiO_2 /karbon aktif untuk meningkatkan efektivitas degradasi dibandingkan penggunaan metode tunggal. Pengukuran efisiensi degradasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan Karakterisasi TiO_2 /Karbon Aktif Sekam Padi menggunakan FTIR penelitian ini bertujuan untuk memantau dan menganalisis proses degradasi Methyl Violet dalam berbagai kondisi eksperimental.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan terjangkau untuk pengolahan limbah zat warna beracun, dengan memanfaatkan material lokal yang ramah lingkungan serta teknik fotokatalitik yang dapat diadaptasi ke skala industri.

METODOLOGI

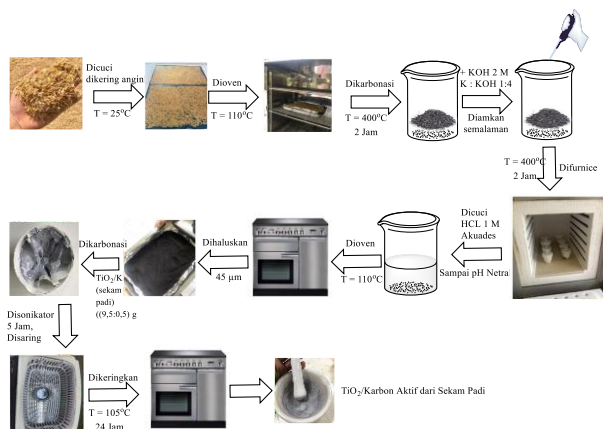
Bahan Kimia, Peralatan dan Instrumentasi

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah zat warna *methyl violet* (Merck), sekam padi, akuades, larutan KOH (Merck), HCl (Merck), Titanium Dioksida (Merck), kertas saring Whatman 42, kertas pH. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu cawan petri, tabung reaksi, spatula, batang pengaduk, corong, kaca arloji, *stopwatch*, *stirrer*, *magnetic bar*, ayakan 45 μm , analisis dengan spektrofotometer *Ultraviolet-Visible* (Thermo Scientific Evolution 201 UV-Vis Spectrophotometer), neraca analitik (KERN ALJ 220-4M), sonikator, lampu UV A 10 watt (365 nm) dan UV C 10 watt (254 nm), lampu sinar tampak (4 Philips LED 13 watt 1400 lux), *centrifuge* (NASCO dengan kecepatan 3000 rpm), *Handmade Irradiation Box*, *Furnace* (Thermo Insight), FTIR (PerkinElmer Frontier C90704 Spektrum IR Version 10.6.1), UV-Vis DRS (SPECORD 210 Plus) dan peralatan gelas laboratorium.

Preparasi Karbon Aktif dari Sekam Padi

Sekam padi dicuci dengan akuades lalu dikeringkan pada suhu ruang. Setelah itu dikeringkan kembali didalam oven pada suhu 110°C hingga masa konstan. Sekam padi di karbonasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Kemudian,

dilakukan aktivasi dengan penambahan KOH 2 M [12] dengan perbandingan masa karbon dan KOH 1:4. Campuran karbon dan KOH diaduk hingga homogen dan didiamkan semalaman lalu karbon di *furnace* pada suhu 400°C selama 2 jam. Kemudian dilakukan pencucian dengan penambahan HCl 1 M dan akuades hingga pH netral, karbon aktif yang dihasilkan dikeringkan kembali didalam oven pada suhu 110°C. Setelah itu dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 45 µm.



Gambar 1. Diagram skematik untuk preparasi TiO₂/Karbon aktif dari sekam padi

Preparasi TiO₂/Karbon Aktif dari Sekam Padi

Preparasi karbon aktif dari sekam padi dimulai dari tahap karbonisasi dan aktivasi. TiO₂/karbon aktif sekam padi (9,5:0,5) gram, kemudian disuspensikan dalam air demineralisasi, kemudian diletakkan kedalam sonikator selama 5 jam dan disaring. Setelah itu TiO₂/karbon aktif sekam padi dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam [13].

Pembuatan dan Pengukuran Spektrum Larutan Induk Methyl Violet

Zat warna *methyl violet* 0,01 gram dilarutkan dengan akuades dalam labu ukur 100 mL dan didapatkan larutan induk zat warna 100 ppm. Dipipet dan diukur absorbansi larutan *methyl violet* 10 ppm sebanyak 10 mL dengan variasi panjang gelombang 300-800 nm dengan spektrofotometer UV-Vis untuk memperoleh panjang gelombang maksimum.

Pengukuran Konsentrasi dan Penentuan Kurva Kalibrasi Standar Methyl Violet

Larutan *methyl violet* divariasikan dengan variasi 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm yang masing-masing nya sebanyak 10 mL, diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 585 nm. Diukur nilai absorbansi dan dibuat kurva kalibrasi nya.

Penentuan Massa Optimum Katalis

Larutan zat warna *methyl violet* dengan konsentrasi 6 mg/L dimasukkan kedalam cawan petri sebanyak 25 mL

dan ditambahkan katalis TiO₂/karbon aktif sekam padi yang berat katalisnya divariasikan 10, 20, 30, 40 dan 50 mg. Masing-masing larutan didegradasi dengan sinar UV dan disentrifus selama 30 menit. Nilai absorbansi diukur pada panjang gelombang 585 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan dihitung persen degradasinya.

Degradasi Methyl Violet Secara Sonolisis

Pengaruh Waktu Sonolisis Tanpa Penambahan Katalis

Larutan zat warna *methyl violet* dengan konsentrasi 6 mg/L dibuat. Dipipet dan dimasukkan kedalam erlenmeyer sebanyak 25 mL. Larutan disonikasi dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Nilai absorbansi diukur pada panjang gelombang 585 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan dihitung persen degradasinya.

Pengaruh Penambahan Katalis TiO₂/Karbon Aktif

Larutan zat warna *methyl violet* dengan konsentrasi 6 mg/L dibuat. Dipipet dan dimasukkan 25 mL kedalam Erlenmeyer. Kemudian ditambahkan katalis TiO₂/karbon aktif sekam padi sebanyak 20 mg. Lalu disonikasi dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Nilai adsorban diukur pada panjang gelombang 585 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan dihitung persen degradasinya.

Degradasi Methyl Violet Secara Fotolisis

Pengaruh Waktu Fotolisis Tanpa Penambahan Katalis

Larutan zat warna *methyl violet* dengan kondisi optimum dimasukkan kedalam cawan petri sebanyak 25 mL. Larutan disinari dengan lampu UV dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4 dan 5 jam. Nilai absorbansi diukur pada panjang gelombang 585 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan dihitung persen degradasinya.

Pengaruh Penambahan Katalis TiO₂/Karbon Aktif

Larutan induk zat warna *methyl violet* dengan konsentrasi 6 mg/L dibuat. Kemudian dipipet dan dimasukkan 25 mL ke dalam cawan petri dan ditambahkan katalis TiO₂/karbon aktif sekam padi sebanyak 20 mg, dilakukan degradasi dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4 dan 5 jam dengan sinar lampu UV. Nilai absorbansi diukur pada panjang gelombang 585 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan dihitung persen degradasinya.

Perbandingan Persen Degradasi dengan Menggunakan Jenis Lampu dan Variasi Katalis Secara Fotolisis

Larutan zat warna *methyl violet* dengan konsentrasi 6 mg/L dibuat. Kemudian dipipet dan dimasukkan kedalam cawan petri sebanyak 25 mL. Ditambahkan katalis

dengan variasi katalis; karbon aktif sekam padi, TiO_2 dan TiO_2 /karbon aktif sekam padi masing-masing sebanyak 20 mg. Kemudian dilakukan penyinaran menggunakan lampu sinar UV A ($\lambda = 365 \text{ nm}$), UV C ($\lambda = 254 \text{ nm}$), dan lampu sinar tampak selama 4 jam penyinaran. Nilai absorbansi diukur pada panjang gelombang 585 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan dihitung persen degradasinya.

Karakterisasi TiO_2 /Karbon Aktif Sekam Padi

Katalis karbon aktif, TiO_2 dan TiO_2 /karbon aktif sekam padi dikarakterisasi dengan FTIR untuk menentukan gugus fungsinya dan dilakukan pengukuran UV-Vis DRS pada katalis TiO_2 /karbon aktif sekam padi untuk mengetahui penurunan dari nilai *band gap* suatu materi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi TiO_2 yang Dikompositkan dengan Karbon Aktif Sekam Padi

Aktivitas fotokatalisis dari TiO_2 dapat ditingkatkan dengan mengkompositkan TiO_2 dengan karbon aktif yang berfungsi sebagai adsorben polutan, sehingga dapat lebih mudah berkontak dengan fotokatalisis. Semakin mudah kontak dengan TiO_2 , maka semakin mudah polutan didegradasi oleh fotokatalis TiO_2 [14].

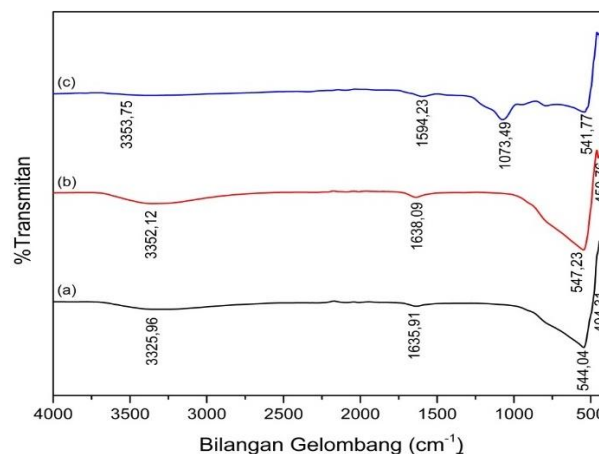
Pada penelitian ini sampel sekam padi diambil di daerah Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Sampel sekam padi terlebih dahulu dicuci dan dikering anginkan. Kemudian dikarbonasi dan diaktivasi menggunakan aktivator KOH. Arang aktif merupakan jenis karbon yang telah mendapat perlakuan dengan uap dan panas sampai mempunyai afinitas yang kuat untuk menyerap berbagai bahan. Arang aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar, berkisar antara 300 sampai 2500 m^2/g dan dapat digunakan untuk menyerap hampir semua jenis pelarut organik pada suhu sekitar 35°C [15].

Karakterisasi TiO_2 /Karbon Aktif Sekam Padi

Pada Gambar 2 (a) Spektrum FTIR dari TiO_2 /karbon aktif sekam padi menunjukkan pergeseran puncak dari TiO_2 , dimana gugus OH $3352,12 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $3325,96 \text{ cm}^{-1}$, cincin aromatis bergeser dari $1638,09 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1635,91 \text{ cm}^{-1}$, $547,23 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $544,04 \text{ cm}^{-1}$, $450,75 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $404,31 \text{ cm}^{-1}$ yang membuktikan bahwa komposit TiO_2 /karbon aktif terbentuk.

Spektrum FTIR TiO_2 pada Gambar 2 (b) menunjukkan berbagai puncak karakteristik, dimana lebar puncak serapan pada $3000\text{--}3600 \text{ cm}^{-1}$ berasal dari vibrasi ulur O-H dari gugus hidroksil. Adanya pita lemah pada $1615\text{--}1635 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan tekukan O-H dari gugus hidroksil yang muncul karena kelembaban penyerapan dalam sampel. Adanya gugus fungsi titanium dioksida

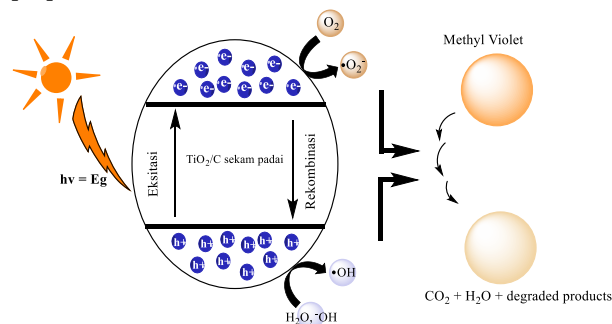
dibuktikan dengan adanya pita pada $547,23 \text{ cm}^{-1}$ yang dihasilkan dari Ti-O-Ti dalam ikatan peregangan [16].



Gambar 2. Spektrum FTIR (a) TiO_2 /karbon aktif sekam padi, (b) TiO_2 , (c) Karbon aktif

Pada Gambar 1 (c) menunjukkan hasil karakterisasi karbon aktif dari sekam padi menunjukkan spektrum pada puncak sekitar $3353,75 \text{ cm}^{-1}$ yang melebar menandakan adanya gugus O-H (hidroksil) pada karbon aktif dari sekam padi. Pada puncak $1594,23 \text{ cm}^{-1}$ menandakan adanya cincin aromatik (C=C), puncak $1073,49 \text{ cm}^{-1}$ menandakan adanya asam karboksilat (C-O). Karbon aktif yang dihasilkan memiliki pola serapan dengan ikatan OH, C=C dan C-O. Adanya ikatan OH dan C-O menandakan bahwa karbon aktif yang dihasilkan bersifat polar yang dapat digunakan sebagai adsorben zat yang cenderung polar seperti untuk penjernihan air, alkohol atau sebagai penyerap emisi formaldehid[17].

Berdasarkan data diatas, penambahan TiO_2 bertujuan untuk mendapatkan material dengan manfaat ganda sebagai adsorben-fotokatalis. Aktivasi TiO_2 oleh sinar UV yang dihasilkan elektron (e^-) – hole (h^+) berpasangan pada permukaan bahan yang bereaksi dengan O_2 atau H_2O yang terikat untuk menghasilkan spesies oksigen reaktif seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), radikal superoksida ($\bullet\text{O}_2$) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) dapat dilihat pada gambar 3. Menurut N. Setthaya et al, 2017, dimana TiO_2 yang digunakan hanya 5% karena TiO_2 tidak berpengaruh pada kualitas fotokatalis nantinya [18].

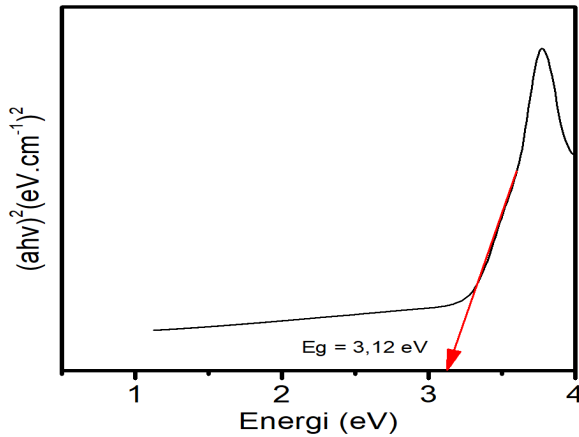


Gambar 3. Mekanisme TiO_2 /C sekam padi

Berdasarkan Gambar 4. didapatkan nilai *band gap* sebesar 3,1 eV, yang menandakan bahwa pengerjaan dapat dilakukan pada cahaya tampak yang sesuai dengan perhitungan rumus *Planck*.

$$E_g = h\nu = hc/\lambda g$$

di mana h = konstanta Planck dan E_g = celah pita energi semikonduktor di wilayah optik.



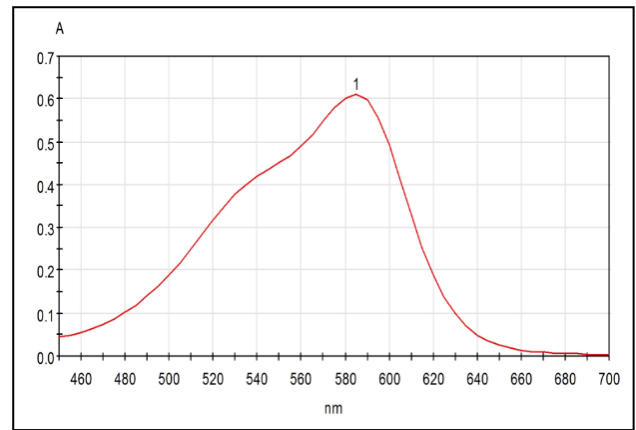
Gambar 4. Analisis Kubelka-Munk *band-gap* TiO₂/karbon aktif

TiO₂ merupakan katalis yang paling banyak digunakan dalam degradasi polusi organik. Namun, ada beberapa keterbatasan dalam penggunaannya seperti; TiO₂ yang hanya dapat menyerap bagian ultraviolet dari emisi matahari. Berdasarkan teoritis TiO₂ memiliki nilai *band gap* sebesar 3,2 eV. Setelah TiO₂ dikompositkan dengan karbon aktif dari sekam padi, terjadi penurunan *band gap*. Menurut Santos et.al bahwa hal ini terjadi kemungkinan akibat mineral-mineral dalam karbon aktif ikut mengadsorpsi saat pengukuran UV-Vis DRS [19]. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif ini dapat bekerja dibawah sinar matahari dan proses degradasi dapat dilakukan dengan lebih efisien.

Pembuatan dan Pengukuran Spektrum Larutan Induk Methyl Violet

Spektrum serapan *methyl violet* dapat dilihat pada Gambar 5 yang memperlihatkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 585 nm. Hal yang sama juga telah dilaporkan oleh penelitian Jeyasubramanian et.al bahwa panjang gelombang maksimum dari zat warna *methyl violet* sebesar 585 nm [20].

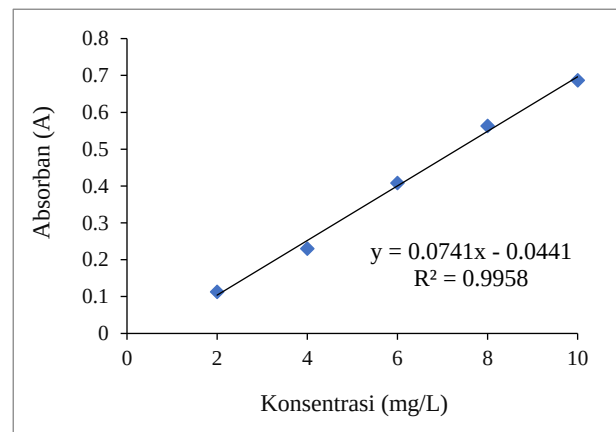
Gambar 6 menunjukkan panjang gelombang yang didapatkan pada pengukuran ini dan akan digunakan untuk mengukur nilai absorbansi dengan variasi konsentrasi larutan standar *methyl violet* 2, 4, 6, 8, dan 10 ppm sebelum dan sesudah degradasi.



Gambar 5. Spektrum serapan *methyl violet*

Pengukuran Konsentrasi dan Penentuan Kurva Kalibrasi Standar Methyl Violet

Pada Gambar 6, terlihat absorbansi dari *methyl violet* mengalami peningkatan seiring bertambahnya konsentrasi larutan *methyl violet* tersebut. Linearitas dapat ditentukan dari koefisien korelasi dan koefisien determinasi yang mendekati angka 1 dan memenuhi hukum *Lambert-Beer*. Secara teoritis, untuk mendapatkan kurva kalibrasi yang lurus absorbansi pada panjang gelombang harus diperhatikan dan memenuhi syarat rentang 0,2 – 0,8, hukum *Lambert-Beer* sangat baik untuk larutan encer [21]. Berdasarkan kurva diperoleh persamaan regresi $y = 0,0741x - 0,0441$ dan koefisien determinasi (R^2) = 0,9958. Berdasarkan nilai R^2 yang diperoleh maka akan didapatkan hubungan yang linear antara absorbansi dan konsentrasi. Penelitian selanjutnya akan dilakukan dengan menggunakan *methyl violet* 6 mg/L yang akan memberikan serapan baik yaitu 0,408.



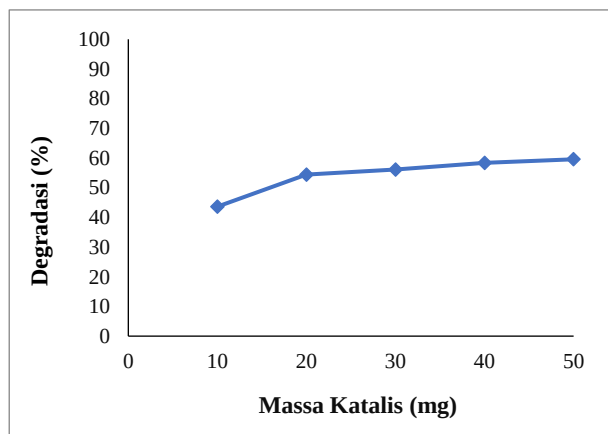
Gambar 6. Kurva kalibrasi standar *methyl violet*

Penentuan Massa Optimum Katalis

Pada Gambar 7 terlihat bahwa dengan penambahan katalis karbon aktif sekam padi yang dikompositkan dengan TiO₂ sebanyak 10 mg hingga 50 mg mampu meningkatkan persen degradasi. Hal ini disebabkan oleh OH radikal yang dihasilkan akan semakin banyak seiring

bertambahnya massa katalis TiO_2 /karbon aktif, dimana pada permukaan semikonduktor TiO_2 didalam larutan yang telah disinari dengan sinar UV ($\lambda = 365 \text{ nm}$), radikal OH yang terbentuk akan menyerang senyawa *methyl violet* secara reaktif hingga degradasi akan terus meningkat sampai kapasitas katalis tidak mampu mendegradasi senyawa *methyl violet* [22].

Penelitian lain oleh Andayani dan Sumartono mendapatkan bahwa semakin banyak karbon aktif dalam fotokatalis, maka akan semakin kecil kemampuan fotodegradasinya. Apabila dalam katalis terdapat adsorben seperti karbon aktif, maka substrat dalam hal ini zat warna *methyl violet* akan mengalami kontak dengan permukaan katalis TiO_2 melalui permukaan perantara adsorben karbon aktif. Katalis TiO_2 yang menempel pada permukaan karbon aktif akan berkontak pula dengan substrat *methyl violet* yang diserap oleh permukaan karbon aktif. Dengan demikian proses fotokatalisis akan berlangsung lebih mudah. Namun, penurunan kemampuan fotodegradasi dengan semakin banyak karbon aktif dalam TiO_2 /karbon aktif disebabkan oleh tertutupnya permukaan fotokatalis TiO_2 oleh karbon aktif [23]. Pada kurva dapat dilihat berat katalis TiO_2 /karbon aktif yang dapat digunakan yaitu 20 mg dimana dapat mendegradasi sebesar 54,41%. Hal ini dikarenakan, terjadinya peningkatan persen degradasi yang signifikan dari massa 10 mg ke 20 mg.



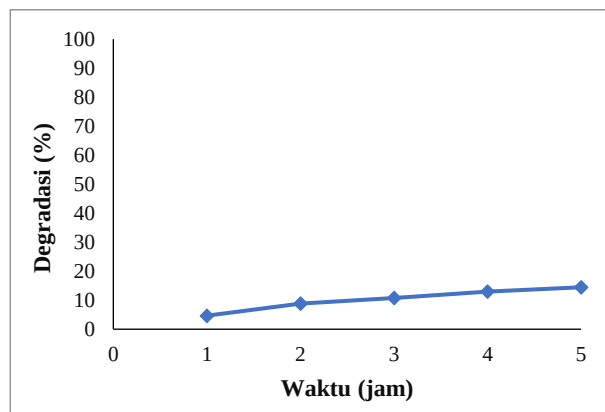
Gambar 7. Kurva hubungan antara berat katalis dengan persen degradasi *methyl violet*

Degradasi Zat Warna Methyl Violet Secara Sonolisis

Pengaruh Waktu Sonolisis Tanpa Penambahan Katalis

Pada Gambar 8 dapat dilihat pengaruh waktu terhadap kenaikan persen degradasi. Semakin lama waktu getaran yang dibutuhkan maka persen degradasi akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu sonolisis maka jumlah *methyl violet* yang berhasil didegradasi akan meningkat. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya waktu, maka semakin banyak radiasi getaran ultrasonic mengenai katalis sehingga

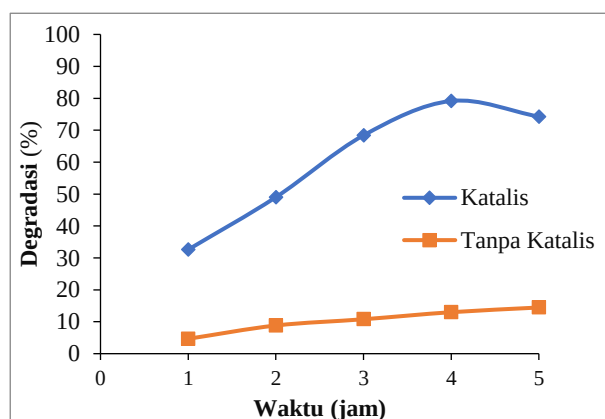
bertambahnya jumlah radikal OH yang terbentuk untuk mendegradasi *methyl violet* [24].



Gambar 8. Pengaruh waktu terhadap persen degradasi *methyl violet* secara sonolisis

Pengaruh Penambahan Katalis TiO_2 /Karbon Aktif

Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa persentase degradasi larutan *methyl violet* tanpa penambahan katalis TiO_2 /karbon aktif sebesar 14,46% setelah sonolisis berlangsung selama 5 jam. Sedangkan pada waktu yang sama, persentase degradasi larutan *methyl violet* yang disonolisis dengan penambahan katalis TiO_2 /karbon aktif mencapai 85%, dimana terjadi perubahan warna yang jelas dari ungu menjadi bening. Penambahan katalis dalam metoda sonolisis ini untuk meningkatkan efektifitas proses degradasi dan juga menghindari terbentuknya H_2O_2 , karena dengan adanya H_2O_2 akan menghalangi terbentuknya $\cdot\text{H}$ dan $\cdot\text{OH}$ yang nantinya akan menyerang senyawa *methyl violet* [10].



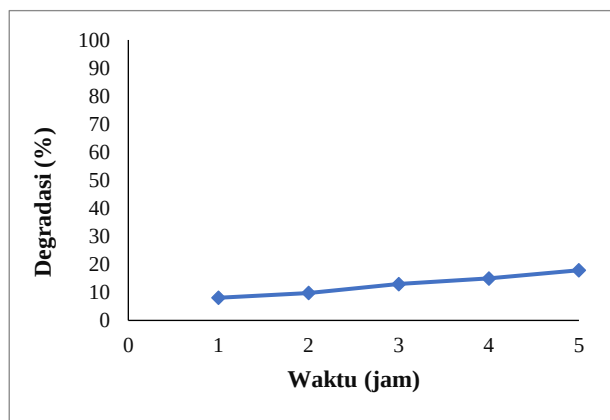
Gambar 9. Pengaruh waktu terhadap persentase degradasi *methyl violet* dengan penambahan katalis 20 mg secara sonolisis

Degradasi Zat Warna Methyl Violet Secara Fotolisis

Pengaruh Waktu Fotolisis Tanpa Penambahan Katalis

Pada Gambar 10 dapat dilihat pengaruh persen degradasi meningkat seiring dengan bertambahnya waktu iradiasi. Waktu iradiasi yang lama mampu menghasilkan energi UV untuk mendegradasi senyawa *methyl violet*. Semakin

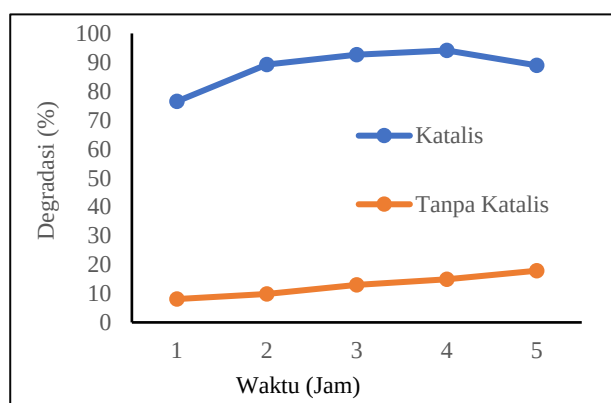
lama waktu penyinaran maka semakin banyak energi foton yang menghasilkan radikal OH dari sinar UV [25]. Pada grafik terdapat persentase signifikan yang akan membentuk radikal OH setelah 5 jam penyinaran sebesar 17,89%.



Gambar 10. Pagaruh waktu terhadap persentase degradasi *methyl violet* secara fotolisis

Pengaruh Penambahan Katalis TiO_2 /Karbon Aktif

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu penyinaran maka semakin banyak *methyl violet* yang terdegradasi. Hal ini dikarenakan ketika pewarna dibiarkan berinteraksi langsung dengan katalis untuk waktu yang lebih lama, maka akan semakin banyak jumlah pewarna yang teradsorpsi ke permukaan katalis dan akibatnya lebih banyak *methyl violet* yang terdegradasi untuk menghasilkan radikal hidroksil oleh katalis. Namun, setelah 4 jam penyinaran waktu laju reaksi pada degradasi *methyl violet* menurun karena reaksi yang lambat dari alifatik rantai pendek dengan radikal $\text{OH}^\bullet$ dan waktu fotokatalis yang pendek karena penonaktifan situs aktif oleh deposisi produk sampingan yang kuat [26].



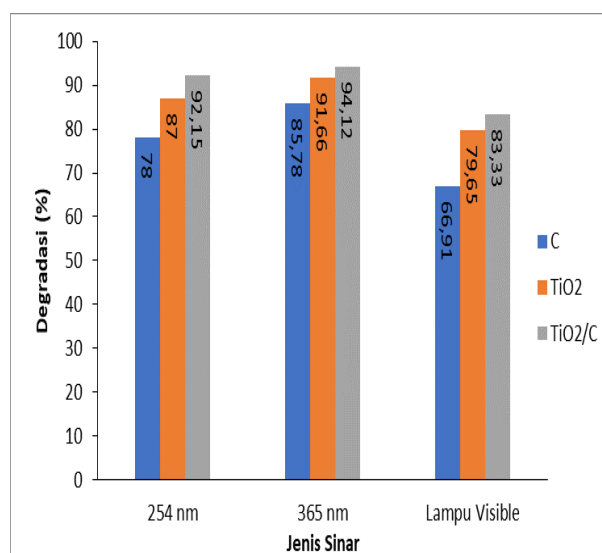
Gambar 11. Pengaruh waktu terhadap persentase degradasi *methyl violet* dengan penambahan katalis 20 mg secara fotolisis

Persentase degradasi *methyl violet* dibawah lampu UV A ($\lambda = 365 \text{ nm}$) dengan penambahan katalis TiO_2 /karbon aktif 20 mg selama 5 jam sebesar 88,97% sedangkan

setelah 4 jam sebesar 94,12%. Berdasarkan data, didapatkan bahwa 4 jam termasuk kondisi yang optimum untuk melakukan degradasi selanjutnya. Untuk itu, dapat dilihat juga bahwa efek dari penambahan katalis untuk lampu UV A ($\lambda = 365 \text{ nm}$) meningkat sebesar 72,80%.

Perbandingan Persen Degradasi dengan Menggunakan Jenis Sinar dan Variasi Konsentrasi secara Fotolisis

Gambar 12 menunjukkan bahwa penyinaran dibawah sinar UV A ($\lambda = 365 \text{ nm}$) dengan menggunakan variasi katalis didapatkan persen degradasi lebih tinggi, dimana dapat dilihat bahwa dibawah sinar UV A ($\lambda = 365 \text{ nm}$) dengan penambahan katalis TiO_2 /karbon aktif yang sudah dikompositkan didapatkan persen degradasi sebesar 94,12% selama 4 jam. Sedangkan dibawah penyinaran sinar UV C ($\lambda = 254 \text{ nm}$) diperoleh persen degradasi sebesar 92,15% selama 4 jam dan dibawah sinar tampak hanya mampu mendegradasi sebesar 83,33%. Ada tiga alasan yang menjelaskan aktivitas dari sinar UV yang tinggi dari TiO_2 yang dikompositkan dengan karbon. Pertama, TiO_2 yang dikompositkan dengan karbon memberikan luas permukaan yang tinggi dan situs yang lebih aktif menyerap spesies reaktif yang dapat meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Kedua, karbon dianggap dapat menggantikan beberapa atom pada permukaan TiO_2 karena TiO_2 sudah terbentuk sebelum dikompositkan. Oleh karena itu, terjadi penyempitan celah pita pada TiO_2 yang dapat menyerap lebih banyak menyerap sinar UV [27]. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh bahwa sinar lampu UV A ($\lambda = 365 \text{ nm}$) menghasilkan degradasi yang paling tinggi dengan penambahan katalis.



Gambar 12. Kurva perbandingan pengaruh jenis sinar dan variasi katalis

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa degradasi zat warna *methyl violet* dengan metode sonolisis tanpa dan dengan penambahan katalis pada waktu 4 jam sebesar 12,99% dan 79,16%. Pada metode fotolisis dilakukan menggunakan tiga jenis sumber sinar yaitu UV ($\lambda = 365$, dan $\lambda = 254$ nm) dan lampu sinar tampak dan juga dengan penambahan variasi katalis karbon aktif, TiO_2 , dan TiO_2 /karbon aktif. Persen degradasi yang lebih tinggi dihasilkan pada waktu 4 jam dengan menggunakan lampu UV ($\lambda = 365$ nm) dan katalis TiO_2 /karbon aktif 20 mg sebesar 94,12%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Ashega, C. M. Padma, D. H. Raja, S. Sindhusa, A. I. Almansour, S. S. J. Dhas, "H₂O₂-assisted photo-electrocatalytic and photocatalytic degradation of methyl violet by CuO-modified TiO₂ nanotube arrays," *Opt. Mater.*, vol. 155, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.115870>
- [2] Deliza, Safni, R. Zein, R. A. Putri, "Advancement in Green Synthesis of Titanium Dioxide: Photocatalytic and Larvicidal Activities – A review," *Hydrogen.*, vol. 12, 2024 pp.115–126, [doi:https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i1.10655](https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i1.10655)
- [3] S. S. Kalra, S. Mohan, A. Sinha, and G. Singh, "Advanced Oxidation Processes for Treatment of Textile and Dye Wastewater : A Review," *Ipcbee*, vol. 4, 2011, pp. 271–275.
- [4] Safni, F. Y. Desri, Zulhadjri, Khoiriah, and R. A. Putri, "Photocatalytic Degradation of Violet-RR with Solar Irradiation Using TiO₂ Catalyst," *J. Ipteks Terap.*, vol. 15, no. 1, 2021, pp. 79–86.
- [5] S. Sagadevan *et al.*, "Photocatalytic Efficiency of Titanium Dioxide for Dyes and Heavy Metals Removal from Wastewater," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 17, no. 2, 2022, pp. 430–450, DOI: <https://doi.org/10.9767/bcrec.17.2.13948.430-450>
- [6] R. A. Putri, S. Safni, N. Jamarun, U. Septiani, M. K. Kim, and K. D. Zoh, "Degradation and mineralization of violet-3B dye using C-N-codoped TiO₂ photocatalyst," *Environ. Eng. Res.*, vol. 25, no. 4, 2020, pp. 529–535, , [doi: 10.4491/eer.2019.196](https://doi.org/10.4491/eer.2019.196)
- [7] W. R. Sari, N. Hindryawati, R. R. Dirgarini, and J. Nurlianti, "Modification of Activated Carbon from Shells of Jengkol with TiO₂ for Photodegradation of Rhodamine B," *At. J.*, vol. 2, 2019, pp. 64–68.
- [8] Y. Danarto and S. T, "Pengaruh Aktivasi Karbon Dari Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cr(VI)," *Ekuilibrium*, vol. 7, no. 1, 2008, pp. 13–16.
- [9] M. M. Alam *et al.*, "The potentiality of rice husk-derived activated carbon: From synthesis to application," *Processes*, vol. 8, no. 2, 2020, <https://doi.org/10.3390/pr8020203>
- [10] H. Sanjaya and B. Harnum, "Degradasi Methyl Violet Secara Fotolisis dan Sonolisis Dengan Katalis TiO₂/SiO₂," *Chem. J. State Univ. Padang*, vol. 2, no. 2, 2013, pp. 40–45. DOI: [10.24036/eksakta/vol19-iss1/131](https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/131)
- [11] P. Senthil Kumar, K. Ramakrishnan, S. Dinesh Kirupha, and S. Sivanesan, "Thermodynamic and kinetic studies of cadmium adsorption from aqueous solution onto rice husk," *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 27, no. 2, 2010, pp. 347–355, [doi: 10.1590/s0104-66322010000200013](https://doi.org/10.1590/s0104-66322010000200013).
- [12] B. I. Mukti, "Adsorpsi Metilen Biru Dengan Menggunakan Arang Aktif Dari Sekam Padi dari Sekam Padi," Universitas Islam Indonesia, Jogjakarta, 2016.
- [13] M. Poluakan, A. Wuntu, and M. S. Sangi, "Aktivitas Fotokatalitik TiO₂ – Karbon Aktif dan TiO₂ – Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow," *J. MIPA*, vol. 4, no. 2, 2015, pp.137–140, <https://doi.org/10.35799/jm.4.2.2015.9038>
- [14] H. S. Hilal, L. Z. Majjad, N. Zaatar, and A. El-Hamouz, "Dye-effect in TiO₂ catalyzed contaminant photo-degradation: Sensitization vs. charge-transfer formalism," *Solid State Sci.*, vol. 9, no. 1, 2007, pp. 9–15, . <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2006.10.001>
- [15] Legiso, H. Juniar, and U. M. Sari, "Perbandingan Efektivitas Karbon Aktif Sekam Padi Dan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Pada Pengolahan Air Sungai Enim," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, 2019 pp. 1–13.
- [16] C. Anantha Prabhu, D. Silambarasan, R. Sarika, and V. Selvam, "Synthesis and Characterization of TiO₂," *Mater. Today Proc.*, vol. 64, 2022, pp. 1793-1797, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.074>
- [17] G. P. Santiyo Wibowo, Wasrin Syafi, "Karakterisasi Permukaan Arang Aktif Tempurung Biji Nyamplung," *Makara, Teknologi.*, vol. 15, no. 1, 2011, pp. 17–24, DOI: [10.7454/mst.v15i1.852](https://doi.org/10.7454/mst.v15i1.852)
- [18] N. Setthaya, P. Chindaprasirt, S. Yin, and K. Pimraksa, "TiO₂-Zeolite Photocatalysts Made of Metakaolin and Rice Husk Ash for Removal of Methylene Blue Dye," *Powder Technol.*, vol. 313, 2017, pp. 417-426, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.014>
- [19] L. R. do. Santos, A. J. S. Mascarenhas, and L. A. Silva, "Preparation and Evaluation of Composite With a Natural Red Clay and TiO₂ for Dye Discoloration Assisted by Visible Light," *Appl. Clay Sci.*, vol. 135, 2017, pp. 603–610. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.11.002>

- [20] K. Jeyasubramanian, G. S. Hikku, and R. K. Sharma, "Photo-catalytic Degradation of Methyl Violet Dye Using Zinc Oxide Nano particles Prepared by a Novel Precipitation Method and Its Anti-bacterial Activities," *J. Water Process Eng.*, vol. 8, 2015, pp. 35–44, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.08.007>.
- [21] D. F. Solikha, "Penentuan Kadar Tembaga (II) Pada Sampel Menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (SSA) pada Perkin Erlmer Analys 100 Metode Kurva Kalibrasi," *J. Ilm. Indones.*, vol. 4, no. 2, 2019. pp. 1–11, DOI: [10.36418/syntax-literate.v4i2.549](https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v4i2.549)
- [22] M. O. Ruliza, T. E. Agustina, and R. Mohadi, "Impregnation of activated carbon-TiO₂ composite and its application in photodegradation of procion red synthetic dye in aqueous medium," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 105, 2018 p. 012024, DOI: [10.1088/1755-1315/105/1/012024](https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012024)
- [23] W. Andayani, A. Sumartono, "TiO₂ And TiO₂/Active Carbon Photocatalysts Immobilized On Titanium Plates," *Indo. J. Chem*, vol. 7, no. 3, 2007, pp. 238–242.
- [24] S. Safni, S. Fardila, M. Maizatisna, and Z. Zulfarman, "Degradasi Zat Warna Metanil Yellow Secara Sonolisis Dan Fotolisis Dengan Penambahan TiO₂-Anatase," *J. Sains dan Teknol. Farm.*, vol 11, no 1, 2007, pp. 47–51.
- [25] Deliza, Safni, Rahmayeni, "Degradasi Rhodamin B secara fotokatalisis dan ozonolisis dengan penambahan TiO₂-NiFe₂O₄, TiO₂-CuFe₂O₄, dan TiO₂-MnFe₂O₄," *J. Ris. Kim.*, vol. 7, no 2, 2014, pp 151-160, DOI: <https://doi.org/10.25077/jrk.v7i2.178>
- [26] M. Al-Amin, S. Chandra Dey, T. U. Rashid, M. Ashaduzzaman, and S. M. Shamsuddin, "Solar Assisted Photocatalytic Degradation of Reactive Azo Dyes in Presence of Anatase Titanium Dioxide," *Int. J. Latest Res. Eng. Technol.*, vol. 2, 2016, pp. 14–21.
- [27] K. Palanivelu, J.-S. Im, and Y.-S. Lee, "Carbon Doping of TiO₂ for Visible Light Photo Catalysis - A review," *Carbon Lett.*, vol. 8, no. 3, 2007, pp. 214–224. DOI: [10.5714/CL.2007.8.3.214](https://doi.org/10.5714/CL.2007.8.3.214)