

Immobilisasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit Sebagai Fotokatalis Pada Fotodegradasi Zat Warna Methylene Blue

Shofi Nurul Sakinah, Julinawati, Fathurrahmi, Sheilatina
Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Indonesia
E-mail: sheilatina@usk.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan industri tekstil di Indonesia memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama dari limbah cair yang mengandung zat warna berbahaya seperti Methylene Blue (MB). Zat warna ini bersifat toksik dan dapat merusak ekosistem perairan. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efektif untuk mengurangi dampak limbah ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit yang diimmobilisasi pada plat kaca untuk mendegradasi zat warna Methylene Blue secara efisien. Immobilisasi fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit pada plat kaca telah dilakukan dengan metode *brush coating* menggunakan *double-sided adhesive tape* (DSAT) sebagai perekat. Formulasi komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonit dibuat dengan mencampurkan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan bentonit dengan perbandingan 3:1 (w/w). Aktivitas fotokatalitik fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonit yang terimmobilisasi pada plat kaca dievaluasi pada penghilangan zat warna methylene blue (MB). Komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonit dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengevaluasi struktur senyawa dan kristal dari komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonit dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Morfologi permukaan fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonit dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas fotokatalis dalam mendegradasi zat warna MB terjadi pada massa fotokatalis optimum 40 mg, pH 5 dan konsentrasi zat warna 5 mg/L dengan nilai kinetika reaksi yang diperoleh sebesar 0,0843 menit⁻¹ dan persen kehilangan (%R) yang diperoleh sebesar 98,60% selama 60 menit penyinaran dengan lampu *fluorescent*. Penggunaan kembali (reusabilitas) fotokatalis komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonit terhadap zat warna MB dilakukan sebanyak 5 kali dengan aktivitas fotokatalitik yang menurun seiring dengan pengulangan yang dilakukan yaitu 98,60 % hingga 94%.

Kata kunci:

immobilisasi, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$,
bentonit, fotokatalis,
methylene blue.

Keywords:

immobilization, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$,
bentonite,
photocatalyst,
methylene blue.

The development of the textile industry in Indonesia has a negative impact on the environment, especially from liquid waste containing hazardous dyes such as Methylene Blue (MB). This dye is toxic and can damage aquatic ecosystems. Therefore, an effective method is needed to reduce the impact of this waste. This study aims to develop an $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonite photocatalyst immobilized on a glass plate to efficiently degrade Methylene Blue dye. Immobilization of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonite photocatalyst on a glass plate has been carried out by the brush coating method using double-sided adhesive tape (DSAT) as an adhesive. The $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonite composite formulation was made by mixing $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and bentonite with a ratio of 3:1 (w/w). The photocatalytic activity of the $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonite photocatalyst immobilized on a glass plate was evaluated in the removal of methylene blue (MB) dye. The $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonite and $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ composites were characterized using X-Ray Diffraction (XRD) to evaluate the compound and crystal structure of the $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonite and $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ composites. The surface morphology of the $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonite photocatalyst was characterized using Scanning Electron Microscope (SEM). The results showed that the photocatalyst activity in degrading MB dye occurred at an optimum photocatalyst mass of 40 mg, pH 5 and dye concentration of 5 mg/L with a reaction kinetics value of 0.0843 min⁻¹ and a percentage loss (%R) of 98.60% for 60 minutes of irradiation with fluorescent lamps. The reusability of the $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /bentonite composite

photocatalyst on MB dye was carried out 5 times with the photocatalytic activity decreasing along with the repetitions, namely 98.60% to 94%.

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).
This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri tekstil di Indonesia yang sangat pesat memberikan dampak negative terhadap lingkungan akibat adanya limbah cair organik yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun sebagai bahan buangan pabrik. Perkembangan industri tekstil di Indonesia yang sangat pesat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan akibat adanya limbah cair organik yang mengandung bahan-bahan berbahaya dan beracun sebagai buangan pabrik. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, industri tekstil di Indonesia menghasilkan sekitar 1,5 juta ton limbah cair setiap tahun. Limbah ini mengandung zat pewarna, logam berat, dan bahan kimia berbahaya lainnya yang dapat mencemari sumber air dan mengganggu ekosistem local (Riskiani et al., 2019).

Dampak dari limbah ini sangat signifikan, seperti penurunan kualitas air di sungai-sungai yang dilalui, yang dapat menyebabkan kematian ikan dan organisme air lainnya. Selain itu, pencemaran ini dapat mengganggu proses fotosintesis pada tanaman air, sehingga mengurangi keanekaragaman hayati dan mengganggu rantai makanan di ekosistem perairan. Dengan demikian, perlunya upaya pengelolaan limbah yang lebih baik sangat mendesak untuk melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Limbah ini dapat mengganggu proses biologis seperti menghambat proses fotosintesis pada tanaman air dan menyebabkan kematian makhluk hidup di perairan (Yulianto, 2021). Limbah cair organik tersebut dihasilkan dari proses pewarnaan menggunakan zat warna organik sintetis (Zulaidah & Juliani, 2020).

Salah satu zat warna organik sintetis yang sering digunakan sebagai pewarna tekstil adalah *Methylene Blue* (MB). Zat warna ini sering digunakan dalam industri tekstil karena harganya yang ekonomis dan mudah diperoleh. Penggunaan *Methylene Blue* dapat menyebabkan efek buruk seperti gangguan dan iritasi pada saluran pencernaan apabila tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit, dan apabila dibiarkan terlalu lama di lingkungan akan menjadi sumber penyakit karena bersifat toksik serta menyebabkan mutase genetic dan berpengaruh pada reproduksi (Hawley, 1981). Oleh karena itu, dibutuhkan berbagai macam metode untuk dapat mengurangi bahayanya di lingkungan.

Pengolahan limbah cair zat warna sintetis telah banyak dilakukan, misalnya dengan cara fisika menggunakan metode adsorpsi atau secara biologi menggunakan bakteri *Pseudomonas* sp (Rakhmawati, 2015). Hasil-hasil penelitian yang dilaporkan tersebut menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi zat warna sintetis dalam limbah. Namun terdapat beberapa permasalahan yang ditemukan pada saat melakukan proses pengolahan maupun setelah proses pengolahan. Dengan demikian perlu dikembangkan suatu metode baru yang mudah diterapkan dengan harga yang relatif murah, salah satunya dengan fotodegradasi menggunakan fotokatalis. Umumnya beberapa fotokatalis yang digunakan merupakan bahan semikonduktor yang diantaranya adalah TiO_2 , ZnO , CdS dan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Ilmi, 2020).

Semikonduktor $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematit) digunakan sebagai fotokatalis dalam reaksi fotodegradasi zat warna karena sifatnya yang stabil, biaya rendah dan memiliki energi celah pita yang kecil (1,9-2,2 eV) sehingga dapat digunakan dengan sinar matahari dan sumber cahaya tampak. Namun $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mempunyai daya adsorpsi yang rendah sehingga dibutuhkan adsorben untuk meningkatkan daya adsorpsi pada fotokatalis. Bentonit merupakan mineral alam yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pada proses katalis. Bentonit banyak dijadikan alternatif utama dalam proses adsorpsi karena *montmorillonit* pada bentonit memiliki ukuran ruang antar lapis yang mempunyai kapasitas besar dalam adsorpsi sehingga sangat efektif sebagai adsorben (Kusuma, 2012).

Penggunaan komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Bentonit sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna tekstil sebelumnya telah banyak dilakukan pada beberapa penelitian terdahulu Riskiani (2019) dan (Lubis, 2018). Pada penelitian lainnya yang telah dilakukan oleh Sheilatina et al. (2024), yaitu meng-immobilisasi fotokatalis $\text{TiO}_2/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit pada plat kaca menggunakan *double-sided adhesive tape* (DSAT). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa fotokatalis yang diimmobilisasi pada plat kaca dapat mendegradasi zat warna sebesar 98,6% dalam waktu iradiasi selama 60 menit, dan immobilisasi fotokatalis yang dapat digunakan sebanyak 5 kali untuk degradasi zat warna *Indigo Carmine*.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan immobilisasi fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ menggunakan bentonit sebagai adsorben yang dipreparasi dengan menggunakan metode *brush coating* pada plat kaca yang dilapisi *double-sided adhesive tape* (DSAT). $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ yang digunakan dalam penelitian ini diekstraksi dari pasir besi yang berasal dari pantai Alue Naga, Aceh.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ yang diimmobilisasi pada plat kaca, guna meningkatkan efisiensi dalam mendegradasi zat warna Methylene Blue (MB). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi massa fotokatalis, pH, dan konsentrasi zat warna terhadap aktivitas fotokatalitik, sehingga dapat menentukan kondisi optimum. Selanjutnya, penelitian ini akan menilai kemampuan penggunaan kembali (reusabilitas) fotokatalis dalam proses fotodegradasi untuk memastikan keberlanjutan penggunaannya.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai solusi efektif untuk mengurangi pencemaran limbah cair dari industri tekstil, khususnya dalam mengolah zat warna berbahaya. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi fotokatalitik yang ramah lingkungan dan biaya efektif dalam pengolahan limbah cair. Dengan mengurangi konsentrasi zat warna berbahaya di perairan, penelitian ini berpotensi meningkatkan kualitas air dan memulihkan ekosistem lokal. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam bidang fotokatalisis dan pengolahan limbah, serta mendorong penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan material lokal seperti bentonit.

METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah, *hot plate magnetic stirrer*, *ball mill*, sonikator, spektrofotometer UV-Vis, lampu *fluorescent* (PHILIPS 45 watt), *double-sides adhesive tape* (DSAT), plat kaca, reaktor kaca, pompa aerasi dan pH meter. Karakterisasi komposit menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscopy*) cross section dan XRD (*X-Ray Diffraction*).

Bahan kimia yang digunakan adalah akuades, pasir besi, bentonit, asam klorida (HCl), natrium hidroksida (NaOH), ammonium hidroksida 25% (NH₄OH), dan zat warna *Methylene Blue* (C₁₆H₁₈N₃SCl dari Merck).

Karakterisasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$

Karakterisasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui fasa kristal hematit dan bentonit. *Scanning Electron Microscope* (SEM) cross section bertujuan untuk mengetahui morfologi permukaan melintang fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$.

Ekstraksi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dari Pasir Besi

Ekstraksi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dari pasir besi yang berasal dari pantai Alue Naga, Aceh, dilakukan sesuai dengan prosedur yang sudah pernah dilakukan oleh (Fatmaliana et al., 2016). Fe_2O_3 yang dihasilkan kemudian dikalsinasi menggunakan tanur pada suhu 700°C selama 5 jam agar terbentuk $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Yulianto, 2021).

Preparasi Bentonit

Preparasi *fresh* dilakukan sesuai dengan prosedur yang sudah dilakukan oleh Lubis et al., (2019).

Preparasi Immobilisasi Fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$

Komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ dipreparasi dengan mencampurkan $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan bentonit dengan rasio 3:1 (w/w) (Zahra, 2018) kedalam 10 mL akuades. Sampel diaduk melalui proses sonikasi selama satu jam, hingga dihasilkan campuran yang homogen.

Immobilisasi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ dilakukan dengan merekatkan komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ pada plat kaca yang dilapisi *double-side adhesive tape* (DSAT) menggunakan metode *Brush-Coating* dengan variasi massa 20, 40, 60, 80, dan 100 mg. Plat kaca yang telah dilapisi dengan fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ kemudian dikeringanginkan selama semalam (Nawawi et al., 2017).

Uji Aktivitas Fotokatalitik $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ Terimmobilisasi Pada Plat Kaca di Bawah Lampu *Fluorescent*

Pengujian aktivitas fotokatalitik dari immobilisasi sampel diuji dengan mendegradasi zat warna MB dengan memvariasikan beberapa parameter yaitu massa fotokatalis, pH larutan zat warna dan konsentrasi awal zat warna. Skema kerja fotokatalitik fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ yang terimmobilisasi pada plat kaca yang digunakan untuk mendegradasi zat warna MB dengan bantuan cahaya dari lampu *fluorescent* sesuai dengan yang dilakukan oleh Sheilatina et al., (2024).

Penentuan Aktivitas Optimum Fotokatalis pada Proses Fotodegradasi Zat Warna *Methylene Blue*

Aktivitas fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ dalam mendegradasi zat warna MB ditentukan dengan mengukur nilai absorbansi zat warna MB sebelum dan setelah dilakukan radiasi dengan lampu *fluorescent* pada interval waktu tertentu. Adsorbansi aliquot yang diukur dengan spektrofotometer UV-VIS diatur pada panjang gelombang yang sesuai dengan absorbansi *Methylene Blue*. Konsentrasi akhir yang didapat dimasukkan dalam persamaan (1) untuk menentukan persen zat warna yang telah hilang (%R). Melalui nilai %R maka dapat ditentukan massa optimum (massa yang memberikan %R paling besar)

$$\%R = \frac{Co - Ct}{Co} \times 100\%$$

(1)

Keterangan :

Co = Konsentrasi awal zat warna sebelum diradiasi

Ct = Konsentrasi zat warna pada waktu t : 0, 15, 30, 45 dan 60 menit

Model kinetika *Langmuir-Hinshelwood* digunakan untuk menentukan konstanta laju awal atau laju penghilangan zat warna, dengan persamaan sebagai berikut (2):

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = -kt \quad (2)$$

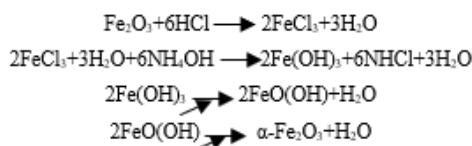
dimana Co adalah konsentrasi awal zat warna, dan C adalah konsentrasi zat warna yang terdegradasi pada waktu *t*, sedangkan *k* adalah konstanta kecepatan yang dihitung dari slope $\ln(C_0/C)$ terhadap waktu *t*.

Efisiensi dan Reusabilitas Fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ yang Terimmobilisasi pada Plat Kaca

Immobilisasi fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ pada plat kaca menggunakan DSAT dievaluasi untuk melihat efisiensi dan penggunaan kembali dalam adsorpsi dan fotokatalitik pada zat warna MB. Fotodegradasi dilakukan pada kondisi massa fotokatalis, pH dan konsentrasi awal zat warna optimum yang telah diperoleh sebelumnya, fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ pada plat kaca digunakan berulang kali sebanyak 5 kali, setiap pengaplikasian dilakukan selama 60 menit. Selanjutnya permukaan plat kaca dibersihkan dengan meradiasi plat dalam akuades menggunakan lampu *fluorescent* selama 30 menit untuk menghilangkan residu pewarna dan zat antara yang tersisa pada permukaan fotokatalis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pasir besi yang digunakan disintesis dengan cara melarutkan senyawa besi yang terdapat pada pasir besi dengan larutan asam klorida untuk membentuk senyawa FeCl_3 . Penambahan larutan ammonium hidroksida sampai pH 6 dilakukan untuk membentuk endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang ditandai dengan warna coklat kehitaman. Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang telah disaring dari filtratnya kemudian dikalsinasi pada suhu 700°C selama 5 jam sehingga didapatkan fasa $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematit), dengan terbentuknya senyawa berwarna merah bata seperti yang terlihat pada Gambar. 1. Reaksi pembentukan hematit Khoiroh (2013) dapat ditulis sebagai berikut :



Gambar 1. Hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) yang telah disintesis dari pasir besi

Komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ diimmobilisasi pada plat kaca dengan metode *brush coating* bertujuan untuk membuat fotokatalis diam dipermukaan suatu media (kaca), sehingga fotokatalis dapat digunakan secara berulang.

Karakterisasi Hematit, Bentonit dan komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ dilakukan menggunakan instrument XRD. Pola difraksi bentonit pada Gambar 2 menunjukkan puncak-puncak pada sudut $2\theta = 19,70^\circ, 21,86^\circ$ yang merupakan senyawa *montmorillonite* dan sudut difraksi $2\theta = 27,66^\circ$ merupakan pola difraksi untuk mineral kuarsa dalam bentuk senyawa SiO_2 (Wahyuningsih et al., 2021). Puncak-puncak difraksi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ terdapat pada sudut $2\theta = 24,06^\circ, 33,10^\circ, 35,02^\circ, 40,80^\circ, 49,44^\circ, 54,02^\circ$ dan $64,02^\circ$ puncak-puncak tersebut sesuai dengan puncak hematit pada *database COD inorganic* 969000140. Sudut $2\theta = 48,48$ adalah puncak senyawa ilminit ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{Ti}$).

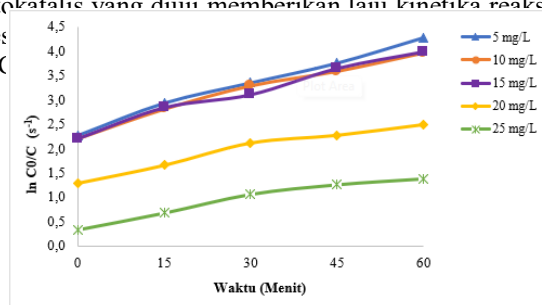
ketebalan fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ yang diimmobilisasi pada plat kaca. Berdasarkan Gambar 4, hasil uji SEM komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ dapat dilihat bahwa fotokatalis dengan massa 20 mg dan 40 mg memiliki struktur permukaan yang lebih tipis dan kasar dibandingkan dengan struktur permukaan fotokatalis dengan massa 60 mg yang mempunyai struktur yang lebih rata dan tebal. Ini menandakan bahwa semakin banyak fotokatalis yang diaplikasikan pada plat kaca maka akan semakin rata dan tebal permukaannya sehingga dapat mempengaruhi aktivitas fotokatalitik dari fotokatalis yang diimmobilisasi.

Uji Aktivitas Fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ Terimmobilisasi Pada Plat Kaca Untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue

Aktivitas fotokatalitik dari komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ diuji pada degradasi zat warna *Methylene Blue* (MB) menggunakan sinar lampu *fluorescent* sebagai sumber cahaya. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan beberapa parameter seperti massa fotokatalis, pH larutan zat warna dan konsentrasi zat warna. Penentuan konsentrasi larutan zat warna setelah diradiasi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Pengaruh Massa Fotokatalis

Efektivitas proses fotokatalitik dipengaruhi oleh massa fotokatalis, ini dikarenakan massa fotokatalis yang digunakan dalam reaksi fotokatalitik mempengaruhi jumlah elektron, *hole* dan sisi aktif lainnya yang akan terbentuk. Massa fotokatalis yang diuji memberikan laju kinetika reaksi degradasi tertinggi pada massa 40 mg dengan nilai k sebesar 0,0797 menit^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 5.

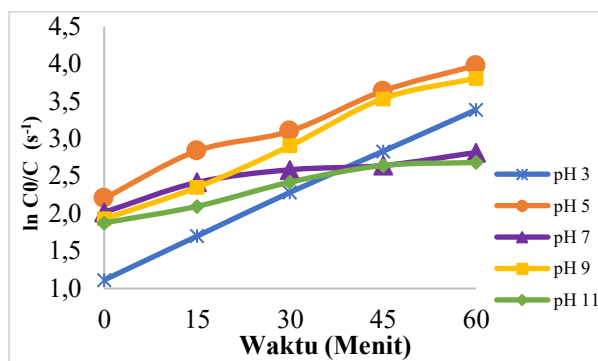


Gambar 5. Grafik regresi linear $\ln C_0/C$ vs t dari kinetika fotodegradasi zat warna MB pada variasi massa fotokatalis

Komposit yang diimmobilisasi pada plat kaca dengan massa 20 mg tidak cukup baik dalam mendegradasi zat warna, begitu pula dengan komposit pada massa 60, 80 dan 100 mg, fotokatalis yang diaplikasikan terlalu banyak pada plat kaca akan menjadikan permukaan komposit tebal dan rata (kurang berpori) sehingga dapat menutupi sisi aktif dari fotokatalis (Sun et al., 2015). Massa fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Bentonit}$ terimmobilisasi pada plat kaca yang paling optimum untuk mendegradasi zat warna MB adalah 40 mg.

Pengaruh pH Larutan Zat Warna

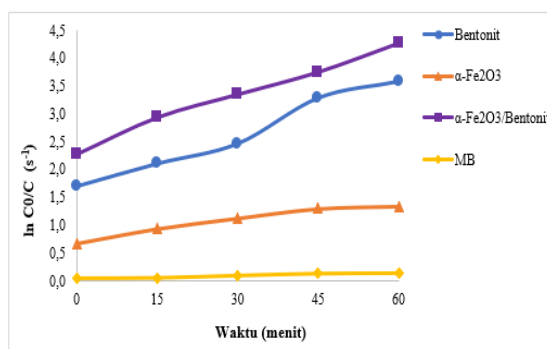
Aktivitas fotokatalis juga dipengaruhi oleh pH zat warna yang akan didegradasi, hal ini disebabkan karena proses adsorpsi molekul zat warna ke permukaan fotokatalis bergantung pada kondisi pH yang digunakan. Gambar 6 menunjukkan bahwa pada saat kondisi pH 5 dengan nilai k sebesar 0,0797 menit^{-1} dan %R sebesar 97,81% dalam waktu 60 menit penyinaran merupakan aktivitas fotokatalitik terbaik untuk zat warna MB. Dalam jurnalnya (Zulfani & Dewajani, 2023), menyebutkan bahwa pH rendah dapat meningkatkan aktivitas degradasi, hal ini dikarenakan larutan yang semakin asam akan meningkatkan produksi radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) sehingga penyerangan molekul pewarna organik menjadi lebih cepat. Pada pH tinggi, potensial oksidasi radikal hidroksil menurun, sehingga menghasilkan penurunan degradasi zat warna *Methylene Blue*.



Gambar 6. Grafik regresi linear $\ln C_0/C$ vs t dari kinetika fotodegradasi zat warna MB pada variasi pH zat warna MB

Pengaruh Konsentrasi Zat Warna MB

Kondisi lain yang mempengaruhi aktivitas fotokatalitik komposit adalah konsentrasi larutan zat warna yang didegradasi. Gambar 7 menunjukkan kinetika reaksi degradasi zat warna MB yang terus meningkat seiring dengan berkurangnya konsentrasi larutan zat warna. Konsentrasi larutan zat warna optimum yang didapat yaitu 5 mg/L dengan nilai k sebesar 0,0843 menit⁻¹ dan %R sebesar 98,60% dalam waktu 60 menit.

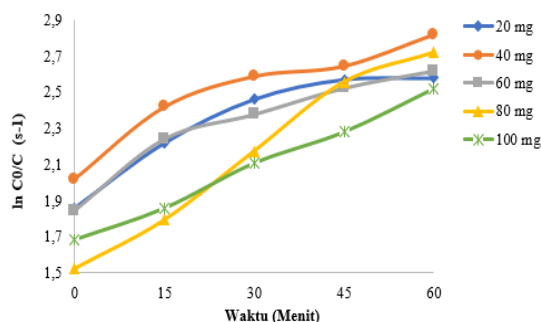


Gambar 7. Grafik regresi linear $\ln C_0/C$ vs t dari kinetika fotodegradasi zat warna MB pada variasi konsentrasi zat warna MB

Hasil pengujian yang didapat menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan zat warna MB akan menurunkan kinerja fotokatalitik komposit α -Fe₂O₃/Bentonit, hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi MB yang digunakan maka semakin banyak jumlah molekulnya, banyaknya jumlah molekul zat warna ini menyebabkan kompetisi antar MB untuk teradsorpsi oleh komposit α -Fe₂O₃/Bentonit semakin besar, sehingga akan menyebabkan proses adsorpsi semakin menurun. Selain itu, konsentrasi MB yang besar akan mempengaruhi sinar *fluorescent* yang sampai pada fotokatalis. Semakin sedikit sinar *fluorescent* yang mengenai fotokatalis maka semakin sedikit pula energi foton yang sampai pada fotokatalis sehingga dapat mengakibatkan kemampuan elektron bereksitasi semakin kecil. Dengan demikian maka akan menghasilkan OH radikal yang semakin sedikit dan kemampuan mengoksidasi zat warna MB menurun (Andari, 2019).

Degradasi Zat Warna MB Menggunakan Fotokatalis α -Fe₂O₃ dan Bentonit

Pengujian dilakukan untuk melihat perbandingan kinetika reaksi fotodegradasi katalis α -Fe₂O₃ dan Bentonit serta komposit α -Fe₂O₃/Bentonit yang dibuat pada penelitian ini. Fotodegradasi dilakukan pada kondisi optimum massa fotokatalis 40 mg, pH 5 dan konsentrasi larutan zat warna 5 mg/L.



Gambar 8. Grafik kinetika reaksi pada degradasi zat warna MB menggunakan fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, Bentonit, komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit terimmobilisasi pada plat kaca

Berdasarkan Gambar 8. kinetika reaksi degradasi tertinggi untuk zat warna MB terletak pada penggunaan komposit fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit dengan nilai k yang diperoleh sebesar $0,0843 \text{ menit}^{-1}$ dan %R sebesar 98,60%, sedangkan dengan penggunaan fotokatalis Bentonit nilai k yang didapat yaitu sebesar $0,0694 \text{ menit}^{-1}$ dengan %R sebesar 97,20% dengan waktu radiasi masing-masing selama 60 menit.

Gambar 8 juga menunjukkan bahwa komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit memiliki kinetika reaksi terbaik pada degradasi zat warna MB, ini dikarenakan zat warna MB merupakan zat warna kationik, sehingga mudah untuk teradsorpsi pada permukaan bentonit yang bersifat negatif (terjadi tarik-menarik), adanya penambahan bentonit pada fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dapat meningkatkan kinerja fotokatalitik dari fotokatalis dan mengatasi kelemahan dari $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematit) yang cenderung memiliki daya adsorpsi yang rendah. Fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ pada komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit berperan mendegradasi zat warna MB menjadi senyawa yang lebih sederhana sedangkan bentonit berperan sebagai adsorben dan berkontribusi pada proses adsorpsi zat warna MB sebelum degradasi fotokatalitik terjadi. Dalam proses adsorpsi, molekul MB akan ditarik dan ditahan pada permukaan bentonit tanpa mengalami perubahan kimia. Proses ini bersifat fisik dan hanya mengandalkan interaksi antara molekul MB dengan permukaan bentonit. Bentonit sebagai adsorben hanya menahan MB pada permukaan fotokatalis sehingga adanya kemungkinan desorpsi jika kondisi lingkungan berubah (Elystia et al., 2024).

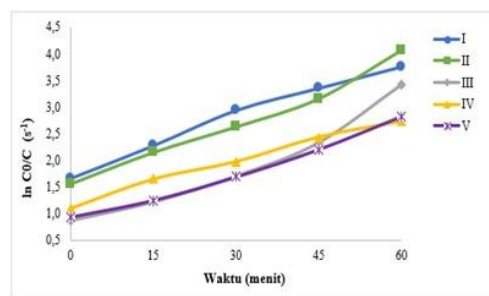
Reusabilitas Fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit yang Terimmobilisasi pada Plat Kaca

Pengujian dilakukan dengan menguji komposit $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit sebanyak 5 kali, kemudian plat kaca diradiasi dalam akuades menggunakan lampu *fluorescent* selama 30 menit pada setiap pengulangan untuk menghilangkan residu zat warna dan zat antara yang tersisa pada permukaan fotokatalis. Hal ini bertujuan agar zat warna MB terdesorpsi dari permukaan fotokatalis.

Tabel 1. Nilai k dan %R dari reusabilitas fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit yang terimmobilisasi pada plat kaca pada degradasi zat warna MB

No.	Reusabilitas	k (konstanta laju) (menit^{-1})	%R
1.	I	0,0843	98,60
2.	II	0,0736	98,27
3.	III	0,0561	97,42
4.	IV	0,0529	97,31
5.	V	0,0500	94

Tabel 1 menunjukkan kinetika reaksi pada reusabilitas fotokatalis $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /Bentonit, dimana kinetika reaksi menurun sampai dengan 4 kali pengulangan dengan nilai k sebesar 0,0843, 0,0736, 0,0561, 0,0529 dan 0,0500 menit^{-1} , dengan %R masing-masing sebesar 98,60%, 98,27%, 97,42%, 97,31% dan 94%. Dari hasil tersebut diketahui bahwa penggunaan kembali fotokatalis mengalami penurunan yang signifikan pada pengulangan ke 4 seperti yang terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik kinetika reaksi pada reusabilitas fotokatalis α -Fe₂O₃/Bentonit yang terimobilisasi pada plat kaca pada degradasi zat warna MB.

Penurunan kinetika reaksi dan % R pada pengulangan ke 4 untuk penggunaan kembali fotokatalis komposit α -Fe₂O₃/Bentonit menunjukkan bahwa masih adanya molekul zat warna MB yang belum terdesorpsi pada permukaan fotokatalis. Hal ini menyebabkan proses adsorpsi dan eksitasi elektron terganggu, sehingga efektifitas degradasi zat warna MB menurun dan mengakibatkan berkurangnya kinetika reaksi fotokatalis pada pengulangan ke 5 (Sheilatina, 2024)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Immobilisasi fotokatalis α -Fe₂O₃/Bentonit pada plat kaca dengan metode *brush-coating* menggunakan *double-sided adhesive tape* (DSAT) sebagai perekat telah berhasil dilakukan. Aktivitas fotokatalitik komposit α -Fe₂O₃/Bentonit yang diimmobilisasi pada plat kaca pada degradasi zat warna MB menunjukkan kinetika reaksi optimum yang diperoleh pada massa fotokatalis 40 mg, pH 5 dan konsentrasi 5 mg/L, dengan nilai k sebesar 0,0843 menit⁻¹ dan %R yang diperoleh sebesar 98,60%. Reusabilitas komposit α -Fe₂O₃/Bentonit yang diimmobilisasi pada plat kaca terhadap degradasi zat warna MB dilakukan sebanyak 4 kali dan adanya penurunan yang signifikan pada pengulangan ke 5 ditandai dengan menurunnya kinetika reaksi. Studi ini menunjukkan bahwa dampak transportasi terhadap kualitas lingkungan lebih dari sekadar polusi udara, tetapi juga polusi suara. Oleh karena itu, inisiatif manajemen lalu lintas yang berkelanjutan seperti menciptakan zona aktivitas, membatasi jam operasional kendaraan berat, dan mengurangi tingkat kebisingan diperlukan untuk meningkatkan kenyamanan dan kesejahteraan masyarakat yang tinggal di sekitarnya. Hasil-hasil penelitian ini memberikan dasar yang penting untuk mengembangkan strategi manajemen lalu lintas terpadu yang mempertimbangkan polusi suara dan memastikan kualitas udara yang baik di lingkungan perkotaan yang sibuk.

REFERENSI

- Andari, N. D. (2019). Fotokatalis TiO₂-zeolit untuk degradasi metilen biru. *Chemistry Progress*, 7(1).
- Elystia, S., Iner, A., & Edward, H. S. (2024). Pemanfaatan Adsorben Beads Komposit Chitosan-Bentonite Dalam Pengolahan Air Gambut. *Jurnal Reka Lingkungan*, 12(1), 11–23.
- Fatmaliana, A., Rahwanto, A., & Jalil, Z. (2016). synthesis and charact (fE2o3) extracted precipitati. *Jurnal Natural*, 16(1).
- Ilmi, D. R. (2020). Fotodegradasi zat warna metil jingga menggunakan fotokatalis TiO₂-N/Zeorlit yang disintesis dengan metode sonikasi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Khoiroh, L. M., Mardiana, D., Sabarudin, A., & Ismuyanto, B. (2013). Synthesis of hematite pigments (alpha-Fe₂O₃) by thermal transformations of FeOOH. *The Journal of Pure and Applied Chemistry Research*, 2(1), 27–34.
- Kusuma, W. A. Y. A. (2012). *Bentonit Pacitan Sebagai Adsorben Untuk Delororisasi CPO (Crude Palm Oil)*. UNIVERSITAS AIRLANGGA.
- Lubis, S. (2018). Synthesis, characterization and photocatalytic activity of α -Fe₂O₃/bentonite composite prepared by mechanical milling. *Journal of Physics: Conference Series*, 1116(4), 42016.
- Nawawi, W. I., Zaharudin, R., Zuliahani, A., Shukri, D. S., Azis, T. F., & Razali, Z. (2017). Immobilized TiO₂-polyethylene glycol: effects of aeration and pH of methylene blue dye. *Applied Sciences*, 7(5), 508.
- Rakhmawati, D. (2015). *Remediasi Limbah Proses Pewarna Naptol Jeans Dengan Sistem Lumpur Aktif Menggunakan Bakteri Indigenus*. UAJY.
- Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2019). Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ Untuk Degradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, 7(1).
- Sun, Q., Hu, X., Zheng, S., Sun, Z., Liu, S., & Li, H. (2015). Influence of calcination temperature on the structural, adsorption and photocatalytic properties of TiO₂ nanoparticles supported on natural zeolite. *Powder Technology*, 274, 88–97.
- Wahyuningsih, P., Harmawan, T., Fajri, R., & Putra, R. A. (2021). Synthesis of Biodiesel from Waste Cooking

- Oil Using the Sulfated Montmorillonite. *2nd International Conference on Science, Technology, and Modern Society (ICSTMS 2020)*, 28–31.
- Yulianto, A. (2021). *Pengaruh pengemban zeolit alam dan karbon aktif terhadap fotokatalis TiO₂-N dalam mendegradasi metil jingga*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Zulaidah, A., & Juliani, R. D. (2020). Penggunaan Bahan Pewarna Tekstil Pada Makanan Terhadap Kesehatan Masyarakat. *Majalah Ilmiah Inspiratif*, 5(9), 18–24.
- Zulfani, M. R., & Dewajani, H. (2023). Pengaruh Penambahan Chelating Agents (Asam Askorbat, Hidroksilamina, Dan Asam Oksalat) Dalam Fenton-Like Reaction Pada Proses Degradasi Metilen Biru. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(3), 286–294.