

SINTESIS FOTOKATALIS ZnO/ZEOLIT DENGAN APLIKASINYA MENGURANGI KONSENTRASI RHODAMINE B DALAM LARUTAN BERAIR

SYNTHESIS OF ZnO/ZEOLITE PHOTOCATALYST ITS APPLICATION REDUCES THE CONCENTRATION OF RHODAMINE B IN AQUEOUS SOLUTIONS

Ulfa Azarria*, Miftahul Khair

Universitas Negeri Padang, Department Kimia, Sumatera Barat, Indonesia

*Corresponding author: ulfaf0710@gmail.com

ABSTRAK

Fotokatalis ZnO/zeolit memiliki keunggulan dalam menurunkan kadar Rhodamine B dalam air dengan jangkauan harga yang relatif murah. Sintesis Fotokatalis ZnO/zeolit telah dilakukan dengan metode impregnasi basah. Hasil sintesis telah dikarakterisasi dengan XRD dan FTIR, kinerja adsorpsi dan dekomposisi fotodegradasi Rhodamine B 10 ppm dievaluasi dengan spektrofotometer UV-Vis. Dinamika adsorpsi ditinjau dari variasi massa yang telah berhasil mendegradasi Rhodamine B 10 ppm dengan persentase degradasi 97,5% dengan massa optimum katalis 0,6 g dan variasi massa yang telah berhasil mendegradasi Rhodamine B 10 ppm dengan persentase degradasi 98,29% dengan waktu optimum 75 menit. Fotokatalis terbukti menjadi bahan yang sangat efisien dan layak dalam pemurnian air.

Kata kunci: fotodegradasi; ZnO/zeolite; fotokatalis; rhodamine B

ABSTRACT

ZnO/zeolite photocatalyst has the advantage of reducing Rhodamine B levels in water with a low price range relatively. The synthesis of ZnO/zeolite photocatalyst has been carried out using the wet impregnation method. The synthesized product was characterized by XRD and FTIR, and the adsorption and decomposition performance of photodegradation of Rhodamine B 10 ppm was evaluated by a UV-Vis spectrophotometer. In terms of mass variations, Adsorption dynamics have successfully degraded Rhodamine B 10 ppm with a degradation percentage of 97.5% with an optimum catalyst mass of 0.6 g and mass variations have successfully degraded Rhodamine B 10 ppm with a degradation percentage of 98.29 % with an optimum time of 75 minutes. Photocatalysts proved to be a very efficient and feasible material in water purification

Keywords: ZnO/zeolite; photocatalyst; rhodamine B

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil memegang peranan yang sangat penting dalam industri Indonesia yang terus meningkat pesat. Selain berkontribusi pada perekonomian, industri tekstil menghasilkan limbah yang berpotensi merusak lingkungan. Limbah yang mengandung zat warna biasanya terdiri dari senyawa organik yang tidak dapat terurai (*nonbiodegradable*) yang menimbulkan pencemaran lingkungan

khususnya kawasan perairan, sehingga zat warna tersebut harus dioksidasi menjadi molekul yang lebih sederhana (Gayatri dkk., 2021).

Pencemaran lingkungan tersebut sebagian besar berasal dari pewarna sintetik. Zat warna sintetik tidak hanya merusak lingkungan tetapi juga bersifat karsinogenik yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup sehingga hal ini menjadi alasan mengapa senyawa organik dari zat warna mesti dihilangkan dari lingkungan khususnya perairan (Xiao dkk., 2020). Salah satu zat warna tekstil yang banyak digunakan dalam industri tekstil adalah Rhodamine B.

fotokatalisis merupakan metode yang paling umum untuk menghilangkan pewarna sintesis. Metode ini didasarkan pada produksi radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dimana zat pewarna sintetik diubah menjadi CO_2 dan H_2O . Keunggulan metode ini memiliki efisiensi yang tinggi, menghasilkan senyawa yang tidak beracun, biaya yang relatif murah, memiliki stabilitas terhadap bahan kimia, dan memungkinkan dilakukan pada suhu kamar (Davari dkk., 2019).

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah ZnO yang merupakan nanopartikel oksida logam dengan celah pita sebesar 3,37 eV, energi ikat sebesar 60 mV dan memiliki kekuatan oksidasi yang besar. ZnO berukuran sangat kecil sehingga memiliki keterbatasan pada penggunaannya sebagai fotokatalis. Selama fotodegradasi polutan air, ZnO cenderung menggumpal dan memungkinkan mengapung di permukaan air yang mengakibatkan penurunan efisiensi dan aktivitas fotokatalitiknya. Sehingga dibutuhkan stabilisator atau bahan pendukung untuk meningkatkan efisiensi dan aktivitas fotodegradasi (Sarkar dkk., 2021).

Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengemban ZnO. Zeolit memiliki kinerja adsorpsi yang sangat baik (terutama terhadap NH_4^+), serta memiliki kapasitas pertukaran ion, katalis, ketahanan korosi, dan ketahanan dan stabilitas suhu tinggi (Ye dkk., 2014). Secara struktural, zeolit terdiri dari aluminosilikat tetrahedral, yang dihubungkan bersama dalam kerangka tiga dimensi dan tampak seperti struktur sarang lebah positif (Mondal dkk., 2021).

Sintesis ZnO/zeolit dilakukan dengan metode impregnasi basah. Metode menggunakan prekursor logam aktif dalam larutan berair yang kemudian ditambahkan zeolit disertai dengan pengadukan dan pemanasan (Hu dkk., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut penelitian ini berfokus pada kemampuan adsorpsi ZnO yang diimbangkan pada zeolit untuk fotodegradasi zat warna Rhodamine B serta mempelajari modifikasi adsorben untuk meningkatkan kinerja adsorpsi dan fotokatalitik.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas laboratorium, oven, furnace, centrifuge, magnetic stirrer, ayakan 100 mesh, kertas saring, desikator, filtrasi vakum. Instrumen yang digunakan yaitu FTIR (Fourier Transform Infrared), Spektrofotometer UV-Vis, dan XRD. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rhodamine B, $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, Zeolit alam, HCl p.a 37% (Merck), NaCl (Merck), AgNO_3 (Merck).

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Sintesis Fotokatalis ZnO/zeolit

Sebanyak 50 g zeolit alam ditambahkan 200 mL aquades dan di *stirrer* selama 30 menit kemudian dikeringkan dengan oven. Zeolit dicampur dengan HCl 0,4 M dengan rasio 1:10 dan diaduk selama 20 menit kemudian dicuci hingga pH netral. Kemudian zeolit teraktivasi dijenuhkan dengan NaCl 0,01M dan diuji dengan AgNO_3 hingga bebas endapan putih (Cl^-). Proses impregnasi dilakukan dengan menimbang 7g $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dalam 30 mL akuades sambil diaduk. Kemudian ditambahkan 25 g

zeolit sambil diaduk pada suhu 50 °C selama 30 menit. Kemudian dikeringkan pada suhu 110 °C dan kemudian dilakukan kalsinasi pada suhu 400 °C selama 2 jam (Sacco dkk., 2018).

2.2.2 Uji Degradasi Rhodamine B

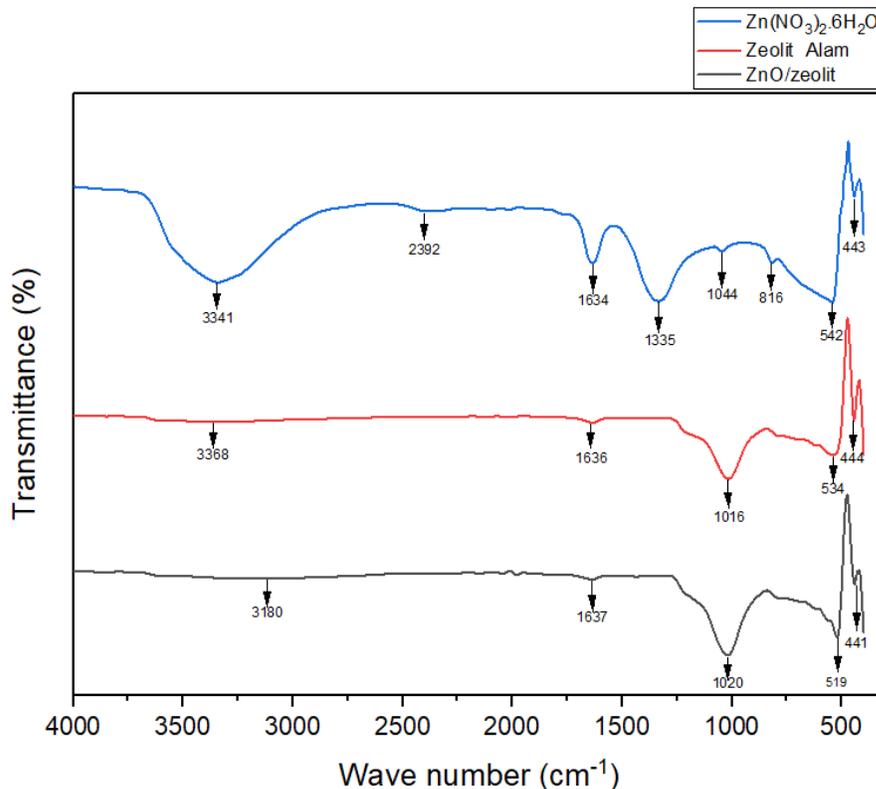
Sebanyak 20 mL larutan Rhodamine B 10 ppm dimasukkan ke dalam cawan petri. Kemudian dilakukan fotolisis dengan lampu UV ($\lambda=254$) dengan variasi waktu dan variasi katalis ZnO/zeolit. Variasi waktu tanpa katalis yaitu 30 hingga 105 menit, variasi massa katalis yaitu 0,2 hingga 1,2 g, dan variasi waktu dengan massa optimum.

Fotokatalis digunakan kembali (*reuse*) dengan cara dicuci dengan akuades dan dikeringkan dengan suhu 110 °C. Siklus reuse dilakukan sebanyak tiga kali. Degradasi senyawa Rhodamine B di uji absorbansinya dengan spektrofotometer UV-Vis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi dengan FTIR

Hasil karakterisasi dengan FTIR dapat dilihat pada Gambar 1 bahwa pola intensitas penyerapan zeolit dan ZnO/ zeolit tidak mengalami perubahan yang signifikan. puncak serapan yang spesifik dari zeolit alam yaitu muncul pada bilangan gelombang 444–534 cm^{-1} yang merupakan serapan vibrasi ulur dan vibrasi tekuk T–O (T = Si atau Al), 1016 cm^{-1} yang merupakan serapan regangan asimetris T–O–T (T = Si atau Al). Puncak serapan 1638 cm^{-1} merupakan vibrasi ulur T–O dan vibrasi tekuk H–O–H hal ini mirip dengan yang dilaporkan pada penelitian sebelumnya (Parvaz dkk., 2021). Ikatan Zn–O pada spektrum FTIR terdapat pada kisaran 500-400 cm^{-1} .



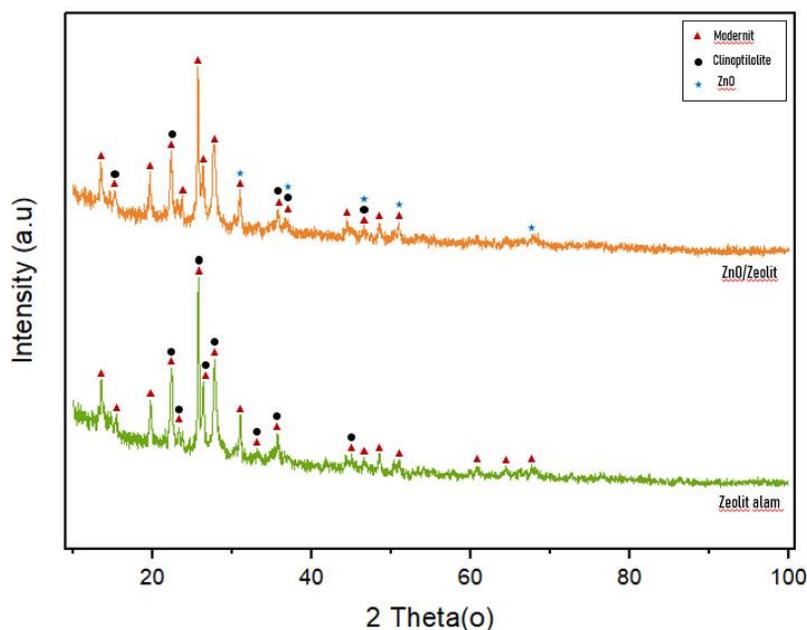
Gambar 1. FTIR zeolit alam, Zn(NO₃)₂·6H₂O, dan ZnO/zeolit

Pada spektrum puncak serapan ZnO ($443\text{--}552\text{ cm}^{-1}$) terjadi tumpang tindih dengan puncak zeolit ($444\text{--}534\text{ cm}^{-1}$) yang menyebabkan pelebaran atau penajaman puncak dengan sedikit pegeseran sehingga dihasilkan ZnO pada zeolit dengan pola intensitas yang khas pada puncak serapan $441\text{--}519\text{ cm}^{-1}$. Penurunan serapan O–H membuktikan terjadinya proses dehidrasi selama proses penguapan menggunakan oven dan proses kalsinasi. Pada spektrum dapat dilihat terjadi penyusutan puncak T–O (T = Si atau Al) 444 cm^{-1} ke 441 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa ZnO telah berhasil diimbangkan pada zeolit yang dengan ini menandakan adanya spektrum serapan vibrasi ulur Zn–O–T yang sesuai dengan penelitian yang telah dijelaskan di tempat lain (Alswat dkk., 2017).

3.2 Karakterisasi dengan XRD

Karakterisasi dengan XRD bertujuan untuk memberikan informasi puncak intensitas dengan sudut 2θ pada range $10^\circ\text{--}100^\circ$, menggunakan PAN *Alytical Spectris Technologies* PW 3040/60 X-ray radiasi Cu K α 1,5406 Å, tegangan 40 kW dan arus 30 mA.

Berdasarkan pola difraksi pada Gambar 2 hasil analisis XRD dari difraktogram dapat diketahui jenis mineral berdasarkan data standar yang terkandung dalam zeolit. Zeolit alam sebagai bahan penelitian ini mengandung jenis yang paling dominan yaitu jenis mordenit dan klinoptilolit. Jenis modernit muncul pada sudut 2θ yaitu $13,57^\circ$; $15,38^\circ$; $19,72^\circ$; $25,74^\circ$; $27,76^\circ$; $57,79^\circ$; $60,71^\circ$ dan $64,41^\circ$ yang menunjukkan puncak spesifik dari zeolit jenis modernit dimana nilainya sesuai dengan data JCPDS no 00-029-1257 yang memiliki struktur *orthorhombic*. Pada sudut 2θ yaitu $22,34^\circ$; $23,52^\circ$; $26,37^\circ$; $33,36^\circ$ dan $35,77^\circ$ yang menunjukkan puncak spesifik dari zeolit jenis klinoptilolit dimana nilainya sesuai dengan data JCPDS no 00-039-1383 yang memiliki struktur *monoclinic*.



Gambar 2. XRD ZnO/zeolit dan Zeolit alam

Puncak ZnO muncul pada sudut 2θ yaitu $30,97^\circ$; $35,76^\circ$; dan $46,62^\circ$ yang memiliki struktur *wurzite* hexagonal sesuai dengan data JCPDS no 01-075-1533. Nilai 2θ tersebut mirip dengan nilai 2θ yang pada penelitian yang telah dilaporkan sebelumnya (Liu dkk., 2014). Hal ini menandakan bahwa katalis ZnO/zeolit telah berhasil disintesis. Ukuran kristal dari zeolit alam dan ZnO/zeolit dihitung dengan persamaan Scherrer.

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos\theta}$$

Keterangan:

D = ukuran kristal (nm)

k = konstanta suatu bahan yang bernilai (0,9)

λ = Panjang gelombang sinar-X (1, 540598 Å)

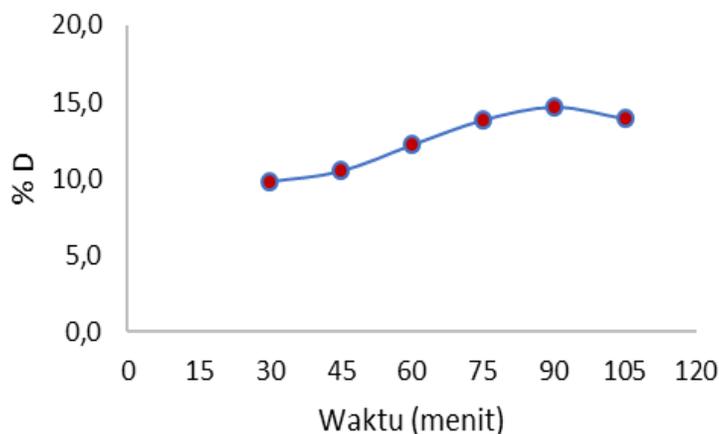
B = Full Width of Half Maximum (FWHM)(O)

Ukuran kristal zeolit alam yaitu 20,81 nm dan ZnO/zeolit yaitu 23,82 nm. Berdasarkan dari hasil perhitungan yang diperoleh maka dapat disimpulkan ukuran kristal tersebut termasuk ke dalam ukuran nanokristal karena berada pada rentang 10-200 nm.

3.3 Uji Degradasi Zat Warna Rhodamine B

3.3.1 Uji Degradasi Tanpa Fotokatalisis

Penentuan pengaruh waktu degradasi Rhodamine B dilakukan dengan menyinari larutan Rhodamine B 10 ppm dengan berbagai variasi waktu.

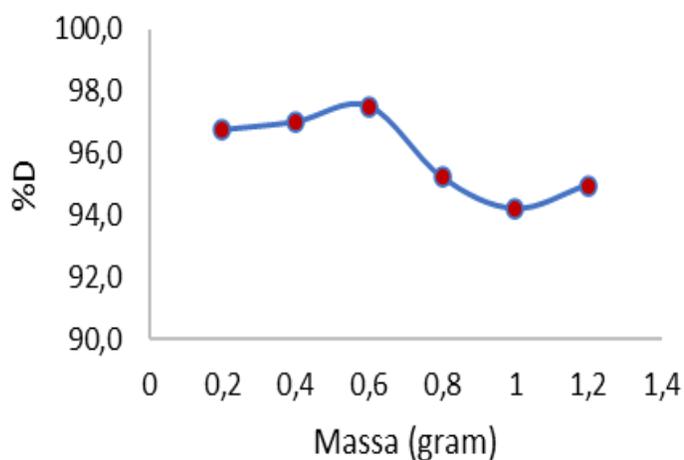


Gambar 3. Penentuan waktu optimum

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa persentase degradasi meningkat dari waktu ke waktu. Pada titik tertinggi, persentase degradasi yang didapatkan yaitu 14,7% pada waktu ke 90 menit. Namun, setelah itu persentase degradasi mengalami penurunan hal ini disebabkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) tidak ada lagi untuk memutuskan ikatan-ikatan yang ada pada senyawa Rhodamine B. Waktu optimum yang didapatkan digunakan untuk menentukan keadaan optimum selanjutnya.

3.3.2 Uji Degradasi Dengan Fotokatalisis

Penentuan pengaruh penambahan massa katalis ZnO/zeolit terhadap persentase degradasi Rhodamine B dilakukan dengan menambahkan berbagai variasi massa katalis ke dalam larutan zat Rhodamine B warna 10 ppm selama 90 menit.

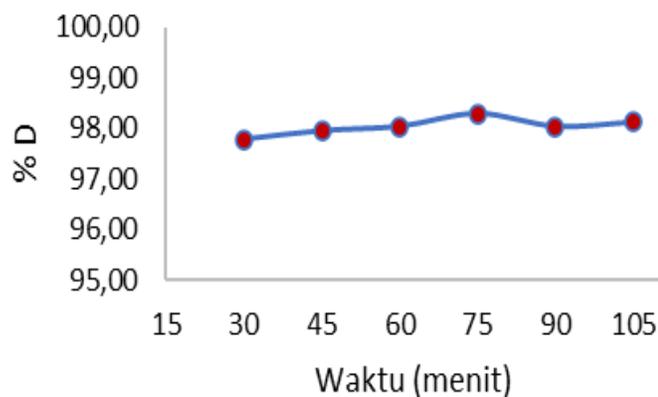


Gambar 4. Pengaruh massa pada waktu optimum

Pada Gambar 6. menunjukkan bahwa hasil persentase degradasi terbesar yaitu 97,5% dengan massa katalis ZnO/zeolit 0,6 g. sedangkan dengan massa katalis yang lebih banyak persentase degradasi mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena telah terjadi kejenuhan sehingga menyebabkan nilai serapan meningkat kembali

3.3.3 Uji Degradasi Dengan Pengaruh Variasi Massa Fotokatalis

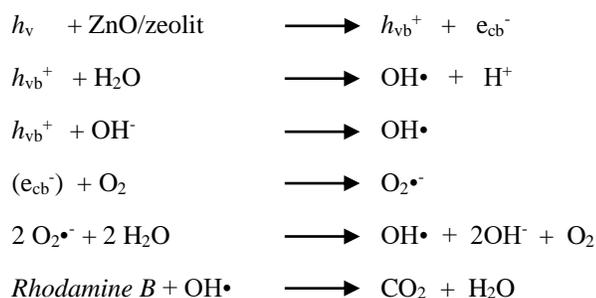
Penentuan pengaruh waktu setelah penambahan katalis ZnO/zeolit terhadap persentase degradasi larutan zat warna Rhodamine B 10 ppm dengan penambahan katalis ZnO/zeolit 0,6 g dengan berbagai variasi waktu. Pada Gambar 7. menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran dengan penambahan katalis 0,6 g ZnO/zeolit maka persentase degradasi yang dihasilkan juga semakin meningkat, dimana waktu optimum yang diperoleh yaitu 75 menit dengan persentase degradasi 98,29%.



Gambar 5. Pengaruh waktu pada massa optimum

Hal ini terjadi karena semakin lama waktu penyinaran maka semakin lama sinar UV yang mengenai fotokatalis ZnO/zeolit, sehingga semakin banyak radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) yang dihasilkan. Pada katalis ZnO akan berinteraksi dengan Zeolit, dimana pada ZnO yang disinari dengan sinar UV akan mempercepat terjadinya transformasi kimia sehingga terbentuk radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan juga semakin banyak.

Zeolit akan memperluas permukaan dari ZnO tersebut sehingga daya absorbansinya semakin bagus. Dari data yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa degradasi Rhodamine B dengan katalis lebih bagus dibandingkan tanpa katalis. Hal ini dikarenakan katalis berfungsi sebagai mediator untuk meningkatkan laju reaksi tanpa ikut bereaksi. Fotodegradasi diawali dengan fotoeksitasi. Proses ini disebabkan oleh penyerapan foton dengan energi yang sama atau lebih dari energi celah pita (*band gap*), maka elektron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi yang akan menghasilkan ecb dan lubang yang disebut hole (h_{vb}^+) yang bermuatan positif. Elektron yang dihasilkan akan bereaksi dengan oksigen yang teradsorpsi pada permukaan katalis atau terlarut yang akan membentuk anion radikal superoksida ($O_2^{\bullet-}$) yang akan bereaksi dengan H₂O membentuk radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi zat warna. Sedangkan hole (h_{vb}^+) akan bereaksi dengan dengan OH⁻ dan H₂O yang akan menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet OH$), dimana radikal hodroksil ini akan mengoksidasi zat warna dan mengubahnya menjadi senyawa yang lebih sederhana. Berikut reaksi yang terjadi pada proses degradasi zat warna Rhodamine B:



4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Pembuatan katalis ZnO/zeolit telah berhasil dilakukan ditandai dengan terbentuknya puncak ZnO muncul pada sudut 2θ yaitu $30,97^\circ$; $35,76^\circ$; dan $46,62^\circ$ yang sesuai dengan data JCPDS no 01-075-1533 dan hasil degradasi yang optimum berhasil diperoleh dengan persen degradasi 98,29% pada massa katalis

4.2 Saran

Melakukan pengujian dengan parameter untuk menguji efektivitas fotokatalis dan menguji fotokatalis dengan instrument lain untuk memperoleh informasi tentang ZnO/zeolit yang telah berhasil disintesis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alswat, A. A., Ahmad, M. bin, & Saleh, T. A. (2017). Preparation and Characterization of Zeolite/Zinc Oxide-Copper Oxide Nanocomposite: Antibacterial Activities. *Colloids and Interface Science Communications*, 16, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2016.12.003>
- Davari, N., Farhadian, M., & Solaimany Nazar, A. R. (2019). Synthesis and characterization of Fe₂O₃ doped ZnO supported on clinoptilolite for photocatalytic degradation of metronidazole. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 42(11), 1734–1746. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1680738>
- Gayatri, R., Agustina, T. E., Bahrin, D., Moeksin, R., & Gustini, G. (2021). Preparation and Characterization of ZnO-Zeolite Nanocomposite for Photocatalytic Degradation by Ultraviolet Light. *Journal of Ecological Engineering*, 22(2), 178–186. <https://doi.org/10.12911/22998993/131031>

- Hu, G., Yang, J., Duan, X., Farnood, R., Yang, C., Yang, J., Liu, W., & Liu, Q. (2021). Recent developments and challenges in zeolite-based composite photocatalysts for environmental applications. Dalam *Chemical Engineering Journal* (Vol. 417). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.129209>
- Liu, Z., Liu, Z., Cui, T., Li, J., Zhang, J., Chen, T., Wang, X., & Liang, X. (2014). Photocatalysis of two-dimensional honeycomb-like ZnO nanowalls on zeolite. *Chemical Engineering Journal*, 235, 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.022>
- Mondal, M., Biswas, B., Garai, S., Sarkar, S., Banerjee, H., Brahmachari, K., Bandyopadhyay, P. K., Maitra, S., Brestic, M., Skalicky, M., Ondrisik, P., & Hossain, A. (2021). Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety. Dalam *Agronomy* (Vol. 11, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030448>
- Parvaz, S., Rabbani, M., & Rahimi, R. (2021). Fabrication of novel magnetic ZnO hollow spheres/pumice nanocomposites for photodegradation of Rhodamine B under visible light irradiation. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2020.114863>
- Sacco, O., Vaiano, V., & Matarangolo, M. (2018). ZnO supported on zeolite pellets as efficient catalytic system for the removal of caffeine by adsorption and photocatalysis. *Separation and Purification Technology*, 193, 303–310. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.10.056>
- Sarkar, C., Basu, J. K., & Samanta, A. N. (2021). Synthesis of novel ZnO/Geopolymer nanocomposite photocatalyst for degradation of congo red dye under visible light. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100521>
- Xiao, W., Garba, Z. N., Sun, S., Lawan, I., Wang, L., Lin, M., & Yuan, Z. (2020). Preparation and evaluation of an effective activated carbon from white sugar for the adsorption of rhodamine B dye. *Journal of Cleaner Production*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.119989>
- Ye, Z. H., Yan, Q., Wang, A. J., Luo, R. G., & Liu, G. W. (2014). An Overview of the Mechanism of Non-Metallic Materials for Energy-Saving and Environment-Protection. *Applied Mechanics and Materials*, 541–542, 404–406. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.541-542.404>