

## **MINI REVIEW: ADSORPSI NANOPARTIKEL ALUMINIUM OKSIDA ( $Al_2O_3$ ) TERHADAP ZAT WARNA ORGANIK SINTETIK**

### **MINI REVIEW: ADSORPTION OF ALUMINUM OXIDE NANOPARTICLES ( $Al_2O_3$ ) ON SYNTHETIC ORGANIC DYES**

**Putri Abelia Sapira, Irfan Ashari Hiyahara\***

Inorganic Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Mulawarman University, Gunung Kelua Campus, Samarinda 76116 Indonesia

\*Corresponding author: [hiyahara@gmail.com](mailto:hiyahara@gmail.com)

#### **ABSTRACT**

*Aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ) nanoparticles are a strong and versatile material with good mechanical strength, large specific surface area, and high adsorption capacity, making it very favorable for adsorption processes. In addition, aluminum oxide is non-toxic, easy to use, and has good chemical stability. The presence of many hydroxide groups on  $Al_2O_3$  nanoparticles increases their ability as adsorbents. Therefore, aluminum oxide has attracted widespread attention in the removal of pollutants from the environment, such as heavy metals, pigments, dissolved organic materials, antibiotics, and dyes. This mini review examines the latest developments regarding the use of  $Al_2O_3$  nanoparticles as adsorbents for synthetic organic dyes, both cationic and anionic, such as Methylene Blue, Orange G, Acid Orange 7, and Eriochrom Black T. The discussion focuses on the efficiency and potential applications of  $Al_2O_3$  nanoparticles in dye adsorption.*

**Keywords:** Adsorption,  $Al_2O_3$  Nanoparticles, Dyes

#### **ABSTRAK**

*Nanopartikel aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) merupakan material yang kuat dan serbaguna dengan kekuatan mekanik yang baik, luas permukaan spesifik besar, dan kapasitas adsorpsi yang tinggi, menjadikannya sangat menguntungkan untuk proses adsorpsi. Selain itu, aluminium oksida bersifat tidak beracun, mudah digunakan, dan memiliki stabilitas kimia yang baik. Kehadiran banyak gugus hidroksida pada nanopartikel  $Al_2O_3$  meningkatkan kemampuannya sebagai adsorben. Oleh karena itu, aluminium oksida telah menarik perhatian luas dalam penghilangan polutan dari lingkungan, seperti logam berat, pigmen, bahan organik terlarut, antibiotik, dan zat warna. Mini review ini mengulas perkembangan terkini mengenai penggunaan nanopartikel  $Al_2O_3$  sebagai adsorben untuk zat warna organik sintetik, baik yang bersifat kationik maupun anionik, seperti Methylene Blue, Orange G, Acid Orange 7, dan Eriochrom Black T. Pembahasan difokuskan pada efisiensi dan potensi aplikasi nanopartikel  $Al_2O_3$  dalam adsorpsi zat warna.*

**Kata kunci:** Adsorpsi, Nanopartikel  $Al_2O_3$ , Zat Warna

#### **PENDAHULUAN**

Air merupakan salah satu kebutuhan paling penting bagi kehidupan, kekurangan air sudah terjadi di banyak wilayah. Situasi ini merupakan salah satu indikator terpenting mengapa kita harus sangat peka dan sadar terhadap sumber daya air kita. Air sangat penting bagi kehidupan karena sangat mempengaruhi kesehatan masyarakat dan standar hidup. Selain itu air juga merupakan ruang kehidupan serta menjadi salah satu zat

dasar dalam pembentukan lingkungan kehidupan [1]. Karena air sangat penting, kebutuhan akan peningkatan dan pelestarian kualitasnya terus tumbuh. Namun, kualitas sumber daya air kita memburuk karena penambahan bahan kimia yang tidak diinginkan secara terus-menerus di dalamnya. Sumber utama kontaminasi air adalah industrialisasi, beberapa ratus polutan organik telah ditemukan mencemari sumber daya air. Kontaminasi karena polutan organik sangat berbahaya

karena berbagai efek samping dan sifat karsinogeniknya. Oleh karena itu, pelestarian dan peningkatan kualitas air sangat penting [2].

Penggunaan berbagai macam bahan kimia secara luas, terutama kontaminan pewarna dari industri seperti kulit, tekstil, farmasi, dan kosmetik, telah mengubah badan air menjadi reservoir polusi. Limbah dari industri tekstil, yang penuh dengan kombinasi polutan organik, anorganik, polimer, dan unsur, menimbulkan ancaman serius terhadap kualitas air, keanekaragaman hayati perairan, kesuburan tanah, dan ekosistem secara luas. Dalam menghadapi tantangan yang berat ini, nanoteknologi telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan, menawarkan proses katalitik canggih untuk mengurangi polusi air secara efektif. Meskipun beberapa metode pengolahan air limbah saat ini digunakan, termasuk flokulasi, oksidasi, dan reverse osmosis, banyak dari teknik ini terhambat oleh prosedur yang panjang, biaya operasional yang tinggi, dan efisiensi yang terbatas. NP  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dengan kekuatan mekanisnya yang baik, termasuk kekuatan lentur, tekan, dan tarik, muncul sebagai material yang kuat dan serbaguna, luas permukaan spesifiknya yang besar dan kapasitas adsorpsi yang tinggi membuatnya sangat menguntungkan untuk proses adsorpsi, terutama pada suhu rendah [3].

Adsorpsi telah muncul sebagai teknik efisien yang banyak digunakan dalam menghilangkan polutan dari lingkungan. Teknologi ini sederhana, murah dan ramah lingkungan, salah satu hal terpenting untuk adsorpsi yang efektif adalah memilih permukaan yang tepat. Oksida logam adalah permukaan yang paling umum digunakan dalam penghilangan kontaminan, mereka murah dan diproduksi secara luas, Selain sifat mekaniknya yang tinggi dan ketahanan terhadap dekomposisi termal dibandingkan dengan permukaan biologis. Salah satu oksida yang terkenal adalah Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang merupakan oksida amfoter yang dikenal sebagai alumina dan ditemukan dalam banyak struktur kristal. Aluminium oksida dicirikan oleh stabilitas kimianya yang tidak beracun, mudah digunakan, dan memiliki banyak gugus hidroksida, semua sifat ini menjadikannya penyerap yang efisien [4].

Oleh karena itu, pada jurnal ini akan membahas mengenai pengaplikasian nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -NP) sebagai

adsorben terhadap zat warna organik sintetik dari berbagai penelitian sebelumnya.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam *mini review* ini ialah studi literatur dengan cara mengumpulkan artikel riset yang membahas mengenai aplikasi nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Data-data yang dikumpulkan disusun secara ringkas untuk membandingkan satu artikel dengan yang lain, sehingga didapatkan deskripsi yang faktual sehingga dapat mencapai tujuan penulis dalam *me-review* aplikasi nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai adsorben dari berbagai macam zat warna organik sintetik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Adsorpsi

Adsorpsi adalah akumulasi suatu zat di permukaan atau antarmuka. Dalam hal pengolahan air, proses tersebut terjadi pada antarmuka antara adsorben padat dan air yang terkontaminasi. Polutan yang diserap disebut sebagai adsorbat dan fase penyerapan disebut adsorben. Adsorpsi dianggap sebagai metode pengolahan air limbah terbaik karena sifatnya yang universal, murah, dan mudah dioperasikan. Adsorpsi juga dapat menghilangkan polutan organik yang larut dan tidak larut. Kapasitas penghilangan dengan metode ini dapat mencapai 99,9%. Karena fakta-fakta ini, adsorpsi telah digunakan untuk menghilangkan berbagai polutan organik dari berbagai sumber air yang terkontaminasi [2].

Alumina merupakan material oksida logam yang sudah dikenal luas dan merupakan salah satu adsorben yang paling umum digunakan dalam rekayasa lingkungan. Diketahui bahwa gamma alumina ( $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, terutama nano  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , yang cukup kuat untuk menjadi adsorben yang efektif untuk pewarna ionik. Meskipun demikian,  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  memiliki kerapatan muatan negatif yang rendah pada pH netral. Dengan demikian, sulit untuk menghilangkan pewarna kationik karena tarikan elektrostatis yang kecil antara pewarna kationik dan permukaan alumina yang bermuatan negatif. Dalam hal ini, modifikasi permukaan alumina diperlukan [5].

Pada artikel ini fokus material yang akan dibahas ialah nanopartikel oksida logam, spesifiknya nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -NP). Oksida nanometal, secara umum, dapat digunakan dalam teknologi adsorpsi sebagai

adsorben, karena efisiensinya dan sifat fisik dan kimianya yang unik. Dengan demikian, salah satu oksida logam yang digunakan dalam penghilangan pengotor adalah nano-aluminium oksida, yang merupakan oksida amfoterik yang disebut sebagai alumina dan terdapat dalam berbagai struktur kristal  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),  $\theta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\theta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ),  $\eta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\eta$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  berbeda dari fase lainnya karena karakteristik porositasnya, tidak seperti  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang merupakan nanopartikel padat. Aluminium oksida dicirikan oleh sifatnya yang tidak beracun, mudah digunakan, serta stabilitas kimia yang luar biasa. Ia juga mencakup banyak gugus hidroksida sehingga meningkatkan kemampuannya sebagai adsorben. Selama beberapa dekade penggunaan aluminium oksida sebagai adsorben telah menarik perhatian luas dalam menghilangkan polutan dari lingkungan seperti penghilangan logam berat, pigmen, bahan organik terlarut, antibiotik, dll

Berikut beberapa contoh penelitian aplikasi nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebagai adsorben zat warna dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Informasi Umum Terkait Referensi

Penulis Jurnal	Tahun	Zat Warna	Jenis
[6]	2023	<i>Methylene Blue</i> (MB)	Kationik
[7]	2016	<i>Orange G</i> (OG)	Anionik
[8]	2021	<i>Eriochrome Black T</i> (EBT)	Anionik
[9]	2020	<i>Rhodamine B</i> (RhB)	Kationik
[10]	2016	<i>Eosin Yellow</i> (EY)	Anionik

Dari **Tabel 1** diatas, secara umum zat warna kationik yang digunakan yaitu *Methylene Blue* (MB) dan *Rhodamine B* (RhB) sementara zat warna anionik bervariasi ialah *Orange G* (OG), *Eriochrome Black T* (EBT) dan *Eosin Yellow* (EY).

Pada jurnal [6] dilakukan adsorpsi terhadap *Methylene blue* (MB) yang merupakan garam klorida organik berwarna biru tua yang sangat larut dalam berbagai pelarut termasuk air, etanol, dan asam asetat dan terbagi dalam tiga kategori yaitu pelarut langsung, reaktif,

basa, dan asam. Metilen biru (MB) juga merupakan pewarna yang paling umum digunakan dalam industri tekstil. Pada penelitian ini, proses adsorpsi dilakukan dalam waktu 24 jam dengan konsentrasi awal zat warna yaitu 45 mg/L. pH optimum dimana adsorpsi maksimum (70,96%) terjadi yaitu pada pH 6.

Pada jurnal [7] peneliti melakukan adsorpsi nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan menggunakan zat warna *Orange G* (OG) yang merupakan zat warna anionik. OG adalah monoazo, pewarna bermuatan negatif dan banyak digunakan dalam industri percetakan dan tekstil. Pewarna ini dilaporkan sangat beracun bagi manusia karena sifat karsinogenik dan teratogeniknya. Dapat disimpulkan pada semua konsentrasi pewarna awal bahwa penghilangan maksimum terjadi pada pH 2,5 dengan penghapusan tertinggi sebesar 96,8% yang dicapai konsentrasi pewarna awal 50 mg/L dengan waktu kontak selama 30 menit. Namun, persentase penghilangan menurun secara signifikan seiring dengan meningkatnya pH.

Pada jurnal [8] dilakukan proses adsorpsi terhadap zat warna *Eriochrome Black T* (EBT) yang merupakan zat warna anionik. Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi terhadap EBT. pH larutan berair merupakan faktor penting yang memengaruhi fenomena penyerapan polutan ke dalam adsorben karena hal ini mempengaruhi muatan gugus fungsi, baik pada permukaan adsorben maupun polutan, dan interaksi antara permukaan adsorben dan polutan. Kapasitas adsorpsi kuat dalam media asam dibandingkan dengan media basa. Jumlah EBT yang teradsorpsi menurun dengan peningkatan pH dalam larutan berair.

*Rhodamin B* (RhB) telah umum digunakan sebagai pewarna dalam industri seperti percetakan, tekstil, pembuatan kertas, cat, dan kulit. Sejumlah besar RhB telah dilepaskan ke lingkungan, mencemari air dan menyebabkan bahaya bagi sistem biologis dan kehidupan manusia. Karakteristik RhB mirip dengan zat warna lainnya. Dalam jurnal [9] dilakukan penelitian adsorpsi nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan menggunakan zat warna *Rhodamin B*, dimana penghilangan maksimum terjadi pada pH 4 dengan penghapusan tertinggi mencapai 98% dengan konsentrasi pewarna awal 52 mg/g selama waktu kontak selama 30 menit.

Pada jurnal [10] dilakukan (penelitian adsorpsi nanopartikel  $Al_2O_3$  terhadap zat warna *Eosin Yellow* (EY) yang merupakan zat warna yang banyak digunakan dalam pendeteksian spesies bakteri sebagai jenis pewarnaan gram karena warnanya yang merah dan penyerapannya yang kuat oleh sel darah merah. *Eosin Yellow* (EY) sangat beracun dan dapat menyebabkan iritasi mata dan kulit, kerusakan ginjal, hati, dan paru-paru akibat tertelan dan terhirup, sehingga sangat penting untuk menghilangkan pewarna dari air limbah guna menghindari berbagai kerusakan. Adsorpsi *Eosin Yellow* untuk  $Al_2O_3$ -NP bergantung pada pH, dimana dari penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penghilangan maksimum 99,36% dicapai pada pH 4 dengan waktu kontak selama 120 menit. Dalam larutan asam, proses adsorpsi zat warna anionik *Eosin Yellow* oleh  $Al_2O_3$ -NP merupakan interaksi elektrostatik. Konsentrasi awal juga mempengaruhi efisiensi penghilangan, dengan peningkatan konsentrasi pewarna awal, semakin banyak pewarna yang tidak teradsorpsi dalam larutan.

Berdasarkan dari uraian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat dibuat parameter optimal dari penelitian-penelitian yang dilakukan pada jurnal yang di-review yang dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut.

**Tabel 2.** Parameter Optimal dari Adsorpsi  $Al_2O_3$ -NP

Penulis Jurnal	Konsentrasi zat warna	pH	Waktu kontak	Daya Serap adsorben
[6]	45 mg/L	6,0	24 jam	70,96%
[7]	50 mg/L	2,5	30 menit	96,8%
[8]	45 mg/L	6,0	100 menit	71%
[9]	52 mg/L	4,0	30 menit	98%
[10]	100 mg/L	4,0	120 menit	99,36%

Berdasarkan **Tabel 2** di atas dapat diketahui bahwa  $Al_2O_3$ -NP dapat digunakan

sebagai adsorben untuk proses penyerapan zat warna, baik zat warna kationik maupun anionik. Daya serapnya pun bervariasi, karena parameter yang digunakan untuk setiap zat warna juga bervariasi.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan jurnal yang telah diulas, dapat disimpulkan bahwa nanopartikel  $Al_2O_3$  dapat digunakan sebagai adsorben dalam adsorpsi zat warna, baik zat warna kationik maupun anionik. Dalam proses adsorpsi lama waktu kontaknya yaitu 30 menit, 100 menit, 120 menit dan 24 jam. Apabila dilihat dari daya serap adsorben dari jurnal yang di-review bervariasi, dari 70,96% hingga paling tinggi mencapai 99,36%. Hasil yang diperoleh bervariasi karena parameter yang digunakan dalam proses adsorpsi ini bervariasi. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa  $Al_2O_3$ -NP merupakan material yang memiliki kinerja sangat baik untuk digunakan sebagai adsorben.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Kılıç, "The importance of water and conscious use of water," *International Journal of Hydrology*, vol. 4, no. 5, pp. 239–241, Oct. 2020, doi: 10.15406/ijh.2020.04.00250.
- [2] I. Ali, M. Asim, and T. A. Khan, "Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater," Dec. 30, 2012, *Academic Press*. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.08.028.
- [3] A. H. Gharbi *et al.*, "Eco-Friendly Synthesis of  $Al_2O_3$  Nanoparticles: Comprehensive Characterization Properties, Mechanics, and Photocatalytic Dye Adsorption Study," *Coatings*, vol. 14, no. 7, Jul. 2024, doi: 10.3390/coatings14070848.
- [4] H. K. Hami, R. F. Abbas, M. Eltayef, and N. I. Mahdi, "Samarra Journal of Pure and Applied Science www.sjpas.com Applications of aluminum oxide and nano aluminum oxide as adsorbents: review," 2020. [Online]. Available: www.sjpas.com
- [5] T. P. M. Chu *et al.*, "Synthesis, characterization, and modification of alumina nanoparticles for cationic dye removal," *Materials*, vol. 12, no. 3, Feb. 2019, doi: 10.3390/ma12030450.
- [6] F. I. M. S. Sangor and M. A. Al-Ghouti, "Waste-to-value: Synthesis of nano-

- aluminum oxide (nano- $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) from waste aluminum foils for efficient adsorption of methylene blue dye,” *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 8, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.cscee.2023.100394.
- [7] S. Banerjee, S. Dubey, R. K. Gautam, M. C. Chattopadhyaya, and Y. C. Sharma, “Adsorption characteristics of alumina nanoparticles for the removal of hazardous dye, Orange G from aqueous solutions,” *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 8, pp. 5339–5354, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.arabjc.2016.12.016.
- [8] J. El Gaayda *et al.*, “Uptake of an anionic dye from aqueous solution by aluminum oxide particles: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies,” *Groundw Sustain Dev*, vol. 12, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.gsd.2020.100540.
- [9] T. H. Yen Doan *et al.*, “Adsorptive Removal of Rhodamine B Using Novel Adsorbent-Based Surfactant-Modified Alpha Alumina Nanoparticles,” *J Anal Methods Chem*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/6676320.
- [10] M. S. Thabet and A. M. Ismaiel, “Sol-Gel  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles Assessment of the Removal of Eosin Yellow Using: Adsorption, Kinetic and Thermodynamic Parameters,” *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, vol. 06, no. 03, pp. 70–90, 2016, doi: 10.4236/jeas.2016.63007.