



## INOVASI NANOTEKNOLOGI DALAM PEMURNIAN AIR MINUM: POTENSI DAN TANTANGAN DALAM PRAKTEK TEKNIK LINGKUNGAN

**Diva Dinanti Febrianti**

*ddinanti@student.ppns.ac.id*

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

**Muhammad Mirza Nafis Pratama**

*mirza.nafis@student.ppns.ac.id*

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

**Robbi Setiawan Dwi Saputro**

*robbisetiawan@student.ppns.ac.id*

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

**Shafira Suryaning Elysiawati**

*shafiraelysiawati@student.ppns.ac.id*

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

**Denny Oktavina Radianto**

*dennyokta@gmail.com*

Program Studi D-4 Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
Indonesia

Korespondensi penulis: *ddinanti@student.ppns.ac.id*

**Abstract.** *The need for safe drinking water continues to increase with population growth and industrial activity. Although various conventional water purification methods have been implemented, challenges remain in addressing certain contaminants that are difficult to remove. Nanotechnology emerges as a promising innovative solution in water purification, with its ability to address contaminants on a nano scale. This paper explores the potential and challenges in the application of nanotechnology for water purification, as well as its implications for environmental engineering practices. Various nanomaterials such as nanoparticles, nanocomposites, nanofiltration membranes, and nano photocatalysts are discussed in detail. Additionally, this paper also reviews challenges related to cost, toxicity, and regulations associated with the application of nanotechnology in water purification. Through sustained research and development, nanotechnology has the potential to become an effective and environmentally friendly solution to ensure the availability of safe drinking water for the community.*

**Keywords:** *clean water, nanotechnology, water purification, contaminants, nano scale, and nanomaterials.*

**Abstrak.** *Kebutuhan akan air bersih yang aman untuk dikonsumsi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan peningkatan aktivitas industri. Meskipun berbagai metode pemurnian air konvensional telah diterapkan, namun masih terdapat tantangan dalam mengatasi kontaminan tertentu yang sulit dihilangkan. Nanoteknologi muncul sebagai solusi inovatif yang menjanjikan dalam pemurnian air minum, dengan kemampuannya untuk mengatasi kontaminan pada skala nano. Makalah ini mengeksplorasi potensi dan tantangan dalam penerapan nanoteknologi untuk pemurnian air minum, serta implikasinya terhadap praktik teknik lingkungan. Berbagai nanomaterial seperti nanopartikel, nanokomposit, membran nanofiltrasi, dan fotokatalis nano dibahas secara rinci. Selain itu, makalah ini juga meninjau tantangan terkait biaya, toksisitas, dan regulasi yang terkait dengan penerapan nanoteknologi dalam pemurnian air minum. Melalui penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, nanoteknologi berpotensi menjadi solusi efektif dan ramah lingkungan untuk menjamin ketersediaan air bersih yang aman bagi masyarakat.*

**Kata Kunci:** *air bersih, nanoteknologi, pemurnian air, kontaminan, skala nano, dan nanomaterial*

*Received Februari 29, 2024; Revised Maret 30, 2024; April 20, 2024*

*\* Diva Dinanti Febrianti, [ddinanti@student.ppns.ac.id](mailto:ddinanti@student.ppns.ac.id)*

## **PENDAHULUAN**

Air merupakan sumber daya alam yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan ekosistem. Namun, dengan meningkatnya populasi dan aktivitas industri, ketersediaan air bersih yang aman untuk dikonsumsi menjadi tantangan global yang semakin besar. Kontaminasi air oleh polutan organik, anorganik, dan mikroorganisme dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan. Meskipun telah ada berbagai metode pemurnian air konvensional seperti filtrasi, adsorpsi, dan proses oksidasi, namun masih terdapat keterbatasan dalam mengatasi kontaminan tertentu yang sulit dihilangkan.

Nanoteknologi, yang melibatkan manipulasi dan pemanfaatan bahan pada skala nanometer, muncul sebagai solusi inovatif dalam pemurnian air minum. Nanomaterial, dengan ukuran dan sifat unik yang berbeda dengan material dalam skala besar, memiliki potensi untuk mengatasi kontaminan pada tingkat molekuler dan atomik. Dengan luas permukaan yang besar dan reaktivitas yang tinggi, nanomaterial dapat meningkatkan efisiensi proses pemurnian air secara signifikan.

Makalah ini bertujuan untuk mengeksplorasi secara mendalam potensi dan tantangan dalam penerapan nanoteknologi untuk pemurnian air minum, serta implikasinya terhadap praktik teknik lingkungan. Berbagai jenis nanomaterial seperti nanopartikel, nanokomposit, membran nanofiltrasi, dan fotokatalis nano akan dibahas secara rinci dan menyeluruh. Selain itu, tantangan terkait biaya, toksisitas, dan regulasi yang terkait dengan penerapan nanoteknologi dalam pemurnian air minum juga akan ditinjau secara komprehensif.

Pembahasan akan dimulai dengan pengantar tentang pentingnya air bersih bagi kehidupan manusia dan ekosistem, serta tantangan global yang dihadapi dalam menjamin ketersediaan air bersih yang aman untuk dikonsumsi. Kemudian, akan dibahas secara mendalam tentang potensi nanoteknologi sebagai solusi inovatif dalam pemurnian air minum, dengan mengeksplorasi berbagai jenis nanomaterial dan mekanisme kerjanya dalam mengatasi kontaminan pada skala nano.

Setelah itu, pembahasan akan difokuskan pada masing-masing jenis nanomaterial yang digunakan dalam pemurnian air minum, seperti nanopartikel, nanokomposit, membran nanofiltrasi, dan fotokatalis nano. Untuk setiap jenis nanomaterial, akan dijelaskan secara rinci tentang sifat-sifat unik yang dimilikinya, mekanisme kerjanya dalam proses pemurnian air, serta contoh-contoh aplikasi dan penelitian terkini yang telah dilakukan. Selanjutnya, tantangan-tantangan dalam penerapan nanoteknologi untuk pemurnian air minum akan dibahas secara mendalam. Tantangan-tantangan tersebut meliputi biaya produksi dan implementasi yang tinggi, potensi toksisitas dan dampak lingkungan dari nanomaterial, serta kurangnya regulasi dan standar yang memadai. Untuk setiap tantangan, akan dibahas secara rinci tentang penyebab dan implikasinya, serta upaya-upaya yang telah dilakukan untuk mengatasi tantangan tersebut.

Akhirnya, pembahasan akan ditutup dengan kesimpulan dan rekomendasi untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang nanoteknologi untuk pemurnian air minum. Kesimpulan akan merangkum potensi dan tantangan utama yang telah dibahas, serta menekankan pentingnya upaya yang terkoordinasi antara akademisi, industri, dan pembuat kebijakan untuk mewujudkan implementasi nanoteknologi secara luas dalam pemurnian air minum.

Rekomendasi akan mencakup arahan penelitian di masa depan, seperti pengembangan nanomaterial yang lebih efisien dan ramah lingkungan, optimalisasi proses pemurnian air dengan nanoteknologi, serta perlunya kolaborasi dan transfer teknologi antar negara. Selain itu, akan dibahas pula tentang pentingnya peningkatan kesadaran masyarakat tentang potensi dan risiko

nanoteknologi dalam pemurnian air minum, serta perlunya regulasi dan standar yang lebih ketat untuk memastikan keamanan dan keselamatan penggunaan nanomaterial dalam aplikasi air minum.

#### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian pada penulisan karya tulis ini akan mencakup beberapa tahapan yang mencerminkan pendekatan komprehensif dalam menggali potensi dan mengatasi tantangan terkait penerapan nanoteknologi dalam pemurnian air minum. Pertama, penelitian ini akan melibatkan studi pustaka yang mendalam untuk memahami konsep, prinsip, dan teknologi terkait nanoteknologi dalam pemurnian air. Selanjutnya, eksperimen laboratorium akan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja berbagai nanomaterial dan teknik nanoteknologi dalam menghilangkan kontaminan tertentu pada skala nano. Metode karakterisasi yang canggih seperti mikroskopi elektron dan spektroskopi akan digunakan untuk menganalisis struktur dan sifat fisikokimia dari nanomaterial yang diuji. Metode penelitian ini akan memberikan wawasan mendalam tentang potensi serta tantangan yang terkait dengan penggunaan nanoteknologi dalam pemurnian air minum, yang dapat menjadi landasan untuk pengembangan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan di masa depan.

#### **PEMBAHASAN**

##### Nanomaterial dalam Pemurnian Air Minum

##### Nanopartikel

Nanopartikel, dengan ukuran kurang dari 100 nanometer, memiliki luas permukaan yang besar dan sifat adsorpsi yang tinggi, membuatnya sangat efektif dalam menghilangkan kontaminan dari air (Zhang et al., 2016). Beberapa jenis nanopartikel yang umum digunakan dalam pemurnian air minum antara lain:

- Nanopartikel Logam: Nanopartikel logam seperti perak (Ag), tembaga (Cu), dan seng (Zn) telah terbukti efektif dalam menghilangkan mikroorganisme patogen dari air (Rai et al., 2009). Nanopartikel logam juga dapat digunakan untuk mengoksidasi dan menguraikan polutan organik (Qu et al., 2013).
- Nanopartikel Oksida Logam: Nanopartikel oksida logam seperti nanopartikel besi oksida (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>), dan seng oksida (ZnO) telah banyak digunakan dalam proses adsorpsi dan fotodegradasi kontaminan dalam air (Ali et al., 2019; Jiang et al., 2018).
- Nanopartikel Karbon: Nanopartikel karbon seperti karbon nano-tube (CNT) dan graphene memiliki luas permukaan yang sangat besar dan sifat adsorpsi yang kuat, membuatnya efektif dalam menghilangkan polutan organik dan logam berat dari air (Upadhyayula et al., 2009; Zhao et al., 2011).

Nanopartikel dapat digunakan secara individu atau dikombinasikan dengan material lain seperti membran, adsorben, atau fotokatalis untuk meningkatkan efisiensi pemurnian air (Qu et al., 2013).

##### Nanokomposit

Nanokomposit adalah material hibrida yang terdiri dari dua atau lebih komponen, di mana setidaknya salah satu komponennya memiliki ukuran dalam skala nano (Zou et al., 2016). Nanokomposit menawarkan sifat-sifat unik yang tidak ditemukan pada material penyusunnya secara individu, sehingga menjanjikan potensi aplikasi yang lebih luas dalam pemurnian air minum.

- Nanokomposit Polimer-Nanopartikel: Nanokomposit yang terdiri dari matriks polimer dan nanopartikel seperti nanopartikel logam atau oksida logam telah banyak digunakan

dalam pemurnian air (Basri et al., 2014). Nanopartikel yang terdispersi dalam matriks polimer dapat meningkatkan luas permukaan dan sifat adsorpsi, serta memberikan sifat antimikroba (Akhavan & Ghaderi, 2010).

- Nanokomposit Karbon-Nanopartikel: Nanokomposit yang menggabungkan material karbon seperti CNT atau graphene dengan nanopartikel logam atau oksida logam memiliki potensi yang besar dalam menghilangkan kontaminan organik dan anorganik dari air (Upadhyayula et al., 2009; Zhao et al., 2011).
- Nanokomposit Keramik: Nanokomposit keramik yang mengandung nanopartikel oksida logam seperti TiO<sub>2</sub> atau ZnO telah terbukti efektif dalam proses fotokatalitik untuk mendegradasi polutan organik dalam air (Nakata & Fujishima, 2012; Habiba et al., 2013).

Nanokomposit dapat dirancang dengan mengoptimalkan komposisi dan struktur material penyusunnya untuk memperoleh sifat-sifat yang diinginkan dalam aplikasi pemurnian air minum.

### Membran Nanofiltrasi

Membran nanofiltrasi (NF) adalah teknologi pemurnian air yang menggunakan membran dengan ukuran pori dalam skala nanometer untuk memisahkan kontaminan dari air (Mulder, 1996). Membran NF memiliki kemampuan untuk menghilangkan molekul organik dan ion-ion terlarut dengan ukuran yang lebih besar dari pori membran, tetapi masih memungkinkan perpindahan air dan ion-ion kecil seperti garam (Van der Bruggen & Vandecasteele, 2003).

Membran NF dapat dibuat dari berbagai material, termasuk polimer, keramik, atau komposit. Beberapa contoh material yang digunakan dalam membran NF antara lain:

- Polimer: Polimer seperti poliamida, polisulfon, dan selulosa asetat banyak digunakan dalam pembuatan membran NF karena sifatnya yang stabil dan mudah diproses (Yin & Daufin, 2003).
- Keramik: Membran keramik seperti alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), zirkonia (ZrO<sub>2</sub>), dan silika (SiO<sub>2</sub>) memiliki ketahanan termal dan kimia yang tinggi, serta stabilitas yang baik (Lee et al., 2016).
- Komposit: Membran komposit yang menggabungkan material organik dan anorganik, seperti material polimer-anorganik atau karbon-anorganik, telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja dan ketahanan membran (Lau et al., 2015).

Membran NF dapat diintegrasikan dengan teknologi nanomaterial lainnya, seperti nanopartikel atau nanokomposit, untuk meningkatkan efisiensi pemurnian air dan mengatasi masalah seperti penyumbatan membran (Xu et al., 2018).

### Fotokatalis Nano

Fotokatalis nano adalah material yang memiliki kemampuan untuk menginduksi reaksi fotokimia dengan memanfaatkan energi foton dari cahaya (Nakata & Fujishima, 2012). Dalam proses pemurnian air, fotokatalis nano dapat digunakan untuk mendegradasi dan menguraikan polutan organik melalui proses oksidasi fotokatalitik (Habiba et al., 2013).

Beberapa contoh fotokatalis nano yang umum digunakan dalam pemurnian air minum antara lain:

- Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>): TiO<sub>2</sub> adalah fotokatalis nano yang paling banyak diteliti dan digunakan dalam pemurnian air karena sifatnya yang stabil, murah, dan tidak beracun (Nakata & Fujishima, 2012).
- Seng Oksida (ZnO): ZnO memiliki aktivitas fotokatalitik yang tinggi dan dapat digunakan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi polutan organik dalam air (Habiba et al., 2013).

- Bismuth Oksiklorida (BiOCl): BiOCl adalah fotokatalis nano yang efisien dalam mendegradasi polutan organik di bawah cahaya tampak (Ye et al., 2015).

Fotokatalis nano dapat digunakan secara individu atau dikombinasikan dengan nanomaterial lain seperti nanopartikel atau nanokomposit untuk meningkatkan efisiensi proses fotokatalitik dalam pemurnian air (Sharma et al., 2015). Tantangan dalam Penerapan Nanoteknologi untuk Pemurnian Air Minum

Meskipun nanoteknologi menawarkan potensi yang besar dalam pemurnian air minum, namun masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi sebelum dapat diimplementasikan secara luas. Beberapa tantangan utama meliputi:

#### Biaya dan Skala Produksi

Salah satu tantangan utama dalam penerapan nanoteknologi untuk pemurnian air minum adalah biaya yang relatif tinggi dalam memproduksi nanomaterial dan membangun infrastruktur yang diperlukan (Qu et al., 2013). Meskipun biaya produksi nanomaterial telah menurun dalam beberapa tahun terakhir, namun masih diperlukan investasi yang besar untuk memproduksi nanomaterial dalam skala besar yang diperlukan untuk aplikasi pemurnian air (Linkov et al., 2009).

Selain itu, penerapan nanoteknologi dalam sistem pemurnian air memerlukan modifikasi atau penggantian infrastruktur yang ada, yang dapat memerlukan biaya yang signifikan (Theron et al., 2008). Oleh karena itu, diperlukan studi kelayakan ekonomi yang cermat untuk memastikan bahwa biaya investasi dan operasional dapat diimbangi dengan manfaat yang diperoleh dari peningkatan efisiensi dan kualitas air yang dihasilkan.

#### Toksistas dan Dampak Lingkungan

Meskipun nanomaterial memiliki potensi yang besar dalam pemurnian air, namun juga terdapat kekhawatiran mengenai kemungkinan toksistas dan dampak lingkungan dari nanomaterial tersebut (Patil et al., 2016). Beberapa studi telah menunjukkan bahwa beberapa jenis nanopartikel, seperti nanopartikel logam, dapat bersifat toksik terhadap organisme hidup dan memberikan dampak negatif pada lingkungan (Corsi et al., 2014).

Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang lebih lanjut untuk memahami sifat toksikologi dari berbagai jenis nanomaterial dan mengembangkan strategi untuk meminimalkan risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Vance et al., 2015). Selain itu, diperlukan juga regulasi dan standar yang ketat untuk memastikan bahwa nanomaterial yang digunakan dalam pemurnian air minum memenuhi kriteria keamanan dan keselamatan yang diperlukan.

#### Regulasi dan Standar

Salah satu tantangan lain dalam penerapan nanoteknologi untuk pemurnian air minum adalah kurangnya regulasi dan standar yang spesifik untuk nanomaterial (Roco et al., 2011). Meskipun beberapa negara telah mengembangkan regulasi terkait nanomaterial, namun masih terdapat kesenjangan dalam hal definisi, karakterisasi, dan pengujian keamanan nanomaterial (Jurado et al., 2014).

Regulasi dan standar yang jelas diperlukan untuk memastikan keamanan dan keandalan produk yang menggunakan nanomaterial, serta untuk memfasilitasi penelitian dan pengembangan di bidang ini (Hansen & Baun, 2012). Selain itu, diperlukan juga harmonisasi regulasi dan standar di tingkat regional dan global untuk memfasilitasi perdagangan dan transfer teknologi nanoteknologi untuk pemurnian air minum.

#### **KESIMPULAN**

Nanoteknologi menawarkan solusi inovatif dalam pemurnian air minum dengan kemampuannya untuk mengatasi kontaminan pada skala nano. Berbagai jenis nanomaterial

seperti nanopartikel, nanokomposit, membran nanofiltrasi, dan fotokatalis nano telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas pemurnian air. Namun, masih terdapat tantangan yang perlu diatasi seperti biaya produksi, toksisitas, dan kurangnya regulasi serta standar yang memadai.

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, kolaborasi antara akademisi, industri, dan pembuat kebijakan, serta peningkatan kesadaran masyarakat tentang potensi dan risiko nanoteknologi dalam pemurnian air minum. Dengan upaya yang terkoordinasi, nanoteknologi berpotensi menjadi solusi efektif dan ramah lingkungan untuk menjamin ketersediaan air bersih yang aman bagi masyarakat di masa depan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Akhavan, O., & Ghaderi, E. (2010). Self-accumulated Ag nanoparticles on mesoporous TiO<sub>2</sub> thin film with highly trap-state assisted dye photodecomposition. *Surface and Coatings Technology*, 204(21-22), 3676-3683.
- Ali, I., Peng, C., Nazi, Z. M., Tan, J., Khan, M. U., & Sikandar, U. (2019). Trends in advanced nanomaterials for wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 83, 49-64.
- Anjum, M., Miandad, R., Waqas, M., Gehany, F., & Barakat, M. A. (2016). Remediation of wastewater using various nano-materials. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 4897-4919.
- Basri, H., Ismail, A. F., & Aziz, M. (2014). Polyethersulfone mixed matrix membrane incorporated with multi-walled carbon nanotubes for gas separation applications. *Procedia Engineering*, 148, 181-188.
- Bottero, J. Y., Rose, J., & Wiesner, M. R. (2006). Nanotechnologies: Tools for sustainability in a new wave of water treatment processes. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2(4), 391-395.
- Corsi, I., Winther-Nielsen, M., Sethi, R., Punta, C., Della Torre, C., Invernizzi, L., & Valbonetti, L. (2014). Ecofriendly nanotechnologies and nanomaterials for environmental applications. In *Ecotoxicology of nanoparticles in aquatic systems* (pp. 109-152). CRC Press.
- Habiba, U., Afifi, A. M., Salleh, A., & Ang, B. C. (2013). Chitosan/(polyvinyl alcohol)/ZnO nanoparticles membrane for adsorption of dye. *Journal of Nanomaterials*, 2013.
- Hansen, S. F., & Baun, A. (2012). European regulation affecting nanomaterials—review of limitations and future recommendations. *Dose-Response*, 10(3), dose-response.
- Jiang, D., Chen, Y., Li, N., Zhang, W., Wang, L., Zhu, J., & Gao, B. (2018). Synthesis of porous Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles for the removal of water contaminants. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(6), 7203-7212.
- Jurado, R., Vázquez-Suñé, E., Carrera, J., López de Alda, M., Pujades, E., & Barceló, D. (2014). Urban groundwater contamination by organic micropollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(20), 11932-11944.
- Khin, M. M., Nair, A. S., Babu, V. J., Murugan, R., & Ramakrishna, S. (2012). A review on nanomaterials for environmental remediation. *Energy & Environmental Science*, 5(8), 8075-8109.
- Khulbe, K. C., & Matsuura, T. (2018). Removal of heavy metals and pollutants by membrane adsorption techniques. *Applied Water Science*, 8(1), 19.
- Lau, W. J., Ismail, A. F., Misdan, N., & Kassim, M. A. (2015). A recent progress in thin film composite membrane: A review. *Desalination*, 287, 190-199.

- Lee, J., Doherty, C. M., Hill, A. J., & Kentish, S. E. (2016). Recent developments in membrane barrier technology for industrial membrane processes. *Journal of Membrane Science and Research*, 2(3), 182-208.
- Li, Q., Mahendra, S., Lyon, D. Y., Brunet, L., Liga, M. V., Li, D., & Alvarez, P. J. (2008). Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. *Water Research*, 42(18), 4591-4602.
- Linkov, I., Satterstrom, F. K., Steevens, J., Ferguson, E., & Pleus, R. C. (2009). Multi-criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanoMaterialised. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(3), 513-531.
- Mulder, M. (1996). *Basic principles of membrane technology*, 2nd ed. Kluwer Academic Publishers.
- Nakata, K., & Fujishima, A. (2012). TiO<sub>2</sub> photocatalysis: Design and applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 13(3), 169-189.
- Patil, S. S., Shedbalkar, U. U., Truskewycz, A., Chopade, B. A., & Ball, A. S. (2016). Nanoparticles for environmental clean-up: A review of potential risks and emerging solutions. *Environmental Technology & Innovation*, 5, 10-21.
- Qu, X., Alvarez, P. J., & Li, Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*, 47(12), 3931-3946.
- Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76-83.