

PENGARUH VARIASI POTENSIAL ANODISASI TERHADAP SIFAT OPTIK TIO₂ NANOTUBE ARRAYS (TNAS) MENGGUNAKAN METODE ANODISASI DUA TAHAP

Zahara Ramadani¹, Sherly Kasuma Warda Ningsih^{2*}

^{1,2}Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia, 25132

*E-mail: sherly14@fmipa.unp.ac.id

Riwayat Article

Received: 21 January 2026; Received in Revision: 20 March 2026; Accepted: 29 March 2026

Abstract

Advances in science and technology have increased interest in semiconductor materials at the nanoscale, especially titanium dioxide (TiO₂) with its characteristic optical properties such as band gap energy and light absorption. The growth of nanotube structures using an anodization method with parameters, namely pH, temperature, electrolyte composition, anodization potential, and time. The anodization potential has a significant influence on nanotube growth, including thickness and pore diameter. However, the higher the potential, the risk of charge recombination can occur. TNAs were prepared using a two-stage anodization method using potential variations of 40 V, 45 V, and 50 V for 1 hour in the first stage and 30 minutes in the second stage. UV-Vis DRS characterization showed that the potential of 40 V (3.22 eV), potential of 45 V (3.32 eV), and potential of 50 V (3.37 eV). The optimum potential is 40 V responsive to UV light.

Keywords: TiO₂ Nanotube Arrays, Two-Step Anodization, Voltage, Band Gap

Abstrak

Kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi telah meningkatkan minat pada material semikonduktor pada skala nano, terutama titanium dioksida (TiO₂) dengan karakteristik sifat optiknya seperti energi celah pita dan penyerapan cahaya. pertumbuhan struktur nanotube menggunakan metode anodisasi dengan parameter, yaitu pH, suhu, komposisi elektrolit, potensial anodisasi, dan waktu. Potensial anodisasi memiliki pengaruh signifikan pada pertumbuhan nanotube, termasuk ketebalan dan diameter pori. Namun, semakin tinggi potensialnya, dapat berisiko terjadi rekombinasi muatan. TNAs dipreparasi menggunakan metode anodisasi dua tahap menggunakan variasi potensial 40 V, 45 V, dan 50 V selama 1 jam pada tahap satu dan 30 menit pada tahap kedua. Karakterisasi UV-Vis DRS menunjukkan bahwa potensial 40V (3,22 eV), potensial 45V (3,32 eV), dan potensial 50V (3,37 eV). Potensial optimum adalah 40V responsif terhadap sinar UV.

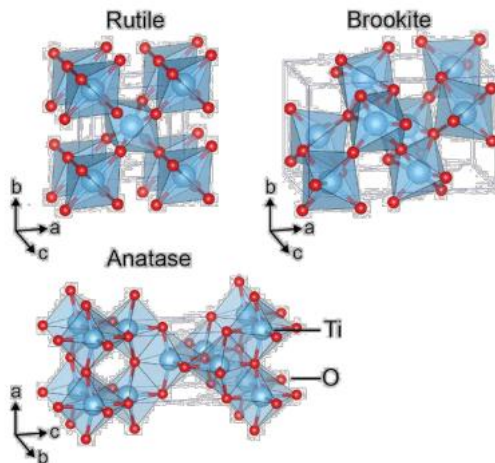
Keywords: TiO₂ *nanotube arrays*, Anodisasi Dua Tahap, Potensial, Band Gap

1. Introduction

Perkembangan ilmu dan teknologi yang semakin meningkat menyebabkan tingginya ketertarikan dalam material semikonduktor pada skala nano terutama pada material titanium dioksida (TiO₂) yang mampu diaplikasikan dalam tingkat yang lebih dalam seperti pada bidang sel surya, sensor gas, katalis, sel bahan bakar, dan superkapasitor. Tidak hanya itu, dalam bidang biologi juga terdapat dalam beberapa bidang seperti pada implan medis dan antibakteri (Slimani et al., 2020; Priyadharshini & Pushpanathan, 2023). Selain itu TiO₂ memiliki karakteristik pada sifat optiknya, yaitu energi celah pita dan daya serap cahaya menjadi pokok inti untuk memaksimalkan kinerja pada bidang aplikasi tersebut. Kelebihan utama titanium yaitu tahan terhadap korosi, yang dikarenakan terbentuknya lapisan tipis oksigen alami pada permukaannya sehingga terlindungi dari kerusakan (Nasution & Fitri, 2018).

TiO₂ mempunyai variasi bentuk kristal yang berbeda seperti rutil, anatase, dan brookit (Reghunath et al., 2021). Bentuk rutil merupakan bentuk kristal yang sangat stabil dalam termodinamika dan mempunyai nilai celah pita yang besar sekitar 3,0-3,2 eV (Pesci et al., 2013), sedangkan anatase merupakan bentuk kristal TiO₂ dengan sifat metastabil yang bisa berubah

menjadi bentuk kristal rutil jika dipanaskan hingga suhu tertentu. Meskipun begitu, anatase memiliki kemampuan aktivitas fotokatalitik yang baik karena ukuran dimensi partikel berskala nano yang menyebabkan luas permukaan menjadi lebar serta nilai celah pita yang sama dengan rutil yaitu 3,0-3,2 eV (Pawar et al., 2018) dan brookite bersifat metastabil yang biasa dianalisis sebagai hasil samping dengan struktur kristal ortorombik dan nilai celah pita sekitar 2,3-2,5 eV (Setyawan & Suryani, 2024).



Gambar 1. Bentuk kristal TiO₂ (Setyawan & Suryani, 2024).

Proses pembentukan kristal TiO₂ dipengaruhi oleh struktur permukaannya. Oleh karena itu pembentukan struktur permukaan perlu diperhatikan selama proses sintesis berlangsung untuk memaksimalkan efektivitas TiO₂ pada beragam aplikasi. Pembentukan TiO₂ dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis metode sintesis seperti metode anodisasi (Inggarwati et al., 2024), metode sol-gel, dan metode solvotermal (Pasini et al., 2021). Metode yang dipilih bertujuan menumbuhkan struktur permukaan nanotube adalah metode anodisasi dengan menyesuaikan parameter anodisasi, yakni pH, suhu elektrolit, komposisi elektrolit, potensial anodisasi, dan waktu anodisasi (Ningsih et al., 2023). Oleh karena itu, metode anodisasi menghasilkan TiO₂ *nanotube arrays* (TNAs). Sekitar tahun 1999, zwillling dkk. menumbuhkan *nanotube* TiO₂ dari plat titanium foil dengan metode anodisasi menggunakan larutan elektrolit yang terdapat ion F⁻ di dalamnya.

Potensial anodisasi memiliki pengaruh yang signifikan dalam pertumbuhan *nanotube* termasuk ketebalan dan diameter pori. Semakin tinggi potensial yang digunakan maka akan semakin besar dan terarah pertumbuhan nanotube yang dihasil, sehingga memberikan peningkatan pada sifat optiknya yang akan berdampak pada energi band gap (Kasuma et al., 2025). Tetapi semakin tinggi potensial dapat juga beresiko yaitu dengan terjadinya rekomendasi muatan, maka dari itu pengaturan potensial dalam proses anodisasi perlu di perhatikan agar mampu di aplikasikan kedalam berbagai bidang seperti fotokatalis secara optimal (Sun & Yan, 2014; Ghorannevis & Sari, 2017).

Pertumbuhan struktur nanotube telah banyak digunakan dengan metode anodisasi satu tahap dan menghasilkan struktur nanotube yang kurang teratur sehingga dilakukan proses anodisasi dua tahap serta dengan memvariasikan beda potensial saat proses anodisasi dengan tujuan untuk melihat pengaruh variasi potensial terhadap sifat optik TNAs yaitu energi *band gap* yang optimum yang dianalisis menggunakan UV-Vis DRS, dimana hal ini belum banyak diteliti sebelumnya.

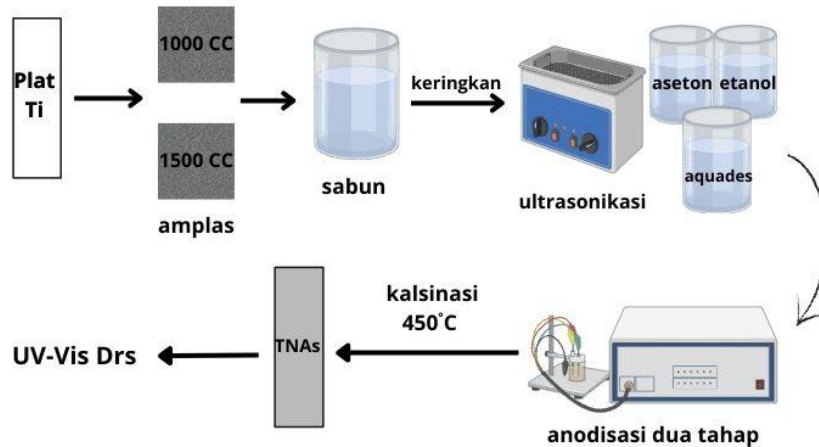
2. Methodology

2.1. Alat dan Bahan

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan gelas, neraca analitik, reaktor kuarsa, power suplay arus DC, ultrasonikator, *hot plate*, *magnetic stirrer*, spin bar, *furnace*, plat stainless steel sebagai katoda. Bahan-bahan yang digunakan yakni plat titanium (Ti, Shaanxi Yunzhong Metal Technology Co., Ltd.), *ammonium fluoride* (NH₄F, Merck), etilen glikol (C₂H₆O₂, Merck), aquades, ampas 1000 CC dan 1500 CC, etanol (teknis), aseton (teknis).

2.2. Prosedur Kerja

2.2.1. Persiapan Sampel TNAs

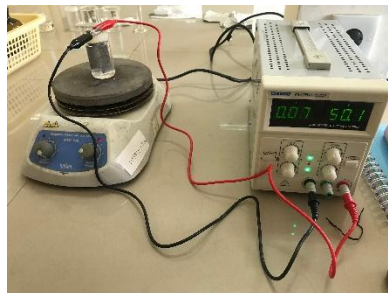


Gambar 2. Skema kerja

Plat Ti dianodisasi menggunakan proses anodisasi dua tahap, dimana cara ini terbukti mampu menaikkan tingkat keseragaman permukaan TNAs, sehingga menghasilkan struktur permukaan yang sejajar dan terarah (Ningsih et al., 2023). Kemudian plat TNAs di furnace dalam suhu 450°C selama 2 jam.



Gambar 3. Ultrasonikasi Plat Ti



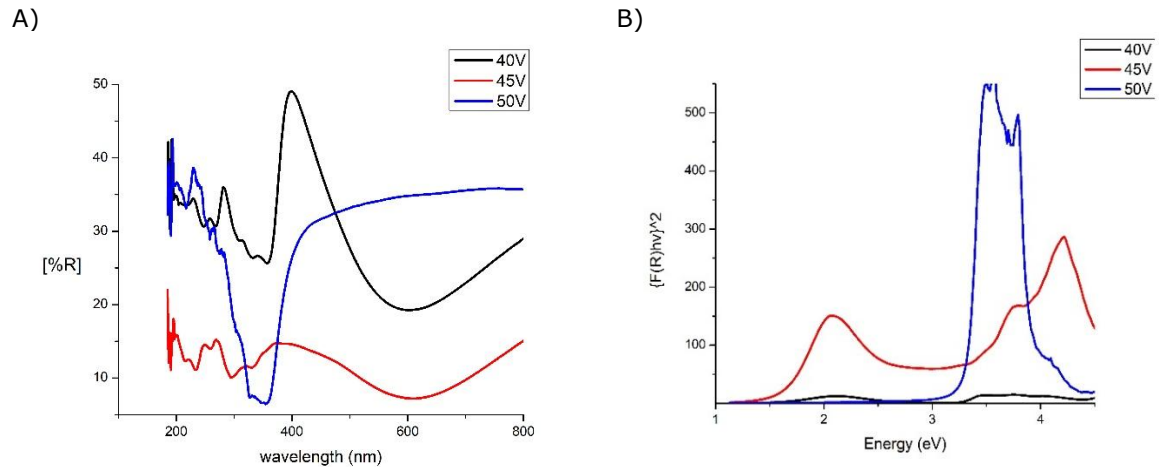
Gambar 4. Proses Anodisasi Ti



Gambar 5. Kalsinasi hasil anodisasi

3. Results and Discussion

Pada Gambar 6 menunjukkan spektrum UV-Vis DRS TNAs. Gambar 6. A) menunjukkan panjang gelombang sekitar 200-800 nm pada pola difraksi (%R). TiO₂ nanotube arrays (TNAs) dengan potensial 40V garis hitam pada spektrum TNAs memperlihatkan bahwa puncak reflektansi lebih tajam dan mencolok terjadi sekitar 380-400 nm hal ini menunjukkan terbentuknya struktur permukaan yang lebih stabil dan memiliki sifat optik yang lebih bagus, pada potensial 45V garis merah memperlihatkan bahwa puncak reflektansi lebih rendah dan lebar terjadi sekitar 380-400 nm hal ini menunjukkan terbentuknya struktur permukaan yang kurang teratur yang menyebabkan puncak menjadi lebih lebar dan rendah, kemudian potensial 50V garis biru memperlihatkan bahwa puncak reflektansi lebar tetapi tidak tajam terjadi sekitar 700-780 nm hal ini menunjukkan bahwa terjadinya peningkatan daya serap kearah IR.



Gambar 6. A) Spektrum UV-Vis DRS TNAs Variasi Potensial. **B)** Tauc Plot TNAs Variasi Potensial

Spektrum UV-Vis DRS Tauc Plot pada Gambar 6. B) menunjukkan potensial 40V memiliki nilai band gap 3,22 eV, pada potensial 45V memiliki nilai band gap 3,32 eV dan potensial 50V memiliki nilai band gap 3,37 eV. Semikonduktor TiO_2 pada fase *anatase* di panjang gelombang < 400 nm berlangsung proses penyerapan dan nilai *band gap* sekitar 3,2 eV serta tidak reaktif pada daerah cahaya *visible* (Mollavali et al., 2021). Oleh karena itu potensial 40 V merupakan potensial yang paling optimal dibandingkan 45V dan 50V (Tabel 1).

Beda potensial mempengaruhi ketebalan struktur permukaan pada film, semakin tinggi potensial maka akan semakin tebal struktur permukaan pada film. Tidak hanya itu, beda potensial juga mempengaruhi sifat optik pada film, dimana semakin tinggi potensial daya serap cahaya akan cenderung rendah seiring dengan meningkatkan panjang gelombang (Nwori et al., 2021).

Tabel 1. Nilai *Band Gap* TNAs yang disintesis menggunakan Metode Anodisasi Dua Tahap

Potensial	<i>Band Gap</i> (eV)
40V 1 jam (tahap satu) 40 V 30 menit (tahap dua)	3,22
45V 1 jam (tahap satu) 45 V 30 menit (tahap dua)	3,32
50V 1 jam (tahap satu) 50 30 menit (tahap dua)	3,37

4. Conclusion

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh pengaruh variasi potensial anodisasi berpengaruh pada nilai band gap TNAs. Hasil UV-Vis DRS menunjukkan bahwa potensial 40V 1 jam (tahap satu) 40 V 30 menit (tahap dua) memberikan nilai band gap nya sekitar 3,22 eV, 45V 1 jam (tahap satu) 45 V 30 menit (tahap dua) dengan energi band gap nya 3,32 eV, dan 50 V 1 jam (tahap satu) 50 30 menit (tahap dua) energi band gap nya 3,37 eV. Berdasarkan hasil UV-Vis DRS, dapat disimpulkan bahwa peningkatan potensial anodisasi dari 40 hingga 50 V menyebabkan kenaikan nilai band gap TiO_2 nanotube arrays dari 3,22 eV menjadi 3,37 eV. Tren ini menunjukkan bahwa kondisi anodisasi berperan penting dalam mengontrol sifat optoelektronik TNAs tanpa mengubah fase kristal utama TiO_2 , sehingga parameter ini dapat dioptimalkan sesuai dengan kebutuhan aplikasi fotoelektrokimia.

References

- Ghorannevis, T. H. Z., & Sari, M. G. A. H. (2017). Effects of various applied voltages on physical properties of TiO_2 nanotubes by anodization method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 2–7. <https://doi.org/10.1007/s40094-017-0257-9>
- Inggawati, E. D., Kasuma, S., Ningsih, W., & Yuningrat, N. W. (2024). *Synthesis and Characterization of Bi₂S₃ Deposited on TiO₂ Nanotubes (TiO₂ NTAs) as Photoanode in the Tandem DSSC-PEC System for Hydrogen Evolution*. 56(1), 30–47. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2024.56.1.3>
- Kasuma, S., Ningsih, W., Wibowo, R., & Gunlazuardi, J. (2025). *Preparation and Characterization*

- of Pt / TiO₂ Nanotube Arrays (TNAs) Cathode by Photoreduction Method for Hydrogen Evolution.* <https://doi.org/10.15408/jkv.v11i2.46475>
- Mollavali, M., Rohani, S., Elahifard, M., Behjatmanesh-Ardakani, R., & Nourany, M. (2021). Band gap reduction of (Mo+N) co-doped TiO₂ nanotube arrays with a significant enhancement in visible light photo-conversion: A combination of experimental and theoretical study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(41), 21475–21498. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.249>
- Nasution, N., & Fitri, A. (2018). Sintesis Nanopartikel TiO₂ Fasa Rutile dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Teknologi*, 2(2), 8.
- Ningsih, S. K. W., Syauqi, M. I., Wibowo, R., & Gunlazuardi, J. (2024). Effect of potential variation on morphology and photoelectrochemical properties of TiO₂ nanotube arrays (TNAs) by two-step anodization method. *Journal of Applied Electrochemistry*, 54(4), 739–756. <https://doi.org/10.1007/s10800-023-01999-5>
- Ningsih, S. K. W., Wibowo, R., & Gunlazuardi, J. (2023). *Kinerja fotoelektrokimia susunan nanotube BiOI / TiO₂ Riset. 2.*
- Nwori, A. N., Ezenwaka, L. N., Ottih, I. E., Okereke, N. A., Umeokwona, N. S., & Okoli, N. L. (2021). *Effect of Deposition Voltage Variation on the Optical Properties of PbMnS Thin Films Deposited by Electrodeposition Method.* 8(3), 12–22.
- Pasini, S. M., Valério, A., Yin, G., Wang, J., de Souza, S. M. A. G. U., Hotza, D., & de Souza, A. A. U. (2021). An overview on nanostructured TiO₂-containing fibers for photocatalytic degradation of organic pollutants in wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 40(August). <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101827>
- Pawar, M., Sengođular, S. T., & Gouma, P. (2018). A brief overview of TiO₂ photocatalyst for organic dye remediation: Case study of reaction mechanisms involved in Ce-TiO₂ photocatalysts system. *Journal of Nanomaterials*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5953609>
- Pesci, F. M., Wang, G., Klug, D. R., Li, Y., & Cowan, A. J. (2013). *Efficient Suppression of Electron – Hole Recombination in Oxygen- Deficient Hydrogen-Treated TiO₂ Nanowires for Photoelectrochemical Water Splitting.*
- Priyadarshini, P., & Pushpanathan, K. (2023). Synthesis of Ce-doped NiFe₂O₄ nanoparticles and their structural, optical, and magnetic properties. *Chemical Physics Impact*, 6(January), 100201. <https://doi.org/10.1016/j.chphi.2023.100201>
- Reghunath, S., Pinheiro, D., & KR, S. D. (2021). A review of hierarchical nanostructures of TiO₂: Advances and applications. *Applied Surface Science Advances*, 3(January), 100063. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2021.100063>
- Setyawan, H. P., & Suryani, O. (2024). Modified Titanium Oxide with Metal Doping as Photocatalyst in Photochemical Water Splitting. *Jurnal Sains Natural*, 14(1), 01–12. <https://doi.org/10.31938/jsn.v14i1.652>
- Slimani, Y., Unal, B., Almessiere, M. A., Hannachi, E., Yasin, G., Baykal, A., & Ercan, I. (2020). Role of WO₃ nanoparticles in electrical and dielectric properties of BaTiO₃-SrTiO₃ ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(10), 7786–7797. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-03317-7>
- Sun, Y., & Yan, K. (2014). ScienceDirect Effect of anodization voltage on performance of TiO₂ nanotube arrays for hydrogen generation in a two-compartment photoelectrochemical cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(22), 11368–11375. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.05.115>