

Pengaruh Penggunaan Doping Vanadium dan Zat Aditif *Diethanolamine* (DEA) Terhadap Energi Celah Pita SnO₂

Aulia Dwicahyani¹, Hary Sanjaya^{2*}, Miftah Patriela³

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

*Hary Sanjaya

Email: hary.s@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Tingginya energi celah pita (*band gap*) pada semikonduktor SnO₂ membuat aktivitas fotokatalisnya tidak optimum. Energi *band gap* adalah kesenjangan antara pita valensi dan pita konduksi pada semikonduktor. Doping dan Zat aditif ditambahkan kedalam SnO₂ karena dapat menurunkan energi celah pita SnO₂ sehingga meningkatkan aktivitas fotokatalisnya karena hanya perlu energi yang rendah untuk elektron bereksitasi. Penelitian bertujuan untuk melihat pengaruh penggunaan doping vanadium dan zat aditif *Diethanolamine* (DEA) terhadap penurunan energi *band gap* SnO₂. Metode sintesis yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode Sol-gel. Hasil sintesis SnO₂ dapat dikarakterisasi menggunakan *Spektrofotometer Diffuse-Reflectance* (UV-DRS). Hasil menunjukkan SnO₂ murni memiliki energi celah pita sebesar 3,48 eV sedangkan SnO₂ yang telah didoping dan ditambahkan zat aditif memiliki energi celah pita sebesar 2,25 eV. Vanadium dan DEA terbukti dapat menurunkan energi celah pita SnO₂ sehingga dapat dijadikan sebagai bahan fotokatalis.

Kata kunci : Semikonduktor, SnO₂, Doping, Zat Aditif, Vanadium, *Diethanolamine* (DEA)

Abstract

The high band gap energy in the SnO₂ semiconductor makes its photocatalytic activity not optimal. Band gap energy is a combination of the valence band and conduction band in a semiconductor. Doping and additives are added to SnO₂ because they can reduce the band gap energy of SnO₂ thereby increasing its photocatalytic activity because it only requires low energy for excited electrons. The research aims to see the effect of using vanadium doping and the additive Diethanolamine (DEA) on reducing the band gap energy of SnO₂. The synthesis method used in this research was the Sol-gel method. The SnO₂ synthesis results can be characterized using a Diffuse-Reflectance Spectrophotometer (UV-DRS). The results show that pure SnO₂ has a band gap energy of 3.48 eV, while SnO₂ that has been doped and added with additives has a band gap energy of 2.25 eV. Vanadium and DEA have been proven to be able to reduce the band gap energy of SnO₂ so that it can be used as a photocatalyst material.

Keywords : Semikonduktor, SnO₂, Doping, Zat Aditif, Vanadium, *Diethanolamine* (DEA)

Pendahuluan

Semikonduktor Timah (II) oksida atau SnO₂ merupakan oksida tipe-n yang memiliki nilai *band gap* sebesar 3,6 eV (Köse et al., 2015). *Band-gap* adalah ukuran kesenjangan antara pita valensi dan pita konduksi yang dimiliki oleh semikonduktor. SnO₂ memiliki sifat kimia dan sifat fisik yang kuat, transparansi tinggi di wilayah tampak sehingga SnO₂ cocok dijadikan sebagai bahan fotokatalis dalam proses degradasi zat warna (Letifi et al., 2019).

Energi *band gap* yang dimiliki oleh SnO_2 murni masih cukup besar sehingga memiliki tepi serapan pada sinar ultraviolet. Oleh karena itu, untuk menjadikannya sebagai bahan fotokatalis perlu ditambahkan doping yang bertujuan untuk menurunkan energi celah pita yang nantinya akan memperluas serapan SnO_2 ke wilayah tampak dan meningkatkan aktivitas fotokatalitiknya. Penambahan zat aditif juga mampu menghasilkan material dengan ukuran yang lebih kecil dan luas permukaan yang besar sehingga dapat meningkatkan reaktivitas suatu semikonduktor (Kasuma et al., 2013)

Beberapa jenis logam telah ditambahkan sebagai doping dalam sintesis SnO_2 , seperti Nikel (Zhuang et al., 2013), Kromium (Liu et al., 2009), dan Magnesium (Wang & Chen, 2010). Penelitian terbaru yang dilakukan oleh Letifi, dkk (2019) menggunakan Vanadium sebagai doping dalam mensintesis SnO_2 terbukti dapat menurunkan energi *band-gap* dari SnO_2 murni 3,25 eV ke $\text{SnO}_2\text{-V}$ 2,55 eV dengan konsentrasi vanadium yang digunakan adalah 4% (Letifi et al., 2019). Zat aditif yang dapat digunakan adalah *Diethanolamine* (DEA). Rahayu, dkk menggunakan zat aditif DEA dalam sintesis nanopartikel mangan oksida menghasilkan nanopartikel dengan ukuran yang lebih kecil, homogen dan morfologi partikel yang halus dan ukuran yang sama (Rahayu et al., 2020).

Metode sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti poliol (Ben Soltan et al., 2016) dan pembakaran otomatis (Reddy et al., 2016). Metoda Sol-gel yang digunakan oleh Patel, dkk (2021) menghasilkan SnO_2 yang murni tanpa zat pengotor, dilihat dari hasil karakterisasi EDAX yang memunculkan 2 puncak yaitu Sn dan O (Patel et al., 2021). Oleh karena itu, metode sol-gel digunakan dalam penelitian ini karena memiliki kelebihan yaitu proses yang sederhana dan tidak memerlukan energi yang tinggi namun bisa menghasilkan material yang bagus (Saini et al., 2007).

Berdasarkan uraian diatas, maka dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis semikonduktor SnO_2 murni dan SnO_2 doping Vanadium dan Penambahan zat aditif DEA dengan metode Sol-gel untuk melihat perbedaan energi *band-gap* yang dihasilkan. Energi *band-gap* dapat diketahui dengan menggunakan Spektrofotometer UV-*Diffuse Reflectance* (UV-DRS).

Metode

Alat dan Bahan

Alat-alat yang dapat digunakan dalam penelitian adalah *beaker glass*, gelas ukur, cawan penguap, kaca arloji, lumpang dan alu, *magnetic stirrer*, *stirrer bar*, *furnace*, *Spektrofotometri UV-Diffuse Reflectance* (UV-DRS). Bahan-bahan yang digunakan yaitu $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Ammonium Metavanadat (V_2O_5), Diethilnoamine (DEA) p.a, Methanol p.a.

Sintesis Material SnO_2 murni

Dilarutkan $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 1 mmol dalam 50 mL methanol p.a. Tutup menggunakan plastic wrap dan homogenkan selama 1 jam 40 menit menggunakan magnetic stirrer. Sonikasi dilakukan pada larutan selama 30 menit sampai larutan menjadi homogen dan untuk menstabilkan sol larutan didiamkan selama 1 x 24 jam. Sampel dioven pada temperatur 110°C selama ± 1 jam untuk dikeringkan. Gel yang terbentuk dilakukan kalsinasi dengan *Furnace* pada temperature 600°C selama ± 3 jam untuk memperoleh SnO_2 . Sampel dihaluskan menggunakan lumpang dan alu dan dapat dikarakterisasi.

Sintesis Material SnO_2 dengan penambahan doping serta zat aditif

Dilarutkan $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 1 mmol dan V_2O_5 dengan konsentrasi 1 mmol dalam 50 mL pelarut methanol p.a, yang ditutup dengan *plastic wrap*, dan homogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 40 menit. Zat aditif DEA sebanyak 1,5 mL ditambahkan pada larutan, lanjutkan pengadukan ± 1 jam. Sonikasi dilakukan pada larutan selama 30 menit sampai larutan menjadi homogen dan untuk menstabilkan sol larutan didiamkan selama 1 x 24 jam. Sampel dioven pada temperatur 110°C selama ± 1 jam untuk dikeringkan. Gel yang terbentuk dikalsinasi dengan *Furnace* pada temperature 600°C selama ± 3 jam untuk memperoleh SnO_2 . Sampel dihaluskan menggunakan lumpang dan alu sehingga sampel dan dapat dikarakterisasi.

Hasil dan Pembahasan

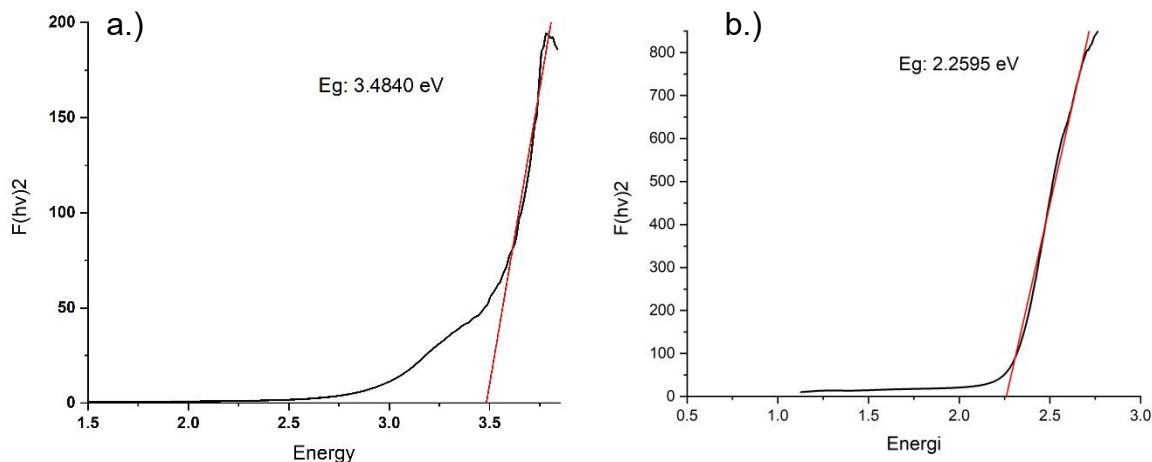
Energi *band gap* dari semikonduktor SnO_2 yang telah disintesis ditentukan menggunakan Spektrofotometer *UV-Diffuse Reflectance* (UV-DRS). Energi *band-gap* didapatkan dengan

mengubah besaran % R kedalam persamaan Kubelka-Munk ($F(R)$). Metode Kubelka-Munk dapat digunakan untuk mencari energi *band-gap* dimana:

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi *band-gap* diperoleh dari grafik hubungan antara $h\nu$ (eV) vs $(F(R')h\nu)^{1/2}$. E_g adalah energi celah pita (eV), h adalah nilai konstanta planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js), c adalah kecepatan cahaya ($1,872452 \times 10^{36}$) dan λ adalah panjang gelombang (nm) (Sanjaya & Syafitri, 2018).

Berikut adalah hasil grafik SnO_2 dari pengolahan data menggunakan *software OriginPro*.



Gambar 1. Grafik energi celah pita dari a) SnO_2 Murni, b) $\text{SnO}_2\text{-V+DEA}$

Berdasarkan hasil grafik di atas dapat dilihat bahwa SnO_2 murni memiliki *band-gap* sebesar 3,48 eV sedangkan SnO_2 yang di doping Vanadium 1 mmol dengan penambahan zat aditif DEA 1,5 mL menunjukkan energi *band-gap* sebesar 2,25 eV. Sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Reddy (2016), energi *band-gap* SnO_2 murni didapatkan sebesar 3,65 eV dan SnO_2 yang terdoping Vanadium sebesar 2,60 eV (Reddy et al., 2016). Belfaa dkk, (2018) juga melaporkan bahwa penggunaan doping vanadium pada sintesis TiO_2 dapat menurunkan energi *band-gap* dari 3,18 eV menjadi 2,6 eV (Belfaa et al., 2018).

Turunnya energi *band gap* dari SnO_2 yang didoping vanadium disebabkan oleh ion vanadium yang telah terdoping kedalam SnO_2 mengalami pertukaran sp-d antara elektron d dari vanadium dan elektron sp dari SnO_2 . Pertukaran ini akan mengurangi jarak pita valensi ke pita konduksi dan memperluas serapan ke sinar tampak yang nantinya akan mempengaruhi aktivitas fotokatalis (Ben Soltan et al., 2016).

Pada penelitian ini digunakan zat aditif *Diethanolamine* (DEA). DEA disamping zat yang berfungsi sebagai agen penstabil dan dapat menghomogenkan material, DEA juga dapat menurunkan energi *band gap* semikonduktor. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sukma dan Sanjaya (2023) dimana semikonduktor CuSnO_3 yang disintesis tanpa DEA menghasilkan energi celah pita sebesar 3,21 eV dan setelah penambahan DEA dengan volume 1,5 mL energi *band-gap* CuSnO_3 turun menjadi 2,11 eV (Sukma & Sanjaya, 2023).

DEA termasuk kedalam senyawa organik kelompok amina. Penambahan DEA dapat membentuk ion kompleks dengan ion-ion logam ini terbukti dengan perubahan warna larutan ketika DEA ditambahkan. DEA juga berfungsi sebagai ion penstabil sehingga ion-ion logam tetap berada dalam kompleks yang stabil dan akan mencegah pengendapan atau reaksi yang tidak diinginkan sebelum terbentuknya SnO_2 . Patriela (2024) melakukan sintesis SnO_2 murni dengan penambahan DEA mendapatkan hasil optimum energi celah pita pada volume 1,5 mL yaitu sebesar 3,6 eV.

Berikut adalah hasil pengukuran celah pita antara SnO_2 murni dengan SnO_2 -V+DEA dalam bentuk tabel dapat dilihat pada tabel 1.

Semikonduktor	Energi celah pita
SnO_2 Murni	3,48 eV
SnO_2 -V+DEA	2,25 eV

Penurunan energi *band gap* dengan penambahan dopig pada semikonduktor memiliki dampak positif pada aktifitas fotokatalis. Doping vanadium dapat mengalami transisi elektron dari tingkat ($\text{V}^{5+}/\text{V}^{4+}$) ke pita konduksi SnO_2 . Transisi ini akan membuat SnO_2 mampu menyerap pada cahaya tampak karena mengalami pergeseran merah pada spektrum UV-Vis. Zat aditif juga mampu meningkatkan aktivitas fotokatalis karena zat

aditif mampu membuat partikel dengan ukuran yang kecil sehingga luas permukaan yang besar.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan doping dan zat aditif dapat menurunkan energi *band-gap* semikonduktor. Energi *band-gap* SnO₂ dapat diturunkan dari 3,48 eV menjadi 2,25 eV dengan penambahan doping vanadium sebanyak 1 mmol dan penambahan zat aditif Diethanolamine (DEA) sebanyak 1,5 mL. Berdasarkan hasil penelitian SnO₂ dapat diuji aktivitas fotokatalisnya pada proses degradasi zat warna untuk melihat efektivitas penggunaan doping dan penambahan aditif.

Daftar Referensi

- Belfaa, K., Lassoued, M. S., Ammar, S., & Gadri, A. (2018). Synthesis and characterization of V-doped TiO₂ nanoparticles through polyol method with enhanced photocatalytic activities. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(12), 10269–10276. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-9080-6>
- Ben Soltan, W., Mbarki, M., Ammar, S., Babot, O., & Toupance, T. (2016). Structural and optical properties of vanadium doped SnO₂ nanoparticles synthesized by the polyol method. *Optical Materials*, 54, 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.01.059>
- Kasuma, S., Ningsih, W., Kimia, J., Matematika, F., & Ipa, D. (n.d.). Pengaruh Aditif Pada Sintesis Nanopartikel Mn₂O₃ Melalui Proses Sol-Gel.
- Köse, H., Karaal, Ş., Aydın, A. O., & Akbulut, H. (2015). Structural properties of size-controlled SnO₂ nanopowders produced by sol-gel method. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 38, 404–412. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.03.028>
- Letifi, H., Litaïem, Y., Dridi, D., Ammar, S., & Chtourou, R. (2019). Enhanced Photocatalytic Activity of Vanadium-Doped SnO₂ Nanoparticles in Rhodamine B Degradation. *Advances in Condensed Matter Physics*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/2157428>
- Liu, B., Wang, X., Cai, G., Wen, L., Song, Y., & Zhao, X. (2009). Low temperature fabrication of V-doped TiO₂ nanoparticles, structure and photocatalytic studies. *Journal of Hazardous Materials*, 169(1–3), 1112–1118. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.04.068>

- Patel, G. H., Chaki, S. H., Kannaujiya, R. M., Parekh, Z. R., Hirpara, A. B., Khimani, A. J., & Deshpande, M. P. (2021). Sol-gel synthesis and thermal characterization of SnO₂ nanoparticles. *Physica B: Condensed Matter*, 613. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2021.412987>
- Rahayu, S., Herawati, N., wijaya Jurusan Kimia, M., Universitas Negeri Makassar Jl Dg Tata Raya, F., & Tambung, P. (n.d.). *Sintesis Nanopartikel Mangan Oksida dengan Metode Sol Gel Dan Uji Aktivitas Katalitik terhadap Degradasi Zat Warna Rhodamin B Jurnal Chemica Vo.*
- Reddy, C. V., Babu, B., Vattikuti, S. V. P., Ravikumar, R. V. S. S. N., & Shim, J. (2016). Structural and optical properties of vanadium doped SnO₂ nanoparticles with high photocatalytic activities. *Journal of Luminescence*, 179, 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2016.06.036>
- Saini, K. K., Sharma, S. D., Chanderkant, Kar, M., Singh, D., & Sharma, C. P. (2007). Structural and optical properties of TiO₂ thin films derived by sol-gel dip coating process. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 353(24–25), 2469–2473. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2006.12.017>
- Sanjaya, H., & Syafitri, R. (2018). Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO₂ Secara Fotosonolisis. 19(1). <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss01/131>
- Sukma, V. A., & Sanjaya, H. (2023). Efek Penambahan Diethanolamine dan Suhu Kalsinasi terhadap Energi Gap Lapisan Tipis CuSnO₃. *Asian Journal of Science, Technology, Engineering, and Art*, 1(2), 281–294. <https://doi.org/10.58578/ajstea.v1i2.2045>
- Wang, S., & Chen, H. Y. H. (2010). Diversity of northern plantations peaks at intermediate management intensity. *Forest Ecology and Management*, 259(3), 360–366. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.030>
- Zhuang, S., Xu, X., Pang, Y., Li, H., Yu, B., & Hu, J. (2013). Variation of structural, optical and magnetic properties with Co-doping in Sn_{1-x}CoxO₂ nanoparticles. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 327, 24–27. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.09.040>