

**PENGARUH DOPING NIKEL DAN MONOETHANOLAMINE  
(MEA) SEBAGAI ZAT ADITIF TERHADAP ENERGI  
CELAH PITA SnO<sub>2</sub>**

**The Effect of Nickel Doping and Monoethanolamine (MEA)  
as Additives on the Band Gap Energy of SnO<sub>2</sub>**

**Nadya Alexandra, Hary Sanjaya, Alizar Ulianas, Umar Kalmar Nizar**

Universitas Negeri Padang

[hary.s@fmipa.unp.ac.id](mailto:hary.s@fmipa.unp.ac.id)

**Article Info:**

**Submitted: Revised: Accepted: Published:**

Dec 15, 2025 Jan 7, 2026 Jan 19, 2026 Jan 24, 2026

**Abstract**

The relatively large band gap energy of SnO<sub>2</sub> semiconductors limits their ability to absorb visible light, resulting in suboptimal photocatalytic activity. Although modification of SnO<sub>2</sub> band gap energy through transition metal doping has been widely studied, research that specifically combines nickel doping with the addition of monoethanolamine (MEA) using the sol-gel method remains limited. This study aimed to analyze the effect of nickel doping and MEA addition on the band gap energy of SnO<sub>2</sub> synthesized via the sol-gel method. A quantitative approach with a laboratory experimental design was employed, in which pure SnO<sub>2</sub> and nickel-doped SnO<sub>2</sub> with MEA addition were synthesized as research samples and subsequently characterized using a UV-Diffuse Reflectance Spectrophotometer (UV-DRS). Reflectance data were analyzed using the Kubelka-Munk approach and Tauc plot method to determine band gap energy. The results showed that pure SnO<sub>2</sub> had a band gap energy of 3.59 eV, whereas nickel-doped SnO<sub>2</sub> with MEA addition exhibited a reduced band gap energy of 2.33 eV. These findings indicate that the combination of nickel doping and MEA

additive is effective in modifying the optical properties of SnO<sub>2</sub> and extending its light absorption into the visible region, thereby enhancing its potential as a visible-light-driven photocatalytic material. This study contributes to the development of modification strategies for SnO<sub>2</sub>-based oxide semiconductors and opens avenues for further research on optimizing dopant and additive compositions as well as directly evaluating the photocatalytic performance of the material.

**Keywords:** Semiconductor; SnO<sub>2</sub>; Nickel Doping; Monoethanolamine; Band Gap Energy

**Abstrak:** Energi celah pita yang relatif besar pada semikonduktor SnO<sub>2</sub> membatasi kemampuannya dalam menyerap cahaya tampak sehingga aktivitas fotokatalitiknya belum optimal. Meskipun modifikasi energi celah pita SnO<sub>2</sub> melalui doping logam transisi telah banyak dikaji, penelitian yang secara khusus mengombinasikan doping nikel dengan penambahan zat aditif *monoethanolamine* (MEA) menggunakan metode *sol-gel* masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh doping nikel dan penambahan MEA terhadap energi celah pita SnO<sub>2</sub> yang disintesis melalui metode *sol-gel*. Pendekatan yang digunakan adalah kuantitatif dengan desain eksperimen laboratoris, di mana SnO<sub>2</sub> murni dan SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dengan penambahan MEA disintesis sebagai objek penelitian, kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer *UV-Diffuse Reflectance* (UV-DRS). Data reflektansi dianalisis menggunakan pendekatan *Kubelka-Munk* dan metode *Tauc plot* untuk menentukan energi celah pita. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SnO<sub>2</sub> murni memiliki energi celah pita sebesar 3,59 eV, sedangkan SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dengan penambahan MEA mengalami penurunan energi celah pita hingga 2,33 eV. Temuan ini mengindikasikan bahwa kombinasi doping nikel dan aditif MEA efektif dalam memodifikasi sifat optik SnO<sub>2</sub> dan memperluas serapan cahaya ke wilayah tampak, sehingga memperkuat potensinya sebagai material fotokatalis berbasis cahaya tampak. Penelitian ini berkontribusi terhadap pengembangan strategi modifikasi semikonduktor oksida berbasis SnO<sub>2</sub> dan membuka peluang kajian lanjutan terkait optimasi komposisi dopan dan aditif serta evaluasi langsung kinerja fotokatalitik material.

**Kata Kunci:** Semikonduktor; SnO<sub>2</sub>; Doping Nikel; *Monoethanolamine*; Energi Celah Pita

## PENDAHULUAN

Semikonduktor timah dioksida (SnO<sub>2</sub>) merupakan material oksida bertipe-n yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi optoelektronik dan fotokatalitik. SnO<sub>2</sub> diketahui memiliki energi celah pita yang relatif besar, yaitu sekitar 3,6 eV, yang menunjukkan bahwa material ini terutama menyerap radiasi pada wilayah ultraviolet (Köse et al., 2015). Energi celah pita (*band gap*) didefinisikan sebagai perbedaan energi antara pita valensi dan pita konduksi pada suatu semikonduktor (Dwicahyani et al., 2025). Selain itu, SnO<sub>2</sub> memiliki stabilitas kimia dan termal yang baik serta tingkat transparansi tinggi pada daerah cahaya tampak, sehingga berpotensi diaplikasikan sebagai material fotokatalis untuk proses degradasi senyawa organik (P. K. Mishra et al., 2022).

Besarnya energi celah pita  $\text{SnO}_2$  murni menyebabkan keterbatasan dalam pemanfaatan cahaya tampak, sehingga aktivitas fotokatalitiknya masih kurang optimal (Fardhani et al., 2022; Nihad et al., 2025). Salah satu pendekatan yang umum dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan doping logam, yang bertujuan untuk menurunkan energi celah pita dan memperluas daerah serapan cahaya ke wilayah tampak, sehingga meningkatkan kinerja fotokatalitik material (Kumar et al., 2022). Selain doping, penambahan zat aditif juga berperan penting dalam mengontrol ukuran partikel dan meningkatkan luas permukaan spesifik, yang pada akhirnya dapat meningkatkan reaktivitas semikonduktor (Yulfitrianti, 2023).

Sintesis nanopartikel  $\text{SnO}_2$  dapat dilakukan melalui berbagai metode, seperti hidrotermal, pembakaran larutan (solution combustion), dan metode sol-gel. Metode sol-gel banyak dipilih karena mampu menghasilkan material dengan tingkat kemurnian tinggi, ukuran partikel yang terkontrol, serta proses sintesis yang relatif sederhana dan hemat energi. Beberapa penelitian melaporkan bahwa  $\text{SnO}_2$  yang disintesis menggunakan metode sol-gel menunjukkan komposisi unsur yang sesuai dan minim pengotor berdasarkan analisis elemental (Aydın Ünal, 2025).

Berbagai logam transisi telah digunakan sebagai dopan dalam sintesis  $\text{SnO}_2$  untuk meningkatkan sifat optiknya, di antaranya kobalt (Co) (Nihad et al., 2025) dan tembaga (Cu) (Arif et al., 2022). Salah satu dopan yang efektif adalah nikel (Ni), yang dilaporkan mampu menurunkan energi celah pita  $\text{SnO}_2$  dari 3,61 eV menjadi 2,58 eV sehingga memperluas serapan ke wilayah cahaya tampak (Khan et al., 2021). Selain itu, penambahan zat aditif monoethanolamine (MEA) berperan sebagai agen pengompleks dan penstabil yang menghasilkan partikel lebih kecil dan homogen, sehingga berpotensi meningkatkan aktivitas fotokatalitik material (Yulfitrianti, 2023).

Secara teoritis, modifikasi energi celah pita pada semikonduktor oksida logam sangat dipengaruhi oleh keberadaan dopan dan kondisi sintesis yang mengontrol struktur mikro material. *Sze dan Ng* menjelaskan bahwa doping logam transisi dapat membentuk tingkat energi baru di dalam celah pita semikonduktor, sehingga menurunkan energi eksitasi elektron dan memperluas serapan cahaya ke wilayah tampak (Agustia, 2025; Setyawan & Suryani, 2024). Pada  $\text{SnO}_2$ , inkorporasi ion  $\text{Ni}^{2+}$  ke dalam kisi kristal dilaporkan mampu menyebabkan distorsi kisi dan pembentukan vacancy oksigen yang berkontribusi terhadap penyempitan energi celah pita (Setyawan & Suryani, 2024). Selain itu, penggunaan zat aditif dalam metode sol-gel, seperti monoethanolamine (MEA), berperan sebagai agen

pengompleks yang mengontrol laju hidrolisis dan kondensasi prekursor, sehingga menghasilkan partikel yang lebih homogen dan memodifikasi keadaan permukaan material (Aziz & Rustyawan, n.d.). Kombinasi antara doping logam transisi dan penambahan zat aditif ini dilaporkan memberikan efek sinergis dalam meningkatkan sifat optik dan potensi fotokatalitik semikonduktor oksida (A. Mishra et al., 2022; M. Mishra et al., 2024) namun kajian yang secara spesifik mengevaluasi pengaruh simultan doping nikel dan aditif MEA terhadap energi celah pita  $\text{SnO}_2$  masih terbatas.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk mensintesis  $\text{SnO}_2$  tanpa dopan dan  $\text{SnO}_2$  terdoping nikel dengan penambahan monoethanolamine (MEA) melalui metode sol-gel, serta mengevaluasi pengaruh perlakuan tersebut terhadap energi celah pita material. Karakterisasi energi celah pita dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Diffuse Reflectance (UV-DRS).

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratoris dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk mengkaji pengaruh doping nikel dan penambahan zat aditif monoethanolamine (MEA) terhadap energi celah pita material semikonduktor  $\text{SnO}_2$ . Desain penelitian yang digunakan adalah eksperimen komparatif, yaitu membandingkan sifat optik  $\text{SnO}_2$  murni dengan  $\text{SnO}_2$  terdoping nikel yang disintesis menggunakan metode sol-gel. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah perlakuan doping nikel dan penambahan MEA, sedangkan variabel terikatnya adalah energi celah pita  $\text{SnO}_2$ . Objek penelitian berupa material anorganik  $\text{SnO}_2$  hasil sintesis laboratorium, sehingga penelitian ini tidak melibatkan partisipasi manusia maupun hewan.

Sintesis  $\text{SnO}_2$  murni dilakukan dengan melarutkan 1 mmol  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ke dalam 50 mL metanol pro analysis (p.a), kemudian larutan dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer selama 60 menit. Selanjutnya, larutan disonikasi selama 30 menit hingga terbentuk sol yang homogen dan didiamkan selama 24 jam untuk proses pematangan sol. Gel yang terbentuk dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $110\text{ }^\circ\text{C}$  selama  $\pm 1$  jam, kemudian dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu  $600\text{ }^\circ\text{C}$  selama  $\pm 3$  jam untuk menghasilkan serbuk  $\text{SnO}_2$ . Sampel yang diperoleh dihaluskan menggunakan lumpang dan alu sebelum dilakukan karakterisasi.

Sintesis SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dengan penambahan zat aditif dilakukan dengan melarutkan 1 mmol SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O dan 0,2 mmol NiCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O ke dalam 50 mL metanol p.a, kemudian larutan dihomogenkan menggunakan magnetic stirrer selama 60 menit. Selanjutnya, monoethanolamine (MEA) sebanyak 2 mL (33,1 mmol) ditambahkan ke dalam larutan dan pengadukan dilanjutkan selama ±1 jam. Larutan kemudian disonikasi selama 30 menit hingga homogen dan didiamkan selama 24 jam untuk menstabilkan sol. Gel yang terbentuk dikeringkan pada suhu 110 °C selama ±1 jam dan dikalsinasi pada suhu 600 °C selama ±3 jam. Serbuk hasil kalsinasi dihaluskan dan digunakan untuk analisis sifat optik.

Karakterisasi energi celah pita material dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Diffuse Reflectance (UV-DRS). Data reflektansi yang diperoleh dikonversi menjadi fungsi Kubelka-Munk, F(R), untuk merepresentasikan serapan optik material. Penentuan energi celah pita dilakukan menggunakan metode Tauc plot dengan memplot hubungan antara  $(F(R)hv)^{1/2}$  dan energi foton (hv). Nilai energi celah pita diperoleh dari hasil ekstrapolasi linier kurva terhadap sumbu energi. Metode ini digunakan karena sesuai untuk analisis sifat optik material semikonduktor berbentuk serbuk.

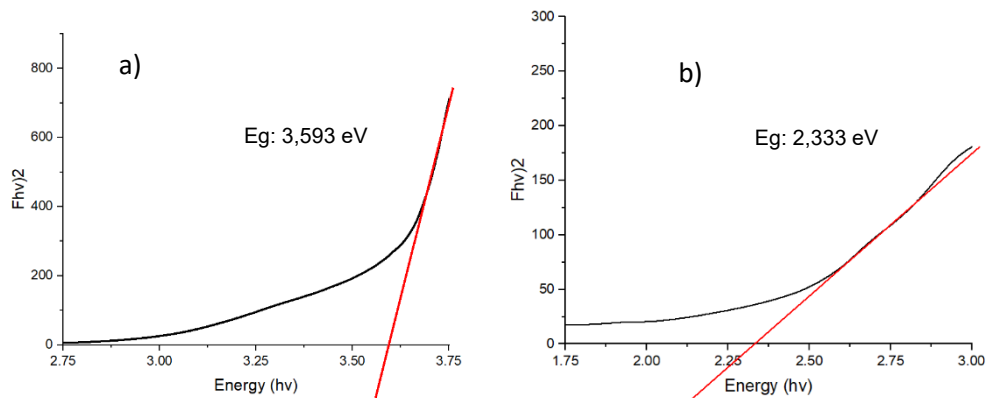
## HASIL

Penentuan energi celah pita (*band gap*) dari material semikonduktor SnO<sub>2</sub> hasil sintesis dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Diffuse Reflectance (UV-DRS). Data reflektansi yang diperoleh selanjutnya dikonversi dari nilai persentase reflektansi (%R) menjadi fungsi Kubelka-Munk, F(R). Pendekatan Kubelka-Munk digunakan untuk menghitung energi celah pita semikonduktor berdasarkan hubungan antara serapan optik dan energi foton, yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Eg = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi celah pita ditentukan melalui analisis grafik Tauc yang menunjukkan hubungan antara energi foton (hv) dan fungsi Kubelka-Munk  $(F(R)hv)^{1/2}$ . Nilai energi celah pita (Eg) diperoleh dari titik potong hasil ekstrapolasi linier terhadap sumbu energi. Pada persamaan tersebut, *h* menyatakan konstanta Planck bernilai  $6,626 \times 10^{-34}$  J·s, *c* merupakan kecepatan cahaya, sedangkan  $\lambda$  menunjukkan panjang gelombang cahaya dalam satuan nanometer (Sanjaya, 2018).

Berikut adalah hasil grafik SnO<sub>2</sub> dari pengolahan data menggunakan *software OriginPro*.



Gambar 1. Grafik energi celah pita dari a) SnO<sub>2</sub> Murni, b) SnO<sub>2</sub>-Ni+MEA

Berdasarkan hasil grafik yang diperoleh, dapat diketahui bahwa SnO<sub>2</sub> murni memiliki energi celah pita sebesar 3,59 eV, sedangkan SnO<sub>2</sub> yang terdoping nikel sebesar 1 mmol dengan penambahan zat aditif monoethanolamine (MEA) sebanyak 2 ml (33,1 mmol) menunjukkan penurunan energi celah pita hingga 2,33 eV. Penurunan nilai energi celah pita ini menunjukkan bahwa keberadaan dopan nikel dan aditif MEA memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat optik SnO<sub>2</sub>. Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan sebelumnya oleh Khan (2021) yang menyatakan bahwa doping nikel berpengaruh terhadap penurunan energi celah pita SnO<sub>2</sub>. SnO<sub>2</sub> murni memiliki energi celah pita sekitar 3,78 eV, sedangkan SnO<sub>2</sub> yang terdoping nikel mengalami penurunan energi celah pita 2,47 eV, bergantung pada kadar dopan yang digunakan (Khan et al., 2021).

Turunnya energi celah pita pada SnO<sub>2</sub> terdoping nikel disebabkan oleh keberadaan ion Ni<sup>2+</sup> yang terinkorporasi ke dalam kisi kristal SnO<sub>2</sub> dan menghasilkan tingkat energi baru di dalam celah pita. Tingkat energi ini berasal dari interaksi orbital d ion nikel dengan pita elektronik SnO<sub>2</sub>, sehingga memperkecil jarak antara pita valensi dan pita konduksi serta memperluas daerah serapan ke wilayah cahaya tampak. Perubahan struktur pita energi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan aktivitas fotokatalitik material (Ahmed et al., 2011).

Pada penelitian ini digunakan monoethanolamine (MEA) sebagai zat aditif yang berfungsi sebagai agen penstabil dan pengompleks. Penambahan MEA juga dilaporkan mampu menurunkan energi celah pita semikonduktor. Hasil penelitian ini sejalan dengan laporan sebelumnya oleh Irsyad & Sanjaya (2025) bahwa energi celah pita ZnO menurun dari

3,21 eV menjadi 2,68 eV setelah penambahan MEA sebanyak 2 ml (33,1 mmol), yang menunjukkan peran MEA dalam memodifikasi sifat optik material (Irsyad & Sanjaya, 2025).

Tabel hasil pengukuran celah pita antara SnO<sub>2</sub> murni dengan SnO<sub>2</sub>- Ni+MEA dalam bentuk tabel dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. hasil pengukuran celah pita antara SnO<sub>2</sub> murni dengan SnO<sub>2</sub>- Ni+MEA

| Semikonduktor            | Energi celah pita |
|--------------------------|-------------------|
| SnO <sub>2</sub> Murni   | 3,59 eV           |
| SnO <sub>2</sub> -Ni+MEA | 2,33 eV           |

Penurunan energi celah pita pada SnO<sub>2</sub> terdoping nikel disebabkan oleh terbentuknya tingkat energi baru akibat interaksi ion Ni<sup>2+</sup> dengan struktur pita SnO<sub>2</sub>, sehingga memperkecil jarak antara pita valensi dan pita konduksi dan menggeser serapan ke wilayah cahaya tampak. Pergeseran ini meningkatkan potensi aktivitas fotokatalitik SnO<sub>2</sub>. Selain itu, penambahan zat aditif berperan dalam mengontrol pertumbuhan partikel sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan luas permukaan yang lebih besar, yang selanjutnya mendukung peningkatan efisiensi proses fotokatalisis

## PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa doping nikel dan penambahan zat aditif monoethanolamine (MEA) memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan energi celah pita SnO<sub>2</sub>. Penurunan nilai band gap dari 3,59 eV pada SnO<sub>2</sub> murni menjadi 2,33 eV pada SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dengan penambahan MEA menunjukkan bahwa modifikasi struktur material berhasil memperluas serapan cahaya dari wilayah ultraviolet ke wilayah cahaya tampak. Temuan ini secara langsung menjawab tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi efektivitas kombinasi dopan nikel dan aditif MEA dalam memodifikasi sifat optik SnO<sub>2</sub> melalui metode sol-gel.

Secara teoritis, penurunan energi celah pita pada SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dapat dijelaskan melalui mekanisme inkorporasi ion Ni<sup>2+</sup> ke dalam kisi kristal SnO<sub>2</sub>. Substitusi sebagian ion Sn<sup>4+</sup> oleh ion Ni<sup>2+</sup> menyebabkan ketidakseimbangan muatan dan distorsi kisi, yang mendorong terbentuknya tingkat energi baru (defect levels) di dalam celah pita. Tingkat

energi ini berasal dari interaksi orbital d ion nikel dengan pita elektronik SnO<sub>2</sub>, sehingga memperkecil jarak antara pita valensi dan pita konduksi. Mekanisme serupa telah dilaporkan oleh Ahmed et al. (2011), yang menyatakan bahwa doping logam transisi pada SnO<sub>2</sub> menghasilkan penyempitan celah pita akibat munculnya tingkat energi tambahan di dalam struktur pita.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Negara et al. (2025) yang melaporkan bahwa doping nikel pada SnO<sub>2</sub> yang disintesis menggunakan metode sol-gel mampu menurunkan energi celah pita dari sekitar 3,78 eV menjadi 2,47 eV, bergantung pada konsentrasi dopan. Kesamaan tren penurunan energi celah pita menunjukkan bahwa nikel merupakan dopan yang efektif dalam memodifikasi sifat optik SnO<sub>2</sub>. Namun demikian, nilai energi celah pita yang diperoleh pada penelitian ini (2,33 eV) lebih rendah dibandingkan beberapa laporan sebelumnya, yang mengindikasikan adanya kontribusi tambahan dari faktor lain selain doping nikel.

Perbedaan tersebut diduga kuat berkaitan dengan penggunaan monoethanolamine (MEA) sebagai zat aditif dalam proses sintesis. MEA berfungsi sebagai agen pengompleks dan penstabil yang mampu mengontrol laju hidrolisis dan kondensasi selama proses sol-gel, sehingga menghasilkan partikel dengan ukuran lebih kecil dan distribusi yang lebih homogen. Ukuran partikel yang lebih kecil berpotensi meningkatkan densitas keadaan permukaan (surface states), yang berkontribusi terhadap modifikasi struktur pita energi.

Peran aditif MEA dalam menurunkan energi celah pita semikonduktor juga telah dilaporkan oleh Ningsih et al. (2021), yang menunjukkan bahwa penambahan MEA pada sintesis ZnO mampu menurunkan energi celah pita dari 3,21 eV menjadi 2,68 eV. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini dan menunjukkan bahwa MEA memiliki peran penting dalam memodifikasi sifat optik material oksida semikonduktor.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang hanya menggunakan doping logam tanpa aditif, penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi doping nikel dan penambahan MEA memberikan efek sinergis dalam menurunkan energi celah pita SnO<sub>2</sub>. Hal ini mengindikasikan bahwa strategi modifikasi ganda melalui dopan dan aditif lebih efektif dibandingkan penggunaan dopan tunggal. Pendekatan serupa juga dilaporkan oleh Ningsih et al., (2021); Sujatmiko (2020) yang menyatakan bahwa pengendalian struktur mikro material berperan penting dalam meningkatkan respons optik dan fotokatalitik SnO<sub>2</sub> terdoping logam.

Secara implikatif, hasil penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode modifikasi semikonduktor berbasis SnO<sub>2</sub> untuk aplikasi fotokatalitik berbasis cahaya tampak. Penurunan energi celah pita hingga mendekati 2,3 eV membuka peluang pemanfaatan SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dengan penambahan MEA dalam proses degradasi senyawa organik menggunakan sumber cahaya yang lebih efisien dan ramah energi. Selain itu, penelitian ini memperkuat pemahaman bahwa peran zat aditif dalam sintesis sol-gel tidak hanya terbatas pada pengendalian morfologi, tetapi juga berdampak langsung terhadap sifat elektronik material.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, khususnya pada aspek karakterisasi yang masih difokuskan pada sifat optik material. Analisis struktur kristal, ukuran partikel, dan morfologi belum dilakukan secara langsung, sehingga mekanisme yang diusulkan masih bersifat inferensial berdasarkan literatur. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan karakterisasi tambahan seperti X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), atau Transmission Electron Microscopy (TEM), serta pengujian aktivitas fotokatalitik untuk mengonfirmasi hubungan antara penurunan energi celah pita dan peningkatan kinerja fotokatalitik material.

## **KESIMPULAN**

Penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi material SnO<sub>2</sub> melalui kombinasi doping nikel dan penambahan zat aditif monoethanolamine (MEA) secara efektif memengaruhi sifat optik material, khususnya energi celah pita. Hasil analisis mengonfirmasi bahwa perlakuan tersebut mampu menurunkan energi celah pita SnO<sub>2</sub> secara signifikan dibandingkan material tanpa modifikasi, sehingga meningkatkan kemampuan material dalam menyerap cahaya pada wilayah tampak. Temuan ini secara langsung menjawab tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi pengaruh doping nikel dan aditif MEA terhadap energi celah pita SnO<sub>2</sub> yang disintesis menggunakan metode sol-gel. Secara ilmiah, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi modifikasi semikonduktor oksida berbasis SnO<sub>2</sub> melalui pendekatan kombinasi dopan logam transisi dan zat aditif dalam proses sintesis. Hasil penelitian memperkuat pemahaman bahwa keberadaan dopan nikel berperan dalam membentuk tingkat energi baru di dalam celah pita, sementara penambahan MEA berkontribusi dalam mengendalikan kondisi sintesis yang berdampak pada modifikasi sifat elektronik material. Pendekatan ini menunjukkan potensi untuk diterapkan secara lebih

luas pada pengembangan material semikonduktor lain yang dioptimalkan untuk aplikasi berbasis cahaya tampak.

Berdasarkan temuan dan keterbatasan penelitian, studi lanjutan disarankan untuk melakukan karakterisasi struktur dan morfologi material secara lebih komprehensif, seperti melalui analisis XRD, SEM, atau TEM, guna mengonfirmasi mekanisme yang diusulkan. Selain itu, pengujian langsung terhadap aktivitas fotokatalitik material perlu dilakukan untuk mengkaji hubungan antara penurunan energi celah pita dan peningkatan kinerja fotokatalitik, sehingga potensi aplikasi praktis material SnO<sub>2</sub> terdoping nikel dengan penambahan MEA dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustia, M. M. (2025). *Pengaruh Komposisi N-CDs dari Ampas Kopi pada Nanokomposit ZnO/N-CDs sebagai Material Fotokatalis*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <https://etheses.uin-malang.ac.id/79282/>
- Ahmed, A. S., Shafieq, M. M., Singla, M. L., Tabassum, S., Naqvi, A. H., & Azam, A. (2011). Band gap narrowing and fluorescence properties of nickel-doped SnO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Luminescence*, 131(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2010.07.017>
- Arif, M., Shah, M. Z. U., Ahmad, S. A., Shah, M. S., Ali, Z., Ullah, A., Idrees, M., Zeb, J., Song, P., Huang, T., & Yi, J. (2022). High photocatalytic performance of copper-doped SnO<sub>2</sub> nanoparticles in degradation of Rhodamine B dye. *Optical Materials*, 134, 113135. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.113135>
- Aydın Ünal, F. (2025). Synthesis and characterization of the doped/co-doped SnO<sub>2</sub> nanoparticles by the sol–gel method. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 22(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/ijac.14916>
- Aziz, I., & Rustyawan, W. (n.d.). *Sintesis dan Karakterisasi  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari Boehmit dengan Penambahan Asam Anorganik sebagai Penyangga Katalis Hydrotreating*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. [https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/Al2O3\\_Boehmit](https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/Al2O3_Boehmit)
- Dwicahyani, A., Sanjaya, H., & Patriela, M. (2025). Pengaruh Penggunaan Doping Vanadium dan Zat Aditif Diethanolamine (DEA) terhadap Energi Celah Pita SnO<sub>2</sub>. *Journal of Research and Education Chemistry*, 7(1), 59. <https://journal.unp.ac.id/jrec/article/view/59>
- Fardhani, D. A., Haris, A., Suyati, L., & Widodo, D. S. (2022). Sintesis Elektroda Lapis Tipis Sn–ZnO/FTO secara Elektrodeposisi dan Aplikasi pada Degradasi Remazol Black B (RBB). *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, 2(1), 18–24. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/giec/article/view/12877>
- Irsyad, A., & Sanjaya, H. (2025). Pengaruh Variasi Konsentrasi Doping CuO dan Aditif Monoethanolamine (MEA) pada Sintesis Nanopartikel ZnO dan Uji Aktivitas Fotokatalitiknya. *Journal of Research and Education Chemistry*, 7(1), 66. [https://doi.org/10.25299/jrec.2025.vol7\(1\).21195](https://doi.org/10.25299/jrec.2025.vol7(1).21195)

- Khan, D., Rehman, A., Rafiq, M. Z., Khan, A. M., & Ali, M. (2021). Improving the optical properties of SnO<sub>2</sub> nanoparticles through Ni doping by sol-gel technique. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100079>
- Köse, H., Karaal, Ş., Aydın, A. O., & Akbulut, H. (2015). Structural properties of size-controlled SnO<sub>2</sub> nanopowders produced by sol-gel method. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 38, 404–412. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.03.028>
- Kumar, A., Kumar, N., Chitkara, M., & Dhillon, G. (2022). Physicochemical investigations of structurally enriched Sm<sup>3+</sup> substituted SnO<sub>2</sub> nanocrystals. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(8), 5283–5296. <https://doi.org/10.1007/s10854-022-07716-w>
- Mishra, A., Malik, R., Hachiya, T., Jürgenson, T., Namba, S., Posner, D. C., Kamanu, F. K., Koido, M., Le Grand, Q., & Shi, M. (2022). Stroke genetics informs drug discovery and risk prediction across ancestries. *Nature*, 611(7934), 115–123. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05317-4>
- Mishra, M., Desul, S., Santos, C. A. G., Mishra, S. K., Kamal, A. H. M., Goswami, S., Kalumba, A. M., Biswal, R., da Silva, R. M., & Dos Santos, C. A. C. (2024). A bibliometric analysis of sustainable development goals (SDGs): A review of progress, challenges, and opportunities. *Environment, Development and Sustainability*, 26(5), 11101–11143. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03215-0>
- Mishra, P. K., Biswal, S. K., & Sahu, D. (2022). Synthesis and photocatalytic activity of Ni doped SnO<sub>2</sub> nanoparticles for removal of toxic industrial dyes. *Materials Today: Proceedings*, 68, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.104>
- Negara, S. P. J., Kartika, A. E., Ansyarif, A. R., Mardiyanti, R., Yusaerah, N., Hayatun, A., & Irmawan, M. (2025). *Pengenalan Nanoteknologi dalam Ilmu Kimia*. Penerbit NEM.
- Nihad, N., Farh, H., Djebbari, N., & Laib Dit Leksir, Y. (2025). Effect of cobalt on the structural, morphological, optical, and electrical properties of SnO<sub>2</sub> thin films prepared by dip coating technique. *Main Group Chemistry*, 24(4), 195–207. <https://doi.org/10.1177/10241221251326182>
- Ningsih, S. K. W., Nizar, U. K., Bahrizal, B., & Nasra, E. (2021). Sintesis Mg<sup>2+</sup> Doped ZnO dengan Penambahan Albumen Ayam Ras Menggunakan Gabungan Metode Sol-Gel dan Sonokimia. *Jurnal Riset Kimia*, 12(1), 27–35. <https://doi.org/10.25077/jrk.12.1.27-35.2021>
- Sanjaya, H. (2018). Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO<sub>2</sub> secara Fotosonolisis. *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 19(1), 91–99. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss1/131>
- Setyawan, H. P., & Suryani, O. (2024). Modified Titanium Oxide with Metal Doping as Photocatalyst in Photochemical Water Splitting. *Sains Natural: Journal of Biology and Chemistry*, 14(1), 1–12. <https://ejournal.uin-malang.ac.id/index.php/sainsnatural/article/view/1412> [Access restricted]
- Sujatmiko, F. (2020). *Biosintesis Komposit Grafena Oksida Tereduksi/SnO<sub>2</sub> Menggunakan Ekstrak Daun Matoa (Pometia pinnata) untuk Degradasi Fotokatalitik Biru Metilena*. Universitas Islam Indonesia. <https://dspace.uii.ac.id/123456789/23798>
- Yulfitrianti, M., Sanjaya, H., & Budiman, S. (2023). Pengaruh Aditif Monoethanolamine (MEA) terhadap Struktur Kristal Copper Tin Oxide. *Asian Journal of Science, Technology, Engineering, and Art*, 1(2), 295–304. <https://doi.org/10.58578/ajstea.v1i2.2046>