MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

**Terindeks**: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i4.6737

# PENGARUH *CETYLTRIMETHYLAMMONIUM BROMIDE* PADA NILAI *BANDGAP* SEMIKONDUKTOR *$TiO_2$-ZnO*

# Effect of Cetyltrimethylammonium Bromide on the Bandgap Value of $TiO_2$-ZnO Semiconductor

**Olga Tiara Rizki & Hary Sanjaya**
Universitas Negeri Padang
Olgatiara01@gmail.com; hary.s@fmipa.unp.ac.id

**Article Info:**

| Submitted: | Revised: | Accepted: | Published: |
|---|---|---|---|
| Jun 6, 2025 | Jul 1, 2025 | Jul 13, 2025 | Jul 18, 2025 |

## Abstract

This study aims to investigate the effect of adding the surfactant Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) on the bandgap energy of the $TiO_2$-ZnO semiconductor material. The material was synthesized using the sol-gel method and characterized by UV-Vis diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis DRS). Variations in CTAB concentration (0.015–0.035 grams) were introduced to evaluate changes in the material's optical properties. The results show that CTAB addition up to 0.025 grams reduced the bandgap energy from 3.225 eV to 3.004 eV. This decrease is attributed to the formation of structural defects such as oxygen vacancies and reduced particle size, which introduce additional energy states within the bandgap. However, further addition of CTAB beyond 0.025 grams led to an increase in bandgap energy, likely due to particle agglomeration and structural disruptions. These findings indicate that CTAB not only acts as a surfactant but also plays a role in tuning the structure and optical properties of $TiO_2$-ZnO. Therefore, optimizing CTAB concentration is crucial for enhancing the material's performance in photocatalytic and solar cell applications.

**Keywords:** $TiO_2$-ZnO; CTAB; Bandgap; Sol-Gel; UV-Vis DRS


Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan surfaktan *Cetyltrimethylammonium Bromide* (CTAB) terhadap nilai energi celah pita (*bandgap*) pada material semikonduktor $TiO_2$-ZnO. Material disintesis menggunakan metode *sol-gel* dan dikarakterisasi menggunakan spektroskopi UV-Vis DRS. Variasi konsentrasi CTAB (0,015–0,035 gram) ditambahkan untuk mengevaluasi perubahan sifat optik material. Hasil menunjukkan bahwa penambahan CTAB hingga 0,025 gram menurunkan nilai *bandgap* dari 3,225 eV menjadi 3,004 eV. Penurunan ini dikaitkan dengan terbentuknya cacat struktur seperti *oxygen vacancies* serta ukuran partikel yang lebih kecil, yang menghasilkan tingkat energi tambahan di dalam *bandgap*. Namun, penambahan CTAB melebihi 0,025 gram justru menyebabkan peningkatan kembali nilai *bandgap* akibat aglomerasi partikel dan gangguan pada struktur material. Temuan ini menunjukkan bahwa CTAB tidak hanya berfungsi sebagai surfaktan, tetapi juga berperan dalam pengaturan struktur dan sifat optik $TiO_2$-ZnO. Oleh karena itu, optimasi konsentrasi CTAB menjadi faktor penting untuk meningkatkan performa material dalam aplikasi fotokatalis dan sel surya.

**Kata Kunci**: $TiO_2$-ZnO; CTAB; Bandgap; *Sol-Gel*; UV-Vis DRS

## PENDAHULUAN

Semikonduktor adalah bahan yang tingkat kemampuan hantaran listriknya berada di antara isolator dan konduktor. Hal yang paling membedakan semikonduktor dengan jenis material lain adalah nilai bandgap-nya, yaitu perbedaan energi antara pita valensi dan pita konduksi. Besarnya bandgap ini menentukan seberapa besar energi yang diperlukan oleh elektron agar dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Biasanya, bandgap semikonduktor berada pada kisaran 0 hingga 4 eV. Sementara itu, isolator memiliki bandgap lebih dari 4 eV, dan konduktor memiliki bandgap sangat kecil, kurang dari 0,5 eV. Semikonduktor ini sangat berperan penting dalam teknologi seperti fotokatalis dan sel surya (B. Wang et al., 2021).

Titanium dioksida ($TiO_2$) yang merupakan semikonduktor sering dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi dengan band gap 3,2 eV (Fitriya et al., 2017). $TiO_2$ juga merupakan semikonduktor tipe-n (pembawa muatan negatif) digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sel surya, fotokatalis, sensor biologi dan kimia. Keunggulan $TiO_2$ adalah tidak beracun, biokompatibel, tersedia banyak dan relatif murah untuk diproduksi. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan sifat dari $TiO_2$ maka perlu dilakukan pendopingan dan penambahan surfaktan (Agus & Wibowo, 2017).

Doping merupakan proses penambahan atom-atom asing ke dalam semikonduktor, doping dapat memberikan pengaruh terhadap konduktivitas bahan semikonduktor. Seng

oksida (ZnO) sering dipilih sebagai dopan karena memiliki lebar pita energi yang mirip dengan $TiO_2$ dan mampu menyerap sinar matahari. Penambahan ZnO ini bertujuan untuk mengurangi proses rekombinasi elektron dan hole pada $TiO_2$ sehingga aktivitas fotokatalitiknya menjadi lebih baik (Mozaffari et al., 2015). Untuk memaksimalkan kinerja $TiO_2$ sebagai semikonduktor dilakukan penambahan surfaktan Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) pada semikonduktor dapat menurunkan tegangan permukaan dan antarmuka, meningkatkan stabilitas dispersi partikel, serta memungkinkan pengendalian berbagai tipe pembentukan emulsi (Ekadenti, 2023).

Berdasarkan penelitian (Putri & Hardeli, 2024) Bandgap $TiO_2$-ZnO diketahui sebesar 3,2 eV, namun setelah ditambahkan surfaktan CTAB, nilai *bandgap* menurun menjadi 3,0 eV. Penurunan ini terjadi karena CTAB memengaruhi struktur fisik dan kimia dari permukaan dan susunan kristal $TiO_2$. Interaksi antara CTAB dan permukaan $TiO_2$ serta perubahan pada struktur mikro material menyebabkan munculnya tingkat energi baru di dalam celah pita. Selain itu, kandungan bromida dalam CTAB juga berperan sebagai dopan yang menambahkan tingkat energi tambahan pada *bandgap* (Fernández & Rodríguez-Páez, 2019). Selain itu, CTAB juga membantu mengontrol ukuran partikel selama proses sintesis $TiO_2$, yang dapat memunculkan efek *quantum size* dan turut berkontribusi dalam menurunkan nilai *bandgap* (Putri & Hardeli, 2024).

Metode yang digunakan pada penelitian ini, yaitu metode sol-gel, yang mana metode sol-gel sendiri merupakan Metode sol-gel merupakan sintesis yang cukup sederhana dan memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah dapat dilakukan pada temperatur rendah, dapat menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi dan kehomogenan yang baik, serta dapat diaplikasikan dalam berbagai kondisi (Pramudita et al., 2025).

Berdasarkan teori diatas perlu dilakukan pengkajian terhadap *bandgap* dari semikonduktor $TiO_2$-ZnO dengan penambahan surfaktan CTAB agar didapatkan *bandgap* yang lebih kecil. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan pengaruh nilai *bandgap* dari penambahan CTAB pada semikonduktor $TiO_2$-ZnO yang dilakukan dengan metode sol-gel dan dikarakterisasi dengan menggunakan Uv-Vis DRS (*Ultraviolet- Diffuse Reflectance Spectroscopy*) sebagai penentuan nilai *bandgap*.

## METODE

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari 2025 sampai Maret 2025 di Laboratorium Penelitian Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. $TiO_2$ sebanyak 0,475gram dan ZnO 0,025gram dicampurkan dalam etanol p.a 4 mL kemudian distirrer dengan kecepatan 300 rpm hingga sol terbentuk dan homogen. Lalu ditambahkan dengan variasi (0,015, 0,020, 0,025, 0,030 dan 0,035) gram CTAB, aduk selama 60 menit hingga terbentuk sol. Selanjutnya disonikasi dengan waktu 60 menit. Setelah itu dilakukan pengeringan sampel menggunakan oven selama 60 menit pada suhu 95ºC. Gel yang terbentuk diklasinasi menggunakan furnace dengan suhu 300ºC selama 1 jam agar menghasilkan powder $TiO_2$-ZnO. Setelah difurnace sampel didinginkan dalam desikator dan selanjutnya digerus dikarakterisasi menggunakan UV-DRS.

## HASIL

Spektrofotometer UV-DRS (UV-Diffuse Reflectance) digunakan untuk menganalisis besar nilai *bandgap* yang dihasilkan dari proses sintesis $TiO_2$-ZnO. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran Spektrofotometer UV-DRS pada panjang gelombang 185-1100 nm. Pada sintesis $TiO_2$-ZnO dilakukan penambahan variasi CTAB sehingga didapatkan nilai *bandgap* optimum, nilai *bandgap* optimum akan digunakan untuk menentukan efisiensi dari variasi kecepatan pengadukan. Pada penelitian ini menggunakan variasi penambahan konsentrasi CTAB sebanyak 0,015gram, 0,020gram, 0,025gram, 0,030gram dan 0,035gram. Nilai *bandgap* dari $TiO_2$-ZnO dapat dihitung menggunakan persamaan kubelka-munk (Sanjaya & Syafitri, 2018). dimana :

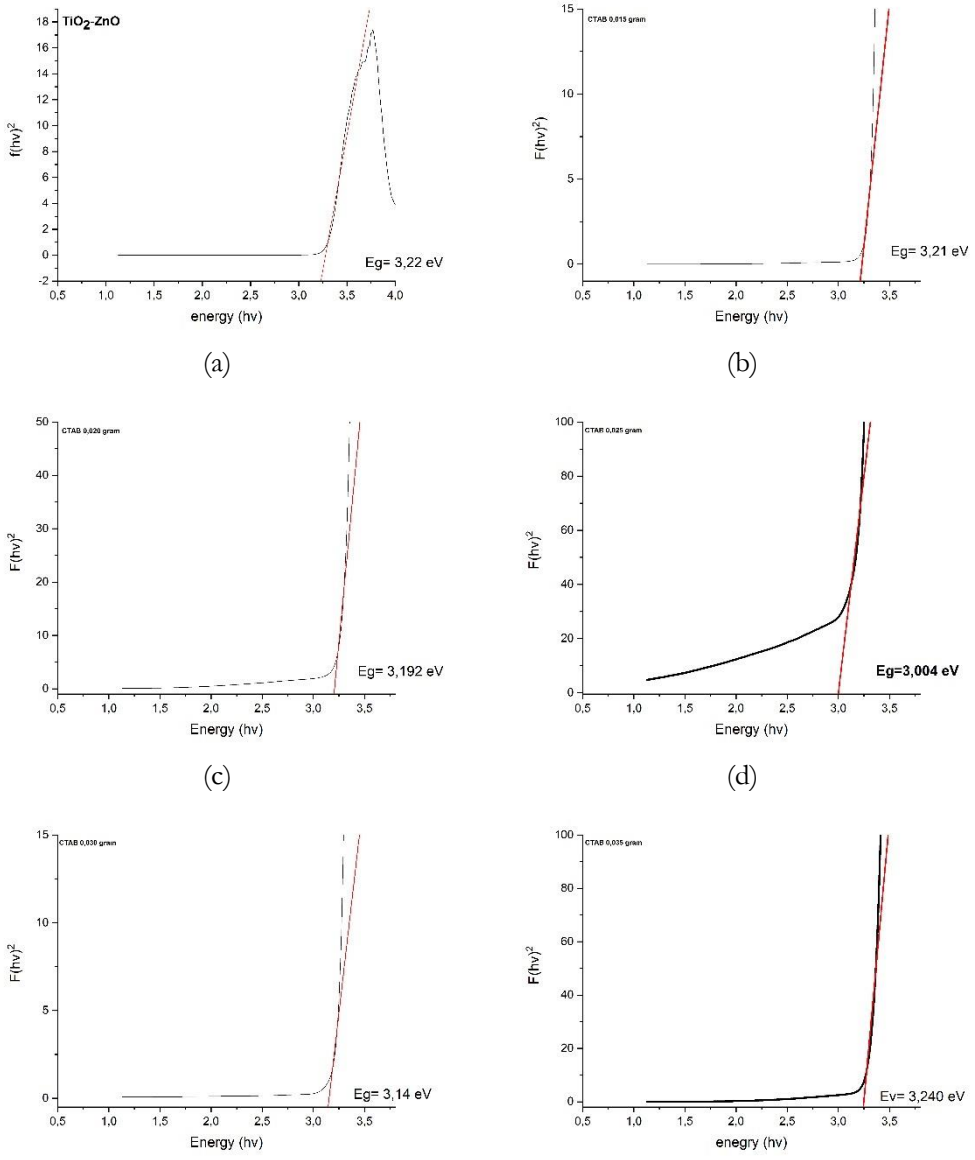
$$Eg = \frac{hc}{\lambda}$$ (Makula et al., 2018)

Berikut merupakan hasil dari pengujian *bandgap* pada TiO2-ZnO dan TiO2-ZnO dengan variasi penambahan surfaktan CTAB dapat dilihat pada tabel 1.

*Tabel 1. Energi bandgap terhadap pengaruh penambahan konsentrasi CTAB.*

| Konsentrasi CTAB | Nilai Bandgap (Eg) |
|---|---|
| $TiO_2$-ZnO tanpa CTAB | 3,225 eV |
| 0,015 gram CTAB | 3,211 eV |
| 0,020 gram CTAB | 3,192 eV |
| 0,025 gram CTAB | 3,004 eV |
| 0,030 gram CATB | 3,144 eV |
| 0,035 gram CATB | 3,240 eV |

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pengaruh penambahan CTAB pada $TiO_2$-ZnO mengalami penurunan nilai *bandgap* pada konsentrasi 0,015 gram hingga 0,025 gram, dibandingkan dengan $TiO_2$-ZnO tanpa CTAB. Berikut adalah grafik $TiO_2$-ZnO dan $TiO_2$-ZnO dengan penambahan CTAB, pengolahan data menggunakan *software* OriginPro dapat dilihat pada Gambar 1.




*Gambar 1. grafik nilai bandgap (a) TiO2-ZnO, (b) Tio2-ZnO/CTAB 0,015, (c) Tio2-ZnO/CTAB 0,020, (d) Tio2-ZnO/CTAB 0,025, (e) Tio2-ZnO/CTAB 0,030, (f) Tio2-ZnO/CTAB 0,035*

Grafik pada gambar diatas menunjukkan kurva serapan UV-DRS yang digunakan untuk menentukan energi *bandgap* (Eg) dari semikonduktor $TiO_2$-ZnO dan $TiO_2$-ZnO yang

ditambah dengan CTAB dalam berbagai konsentrasi. Grafik pertama menunjukkan $TiO_2$-ZnO murni dengan nilai *bandgap* 3,225 eV. Setelah penambahan CTAB, nilai *bandgap* mengalami perubahan. Pada konsentrasi 0,015 sampai 0,025 gram mengalami penurunan signifikan *bandgap* yaitu pada 0,015 gram sebesar 3,211 eV, 0,020 gram sebesar 3,192 eV, dan 0,025 gram sebesar 3,004 eV. Sedangkan pada konsentrasi $TiO_2$-ZnO dengan penambahan 0,030 gram didapatkan nilai *bandgap* yang besar yaitu 3,144 eV, 0,035 gram didapatkan nilai *bandgap* yang lebih besar yaitu 3,240 eV.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1. Diperoleh hasil *bandgap* pengaruh dari penambahan variasi konsentrasi CTAB pada semikonduktor $TiO_2$-ZnO. Nilai *bandgap* dari $TiO_2$-ZnO dengan penambahan CTAB mengalami penurunan pada konsentrasi 0,025 gram, dibandingkan dengan $TiO_2$-ZnO tanpa penambahan CTAB. Hal ini menandakan bahwa dengan penambahan surfaktan CTAB dapat mengecilakan nilai *bandgap* dari $TiO_2$-ZnO. CTAB mengalami dekomposisi dan bertindak sebagai agen pereduksi ringan, hal tersebut menghilangkan sebagian atom oksigen dari $TiO_2$-ZnO serta menciptakan defek berupa oxygen vacancies (Vo). Vo menciptakan tingkat energi baru di dalam celah energi $TiO_2$-ZnO, sehingga elektron tidak perlu menyerap energi besar untuk berpindah. Akibatnya, $TiO_2$-ZnO bisa menyerap cahaya tampak dan *bandgap*-nya terlihat jadi lebih kecil (T. Wang et al., 2017).

Menurut (Ningsih et al., 2021), nilai *bandgap* yang mengalami penurunan dikarenakan adanya interaksi yang terjadi antara pita elektron dengan delokalisasi elektron pada ion transisi yang menyebabkan terbentuknya susbstitusi ion logam (Ningsih et al., 2021).Penurunan nilai *bandgap* menyebabkan jarak antara pita valensi dan pita konduksi menjadi lebih kecil, sehingga elektron dapat tereksitasi dengan lebih cepat. Akibatnya, energi foton yang dibutuhkan untuk mentransisikan elektron dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih rendah (Sanjaya & Syafitri, 2018).

CTAB juga berfungsi menghambat pertumbuhan kristal saat sintesis $TiO_2$-ZnO, sehingga menghasilkan partikel yang lebih kecil. Partikel kecil ini memiliki luas permukaan lebih besar dan lebih banyak cacat struktur seperti oxygen vacancies. Kedua faktor tersebut sangat berpengaruh terhadap karakteristik optik material, khususnya nilai *bandgap*. Ukuran partikel yang kecil dapat menyebabkan efek kuantum, dimana terjadi perubahan tingkat energi akibat terbatasnya ruang gerak elektron. Selain itu, adanya cacat struktur dapat

menciptakan tingkat energi tambahan di dalam *bandgap*, sehingga jalur transisi elektron menjadi lebih mudah. Akibatnya, nilai *bandgap* menjadi lebih rendah dibandingkan material dengan ukuran partikel yang lebih besar atau lebih teratur (Estrada-Flores et al., 2020). Penurunan nilai *bandgap* menyebabkan jarak antara pita valensi dan pita konduksi menjadi lebih kecil, sehingga elektron dapat tereksitasi dengan lebih cepat. Akibatnya, energi foton yang dibutuhkan untuk mentransisikan elektron dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih rendah (Anjelina et al., 2024).

Nilai *bandgap* kembali mengalami kenaikan pada massa CTAB 0,030 gram, hal ini disebabkan jumlah CTAB yang digunakan melebihi jumlah pendoping prekursornya yaitu hanya 0,025 gram. Menurut (Alduraibi et al., 2020)pada konsentrasi rendah hingga sedang, CTAB membantu membentuk struktur yang seragam, meningkatkan luas permukaan, dan bahkan menurunkan *bandgap* karena peningkatan defek. Penambahan CTAB lebih lanjut akan menyebabkan terbentuknya emulsi balik, yang mengakibatkan ukuran kristal yang terbentuk menjadi lebih besar (Fahyuan et al., 2013). CTAB juga dapat menyebabkan aglomerasi partikel, penyumbatan pori, pembentukan lapisan organik berlebih pada permukaan, serta penghalang dalam transfer elektron pada aplikasi fotokatalitik atau DSSC. Dalam beberapa studi, CTAB berlebih juga dilaporkan menurunkan efisiensi sel surya karena mengganggu kontak antarpartikel dan menghambat difusi ion atau cahaya masuk ke material aktif. Oleh karena itu, penggunaan CTAB harus disesuaikan dengan kapasitas, tidak boleh melebihi titik jenuh di mana efeknya tidak lagi sinergis tetapi justru merusak struktur dan kinerja fungsional material (Alduraibi et al., 2020).

## KESIMPULAN

Penambahan CTAB pada material $TiO_2$-ZnO efektif menurunkan nilai *bandgap* hingga konsentrasi optimal 0,025 gram. Efek ini berasal dari terbentuknya *oxygen vacancies* dan ukuran partikel yang lebih kecil, yang menciptakan tingkat energi baru dalam celah pita. CTAB juga membantu mengontrol pertumbuhan kristal, memperluas permukaan aktif, dan meningkatkan sifat optik serta fotokatalitik material. Namun, kelebihan CTAB 0,030 gram berdampak negatif seperti aglomerasi partikel dan hambatan transfer elektron, sehingga *bandgap* meningkat kembali. Karena itu, konsentrasi CTAB harus dioptimalkan agar tidak melebihi titik jenuh. Secara keseluruhan, CTAB tidak hanya berfungsi sebagai surfaktan,

tetapi juga pengatur struktur dan sifat optik $TiO_2$-ZnO untuk mendukung kinerja fotokatalitik dan sel surya (Fahyuan et al., 2013).

## DAFTAR PUSTAKA


Agus, E., & Wibowo, P. (2017). Sintesis Komposit N-TIO 2 /Bentonit dan Karakterisasi Menggunakan FTIR. *Jurnal Teknologi Terpadu* (Vol. 5, Issue 1). https://doi.org/10.32487/jtt.v5i1.218

Alduraibi, M., Hezam, M., Al-Ruhaimi, B., El-Toni, A. M., Algarni, A., Abdel-Rahman, M., Qing, W., & Aldwayyan, A. (2020). Rapid Room-Temperature Synthesis of Mesoporous TiO2 Sub-Microspheres and Their Enhanced Light Harvesting in Dye-Sensitized Solar Cells. *Nanomaterials*, 10(3), 413. https://doi.org/10.3390/nano10030413

Anjelina, V., Sanjaya, H., & Budiman, S. (2024). Pengaruh Penambahan Monoethanolamine (MEA) Sebagai Aditif Dalam Sintesis dan Karakterisasi Lapisan Tipis Tembaga (II) Oksida (CuO). *Jurnal Pendidikan Tambusai*. DOI: 10.31004/jptam.v8i1.13787

Ekadenti, A. (2023). Pengaruh pH Terhadap Sintesis Silika Gel dari Limbah Geotermal dengan Penambahan Cetyltrimethylammonium Bromide (CTAB) untuk Adsorpsi Rhodamine B. *Greensphere: J. Environ. Chem* (Vol. 3, Issue 1). https://doi.org/10.14710/gjec.2023.16160

Fahyuan, H. D., Dahlan, D., & Fisika, A. J. (2013). Pengaruh Konsentrasi CTAB dalam Sintesis Nanopartikel TiO2 untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode Sol Gel. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)* (Vol. 5). https://doi.org/10.25077/jif.5.1.16-23.2013

Fernández, I. E., & Rodríguez-Páez, J. E. (2019). Wet-chemical preparation of TiO2-nanostructures using different solvents: Effect of CTAB concentration and tentative mechanism of particle formation. *Journal of Alloys and Compounds*, *780*, 756–771. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.12.007

Fitriya, H., Handayani, D., & Djoko Lesmono, A. (2017). Pengaruh Lama Perendaman TiO2 dalam Dye Sensitizer Ekstrak Daun Tembakau (Nicotiana tabacum L) Terhadap Efisiensi Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC). *Jurnal Pembelajaran Fisika*. http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/78787

Makuła, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How To Correctly Determine the Band Gap Energy of Modified Semiconductor Photocatalysts Based on UV-Vis Spectra. *Journal of Physical Chemistry Letters* (Vol. 9, Issue 23, pp. 6814–6817). American Chemical Society. https://doi.org/10.1021/acs.jpclett.8b02892

Mozaffari, S. A., Ranjbar, M., Kouhestanian, E., Salar Amoli, H., & Armanmehr, M. H. (2015). An investigation on the effect of electrodeposited nanostructured ZnO on the electron transfer process efficiency of TiO2 based DSSC. *Materials Science in Semiconductor Processing*, *40*, 285–292. https://doi.org/10.1016/j.mssp.2015.06.081

Ningsih, S. K. W., Kalmar Nizar, U., Bahrizal, B., Nasra, E., & Fatimah Mutiara R, S. (2021). Sintesis Mg2+ 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.v12i1.374

Pramudita, D., Nababan, J., Isaura, A., Ratnalisti, P., Simbolon, W., Maya Sylvani, M., Unvaresi Misonia Beladona, S., & Putra, R. (2025). Sintesis dan Karakterisasi XRD dari Nanosilika Menggunakan Metode Sol-gel (Vol. 5, Issue 1). *Jurnal Penelitian UPR: Kaharati*. DOI: 10.52850/jptupr.v5i1.18458

Putri, T. D., & Hardeli, H. (2024). Pengaruh Waktu Perendaman Zat Warna Poli Kuersetin terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Journal of Natural Sciences*, *5*(2), 104–112. https://doi.org/10.34007/jonas.v5i2.609

Sanjaya, H., & Syafitri, R. (2018). Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO2 Secara Fotosonolisis. *Eksata*, 19(1). https://doi.org/10.24036/eksakta/vol19-iss01/131

Wang, B., Biesold, G. M., Zhang, M., & Lin, Z. (2021). Amorphous inorganic semiconductors for the development of solar cell, photoelectrocatalytic and photocatalytic applications. *Chemical Society Reviews* (Vol. 50, Issue 12, pp. 6914–6949). Royal Society of Chemistry. https://doi.org/10.1039/d0cs01134g

Wang, T., Li, W., Xu, D., Wu, X., Cao, L., & Meng, J. (2017). A novel and facile synthesis of black TiO 2 with improved visible-light photocatalytic H 2 generation: Impact of surface modification with CTAB on morphology, structure and property. *Applied Surface Science* (Vol. 426, pp. 325–332). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.07.153