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.v5i5.6878

PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF *DIETHANOLAMINE* (DEA) TERHADAP ENERGI CELAH PITA TiO_2 TERDOPING *ZnO* MENGGUNAKAN METODE *Sol-Gel*

Effect of Diethanolamine (DEA) Additive Addition on the Bandgap Energy of ZnO-Doped TiO_2 Using the Sol-Gel Method

Sri Rara Julianti & Hary Sanjaya
Universitas Negeri Padang
srirarajulianti07@gmail.com; hary.s@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 17, 2025	Jul 11, 2025	Jul 23, 2025	Jul 28, 2025

Abstract

This study aims to evaluate the effect of Diethanolamine (DEA) addition on the band gap energy and crystal structure of TiO_2 semiconductors doped with ZnO using the sol-gel method. DEA functions as a stabilizing agent and particle growth controller to achieve more uniform particle size and distribution. DEA concentrations of 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% were applied. The synthesis process involved mixing TiO_2 and ZnO in ethanol, adding DEA, sonication, drying, and calcination. Characterization was conducted using UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-DRS), employing the Kubelka-Munk approach to determine the band gap values. The results indicate that DEA addition significantly reduced the band gap energy to 3.05 eV at the optimal concentration of 4%, attributed to the formation of structural defects and reduced particle size, which expanded the active surface area and shortened the electron excitation distance. However, at 5% DEA concentration, the band gap increased to 3.14 eV due to particle agglomeration. These findings confirm the crucial role of DEA in controlling the optical properties of TiO_2-ZnO, with a 4% concentration offering optimal performance for photocatalytic and solar cell

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

applications. This study demonstrates that chemical additive manipulation during synthesis is an effective strategy for engineering the electronic properties of semiconductors.

Keywords: TiO_2-ZnO; Diethanolamine (DEA); Band Gap Energy; UV-DRS; Sol-Gel

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan *Diethanolamin* (DEA) terhadap nilai energi celah pita (*band gap*) dan struktur kristal semikonduktor TiO_2 yang terdoping *ZnO* menggunakan metode *sol-gel*. DEA digunakan sebagai agen penstabil dan pengontrol pertumbuhan partikel untuk memperoleh ukuran dan distribusi yang lebih homogen. Variasi konsentrasi DEA yang digunakan adalah 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Proses sintesis melibatkan pencampuran TiO_2 dan *ZnO* dalam etanol, penambahan DEA, sonikasi, pengeringan, dan kalsinasi. Karakterisasi dilakukan menggunakan *UV-Vis Diffuse Reflectance Spectroscopy* (UV-DRS), dengan pendekatan Kubelka-Munk untuk menentukan nilai *band gap*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan DEA secara signifikan menurunkan nilai *band gap* hingga 3,05 eV pada konsentrasi optimum 4%, yang disebabkan oleh terbentuknya cacat struktural dan penurunan ukuran partikel, sehingga memperluas luas permukaan aktif dan memperpendek jarak eksitasi elektron. Namun, pada konsentrasi DEA 5%, nilai *band gap* meningkat menjadi 3,14 eV akibat aglomerasi partikel. Temuan ini menegaskan bahwa DEA berperan penting dalam pengendalian sifat optik TiO_2-*ZnO*, dan konsentrasi 4% memberikan performa terbaik untuk aplikasi fotokatalis dan sel surya. Penelitian ini menunjukkan bahwa manipulasi aditif kimia selama sintesis merupakan strategi efektif dalam merekayasa sifat elektronik semikonduktor.

Kata Kunci: TiO_2-*ZnO*; *Diethanolamin* (DEA); Energi Celah Pita; UV-DRS; *Sol-Gel*

PENDAHULUAN

Semikonduktor secara umum diartikan sebagai bahan yang sifat-sifat kelistrikanya berada di antara konduktor dan isolator. Sifat-sifat kelistrikan pada konduktor maupun isolator tidak mudah dipengaruhi cahaya, temperatur, maupun medan magnet (Nur Iman et al., 2024). sifat-sifat kelistrikan tersebut bergantung pada perilaku elektron dalam menempati pita energi dan struktur dari pita energi. Material semikonduktor memiliki dua tipe material yaitu tipe-p dan tipe-n(Hirbodi et al., 2024). Semikonduktor tipe-p memilki muatan listrik positif karena jumlah elektronya yang dimilkinya lebih sedikit (Bai et al., 2021). Sedangkan tipe-n adalah tipe semikonduktotr yang memilki muatan listrik nrgatif karena memiliki eletron yang lebih banyak (Kishore Kumar et al., 2020). TiO_2 merupakan semikonduktor yang bersifat relative inert, mudah didapatkan dan memilki sifat optik yang baik. Morfologi, ukuran, dan struktur ksital mempengaruhi sifat fisik dan kimia dari TiO_2 (Deswardani, 2013).

TiO_2 memilki tiga struktur kristal yaitu anatase, brokit, dan rutile. Fase anatse merupakan fase yang paling aktif dan stabil diantra ketiganya dalam konfersi energi matahari drengan energi celah pita yaitu 3,2 e (Safriani et al., 2023). Kinerja TiO_2 dalam fotoaktivitasnya nya dapat ditingkatkan dengan pendopingan. ZnO digunakan sebagai dopan karena ZnO dan TiO_2 secara luas digunakan sebagai bahan semikonduktor tipe-n dalam sel surya generasi baru karena jumlahnya yang banyak dan memiliki kestabilan yang tinggi (Hoye et al., 2013). TiO_2 sebagai semikonduktor dinilai kurang efektif karena luas permukaan yang belum cukup dan ukuran partikel yamg tidak seragam. Oleh karena itu diperlukan adanya perlakuan modifikasi menggunakan agen pengontrol struktur pada material tersebut (Widhiyanuriyawan et al., 2020). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk hal tersebut yaitu dalam sintesis TiO_2 ditambahkan Zat Aditif (trijuniardi, 2021). penggunaan bahan aditif sebagai capping agent untuk meningkatkan sifat dan aplikasi semikonduktor nanopartikel, Pada penelitian ini digunakan zat adiitf diethanolamine (DEA). Proses sintesis TiO2 terdoping ZnO denagn penambahan DEA dilakukan menggunakan metode sol-gel (Patriela et al., 2024).

Metode sol gel mrupakan suatu proses reaksi kimia dalam larutan. Proses sol-gel melibatkan konversi sol secara bertahap menjadi jaringan kontinu seperti gel (keadaan gelling/kental) sebelum konversi ke tahap akhir (Sumanth Kumar et al., 2018). Metode sol gel dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yaitu homogenitas tinggi, tingkat kemurnian tinggi, dan suhu yang digunakan relatif rendah. (Kasuma Warda Ningsih et al., 2021)

Berdasarkan teori diatas perlu dilakukan pengkajian terhadap *bandgap* dari semikonduktor TiO_2-ZnO dengan penambahan DEA agar didapatkan *bandgap* yang lebih kecil. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan pengaruh nilai *bandgap* dari penambahan DEA 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

TiO_2 sebanyak 0,475 gram dan ZnO 0,025 gram dicampurkan dalam etanol p.a 4 mL kemudian distirer dengan kecepatan 300 rpm hingga sol terbentuk dan homogen. Lalu ditambahkan DEA dengan variasi volume 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%. diaduk selama 1 jam. Kemudian disonikasi pada larutan selama 30 menit pada 45 W. Setelah didapatkan sol

didiamkan selama 1 x 24 jam untuk menstabilkan sol. Setelah itu oven selama 1 jam pada suhu 85℃. Kemudian dilakukan kalsinasi menggunakan furnace selama 1 jam pada temperatur 350℃. Dinginkan sample dalam desikator. Setelah itu sample di gerus agar untuk selanjutnya di karakterisasi dengan menggunakan instrumen UV-DRS untuk menentukan bandgap (Jelani & Sanjaya, 2022).

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 penelitian ini menggunakan variasi penambahan konsentrasi DEA dengan volume 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%.

Nilai *bandgap* dari TiO_2-ZnO dapat dihitung menggunakan persamaan kubelka-munk (Sanjaya & Syafitri, 2018). dimana :

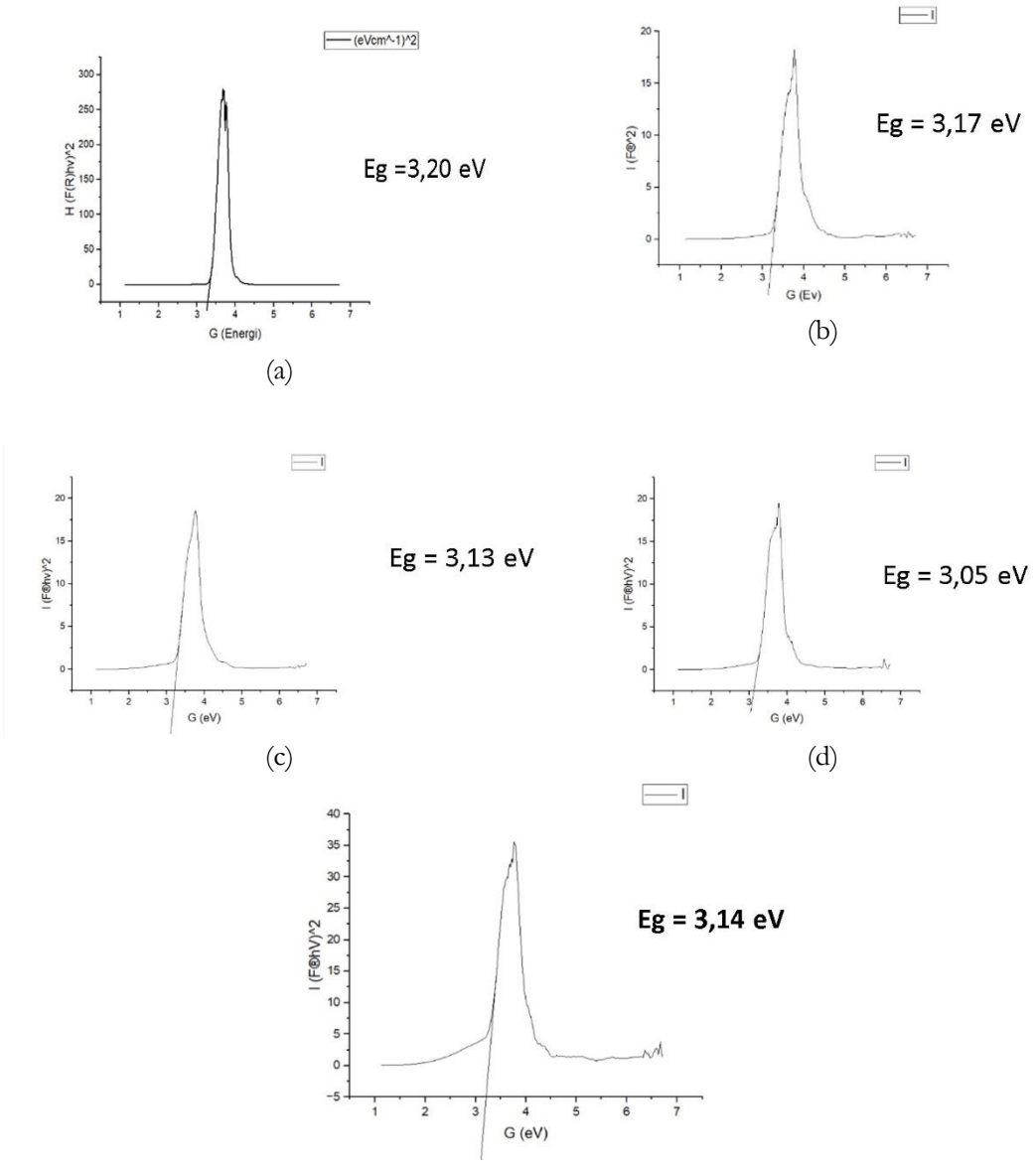
$$Eg = \frac{hc}{\lambda}$$ (Makula et al., 2018)

Hasil karakterisasi UV-DRS untuk mengetahui informasi berupa lebar celah pita (band gap). Energi celah pita dapat diperoleh dengan mengubah besaran %R ke dalam faktor Kubelka-Munk (F(R)) (Sabeni et al., 2021.)

Tabel 1. Energi bangap terhadap pengaruh konsentrasi DEA

NO	Sample	Bang Gap (eV)
1	TiO_2 + 1% DEA	3,20 eV
2	TiO_2 + 2% DEA	3,17 eV
3	TiO_2 + 3% DEA	3,13 eV
4	TiO_2 + 4% DEA	3,05 eV
5	TiO_2 + 5% DEA	3,14 eV

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pengaruh penambahan DEA pada TiO_2-ZnO mengalami penurunan nilai *bandgap* pada konsentrasi 1% gram hingga 4%, dan mengalami kenaikan pada konsentrasi DEA 5%.. Berikut adalah grafik TiO_2-ZnO dengan penambahan DEA, pengolahan data menggunakan *software* OriginPro dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Grafik nilai bandgap (a) TiO_2-ZnO/DEA 1%, (b) TiO_2-ZnO/DEA 2%, (C TiO_2-ZnO/DEA 3%, (d) TiO_2-ZnO/DEA 4%, (e) TiO_2-ZnO/DEA 5%

Grafik pada gambar diatas menunjukkan kurva serapan UV-DRS yang digunakan untuk menentukan energi *bandgap* (Eg) dari semikonduktor TiO_2-ZnO yang ditambah dengan DEA dalam berbagai konsentrasi. Dari Grafik terjadi penurunan bandgap setiap penambahan DEA, TiO_2-ZnO/DEA 1% dengan bandgap sebesar 3,2 eV, lalu menmgalami penurunan yang sigmifikan banggap yaitu pada TiO_2-ZnO/DEA 2% sebesar 3,17 eV, TiO_2-ZnO/DEA 3% sebesar 3,13 eV, TiO_2-ZnO/DEA 4% sebesar 3,05 eV. sedangkan pada TiO_2-ZnO/DEA 5% terjadi kenaikan yaitu sebesar 3,14 eV.

PEMBAHASAN.

Berdasarkan Tabel 1. Diperoleh hasil *bandgap* pengaruh dari penambahan variasi konsentrasi DEA pada semikonduktor TiO_2-ZnO. Nilai *bandgap* dari TiO_2-ZnO dengan penambahan DEA mengalami penurunan yang signifikan hingga pada konsentrasi DEA 5% bandgap sebesar 3,05 eV. Hal ini menandakan bahwa dengan penambahan DEA dapat mengecilakan nilai *bandgap* dari TiO_2-ZnO, DEA mengalami dekomposisi dan bertindak sebagai agen pereduksi ringan, hal tersebut menghilangkan sebagian atom oksigen dari TiO_2-ZnO serta menciptakan efek 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).

Pada sampel TiO_2 yang didoping ZnO, ZnO yang memiliki dua elektron valensi berinteraksi dengan TiO_2 yang memiliki empat elektron valensi, sehingga menimbulkan kelebihan dua hole. TiO_2 terdiri dari ion Ti^{4+} dan O^{2-}, sedangkan ZnO terdiri atas Zn^{2+} dan O^{2-}. Reaksi kimia yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut :

$Ti^{+4}O_2^{2-} + 2Zn^{+2}O^{-2} \longrightarrow Zn^{2+}2Ti^{+4}O_4^{-2}$ (Deswardani, 2013)

Berdasarkan reaksi tersebut, dapat diketahui bahwa ion Ti^{4+} akan berikatan dengan ion O^{2-} pada sampel. Dalam penelitian ini, digunakan zat aditif Dietanolamin (DEA) yang berperan sebagai agen penstabil serta membantu mencampurkan bahan secara merata. DEA menjaga kestabilan ion-ion logam dalam bentuk kompleks yang stabil (Dwicahyani et al., n.d.2025).

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).

Nilai *bandgap* kembali mengalami kenaikan pada konsentrasi DEA 5% yaitu sebesar 3,12 eV, hal ini disebabkan konsentrasi DEA karena mempengaruhi permukaan terjadinya aglomerasi sehingga memperbesar luas permukaan sehingga meningkatkan nilai bandgap.

(Alduraibi et al., 2020). Pada material semikonduktor, pita valensi dan pita konduksi dipisahkan oleh celah energi (band gap) (Triwardiati & Ermawati, 2018). Besarnya band gap sangat mempengaruhi tingkat efisiensi dalam mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Semakin lebar band gap, maka semakin besar pula energi foton yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron (Cao et al., 2024).

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan aditif Dietanolamin (DEA) pada TiO_2- ZnO berpengaruh terhadap perubahan nilai energi celah pita (band gap). Hasil karakterisasi menggunakan UV-DRS menunjukkan bahwa variasi konsentrasi DEA memberikan efek signifikan terhadap penurunan band gap, dengan nilai terendah sebesar 3,05 eV tercapai pada penambahan DEA sebesar 4%.. 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 pada penambahan DEA 5% terjadi kenaikan nilai bandgap dikarenakan terjadinya aglomerasi sehingga memperkecil luas permukaan dan memperbesar nilai bandgap.

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

Bai, N., Liu, X., Li, Z., Ke, X., Zhang, K., & Wu, Q. (2021). High-efficiency TiO2/ZnO nanocomposites photocatalysts by sol–gel and hydrothermal methods. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, *99*(1), 92–100. https://doi.org/10.1007/s10971-021-05552-8

Hirbodi, S., Jamekhorshid, A., Jalali, T., Mohammadian, J., & Osfouri, S. (2024). Enhanced efficiency, electron lifetime, and eco-friendliness of dye-sensitized solar cells using nanofibrous TiO2/ZnO composite photoanodes and natural anthocyanin sensitizer. *Results in Surfaces and Interfaces*, *17*(October). https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2024.100339

Jelani, A. R., & Sanjaya, H. (2022). Degradasi Zat Warna Metil Violet Menggunakan Metoda Sonolisis Dengan Katalis ZnO-Ag. *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, *11*(3), 75. https://doi.org/10.24036/p.v11i3.116210

Kishore Kumar, D., Kříž, J., Bennett, N., Chen, B., Upadhayaya, H., Reddy, K. R., & Sadhu, V. (2020). Functionalized metal oxide nanoparticles for efficient dye-sensitized solar cells (DSSCs): A review. *Materials Science for Energy Technologies*, *3*, 472–481. https://doi.org/10.1016/j.mset.2020.03.003

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

Nur Iman, R., Younas, M., Harrabi, K., & Mekki, A. (2024). A comprehensive review on advancements and optimization strategies in dye-sensitized solar cells: Components, characterization, stability and efficiency enhancement. *Inorganic Chemistry Communications*, *165*(March), 112488. https://doi.org/10.1016/j.inoche.2024.112488

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

Widhiyanuriyawan, D., Trihutomo, P., Soeparman, S., & Yuliati, L. (2020). Zwitterion Effect of Cow Brain Protein towards Efficiency Improvement of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Scientific World Journal*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/7910702