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.v5i5.6949

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN ZnO SEBAGAI LAPIS GANDA PADA SEMIKONDUKTOR TiO_2-ZnO TERHADAP NILAI EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*

Effect of ZnO Stirring Speed as a Double Layer on TiO_2-ZnO Semiconductor Efficiency in Dye-Sensitized Solar Cells

Dihan Kurnia Saputra, Sherly Kasuma Warda Ningsih, Hardeli
Universitas Negeri Padang
sherly14@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 22, 2025	Jul 15, 2025	Jul 27, 2025	Aug 1, 2025

Abstract

This study aims to evaluate the efficiency of dye-sensitized solar cells (DSSC) by varying the stirring speed during the synthesis of ZnO as a double layer on the TiO_2-ZnO/SDS (Sodium Dodecyl Sulfate) semiconductor structure. The research is grounded in the importance of optimizing semiconductor structures to enhance solar energy conversion efficiency. The sol-gel method was used to synthesize ZnO at stirring speeds of 300, 600, 900, 1200, and 1500 rpm. DSSC fabrication was conducted using the doctor blade method with poly tannic acid as the dye. The operating principle of DSSC relies on photon absorption by the dye, where excited electrons are injected into the semiconductor. Efficiency measurements were carried out using a multimeter to obtain voltage and resistance values. The results showed that the highest efficiency of 0.174% was achieved at a stirring speed of 1200 rpm. This finding indicates that stirring speed during ZnO synthesis affects the morphology of the semiconductor, thereby influencing the photon-to-energy conversion efficiency of the DSSC. This study contributes to the development of more efficient DSSCs based

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

on double-layer semiconductor structures through the control of synthesis parameters.

Keywords: Semiconductor; ZnO; TiO_2-ZnO; SDS; DSSC

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menguji efisiensi *dye sensitized solar cell* (DSSC) dengan memvariasikan kecepatan pengadukan dalam sintesis ZnO sebagai lapis ganda pada semikonduktor TiO_2-ZnO/SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*). Latar belakang penelitian ini didasarkan pada pentingnya optimalisasi struktur semikonduktor dalam meningkatkan efisiensi konversi energi surya. Metode sol-gel digunakan untuk mensintesis ZnO dengan variasi kecepatan pengadukan 300, 600, 900, 1200, dan 1500 rpm. Fabrication DSSC dilakukan menggunakan metode *doctor blade* dan *poly tannic acid* sebagai *dye*. Prinsip kerja DSSC didasarkan pada absorpsi foton oleh *dye*, di mana elektron yang tereksitasi diinjeksikan ke dalam semikonduktor. Pengukuran efisiensi dilakukan menggunakan multimeter untuk memperoleh nilai tegangan dan hambatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi sebesar 0,174% dicapai pada kecepatan pengadukan 1200 rpm. Temuan ini mengindikasikan bahwa kecepatan pengadukan dalam sintesis ZnO memengaruhi morfologi semikonduktor, yang berdampak pada efisiensi konversi energi foton pada DSSC. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan DSSC berbasis struktur semikonduktor ganda yang lebih efisien melalui pengaturan parameter sintesis.

Kata Kunci: Semikonduktor; ZnO; TiO_2-ZnO; SDS; DSSC.

PENDAHULUAN

DSSC adalah *solar cell* generasi ke-3 dari pengembangan sel surya setelah sel surya silikon. DSSC awalnya ditemukan dan dikembangkan oleh Profesor Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991. DSSC telah menjadi pusat perhatian sebagai perangkat *fotovoltaik* alternatif yang ekonomis sejak dua dekade terakhir (Ahmad et al., 2016). DSSC didasari pada bahan semikonduktor yang disintesis dengan *dye* organik (Nur Iman et al., 2024). Namun untuk memperoleh daya serap foton yang lebih tinggi diperlukan bahan *dye* yang mampu menangkap energi foton dari cahaya matahari yang optimum (Subriadi & Hardeli, 2023) .

Pada aplikasinya efisiensi DSSC juga sangat dipengaruhi oleh fotoaktifitas dan stabilitas fotokatalis dari semikonduktor yang digunakan. Salah satu semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis adalah TiO_2, karena fotoaktivitas dan stabilitasnya yang tinggi. Namun, nilai efektivitas fotokatalitik dari semikonduktor TiO_2 dapat mengalami penurunan jika terjadi rekombinasi *electron hole* saat reaksi berlansung (Fernández & Rodríguez-Páez, 2019). *Electron hole* merupakan lubang positif yang ditinggalkan oleh

elektron. Pada aplikasinya efisiensi DSSC juga sangat dipengaruhi oleh fotoaktifitas dan stabilitas fotokatalis dari semikonduktor yang digunakan. Salah satu semikonduktor yang dapat digunakan sebagai fotokatalis adalah TiO_2, karena fotoaktivitas dan stabilitasnya yang tinggi (Ammar et al., 2019). Namun, nilai efektivitas fotokatalitik dari semikonduktor TiO_2 dapat mengalami penurunan jika terjadi rekombinasi *electron hole* saat reaksi berlangsung. *Electron hole* merupakan lubang positif yang ditinggalkan oleh elektron yang mengalami eksitasi ke pita konduksi. Jika foton dengan energi yang lebih tinggi dari energi gap TiO_2 yaitu sebesar 3,2 eV, maka elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi dan akan menghasilkan *hole* (lubang) pada pita valensi. Upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya rekombinasi ini salah satunya yaitu dengan cara memodifikasi lapisan semikonduktor TiO_2 yaitu dengan pendopingan (Hoye et al., 2013).

Doping adalah proses penambahan dopan ke dalam material semikonduktor untuk memodifikasi karakteristik elektroniknya dan meningkatkan aktivitas material tersebut di bawah cahaya tampak (400-800 nm) (Aini & Ningsih, 2018). Doping dapat menurunkan lebar celah pita (*bandgap*), sehingga energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi menjadi lebih kecil (Putri & Hardeli, 2023). Pada penelitian ini, senyawa ZnO digunakan sebagai dopan karena memiliki kestabilan termal yang tinggi (Fatiatun, 2015). ZnO adalah oksida yang paling sering digunakan untuk mendoping TiO_2 karena memiliki nilai *bandgap* yang hampir sama, yakni sekitar 3,37 eV (Umayya & Hardeli, 2023). Terbentuknya pita energi baru dari ZnO dalam celah pita dapat meningkatkan konduktivitas elektron dengan cara menurunkan energi eksitasi yang diperlukan untuk mentransfer elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Wołowicz & Staszak, 2020).

Selain dengan pendopingan untuk meningkat kinerja TiO_2, metode lain yang dapat digunakan yaitu rekayasa lapisan fotoanoda. Rekayasa lapisan fotoanoda dilakukan dengan semikonduktor TiO_2 yang ditambahkan lapisan semikonduktor ZnO sebagai fotoanoda lapis ganda (Arifin dkk., 2021). Lapisan TiO_2 berfungsi sebagai perangkap foton karena memiliki luas permukaan yang besar. Selain itu, ZnO berfungsi untuk memperpanjang jalur cahaya, pembatasan cahaya dan menghambat terjadinya rekombinan pada TiO_2. Rekayasa fotoanoda lapis ganda dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja DSSC yang juga sebanding dengan nilai celah pita sebesar 2,5 – 3 eV. Fotoanoda lapis ganda yang disusun membentuk *sandwich* dapat memperkuat ikatan semikonduktor dengan substrat (sifat adhesif) (Ullah dkk., 2021).

Penelitian ini difokuskan untuk melihat pengaruh kecepatan pengadukan pada sintesis ZnO sebagai lapis ganda. Hal ini dirasa penting karena kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap ukuran partikel semikonduktor. Semakin kecil ukuran suatu semikonduktor maka semakin besar luas permukaan yang dihasilkan, sehingga *dye* yang terabsorbsi pada semikonduktor semakin banyak dan memperbesar konversi energi foton menjadi listrik. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk meneliti pengaruh kecepatan pengadukan pada sintesis semikonduktor ZnO sebagai fotoanoda lapis ganda. Pada penelitian ini digunakan metode *doctor blade* untuk fabrikasi DSSC dan larutan *dyes* poli- asam tanat sebagai zat pewarna.

METODE

1. Preparasi Zat Warna

Menimbang tanat 2,5 gram kemudian dimasukkan kedalam labu refluks 500 ml yang berisi campuran 25 ml (36% HCL dan 37% HCHO) kemudian campuran tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan suhu 200ºC selama 2 jam. Kemudian campuran tersebut disaring dengan kertas saring dan dicuci dengan *aquadest* dan hasil saringan di oven selama 1 jam pada suhu 80ºC. Langkah selanjutnya 0,25 gram tanin-formaldehid dilarutkan didalam 25 ml larutan NaOH 2% diaduk dengan *magnetic stirrer* dan dipanaskan sampai suhu 60-70℃ terus menerus kemudian ditambahkan 2,5 ml agen pengikat silang *Glutaraldehyde* dan suhu pemanasan dinaikkan hingga suhu 100ºC lalu diaduk selama 1 jam. Resin yang didapatkan didinginkan pada suhu kamar (Alhumaimess et al., 2019).

2. Preparasi Kaca ITO

Kaca ITO dipotong dengan ukuran 1 cm x 0,5 cm, kemudian bagian sisi kaca diamplas sampai halus. Kaca ITO dimasukkan ke dalam gelas kimia 200 mL yang berisikan alkohol 70% kemudian masukkan ke *ultrasonic cleaner*. Pada *ultrasonic cleaner* setting waktu 60 menit untuk proses pembersihan. *Ultrasonic cleaner* berfungsi untuk menghilangkan material yang tidak dapat dihilangkan dengan air (MUHARAM et al., 2019).

3. Preparasi Pasta TiO_2/ZnO

Sebanyak 0,475 gram TiO_2 dan 0,025 gram ZnO dicampur dalam 4 mL etanol p.a, kemudian diaduk menggunakan *stirrer* dengan kecepatan 300 Rpm hingga membentuk sol

yang homogen. Setelah itu, ditambahkan SDS 0,025 gram dan diaduk selama 60 menit. Campuran tersebut disonikasi selama 60 menit untuk memastikan homogenitas.

4. Preparasi Pasta ZnO

0,025 gram ZnO dicampur dalam 4 mL etanol p.a, kemudian diaduk menggunakan stirrer dengan kecepatan 300,600,900,1200,1500 Rpm hingga membentuk sol yang homogen. Setelah itu, ditambahkan SDS 0,025 gram dan diaduk selama 60 menit. Campuran tersebut disonikasi selama 60 menit untuk memastikan homogenitas.

5. Pelapisan TiO_2/ZnO pada Kaca ITO

Kaca ITO dibentuk area dengan *scoth tape* dengan ukuran 0,5 cm x 0,5 cm. Kemudian kaca dilapisi pasta TiO_2/ZnO Diratakan menggunakan metode *doctor blade*. Selanjutnya dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 100℃ selama 30 menit. Pasta ZnO dilapisi diatas kaca ITO dengan menggunakan metode *doctor blade* dan diperlakukan sama dengan TiO_2/ZnO (Kishore Kumar et al., 2020).

6. Preparasi Elektrolit

Tahap ini dimulai dengan menyiapkan 0,498 gram KI dan 0,076 gram I_2 dalam 6 ml asetonitril dalam dua gelas kimia yang berbeda. Larutan KI dan I_2 dicampur sambil diaduk hingga membentuk homogen lalu ditambahkan 2,4 gram PEG sambil diaduk sampai membentuk gel (Damayanti et al., 2014).

7. Preparasi *Counter* Elektroda

Counter Elektroda yang dipreparasi dengan cara melapisi kaca ITO dengan karbon. Sumber karbon yang digunakan dari diperoleh dari asap pembakaran lilin. Proses melapisi karbon pada kaca ITO ialah dengan memanaskan bagian konduktif dari kaca ITO tersebut dengan lilin hingga terbentuk lapisan berwarna hitam. Bagian pinggir kaca ITO dirapikan menggunakan *cutton bud*. Lapisan karbon dibentuk sesuai dengan ukuran 0,5 cm x 0,5 cm (Chadijah et al., 2017).

8. Perakitan *Dye sensitized solar cell*

Kaca ITO yang berkurang 1 cm x 0,5 cm kita buat area untuk tempat TiO_2/ZnO dideposisikan dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 0,5 x 0,5 cm. Pasta TiO_2/ZnO terlebih dahulu dideposisikan lalu kemudian pasta ZnO dideposisikan dipermukaan kaca ITO yang telah diberi *Scotch tape* menggunakan metode

doctor blade, kemudian dikeringkan diatas *hot plate* dengan suhu 60ºC. Lapisan direndam dalam larutan zat warna selama 30 menit pada proses ini terjadi adsorbsi zat warna ke permukaan TiO_2/ZnO. Kaca dengan elektroda lawan diletakkan di atas lapisan TiO_2/ZnO sehingga membentuk struktur *sandwich* dan dijepit dengan klip pada kedua sisi. Elektrolit cair diteteskan pada ruang diantara kedua elektroda (Çakar & Özacar, 2017).

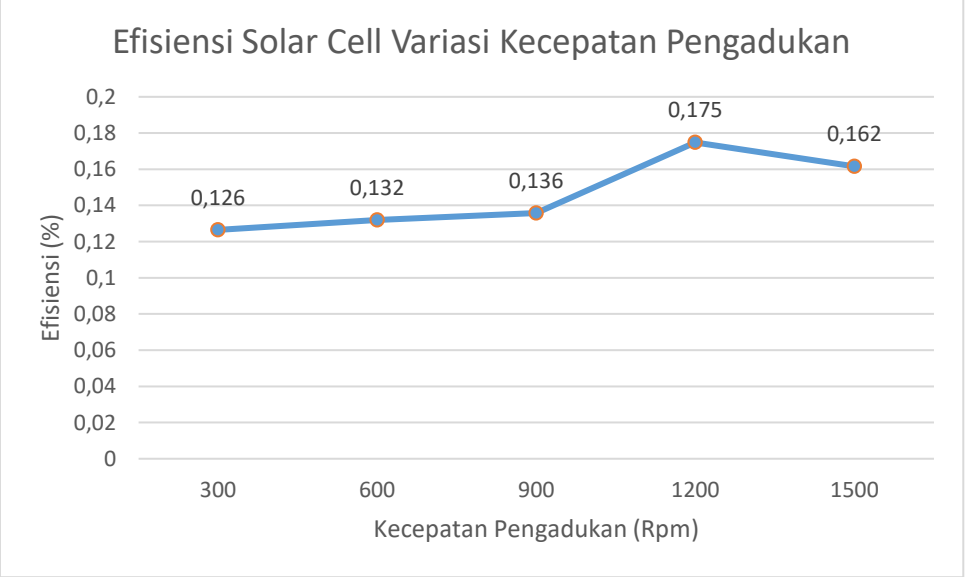
9.Pengujian Arus Listrik Sel Surya

Multimeter digital digunakan untuk menguji DSSC yang siap dirangkai pada arus dan tegangan yang diukur dari sel surya. Cahaya yang digunakan dapat berasal dari cahaya lampu UV dan cahaya matahari langsung. Sumber cahaya pada penelitian ini yaitu menggunakan cahaya dari lampu UV dengan daya 20 watt/m^2. Nilai arus dan tegangan diukur oleh multimeter, maka nilai efisiensi sel surya yang telah dirangkai dapat dihitung (Omar et al., 2020).

HASIL

Untuk menentukan efisiensi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) maka dilakukan uji menggunakan multimeter . Pengukuran efisiensi DSSC bertujuan untuk melihat pengaruh variasi kecepatan pengadukan sintesis ZnO sebagai lapis ganda fotoanoda dalam mengkonversi energi foton menjadi listrik.

Pada perhitungan efisiensi DSSC variasi kecepatan pengadukan dilakukan dengan menggunakan 5 variasi kecepatan yaitu 300, 600, 900, 1200, dan 1500 Rpm Untuk hasil penelitian dapat dilihat dari Gambar 1 dan Tabel 1 dibawah ini:



Gambar 1. Grafik efisiensi solar cell variasi kecepatan pengadukan

Tabel 1. Nilai efisiensi solar cell variasi kecepatan pengadukan

Kecepatan Pengadukan	Vmax (V)	R (Ω)	Imax (mA/cm2)	FF	P.max (mW/cm2)	P.in (W/cm2)	η (%)
300	0,242	286	0,846 x 10-3	0,133	0,205 x 10-4	0,1619	0,126
600	0,226	239	0,946 x 10-3	0,138	0,214 x 10-4	0,1619	0,131
900	0,233	247	0,943 x 10-3	0,142	0,22 x 10-4	0,1619	0,135
1200	0,254	228	1,11 x 10-3	0,183	0,283 x 10-4	0,1619	0,174
1500	0.236	213	1,10 x 10-3	0,169	0,261 x 10-4	0,1619	0,161

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan sintesis ZnO sebagai lapis ganda mengalami kenaikan efisiensi yang signifikan pada kecepatan 300 Rpm dengan efisiesi 0,126 %, kecepatan 600 Rpm sebesar 0,132 %, kecepatan 900 Rpm sebesar 0,136% dan kecepatan 1200 Rpm 0,175 %. Lalu pada kecepatan 1500 Rpm mengalami penurunan efisiensi sebesar 0,162 %.

PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh hasil efisiensi dari pengaruh kecepatan pengadukan ZnO sebagai lapis ganda fotoanoda. Nilai efisiensi mengalami kenaikan yang signifikan dari kecepatan 300 Rpm sampai 1200 Rpm yaitu 0,126%, 0,132%, 0,136%, 0,175%. Hal ini menandakan bahwa kecepatan pengadukan sangat berpengaruh pada efisiensi DSSC yang

dihasilkan Hal ini dikarenakan kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap ukuran partikel semikonduktor yang dihasilkan.

Efisiensi terendah yang dihasilkan dengan variasi kecepatan pengadukan ZnO sebagai lapis ganda yaitu pada 300 Rpm, hal ini dikarenakan kecepatan yang terlalu lambat sehingga ZnO tidak terlarut sempurna sehingga tumbukan yang terjadi antara partikel-partikel semakin sedikit lalu membuat ukuran partikel yang dihasilkan sangat besar dan tidak seragam. Ukuran partikel yang besar akan menghasilkan luas permukaan yang kecil sehingga *dye* yang teradsorbsi sedikit dan efisiensi yang dihasilkan tidak maksimal (Kurniawan & Sari, 2019) .

Pada kecepatan 1200 Rpm merupakan kecepatan optimum yang didapatkan dimana semikonduktor terlarut sempurna dan tumbukan yang terjadi cepat sehingga dapat menghasilkan ukuran partikel yang kecil dan seragam.Ukuran partikel yang kecil dan seragam akan menghasilkan efisiensi yang tinggi. Hal ini disebatkan luas permukaan semakin besar dan tidak terdapat penumpukan partikel yang mengganggu semikonduktor dalam mentransfer elektron.

Kecepatan 1500 Rpm pada variasi kecepatan pengadukan ZnO sebagai lapis ganda mengalami penurunan yaitu sebesar 0,162%. Hal ini disebabkan kecepatan yang terlalu tinggi membuat tumbukan-tumbukan partikel semakin banyak dan cepat yang menyebabkan agregasi partikel (Amor et al., 2022). Partikel yang menumpuk akan membuat gangguan pada semikonduktor karena pori-pori pada semikonduktor tersumbat lalu cahaya tidak terserap sempurna sehingga efisiensi yang dihasilkan menjadi berkurang (Hosseini et al., 2025).

Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan. Kecepatan 1200 Rpm merupakan kecepatan optimum pada sintesis ZnO sebagai lapis ganda fotoanoda. Kecepatan yang terlalu rendah atau tinggi mempengaruhi ukuran partikel dan kualitas lapisan semikonduktor(Aslam et al., 2020).

KESIMPULAN

Kecepatan pengadukan pada sintesis ZnO sebagai lapis ganda berpengaruh terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan.. Kecepatan pengadukan yang terbaik adalah 1200 rpm dengan efisiensi sebesar 0,175%. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk

menggunakan metode pelapisan yang lebih baik sehingga dapat meningkatkan performa DSSC.

.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, W., Mehmood, U., Al-Ahmed, A., Al-Sulaiman, F. A., Aslam, M. Z., Kamal, M. S., & Shawabkeh, R. A. (2016). Synthesis of zinc oxide/titanium dioxide (ZnO/TiO_2) nanocomposites by wet incipient wetness impregnation method and preparation of ZnO/TiO_2 paste using poly(vinylpyrrolidone) for efficient dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*, *222*, 473–480. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.10.200

Aini, N., & Ningsih, R. (2018). Synthesis of Vanadium (III) Doped Anatase TiO_2 by Solid State Reaction Method. *Alchemy*, *5*(1), 26. https://doi.org/10.18860/al.v5i1.3739

Alhumaimess, M. S., Alsohaimi, I. H., Alqadami, A. A., Khan, M. A., Kamel, M. M., Aldosari, O., Siddiqui, M. R., & Hamedelniel, A. E. (2019). Recyclable glutaraldehyde cross-linked polymeric tannin to sequester hexavalent uranium from aqueous solution. *Journal of Molecular Liquids*, *281*, 29–38. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.02.040

Ammar, A. M., Mohamed, H. S. H., Yousef, M. M. K., Abdel-Hafez, G. M., Hassanien, A. S., & Khalil, A. S. G. (2019). Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) based on extracted natural dyes. *Journal of Nanomaterials*, *2019*. https://doi.org/10.1155/2019/1867271

Amor, F., Baudys, M., Racova, Z., Scheinherrová, L., Ingrisova, L., & Hajek, P. (2022). Contribution of TiO_2 and ZnO nanoparticles to the hydration of Portland cement and photocatalytic properties of High Performance Concrete. *Case Studies in Construction Materials*, *16*(February). https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00965

Aslam, A., Mehmood, U., Arshad, M. H., Ishfaq, A., Zaheer, J., Ul Haq Khan, A., & Sufyan, M. (2020). Dye-sensitized solar cells (DSSCs) as a potential photovoltaic technology for the self-powered internet of things (IoTs) applications. *Solar Energy*, *207*(May), 874–892. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.029

Çakar, S., & Özacar, M. (2017). The effect of iron complexes of quercetin on dye-sensitized solar cell efficiency. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, *346*, 512–522. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2017.07.006

Chadijah, S., Dahlan, D., & Harmadi, H. (2017). Pembuatan Counter Electrode Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, *8*(2), 78–86. https://doi.org/10.25077/jif.8.2.78-86.2016

Damayanti, R., Hardeli, & Sanjaya, H. (2014). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (Ipomea batatas L.). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, *6*(2), 148–157.

Fatiatun. (2015). *Pengaruh Suhu Deposisi Terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering*. 1–114.

Fernández, I. E., & Rodríguez-Páez, J. E. (2019). Wet-chemical preparation of TiO_2-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

Hosseini, M., Moghaddam, L., Barner, L., Cometta, S., Hutmacher, D. W., & Medeiros Savi,

F. (2025). The multifaceted role of tannic acid: From its extraction and structure to antibacterial properties and applications. *Progress in Polymer Science*, *160*, 101908. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2024.101908

Hoye, R. L. Z., Musselman, K. P., & Macmanus-Driscoll, J. L. (2013). Research update: Doping ZnO and TiO_2 for solar cells. *APL Materials*, *1*(6). https://doi.org/10.1063/1.4833475

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

Kurniawan, A., & Sari, R. P. (2019). Pengaruh Penambahan TiO_2 dan ZnO Terhadap Sifat Fisikokimia Cat Alkid Resin. *Jurnal Teknik Kimia*, *8*(1), 1–6.

Muharam, A., Arsyad, W. S., Usman, I., & Hidayat, R. (2019). Fabrikasi Sel Surya Tersensitisasi Dye (Dye Sensitized Solar Cell) Dengan Variasi Lapisan Scattering. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, *8*(02), 13. https://doi.org/10.24198/jmei.v8i2.20261

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

Omar, A., Ali, M. S., & Abd Rahim, N. (2020). Electron transport properties analysis of titanium dioxide dye-sensitized solar cells (TiO_2-DSSCs) based natural dyes using electrochemical impedance spectroscopy concept: A review. *Solar Energy*, *207*(July), 1088–1121. https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.028

Putri, Y. P., & Hardeli, H. (2023). Pengaruh Konsentrasi Monomer Terhadap Pembentukan Poli Kuersetin Sebagai Zat Warna pada Dye Sensitized Solar Cell. *Periodic*, *12*(3), 58. https://doi.org/10.24036/periodic.v12i3.118555

Subriadi, H. P. I., & Hardeli, H. (2023). Peningkatan Efisiensi Poli Tanin Sebagai Dye Pada Dye Sensitized Solar Cell Menggunakan Crosslinker Glutaraldehyde. *REACTOR: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, *4*(1), 1. https://doi.org/10.52759/reactor.v4i1.72

Umayya, D. R., & Hardeli, H. (2023). Peningkatan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Poli Tanin. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, *7*(2), 216–220. https://doi.org/10.30743/cheds.v7i2.8183

Wołowicz, A., & Staszak, K. (2020). Study of surface properties of aqueous solutions of sodium dodecyl sulfate in the presence of hydrochloric acid and heavy metal ions. *Journal of Molecular Liquids*, *299*(November 2019). https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112170