

**PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK BUAH  
DEWANDARU (*Eugenia Uniflora*) SEBAGAI PEWARNA ALAMI  
TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK DAN KINERJA DSSC**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika Bidang Kajian Fisika Material



**Oleh**

**Muhammad Nurul Ikhsan**

**NIM. 2000614**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

**2024**

**PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK BUAH  
DEWANDARU (*Eugenia Uniflora*) SEBAGAI PEWARNA ALAMI  
TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK DAN KINERJA DSSC**

Oleh

Muhammad Nurul Ikhsan

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

Konsentrasi Fisika Material

FPMIPA UPI

© Muhammad Nurul Ikhsan

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2024

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

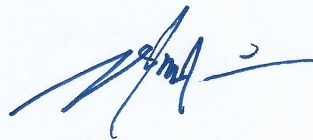
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau Sebagian, dengan dicetak ulang, difotokopi atau cara lainnya tanpa izin penulis

**LEMBAR PENGESAHAN**  
MUHAMMAD NURUL IKHSAN

PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK BUAH  
DEWANDARU (*Eugenia Uniflora*) SEBAGAI PEWARNA ALAMI  
TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK DAN KINERJA DSSC

Disetujui dan disahkan oleh:

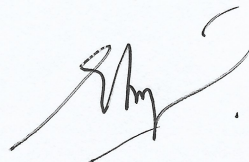
Pembimbing I,



Dr. Dadi Rusdiana, M.Si.

NIP.196810151994031002

Pembimbing II,

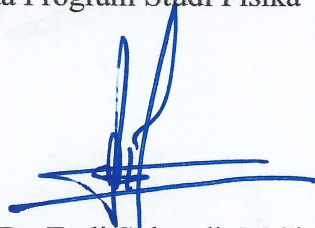


Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T.

NIP.199006262014041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika




Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

### **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK BUAH DEWANDARU (*Eugenia Uniflora*) SEBAGAI PEWARNA ALAMI TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK DAN KINERJA DSSC” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap karya saya ini.

Bandung, 7 Agustus 2024



Muhammad Nurul Ikhsan

NIM. 2000614

## KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, bimbingan dan kasih karunia-NYA yang dilimpahkan kepada penulis, sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK BUAH DEWANDARU (*Eugenia Uniflora*) SEBAGAI PEWARNA ALAMI TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK DAN KINERJA DSSC”.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Sains di Program Studi Fisika Universitas Pendidikan Indonesia. Semoga penelitian ini bermanfaat dan dapat menambah wawasan dan sumbangsih yang berarti bagi ilmu pengetahuan dunia sekarang dan yang akan datang.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik serta saran untuk perbaikan dan penyempurnaan sehingga dapat dijadikan sebagai referensi untuk penyusunan penelitian sejenis.

Akhir kata penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak terkait yang telah turut serta membantu penulis dalam penulisan skripsi ini dan semoga penulisan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca umumnya.

Bandung, 7 Agustus 2024

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penuh penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yaitu kepada:

1. Bapak Dr. Dadi Rusdiana, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberi masukan, arahan, serta bimbingan selama penyusunan skripsi ini
2. Bapak Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memfasilitasi, memberikan arahan, masukan, dukungan, motivasi, dan bimbingan yang tak ternilai selama proses penelitian hingga dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika sekaligus dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan dan dukungan dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
4. Bapak (Alm.) Drs. Waslaluddin, M.T. sebagai dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan dan dukungan dari awal hingga akhir masa perkuliahan.
5. Seluruh Dosen beserta Tenaga pendidikan prodi Fisika yang telah memfasilitasi dan memberikan ilmu selama masa perkuliahan.
6. Ayah Gandhi sugandi dan Ibu Yayan Suryani yang telah mengiringkan doa dan mengantarkan penulis hingga jenjang Pendidikan ini.
7. Sofia sebagai kekasih yang selalu mendukung dan memotivasi selama masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
8. Rekan rekan Sohibul Yuswa yang menemani selama masa perkuliahan.
9. Rekan-rekan Fisika C 2020.

Terima kasih, semoga Allah SWT. membalas kebaikan, do'a, dan melimpahkan keberkahannya untuk semua.

## ABSTRAK

# PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK BUAH DEWANDARU (*Eugenia Uniflora*) SEBAGAI PEWARNA ALAMI TERHADAP KARAKTERISTIK OPTIK DAN KINERJA DSSC

Oleh

Muhammad Nurul Ikhsan

NIM.2000614

(Program Studi Fisika)

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya permintaan energi global dan kebutuhan akan solusi berkelanjutan, energi matahari ada sebagai opsi alternatif yang menjanjikan. *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC) merupakan teknologi fotovoltaik yang hemat biaya, dan pewarna alami sebagai sensitizer memiliki potensi besar terhadap peningkatan efisiensinya. Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan pewarna alami dari buah Dewandaru (*Eugenia uniflora*) dalam DSSC dengan memvariasikan tingkat pH dan konsentrasi. Pewarna alami menawarkan alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dibandingkan dengan pewarna sintetis yang sering kali mahal dan tidak ramah lingkungan. Dalam penelitian ini, ekstrak buah Dewandaru digunakan untuk mensensitisasi fotoanoda  $\text{TiO}_2$ , dan pengaruh variasi pH (1,00; 1,66; 2,27; dan 3,00) serta konsentrasi pewarna (2,5%; 5,0%; 7,5%; dan 10%) terhadap sifat optik dan kinerja dianalisis. Metode yang digunakan adalah eksperimen yang dilakukan di laboratorium *Solar Energy Materials*, Universitas Pendidikan Indonesia. Pengujian *UV-Vis spectroscopy*, FTIR, *cyclic voltammetry*, dan pengukuran J-V digunakan untuk menentukan absorbansi, level energi, dan efisiensi. Hasil karakterisasi optik menunjukkan bahwa perubahan pH dan konsentrasi dapat mempengaruhi absorbansi dan celah pita energi dari pewarna. Kinerja DSSC yang paling optimal untuk pewarna ditemukan pada pH 3,00, menghasilkan  $V_{oc}$  sebesar 0,425 V,  $J_{sc}$  sebesar 0,053 mA/cm<sup>2</sup>, *fill factor* sebesar 68,7%, dan efisiensi sebesar 0,1548%. Konsentrasi pewarna terbaik adalah 10%, mencapai  $V_{oc}$  sebesar 0,45 V,  $J_{sc}$  sebesar 0,105 mA/cm<sup>2</sup>, *fill factor* sebesar 69,0%, dan efisiensi sebesar 0,322%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak buah Dewandaru berpotensi sebagai pewarna alami untuk DSSC, dengan hasil kinerja yang bervariasi berdasarkan pH dan konsentrasi.

**Kata kunci :** dewandaru, DSSC, *eugenia uniflora*, konsentrasi, pH larutan.

## ABSTRACT

### ***EFFECT OF SOLUTION pH AND CONCENTRATION OF DEWANDARU FRUIT EXTRACT AS A NATURAL DYE ON OPTICAL CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF DSSC***

***By***

**Muhammad Nurul Ikhsan**

**NIM.2000614**

***(Physics Study Program)***

*This Research is motivated by growing global energy demand and the need for sustainable solutions, solar energy stands as a promising alternative option. Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) represent a cost-effective photovoltaic technology, and natural dyes as sensitizers have significant potential to enhance their efficiency. This study explores the use of natural dye from Dewandaru fruit (*Eugenia uniflora*) in DSSCs by varying pH levels and concentrations. Natural dyes offer an environmentally friendly and sustainable alternative compared to synthetic dyes, which are often expensive and not eco-friendly. In this research, Dewandaru fruit extract was used to sensitize TiO<sub>2</sub> photoanodes, and the effects of varying pH (1.00, 1.66, 2.27, and 3.00) and dye concentrations (2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10%) on optical properties and performance were analyzed. UV-Vis spectroscopy, FTIR, cyclic voltammetry, and J-V measurements were used to assess absorbance, energy levels, and efficiency. The experimental method used in this study was conducted in the Solar Energy Materials laboratory, Indonesia University of Education. Optical characterization results showed that changes in pH and concentration can affect the absorbance and energy band gap of the dye. The optimal DSSC performance for the dye was found at pH 3.00, yielding a  $V_{oc}$  of 0.425 V,  $J_{sc}$  of 0.053 mA/cm<sup>2</sup>, fill factor of 68.7%, and efficiency of 0.1548%. The best dye concentration was 10%, achieving a  $V_{oc}$  of 0.45 V,  $J_{sc}$  of 0.105 mA/cm<sup>2</sup>, fill factor of 69.0%, and efficiency of 0.322%. The study indicates that Dewandaru fruit extract has potential as a natural dye for DSSCs, with performance varying based on pH and concentration.*

**Keywords :** Concentration, dewandaru, DSSC, *Eugenia uniflora*, pH solvent,



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	6
2.1 Sel Surya.....	6
2.2 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) .....	7
2.3 Komponen dan konfigurasi DSSC .....	7
2.4 Prinsip Kerja DSSC .....	9
2.5 Buah Dewandaru Sebagai Pewarna Alami .....	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	14
3.2 Desain Penelitian .....	14
3.3 Alat dan Bahan .....	15
3.4 Prosedur Penelitian.....	16
3.4.1 Ekstraksi <i>dye</i> .....	16
3.4.2 Sintesis Fotoanoda .....	17
3.4.3 Persiapan Kaca Substrat ITO .....	17

3.4.4	Sintesis Elektroda Balik .....	17
3.4.5	Fabrikasi DSSC .....	17
3.5	Karakterisasi .....	17
3.5.1	Karakterisasi Gugus Fungsi Penyusun Pigmen Pewarna.....	17
3.5.2	Karakterisasi Serapan Optik DSSC.....	18
3.5.3	Karakterisasi Tingkat Level Energi Molekular <i>Dye</i> .....	18
3.5.4	Karakterisasi <i>J-V</i> DSSC .....	18
3.6	Analisis Data .....	18
3.6.1	Analisis Karakteristik Optik.....	18
3.6.2	Analisis Kinerja DSSC.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		21
4.1	Pengaruh pH Larutan Pengekstraksi <i>Dye</i> .....	21
4.1.1	Pengaruh pH Larutan Pengekstraksi <i>Dye</i> terhadap Karakteristik Optik DSSC.....	23
4.2	Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Dye</i> .....	33
4.2.1	Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Dye</i> Terhadap Karakteristik Optik..	33
4.2.2	Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Dye</i> Terhadap Kinerja DSSC.....	39
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI .....		41
5.1	Simpulan.....	41
5.2	Implikasi .....	41
5.3	Rekomendasi .....	42
DAFTAR PUSTAKA .....		43
LAMPIRAN .....		55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur DSSC berkonfigurasi (a) <i>sandwich</i> ; dan (b) <i>monolithic</i> (Oktaviani & Nursam, 2019) .....	9
Gambar 2.2 Prinsip kerja DSSC (Oktaviani & Nursam, 2019) .....	10
Gambar 2.3 Buah dewandaru ( <i>Eugenia uniflora</i> ) .....	12
Gambar 2.4 Struktur dari enam antosianidin (Pervaiz dkk., 2017).....	13
Gambar 3.1 Struktur lapisan DSSC .....	15
Gambar 3.2 Tahap penelitian. ....	15
Gambar 4.1 Spektrum FTIR <i>dye</i> .....	21
Gambar 4.2 Spektum penyerapan <i>dye</i> dengan variasi pH pada rentang <i>UV-Vis</i> ...	24
Gambar 4.3 Spektrum penyerapan TiO <sub>2</sub> dengan variasi pH pada rentang <i>UV-Vis</i>	25
Gambar 4.4 Tauc's plot sampel <i>dye</i> dengan variasi pH .....	27
Gambar 4.5 Persentase efisiensi penyerapan cahaya (LHE) dari sampel <i>dye</i> dengan variasi pH.....	28
Gambar 4.6 Hasil uji karakterisasi <i>Cyclic Voltammetry</i> pada sampel <i>dye</i> dngan variasi pH .....	29
Gambar 4.7 Ilustrasi tingkat energi pada sampel <i>dye</i> dengan variasi pH .....	30
Gambar 4.8 Kurva J-V dari sampel DSSC dengan <i>dye</i> , (i) <i>Eugenia uniflora</i> dengan variasi pH; (ii) N719 .....	31
Gambar 4.9 Spektum penyerapan <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi pada rentang <i>UV-Vis</i> .....	33
Gambar 4.10 Spektrum penyerapan TiO <sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi pada rentang <i>UV-Vis</i> .....	34
Gambar 4.11 <i>Tauc's plot</i> sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi .....	36
Gambar 4.12 Persentase efisiensi penyerapan cahaya (LHE) dari sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi .....	37
Gambar 4.13 Hasil uji karakterisasi <i>Cyclic Voltammetry</i> pada sampel <i>dye</i> dngan variasi konsentrasi.....	37
Gambar 4.14 Ilustrasi tingkat energi pada sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentasi	38
Gambar 4.15 Kurva J-V dari sampel DSSC dengan variasi konsentrasi larutan <i>dye</i> .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variabel Eksperimen.....	14
Tabel 4.1 Identifikasi puncak penyerapan FTIR .....	22
Tabel 4.2 Puncak penyerapan pada <i>dye</i> dan TiO <sub>2</sub> dengan variasi pH .....	26
Tabel 4.3 Tingkat level energi dan efisiensi penyerapan cahaya pada sampel <i>dye</i> dengan variasi pH .....	30
Tabel 4.4 Kinerja dari sampel DSSC denfan <i>dye</i> dari ekstrak buah <i>Eugenia uniflora</i> dengan variasi pH .....	31
Tabel 4.5 Perbandingan sampel DSSC.....	32
Tabel 4.6 Puncak penyerapan pada <i>dye</i> dan TiO <sub>2</sub> dengan variasi konsentrasi ...	35
Tabel 4.7 Tingkat level energi dan efisiensi penyerapan cahaya pada sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi.....	38
Tabel 4.8 Knerja dari sampel DSSC dengan <i>dye</i> dari ekstrak buah <i>Eugenia uniflora</i> dengan variasi konsentrasi.....	40

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Fabrikasi dan Karakterisasi DSSC .....	55
Lampiran 2 Hasil Karakterisasi FTIR.....	58

## DAFTAR PUSTAKA

- Agatonovic-Kustrin, S., Gegechkori, V., Petrovich, D. S., Ilinichna, K. T., & Morton, D. W. (2021). HPTLC and FTIR Fingerprinting of Olive Leaves Extracts and ATR-FTIR Characterisation of Major Flavonoids and Polyphenolics. *Molecules*, *26*(22), 6892. <https://doi.org/10.3390/molecules26226892>
- Agustia, Y. V., Suyitno, Arifin, Z., & Sutanto, B. (2016). Effect of acidity on the energy level of curcumin dye extracted from *Curcuma longa* L. *AIP Conference Proceedings*, *1717*, 040005. <https://doi.org/10.1063/1.4943448>
- Ahliha, A. H., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Kusumaningsih, T. (2017). The chemical bonds effect of anthocyanin and chlorophyll dyes on TiO<sub>2</sub> for dye-sensitized solar cell (DSSC). *Journal of Physics: Conference Series*, *909*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/909/1/012013>
- Al Qibtiya, M., Prima, E. C., Yuliarto, B., & Suyatman, S. (2016). pH Influences on Optical Absorption of Anthocyanin from Black Rice as Sensitizer for Dye Sensitized Solar Cell TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Materials Science Forum*, *864*, 154–158.
- Al-Alwani, M. A. M., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., & Ludin, N. A. (2015). Effect of solvents on the extraction of natural pigments and adsorption onto TiO<sub>2</sub> for dye-sensitized solar cell applications. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *138*, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.11.018>
- Alkali, B., Yerima, J. B., Ahmed, A. D., & Ezike, S. C. (2022). Suppressed charge recombination aided co-sensitization in dye-sensitized solar cells-based natural plant extracts. *Optik*, *270*. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.170072>
- Asri, N. K. T., Devi, M., & Soekopitojo, S. (2021). Effect of drying on antioxidant capacity, sugar content, water content, physical and organoleptic properties of dried candied Dewandaru fruit (*Eugeia uniflora* L.). *Journal of Physics:*

*Conference Series*, 1882(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1882/1/012110>

Bagetti, M., Facco, M. P., Piccolo, J., Hirsch, G. E., Rodriguez-Amaya, D., Kobori, C. N., Vizzotto, M., & Emanuelli, T. (2011). Physicochemical characterization and antioxidant capacity of pitanga fruits (*Eugenia uniflora* L.). *Food Science and Technology*, 31, 147–154.

Bagher, A. M. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94. <https://doi.org/10.11648/j.ajop.20150305.17>

Bezerra, J., Preitas, E., Pedrosa, A., Lederman, I., & Dantas, A. (1997). Performance of Surinam Cherry (*Eugenia Uniflora* L.) in Pernambuco, Brazil. II - Productive Period 1989 – 1995. *Acta Horticulturae*, 452, 137–142. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.452.22>

Bhogaita, M., Shukla, A. D., & Nalini, R. P. (2016). Recent advances in hybrid solar cells based on natural dye extracts from Indian plant pigment as sensitizers. *Solar Energy*, 137, 212–224. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.003>

Bhushan, B., Bibwe, B., Pal, A., Mahawar, M. K., Dagla, M. C., KR, Y., Jat, B. S., Kumar, P., Aggarwal, S. K., Singh, A., & Chaudhary, D. P. (2023). FTIR spectra, antioxidant capacity and degradation kinetics of maize anthocyanin extract under variable process conditions: Anthocyanin degradation under storage. *Applied Food Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100282>

Bicas, J. L., Molina, G., Dionísio, A. P., Barros, F. F. C., Wagner, R., Maróstica, M. R., & Pastore, G. M. (2011). Volatile constituents of exotic fruits from Brazil. *Food Research International*, 44(7), 1843–1855. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.012>

Błaszczuk, A., Joachimiak-Lechman, K., Sady, S., Tański, T., Szindler, M., & Drygała, A. (2021). Environmental performance of dye-sensitized solar cells based on natural dyes. *Solar Energy*, 215, 346–355. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.12.040>

- Brooks, M. S.-L., & Celli, G. B. (2019). *Anthocyanins from natural sources: Exploiting targeted delivery for improved health* (Vol. 12). Royal Society of Chemistry.
- Calogero, G., Sinopoli, A., Citro, I., Di Marco, G., Petrov, V., Diniz, A. M., Parola, A. J., & Pina, F. (2013). Synthetic analogues of anthocyanins as sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Photochemical and Photobiological Sciences*, *12*(5), 883–894. <https://doi.org/10.1039/c3pp25347c>
- Carella, A., Borbone, F., & Centore, R. (2018). Research progress on photosensitizers for DSSC. Dalam *Frontiers in Chemistry* (Vol. 6, Nomor SEP). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00481>
- Cherepy, N. J., Smestad, G. P., Gra, M., & Zhang, J. Z. (1997). Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO<sub>2</sub> Nanocrystalline Electrode. *The Journal of Physical Chemistry B*, *101*(45), 9342–9351.
- Chien, C.-Y., & Hsu, B.-D. (2013). Optimization of the dye-sensitized solar cell with anthocyanin as photosensitizer. *Solar Energy*, *98*, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.035>
- Choi, H., Lee, J. K., Song, K., Kang, S. O., & Ko, J. (2007). Novel organic dyes containing bis-dimethylfluorenyl amino benzo[b]thiophene for highly efficient dye-sensitized solar cell. *Tetrahedron*, *63*(15), 3115–3121. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2007.02.018>
- Conradie, J. (2024). Effective dyes for DSSCs—Important experimental and calculated parameters. *Energy Nexus*, *13*, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2024.100282>
- Crespilho, F. N., Zucolotto, V., Siqueira, J. R., Carvalho, A. J. F., Nart, F. C., & Oliveira, O. N. (2006). Using Electrochemical Data to Obtain Energy Diagrams for Layer-By-Layer Films from Metallic Phthalocyanines. *International Journal of Electrochemical Science*, *1*, 151–159. [www.electrochemsci.org](http://www.electrochemsci.org)



- Faqih, P., Aini, N. A., Mardhiyah, Z., & Nurosyid, F. (2019). Effect of concentration of red dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) peels extract as a dye of dye-sensitized solar cell (DSSC) on DSSC efficiency. *International Conference on Science and Applied Science*, 020120. <https://doi.org/10.1063/1.5141733>
- Fraas, L., & Partain, L. (2010). *Solar Cells and Their Applications, 2nd Edition (Wiley Series in Microwave and Optical Engineering)*.
- Golshan, M., Osfour, S., Azin, R., Jalali, T., & Moheimani, N. R. (2021). Co-sensitization of natural and low-cost dyes for efficient panchromatic light-harvesting using dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 417. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2021.113345>
- Gonçalves, R. G. L., Lopes, P. A., Pochapski, D. J., de Oliveira, L. C. A., Pinto, F. G., Neto, J. L., & Tronto, J. (2022). Effect of pH, ionic strength, and temperature on the adsorption behavior of Acid Blue 113 onto mesoporous carbon. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(51), 77188–77198. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21193-y>
- Gong, J., Liang, J., & Sumathy, K. (2012). Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5848–5860. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.044>
- Halme, J. (2002). *Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests*. Helsinki University of Technology.
- Haryanto, D. A., Landuma, S., & Purwanto, A. (2014). Fabrication of dye-sensitized solar cell (DSSC) using annato seeds (*Bixa orellana* Linn). *AIP Conference Proceedings*, 1586, 104–108. <https://doi.org/10.1063/1.4866740>
- Hemamali, G. G. G. M. N., & Kumara, G. R. A. (2013). Dye-Sensitized Solid State Solar Cells Sensitized with Natural Pigment Extracted from the Grapes. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(11). [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org)

- Hindryawati, N., Hiyahara, I. A., Saputra, H., Arief, M. S., & Maniam, G. P. (2021). Preparation of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Using TiO<sub>2</sub> and Mahkota Dewa Fruit (*Phaleria Macrocarpa* (Scheff) Boerl.) Extract. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, *10*(1), 43–49. <https://doi.org/10.15294/jbat.v10i1.32378>
- Hosseinnezhad, M., Ghahari, M., Mobarhan, G., Rouhani, S., & Fathi, M. (2023). Towards low cost and green photovoltaic devices: Using natural photosensitizers and MoS<sub>2</sub>/Graphene oxide composite counter electrodes. *Optical Materials*, *139*. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.113775>
- Ince, N. H., & Güyer, G. (2004). Impacts of pH and molecular structure on ultrasonic degradation of azo dyes. *Ultrasonics*, *42*(1–9), 591–596. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2004.01.097>
- Indrawati, I., Safitri, F. A. L., & Rossiana, N. (2019). Bioprospecting of dewandaru (*Eugenia uniflora* L.) fruit extract as antibacterial agent against colorectal bacteria. *AIP Conference Proceedings*, *2120*. <https://doi.org/10.1063/1.5115760>
- Jinchu, I., Sreekala, C. O., & Sreelatha, K. S. (2013). Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes as Chromophores - Review. *Materials Science Forum*, *771*, 39–51. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.771.39>
- Kumara, N. T. R. N., Lim, A., Lim, C. M., Petra, M. I., & Ekanayake, P. (2017). Recent progress and utilization of natural pigments in dye sensitized solar cells: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *78*, 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.075>
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., Morales, M. T., & Fett, R. (2006). Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. *Ciência Rural*, *36*(4), 1283–1287. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782006000400037>
- Kusumadewi, A. P., Martien, R., Pramono, S., Setyawan, A. A., Windarsih, A., & Rohman, A. (2022). Application of FTIR spectroscopy and chemometrics for correlation of antioxidant activities, phenolics and flavonoid contents of

- Indonesian Curcuma xanthorrhiza. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 2364–2372.
- Lim, T. K. (2012). Eugenia uniflora. Dalam *Edible Medicinal And Non Medicinal Plants* (hlm. 620–630). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2534-8\\_85](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2534-8_85)
- Luque, A. (Antonio), & Hegedus, Steven. (2003). *Handbook of photovoltaic science and engineering*. Wiley.
- Marco, D., Carlo, D., Calogero, G., Bartolotta, A., Di Marco, G., Di Carlo, A., & Bonaccorso, F. (2015). Vegetable-based Dye-Sensitized Solar Cells Chemical Society Reviews Vegetable-based Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemical Society Reviews*, 44(10), 3244–3294.
- Martineau, D. (2012). *Dye Solar Cells For Real: The Assembly Guide for Making Your Own Solar Cells*. [www.solaronix.com](http://www.solaronix.com)
- Mattioli, R., Francioso, A., Mosca, L., & Silva, P. (2020). Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*, 25(17), 3809. <https://doi.org/10.3390/molecules25173809>
- Migues, I., Baenas, N., Gironés-Vilaplana, A., Cesio, M. V., Heinzen, H., & Moreno, D. A. (2018). Phenolic Profiling and Antioxidant Capacity of Eugenia uniflora L. (Pitanga) Samples Collected in Different Uruguayan Locations. *Foods*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/foods7050067>
- Moura, G. S., Oliveira, I. J. de, Bonome, L. T. da S., & Franzener, G. (2018). Eugenia uniflora L.: potential uses as a bioactive plant. *Arquivos do Instituto Biológico*, 85(0). <https://doi.org/10.1590/1808-1657000752017>
- Muliani, L., Nursam, N. M., & Hidayat, J. (2016). Performance of Dye-sensitized Solar Cells Based on Gel Electrolyte. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, 13(1), 14. <https://doi.org/10.14203/jet.v13.14-17>
- Mun'im, A. (2005). Isolasi dan Elusidasi Struktur Senyawa Flavonoida dari Crotalaria Anagyroides. *Majalah Ilmu Kefarmasian*, 2(1), 22–29.

- Muryani, B. Y., Sarifah, N., Kusumawardani, D. R., & Nurosyid, F. (2019). Effect concentration of dye solution binahong leaves to the efficiency of dye-sensitized solar cell (DSSC). *International Conference on Science and Applied Science*, 020122. <https://doi.org/10.1063/1.5141735>
- Najihah, M. Z., Noor, I. M., & Winie, T. (2022). Long-run performance of dye-sensitized solar cell using natural dye extracted from *Costus woodsonii* leaves. *Optical Materials*, 123, 111915.
- Nakhaei, R., Razeghizadeh, A., Shabani, P., Ganji, J., & Tabatabaee, S. S. (2022). Combination of co-sensitization and Förster resonance energy transfer in natural-synthetic dye sensitized solar cells. *Optical Materials*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112690>
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nursam, N. M., Anggraini, P. N., Shobih, & Hidayat, J. (2017). Low-cost monolithic dye-sensitized solar cells fabricated on single conductive substrate. *International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, 164–168. <https://doi.org/10.1109/ICRAMET.2017.8253168>
- Oktaviani, E., & Nursam, N. M. (2019). Pengaruh Material Counter Electrode Pada Dye-Sensitized Solar Cell. *METALURGI*, 3, 109–130. [www.ejurnalmaterialmetalurgi.com](http://www.ejurnalmaterialmetalurgi.com)
- O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*, 353(6346), 737–740. <https://doi.org/10.1038/353737a0>
- Papageorgiou, N., Maier, W. F., & Grätzel, M. (1997). An Iodine/Triiodide Reduction Electrocatalyst for Aqueous and Organic Media. *Journal of The Electrochemical Society*, 144(3), 876–884. <https://doi.org/10.1149/1.1837502>

- Pem, B., Brkljača, Z., Philippe, A., Schaumann, G. E., Vazdar, M., & Bakarić, D. (2023). FTIR spectroscopy and molecular level insight of diluted aqueous solutions of acetic acid. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 302, 123135. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123135>
- Pervaiz, T., Songtao, J., Faghihi, F., Haider, M. S., & Fang, J. (2017). Naturally Occurring Anthocyanin, Structure, Functions and Biosynthetic Pathway in Fruit Plants. *Journal of Plant Biochemistry & Physiology*, 05(02). <https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000187>
- Prakash, P., & Janarthanam, B. (2023). Review on the progress of light harvesting natural pigments as DSSC sensitizers with high potency. Dalam *Inorganic Chemistry Communications* (Vol. 152). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110638>
- Pramananda, V., Hadyan Fityay, T. A., & Misran, E. (2021). Anthocyanin as natural dye in DSSC fabrication: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1122(1), 012104. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1122/1/012104>
- Pratiwi, D. D., Nurosyid, F., Supriyanto, A., & Suryana, R. (2016). Optical properties of natural dyes on the dye-sensitized solar cells (DSSC) performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 776(1), 012007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/776/1/012007>
- Prima, E. C., Nugroho, H. S., Nugraha, Refantero, G., Panatarani, C., & Yulianto, B. (2020). Performance of the dye-sensitized quasi-solid state solar cell with combined anthocyanin-ruthenium photosensitizer. *RSC Advances*, 10(60), 36873–36886. <https://doi.org/10.1039/D0RA06550A>
- Prima, E. C., Rusliani, P. F., Suhendi, E., & Yulianto, B. (2024). Performance of dye-sensitized solar cells with mixed three natural pigments and reduced graphene oxide as a counter electrode. *Results in Optics*, 14, 100592.
- Prima, E. C., Vitadewi, A., Datiatur Rahmat, A., Suhendi, E., & Yulianto, B. (2021). Solutions-Processed Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> Solar Cell utilizing Zn Powder as Local

- Material. *International Journal of Nanoelectronics and Materials*, 14(4), 357–372.
- Rahul, Singh, S., Singh, P. K., Kakroo, S., Hachim, D. M., Dhapola, P. S., & Khan, Z. H. (2021). Eco-friendly dye sensitized solar cell using natural dye with solid polymer electrolyte as hole transport material. *Materials Today: Proceedings*, 34, 760–766. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.775>
- Rao, Ch. V., Giri, A. S., Goud, V. V., & Golder, A. K. (2016). Studies on pH-dependent color variation and decomposition mechanism of Brilliant Green dye in Fenton reaction. *International Journal of Industrial Chemistry*, 7(1), 71–80. <https://doi.org/10.1007/s40090-015-0060-x>
- Rápó, E., & Tonk, S. (2021). Factors Affecting Synthetic Dye Adsorption; Desorption Studies: A Review of Results from the Last Five Years (2017–2021). *Molecules*, 26(17), 5419. <https://doi.org/10.3390/molecules26175419>
- Richhariya, G., Kumar, A., Tekasakul, P., & Gupta, B. (2017). Natural dyes for dye sensitized solar cell: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 705–718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.198>
- Ruhane, T. A., Islam, M. T., Rahaman, M. S., Bhuiyan, M. M. H., Islam, J. M. M., Newaz, M. K., Khan, K. A., & Khan, M. A. (2017). Photo current enhancement of natural dye sensitized solar cell by optimizing dye extraction and its loading period. *Optik*, 149, 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.09.024>
- Santoso, H., & Puspitasari, N. (2018). Fabrication of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Melastoma Malabathricum Linn. Leafs Extract. *Jurnal Borneo Saintek*, 1(3), 63–67. [https://doi.org/https://doi.org/10.35334/borneo\\_saintek.v1i3.936](https://doi.org/https://doi.org/10.35334/borneo_saintek.v1i3.936)
- Saud, P. S., Bist, A., Kim, A. A., Yousef, A., Abutaleb, A., Park, M., Park, S.-J., & Pant, B. (2024). Dye-sensitized solar cells: Fundamentals, recent progress, and Optoelectrical properties improvement strategies. *Optical Materials*, 150, 115242.

- Septina, W. (2007). *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell) Earth abundant Materials for Solar water splitting View project*.  
<https://www.researchgate.net/publication/237048234>
- Setiarso, P., Harsono, R. V., & Kusumawati, N. (2023). Fabrication of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Combination of Dyes Extracted from Curcuma (&lt;i>Curcuma xanthorrhiza&lt;/i>) Rhizome and Binahong (&lt;i>Anredera cordifolia&lt;/i>) Leaf with Treatment in pH of the Extraction. *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(4), 924.  
<https://doi.org/10.22146/ijc.77860>
- Singh, S., Maurya, I. C., Sharma, S., Kushwaha, S. P. S., Srivastava, P., & Bahadur, L. (2021). Application of new natural dyes extracted from Nasturtium flowers (*Tropaeolum majus*) as photosensitizer in dye-sensitized solar cells. *Optik*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.167331>
- Smestad, G. P., Spiekermann, S., Kowalik, J., Grant, C. D., Schwartzberg, A. M., Zhang, J., Tolbert, L. M., & Moons, E. (2003). A technique to compare polythiophene solid-state dye sensitized TiO<sub>2</sub> solar cells to liquid junction devices. Dalam *Solar Energy Materials & Solar Cells* (Vol. 76).
- Smith, B. C. (2017). The Carbonyl Group, Part I: Introduction. *Spectroscopy*, 42(9), 31–36.
- Steffano, M. G., Álvarez, E., Sosa, P., Vázquez, C., & Bresciano, M. F. C. (2022). Antocianinas de la pitanga como fotosensibilizadores de celdas DSSC. *Innotec*, 23 ene-jun, e584–e584.
- Sugiono, F. A. F. (2015). *Pengaruh PEG Dalam Pembuatan Pasta TiO<sub>2</sub> Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Dye Sintetis N-749 Sebagai Dye Sensitizer*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Supriyanto, A., Cari, C., Suciarmoko, P. M., Kurniawan, D., & Septiawan, T. Y. (2019). The fabrication of DSSC TiO<sub>2</sub> transparent thin layer with natural dye sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of physics: conference series*, 1153(1), 012098.

- Supriyanto, A., Nurosyid, F., & Ahliha, A. H. (2018). Carotenoid pigment as sensitizers for applications of dye-sensitized solar cell (DSSC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 432(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/432/1/012060>
- Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. *physica status solidi (b)*, 15(2), 627–637.
- Thomas, S., Deepak, T. G., Anjusree, G. S., Arun, T. A., Nair, S. V., & Nair, A. S. (2014). A review on counter electrode materials in dye-sensitized solar cells. *J. Mater. Chem. A*, 2(13), 4474–4490. <https://doi.org/10.1039/C3TA13374E>
- Thummajitsakul, S., & Silprasit, K. (2022a). Analysis of FTIR Spectra, Flavonoid Content and Anti-Tyrosinase Activity of Extracts and Lotion from *Garcinia schomburgkiana* by Multivariate Method. *Trends in Sciences*, 19(18). <https://doi.org/10.48048/tis.2022.5780>
- Thummajitsakul, S., & Silprasit, K. (2022b). Analysis of FTIR Spectra, Flavonoid Content and Anti-Tyrosinase Activity of Extracts and Lotion from *Garcinia schomburgkiana* by Multivariate Method. *Trends in Sciences*, 19(18). <https://doi.org/10.48048/tis.2022.5780>
- Vinaayak, S. B., Balasubramani, V., Shkir, M., Manthrammel, M. A., & Sreedevi, G. (2022). Enhancing the performance of TiO<sub>2</sub> based N-DSSC using dye extracted from *Cladophora Columbiana*, *Ludwigia repens* and mixed sensitizer. *Optical Materials*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112968>
- Vizzotto, M., Cabral, L., & Santos, A. (2011). Pitanga (*Eugenia uniflora* L.). Dalam *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (Vol. 4, hlm. 272–288). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.272>
- Wendri, N., Ekayani Sri Tussniari, P., & Suyanto, H. (2019). Characterization of *Salacca Zalacca* for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Buletin Fisika*, 20(2), 22–30.



- Wu, J., Lan, Z., Lin, J., Huang, M., Huang, Y., Fan, L., Luo, G., Lin, Y., Xie, Y., & Wei, Y. (2017). Counter electrodes in dye-sensitized solar cells. *Chemical Society Reviews*, 46(19), 5975–6023. <https://doi.org/10.1039/C6CS00752J>
- Wu, M., & Ma, T. (2014). Recent progress of counter electrode catalysts in dye-sensitized solar cells. *Journal of Physical Chemistry C*, 118(30), 16727–16742. <https://doi.org/10.1021/jp412713h>
- Yulianto, B., Septina, W., Fuadi, K., Fanani, F., Muliani, L., & Nugraha. (2010). Synthesis of nanoporous TiO<sub>2</sub> and its potential applicability for dye-sensitized solar cell using antocyanine black rice. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/789541>