

**PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK
KULIT BUAH BISBUL (*Diospyros blancoi*) SEBAGAI *NATURAL DYE*
TERHADAP SIFAT OPTIK DAN KINERJA DSSC**

SKRIPSI

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



Oleh

Bagas Salih Maritoala

NIM. 2007594

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2024

**PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK
KULIT BUAH BISBUL (*Diospyros blancoi*) SEBAGAI *NATURAL DYE*
TERHADAP SIFAT OPTIK DAN KINERJA DSSC**

Oleh
Bagas Salih Maritoala

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

©Bagas Salih Maritoala 2024
Universitas Pendidikan Indonesia
Juli 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN
BAGAS SALIH MARITOALA

PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK KULIT
BUAH BISBUL (*Diospyros blancoi*) SEBAGAI *NATURAL DYE*
TERHADAP SIFAT OPTIK DAN KINERJA DSSC

disetujui dan disahkan oleh:

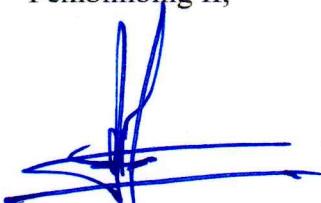
Pembimbing I,



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

NIP. 199006262014041001

Pembimbing II,

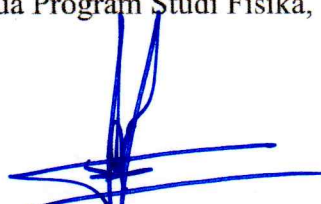


Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

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 Kulit Buah Bisbul (*Diospyros blancoi*) sebagai *Natural Dye* terhadap Sifat 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, Juli 2024

Bagas Salih Maritoala

NIM. 2007594

KATA PENGANTAR

Segala puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh pH Larutan dan Konsentrasi Ekstrak Kulit Buah Bisbul (*Diospyros blancoi*) sebagai *Natural Dye* terhadap Sifat Optik dan Kinerja DSSC”. Skripsi ini dipersembahkan untuk Ayah Ir. Yosef Ibrahim, Mamah Neneng Pargawati, S.Sos., dan Nenek Roswati (*Almh.*).

Semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam segala bentuk apa pun akan mendapatkan ganti yang terbaik dari Allah SWT. Begitu pula penulis meminta maaf dan menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki penulis. Semoga penelitian dan skripsi ini dapat bermanfaat, serta menjadi sumbangsih yang cukup berarti bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Bandung, Juli 2024

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis percaya bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak akan terlaksana tanpa adanya bantuan, dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Maka dari itu, beribu terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Dr. Eka Cahya Prima, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memfasilitasi, memberikan arahan, masukan, dukungan, motivasi, dan bimbingan yang tak ternilai selama proses penelitian hingga dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Ketua Program Studi Fisika dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan segala arahan, masukan, bimbingan, dukungan, dan motivasi selama penulis menuntut ilmu di Program Studi Fisika sampai terselesaikannya penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Andi Suhandi, M.Si. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Nanang Dwi Ardi, M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Drs. Waslaluddin, M.T. (*Alm.*) selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan segala bimbingan dan motivasi selama penulis berkuliah di Program Studi Fisika.
6. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar di Program Studi Fisika atas segala pengetahuan yang telah diberikan selama proses belajar mengajar berlangsung.
7. Ayah Ir. Yosef Ibrahim dan Mamah Neneng Pargawati, S.Sos. yang telah mengiringkan doa dan sangat berjasa dalam kesuksesan jenjang pendidikan penulis selama ini, juga kepada seluruh keluarga besar yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
8. Kepala Laboratorium beserta Laboran Laboratorium IPA-1 dan Laboratorium Kimia Instrumen yang sudah memberikan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini.
9. Teman-teman kelas Fisika C atas kerjasama, kebersamaan, dan bantuan yang pernah diberikan.

10. Teman-teman PANITIA P dan YUSWA Korp: Sofia, Silva, Ahmad Ihsan, Nurul Ikhsan, Sandi, Azzara, Fadlan, Sarifudin, Genta, Ridzki, Hizba, dan Billy (*Alm.*) yang telah kebersamai penulis dalam senang dan sulit selama perkuliahan sampai saat ini.
11. Akang teteh dan rekan-rekan Saharsa Adiekatama, Darsasita Tarumbaya, dan dibalikwdp yang telah menjadi penyemangat selama masa perkuliahan penulis.
12. Tim Bhinneka: Muhammad Nurul Ikhsan, Sandi Muhammad Roziq, dan Bagas Abdussalam yang telah berjuang bersusah payah bersama selama proses penelitian ini.

ABSTRAK

PENGARUH pH LARUTAN DAN KONSENTRASI EKSTRAK KULIT BUAH BISBUL (*Diospyros blancoi*) SEBAGAI *NATURAL DYE* TERHADAP SIFAT OPTIK DAN KINERJA DSSC

Oleh

Bagas Salih Maritoala

NIM 2007594

(Program Studi Fisika)

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu jenis sel surya generasi ketiga yang menggunakan *dye* sebagai lapisan pemeka cahaya dan saat ini masih dikembangkan. Biaya produksi yang murah dengan proses yang mudah, ramah lingkungan, tidak beracun, dan ringan merupakan beberapa kelebihan DSSC yang lebih menjanjikan daripada generasi sebelumnya. Namun dalam pengembangannya, *natural dye* dari bahan-bahan alam menghasilkan efisiensi yang masih rendah dibanding *dye* konvensional seperti N719 dan N749. Penelitian ini difokuskan pada sifat optik dan kinerja DSSC akibat perubahan pH larutan dan konsentrasi *natural dye* baru dari ekstrak kulit buah bisbul (*Diospyros blancoi*). Dalam penelitian ini, keasaman larutan divariasikan dengan pH 1,00, 1,66, 2,27, dan 3,00, kemudian *dye* dengan pH yang memiliki efisiensi terbaik dibuat variasi konsentrasinya dalam 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. *Fourier transform infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui pigmen yang terkandung dalam *dye*. *UV-Vis spectroscopy*, *cyclic voltammetry*, dan karakterisasi *J-V* dilakukan untuk mengetahui sifat optik dan kinerja DSSC. Dari penelitian ini, sampel *dye* dalam pelarut pH 3,00 dengan konsentrasi 7,5% memiliki kinerja terbaik dengan J_{sc} 91,6 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, V_{oc} 0,412 V, FF 68,8%, dan efisiensi η sebesar 0,02597%. Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa perubahan pH larutan dapat memengaruhi struktur penyusun molekul dan lebar *band gap dye*, sedangkan perubahan konsentrasi larutan dapat memengaruhi kemampuan penyerapan cahaya pada DSSC.

Kata kunci: bisbul, *Diospyros blancoi*, *dye-sensitized solar cell*, konsentrasi, pH larutan.

ABSTRACT

EFFECT OF SOLUTION pH AND CONCENTRATION OF BISBUL FRUIT (*Diospyros blancoi*) PEEL EXTRACT AS A NATURAL DYE ON OPTICAL PROPERTIES AND PERFORMANCE OF DSSC

By

Bagas Salih Maritoala

NIM 2007594

(Physics Study Program)

*Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) is a third-generation solar cell that uses dye as a photosensitizer and still being developed currently. Cheap production costs with an easy process, environmentally friendly, non-toxic and light are some of the advantages of DSSC which are more promising than the previous generation. However, during its development, natural dyes from natural ingredients produced lower efficiency than conventional dyes such as N719 and N749. This research focused on the optical properties and performance of DSSC due to changes in solution pH and the concentration of a new natural dye from bisbul fruit (*Diospyros blancoi*) peel extract. In this research, the acidity of the solution was varied with a pH of 1.00, 1.66, 2.27, and 3.00, then the dye sample with best efficiency was varied in concentration within 2.5%, 5%, 7.5%, and 10%. Fourier transform infrared (FTIR) is carried out to determine the pigment contained in the dye. UV-Vis spectroscopy, cyclic voltammetry, and J-V characterization were performed to determine the optical properties and performance of DSSC. From this research, dye sample in a pH 3,00 solution with a concentration of 7.5% had the best performance with J_{sc} 91.6 $\mu A/cm^2$, V_{oc} 0.412 V, FF 68.8%, and efficiency η of 0.02597%. This research also concluded that changes in solution pH can affect the molecular structure and band gap width of the dye, while changes in solution concentration can affect the light absorption ability of DSSC.*

*Keyword: bisbul, concentration, *Diospyros blancoi*, dye-sensitized solar cell, solution pH.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	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	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Sel Surya.....	7
2.2 <i>Dye-sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	8
2.3 Komponen dan Prinsip Kerja DSSC	9
2.4 Buah Bisbul sebagai Fotosensitizer.....	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2 Desain Penelitian	17
3.3 Alat dan Bahan	18
3.4 Prosedur Penelitian.....	19
3.4.1 Ekstraksi <i>dye</i>	19
3.4.2 Sintesis Fotoanoda	20
3.4.3 Sintesis Elektroda Balik	20

3.4.4	Fabrikasi DSSC.....	20
3.5	Karakterisasi.....	21
3.5.1	Karakterisasi FTIR.....	21
3.5.2	Karakterisasi <i>UV-Vis Spectroscopy</i>	21
3.5.3	Karakterisasi <i>Cyclic Voltammetry</i>	21
3.5.4	Karakterisasi <i>J-V</i> DSSC.....	22
3.6	Analisis Data.....	22
3.6.1	Analisis Sifat Optik.....	22
3.6.2	Analisis Kinerja DSSC.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		25
4.1	Pengaruh pH Larutan <i>Dye</i>	25
4.1.1	Pengaruh pH Larutan <i>Dye</i> terhadap Sifat Optik DSSC.....	25
4.1.2	Pengaruh pH Larutan <i>Dye</i> terhadap Kinerja DSSC.....	33
4.2	Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Dye</i>	36
4.2.1	Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Dye</i> terhadap Sifat Optik DSSC....	36
4.2.2	Pengaruh Konsentrasi Larutan <i>Dye</i> terhadap Kinerja DSSC.....	43
BAB V SIMPULAN DAN REKOMENDASI.....		46
5.1	Simpulan.....	46
5.2	Rekomendasi.....	46
DAFTAR PUSTAKA.....		47
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema struktur DSSC.....	9
Gambar 2.2 Prinsip kerja DSSC.....	12
Gambar 2.3 Buah dan pohon tanaman bisbul (<i>Diospyros blancoi</i>).	14
Gambar 2.4 Struktur rangka utama Flavonoid.....	16
Gambar 3.1 Struktur lapisan DSSC	18
Gambar 3.2 Tahap penelitian	18
Gambar 4.1 Spektrum FTIR sampel <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut.....	25
Gambar 4.2 Spektrum penyerapan <i>UV-Vis dye</i> dengan variasi pH pelarut.....	27
Gambar 4.3 Spektrum penyerapan <i>UV-Vis TiO₂ dye</i> dengan variasi pH pelarut ..	29
Gambar 4.4 <i>Tauc's plot</i> sampel <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut.	30
Gambar 4.5 Persentase <i>Light Harvesting Efficiency</i> (LHE) sampel <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut.	31
Gambar 4.6 Grafik <i>Cyclic Voltammetry</i> sampel <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut...	32
Gambar 4.7 Diagram skema level energi <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut.	33
Gambar 4.8 Kurva <i>J-V</i> sampel DSSC dengan variasi pH pelarut.....	34
Gambar 4.9 Spektrum penyerapan <i>UV-Vis</i> sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi	37
Gambar 4.10 Spektrum penyerapan <i>UV-Vis</i> sampel <i>TiO₂ dye</i> dengan variasi konsentrasi	38
Gambar 4.11 <i>Tauc's plot</i> sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi.	40
Gambar 4.12 Persentase <i>Light Harvesting Efficiency</i> (LHE) sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi.....	41
Gambar 4.13 Grafik <i>cyclic voltammetry</i> sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi.	42
Gambar 4.14 Diagram skema level energi sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi.	43
Gambar 4.15 Kurva <i>J-V</i> sampel DSSC dengan variasi konsentrasi.	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variabel eksperimen	17
Tabel 4.1 Identifikasi dan analisa puncak penyerapan FTIR	26
Tabel 4.2 Puncak penyerapan pada sampel <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut	29
Tabel 4.3 Parameter elektrokimia sampel <i>dye</i> dengan variasi pH pelarut	33
Tabel 4.4 Parameter fotovoltaiik sampel DSSC dengan variasi pH pelarut.....	35
Tabel 4.5 Komparasi sampel DSSC	36
Tabel 4.6 Puncak penyerapan pada sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi.....	38
Tabel 4.7 Parameter elektrokimia sampel <i>dye</i> dengan variasi konsentrasi	43
Tabel 4.8 Parameter fotovoltaiik sampel DSSC dengan variasi konsentrasi	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Fabrikasi dan Karakterisasi DSSC	55
Lampiran 2. Data Hasil Karakterisasi FTIR	59

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). <https://doi.org/10.3390/molecules26226892>
- Akter, S., & Sarker, A. (2015). Antimicrobial activities of seeds of *Diospyros blancoi* and *Baccuarea ramiflora*. *International Journal of Advances in Pharmacy, Biology and Chemistry*, *4*(4), 789–793. www.ijapbc.com
- Al Qibtiya, M., Prima, E. C., Yulianto, B., & Suyatman. (2016). pH influences on optical absorption of anthocyanin from black rice as sensitizer for dye sensitized solar cell TiO₂ nanoparticles. *Materials Science Forum*, *864*, 154–158. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.864.154>
- Ariesta, N., Rifansyah, R., Arrisujaya, D., & Maslahat, M. (2018). BIJI BUAH BISBUL (*Diospyros blancoi*) SEBAGAI BIOSORBEN Cr(III). *Jurnal Sains Natural*, *8*(2), 70. <https://doi.org/10.31938/jsn.v8i2.157>
- 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. Dalam *Solar Energy* (Vol. 137, hlm. 212–224). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.08.003>
- Błaszczczyk, 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>
- Cahaya Prima, E., Suhendi, E., Yulianto, B., Vitadewi, A., & Datiatur Rahmat, A. (2021). Solutions-Processed Cu₂ZnSnS₄ Solar Cell utilizing Zn Powder as Local Material Developing Multiple-Choices Test Items as Tools for Measuring the Scientific- Generic Skills on Solar System View project Sensor View project Solutions- Processed Cu₂ZnSnS₄ Solar Cell utilizing Zn Powder as Local Material. Dalam

International Journal of Nanoelectronics and Materials (Vol. 14, Nomor 4).
<https://www.researchgate.net/publication/358139223>

- Cahaya Prima, E., Yulianto, B., Suyatman, & Dipojono, H. K. (2015). Theoretical Investigation of Anthocyanidin Aglycones as Photosensitizers for Dye-Sensitized TiO₂ Solar Cells. *Advanced Materials Research*, 1112, 317–320. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.1112.317>
- Calogero, G., Bartolotta, A., Di Marco, G., Di Carlo, A., & Bonaccorso, F. (2015). Vegetable-based dye-sensitized solar cells. *Chemical Society Reviews*, 44(10), 3244–3294. <https://doi.org/10.1039/c4cs00309h>
- Calogero, G., Citro, I., Crupi, C., Carini, G., Arigò, D., Spinella, G., Bartolotta, A., & Di Marco, G. (2019). Absorption spectra, thermal analysis, photoelectrochemical characterization and stability test of vegetable-based dye-sensitized solar cells. *Optical Materials*, 88, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.11.005>
- Calogero, G., & Marco, G. Di. (2008). Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1341–1346. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2008.05.007>
- 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 TiO₂ Nanocrystalline Electrode. *J. Phys. Chem.*, 101, 9342–9351.
- Chien, C. Y., & Hsu, B. D. (2013). Optimization of the dye-sensitized solar cell with anthocyanin as photosensitizer. *Solar Energy*, 98(PC), 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.035>
- Clemen-Pascual, L. M., Macahig, R. A. S., & Rojas, N. R. L. (2022). Comparative toxicity, phytochemistry, and use of 53 Philippine medicinal plants. *Toxicology Reports*, 9, 22–35. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.12.002>
- Conradie, J. (2024). Effective dyes for DSSCs—Important experimental and calculated parameters. Dalam *Energy Nexus* (Vol. 13). Elsevier Ltd. <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. Dalam *Int. J. Electrochem. Sci* (Vol. 1). 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. *AIP Conference Proceedings*, 2202. <https://doi.org/10.1063/1.5141733>
- 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>
- Hatib, R., Anwar, K., & Soso, A. Y. (2024). Pengaruh Variasi Kosentrasi Pada Ekstrak Daun Bayam Merah Sebagai Dye Terhadap Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *JTAM ROTARY*, 6(1), 61–70. <https://doi.org/10.20527/jtamrotaryv7i1.216>
- Hindryawati, N., Hiyahara, I. A., Saputra, H., Arief, M. S., & Maniam, G. P. (2021). Preparation of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Using TiO₂ 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 MoS₂/Graphene oxide composite counter electrodes. *Optical Materials*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.113775>
- Howlader, Md. S. I., Bin Sayeed, M. S., Ahmed, M. U., Mohiuddin, A. K., Labu, Z. K., Bellah, S. F., & Islam, M. S. (2012). Antidiarrhoeal, Antimicrobial and Cytotoxic activities of ethanolic extract of *Diospyros blancoi*. *Article in Journal of Pharmacy Research*, 5(6), 3050–3052. <http://www.researchgate.net/publication/230667077>
- Hung, S. F., Roan, S. F., Chang, T. L., King, H. B., & Chen, I. Z. (2016). Analysis of aroma compounds and nutrient contents of mabolo (*Diospyros blancoi* A. DC.), an

- ethnobotanical fruit of Austronesian Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, 24(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.08.004>
- Iqbal, M. Z., Ali, S. R., & Khan, S. (2019). Progress in dye sensitized solar cell by incorporating natural photosensitizers. Dalam *Solar Energy* (Vol. 181, hlm. 490–509). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.023>
- Jaafar, H., Ahmad, Z. A., & Ain, M. F. (2018). The use of carbon black-TiO₂ composite prepared using solid state method as counter electrode and E. conferta as sensitizer for dye-sensitized solar cell (DSSC) applications. *Optical Materials*, 79, 366–371. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.04.008>
- Jayferson, P. G., & Vincent, A. J. C. (2022). Corrosion Inhibition Effect of Diospyros blancoi (Velvet Apple) Acid Leaf Extracts on Mild Steel in Acidic Medium. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 26(9), 123–128. <https://doi.org/10.25303/2609rjce1230128>
- Jinchu, I., Sreekala, C. O., & Sreelatha, K. S. (2014). 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>
- Jo, S., Kim, H. W., Kim, Y. K., Cheon, S. H., & Kim, K. J. (2016). The complete plastome sequence of Diospyros blancoi A. DC. (Ebenaceae). *Mitochondrial DNA Part B: Resources*, 1(1), 690–692. <https://doi.org/10.1080/23802359.2016.1219647>
- 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. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 78, hlm. 301–317). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.075>
- 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. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2134418>

- Martineau, D. (2012). *DYE SOLAR CELLS FOR REAL The Assembly Guide for Making Your Own Solar Cells* (REV. 03.04.12). Solaronix SA. www.solaronix.com
- Maurya, I. C., Srivastava, P., & Bahadur, L. (2016). Dye-sensitized solar cell using extract from petals of male flowers *Luffa cylindrica* L. as a natural sensitizer. *Optical Materials*, *52*, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2015.12.016>
- Medina, C. V., Rodriguez, E. A. G., Bagatim, A. G., & Andrade, R. A. de. (2016). TEMPERATURE AND STORAGE ON THE GERMINATION OF MABOLO (*Diospyros blancoi* Willd). *Nucleus*, *13*(1), 189–198. <https://doi.org/10.3738/1982.2278.1538>
- Mun'im, A. (2005). ISOLASI DAN ELUDASI STRUKTUR SENYAWA FLAVONOIDA DARI *CROTALARIA ANGYROIDES*. *Majalah Ilmu Kefarmasian*, *II*(1), 22–29.
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111915>
- 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>
- Nasyori, A., & Noor, F. A. (2021). The Effects of the Concentration of Red and Yellow Gambier Fruit Dyes on the Short-Circuit Photocurrent in Dye-Sensitised Solar Cells. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012067>
- Noviardi, H., Ratnasari, D., & Fermadianto, M. (2019). Formulasi Sediaan Krim Tabir Surya dari Ekstrak Etanol Buah Bisbul (*Diospyros blancoi*) (Sunscreen Cream Formulation of Bisbul fruit (*Diospyros blancoi*) Ethanol Extract). *JURNAL ILMU KEFARMASIAN INDONESIA*, *17*(2), 262–271.
- Oliveira, R. N., Mancini, M. C., de Oliveira, F. C. S., Passos, T. M., Quilty, B., Thiré, R. M. da S. M., & McGuinness, G. B. (2016). Análise por FTIR e quantificação de

- fenóis e flavonóides de cinco produtos naturais disponíveis comercialmente utilizados no tratamento de feridas. *Revista Materia*, 21(3), 767–779. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0072>
- O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). (Beres)[Gratzel]A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353, 737–740.
- Prakash, P., & Janarthanan, 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>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rio.2023.100592>
- Purushothamreddy, N., Dileep, R. K., Veerappan, G., Kovendhan, M., & Joseph, D. P. (2020). Prickly pear fruit extract as photosensitizer for dye-sensitized solar cell. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117686>
- S., K., & M., L. (2023). Replacement for platinum in dye sensitized solar cell. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.027>
- Sasikumar, R., Thirumalaisamy, S., Kim, B., & Hwang, B. (2024). Dye-sensitized solar cells: Insights and research divergence towards alternatives. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 199). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114549>
- 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. Dalam *Optical Materials* (Vol. 150). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.115242>
- Setiarso, P., Harsono, R. V., & Kusumawati, N. (2023). Fabrication of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Combination of Dyes Extracted from Curcuma (*Curcuma xanthorrhiza*) Rhizome and Binahong (*Anredera cordifolia*) Leaf with Treatment in pH of the Extraction. *Indonesian Journal of Chemistry*, 23(4), 924–936. <https://doi.org/10.22146/ijc.77860>
- Setu, J. R., Akhter, A., Rahman, R., Islam, M., Koly, M. N., Amran, M. S., & Foyzun, T. (2017). Study on antioxidant and cytotoxic activities of methanolic and ethyl acetate extracts of peel and seed of *Diospyros blancoi*. *Annual Research and Review in Biology*, 21(5). <https://doi.org/10.9734/ARRB/2017/38478>
- 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. (1998). Education and solar conversion: Demonstrating electron transfer. Dalam *Solar Energy Materials and Solar Cells* (Vol. 55).
- 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 TiO₂ solar cells to liquid junction devices. Dalam *Solar Energy Materials & Solar Cells* (Vol. 76).
- Sukardi, S., Kiswaya, S. M., & Pranowo, D. (2018). Extract Anthocyanin of Dried Purple Sweet Potato as Electron Donors in Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 7(3), 133–142. <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.03.1>
- Supriyanto, A., Cari, C., Khairuddin, Suciarmoko, P. M., Kurniawan, D., & Septiawan, T. Y. (2019). The fabrication of DSSC TiO₂ transparent thin layer with natural dye sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Physics: Conference Series*, 1153(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1153/1/012098>

- Tarmizi, E., Putri, A. Z. E., Nusandari, M. A., Husnil, Y. A., Saragih, R., & Lalasari, L. H. (2019). Identification of chemical structure of anthocyanin and other active substances of red color melinjo peels by FTIR and LC-MC analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 578(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/578/1/012013>
- Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). J. TAUC et al. : Optical Properties and Electronic Structure of Ge Optical Properties and Electronic Structure of Amorphous Germanium. Dalam *phys. stat. sol* (Vol. 15).
- Thummajitsakul, S., & Silprasit, K. (2022). 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>
- Welch, C. R., Wu, Q., & Simon, J. E. (2008). Recent Advances in Anthocyanin Analysis and Characterization. *Current Analytical Chemistry*, 4(2), 75–101. <https://doi.org/10.2174/157341108784587795>
- Yadav, V., Negi, C. M. S., Kumar, D. K., & Gupta, S. K. (2021). Fabrication of eco-friendly, low-cost dye sensitized solar cells using harda fruit-based natural dye. *Optical Materials*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111800>
- Yulianto, B., Septina, W., Fuadi, K., Fanani, F., Muliani, L., & Nugraha. (2010). Synthesis of nanoporous TiO₂ 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>
- Zheng, D., Yang, X., Čuček, L., Wang, J., Ma, T., & Yin, C. (2024). Revolutionizing dye-sensitized solar cells with nanomaterials for enhanced photoelectric performance. *Journal of Cleaner Production*, 464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142717>