

Preparasi Poli Tanin Untuk Meningkatkan Efisiensi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Annisa Ade Putri¹, Hardeli^{2*}, Fajriah Azra³, Minda Azhar⁴

^{1,2,3,4}Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Indonesia

*hardelil@yahoo.com

Abstract — DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) is a type of third-generation solar cell based on dye as a photon absorber that has been widely used. In this study, modifications were made to tannin dyes to increase double bonds. Modifications were also carried out on the semiconductor by means of TiO₂-CuO doping. TiO₂-CuO doping can reduce the energy gap thereby increasing the TiO₂ conductivity. The dyes were characterized using FTIR and GC-MS, while the TiO₂-CuO doping was characterized using a UV-DRS Spectrophotometer. The results of FTIR characterization of poly tannin dyes have shown specific groups of polymerization of polytannin glutaraldehyde resin. The characterization of TiO₂-CuO doping showed a decrease in the energy gap of 3,2 eV to 3,01 eV. The highest efficiency was produced at 90 minutes polymer time with a tannin monomer concentration of 0,4 M of 8,332%.

Keywords: DSSC, Poly tannin, TiO₂-CuO, doping.

I. PENDAHULUAN

Sumber energi didunia seiring waktu semakin menipis. Salah satunya sumber energi listrik yang berasal dari bahan bakar minyak bumi semakin berkurang, sedangkan penggunaan listrik setiap waktu meningkat. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan alternatif lain yang dapat menghasilkan energi listrik [1]. Salah satu sumber untuk mengatasinya ialah penggunaan sel surya dari energi matahari. Energi matahari merupakan sumber energi terbesar yang jika terpakai secara terus-menerus tidak akan habis, tidak mengandung polusi, kontinyu dan gratis. Energi matahari inilah yang akan dikonversi menjadi energi listrik [2].

Sel surya bekerja dengan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Sebagian besar teknologi sel surya berbahan dasar silikon sebagai semikonduktor. Penerapan sel surya silikon masih tergolong mahal dan preparasinya melibatkan bahan kimia berbahaya. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan alternatif solar cell lain, salah satunya DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). DSSC menggunakan bahan dasar organik yang ramah lingkungan dengan harga lebih terjangkau [3].

DSSC merupakan salah satu jenis sel surya generasi ketiga yang berbasis zat warna (*dye*) sebagai *fotosensitizer* (penyerap foton). DSSC memiliki kelemahan yaitu efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan sel surya generasi pertama. Salah satu faktor yang mempengaruhi kecilnya efisiensi DSSC, adalah jenis jenis *dye* yang digunakan. Ada 2 jenis *dye*, yaitu *dye* sintesis dan alami. *Dye* alami lebih ramah lingkungan dan melimpah di alam dibandingkan *dye*

sintesis, namun daerah serapannya relatif kecil dari *dye* sintesis [4].

Jenis zat yang dapat memberikan pigmen warna yaitu antosianin, *betha-Carotene*, tanin, klorofil dan xantofil. Pigmen warna dari poli tanin (pT) digunakan untuk zat warna (*dye*) alami. Tanin termasuk senyawa fenolik yang memiliki gugus kromofor (ikatan rangkap tunggal terkonjugasi). Gugus inilah yang dapat menyerap sinar UV A dan UV B [5]. Pada penelitian dilakukan modifikasi senyawa tanin agar tidak mudah larut dalam air dan terdekomposisi. Tanin dimodifikasi dengan polimerisasi membentuk "*wattle tanin*" (tanin terkondensasi) kedalam bentuk matriksnya yang tidak mudah larut dalam air [6]. Senyawa multi phenolic hydroxyls yang terdapat dalam tanin dapat terkondensasi dan mampu mengikat banyak jenis ion logam [7]. Hasil polimerisasi tanin ini akan membentuk poli tanin yang nantinya digunakan sebagai *dye*. Proses polimerisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi dari crosslinker, monomer dan inisiator, massa surfaktan, suhu serta waktu saat polimerisasi. Pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi monomer tanin dan waktu reaksi polimerisasi untuk melihat konsentrasi maupun waktu optimum yang dihasilkan sehingga mempengaruhi nilai efisiensi DSSC.

Selain polimerisasi pada zat warna, pada aplikasi DSSC, TiO₂ sering digunakan karena merupakan semikonduktor *inert*. TiO₂ merupakan material fotokatalis yang mempunyai daya oksidasi kuat, *photostabilitas* yang tinggi dan selektivitas redoks. TiO₂ berperan sebagai akseptor atau kolektor electron pada DSSC [8]. Untuk meningkatkan kinerja daya serap TiO₂, modifikasi

dilakukan dengan metode doping logam. Logam yang akan digunakan yaitu logam transisi CuO (Tembaga Oksida). Doping merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengubah sifat dasar dari fisik dan listrik pada material [9].

II. METODE PENELITIAN

A. Alat

Alat yang digunakan diantaranya refluks dan *magnetic stirrer*, gelas kimia, spatula, corong buncher, batang pengaduk, selotip, erlenmeyer, cawan petri, pompa vakum, oven, *ultrasonic bath*, multimeter digital, botol penyimpanan, *rotary vacuum evaporator* JP Selekt RS 3000-V, dan *sentrifuge*. Sementara instrumen yang digunakan ialah UV-DRS, FTIR, serta multimeter.

B. Bahan

Bahan yang digunakan diantaranya tanin, 36% HCl dan 34-38% HCHO, asetonitril p.a, *Aquabidest*, I₂ (*iodine*), NaOH 1%, GA (*glutaraldehyde*), kaca ITO, TiO₂, alkohol 96%, CuO (Oksida Tembaga(II)), kertas Whatman No.42, PH meter, KI (kalium iodida), polietilen glikol, lilin.

C. Prosedur Kerja

1. *Polimerisasi Dye dari Tanin*. 5 g tanin dimasukkan dalam 500 mL labu refluks yang berisi campuran 50 mL (36% HCl dan 34-38% HCHO) sebagai pelarut. Masukkan ke dalam peralatan refluks sekaligus diaduk *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu 200°C hingga resin tannin-formaldehida terbentuk. Setelah itu, disaring, dicuci beberapa kali dengan aquabides. Selanjutnya dikeringkan pada suhu 80°C selama 1 jam dan resin tanin-formaldehida terbentuk. Sebanyak 0,5 g resin tanin-formaldehida dilarutkan dalam 50 mL larutan NaOH 1%. Campuran alkali resin ini dipanaskan pada suhu 60-70°C dengan pengadukan *magnetic stirring* terus menerus. Selanjutnya, tambah 5 mL GA (pengikat silang). Pada saat pemanasan campuran resin, suhu ditingkatkan hingga 100°C, lalu tambahkan lagi 5 mL GA dan suhu reaksi dinaikkan hingga 200°C dengan pengadukan terus menerus selama 1 jam. Resin ikatan silang didinginkan hingga suhu 37°C (suhu kamar), di saring, dicuci sampai pH netral dengan aquabides. Selanjutnya dipanaskan dan dikeringkan semalaman pada suhu 105°C dalam oven vakum. Produk resin yang diperoleh *polytannin glutaraldehyde resin* (PTGR) [10]. Karakterisasi zat warna *poly tannin* menggunakan FTIR.
2. *Persiapan dan Pembersihan Kaca ITO*. Kaca ITO dipotong berukuran 2,5 cm x 1,25 cm, selanjutnya sisi pada kaca diampas hingga halus. Kaca ITO dimasukkan ke dalam gelas kimia 200 mL yang berisikan alkohol 70%. Gelas kimia yang telah diisi dengan alkohol 70% dan kaca ITO kemudian dimasukkan kedalam *ultrasonic cleaner*. Pada

proses pembersihan atur waktu *ultrasonic cleaner* selama 60 menit [11].

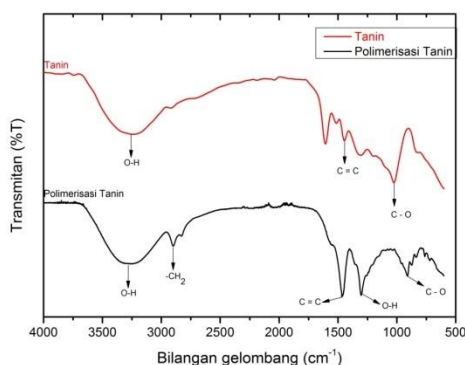
3. *Sintesis TiO₂ doping CuO*. Timbang 0,0475 gram TiO₂ dan CuO 0,025 gram. TiO₂ dan CuO dicampurkan dalam metanol p.a 200 mL. Selanjutnya selama 60 menit distirrer hingga sol terbentuk dan homogen. Sol TiO₂-CuO disonikasi selama 30 menit. Selanjutnya dioven selama 60 menit pada suhu 95°C. Sol TiO₂ doping CuO dapat dilapisi ke kaca ITO [12].
4. *Pelapisan TiO₂-CuO pada Kaca ITO*. Kaca ITO berukuran 1,25 x 2,5 cm dibentuk area menggunakan *scotch tape* dengan ukuran 1 x 1,25 cm. Kemudian kaca dideposisikan pasta TiO₂-Cu dan diratakan menggunakan metode *doctor blade*. Lapisan yang terbentuk selanjutnya dipanaskan di atas *hot plate* yang dilapisi alumunium foil, pemanasan dilakukan pada suhu 100°C selama 30 menit [13].
5. *Persiapan Elektrolit Semi Padat*. Pada gelas kimia pertama yang telah berisi 6 mL asetonitril, larutkan KI sebanyak 0,498 g. Untuk gelas kimia kedua, larutkan juga 0,076 g I₂ pada 6 mL asetonitril dan diaduk sampai homogen. Selanjutnya, kedua larutan yang telah homogen dicampurkan dan diaduk kembali. Sebanyak 2,4 gram polietilen glikol (PEG) dimasukkan dan diaduk ke dalam larutan elektrolit hingga membentuk gel [14].
6. *Preparasi Counter Electrode*. Counter elektroda dipreparasi dengan melapisi kaca ITO dengan karbon. Karbon yang dipergunakan berasal dari asap pembakaran lilin. Bagian konduktif dari kaca ITO dengan ukuran 1,25 x 2,5 cm dilewatkan pada nyala api dari lilin. Karbon *black* (lapisan warna hitam) akan terbentuk pada permukaan kaca ITO yang dilewatkan. Kemudian pada pinggir kaca ITO dibuatkan offset sehingga area kaca yang dilapisi karbon tinggal 1 x 1,25 cm [15].
7. *Perakitan DSSC*. Setelah komponen DSSC berhasil dibuat kemudian dilakukan fabrikasi untuk membentuk sel surya dengan langkah-langkah : a. Lapisan film tipis TiO₂ yang telah didoping dengan CuO kemudian direndam selama 30 menit dalam larutan zat warna (*dye*) yang telah dipolimerisasi. b. Zat warna (*dye*) yang telah terserap pada film tipis TiO₂-CuO dibiarkan hingga mengering. Setelah itu, elektroda counter karbon kemudian diletakkan di atas lapisan TiO₂-CuO yang telah dilapisi *dye* dengan struktur sandwich, dimana kontak elektrik diberi offset sebesar 0,25 cm pada masing-masing ujung. Pada kedua sisi struktur selnya dijepit dengan klip agar lebih tersusun. c. Langkah selanjutnya larutan elektrolit kemudian diteteskan kira-kira sebanyak 2 tetes diantara celah film tipis TiO₂-CuO yang telah menyerap *dye* dan kedua elektroda karbon. d. DSSC yang telah dirangkai siap untuk diuji [16].

8. *Pengujian Arus Listrik Sel Surya*. DSSC yang sudah di rangkai dilakukan pengujian tegangan serta arus yang terukur dari sel surya dengan multimeter digital. Sumber cahaya yang dipergunakan berasal dari reaktor UV yang mempunyai daya 24 watt/m². Tegangan dan arus yang diperoleh dapat menentukan nilai efisiensi dari sel surya.

III. PEMBAHASAN

A. *Karakterisasi Zat Warna dengan FTIR*

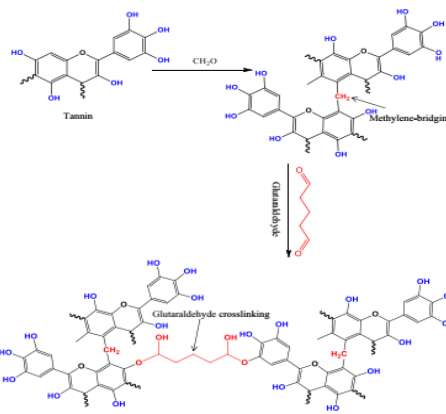
Keseluruhan Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui jenis ikatan dan mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada tanin maupun poli tanin. Untuk karakterisasi FTIR dari zat warna resin *polytannin glutaraldehyde resin* (PTGR) pengujian dilakukan pada rentang panjang gelombang 4000-500 cm⁻¹. Karakterisasi zat warna dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara tanin murni dengan poli tanin dan mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada polimer. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR tanin murni dan poli tanin dapat ditunjukkan oleh Gambar. 1.



Gambar 1. Spektrum FT-IR tanin murni dan *polytannin glutaraldehyde resin* (PTGR).

Gambar 1 menunjukkan semua puncak atau pita dari karakterisasi FTIR diatas telah mengkonfirmasi keberadaan senyawa fenolik pada *polytannin glutaraldehyde resin* (PTGR). Sedangkan Spektrum FT-IR pada tanin murni tidak menunjukkan adanya spektrum jembatan metilen (-CH₂). Data sampel dari PTGR dapat dilihat dalam tabel 1.

Reaksi yang terjadi pada sintesis PTGR sebagai berikut :



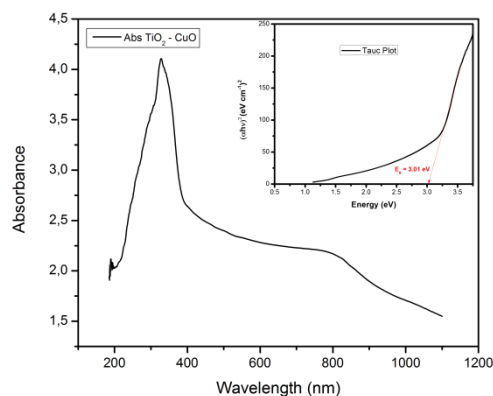
Gambar 2.Reaksi Sintesis PTGR [17].

TABEL 1
INTERPRETASI SPEKTRA FT-IR TANIN DAN PTGR

Gugus Fungsi	Interpretasi Data		
	Data Sampel Tanin (cm ⁻¹)	Data Sampel Poli Tanin (cm ⁻¹)	Data Literatur (cm ⁻¹)
O-H (fenol)	3240,56	3281,94	3600-3200
-CH ₂ (metilen)	-	2938,60	2960-2850
C=C (aromatis)	1513,55	1558,51	1600-1500
C-O (karbonil)	1024,64	1020,36	1300-1000
O-H (ikatan H)	-	949,96	3600-200

B. *Karakterisasi TiO₂-CuO dengan Spektrofotometer UV-DRS*

Karakterisasi TiO₂-CuO dilakukan untuk menganalisis besarnya energi band gap yang dihasilkan pada nanopartikel doping. Pengukuran UV-Vis energi celah pita ditentukan dengan membuat persamaan Tauc plot yang menghubungkan koefisien absorbance (α) seperti terlihat pada Gambar. 2.



Gambar 3. Grafik *energy gap* TiO₂-CuO dengan Spektrofotometer UV-DRS.

Gambar 3 menunjukkan nilai *energy gap* TiO₂ pada fase anatase adalah sebesar 3,2 eV dan penyerapan terhadap sinar matahari hanya sebesar 5% pada spektrum ultraviolet

(UV) dengan panjang gelombang 400 nm. Oleh karena itu untuk meningkatkan fotokatalitik dari TiO₂ dilakukan doping menggunakan material CuO. TiO₂ setelah didoping dengan CuO energy gap menjadi 3,01 eV seperti tertera pada gambar di atas. Penurunan energy gap ditentukan dengan persamaan *Tauc plot*. Persamaan *Tauc plot* dihitung berdasarkan nilai absorbance TiO₂-CuO.

TABEL 2
NILAI BAND GAP DARI TiO₂ DAN TiO₂-CUO

Sampel	Data Sampel Tanin (cm ⁻¹)
TiO ₂	3,2 eV
TiO ₂ -CuO	3,01 eV

Berdasarkan pada tabel 2 penurunan terjadi akibat pendopingan CuO pada TiO₂ sehingga lebar dari *band gap* mengecil. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya *band gap* tambahan diantara pita sehingga jarak antara pita konduksi dan pita valensi menjadi lebih dekat pada saat terjadinya eksitasi elektron (e). Doping juga dapat meningkatkan konduktivitas pada TiO₂, karena semakin kecil *band gap* maka laju rekombinasi *electron-hole* akan semakin kecil. Oleh karena itu, energi foton yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron semakin menurun [18].

C. Perhitungan Efisiensi DSSC

Pengukuran efisiensi DSSC yaitu pada saat sel mengkonversi foton menjadi energi listrik dengan bantuan cahaya lampu UV 24 Watt/m². Efisiensi didapatkan saat mengukur hambatan pada sisi konduktif kaca ITO dan tegangan yang dihasilkan dari sel menggunakan multimeter digital. Dari hasil hambatan dan tegangan dari sel DSSC, dapat diketahui arus listrik yang dihasilkan menggunakan persamaan

$$I = \frac{V}{R} \tag{1}$$

dimana : I = arus yang dihasilkan

V = tegangan (Volt)

R = resistensi (Ohm) [19].

Nilai dari efisiensi yang dihasilkan DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) di dapat dari pengukuran hambatan dan tegangan dengan bantuan cahaya matahari. Pada penelitian digunakan cahaya dari lampu UV 24 Watt dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in} \times Luas Kaca} \times 100\% \tag{2}$$

dimana : P_{max} = daya maksimum

P_{in} = daya dari sumber cahaya.

Daya maksimum yang dihasilkan DSSC dihubungkan dengan persamaan dibawah ini :

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \tag{3}$$

dengan : V_{max} = tegangan maksimum dibagi dengan luas permukaan daerah substrat.

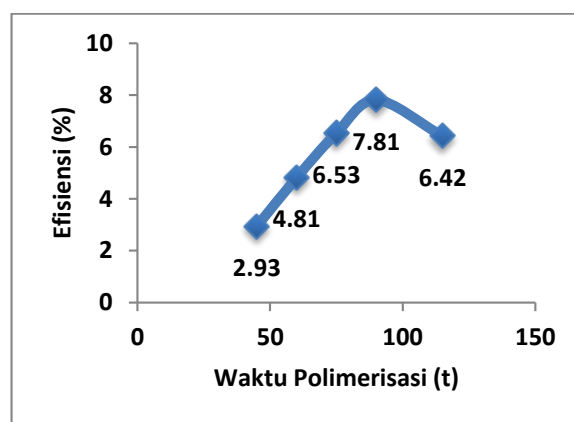
I_{max} = arus maksimum dibagi luas permukaan daerah substrat.

Pengujian efisiensi pada DSSC dilakukan dengan memvariasikan waktu polimerisasi. Pengukuran efisiensi yaitu pengaruh dari variasi waktu polimerisasi tanin dan waktu optimum yang dapat menghasilkan nilai efisiensi maksimum DSSC.

TABEL 3
HASIL PENGUKURAN TEGANGAN, HAMBATAN DAN EFISIENSI DSSC TERHADAP VARIASI WAKTU POLIMERISASI TANIN SAAT PENAMBAHAN GLUTARALDEHYDE

Waktu (menit)	Tegangan (V)	Hambatan (Ω)	Efisiensi (%)
45	0,142	229,1	2,93
60	0,183	231,9	4,81
75	0,208	220,7	6,53
90	0,231	227,5	7,81
115	0,212	233,2	6,42

Dari data Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada variasi waktu 45 menit menghasilkan nilai efisiensi DSSC paling rendah yaitu sebesar 2,93 %, hal ini disebabkan oleh hasil polimerisasi tanin setelah penambahan *Glutaraldehyde*. Hasil poli tanin saat waktu 45 menit sangat encer dan poli tanin yang terbentuk belum sempurna sehingga mempengaruhi nilai efisiensi DSSC yang dihasilkan. Efisiensi dari DSSC naik saat waktu polimerisasi ditingkatkan, namun terjadi penurunan saat mencapai kondisi optimum. Efisiensi menurun pada variasi waktu 115 menit. Hasil berikut menunjukkan bahwa waktu optimum yang dapat menghasilkan efisiensi tertinggi untuk DSSC adalah pada waktu 90 menit. Grafik pengaruh waktu polimerisasi tanin terhadap efisiensi DSSC dapat dilihat pada Gambar. 3.



Gambar. 3. Pengaruh Waktu Polimerisasi Tanin terhadap Efisiensi DSSC

Gambar 3 menunjukkan bahwa efisiensi DSSC semakin meningkat dengan semakin lamanya waktu polimerisasi, namun terjadi penurunan pada saat kondisi sudah mencapai optimum. Penurunan terjadi pada waktu 115 menit, karena poli tanin yang dihasilkan menjadi sangat kental dan susah untuk menyerap ke permukaan doping TiO₂-CuO. Hal ini dijelaskan bahwa semakin lama waktu pembuatan resin *polytannin glutaraldehyde resin* (PTGR) maka rantai polimer yang terbentuk semakin panjang. Semakin panjang rantai yang terbentuk atau semakin besarnya ukuran polimer, maka polimer semakin sukar larut atau kental. Adanya ikatan rantai cabang karena reaksi crosslinker mengakibatkan polimer yang terbentuk semakin keras [20]. Polimer yang keras akan menyebabkan susahnya zat warna (*polytannin glutaraldehyde resin* (PTGR)) menyerap ke permukaan doping TiO₂-CuO. Waktu optimum polimerisasi yang dapat menghasilkan resin untuk efisiensi DSSC adalah 90 menit

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan bahwa waktu polimerisasi optimum yang menghasilkan nilai efisiensi DSSC tertinggi adalah pada waktu polimer 90 menit setelah penambahan *crosslinker* (*glutaraldehyde*) yaitu sebesar 7,81 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak/ibu analisis Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

REFERENSI

- [1] Prasetyowati, R., Katriani, L., & Ambarwati, Y. (2017). Studi Preparasi Dan Karakterisasi Sel Surya Berbasis Titania Melalui Penyisipan Logam Tembaga (Cu) Dengan Berbagai Variasi Massa Pada Lapisan Aktif Titania. *Jurnal Sains Dasar*, 6(1), 1–7.
- [2] Andari, Rafika. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(2).
- [3] Andari, R. (2020). Distance Variation of Light Source Effects toward Dye- Sensitized Solar Cell (DSSC) Performance using Anthocyanin Extract from Rosella Flower. *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 5(1), 31–35.
- [4] Fistiiani, M. D., Nurosyid, F., & Suryana, R. (2017). Pengaruh Komposisi Campuran Antosianin-Klorofil sebagai Fotosensitizer terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 13(1), 19.
- [5] Pramiastuti, O. (2019). Penentuan Nilai Spf (Sun Protection Factor) Ekstrak Dan Fraksi Daun Kecambah (*Etilingera Elatior*) Secara In Vitro Menggunakan Metode Spektrofotometri. 8(1), 14–18.
- [6] Nurkaromah, A., & Sukandar. (2017). Modifikasi Tanin Dari Biomassa Daun Akasia (*Acacia mangium wild*) Dengan Cara Polimerisasi Sebagai Biosorben Untuk Logam Pb (II). *Env. Engineering & Waste Management*, 2(2), 79–91.
- [7] Binaecian, E., Seghatoleslami, N., Javad Chaichi, M., & Tayebi, H. Allah. (2017). Preparation of titanium dioxide nanoparticles supported on hexagonal mesoporous silicate (HMS) modified by oak gall tannin and its photocatalytic performance in degradation of azo dye. *Advanced Powder Technology*, 28(8), 1989. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apt.2016.03.012>
- [8] Hardani, H., Darmaja, H., Darmawan, M. I., Cari, C., & Supriyanto, A. (2016). Pengaruh Perubahan Intensitas Cahaya Halogen Ruthenium (N719) Fotosensitizer Dalam Dye-Sensitized Solar Cell(Dssc). *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 6(2), 70. <https://doi.org/10.26740/jpfa.v6n2.p70-76>.
- [9] Durri, S., & Sutanto, H. (2015). Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO doping Al yang di Deposisi diatas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating (Halaman 38 s.d. 40). *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55), 38–40. <https://doi.org/10.22146/jfi.24371>.
- [10] Alhumaimess, M. S., Alsohaimi, I. H., Alqadami, A. A., Khan, M. A., Kamel, M. M., Aldosari, O., Siddiqui, M. R., & Hamedelniei, 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>.
- [11] Kumara, M. S. W., & Prajitno, G. (2012). Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (*Amaranthus Hybridus L .*) Dssc. *Jurnal Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Noverber*. Surabaya, 11.
- [12] Sanjaya, H., Rida, P., & Nigsih, S. K. W. (2017). Degradasi Methylene Blue Menggunakan Katalis ZnO-PEG Dengan Metode Fototonolisis. *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, 18(02), 21–29. <https://doi.org/10.24036/eksakta/vol18-iss02/45>.
- [13] Hardeli, H., Sanjaya, H., A, N. F., & Lasmi, Y. (2020). Zn Electrodeposition of Titanium Dioxide for the Application of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with Extracts of Natural Dyes That Were Co-pigmented with Salicylic Acid. *International Conference on Biology, Sciences and Education (ICoBioSE 2019)*, 10, 376–383.
- [14] 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.
- [15] 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>.
- [16] Hardeli, Fernando, T., Maulidis, & Ridwan, S. (2013). Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. 155–162.
- [17] Alhumaimess, M. S., Alsohaimi, I. H., Alqadami, A. A., Khan, M. A., Kamel, M. M., Aldosari, O., Siddiqui, M. R., & Hamedelniei, 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>.
- [18] Hanif Rahman, F., Rokhmat, M., & Wibowo, E. (2019). Fabrication of Titanium Dioxide Based Solar Cells with Gold Particle Insertion using Electroplating Method. *E-Proceeding of Engineering*, 6(11), 1165–1172.
- [19] 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.
- [20] Purwaningsih, W., Prasetya, A., & Hasokowati, W. (2010). Pengaruh Mikrokapsul Dari Urea-Formaldehid : Pengaruh Waktu dan Perbandingan Reaktan pada Pembuatan Resin Terhadap Proses Mikroenkapsulasi. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses 2010*, 2002, 1–6.