

# Pengaruh Konsentrasi NaOH Terhadap Pembentukan Poli Tanin sebagai Zat Warna Pada *Dye Sensitized Solar Cell*

Widi Feronika, Hardeli\*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang  
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp 0751 7057420.

\*hardeli1@yahoo.com

**Abstract** — *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) is a third generation solar cell that uses natural dyes to absorb photons from sunlight which will be converted into electrical energy. This study aims to produce a high efficiency of the dye used. Polymerization is one of the methods used to increase the number of  $\pi$ - $\pi^*$  bonds in dyes. Tannin are organic compounds, polymerization of tannin uses a crosslinked agent glutaraldehyde to produce polytannins. ITO glass coated with  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  was prepared by the sol-gel method. DSSC is assembled like a sandwich structure, then tested for resistance and voltage using a digital multimeter. Dye will be characterized using FT-IR. The result of the FT-IR test were carried out to confirm the formation of polytannins which were indicated by the presence of methylene groups formed between the tannin monomers at wavelength 2940 and 2877  $\text{cm}^{-1}$ , while in bands 1645, 1398 and 1023  $\text{cm}^{-1}$  there were C-C, C-H groups in the aromatic ring and C-O. The highest DSSC efficiency is 7.3% at 1.5% NaOH concentration.

**Keywords** — *Dye Sensitized Solar Cell*, Polymerization, Tannin, Polytannin and  $\text{TiO}_2$ .

## I. PENDAHULUAN

Sel surya merupakan serangkaian alat yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang menggunakan bahan semikonduktor melalui efek fotovoltaiik [1]. Sel surya terbagi atas tiga generasi yaitu generasi pertama ialah sel surya silikon tunggal dan multi silikon, generasi kedua ialah sel surya dengan tipe film tipis dan generasi ketiga ialah *dye sensitized solar cell* yang ditemukan pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel di Swiss. *Dye sensitized solar cell* sangat ramah lingkungan, tidak beracun dan harganya pun murah, akan tetapi efisiensi yang dihasilkan masih rendah [2].

*Dye* merupakan zat warna yang digunakan pada DSSC, dimana *dye* bertindak sebagai penyerap foton dan akan mengalami eksitasi elektron. Elektron tersebut akan menginjeksi semikonduktor yang memiliki celah pita (*band-gap*) lebar seperti Titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) [3]. *Dye* yang digunakan pada DSSC yaitu pewarna organik, karena biayanya rendah, mudah untuk disintesis dan ramah lingkungan. *Dye* alami sangat menjanjikan dalam penerapan DSSC dan terdapat pada beberapa pigmen dalam tumbuhan seperti karateniod, klorofil, antosianin, sianin, betanin dan tanin [4].

Tanin ialah makromolekul yang terdapat pada tanaman dengan gugus fungsi polihidroksifenil, yang banyak digunakan sebagai *dye* [5]. Tanin terkondensasi sudah

terkenal, dimana memiliki struktur molekul *cathechin* atau *epicatechin* yang memiliki 15 atom karbon tersusun dalam tiga cincin yang dapat dipolimerisasi. Tiga gugus fungsi utama penyusun tanin yaitu -OH (fenol), C-H (aromatik) dan C=O (karbonil) [6].

Polimerisasi tanin merupakan polimerisasi kondensasi karena menggunakan agen pengikat silang (*crosslinking agents*) dalam pembentukan poli tanin (pT). Agen pengikat silang dapat berupa aldehida atau alkohol seperti *formaldehida*, *glutaraldehida* atau *furfuryl alcohol* [7]. *Glutaraldehida* adalah cairan berminyak dengan dua gugus aldehida dan sangat disukai dalam polimerisasi tanin. Polimerik tanin dengan berat molekul 410,39 Da terikat silang dengan *glutaraldehida* akan membentuk *polytannin glutaraldehida* (PTGR) [5]. Tujuan dilakukan polimerisasi agar ikatan rangkap terkonjugasi yang terbentuk semakin banyak dan memperbanyak penyerapan foton.

Proses pembentukan poli tanin dipengaruhi beberapa faktor seperti konsentrasi inisiator (NaOH), suhu, waktu polimerisasi, konsentrasi monomer, konsentrasi surfaktan, konsentrasi *crosslinking agents*, pH dan kecepatan pengadukan [8]. Konsentrasi inisiator (NaOH) mempengaruhi polimerisasi dimana konsentrasi inisiator berfungsi untuk membuka cincin epoksi sehingga monomer dan agen pengikat silang semakin banyak berikatan karena radikal yang terbentuk semakin banyak. Semakin besar konsentrasi

inisiator maka semakin banyak radikal yang diperoleh sehingga terjadi tumbukan antara radikal dan monomer semakin cepat. Akan tetapi jika konsentrasi inisiator terlalu tinggi akan mempengaruhi polimerisasi karena sifat larutan yang terlalu basa [9]. Suhu mempengaruhi laju reaksi polimerisasi, semakin tinggi suhu maka kecepatan tumbukan dengan monomer semakin besar sehingga terjadi peningkatan jumlah monomer yang berikatan pada *crosslinking agents* [10]. Tanin dapat terurai pada suhu 210°C, oleh karena itu pada penelitian ini memvariasikan suhu saat polimerisasi dibawah suhu optimal pembentukan poli-tanin [11]. Waktu polimerisasi, semakin lama waktu yang digunakan dalam polimerisasi maka polimer yang dihasilkan akan semakin banyak karena terjadi tumbukan antara *crosslinking agents* dan monomer [12]. Konsentrasi monomer, semakin bertambahnya konsentrasi monomer yang akan dipolimerisasi maka polimer yang terbentuk semakin keras dan kaku. Konsentrasi surfaktan, bertambah besar konsentrasi surfaktan yang digunakan maka semakin banyak misel yang terbentuk sehingga proses polimerisasi terjadi dalam misel dan terbentuk polimer emulsi yang stabil [13]. Konsentrasi *crosslinking agents*, semakin bertambah konsentrasi *crosslinking agents* yang digunakan radikal yang terbentuk semakin banyak dan ikatan yang terjadi antara radikal agen pengikat silang dan monomer semakin banyak. pH, semakin bertambah besar pH yang digunakan maka proses reaksi polimerisasi semakin cepaT [12]. Kecepatan pengadukan, semakin bertambah cepat pengadukan saat polimerisasi maka semakin banyak tumbukan antara molekul reaktan sehingga semakin besar reaksi yang terjadi [10].

Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) merupakan fotokatalis yang memiliki *band-gap* 3,2 eV. Fotokatalis mampu menyerap *foton* yang memiliki energi sama atau lebih tinggi dengan tingkat energi *band-gap*, sehingga elektron yang tereksitasi dapat loncat dari *valence band* ke *conduction band*. Keunggulan TiO<sub>2</sub> yaitu fotoaktif, stabil, berlimpah dan murah [14]. Untuk menaikkan fotoaktivitas TiO<sub>2</sub> digunakanlah metode doping dengan tujuan mengurangi *band-gap* TiO<sub>2</sub> [15]. Doping dapat dilakukan dengan mengganti kation Ti<sup>4+</sup> atau anion O<sup>2-</sup>. Biasanya yang menjadi dopan anionik ialah non-logam dan dopan kationik adalah logam [16]. *Silver* (Ag) adalah dopan logam transisi yang terkenal untuk matriks TiO<sub>2</sub> karna memiliki elektron d yang tidak berpasangan. Faktanya menggunakan Ag sebagai dopan dalam semikonduktor TiO<sub>2</sub> dapat mengurangi ukuran partikel dan meningkatkan luas permukaan TiO<sub>2</sub>. Penyisipan logam Ag pada TiO<sub>2</sub> dapat meningkatkan fotokatalis TiO<sub>2</sub> yang di tunjukkan melalui perluasan spektrum absorpsi dengan mempromosikan pemisahan *hole* sehingga mengurangi rekombinasi tingkat pasangan elektron yang diinduksi cahaya [17].

## II. METODA PENELITIAN

### A. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas, spatula, corong, batang pengaduk, selotip, erlenmeyer, cawan penguap, *magnetic stirrer*, oven, termometer, *binder*

*clips*, pingset dan botol penyimpanan. Sementara instrumen yang digunakan ialah UV-Vis DRS, FTIR serta multimeter.

### B. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanin, 36% HCl dan 34-38% HCHO, *Aquabides*, *Aquades*, NaOH, *Glutaraldehyde*, kaca ITO, PVA, TiO<sub>2</sub> degusa P-25, AgNO<sub>3</sub>, alkohol 70%, kalium iodida, iodine, asetonitril p.a, polietilen glikol (PEG) dan lilin.

### C. Prosedur Kerja

#### 1. Preparasi Zat Warna

Sebanyak 2,5 gram tanin ditimbang dan dimasukkan dalam labu alas bulat yang berisi campuran 25 mL (36% HCl dan 34-36% HCOH) sebagai pelarut, diaduk dengan *magnetic stirring* pada suhu 200°C selama 2 jam. Resin kemudian disaring dan dicuci beberapa kali dengan *aquabides*, dikeringkan pada suhu 80°C selama 1 jam dan resin *tannin-formaldehida* terbentuk. 0,25 gram resin *tannin-formaldehida* dilarutkan dalam 25 mL larutan NaOH (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5%). Campuran alkali resin dipanaskan sampai 60-70°C dengan pengadukan *magnetic stirring* terus menerus, selanjutnya ditambahkan 2,5 mL *glutaraldehyde* (pengikat silang). Pada penambahan *glutaraldehyde* dengan pengadukan terus menerus, suhu ditingkatkan hingga 100°C. Produk resin yang diperoleh resin *Polytannin Glutaraldehyde* (PTGR). Resin PTGR dipanaskan pada suhu 105°C dalam oven untuk dikarakterisasi menggunakan FT-IR [7].

#### 2. Preparasi Kaca ITO

Kaca ITO dipotong dengan ukuran 2,5 cm x 1,25 cm kemudian mengamplas bagian tepi kaca. Kaca ITO kemudian dibersihkan dari zat yang tidak diinginkan menggunakan 50 mL alkohol 70% didalam gelas kimia. Kaca ITO dimasukkan kedalam *ultrasonic cleaner* selama 1 jam agar bersih optimal, lalu dikeringkan dan mengukur resistensinya menggunakan multimeter [3].

#### 3. Preparasi Pasta TiO<sub>2</sub>/Ag

1 gram PVA dilarutkan dalam 10 ml aquades dipanaskan pada suhu 80°C sambil diaduk hingga terbentuk suspensi, ditambahkan 1 gram TiO<sub>2</sub> sampai homogen kemudian ditambahkan 0,1 gram AgNO<sub>3</sub>. Campuran diaduk hingga terbentuk pasta [18].

#### 4. Preparasi Elektrolit Semi Padat

Elektrolit yang digunakan ialah larutan elektroit iodida/triiodida. Dimana 0,498 gram kalium iodida dilarutkan kedalam 6 mL asetonitril dan diaduk, selanjutnya 0,076 gram iodium ditambahkan 6 mL asetonitril dan diaduk hingga homogen. Kedua larutan tersebut ditambahkan 2,4 gram PEG (polietilen glikol) dan diaduk hingga terbentuk gel [19]

#### 5. Preparasi Elektroda Counter

Kaca ITO dilapisi karbon dengan cara meletakkan kaca ITO di atas lilin sehingga asap lilin menempel pada kaca ITO

hingga terbentuk lapisan hitam. Bagian tepi kaca kemudian dibersihkan dengan alkohol [20]

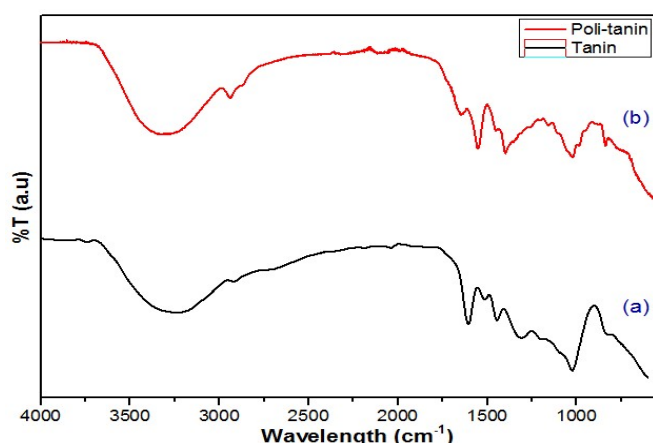
#### 6. Preparasi DSSC

Langkah-langkah perakitan DSSC ialah Kaca ITO yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$  di rendam dalam *dye* poli tanin selama 30 menit. *Dye* yang terserap pada  $\text{TiO}_2$  dibiarkan mengering, lalu larutan elektrolit di teteskan pada permukaan  $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ . Kedua kaca dilekatkan berhadapan dengan elektroda *counter* hingga membentuk struktur *sandwich* dan bagian dua sisi kaca dijepit kemudian ditetesi larutan elektrolit. Rangkaian DSSC siap di uji untuk memperoleh hambatan dan tegangan [3].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Karakterisasi FTIR

Karakterisasi *dye* menggunakan instrumen FT-IR berfungsi untuk memberi informasi gugus fungsi yang terkandung dalam tanin murni dan poli-tanin. Panjang gelombang yang digunakan untuk karakterisasi tanin murni dan poli-tanin ialah  $600\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ .



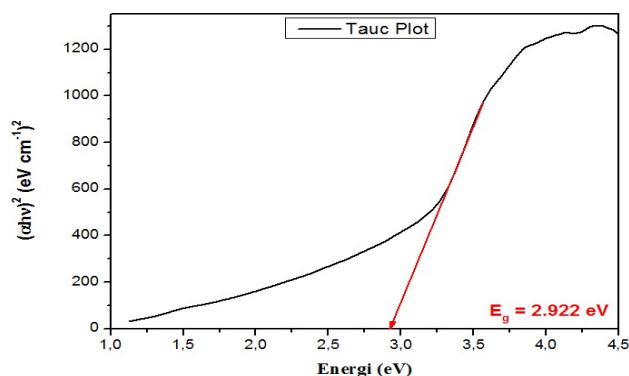
Gambar 1. Spektrum FT-IR (a) Tanin dan (b) Poli-Tanin dengan konsentrasi inisiator 1,5%

Karakterisasi tanin murni bertujuan untuk mengkonfirmasi tiga gugus fungsi penyusun utama tanin. Gugus fungsi penyusun tanin dapat dilihat pada Gambar 1(a) menunjukkan O-H fenol pada *wavelength*  $3241,98\text{ cm}^{-1}$ , C-H aromatik pada *wavelength*  $2909,1\text{ cm}^{-1}$  dan C=O karbonil pada *wavelength*  $1608,81\text{ cm}^{-1}$  [6]. Spektrum FT-IR poli tanin pada Gambar 1(b) menunjukkan bahwa tanin terpolimerisasi dengan adanya pita lebar pada  $3300\text{ cm}^{-1}$  dihubungkan dengan getaran gugus fenolik hidroksil (-OH), dua pita berdekatan pada  $2940$  dan  $2877\text{ cm}^{-1}$  dikaitkan dengan getaran peregang jembatan metilen (-CH<sub>2</sub>) yang terbentuk selama reaksi antara tanin dan formaldehid (HCHO) untuk membuat jaringan ikat silang. Pita  $1645$ ,  $1398$  dan  $1023\text{ cm}^{-1}$  dihubungkan pada getaran cincin aromatik yaitu ikatan C-C, C-H dalam cincin aromatik dan C-O [5].

Tanin mengalami substitusi aromatik elektrofilik, karena reaktivitas neukleofilik yang tinggi yang dihasilkan oleh gugus hidroksil yang terikat cincin aromatik. Polimerisasi pertama menggunakan formaldehid, dimana formaldehid merupakan agen pengikat silang yang efektif untuk tanin terkondensasi dengan membentuk jembatan metilen (-CH<sub>2</sub>) pada posisi reaktif C8 atau C6 diantara monomer tanin. Polimerisasi kedua menggunakan agen pengikat silang glutaraldehid dalam media alkali (NaOH), menghasilkan resin poli-tanin glutaraldehid [21].

#### B. Karakterisasi $\text{TiO}_2/\text{Ag}$ menggunakan UV-Vis DRS

Karakterisasi menggunakan UV-Vis DRS yang berfungsi untuk mengetahui *band-gap* dari  $\text{TiO}_2$  yang telah di doping dengan logam Ag. *Band-gap* merupakan jarak antara pita valensi ke pita konduksi. Nilai *band-gap* dapat ditentukan menggunakan metode *Tauc Plot*. Metode *touc plot* merupakan untuk menentukan *band-gap* dari suatu material dengan cara menarik garis lurus antara energi yang diserap *foton* ( $h\nu$ ) pada sumbu x terhadap hasil kali koefisien serap dengan energi  $(ah\nu)^2$  pada sumbu y. *Band-gap* dapat ditentukan menggunakan persamaan *Tauc Plot* :  $(ah\nu)^n = K (h\nu - E_g)$  [22].



Gambar 2. band-gap  $\text{TiO}_2$

Pada literatur *band-gap*  $\text{TiO}_2$  murni (fase anatase) ialah  $3,2\text{ eV}$ . Pada penelitian ini  $\text{TiO}_2$  yang telah di doping menggunakan logam Ag, *band-gap*nya diperoleh sebesar  $2,922\text{ eV}$ . Logam Ag mampu menurunkan *band-gap*  $\text{TiO}_2$  karena memiliki kemampuan dalam transfer muatan dari kation logam dopan ke ion  $\text{Ti}^{4+}$ , sehingga terjadi perubahan dan membentuk tingkat energi *band-gap*  $\text{TiO}_2$  menjadi rendah. Jari-jari ion logam  $\text{Ag}^+$  lebih besar ( $1,15\text{ \AA}$ ) dibandingkan dengan  $\text{Ti}^{4+}$  ( $0,60\text{ \AA}$ ) memungkinkan hanya sebagian kecil  $\text{Ag}^+$  yang masuk ke kisi  $\text{TiO}_2$  dengan mengganti ion  $\text{Ti}^{4+}$  [23].

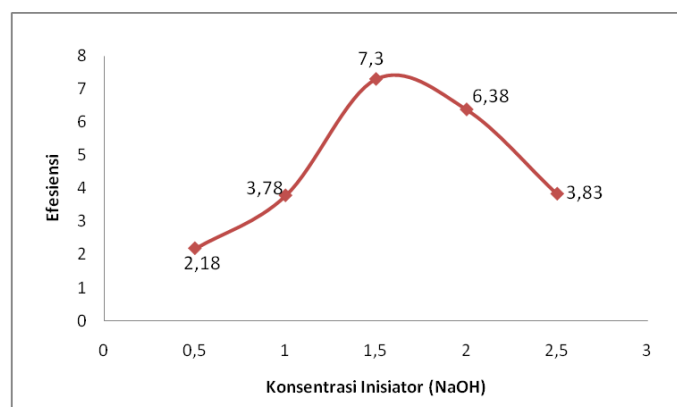
Tujuan dari penurunan *band-gap*  $\text{TiO}_2$  pada DSSC yaitu untuk menambah kinerja DSSC melalui peningkatan efisiensi yang dihasilkan. Semakin kecil nilai *band-gap* maka semakin kecil celah pita semikonduktor  $\text{TiO}_2$  sehingga mempermudah elektron saat tereksitasi/berpindah [24].

#### C. Efisiensi DSSC

Penentuan efisiensi dari DSSC bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi konsentrasi inisiator dalam

mengkonversi *foton* menjadi energi listrik. Efisiensi dapat ditentukan menggunakan multimeter digital dalam mengukur hambatan dan tegangan yang serta bantuan lampu UV 24 watt sebagai pengganti *foton*. Arus listrik yang dihasilkan selama DSSC berlangsung dapat ditentukan dari persamaan :  $V$  (tegangan/ $V$ ) =  $I$  (arus/ $A$ ) .  $R$  (hambatan/ $\Omega$ ) [20].

Berdasarkan hasil penelitian dengan variasi konsentrasi inisiator 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5% bahwa konsentrasi inisiator 1,5% menghasilkan efisiensi DSSC tertinggi yaitu sebesar 7,3% karena radikal (-OH) yang dihasilkan banyak sehingga ikatan rangkap terkonjugasi yang terbentuk lebih banyak dari pada variasi lainnya. Apabila ikatan  $\pi$ - $\pi^*$  yang terbentuk banyak maka cahaya matahari yang diserap banyak, sehingga elektron yang dihasilkan oleh *dye* juga banyak. Hasil endapan pada polimerisasi tanin dengan konsentrasi 1,5% lebih kental dibandingkan variasi lainnya, dikaitkan dengan hasil uji FT-IR bahwa tanin terpolimerisasi sehingga nilai efisiensinya lebih tinggi. Efisiensi DSSC terendah yaitu sebesar 2,18% ditunjukkan pada konsentrasi inisiator 0,5% karena jumlah radikal yang terbentuk sangat sedikit. Konsentrasi inisiator berperan dalam membuka gugus epoksi agen pengikat silang dalam proses polimerisasi.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Konsentrasi Inisiator Polimerisasi terhadap Efisiensi DSSC

Bertambahnya konsentrasi inisiator seperti pada Gambar 3 efisiensi DSSC yang dihasilkan semakin meningkat, akan tetapi setelah mencapai konsentrasasi maksimum efisiensi yang dihasilkan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar konsentrasi inisiator maka semakin banyak radikal (-OH) yang dihasilkan, namun jika konsentrasi inisiator terlalu tinggi maka pembentukan radikal (-OH) lebih cepat sehingga radikal yang bersifat reaktif akan menginisiasi pembentukan homopolimer poli-tanin radikal dengan rantai pendek dalam jumlah yang sangat banyak [25].

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan :

1. Konsentrasi inisiator dapat mempengaruhi polimerisasi tanin dan efisiensi DSSC.
2. Efisiensi maksimum DSSC yang diperoleh dari variasi konsentrasi inisiator 1,5% dengan efisiensi 7,3%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada bapak Dr. Hardeli, M.Si selaku dosen pembimbing dan teman-teman yang membantu dalam pembuatan artikel riset ini.

#### REFERENSI

- [1] Astuti, K. Y. (2018). Pembentukan Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dengan Metode Bervariasi. *Jurnal Jieom*, 1(1), 19–23
- [2] Hanavi, D. P., Afrilia, C. G., Safriani, L., & Aprilia, A. (2019). *Sintesis ZNO Serbuk dan Penggunaannya Sebagai Fotoanoda Pada Sel Surya Tersensitisasi Warna*. 09(01), 44–52.
- [3] Hardeli. (2013). *Dye Sensitized Solar Cells ( DSSC ) Berbasis Nanopori TiO<sub>2</sub> Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami*. *Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 155–162.
- [4] Çakar, S., & Özacar, M. (2016). Fe-tannic acid complex *dye* as photo sensitizer for different morphological ZnO based DSSCs. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 163, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.03.031>
- [5] Alhumaimess, M. S., Alsohaimi, I. H., Alqadami, A. A., Khan, M. A., Kamel, M. M., Aldosari, O., Siddiqui, M. R., & Hamedelnieh, 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>.
- [6] Fangidae, T. S., Morus, T., Bage, P., Anggorowati, A. A., & Sudaryanto, Y. (2020). *Study of Malachite Green Adsorption using Tannin-Based Adsorbent ( TBA ) from Mangrove Bark ( Rhizophora mucronata )*. 14–15.
- [7] Varila, T., Romar, H., Luukkonen, T., Hilli, T., & Lassi, U. (2020). Heliyon Characterization of lignin enforced tannin / furanic foams. *Heliyon*, 6(August 2019), e03228. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03228>.
- [8] Sahiner, N., Sagbas, S., Aktas, N., & Silan, C. (2016). Inherently antioxidant and antimicrobial tannic acid release from poly(tannic acid) nanoparticles with controllable degradability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 142, 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.03.006>
- [9] Sahiner, N., Sagbas, S., & Aktas, N. (2016). Preparation of macro-, micro-, and nano-sized poly(Tannic acid) particles with controllable degradability and multiple biomedical uses. *Polymer Degradation and Stability*, 129, 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2016.04.010>
- [10] Heriyanto, H., K, W. E., & Anggraeni, M. (2016). *Pengaruh Suhu Dan Pengadukan Pada Proses Polimerisasi Ethylen Bi-Stearamide*. 12(1), 137–142.
- [11] Danarto, Y. C., Ajie Prihananto, S., & Anjas Pamungkas, Z. (2011). Pemanfaatan Tanin dari Kulit Kayu Bakau sebagai Pengganti Gugus Fenol pada Resin
- [12] Marsha, N., Hardeli (2020). *Pengaruh Waktu Polimerisasi Pada Pembentukan Poli Asam Humat Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell ( DSSC )*. 9(2), 65–70.
- [13] Helmiyati, Budiando, E., & Arinda, N. (2009). *Polimerisasi Emulsi Etil Akriat: Pengaruh Konsentrasi Surfaktan, Inisiator dan Teknik Polimerisasi terhadap Distribusi Ukuran Partikel*. 13(1), 59–64.
- [14] Varnagiris, S., Medvids, A., Lelis, M., Milcius, D., & Antuzevics, A. (2019). Black carbon-doped TiO<sub>2</sub> films: Synthesis, characterization and photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 382(February), 111941. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.111941>
- [15] Sutrisno, H. (2015). Energi Celah Pita Dalam Tio<sub>2</sub>-Anatas Dan Tio<sub>2</sub>-Anatas Terdahad Perak (Ag). *Prediksi Energi Celah Pita Dalam Tio<sub>2</sub>-Anatas Dan Tio<sub>2</sub>-Anatas Terdahad Perak (Ag)*, 8(2). <https://doi.org/10.35799/cp.8.2.2015.13264>
- [16] Roose, B., Pathak, S., & Steiner, U. (2015). Doping of TiO<sub>2</sub> for sensitized solar cells. *Chemical Society Reviews*, 44(22), 8326–8349. <https://doi.org/10.1039/c5cs00352k>
- [17] Dey, D., Halder, N., Misra, K. P., Chattopadhyay, S., Jain, S. K., Bera,

- P., Kumar, N., & Mukhopadhyay, A. K. (2020). Systematic study on the effect of Ag doping in shaping the magnetic properties of sol-gel derived TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.07.282>
- [18] Prasetyowati, R. (2012). Sel Surya Berbasis Titania Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni 2012*, 453–462.
- [19] Damayanti, R., Hardeli, & Sanjaya, H. (2014). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas L.*). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(2), 148–157.
- [20] 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>
- [21] Santos, S. C. R., Bacelo, H. A. M., Boaventura, R. A. R., & Botelho, C. M. S. (2019). Tannin-Adsorbents for Water Decontamination and for the Recovery of Critical Metals: Current State and Future Perspectives. *Biotechnology Journal*, 14(12), 1–12. <https://doi.org/10.1002/biot.201900060>
- [22] Dandara, M. E., Pingak, R. K., & Johannes, A. Z. (2019). Estimasi Celah Energi Senyawa Hasil Ekstrak Daun Sirsak (*Annona Muricata L.*) Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika : Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 4(1), 48–51. <https://doi.org/10.35508/fisa.v4i1.1049>
- [23] Gogoi, D., Namdeo, A., & Kumar, A. (2019). ScienceDirect Ag-doped TiO<sub>2</sub> photocatalysts with effective charge transfer for highly efficient hydrogen production through water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.127>
- [24] Listiorini, Fahyuan, H. D., & Ngatiyo. (2018). Pengaruh Doping Al Terhadap Band Gap Energy Lapisan Tipis ZnO Abstrak. *JoP*, 4(1), 24.
- [25] D, I. G., Pratama, Y., Asih, ida ayu raka astiti, & Sibarani, J. (2011). Studi Kopolimerisasi Grafting Asam Akrilat (AA) Pada Polirtilen (PE) Dengan Inisiator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>: Sebagai Penukar Kation. *Kimia, ISSN 1907-9850*, 143–155. <https://doi.org/1907-9850>.