

Available online at: <http://reactor.poltekattidg.ac.id/>

REACTOR
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



Peningkatan Efisiensi Poli Tanin Sebagai *Dye* Pada *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan *Crosslinker Glutaraldehyde*

Hanifah Putri Indah Subriadi, Hardeli

Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: February 12, 2023

Revised: May 16, 2023

Available online: June 02, 2023

KEYWORDS

Crosslinker, DSSC, Efficiency, Poly-Tannin Acid

CORRESPONDENCE

Name: Hanifah Putri Indah Subriadi

E-mail: hanifahputrixxx@gmail.com

A B S T R A C T

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is the latest generation of solar cells with dyes as absorbers of photons from sunlight. At this time, the DSSC efficiency obtained is still relatively low so that research on DSSC is still being developed to produce DSSC with higher efficiency. One of the methods used to increase the efficiency of DSSC is polymerization of dyes. Polymerization of dyes aims to increase conjugated double bonds. The more conjugated double bonds, the more photons will be absorbed so that more electrons will flow. In this study, tannins were used as dyes. In the tannin polymerization process, crosslinking agents are used to bind tannin monomers with other tannin monomers. the variable in this study was the volume of the glutaraldehyde crosslinking agent (1.5 mL, 2.5 mL, 3 mL). The results of this study obtained the highest DSSC efficiency of 12.20% at a volume of 2.5 mL of crosslinking agent.

PENDAHULUAN

Penggunaan energi di Indonesia pada saat ini mencapai 10% pertahun dengan 95% bersumber dari bahan bakar fosil. Energi dari bahan fosil adalah energi yang tidak dapat diperbarui sehingga akan mengalami kepunahan. Menurut peneliti, tanpa cadangan energi, bahan bakar fosil akan punah dalam beberapa tahun, dimana minyak sekitar 9 tahun, gas alam sekitar 22 tahun, dan batu bara dalam kurun waktu kurang dari 65 tahun [1].

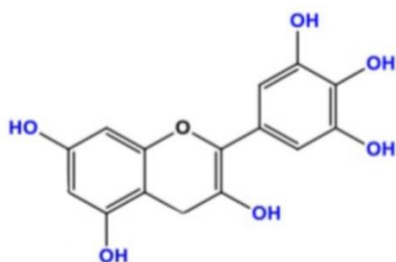
Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan mengembangkan energi alternatif. Energi alternatif yang mulai gencar dikembangkan adalah energi sel surya (*solar cell*) [2]. *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah sel surya generasi terbaru yang tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi dan biaya produksi relatif terjangkau dibandingkan dengan generasi-generasi sebelumnya [3]. Pada saat ini, efisiensi DSSC yang dihasilkan masih rendah sehingga para peneliti melakukan modifikasi pada penyusun DSSC untuk memperoleh efisiensi yang lebih tinggi.

DSSC tersusun dari sepasang elektroda kaca yaitu elektroda lawan dan elektroda kerja. Elektroda lawan terbuat dari TCO berlapis karbon sebagai katalis dan elektroda kerja terbuat dari kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*) berlapis semikonduktor sebagai penghantar listrik dan *dye* sebagai penyerap foton [4].

Dye pada DSSC terbagi dua yaitu organik dan sintesis. Ruthenium merupakan *dye* sintesis yang biasa digunakan pada DSSC tetapi, harganya tergolong mahal karena sulit didapat sehingga pada saat ini peneliti mulai beralih menggunakan *dye* organik yang lebih terjangkau karena dapat diekstraksi dari bagian tumbuhan [5]. *Dye* organik pada pigmen tumbuhan diantaranya karatenoid, antosianin, klorofil, sianin, betanin dan tanin. Pada penelitian ini, tanin digunakan sebagai *dye* pada DSSC.

Tanin tersusun atas campuran kompleks polifenol atom C, H, dan O dengan berat molekul 270 g/mol. Tanin dibagi menjadi dua kelompok yaitu tanin terkondensasi dan tanin terhidrolisis [6]. Tanin terkondensasi lebih sering digunakan karena mudah didapat dan memiliki ikatan rangkap terkonjugasi [7]. Ikatan rangkap terkonjugasi pada *dye* berfungsi untuk menyerap foton

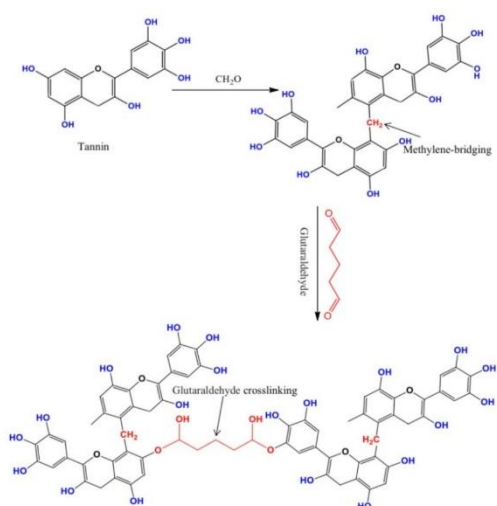
dari matahari dimana semakin banyak ikatan rangkap terkonjugasi, maka semakin banyak foton yang diserap sehingga elektron yang dialirkan semakin banyak [8].



Gambar 1. Struktur Tanin [9].

Salah satu upaya untuk memperbanyak ikatan rangkap terkonjugasi pada *dye* adalah polimerisasi. Polimerisasi merupakan reaksi pembentukan polimer dengan susunan ulang tertentu sehingga terjadi proses penambahan ikatan terkonjugasi [10]. Reaksi polimerisasi berdasarkan proses dibedakan menjadi dua, yaitu polimerisasi adisi yang melibatkan radikal bebas untuk menghasilkan polimer dan polimerisasi kondensasi yang merupakan reaksi antar gugus fungsi dari monomer [11].

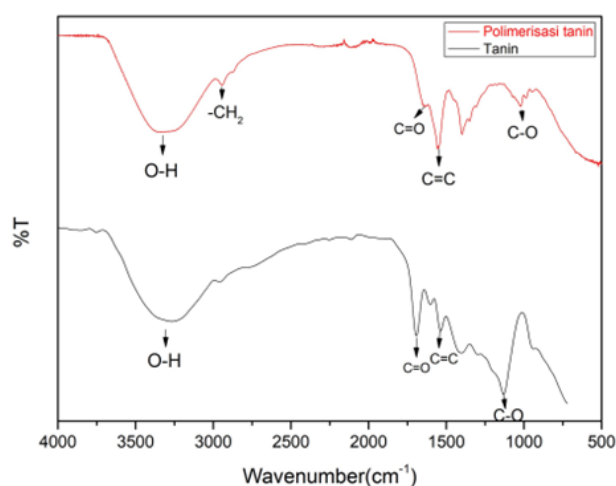
Polimerisasi tanin termasuk polimerisasi kondensasi yang melibatkan *crosslinker* untuk pembentukannya menjadi poli tanin (pT). Aldehida seperti *glutaraldehyde* dan *formaldehida* adalah *crosslinker* yang sering digunakan [12]. *Glutaraldehyde* sangat disukai dalam polimerisasi tanin karena *glutaraldehyde* adalah cairan berminyak yang memiliki dua gugus aldehida. Polimerik tanin yang berikatan silang menggunakan glutaraldehyde akan menghasilkan *polytannin glutaraldehyde* (PTGR) [9].



Gambar 2. Reaksi Polimerisasi Tanin Menggunakan *Glutaraldehyde* [9].

Hasil polimerisasi kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus yang

terbentuk setelah menjadi poli tanin. Berdasarkan penelitian sebelumnya, gugus fungsi yang diidentifikasi dari spektrum FTIR tanin dan poli tanin, yaitu gugus O-H dari fenol pada panjang gelombang 3600-3000 cm^{-1} , gugus C=C aromatis pada panjang gelombang 1675-1500 cm^{-1} , gugus C=O pada panjang gelombang 1820-1600 cm^{-1} , gugus C-O pada panjang gelombang 1100-1000 cm^{-1} , dan adanya gugus CH₂ metilen pada panjang gelombang 3000-2700 cm^{-1} sebagai penanda terjadinya polimerisasi [13].



Gambar 3. Hasil FTIR Tanin dan Poli Tanin [2]

Berdasarkan penjelasan tersebut, penulis tertarik untuk mengfabrikasikan DSSC menggunakan poli tanin sebagai *dye*. Pada penelitian ini, volume *crosslinker glutaraldehyde* divariasikan untuk meningkatkan efisiensi poli tanin sehingga efisiensi DSSC yang dihasilkan semakin tinggi.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnetic stirer, gelas kimia, erlenmeyer, pipet tetes, batang pengaduk, spatula, scotch tape, gelas ukur, oven, penjepit besi, binder clips, neraca digital, labu alas bulat, corong cawan penguap, termometer, ultrasonic cleaner, pingset, dan FTIR. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanin terkondensasi (bersumber dari daun teh), alkohol 70%, NaOH, aquadest, TiO₂, KI (kalium iodida), I₂ (iodine), asetonitril, PEG (polietilen glikol), kaca ITO, lilin, korek api, PVA, glutaraldehyde, formaldehida 37%, HCL 36%, ZnO, aquabidest, metanol p.a, etanol, kertas saring, aluminium foil, dan *cotton bud*.

Preparasi Dye

Sebanyak 2,5 g tanin dimasukkan ke dalam labu alas bulat yang berisi campuran 15 mL 36% HCl dan 20 mL 37% HCOH, kemudian direfluks selama 2 jam dengan

suhu 110 °C. Resin disaring dan dicuci beberapa kali dengan aquabidest, kemudian dioven selama 1 jam dengan suhu 80 °C.

Sebanyak 0,25 g hasil resin yang telah dioven kemudian dilarutkan dengan 25 mL NaOH 2%. Campuran kemudian dipanaskan dan *stirrer* dengan suhu 60-70 °C dan ditambahkan kedalam variasi (1,5, 2,5, 3,0 g) *glutaraldehyde*. Setelah ditambahkan, suhu ditingkatkan hingga mencapai 100 °C. Produk yang terbentuk *Polytannin Glutaraldehyde* (PTGR), kemudian dipanaskan dengan suhu 100 °C untuk dikarakterisasi menggunakan FTIR [12].

Preparasi Elektrolit

0,5 g KI dan 0,1 g I₂ ditimbang kemudian, dilarutkan dengan 12 mL asetonitril hingga homogen. Pada campuran 2,4 g PEG ditambahkan dan diaduk hingga membentuk gel [14].

Preparasi Kaca ITO

Kaca ITO dipotong menjadi ukuran 1,25 x 1,25 cm kemudian direndam dengan 200 mL alkohol 70% pada *ultrasonic cleaner* selama 1 jam. Kaca ITO kemudian dikeringkan dan diukur resistensinya menggunakan multimeter digital [15].

Preparasi Pasta TiO₂ Doping ZnO

0,475 g TiO₂ dan 0,025 g ZnO dicampurkan dalam metanol p.a 4 mL kemudian di *stirrer* selama 1 jam [16].

Preparasi Pasta ZnO

0,5 g ZnO dan 4 mL *methanol* dicampur kemudian dilakukan *stirrer* pada suhu 80 °C selama 1 jam [17].

Preparasi Elektroda Lawan

Sisi Konduktif kaca ITO dipanaskan diatas lilin hingga membentuk lapisan tebal berwarna hitam, kemudian dibentuk sesuai ukuran 1 cm x 1 cm dan dirapikan menggunakan *cotton bud* [14].

Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Pada kaca ITO dibentuk tempat TiO₂ yang telah didoping ZnO dan dideposisikan menggunakan *scotch tape* sehingga membentuk area sebesar 1 cm x 1 cm. Pasta ZnO-TiO₂ kemudian diletakkan pada permukaan kaca ITO dan diratakan dengan metode *doctor blade*. Setelah mengering, pasta ZnO dideposisikan diatas pasta ZnO-TiO₂ kemudian dikeringkan kembali dengan *hot plate* yang dilapisi *aluminium foil*. Kaca ITO yang dideposisikan pasta ZnO-TiO₂/ZnO kemudian direndam dalam *dye* poli tanin selama 30 menit dan biarkan mengering.

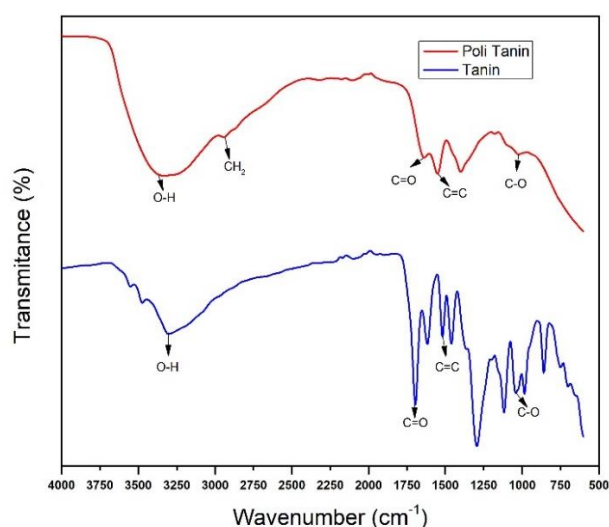
Kaca dengan elektroda lawan diletakkan diatas ZnO-TiO₂/ZnO yang telah dilapisi *dye* dengan struktur

sandwich, dimana masing masing ujung diberi *offset* sebesar 0,25 cm sebagai kontak elektrik dan dijepit menggunakan *binder clips* dikedua sisi. Sebanyak 2 tetes larutan elektrolit ditetes pada ruang diantara kedua elektroda [18].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Dye

Dye yang digunakan dikarakterisasi menggunakan instrumen Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Berdasarkan hasil karakterisasi terjadi pergeseran daerah serapan dan munculnya gugus fungsi yang berbeda pada *dye* yang dipolimerisasi. Hasil karakterisasi dari *dye* serta interpretasinya dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4. Spektra FTIR Tanin Murni dan Poli Tanin

Hasil karakterisasi infra merah, menunjukkan bahwa pada tanin murni terdapat gugus fungsi (-OH) fenolik pada daerah serapan 3301,19 cm⁻¹ dengan intensitas yang kuat dan lebar dan gugus fungsi (C-O) pada daerah serapan 1024,64 cm⁻¹. *Dye* tanin dapat menyerap sinar tampak karena adanya ikatan rangkap terkonjugasi yang menyerap sinar tampak [2]. Hal ini ditunjukkan dengan adanya ikatan (C=C) aromatis pada daerah serapan 1519,04 cm⁻¹, dan gugus (C=O) pada daerah serapan 1695,61 cm⁻¹.

Pada poli tanin, terjadi pergeseran puncak spektrum yang lebar pada gugus (-OH) yaitu dari 3301,19 cm⁻¹ menjadi 3329,24 cm⁻¹ dengan intensitas yang kuat dan pada gugus (C=C), (C=O), dan C-O terjadi pengurangan intensitas serapan akibat proses polimerisasi. Reaksi polimerisasi telah terjadi ditandai dengan munculnya gugus (-CH₂) metilen pada bilangan gelombang (3000-2700) akibat reaksi antara tanin dan *formaldehyde* [9].

Tabel 1. Interpretasi Data FTIR

No	Gugus Fungsi	Interpretasi Data		
		Tanin (cm ⁻¹)	Poli Tanin (cm ⁻¹)	Data Literatur (cm ⁻¹)
1	O-H	3301,19	3329,24	3600-3200
2	CH ₂ Metilen	-	2945,26	3000-2700
3	C=C	1519,04	1552,67	1600-1500
4	C-O	1024,64	1023,06	1400-1000
5	C=O	1695,61	1638,01	1700-1600

Dye tanin kemudian dilakukan uji viskositas dengan Viskometer *Ostwald* untuk mengetahui berat molekul rata-rata dan uji densitas menggunakan piknometer untuk mengetahui berat jenis dari tanin dan poli tanin. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan dari setiap penambahan *crosslinker*.

Tabel 2. Data Pengujian Densitas

Volume <i>Crosslinker</i> (mL)	Densitas (g/cm ³)
0	1,04
1,5	1,06
2,5	1,17
3	1,08

Berdasarkan tabel viskositas, perhitungan viskositas spesifik digunakan untuk mengetahui rasio antara viskositas yang terjadi setelah penambahan zat terlarut dengan viskositas pelarut murni dan viskositas reduksi dihitung untuk menentukan berat molekul poli tanin yang dihasilkan. Berat molekul poli tanin yang dihasilkan sebesar 10857,1111 gr/mol dengan berat molekul tanin sebesar 286 gr/mol.

Tabel 3. Data Pengujian Viskositas

Volume <i>Crosslinker</i> (mL)	Waktu Alir (s)	Viskositas Larutan (Ns/m ²)	Viskositas Spesifik	Viskositas Reduksi
0	2,2	0,181	0	0
1,5	4,30	0,353	0,95	0,63
2,5	6,17	0,507	1,80	0,72
3	8,32	0,684	2,77	0,79

Poli tanin yang terbentuk kemudian dihitung derajat polimerisasinya dengan membagi berat molekul poli tanin dengan berat molekul tanin sehingga didapat derajat polimerisasi 37,96. Derajat polimerisasi merupakan jumlah unit berulang dalam rantai polimer [19].

Uji Efisiensi DSSC

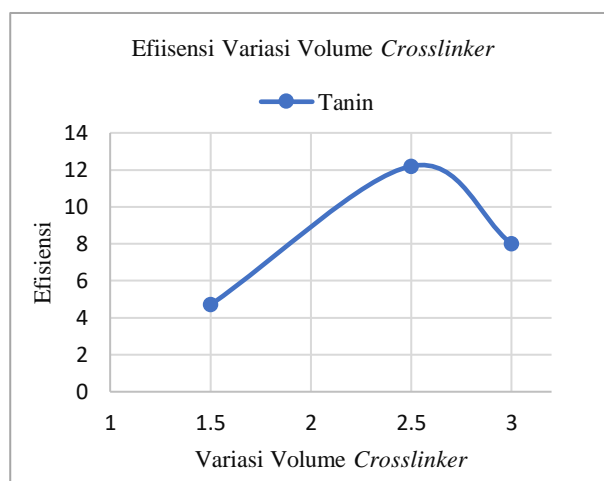
Pengukuran efisiensi DSSC berfungsi untuk mengetahui variasi volume *crosslinker* yang memiliki efisiensi paling optimum. Efisiensi DSSC diukur menggunakan multimeter digital Kuat arus yang telah didapat kemudian dihitung menggunakan kurva I-V untuk menentukan efisiensinya [20].

Tabel 4. Hasil Pengukuran Efisiensi DSSC

Volume <i>Crosslinker</i> (mL)	Tegangan (V)	Kuat Arus (I)	Efisiensi (%)
1,5	0,202	0,1188	4,7
2,5	0,192	0,1250	12,20
3	0,273	0,0879	8

Pada tabel di atas terlihat variasi volume *crosslinker* pada pembuatan poli tanin menghasilkan efisiensi yang berbeda-beda. Efisiensi optimum yang didapatkan untuk variasi volume *crosslinker* pada tanin adalah 12,20% pada variasi volume *crosslinker* 2,5 mL. Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin besar volume *crosslinker* yang digunakan maka semakin banyak radikal bebas yang terbentuk sehingga monomer yang diikat semakin banyak. Hal ini terbukti pada efisiensi volume *crosslinker* 2,5 mL lebih tinggi dibandingkan volume *crosslinker* 1,5 mL.

Penggunaan volume *crosslinker* yang berlebih mengakibatkan radikal bebas akan berkombinasi dengan ujung rantai sehingga rantai menjadi pendek dan molekul menjadi banyak [9] sehingga efisiensi yang dihasilkan menjadi rendah. Hal ini terbukti pada variasi volume *crosslinker* 3 mL dimana efisiensi menurun akibat kelebihan volume *crosslinker*.

Gambar 5. Grafik Efisiensi dari Variasi Volume *Crosslinker*

KESIMPULAN

Penggunaan *crosslinker glutaraldehyde* dapat meningkatkan efisiensi poli tanin yang dihasilkan. Semakin banyak volume *crosslinker* yang digunakan maka semakin banyak radikal bebas yang terbentuk sehingga monomer yang diikat semakin banyak. Hal ini dapat dilihat pada efisiensi yang dihasilkan sebesar 12,20% pada penambahan volume *crosslinker* 2,5 mL.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Kholiq, "Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM," *Jurnal Iptek*, vol. 19, no. 2, pp. 75–91, 2015.
- [2] R. G. Lina and H. Hardeli, "Pengaruh KOH Sebagai Inisiator Pada Polimerisasi Tanin Terhadap Efisiensi Sel Surya DSSC," *Periodic*, vol. 11, no. 1, pp. 40–44, 2022.
- [3] R. Andari, "Sintesis dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella," *JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, vol. 1, no. 2, pp. 140–150, 2017.
- [4] R. Damayanti, Hardeli, and H. Sanjaya, "Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas L.*)," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, 2014.
- [5] D. L. Pangestuti, G. Gunawan, and A. Haris, "Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin dari Buah Buni (*Antidesma bunius L.*)," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 11, no. 3, 2008.
- [6] R. Sri Irianty and S. R. Yenti, "Pengaruh Perbandingan Pelarut Etanol-Air Terhadap Kadar Tanin Pada Sokletasi Daun Gambir (*Uncaria gambir Roxb.*)," *Sagu*, vol. 13, no. 1, 2014.
- [7] T. S. Fangidae, T. M. P. B. Bage, A. A. Anggrowati, and Y. Sudaryanto, "Study of Malachite Green Adsorption using Tannin-Based Adsorbent (TBA) from Mangrove Bark (*Rhizophora mucronata*)," *In Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, p. 9, 2020.
- [8] Y. C. Danarto, S. Ajie Prihananto, and Z. Anjas Pamungkas, "Pemanfaatan Tanin dari Kulit Kayu Bakau sebagai Pengganti Gugus Fenol pada Resin Fenol Formaldehid," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2011*, 2011.
- [9] M. S. Alhumaimess *et al.*, "Recyclable Glutaraldehyde Cross-linked Polymeric Tannin to Sequester Hexavalent Uranium from Aqueous Solution," *J Mol Liq*, vol. 281, 2019.
- [10] R. T. Ako *et al.*, "Evaluation of Surface Energy State Distribution and Bulk Defect Concentration in DSSC Photoanodes Based on Sn, Fe, and Cu Doped TiO₂," *Appl Surf Sci*, vol. 351, 2015.
- [11] Nuryetti, H. Hermansyah, and M. Nasikin, "Bionanokomposit: Peluang Polimer Alami Sebagai Material Baru Semikonduktor," *Riset Industri*, vol. VI, no. I, 2012.
- [12] T. Varila, H. Romar, T. Luukkonen, T. Hilli, and U. Lassi, "Characterization of Lignin Enforced Tannin/Furanic Foams," *Heliyon*, vol. 6, no. 1, 2020.
- [13] R. G. Lina and H. Hardeli, "Pengaruh KOH Sebagai Inisiator Pada Polimerisasi Tanin Terhadap Efisiensi Sel Surya DSSC," *Periodic*, vol. 11, no. 1, 2022.
- [14] S. Chadijah, D. Dahlan, and H. Harmadi, "Pembuatan Counter Electrode Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)," *Jurnal Ilmu Fisika / Universitas Andalas*, vol. 8, no. 2, 2017.
- [15] K. Z. Taqwa, "Studi Eksperimental Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Performa DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Dengan Ekstrak Buah dan Sayur Sebagai Dye Sensitizer," (*Doctoral Dissertation, Institut Technology Sepuluh Nopember*), 2015.
- [16] H. Sanjaya, "Degradasi Metil Violet Menggunakan Katalis ZnO-TiO₂ Secara Fotosonolisis," *Eksakta: Berkala Ilmiah Bidang MIPA (E-ISSN: 2549-7464)*, vol. 19, no. 1, pp. 91–99, 2018.
- [17] R. N. Maurani, D. Purnamasari, and R. Zainul, "Preparation of TiO₂ Thin Layer on Ceramics Using Dip Coating Method for Degradation Humic Acid," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
- [18] F. N. Agdisti, L. Yunita, R. Luli, P. I. Novita, and Hardeli, "Peningkatan Performansi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Ekstrak Kulit Jengkol sebagai Zat Warna Melalui Elektrodeposisi Zn pada TiO₂," *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents*, vol. 3, no. 21, 2019.
- [19] R. Habibah, "Penentuan Berat Molekul dan Derajat Polimerisasi A – Selulosa Yang Berasal dari Alang-Alang (*Imperata Cylindrica*) dengan Metode Viskositas," *Saintia Kimia*, vol.1, 2013.
- [20] Wahyu. Hariyanto, Hariyanto & Tofa, Mus & Djafar, Zuryati & Piarah, "Mathematical Modeling in Combining Photovoltaic and Thermoelectric Generator using a Spectrum Splitter," *EPI International Journal of Engineering*, vol. 2, pp. 74–79, 2019.