

Pengaruh Agen Pengikat Silang dan Waktu Polimerisasi Poli Asam Tanat pada Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Yusnita Pitri Mayenti, Hardeli*, Hary Sanjaya, Sri Benti Etika

Department of Chemistry, Padang State University

Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Barat, Padang, West Sumatera, Indonesia Telp. 0751 7057420

*hardelii@gmail.com

Abstract— Dye sensitized solar cell (DSSC) is a device that can convert light energy into electrical energy. The research of DSSC continues to look for DSSC with high efficiency values. The efficiency of DSSC is influenced by many things, one of them is the ability of the dye to absorb light energy. The dye used in this research was poly tannic acid obtained from the polymerization process of tannic acid. This polymerization was carried out to improve the ability of the dye to absorb sunlight. The polymerization of tannic acid was carried out using a crosslinking agent (TMPGDE) by varying the polymerization time and the crosslinking agent. TiO₂ / Cu paste was made using the sol gel method and coated on ITO glass using the doctor blade method. The layer was immersed in dye while the counter electrode was made with a candle flame. DSSC was assembled to form a sandwich structure and electrolyte was dropped in the gap of the two electrodes. DSSC measured the voltage generated with a multimeter. The results of the UV-Vis analysis on the polymerized dye showed a bathochromic shift and an increase in the absorbance value. The results of FTIR analysis on polymerized dyes appeared ether groups in the range 1050–1250cm⁻¹. The presence of this ether group indicates the formation of tannic acid poly. The highest DSSC efficiency found from the polymerized dye was 7.69% with a polymerization time of 14 hours and the volume of crosslinking agent (TMPGDE) 115μL.

Keywords: DSSC, Polymerization, Tannic Acid, Tannic Acid Poly.

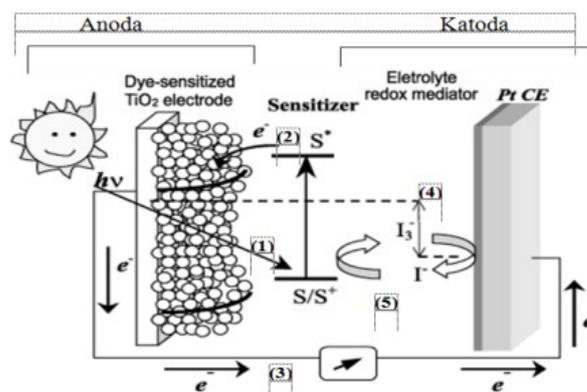
I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin meningkat dari tahun ketahun mengakibatkan energi yang dibutuhkan semakin besar. Energi yang digunakan manusia sebagian besar merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui dan penggunaannya juga menimbulkan emisi. Oleh karena itu para ahli mencoba mencari energi alternative baru yang dapat diperbaharui salah satu contohnya dengan memanfaatkan energi matahari yang dikenal dengan sel surya (solar cell)[1].

Sel surya merupakan rangkaian alat yang dapat mengkonversikan energi sinar matahari menjadi energi listrik. Sel surya terbagi menjadi tiga generasi. Dye sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya generasi ketiga [2].

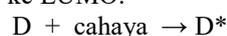
DSSC terdiri dari photoanoda, pewarna, elektrolit dan counter elektroda. Photoanoda DSSC terbuat dari semikonduktor yang berupa oksida logam dengan band gap yang tinggi seperti TiO₂ [3]. Zat warna dalam DSSC berfungsi untuk menyerap cahaya matahari dan mempunyai peran yang besar dalam efisiensi DSSC [4]. Zat warna alami yang digunakan dalam DSSC terdiri dari pigment yang berasal dari makhluk hidup seperti sianin, karotene, tannin, klorofil antosianin dan pigmen lainnya. Zat warna alami ini ramah lingkungan dan mudah ditemukan. Kekurangan dari zat warna

alami ini adalah efisiensi DSSC yang dihasilkan masih rendah [5].

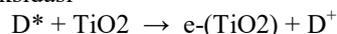


Gambar 1. Skema kerja DSSC

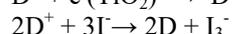
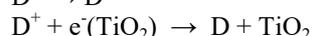
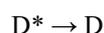
Prinsip kerja dari DSSC adalah saat foton dari sinar matahari menimpa elektroda yang ada pada DSSC maka akan diserap oleh zat warna yang dilapiskan pada permukaan TiO₂, yang menyebabkan elektron pada molekul dye tereksitasi dari level HOMO ke LUMO.



Elektron yang tereksitasi dari dye akan menginjeksi kedalam pita konduksi (CB). elektron tersebut melewati partikel - partikel TiO_2 menuju lapisan konduktif transparan ITO (indium tin oxide) sedangkan molekul dye akan mengalami oksidasi



Elektron akan ditransfer menuju elektroda lawan (elektroda yang dilapisi karbon) melewati rangkaian luar. Elektron kembali masuk kedalam sel dan bereaksi dengan elektrolit dengan mereduksi sebuah donor yang teroksidasi (I^+). Dye yang mengalami oksidasi akan menerima elektron dari lektrolit yang mengalami reduksi sehingga dye akan kembali menjadi molekul. Elektrolit berperan sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses dalam siklus sel.



Perbedaan tingkat energi konduksi semikonduktor TiO_2 dengan potensial dari pasangan elektrolit redoks (I^- / I_3^-) akan menghasilkan tegangan. Jumlah foton yang terlibat dalam konversi, intensitas penyinaran dan kinerja dye akan berdampak pada arus yang dihasilkan DSSC [6].

Asam tanat merupakan salah satu senyawa fenolik yang terdiri dari satu gugus glukosa dan 10 molekul asam gallat yang saling berikatan. Penggunaan asam tanat sebagai zat warna dalam DSSC sangat sedikit, oleh karena itu. (Çakar & Özacar, 2016) menggunakan asam tanat sebagai pewarna untuk DSSC dengan cara di komplekskan dengan besi (Fe). sehingga dapat menghubungkan tiga molekul asam tanat[7].

Asam tanat dapat dipolimerisasi dengan senyawa-senyawa yang mempunyai gugus epoxy yang berfungsi sebagai agen pengikat silang seperti divinyl sulfone (DVS), epichlorohydrin(EPI),glutaraldehyde(GLU),trimethylolpropan e triglycidyl ether(TMPGDE).TMPGDE adalah agen pengikat silang yang mempunyai tiga cincin epoksi sehingga dapat mengikat tiga molekul asam tanat[8]. Pada penelitian ini dilakukan polimerisasi asam tanat menggunakan TMPGDE dengan memvariasikan waktu dan volume agen pengikat silang (TMPGDE). Asam tanat yang dihasilkan digunakan sebagai zat warna dalam DSSC dan melihat bagaimana pengaruhnya terhadap efisiensi DSSC.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Peralatan gelas, magnetic stirrer, spatula, batang pengaduk, selotip, multimeter digital (Sanwa), botol penyimpanan, timbangan analitis dan bola hisap(pump) sentrifuge (Tomy MX 307).

Bahan yang digunakan adalah asam tanat(Sigma Aldrich), Trimethylolpropane triglycidil ether(TMPGDE), lesitin granular, n-heksan, etanol 96%, NaOH, Aquades, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, kertas saring, KI(kalium iodide), I_2 (Iodine), asetonitril, Poli etilen glikol dan lilin.

B. PROSEDUR PENELITIAN

1. Preparasi Poli Asam Tanat

Mencampurkan 2.5 gram asam tanat dengan 5 ml NaOH 0.2 M. Diambil 0.5 ml larutan yang telah dicampurkan tadi dan dimasukkan dalam larutan 15 ml lesitin- n heksan. Campuran distirer selama 1 jam. Tambahkan 115 μL TMPGDE dan dstirer selama waktu variasi yang telah ditentukan yaitu 7, 13, 14, 15 dan 16 jam dengan suhu 50 $^{\circ}\text{C}$. Hasil dari stirrer disentrifuge dengan kecepatan 12000 rpm selama 20 menit dan cuci endapan yang didapatkan dengan n-heksan dan pencucian endapan yang kedua dengan etanol-air [9]. Pada penelitian ini variasi waktu lebih dulu dilakukan dari pada variasi volume agen pengikat silang(TMPGDE) setelah didapatkan efisiensi DSSC dengan variasi waktu yang berbeda – beda baru divariasikan volume agen pengikat silangnya (TMPGDE).

2. Pengujian Poli Asam Tanat dengan FTIR dan UV-Vis

Analisa dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada poli asam tanat dan membandingkannya dengan gugus fungsi yang terdapat pada asam tanat. Analisa asam tanat dengan UV-Vis dilakukan untuk mengetahui panjang gelombang maksimal dan absorbansi poli asam tanat.

3. Persiapan Kaca ITO

Kaca ITO dengan ukuran 1.25x1.25 cm dimasukkan kedalam gelas kimia yang telah berisi alkohol 70%, selanjutnya kaca diultrasonic cleaner selama 30 menit untuk menghilangkan kotoran yang ada pada kaca. kaca diukur resistensinya dengan multimeter [10].

4. Preparasi Pasta TiO_2/Cu

PVA(poli vinil alkhol) sebanyak 1 gr dilarutkan dengan aquades 10 ml. Larutan ini diaduk dan dipanaskan dengan magnetic stirrer pada suhu 80 $^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam. Menambahkan TiO_2 degusa P- 25, sambil diaduk dan dipanaskan selama 2 jam. Menambahkan 0.05 Cu dan diaduk sampai terbentuk pasta yang baik [11].

5. Pelapisan Pasta TiO_2/Cu pada Kaca ITO

Kaca ITO ukuran 1.25x1.25 cm dibuat menjadi ukuran 1 cmx 1cm dengan bantuan scotch tape. Mendeposisikan pasta TiO_2/Cu pada kaca bagian konduktif dengan metode doctor blade. Kaca yang telah dilapisi dipanaskan diatas hot plate yang dilapisi aluminium foil selama 30 menit dengan suhu 100 $^{\circ}\text{C}$.

6. Persiapan Elektrolit Semi Padat

Elektrolit semi padat dibuat dengan membuat campuran homogen antara KI/ I_2) dengan polietilen gliokol (PEG). Larutan PEG 0,1 M (KI 0,5 M dan I_2 0,05 M) disiapkan dengan cara mengambil sebanyak 0,498 gram KI dilarutkan dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Pada gelas kimia lain, dimasukan 0,076 gram I_2 dan ditambahkan 6 mL asetonitril lalu diaduk sampai homogen. Sebanyak 2,4 gram

polietilen glikol (PEG) dimasukan ke dalam larutan elektrolit yang telah dibuat dan diaduk sehingga membentuk gel [12].

7. Preparasi Counter Elektroda Karbon

Elektroda counter dibuat dengan cara melapisi kaca ITO dengan karbon yang berasal dari asap pembakaran lilin. Cara pembuatannya adalah dengan memanaskan bagian konduktif kaca ITO diatas lilin hingga terbentuk lilin hingga terbentuk lapisan berwarna hitam, kemudian pinggir-pinggir kaca ITO dirapikan dengan cotton bud [13].

8. Perakitan DSSC

Kaca ITO yang dilapisi dengan pasta TiO₂/Cu direndam dalam zat warna selama 30 menit selanjutnya dibiarkan mengering. Elektroda karbon diletakkan diatas elektroda kerja dengan sistem sandwich, kedua ujung kaca diberi off seat 0.25 cm untuk kontak elektrik dan dijepit kedua ujungnya. larutan elektrolit ditambahkan dicelah lapisan.

9. Pengujian DSSC

Sel DSSC yang telah siap diuji berapa besar tegangan yang dihasilkan. pada pengujian ini cahaya bersumber dari lampu UV yang memiliki daya 24 watt/m². Tegangan dan arus yang dihasilkan digunakan dalam proses mencari efisiensi DSSC.

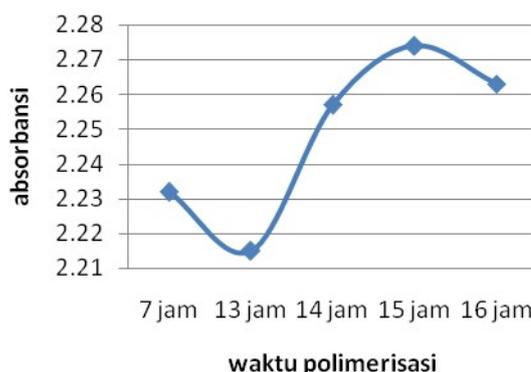
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakterisasi Poli Asam Tanat

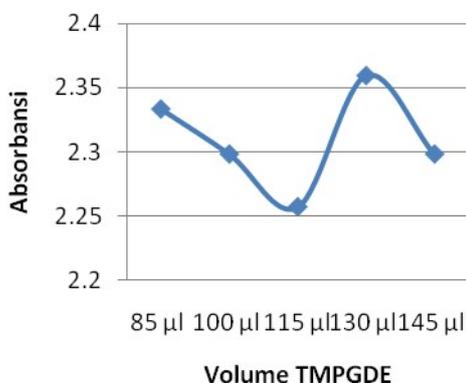
Karakterisasi poli asam tanat dengan UV- Vis dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh waktu polimerisasi zat warna dan volume agen pengikat silang terhadap panjang gelombang maksimum dan nilai absorbsinya. Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang 200 – 800 nm.

TABEL 1
PANJANG GELOMBANG MAKSIMUM DAN ABSORBANSI POLI ASAM TANAT

No	Variasi Waktu Polimerisasi dan volume TMPGDE	Panjang Gelombang Maksimum (λ_{maks})	Absorbansi
1	7 Jam (115 μ l)	309.00	2.232
2	13 Jam (115 μ l)	313.00	2.215
3	14 Jam (115 μ l)	304.00	2.257
4	15 Jam (115 μ l)	308.00	2.274
5	16 Jam (115 μ l)	305.00	2.263
6	85 μ l (14 jam)	305.00	2.331
7	100 μ l (14 jam)	309.00	2.298
8	130 μ l (14 jam)	296.00	2.359
9	145 μ l (14 jam)	306.00	2.298
10	Asam tanat	214.00	0.88



Gambar 2. Grafik Pengaruh Waktu polimerisasi terhadap Absorbansi Asam Tanat

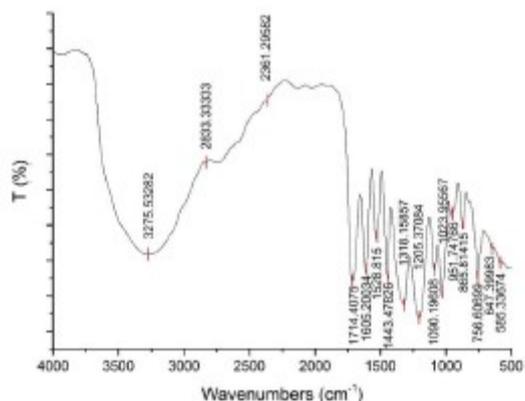


Gambar 3. Grafik Pengaruh Volume Agen Pengikat Silang (TMPGDE) terhadap Absorbansi Asam Tanat

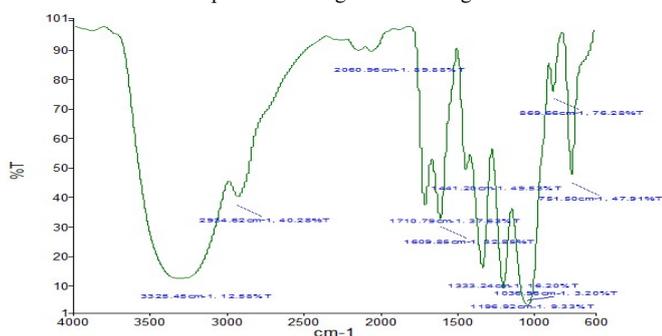
Asam tanat memiliki gelombang maksimum 214 nm sedangkan dari poli asam tanat gelombang maksimumnya 296 – 313 nm . Hal ini menandakan telah terjadinya polimerisasi pada asam tanat karena mengalami efek batokromik. Efek batokromik adalah pergeseran ke tingkat energi yang lebih rendah dengan naiknya nilai panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) pergeseran ini juga disebut dengan pergeseran merah [14].

Nilai absorbansi dari poli asam tanat lebih tinggi dari asam tanat yaitu dari 0.88 A menjadi 2.359 A. Dari naiknya nilai panjang gelombang maksimum dan absorbansi sehingga zat warna dapat lebih maksimal menyerap foton dan meningkatnya nilai efisiensi dari DSSC.

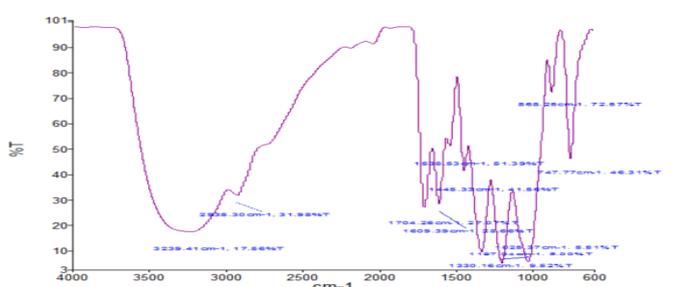
Karakterisasi poli asam tanat dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam poli asam tanat. Pengujian spektrum bilangan gelombang poli asam tanat dilakukan dengan menggunakan bilangan gelombang 4000 – 600cm⁻¹.



Gambar 4. Spektrum Bilangan Gelombang Asam Tanat



Gambar 5. Spektrum Bilangan Gelombang Poli Asam Tanat Waktu Polimerisasi 14 Jam dengan TMPGDE 115 µl



Gambar 6. Spektrum Bilangan Gelombang Poli Asam Tanat Waktu Polimerisasi 14 Jam dengan TMPGDE 130 µl

TABEL 2
INTERPRETASI FTIR POLI ASAM TANAT

No	Gugus Fungsi	Interpretasi Data	
		Data Literatur (cm ⁻¹)	Data Sampel (cm ⁻¹)
1	O-H (fenol)	3600 – 3000	3325.45
2	C=O	1900 – 1650	1710.69
3	C=C	1600- 1400	1441,20
4	C-O-C	1250 – 1050	1196.92

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Sahiner pembeda antara asam tanat dan poli asam tanat adalah adanya gugus eter pada poli asam tanat yang muncul pada rentang panjang gelombang 1250 – 1050 cm⁻¹. Gugus eter ini terjadi karena adanya ikatan antara asam tanat dengan C radikal yang ada pada TMPGDE [9]. Sehingga dari tabel dapat dilihat bahwa zat warna yang dihasilkan memiliki gugus eter sebagai penanda terbentuknya poli asam tanat.

2. Uji Poli Asam Tanat sebagai Zat Warna Pada DSSC

Perakitan DSSC dilakukan pada semua variasi waktu polimerisasi dan volume agen pengikat silang pada proses pembuatan poli asam tanat untuk mengetahui bagaimana pengaruhnya pada efisiensi DSSC. Efisiensi DSSC adalah kemampuan sel DSSC mengubah energi matahari yang diserap menjadi energi listrik.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

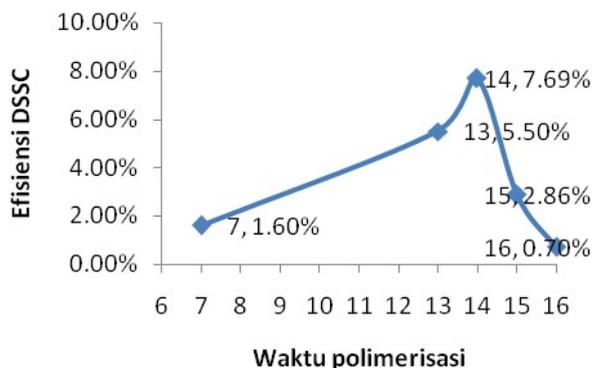
η = Efisiensi Sel

P_{out} = $V \times I$

P_{in} = Daya lampu yang digunakan (24×10^{-4})

TABEL 3
EFISIENSI DSSC PADA VARIASI WAKTU POLIMERISASI POLI ASAM TANAT

Waktu polimerisasi (115 µL TMPGDE)	Hambatan(Ω)	Tegangan (v)	Efisiensi (%)
7 Jam	0.761 k	0.175	1.6
13 Jam	1.134 k	0.387	5.5
14 Jam	1.285 k	0.487	7.69
15 Jam	1.563 k	0.328	2.86
16 Jam	2.539 k	0.207	0.703



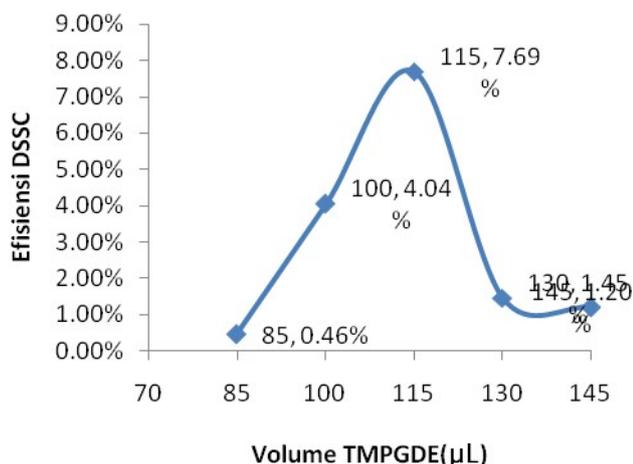
Gambar 7. Grafik Pengaruh Variasi Waktu Polimerisasi Terhadap Efisiensi DSSC

Dari grafik waktu polimerisasi dan efisiensi dapat dilihat efisiensi DSSC mengalami kenaikan seiring bertambahnya waktu polimerisasi. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu polimerisasi maka reaksi silang yang berlangsung juga semakin lama sehingga monomer yang diikat silang semakin banyak sehingga rantai polimer semakin panjang [15].

Dari rentang waktu polimerisasi dilakukan efisiensi maksimum terjadi pada waktu polimerisasi 14 jam dan mengalami penurunan setelah waktu maksimumnya. Waktu polimerisasi yang lama mengakibatkan kontak antar zat semakin besar namun jika telah melewati waktu maksimum maka bertambahnya waktu reaksi tidak akan memperbesar hasil karena semakin lama waktu reaksi menyebabkan viskositas larutan semakin tinggi sehingga mengurangi laju reaksi [16].

TABEL 4
EFISIENSI DSSC DALAM BERBAGAI VARIASI AGEN PENGIKAT SILANG (TMPGDE)

Volume TMPGDE (14 Jam)	Hambatan (Ω)	Tegangan(v)	Efisiensi (%)
85 μL	0.937 k	0.102	0.46%
100 μL	1.054	0.320	4.04%
115 μL	1.285	0.487	7.69%
130 μL	0.958	0.183	1.45%
145 μL	0.901	0.163	1.2%



Gambar 8. Grafik Pengaruh Variasi Volume Agen Pengikat Silang (TMPGDE) terhadap Efisiensi DSSC

Dari grafik dapat dilihat bahwa efisiensi DSSC paling kecil pada variasi volume TMPGDE 85 μL dengan nilai efisiensi 0.46%. Volume agen pengikat yang sedikit akan membentuk radikal yang sedikit sehingga rantai polimer yang dihasilkan juga pendek, dan semakin besar volume agen

pengikat silang yang dimasukkan maka radikal yang terbentuk semakin banyak sehingga rantai polimer yang terbentuk semakin panjang [17].

Dari variasi volume agen pengikat silang dilakukan maka efisiensi maksimum sel didapatkan dengan variasi 115 μL dengan nilai 7.69% dan setelah itu mengalami penurunan. Semakin tingginya konsentrasi agen pengikat silang yang tidak diikuti dengan kenaikan konsentrasi inisiator maka pembentukan radikal juga lambat sehingga rantai polimer yang dihasilkan pendek.

III. KESIMPULAN

Tegangan maksimum yang dihasilkan DSSC menggunakan zat warna poli asam tanat terjadi pada variasi waktu polimerisasi 14 jam dan volume agen pengikat silang (TMPGDE) 115 μL dengan nilai efisiensi sebesar 7,69%.

REFERENSI

- [1]. H. Hardeli, "Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami," *Semirata FMIPA Univ. Lampung*, pp. 155–162, 2013.
- [2]. Karim, N. A., Mehmood, U., Zahid, H. F., & Asif, T. (2019). Nanostructured photoanode and counter electrode materials for efficient Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *Solar Energy*, 185(January), 165–188. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.057>.
- [3]. Mahmoud, M. S., Akhtar, M. S., Mohamed, I. M. A., Hamdan, R., Dakka, Y. A., & Barakat, N. A. M. (2018). Demonstrated photons to electron activity of S-doped TiO₂nanofibers as photoanode in the DSSC. *Materials Letters*, 225, 7781. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.04.108>.
- [4]. Ummah W. D & Hary, S (2019). Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (Dssc) Menggunakan Substrat Kaca Gmr Dan Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana L*) Sebagai Dye Sensitizer. Vol 8 No 1. Chemistry Journal of State University of Padang.
- [5]. Çakar, S., Güy, N., Özacar, M., & Findik, F. (2016). Investigation of Vegetable Tannins and Their Iron Complex Dyes for Dye Sensitized Solar Cell Applications. *Electrochimica Acta*, 209, 407–422. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.05.024>.
- [6]. Damayanti, R., Hardeli, H., & Sanjaya, H. (2014). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas L.*). *Jurnal Sainstek IAIN Batusangkar*, 6(2), 148–157.
- [7]. 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>.
- [8]. Sahiner, N., Sagbas, S., & Aktas, N. (2016). Preparation And Characterization Of Monodisperse, Mesoporous Natural Poly(Tannic Acid)-Silica Nanoparticle Composites With Antioxidant Properties. *Microporous And Mesoporous Materials*, 226, 316–324. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2016.02.012>
- [9]. Sahiner, N., Sagbas, S., & Aktas, N. (2015). Single Step Natural Poly(Tannic Acid) Particle Preparation As Multitalented Biomaterial. *Materials Science And Engineering C*, 49, 824–834. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.01.076>.

- [10]. Kumara, "Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L .) Dssc," *J. Fis. Inst. Teknol. Sepuluh November. Surabaya*, p. 11, 2012.
- [11] R. Prasetyowati, "Studi Preparasi Dan Karakterisasi Sel Surya Berbasis Titania Melalui Penyisipan Logam Tembaga (Cu) Dengan Berbagai Variasi Massa Pada Lapisan Aktif Titania," *J. Sains Dasar*, vol. 6, no. 1, p. 1, 2017.
- [12] H. Hardeli, "Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (Dscc) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (Ipomoea batatas L.)," *J. Sainstek IAIN Batusangkar*, vol. 6, no. 2, pp. 148–157, 2014.
- [13]. S. Chadijah, "Pembuatan Counter Electrode Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)," *J. Ilmu Fis. | Univ. Andalas*, vol. 8, no. 2, pp. 78–86, 2017.
- [14]. Agdsiti F, Nurul, Lasmi Y, Rahmaneta L, Indri P, N & Hardeli. (2019). Peningkatan Performansi Dye Sensitized Solar Cell dengan Ekstrak Kulit Jengkol sebagai Zat Warna Melalui Elektrodeposisi Zn pada TiO₂. *Jurnal of Residu*, 3 (21). ISSN. 2598-8131.
- [15]. Sahiner, N., Sagbas, S., Sahiner, M., Silan, C., Aktas, N., & Turk, M. (2016). Biocompatible And Biodegradable Poly(Tannic Acid) Hydrogel With Antimicrobial And Antioxidant Properties. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 82, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.057>.
- [16]. Tanjung, A, R, Ida, A & Renita M. (2013). Pengaruh Waktu Polimerisasi Pada Proses Pembuatan Poliester Dari Asam Lemak Sawit Distilat (Ald). *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 2, No. 4 (2013).
- [17]. Budianto E, Aryo S, & Noverra M. (2013). Sintesis Dan Karakterisasi Hidrogel Kitosan Graft Polin (N- Vinil Kaprolaktam) Sebagai Adsorben. *Jurnal FMIPA Universitas Indonesia*.