

Pengaruh Variasi Komposisi Polimer Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Dengan Metode Cetak Sebagai Komponen Penjebak Elektrolit dan Peningkatan Kinerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

The Effect of Variations in Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Polymer Composition Using the Casting Method as an Electrolyte Trapping Component and Improved *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Performance

Amalina Nur Fidiyah*, Nita Kusumawati

Jurusan Kimia, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang Wiyata No.62, Kota Surabaya, Indonesia

*corresponding author: nitakusumawati@unesa.ac.id

Abstrak. Sel surya tersensitasi warna (DSSC) merupakan energi terbarukan sebagai upaya mengatasi kebutuhan energi listrik. DSSC memiliki komponen utama yaitu counter elektroda, photo elektroda, elektrolit, dan pewarna. Zat pewarna alami digunakan sebagai sensitizer yaitu klorofil dari daun suji pH optimum. Pada komponen elektrolit mengalami kebocoran elektrolit disebabkan oleh penggunaan elektrolit cair sehingga mempengaruhi stabilitas DSSC. Dari permasalahan tersebut dilakukan pembuatan elektrolit polimer Polyvinylidene Fluoride (PVDF) yang diharapkan untuk memperbaiki stabilitas dan meningkatkan nilai efisiensi. Pembuatan polimer PVDF menggunakan metode cetak variasi komposisi 16%, 18%, 20% dan didapatkan variasi komposisi terbaik yaitu 18%. Adapun analisis yang digunakan yaitu spektrofotometri UV-Visible, voltametri siklik, dan pengukuran multimeter. Hasil analisis UV-Visible serapan panjang gelombang klorofil a sebesar 464,5 nm dan klorofil b sebesar 664,5 nm. Hasil analisis voltametri menunjukkan energi HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) sebesar -4,315 eV dan energi LUMO (Lowest Unccopied Molecular Orbital) sebesar -3,1201 eV, dan band gap sebesar 1,19581 eV. Hasil studi folvotaik didapatkan efisiensi sebesar 0.688%. Hasil ini menunjukkan bahwa polimer PVDF berpotensi sebagai penjebak elektrolit pada DSSC.

Kata-kata kunci: DSSC, polimer PVDF

Abstract. Color-sensitized solar cells (DSSC) are renewable energy as an effort to overcome the need for electrical energy. DSSC has main components, namely counter electrode, photo electrode, electrolyte, and dye. Natural dye is used as a sensitizer, namely chlorophyll from suji leaves at optimum pH. In the electrolyte component, electrolyte leakage is caused by the use of liquid electrolyte so that it affects the stability of the DSSC. From these problems, Polyvinylidene Fluoride (PVDF) polymer electrolyte was made which is expected to improve stability and increase efficiency. The manufacture of PVDF polymer using the method of composition variation of 16%, 18%, 20% and the best composition variation is 18%. The results of UV-Visible analysis showed that the absorption wavelength of chlorophyll a was 464.5 nm and chlorophyll b was 664.5 nm. The results of voltammetric analysis showed that the HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) energy was -4.315 eV and the LUMO (Lowest Unccopied Molecular Orbital) energy was -3.1201 eV, and the band gap was 1.19581 eV. The results of the folivotaic study showed an efficiency of 0.688%. These results indicate that PVDF polymer has potential as an electrolyte trap in DSSC.

Keyword: DSSC, PVDF Polymer

1. Pendahuluan

Saat ini energi alternatif sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang disebabkan oleh kelangkaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Energi alternatif tersebut yaitu energi matahari [1]. Energi matahari dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui teknologi sel surya (*Solar Cell*). Pada umumnya sel surya menggunakan bahan anorganik seperti silikon yang mengandung bahan logam berbahaya dan tidak ramah lingkungan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dikembangkan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Dibandingkan sel surya anorganik, DSSC memiliki kelebihan diantaranya ramah lingkungan, biokompatibel, dan biaya produksi rendah [2]. DSSC merupakan rangkaian kompleks yang dapat mengonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan sensitasi celah pita semikonduktor. Komponen utama pada DSSC yaitu counter-elektroda, semikonduktor, elektrolit, dan pewarna. Umumnya counter-elektroda yang banyak digunakan yaitu Pt yang berfungsi untuk meregenerasi elektrolit sehingga counter-elektrode sebaiknya memiliki resistensi yang rendah sehingga tidak mempengaruhi pertukaran muatan dan arus yang tinggi. Selanjutnya elektrolit mengandung I^-/I_3^- berfungsi menghantarkan elektron ke pewarna. Kemudian komponen semikonduktor yang umum digunakan yaitu TiO_2 yang fungsinya dapat mencegah rekombinasi elektron dengan warna. Sedangkan pewarna merupakan molekul yang menyerap radiasi matahari dan menyuntikkan elektron ke dalam pita konduksi semikonduktor [3].

Kinerja DSSC dipengaruhi oleh pewarna. Pewarna yang sering digunakan sebagai sensitizer pada DSSC yaitu pewarna kompleks sintesis karena memiliki kepekaan yang baik dan warna serapan yang banyak. Kelemahan dari pewarna sintesis yaitu mengandung logam berat, tidak ramah lingkungan, dan biaya produksi yang mahal [2]. Oleh sebab itu penggunaan pewarna alami merupakan alternatif yang sangat baik sebagai fotosensitizer. Fotosensitizer dari pewarna alami yang sangat ideal yaitu klorofil karena memiliki sifat yang sangat stabil [4]. Dalam penelitian ini pewarna alami yang digunakan yaitu daun suji karena memiliki pigmen klorofil yang tinggi dan dapat menyerap cahaya dengan panjang gelombang sebesar 400-700 nm. Selain itu pigmen klorofil dapat membentuk ikatan yang sangat baik dengan TiO_2 karena klorofil memiliki gugus karboksilat sehingga akan meningkatkan nilai efisiensi dalam konversi energi pada DSSC [5].

Kinerja jangka panjang atau stabilitas DSSC juga dipengaruhi oleh elektrolit. Pada umumnya jenis elektrolit yang digunakan pada DSSC yaitu elektrolit cair. Namun elektrolit cair sering mengalami kebocoran sehingga dapat menghambat pembuatan DSSC komersial [6]. Selain itu elektrolit cair tidak dapat bertahan dalam jangka waktu lama sehingga akan mempengaruhi kinerja jangka panjang atau stabilitas DSSC. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan pembuatan elektrolit berbasis polimer yang memiliki nilai konduktivitas ionik dan kinerja jangka panjang yang baik [7]. Elektrolit berbasis polimer direndam ke dalam larutan elektrolit agar memiliki kekuatan mekanik dan kinerja jangka panjang yang baik [8]. Basis polimer yang digunakan pada penelitian ini yaitu Polyvinylidene Fluoride (PVDF). Elektrolit polimer berbasis PVDF memiliki sifat ideal antara lain : (1) memiliki kekuatan mekanik; (2) stabilitas termal; dan (3) stabilitas elektrokimia [9]. Polimer PVDF merupakan jenis polimer yang bersifat hidrofobik sehingga menyebabkan penurunan mobilitas ion I^-/I_3^- [10].

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan elektrolit berbasis polimer PVDF variasi komposisi 16%, 18%, dan 20% dengan metode cetak dan direndam ke dalam larutan elektrolit. Untuk mengetahui panjang gelombang serapan dilakukan analisis spektrofotometri UV-Vis. Selanjutnya analisis voltametri siklik dilakukan untuk mengetahui energi celah pita dengan menentukan keadaan HOMO dan LUMO dari klorofil. Pengukuran efisiensi dengan menggunakan multimeter diperoleh tegangan dan arus yang kemudian diolah untuk mendapatkan Voc dan Jsc.

2. Bahan dan Metode

3.1. Bahan

Daun suji, etanol 96%, PVDF, kalium iodida (KI), etilen carbonat (EC), propilen karbonat (PC), iodin (I_2), TiO_2

3.2. Alat

Gelas kimia, gelas ukur, spatula, neraca analitik, magnetic stirrer, evaporator, spektrofotometri uv-visible, voltametri siklik, multimeter krisbow, casting knife

3.4. Pembuatan Larutan Elektrolit

Ditimbang kalium iodida (KI) 0,06 g, etilen karbonat (EC) 0,4 g, propilen karbonat (PC) 0,4 g, dan iodin (I₂) 9,2 mg. Selanjutnya semua bahan yang telah ditimbang dihomogenasi menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit.

3.5. Pembuatan Pasta TiO₂

Ditimbang TiO₂ 0,2 g, polietilen glikol 1000 (PEG-1000) 0,08 g, larutan HNO₃ 0,4 mL, tween 80 0,05 mL. TiO₂ yang telah ditimbang ditambahkan larutan HNO₃ dan diaduk menggunakan spatula

3.6. Pembuatan Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

Daun suji dicuci dengan air mengalir hingga bersih. Setelah itu daun suji segar ditimbang dan dipotong hingga berukuran kecil dengan perbandingan b/v daun suji dan pelarut yaitu 1:6 selama 24 jam. Daun suji yang telah ditimbang sebanyak 30 gr direndam pelarut etanol p.a 150 mL dan ditambahkan HCL 0,1 N dan NaOH 0,1 N selama 24 jam sehingga didapatkan pH 2, 7, 12. Hasil maserasi daun suji dievaporasi menggunakan evaporator untuk mendapatkan pigmen klorofil.

3.7. Pembuatan Membran PVDF

Membran PVDF dibuat dengan variasi komposisi 16%, 18%, dan 20% dengan teknik inversi fasa. Adapun pelarut yang digunakan yaitu aseton dan dimetil asetamida (DMAc). Pada pembuatan larutan PVDF mula-mula ditimbang PVDF sebanyak 1,6 g, 1,8 g, 2,0 g, aseton 4 gram, dan DMAc 6 g. Selanjutnya pada pembuatan membran, PVDF dengan berat yang berbeda ditambahkan secara bertahap pelarut DMAc dan pelarut aseton dihomogenasi menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 270 rpm suhu 65°C selama 12 jam.

3.8. Perangkaian DSSC

Komponen utama pada DSSC yaitu kaca FTO katoda, FTO anoda, dan elektrolit. Pada kaca FTO anoda dilapisi pasta TiO₂ dengan dibatasi samping kanan, kiri, atas kaca dengan menggunakan selotif sebesar 0,5 cm sehingga dengan ketebalan 0,2 mm selanjutnya diratakan dengan metode *doctor blade*. Kemudian disinterring dengan suhu 60 menit dan suhu 450 °C. Selanjutnya direndam ke dalam pewarna. Kaca FTO anoda dilapisi karbon hasil pembakaran lilin lalu ditempelkan membran PVDF di atasnya dan direndam ke dalam larutan elektrolit. Kemudian dirangkai menggunakan penjepit

3.9. Karakterisasi

Panjang gelombang serapan klorofil dianalisis menggunakan instrumen spektrofotometer Uv-Visible dengan panjang gelombang cahaya dengan rentang sebesar 400-800 nm. Analisis voltametri siklik untuk arus potensial analit.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1. Pembuatan Membran PVDF

Membran PVDF merupakan membran polimer yang memiliki ketahanan termal dan kekuatan mekanik yang baik. Membran PVDF juga memiliki stabilitas elektrokimia yg baik [11]. Pada pembuatan membran PVDF menggunakan pelarut aseton dan DMAc dengan variasi komposisi 16%, 18%, dan 20% diperoleh seperti tabel-1.

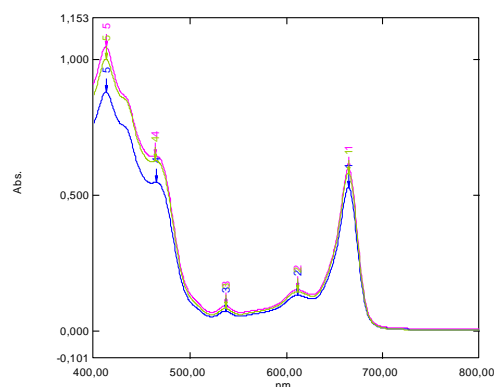
Tabel 1. perbandingan variasi komposisi PVDF

Komposisi	PVDF (g)	Aseton (g)	DMAc (g)
16%	1,6	4	6
18%	1,8	4	6
20%	2,0	4	6

Variasi komposisi dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kepadatan membran PVDF. elanjutnya kepadatan membran berpengaruh terhadap laju alir transfer elektron pada DSSC. Pada penelitian ini variasi komposisi terbaik yaitu komposisi 18% dengan 12 jam pengadukan, pada variasi komposisi tersebut merupakan variasi komposisi yang stabil dibandingkan variasi komposisi lain. Metode yang digunakan dalam pembuatan membran PVDF yaitu inversi fasa dengan teknik presipitasi perendaman. Inversi fasa merupakan serangkaian proses perubahan fasa cair menjadi fasa padat yang dilakukan untuk mendapatkan membran dengan pengkondisian tertentu. Pemilihan teknik inversi fasa pada pembuatan membran PVDF dikarenakan metode tersebut menghasilkan membran yang memiliki bentuk morfologi berpori, padat, dan kompak [12]. Pada pembuatan membrane PVDF menggunakan pelarut aseton dan non-pelarut DMAc. Aseton berfungsi untuk melarutkan non-pelarut sehingga larutan memiliki kelarutan sempurna. Pelarut berfungsi untuk tercapainya kelarutan dengan sempurna dalam proses preparasi membran PVDF [13]. Tahap pertama proses pembuatan membran PVDF yaitu menuang larutan membran pada kaca yang telah dibatasi dengan ukuran 0,4 mm lalu dicetak menggunakan alat *casting knife*. Setelah proses pencetakan membrane didiamkan selama 5 menit. Tujuan dari waktu pendiaman selama 5 menit ini untuk menghilangkan gelembung udara selama proses pencetakan berlangsung. Selanjutnya dilakukan proses inversi fasa dengan DMAc akan menghasilkan membrane PVDF yang memiliki struktur padat. Hal ini dapat terjadi dikarenakan pada saat pengendapan terjadi difusi non-pelarut selama proses inversi fasa berlangsung. Proses inversi fasa dilakukan dengan dua kali pengulangan masing-masing pengulangan berlangsung selama 30 menit pada suhu 30°C [14].

3.2. Analisis Uv-Visible

Analisis UV-visible dilakukan untuk mengetahui serapan panjang gelombang dari ekstrak daun suji. Daun suji dipilih sebagai pewarna alami karena memiliki pigmen klorofil. Pigmen klorofil yang ada terdapat pada daun suji terdiri dari klorofil a dan klorofil b. Klorofil a memiliki panjang gelombang 430 nm dan klorofil b memiliki Panjang gelombang 630 nm [15]. Klorofil memiliki pengaruh dalam peningkatan efisiensi DSSC. Pada pigmen klorofil ditemukan sebanyak satu inti porifirin dan satu atom Mg yang terikat kuat di tengah pigmen klorofil dan juga ditemukan sebanyak satu rantai hidrokarbon panjang yang tergabung melalui gugus karboksilat [16]. Hasil maserasi daun suji dievaporasi menggunakan evaporator untuk mendapatkan pigmen klorofil. Tujuan dilakukannya variasi pH yaitu untuk mengetahui pH optimum yang dimiliki klorofil. Selanjutnya dianalisis dengan spektrofotometri Uv-Vis dan didapatkan data sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik hasil analisis klorofil Spektrofotometri Uv-Vis

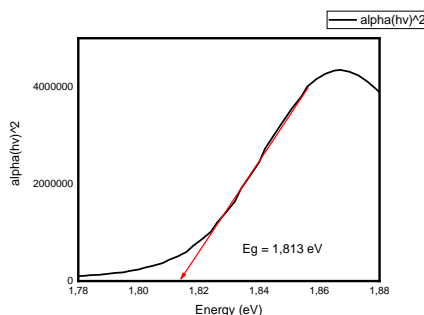
Tabel 2. Serapan panjang gelombang klorofil b menggunakan spektrofotometri Uv-Vis

pH	Klorofil a		Klorofil b	
	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi	Panjang gelombang (nm)	Absorbansi
2	464,50	0,645	664,50	0,594
7	465,00	0,548	664,50	0,527
12	464,50	0,627	664,50	0,579

Berdasarkan data panjang gelombang di atas jenis klorofil yang digunakan pada penelitian ini yaitu klorofil b dengan variasi pH 2, 7, dan 12 tidak jauh berbeda sehingga dapat ditinjau dari nilai absorbansi terbesar klorofil b yaitu sebesar 0,594 pada variasi pH 2.

Serapan panjang gelombang klorofil b menyebabkan pergeseran panjang gelombang klorofil akibatnya molekul pewarna klorofil melepaskan proton H^+ oleh gugus $-OH$. Pelepasan proton akan membentuk konjugat basa. Semakin besar variasi pH maka semakin banyak porifirin dan atom Mg yang terbentuk akan menyebabkan peningkatan ikatan yang semakin kuat antara klorofil dan TiO_2 juga menyebabkan gugus hidroksil terlepas dari permukaan TiO_2 [16]. Struktur porifirin, atom Mg, dan rantai karbon yang ditemukan pada pigmen klorofil digunakan sebagai sensitizer untuk mengetahui kemampuan perlekatannya pada permukaan TiO_2 [17]. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui pH optimum klorofil yaitu pada keadaan asam yaitu pH 2.

Untuk menghitung energi celah pita dihitung dengan metode Tauc Plot didapatkan grafik seperti di bawah ini:



Gambar 2. Grafik metode Tauc Plot

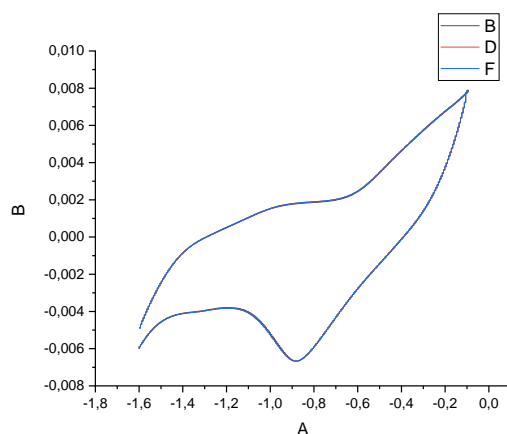
Berdasarkan grafik di atas didapatkan energi gap pada klorofil sebesar 1,813 eV.

3.3. Studi Elektrokimia Pewarna

Energi HOMO dan energi LUMO berperan penting pada studi elektrokimia pewarna. Pada studi ini pewarna yang dapat meregenerasi warna harus memiliki syarat memiliki energi HOMO yang lebih rendah dari potensi redoks elektrolit sebesar $-4,94$ eV. Sedangkan energi LUMO seharusnya lebih tinggi dari pita konduksi TiO_2 sebesar $-3,2$ eV [18].

3.4. Analisis Voltametri

Analisis voltametri siklik untuk mengetahui arus yang dihasilkan dari reaksi redoks pada analit. Untuk mengetahui suatu analit mengalami reaksi oksidasi yaitu dengan mengamati data HOMO dan untuk mengetahui suatu analit mengalami reaksi reduksi yaitu dengan mengamati data LUMO [19]. HOMO dan LUMO yang dihasilkan kemudian diolah menggunakan sebuah aplikasi Origin. Berikut grafik yang didapatkan dari analisis voltametri:



Gambar 3. Analisis Voltametri Siklik Pada Klorofil

Pada analisis ini didapatkan energi HOMO klorofil sebesar -4,315 eV dan energi LUMO klorofil energi sebesar -3,1201 eV. Dari keadaan HOMO dan LUMO tersebut didapatkan band gap sebesar 1,19581 eV. Berdasarkan data HOMO dan LUMO yang didapatkan kemudian diolah dan diperoleh band gap. Semakin kecil nilai band gap maka semakin besar terjadinya eksitasi elektron. Eksitasi elektron akan menghasilkan arus listrik tinggi dan meningkatkan nilai efisiensi pada DSSC .

3.5. Studi Fotovoltaik

Untuk mengetahui besarnya arus dan tegangan DSSC dilakukan dengan menggunakan multimeter Krisbow di bawah sinar matahari. Pengukuran arus dan tegangan digunakan untuk mengetahui performa DSSC [20]. Selanjutnya arus dan tegangan diolah untuk mendapatkan Open Circuit Voltage (Voc), Short Circuit Current Density (Jsc), Fill Factor (FF), dan efisiensi (η) [21].

$$\eta = \frac{J_{sc}V_{oc}FF}{P_{in}}$$

$$FF = \frac{P_{max}}{J_{sc}V_{oc}} \quad [20].$$

Hasil pengukuran rangkaian DSSC dengan menggunakan multimeter didapatkan arus sebesar $7,4 \times 10^{-3}$ mA dan tegangan sebesar 311 mV yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai Voc sebesar 311 mV dan Jsc sebesar 0,002 mA/cm². Selanjutnya data arus, tegangan, Voc dan Jsc diolah dengan menggunakan rumus [21].

Tabel 3. Hasil Perhitungan FF dan Efisiensi

Studi Fotovoltaik	V (mV)	I (mA)	Voc(mV)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	P max	Efisiensi (1%)
16%	348	0,008	0,008	0,002666667	0,400862069	1,116	1,116

Studi Fotovoltaik	V (mV)	I (mA)	Voc(mV)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	P max	Efisiensi (1%)
18%	311	0,0074	0,0074	0,002466667	0,298948466	0,688	0,688
20%	238	0,0054	0,0054	0,0018	0,403127918	0,5181	0,5181

Ditinjau dari data di atas variasi komposisi PVDF, DSSC dengan menggunakan variasi komposisi PVDF 16% memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan nilai efisiensi variasi komposisi 18% dan 20%. Sedangkan nilai Jsc komposisi PVDF 20%. Berdasarkan kerapatan elektron, semakin besar % komposisi PVDF maka kerapatan elektron semakin padat sehingga proses transfer elektron menjadi semakin sulit.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dibuat membran PVDF variasi komposisi 16%, 18%, dan 20% dengan teknik inversi fasa yang menghasilkan membran polimer yang memiliki stabilitas elektrokimia yang baik. Adapun sensitizer yang digunakan yaitu pigmen klorofil yang didapatkan dari daun suji dengan variasi pH optimum 2. Pada analisis UV pigmen klorofil memiliki serapan panjang gelombang optimal sebesar 664,5 nm dan nilai absorbansi sebesar 0,594. Pada analisis voltametri didapatkan energi HOMO klorofil sebesar - 4,315 eV dan energi LUMO klorofil energi sebesar -3,1201 eV, dan band gap sebesar 1,19581 eV. Efisiensi yang didapatkan dari perhitungan pada studi fotovoltaik sebesar 0,688 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran PVDF ini berpotensi sebagai penjebak elektrolit pada DSSC dan meningkatkan stabilitas DSSC dalam jangka panjang.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Tim Merah Putih Laboratorium Analitik Kimia UNESA yang telah memberikan saya tempat untuk mencoba hal-hal baru dalam bidang kimia dan keilmuan.

Daftar Pustaka

- [1] I. A. Sahito, F. Ahmed, Z. Khatri, K. C. Sun, and S. H. Jeong, "Enhanced ionic mobility and increased efficiency of dye-sensitized solar cell by adding lithium chloride in poly(vinylidene fluoride) nanofiber as electrolyte medium," *J. Mater. Sci.*, vol. 52, no. 24, pp. 13920–13929, 2017, doi: 10.1007/s10853-017-1473-z.
- [2] M.-R. Kim, S.-H. Park, J.-U. Kim, and J.-K. Lee, "Dye-Sensitized Solar Cells Based on Polymer Electrolytes," *Sol. Cells - Dye. Devices*, no. November, 2011, doi: 10.5772/22237.
- [3] J. A. Pinem and R. S. Irianty, "Sintesis Membran Selulosa Asetat Untuk Desalinasi Air Payau," *J. Online Mhs. Bid. Tek. dan Sains*, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [4] K. C. Sun *et al.*, "A PVdF-based electrolyte membrane for a carbon counter electrode in dye-sensitized solar cells," *RSC Adv.*, vol. 7, no. 34, pp. 20908–20918, 2017, doi: 10.1039/c7ra00005g.
- [5] R. M., "Chlorophylls and xanthophylls of crop plants as dyes for Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC)," *J. Plant Sci. Phytopathol.*, vol. 1, no. 2, pp. 087–094, 2017, doi: 10.29328/journal.jpssp.1001011.
- [6] N. Kusumawati, P. Setiarso, M. M. Sianita, and S. Muslim, "Transport properties, mechanical behavior, thermal and chemical resistance of asymmetric flat sheet membrane prepared from PSF/PVDF blended membrane on gauze supporting layer," *Indones. J. Chem.*, vol. 18, no. 2, pp. 257–264, 2018, doi: 10.22146/ijc.27272.

- [7] T. Önen, M. Ö. Karakuş, R. Coşkun, and H. Çetin, "Reaching stability at DSSCs with new type gel electrolytes," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 385, no. July, 2019, doi: 10.1016/j.jphotochem.2019.112082.
- [8] A. H. Ahliha, F. Nurosyid, and A. Supriyanto, "The chemical bonds effect of *Amaranthus hybridus* L. and *Dracaena Angustifolia* on TiO₂ as photo-sensitizer for dye-sensitized solar Cells (DSSC)," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1868, no. August, 2017, doi: 10.1063/1.4995165.
- [9] M. A. M. Al-Alwani, A. B. S. A. Al-Mashaan, and M. F. Abdullah, "Performance of the dye-sensitized solar cells fabricated using natural dyes from *Ixora coccinea* flowers and *Cymbopogon schoenanthus* leaves as sensitizers," *Int. J. Energy Res.*, vol. 43, no. 13, pp. 7229–7239, 2019, doi: 10.1002/er.4747.
- [10] G. Calogero, A. Bartolotta, G. Di Marco, A. Di Carlo, and F. Bonaccorso, "Vegetable-based dye-sensitized solar cells," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 44, no. 10, pp. 3244–3294, 2015, doi: 10.1039/c4cs00309h.
- [11] B. N. Rao, R. P. Suvarna, and M. Raghavender, "Synthesis of gel polymer electrolyte with PEO/RbI/I₂ for DSSC applications," *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. xxxx, pp. 4349–4355, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.661.
- [12] Y. Wu, Y. Li, Y. Wang, Q. Liu, Q. Chen, and M. Chen, "Advances and prospects of PVDF based polymer electrolytes," *J. Energy Chem.*, vol. 64, no. August, pp. 62–84, 2022, doi: 10.1016/j.jechem.2021.04.007.
- [13] N. Kusumawati, P. Setiarso, S. Muslim, N. Purwidiani, "Synergistic Ability Of PSF and PVDF to Develop High-Performance PSF/PVDF Coated Membrane For Water Treatment", *Rasayan J. Chem*, vol.11, no.1, pp. 260-279, 2018, ISSN: 0974-1496
- [14] G. R. Guilen, Y. Pan, M. Li, E. M. V. Hoek, "Preparation and characterization of membrane formed by non solvent induced phase separation: a review", *Industrial and Engineering Chemistry Research Journal*, vol. 50 (7), pp. 3798-3817, 2011
- [15] A.H. Ahliha, F. Nurosyid, A. Supriyanto, and T. Kusumaningsih. 2018. Optical properties of anthocyanin dyes on TiO₂ as photosensitizers for application of dye-sensitized solar cell (DSSC). *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 333 (2018): 012018. doi: 10.1088/1757-899X/333/1/012018
- [16] A.H. Ahliha, F. Nurosyid, dan A. Supriyanto. 2018. Kajian pH klorofil terhadap ikatan kimia dye pada TiO₂ sebagai aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 2018. Vol.14, No.01. doi:10.12962/j24604682.v14i1.3163
- [17] D. Indrasti, N. Andarwulan, E.H. Purnomo, and N.U.R Wulandari. Stability of chlorophyll as natural colorant: A review for suji (*dracaena angustifolia* (medik.) roxb.) leaves' case. *Curr. Res. Nutr. Food Sci.* 6(3): 609-625. doi: 10.12944/CRNFSJ.6.3.04.
- [18] R.R.Sova dan P.Setiarso. Studi Elektrokimia Klorofil dan Antosianin Sebagai Fotosensitizer DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell). *UNESA Journal of Chemistry*. Vol.10, N0.2. 2021.
- [19] D. Sinha, D. De, and A. Ayaz. 2020. Photo sensitizing and electrochemical performance analysis of mixed natural dye and nanostructured ZnO based DSSC. *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.* 45(2020): 175. doi: 10.1007/s12046- 020-01415-0.
- [20] S.Agustini, D.D.Risanti, dan D.Sawitri. Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berdasarkan Fraksi Volume TiO₂ Anatase-Rutile dengan *Garcinia mangostana* dan *Rhoeo Spathacea* sebagai dye *Fotosensitizer*. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol.2, No.2. 2013.
- [21] A.Sacco, "Electrochemical impedance spectroscopy: Fundamentals and application in dye-sensitized solar cells", *Renew. Sustain. Energy Rev*, vol. 79, pp. 814–829, 2017, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.159>.