

Potensi Pewarna Alami untuk Pengembangan Kemajuan Teknologi Sel Surya Organik

Exploring the Potential of Plant-Based Natural Dyes for Advancements in Solar Cells Technology

Novita Asma Ilahi^{1*}, Kristiana Natalia Wea², Erliza Septia Nagara³

¹ Program Studi D3 Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

² Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Nusa Nipa

³ Institut Bakti Nusantara, Lampung

*Penulis korespondensi: nasmailahi@pnc.ac.id

Direview: 1 Maret 2024

Diterima: 3 Mei 2024

ABSTRAK

Electrospinning merupakan teknologi modifikasi dalam menghasilkan serat berukuran nano yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan lapisan tipis semikonduktor *dye sensitized solar cells*. Substrat Flourat – Doped Tin Oxide (FTO) ditempatkan sebagai target pendeposisian TiO₂ nanofiber yang disintesis dari Larutan TiO₂. Proses deposisi lapisan tipis TiO₂ nanofiber dilaksanakan selama 15 menit. Larutan TiO₂ yang disintesis merupakan campuran dari *Acetic Acid, Etanol, Polyvinylpyrrolidone (PVP)*, dan *Titanium Tetra – Isopropoxide (TTIP)*. Pencampuran larutan sintesis dilakukan selama 24 jam, agar didapatkan larutan sintesis TiO₂ yang homogen. Proses deposisi lapisan tipis TiO₂ nanofiber diaplikasikan di bawah tegangan electrospinning sebesar 25 kV, jarak substrat FTO sebagai kolektor lapisan terhadap syringe larutan berada pada 25 cm untuk menghindari tetesan larutan terlalu besar. Sebelum tahapan deposisi, substrat FTO terlebih dulu dibentuk permukaannya menggunakan metode pengetchingan dengan melapisi Zn dan menghilangkan lapisan konduktifnya menggunakan HCl, sehingga didapatkan lapisan konduktif yang telah disesuaikan. Proses annealing lapisan TiO₂ nanofiber yang telah terdeposisi dilakukan selama 3 jam penuh pada suhu 450°C. Metode spin coating dilakukan untuk mendeposisi lapisan *Poly [2- Methoxy- 5- (2- Ethyl Hexyloxy)- 1,4- Phenylene Venylene]* (MEH-PPV). Variasi pelapisan dilakukan dengan 4 ketebalan lapisan yang berbeda. MEH – PPV disiapkan dengan campuran *Chlorobenzene* dan pengadukan selama 18 jam. Pengujian dan karakterisasi dilakukan dengan menggunakan karakterisasi arus dan tegangan (I – V meter), serta karakterisasi citra menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) sebagai Analisa pengaruh lapisan pada sel surya organik.

Kata kunci: *Dye sensitized solar cells, lapisan polimer, film tipis, TiO₂*

ABSTRACT

Electrospinning is a modified technology to produce nano-sized fibers which can be used in making thin layers of semiconductor dye sensitized solar cells. Flourate – doped tin oxide (FTO) substrate was placed as a target for deposition of TiO₂ nanofiber synthesized from TiO₂ solution. The deposition process of a thin layer of TiO₂ nanofiber was carried out for 15 minutes. The TiO₂ solution synthesized is a mixture of acetic acid, ethanol, polyvinylpyrrolidone (PVP), and titanium tetra – isopropoxide (TTIP). Mixing the synthesis solution was carried out for 24 hours, to obtain a homogeneous TiO₂ synthesis solution. The TiO₂ nanofiber thin layer deposition process was applied under an electrospinning voltage of 25 kV, the distance of the FTO substrate as the collector layer to the solution syringe was 25 cm to avoid too large solution droplets. Before the deposition stage, the surface of the FTO substrate is first formed using the etching method by coating Zn and removing the conductive layer using HCl, so that a customized conductive layer is obtained. The annealing process of the deposited TiO₂ nanofiber layer was carried out for 3 hours at a temperature of 450°C. The spin coating method was carried out to deposit a layer of Poly [2- methoxy- 5- (2- ethyl hexyloxy)- 1,4- phenylene venylene] (MEH-PPV). Coating variations are carried out with 4 different layer thicknesses. MEH – PPV was prepared by mixing chlorobenzene and stirring for 18 hours. Testing and characterization was carried

out using current and voltage characterization ($I - V$ meter), as well as image characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM) as an analysis of the influence of layers on organic solar cells.

Keywords: *Dye-sensitized solar cells, polymer layer, thin film, TiO_2*

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan menjadi fokus utama dalam menghadapi tantangan pemanasan global dan kebutuhan energi dunia yang terus meningkat. Sel surya menjadi solusi yang menjanjikan untuk menyediakan sumber daya energi bersih. Perkembangan teknologi sel surya organik, khususnya yang menggunakan polimer sebagai donor dan semikonduktor inorganik sebagai akseptor, telah membuka pintu bagi inovasi yang signifikan dalam bidang ini (Dahyunir D. & Helga D. F, 2018). Salah satu elemen kunci dalam pengembangan sel surya organik adalah Titanium dioxide (TiO_2), sebuah semikonduktor yang berperan sebagai lapisan aktif pada sel surya. TiO_2 memiliki kemampuan menangkap cahaya matahari dan berpengaruh besar terhadap kinerja sel surya. Modifikasi lapisan semikonduktor, seperti TiO_2 , menjadi esensial untuk meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya dan umur hidup elektron dalam sistem sel surya organik (Dui Yanto Rahman dkk., 2022).

Poly [2-Methoxy-5-(2-Ethylhexyloxy)-1,4-Phenylene Vinylene] (MEH-PPV) muncul sebagai bahan polimer yang menarik untuk digunakan dalam sel surya organik. MEH-PPV memiliki daya serap cahaya pada panjang gelombang tertentu, khususnya pada rentang 450-550 nm. Panjang gelombang ini menguntungkan karena matahari memiliki energi tertinggi pada spektrum panjang gelombang 500 nm, menjadikannya potensial sebagai bahan dalam sel surya organik (Norhisamudin dkk., 2020). Teknologi sel surya organik menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon. Selain lebih mudah dalam proses pembuatan dan pengembangannya, sel surya organik juga memiliki fleksibilitas yang lebih besar. Fleksibilitas ini memungkinkan aplikasi sel surya di berbagai permukaan yang berbeda dan membuka peluang baru untuk integrasi teknologi ini dalam kehidupan sehari-hari (Putu Ekayani Sri Tussniari dkk., 2021).

Modifikasi struktur lapisan aktif penting untuk meningkatkan kinerja. Electrospinning sebagai metode yang menjanjikan dalam menghasilkan lapisan semikonduktor berukuran nano. Electrospinning, dengan prinsip kerja yang sederhana, mampu menghasilkan lapisan nanofiber dari larutan polimer. Studi menunjukkan bahwa lapisan nanofiber membantu meningkatkan kemampuan sel surya dalam menangkap cahaya pada daerah panjang gelombang cahaya tampak (Song dkk., 2022).

Pengembangan TiO_2 nanofiber sebagai lapisan semikonduktor pada sel surya organik, dengan penambahan MEH-PPV sebagai bahan polimer yang berpotensi meningkatkan performa sel surya. Electrospinning digunakan untuk menghasilkan lapisan nanofiber TiO_2 , dan variasi jumlah lapisan MEH-PPV dieksplorasi untuk memahami dampaknya terhadap kinerja sel surya. Penggabungan TiO_2 nanofiber dan MEH-PPV dapat menghasilkan sinergi yang menguntungkan dalam efisiensi dan kehandalan sel surya organik (Ashok Kumar dkk., 2022; Yarmohamadi-Vasel dkk., 2019). Sifat optoelektronik MEH-PPV sesuai dengan kebutuhan penangkapan cahaya matahari, dan pemahaman lebih mendalam tentang interaksi antara MEH-PPV dan TiO_2 dapat membuka jalan menuju pengembangan sel surya organik yang lebih efisien dan ekologis.

Keberhasilan teknologi ini tidak hanya tergantung pada efisiensi penangkapan cahaya, tetapi juga pada keberlanjutan bahan-bahan yang digunakan. Upaya lain dilakukan dengan memanfaatkan pewarna alami sebagai pewarna sel surya organik. Keberlanjutan dan efisiensi sel surya organik juga terkait erat dengan karakteristik semikonduktor TiO_2 . Penggunaan TiO_2 nanofiber diharapkan dapat memberikan peningkatan signifikan dalam penangkapan cahaya dan pergerakan elektron, menghasilkan sel surya organik yang lebih efisien. Karakterisasi TiO_2 nanofiber, termasuk ukuran dan morfologi, menjadi fokus penting dalam penelitian ini. Ukuran nanofiber dan homogenitas larutan dalam proses electrospinning memiliki dampak langsung pada kualitas lapisan semikonduktor yang dihasilkan.

Selain itu, mengeksplorasi potensi MEH-PPV sebagai bahan polimer dalam konteks sel surya organik. Karakterisasi sifat optoelektronik MEH-PPV, seperti daya serap cahaya pada panjang gelombang tertentu, menjadi aspek penting untuk memahami kontribusinya dalam peningkatan kinerja sel surya. Menghadapi era energi terbarukan, pencarian alternatif yang inovatif dan berkelanjutan menjadi semakin mendesak.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan lapisan tipis TiO₂ nanofiber didapatkan melalui sintesis larutan yang merupakan campuran *Etanol*, *Asam Asetat*, *Polyvinylpyrrolidone* (PVP, Mw = ~29,000). Kemudian *Titanium Tetraisopropoxide* (TTIP) dicampurkan ke dalam larutan dan diaduk menggunakan magnetik stirrer selama 24 jam agar didapatkan larutan yang homogen (Ilahi dkk., 2023).

Larutan TiO₂ sintesis tersebut kemudian diinjeksikan ke dalam *syringe pump* yang akan digunakan pada *electrospinning*. Proses *electrospinning* larutan dioperasikan dengan menggunakan tegangan 25 kV. Jarak antara jarum yang dipasang pada syringe dan kolektor fiber berada sejauh 25 cm. Agar didapatkan hasil yang optimal, pelapisan nanofiber pada substrat hanya dilakukan selama 15 menit pada masing-masing sampel. Waktu optimal lapisan nanofiber tersebut telah didapatkan dari penelitian sebelumnya (Bhullar dkk., 2021). Substrat FTO terlebih dulu dibentuk permukaannya menggunakan metode pengetchingan dengan melapisi Zn dan menghilangkan lapisan konduktifnya menggunakan HCl, sehingga didapatkan lapisan konduktif yang telah disesuaikan. Lapisan TiO₂ yang telah terlapisi pada substrat FTO kemudian diannealing selama 3 jam pada suhu 450°C. Proses annealing atau pemanasan dilakukan supaya PVP dan kandungan lain yang terdapat pada lapisan TiO₂ menghilang, sehingga menyisakan TiO₂ nanofiber saja pada substrat (Yoga Nugraha & Rizki Rahmah Fauzia, 2022).

Poly [2-Methoxy-5-(2-Ethylhexyloxy)-1,4-Phenylene Vynylene] (MEH-PPV) dilarutkan dengan menggunakan klorobenzen selama 18 jam dengan konsentrasi 5 mg/ml. Metode *spin coating* dilakukan untuk mendeposisikan lapisan MEH-PPV di atas TiO₂ nanofiber. Lapisan MEH-PPV divariasikan sebanyak 1 lapis sampai dengan 4 lapis di atas lapisan tipis TiO₂ nanofiber. Setiap lapis lapisan MEH-PPV yang dideposisikan memiliki volume larutan sebanyak 25 µL. Alumunium dilapisi di atas lapisan MEH-PPV menggunakan alat evaporasi. Ketebalan lapisan MEH-PPV dikarakterisasi menggunakan SEM dengan metode *cross-section*.

Penambahan lapisan MEH-PPV akan mempengaruhi tingkat ketebalan lapisan. Performa sel surya organik berbasis dasar TiO₂ nanofiber dan MEH-PPV dikarakterisasikan menggunakan I-V meter. Karakterisasi I-V meter akan menampilkan kurva gelap dan terang untuk menunjukkan kuantitas kinerja sel surya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas lapisan nanofiber dipengaruhi oleh parameter yang digunakan pada metode *electrospinning*, seperti tegangan, jarak kolektor dan jarum, *flow rate*, diameter jarum, dan larutan yang digunakan (Secundino-Sánchez dkk., 2019). Pada penelitian ini parameter instrumen yang digunakan selama proses *electrospinning* dibuat agar selalu konstan. Tegangan yang diberikan sebesar 25 kV dengan jarak antara jarum dan kolektor sejauh 25 cm. *Flow rate* yang digunakan sebesar 3 mL/jam dan diameter jarum sebesar 0,45 mm.

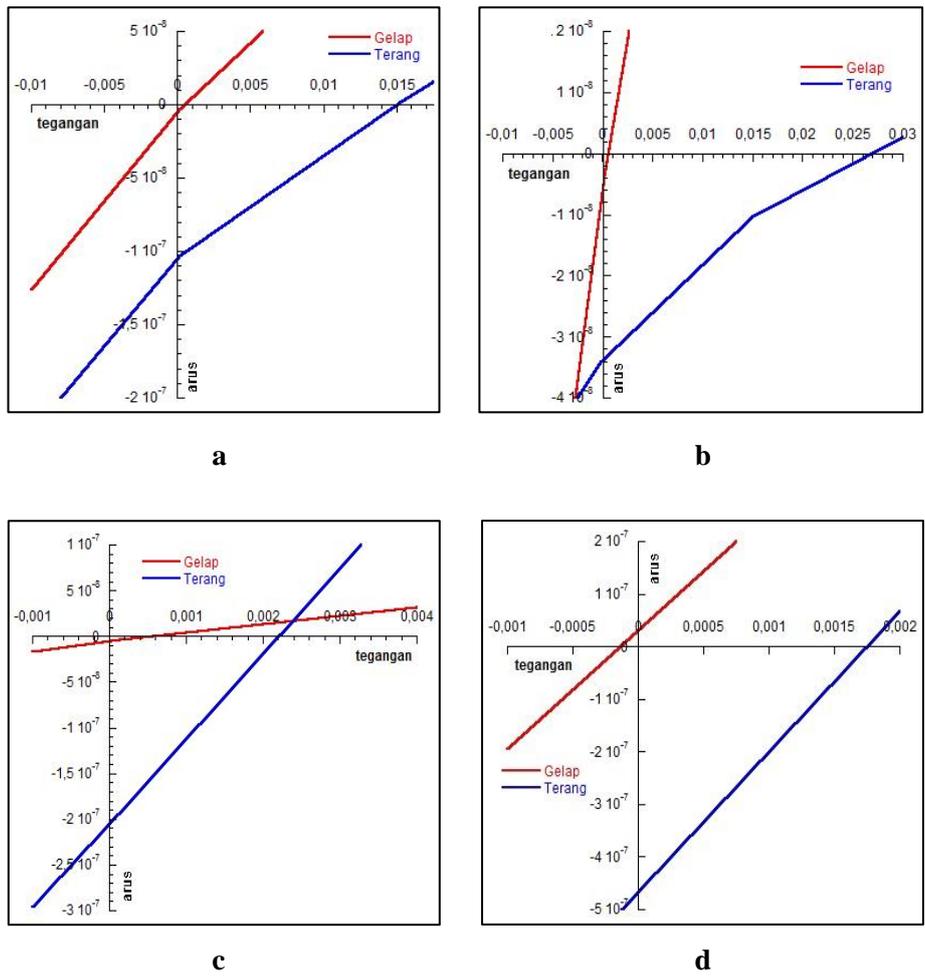
Hasil sintesa TiO₂ nanofiber pada permukaan FTO dan menerapkan penggunaannya pada *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). Lapisan TiO₂ nanofiber mendapatkan hasil optimal pada waktu pelapisan menggunakan metode *electrospinning* selama 15 menit. Saat ini lapisan TiO₂ nanofiber tersebut kami lapisi dengan larutan MEH-PPV untuk diamati pengaruhnya terhadap performa sel surya organik. Jumlah lapisan MEH-PPV divariasikan sebanyak 1 lapis, 2 lapis, 3 lapis, dan 4 lapis.

Setiap lapisan MEH-PPV yang dideposisikan di atas lapisan TiO₂ nanofiber memiliki volume sebanyak 25 µL, lapisan tersebut dideposisikan menggunakan metode *spin coating*. Perhitungan dari karakteristik I-V yang dilakukan pada fotovoltaiik sel surya organik untuk masing-masing variasi lapisan MEH-PPV ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik I-V TiO₂ nanofiber dengan variasi jumlah lapisan MEH-PPV

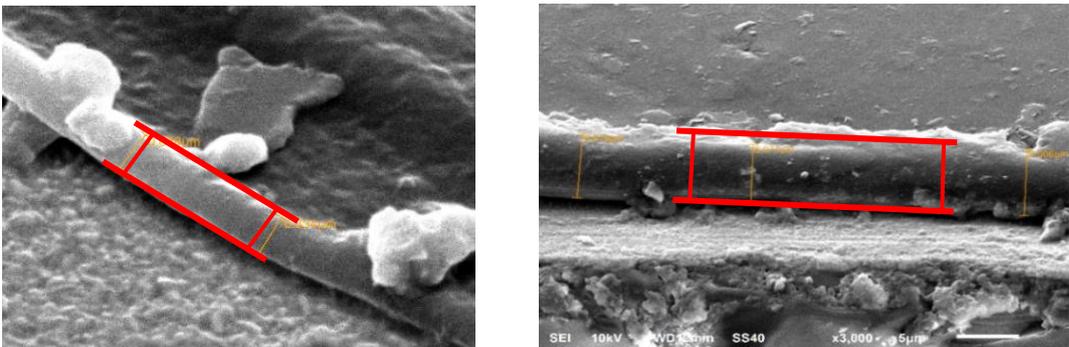
Karakteristik I-V	Jumlah Lapisan			
	1	2	3	4
<i>V_{oc}</i> (mV)	15,0	26,0	2,20	1,75
<i>I_{sc}</i> (mA)	1,00 × 10 ⁻⁴	3,40 × 10 ⁻⁵	2,00 × 10 ⁻⁴	4,50 × 10 ⁻⁴
<i>V_{max}</i> (mV)	7,65	16,8	1,70	1,02
<i>I_{max}</i> (mA)	5,28 × 10 ⁻⁵	1,78 × 10 ⁻⁵	1,45 × 10 ⁻⁴	2,30 × 10 ⁻⁴
<i>P_{max}</i> (mW)	4,04 × 10 ⁻⁷	3,00 × 10 ⁻⁷	2,47 × 10 ⁻⁷	2,34 × 10 ⁻⁷
<i>η</i> (%)	6,73 × 10 ⁻⁷	5,00 × 10 ⁻⁷	4,11 × 10 ⁻⁷	3,90 × 10 ⁻⁷
<i>Fill Factor</i>	0,27	0,34	0,56	0,30

Gambar 1 menampilkan fill factor sebagai indikasi kinerja sel surya, yang akan mempengaruhi efisiensi kerja sel surya *Dye Sensitized – Solar Cells* (DSSC). Semakin besar selisih *fill factor* lapisan akan menimbulkan selisih arus yang makin besar, sehingga meningkatkan efisiensi atau kemampuan kerja DSSC dalam menghasilkan arus listrik.



Gambar 1. Grafik efisiensi gelap-terang; a. TiO₂ nanofiber dengan 1 lapis MEH-PPV; b. TiO₂ nanofiber dengan 2 lapis MEH-PPV; c. TiO₂ nanofiber dengan 3 lapis MEH-PPV; d. TiO₂ nanofiber dengan 4 lapis MEH-PPV.

Lapisan MEH-PPV yang digunakan pada sel surya organik berfungsi sebagai donor elektron. Berdasarkan kurva pada Gambar 1, perubahan jarak yang dihasilkan oleh garis kurva gelap dan terang pada setiap variasi menginformasikan bahwa terdapat performa dari sel surya berbasis MEH-PPV. Karakterisasi ketebalan lapisan polimer MEH – PPV dilakukan dengan menggunakan *scanning electron microscopy* untuk mengetahui ketebalan yang bervariasi. Pengujian dilakukan dengan perbesaran 300x sampai dengan 10.000x pada skala 1 μm dan 5 μm. Hasil karakterisasi ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Citra ketebalan MEH – PPV 1 lapisan dan 4 lapisan

Pengujian lanjutan mengenai hasil listrik dari polimer MEH – PPV yang dideposisi pada sel surya dikarakterisasi dengan menggunakan pengujian I – V meter. Hasil karakterisasi I-V meter yang telah dilakukan, diketahui bahwa pada sel surya organik yang memanfaatkan satu lapis lapisan MEH-PPV didapatkan nilai efisiensi sebesar $6,73 \times 10^{-7} \%$. Pada dua lapis lapisan MEH-PPV efisiensi sel surya organik didapatkan sebesar $5,00 \times 10^{-7} \%$. Selanjutnya, berturut-turut pada penambahan lapisan MEH-PPV efisiensi sel surya organik yang didapatkan adalah sebesar $4,11 \times 10^{-7} \%$ pada 3 lapis dan pada 4 lapis didapatkan hasil karakterisasi efisiensi sebesar $3,90 \times 10^{-7} \%$. Data tersebut menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapisan MEH-PPV berpengaruh terhadap performa sel surya organik. Nilai efisiensi tersebut berkaitan dengan perubahan hasil ketebalan yang dimiliki lapisan MEH-PPV, berturut-turut perubahan ketebalan 1 lapis sampai dengan 4 lapis MEH-PPV ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Hasil karakterisasi SEM ketebalan lapisan polimer MEH-PPV

Ketebalan	Jumlah Lapisan			
	1	2	3	4
	0,88	1,20	2,35	5,82
	μm	μm	μm	μm

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM pada Tabel 2 diketahui semakin besar ketebalan yang dimiliki lapisan MEH-PPV maka hasil efisiensi yang dihasilkan menjadi semakin kecil. Penurunan efisiensi sel surya organik dengan berbahan dasar TiO_2 nanofiber dan polimer MEH-PPV disebabkan karena ketebalan lapisan MEH-PPV yang terlalu tinggi, sehingga banyak elektron yang tidak mampu mencapai elektroda dan terjadi rekombinasi elektron pada lapisan tersebut. Efisiensi terbaik pada variasi ini didapatkan pada variasi ketebalan lapisan MEH-PPV dibawah $1 \mu\text{m}$. Rendahnya nilai efisiensi pada sel surya organik berbahan polimer MEH-PPV juga dapat disebabkan karena mobilitas elektron yang dimiliki polimer ini. Pada polimer MEH-PPV mobilitas elektron lebih rendah dibandingkan mobilitas *hole*. Mobilitas elektron pada polimer MEH-PPV adalah sebesar $8 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{Vs}$, sedangkan mobilitas *hole* sebesar $8 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

4. KESIMPULAN

Hasil dari pengujian karakterisasi I-V meter menunjukkan adanya perubahan pada performa sel surya organik yang disebabkan karena bertambahnya ketebalan lapisan yang diakibatkan oleh meningkatnya jumlah lapisan MEH-PPV. Lapisan organik yang dilapisi pada lapisan aktif TiO_2 nanofiber telah memberikan aliran transfer elektron terhadap lapisan TiO_2 nanofiber. Efisiensi sel surya organik mendapatkan nilai terbaik apabila ketebalan lapisan MEH-PPV berada di bawah $1 \mu\text{m}$.

SARAN

Pembuatan larutan TiO_2 sebagai lapisan tipis semikonduktor perlu dibuat dalam kondisi ideal dengan kelembaban dan suhu ruangan yang stabil. Deposisi lapisan tipis semikonduktor pada substrat perlu dilakukan berkala dan pada durasi waktu nyala dan henti, untuk menghindari penumpukan lapisan yang berpotensi merusak lapisan semikonduktor. Pendopongan material lain mungkin diperlukan untuk meningkatkan hasil listrik sel surya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh rekan peneliti dari Universitas Nusa Nipa dan seluruh mahasiswa pelaksana penelitian dari Politeknik Negeri Cilacap. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada Direktorat Akademik Pendidikan Vokasi, Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui pendaan riset dengan Nomor Kontrak 189/SPK/D.D4/PPK.01.APTV/VI/2023

DAFTAR PUSTAKA

- Ashok Kumar, S., Shankar, J. S., & Periyasamy, B. K. (2022). Study on interfacial interactions and optoelectronic properties of MEH-PPV/SnO₂ hetero-structure. *Semiconductor Science and Technology*, 37(4), 045015. <https://doi.org/10.1088/1361-6641/ac5675>
- Bhullar, V., Sardana, S., & Mahajan, A. (2021). Size modeling of TiO₂ nanofibers for efficient TiO₂ sensitized mesoscopic solar cells. *Solar Energy*, 230, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.023>
- Dahyunir Dahlan, & Helga Dwi Fahyuan. (2018). PENGARUH BEBERAPA JENIS DYE ORGANIK TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA DYE SENSITIZED SOLAR CELL. *Indonesian Journal of Material Science*, 15(2).
- Dui Yanto Rahman, Rita Sulistyowati, Rahmawati Munir, Desyana Olenka Margareta, & Fisca Dian Utami. (2022). Studi Awal Fabrikasi Sel Surya Murah Menggunakan TiO₂ Sebagai Material Penyerap Foton dengan Deposisi Ion-Ion NaCl. *Jurnal Fisika*, 12(1).
- Ilahi, N. A., Hazrina, F., Musyafiq, A. A., Syukro, A. A., & Nagara, E. S. (2023). Natural Dyes Extraction of Curcuma Longa, Tradescantia Spatacea, and Bryophyta Absorption Capability on TiO₂ Nanofiber Thin Layer. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 19(1), 5. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v19i1.14068>
- Norhisamudin, N. A., Sabani, N., Rosli, N., Ahmad, M. F., Juhari, N., Shaari, S., & Zakaria, N. (2020). The efficiency effect of dye sensitized solar cell using different ratio of organic polymer doped titanium dioxide at different annealing process temperature. 020052. <https://doi.org/10.1063/1.5142144>
- Putu Ekayani Sri Tussniari, Komang Nikastri Tussning Dewi, & Ketut Nikastri Tussning Putri. (2021). EFEK KONSENTRASI P3HT:PCBM PADA REDUCED GRAPHENE OXIDE TERHADAP EFISIENSI SEL SURYA ORGANIK BULK HETEROJUNCTION. *Prosiding SNAST*.
- Secundino-Sánchez, O., Diaz-Reyes, J., Aguila-López, J., & Sánchez-Ramírez, J. F. (2019). Crystalline phase transformation of electrospinning TiO₂ nanofibres carried out by high temperature annealing. *Journal of Molecular Structure*, 1194, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.05.092>
- Song, J., Guan, R., Xie, M., Dong, P., Yang, X., & Zhang, J. (2022). Advances in electrospun TiO₂ nanofibers: Design, construction, and applications. *Chemical Engineering Journal*, 431, 134343. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.134343>
- Yarmohamadi-Vasel, M., Modarresi-Alam, A. R., Noroozifar, M., & Hadavi, M. S. (2019). An investigation into the photovoltaic activity of a new nanocomposite of (polyaniline nanofibers)/(titanium dioxide nanoparticles) with different architectures. *Synthetic Metals*, 252, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2019.04.007>
- Yoga Nugraha, & Rizki Rahmah Fauzia. (2022). Pembuatan Gelas Transparan Konduktif FTO (Fluorine-Doped Tin Oxide) Untuk Kit Sel Surya Berbasis Sensitasi Senyawa Organik / Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Teknik Deposisi Semprot dengan Menggunakan Pembakar Bunsen dan Alat Sederhana. *Syntax Literate Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(5).