

Pengaruh Perbandingan Komposisi ZnO dan TiO₂ dalam Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) pada Dye Kangkung (*Ipomoea aquatica*)

Agus Supriyanto¹, Deny Kurniawan², C Cari³

Program Studi S2 Ilmu Fisika, Pascasarjana Universitas Sebelas Maret,
Jl. Ir. Sutami no 36 Ketingan Surakarta

Email : agusf22@staff.uns.ac.id and kurniawan.deny93@gmail.com

Abstract: Zinc oxide has the chemical formula ZnO, while titanium oxide has the chemical formula TiO₂. Zinc oxide and titanium dioxide are inorganic compounds. ZnO and TiO₂ are often used for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). This research was conducted by mixing ZnO and TiO₂ as a photoanode. A mixture of ZnO and TiO₂ is prepared by mixing ZnO and TiO₂ in a ratio of 1:1, 1:2, 1:3 and then dissolved in ethanol. The natural dye used is water spinach (*Ipomoea aquatica*) extract. The absorbance of natural kale dye has two quite high absorption spectra, ranging from 435-480 nm and 610-800. Each absorption spectrum has two photon absorption peaks at the wavelengths of 476 nm and 611 nm. The absorption values were 3.35724 a, u and 3.15647. Fabrication is carried out using FTO glass with a working area of 1 cm × 1 cm. The efficiency results obtained were ZnO/TiO₂ (1:1) nanocomposites with an efficiency (η) of 0.08165%, ZnO/TiO₂ (1:2) nanocomposites with an efficiency (η) of 0.20743% ZnO/TiO₂ nanocomposites (1:3) with an efficiency (η) of 0.24044%.

Keywords: TiO₂, Water spinach, ZnO

Abstrak: Seng oksida memiliki rumus kimia ZnO, sedangkan titanium oksida yang memiliki rumus kimia TiO₂. Seng oksida dan titanium dioksida adalah senyawa anorganik. ZnO dan TiO₂ sering digunakan untuk Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan ZnO dan TiO₂ sebagai fotoanoda. Campuran ZnO dan TiO₂ dibuat dengan mencampurkan ZnO dan TiO₂ dengan perbandingan 1:1, 1:2, 1:3 kemudian dilarutkan dalam etanol. Pewarna alami yang digunakan adalah ekstrak kangkung (*Ipomoea aquatica*). Absorbansi dari dye alami kangkung memiliki dua spektrum penyerapan yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 435-480 nm dan 610-800. Masing-masing spektrum penyerapan memiliki dua puncak penyerapan foton yaitu pada panjang gelombang 476 nm dan 611 nm. Nilai absorbansi berturut-turut yaitu 3,35724 a,u dan 3,15647. Fabrikasi dilakukan menggunakan kaca FTO dengan luas kerja 1 cm × 1 cm. Hasil efisiensi diperoleh nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1) dengan efisiensi (η) sebesar 0,08165%, nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) dengan efisiensi (η) 0,20743% nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3) dengan efisiensi (η) 0,24044%.

Kata kunci: Kangkung, TiO₂, ZnO

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari manusia. Banyak aktivitas yang dilakukan manusia saat melibatkan energi listrik. Dimulai dari aktivitas memasak di rumah, aktivitas perkantoran sampai aktivitas belajar mengajar di sekolah. Hal ini menyebabkan kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, sehingga harus diimbangi penyediaan sumber energi listrik. Selama ini penyediaan energi listrik sangat tergantung oleh sumber energi tak terbarukan seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi yang sebenarnya cepat atau lambat energi tersebut akan habis. Inilah yang menyebabkan di masa berikutnya menimbulkan krisis yang berkepanjangan sehingga membutuhkan solusi untuk mengganti sumber energi yang lebih efisien. Permasalahan ini mendorong untuk mewujudkan suatu

teknologi dari sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan salah satunya adalah dengan pembangkit listrik menggunakan sumber energi matahari.

DSSC merupakan sel surya generasi ketiga yang tumbuh cepat yang meniru proses fotosintesis alam. Keuntungan utama dari sel surya ini adalah hemat biaya dengan proses manufaktur sederhana, dan ramah lingkungan. Sel surya generasi ketiga ini bertujuan untuk mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi. DSSC adalah salah satu sel surya yang memiliki efisiensi yang lebih baik dari sel surya silikon. *Dye* yang terdapat pada DSSC mempunyai fungsi sebagai donor elektron atau penghasil elektron. Saat cahaya matahari mengenai *dye* maka elektron yang terdapat pada *dye* akan terinjeksi ke semikonduktor tipe-n (umumnya TiO_2) dan akan menimbulkan hole pada semikonduktor tipe-p (*dye*). Penelitian dengan memakai *dye* dari senyawa *ruthenium complex* dapat mencapai efisiensi 11%. Sedangkan dari pewarna organik alam efisiensinya masih lebih rendah. Jumlah *ruthenium complex* yang terbatas dan harganya yang mahal, membuat penelitian berkembang menuju ke pewarna alami yang dapat diekstrak dari bunga, daun, buah, akar maupun pewarna organik lainnya.

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan jenis solar cell fotoelektrokimia yang terdiri dari suatu bidang kerja semikonduktor yang mengandung zat pewarna (*dye*). DSSC terdiri dari elektroda semikonduktor, elektroda counter, elektrolit yang mengandung pasangan redoks (I^-/I_3^-) dan zat pewarna. Ketika DSSC diterangi oleh sinar matahari, molekul pewarna pada permukaan pita konduksi semikonduktor menyerap cahaya. Penyerapan cahaya oleh molekul pewarna diikuti oleh injeksi elektron pewarna dalam pita konduksi semikonduktor dan selanjutnya di transfer ke elektrolit. Akhirnya elektron mengalir melalui sirkuit eksternal.

DSSC telah banyak diteliti sebagai alternatif yang menjanjikan untuk perangkat fotovoltaik konvensional karena biaya fabrikasi yang rendah, tidak beracun dan efisiensi konversi yang menjanjikan. Dalam sistem DSSC, interaksi antara pewarna dan partikel oksida semikonduktor menentukan proses pengubahan energi cahaya menjadi energi listrik.

TiO_2 adalah semikonduktor yang stabil, transparan, ramah lingkungan dan permukaan besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa TiO_2 memiliki celah energi 3,2 eV. TiO_2 dipilih untuk memasukkan logam karena memiliki permukaan yang besar. ZnO merupakan salah satu bahan material semikonduktor yang banyak digunakan dalam aplikasi elektronik, optoelektronik, dan katalitik. ZnO memiliki energi celah pita langsung (*direct band gap*) yang lebar sebesar 3,37 eV serta memiliki emisi ultraviolet (UV) yang kuat

Diketahui bahwa dengan semakin kecilnya ukuran suatu material terhadap skala nanometer maka rasio antara permukaan terhadap volume akan semakin besar dan peluang interaksi dengan lingkungan sekitarnya akan semakin tinggi. Material yang paling sering digunakan dalam DSSC adalah nanopartikel TiO_2 . Namun saat ini *zinc oxide* (ZnO) dianggap sebagai alternatif TiO_2 karena beberapa kelebihan yang dimilikinya, diantaranya posisi pita valensi yang berada tepat di bawah pita konduksi (*direct band gap*) sehingga memungkinkan terjadinya eksitasi yang lebih cepat. elektron selama penyerapan energi foton DSSC di bawah paparan sinar matahari dibandingkan dengan TiO_2 yang memiliki karakteristik sebagai semikonduktor celah pita tidak langsung.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pembuatan ZnO

Pembuatan ZnO dilakukan dengan cara sintesis. Pembuatan sintesis ZnO dimulai dengan mempersiapkan larutan 1 yaitu dengan menggunakan *zinc nitrate tetrahydrate* ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) sebanyak 5,23 gram yang dilarutkan kedalam aquades dalam wadah Erlenmeyer. Selanjutnya larutan 1 diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam agar

memperoleh larutan yang homogen. Pada saat yang sama dilakukan pembuatan larutan 2 dengan menggunakan *polyethylene glycol* (PEG) sebanyak 3 gram yang dilarutkan kedalam aquades sebanyak 50 ml. Selanjutnya larutan 2 diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit hingga PEG terlarut seluruhnya kedalam aquades. Kemudian larutan 2 ditambahkan 22,7 ml NH_4OH dan diaduk selama 10 menit.

Kemudian larutan 2 diteteskan kedalam larutan 1 dengan menggunakan pipet tetes dengan diiringi pengadukan. Penambahan larutan 2 kedalam larutan 1 dilakukan hingga larutan campuran mencapai pH $\sim 10,5$. Setelah mencapai pH tersebut proses pengadukan dipercepat dan diiringi dengan pemanasan larutan campuran mencapai temperature $75\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam hingga didalam larutan campuran diperoleh endapan berwarna putih. Setelah diperoleh endapan berwarna putih kemudian disaring dengan menggunakan kertas saring. Endapan tersebut kemudian dibilas menggunakan aquades dan etanol masing-masing sebanyak 3 kali bilas. Kemudian bubuk putih ZnO dikeringkan kedalam oven dengan suhu $60\text{ }^\circ\text{C}$ selama 12 jam.

2.2. Pembuatan nanokomposit ZnO/TiO₂

Pembuatan nanokomposit ZnO/TiO₂ dilakukan dengan mencampurkan ZnO dan TiO₂ yang dilarutkan kedalam etanol. Pembuatan nanokomposit ZnO/TiO₂ yang pertama yaitu mempersiapkan ZnO sebanyak 1 gram dan TiO₂ sebanyak 1 gram dimasukan kedalam tabung 30 ml kemudian ditambahkan etanol sebanyak 8 ml. Selanjutnya diaduk menggunakan *magnetic stirrer* minimal 2 jam hingga tercampur merata berwarna putih. Pembuatan nanokomposit yang kedua yaitu mempersiapkan ZnO sebanyak 1 gram dan TiO₂ sebanyak 2 gram dimasukan kedalam tabung 30 ml kemudian ditambahkan etanol sebanyak 12 ml. Kemudian diaduk minimal 2 jam hingga tercampur merata berwarna putih. Pembuatan nanokomposit ZnO/TiO₂ yang ketiga mempersiapkan ZnO 1 gram dan TiO₂ sebanyak 3 gram dimasukan kedalam tabung 30 ml kemudian ditambahkan etanol sebanyak 16 ml.

2.3. Deposisi nanokomposit ZnO/TiO₂ pada kaca FTO

Deposisi nanokomposit ZnO/TiO₂ dilakukan dengan menggunakan teknik *spin coating*. Kaca konduktif FTO dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleanser* dengan menggunakan alkohol. Kemudian menandai area kerja kaca FTO dan menandai area pinggir dengan selotip yang merupakan bagian yang tidak ditetesi dengan nanokomposit ZnO/TiO₂. Ukuran area kerja kaca FTO yang ditetesi nanokomposit ZnO/TiO₂ yaitu $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$. Area kerja pada kaca FTO ditetesi dengan nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1) dengan menggunakan pipet tetes hingga merata.

Kaca FTO yang sudah ditetesi dengan nanokomposit ZnO/TiO₂ kemudian dideposisikan dengan menggunakan metode *spin coating* menggunakan *spin coater* dengan kecepatan 1.000 rpm. Selanjutnya melepas selotip yang ada pada pinggir area kerja kaca FTO. Kaca FTO yang sudah dideposisi kemudian di *annealing* dengan suhu $550\text{ }^\circ\text{C}$, dengan waktu tahan 60 menit dan *heating rate* $15\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$. *Annealing* dilakukan menggunakan *furnace carbolite*. Kemudian mengulangi langkah yang sama untuk nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) dan nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3). Kemudian rendam kaca FTO yang sudah dilapisi ZnO/TiO₂ kedalam *dye* selama 24 jam.

2.4. Pembuatan dye alami

Dye alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah kangkung seperti pada Gambar 1. *Dye* organik alam mula-mula dibersihkan dan dicuci menggunakan aquades. Kemudian *dye* ditumbuk hingga halus. Setelah itu *dye* ditimbang menggunakan timbangan digital sebanyak 20 gram. Kemudian *dye* dimasukan kedalam wadah 100 ml. Wadah yang digunakan harus tertutup

dan tidak tembus cahaya atau dilapisi dengan aluminium foil agar tidak tembus cahaya. Setelah *dye* dimasukkan kedalam wadah selanjutnya dimasukkan etanol sebanyak 80 ml dan menutup bagian atas. Selanjutnya mengaduk *dye* yang telah dicampur dengan etanol dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Kemudian membiarkan didalam tempat tertutup selama 24 jam.



Gambar 1. *Dye* alami kangkung (*Ipomoea aquatica*)

2.5. Pembuatan elektrolit

Proses pembuatan larutan elektrolit menggunakan *potassium iodide* (KI) sebanyak 0,8 gram dan *polyethylene glycol* (PEG) sebanyak 10 ml. Kemudian mencampurkan KI dan PEG kedalam wadah yang tertutup dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit hingga campuran homogen. Setelah larutan homogen ditambahkan 0,127 gram *Iodine* (I_2) dan mengaduknya hingga menjadi homogen selama 30 menit dengan kecepatan 300 rpm.

2.6. Pembuatan elektroda lawan

Elektroda lawan yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan platina. Platina dideposisikan diatas kaca FTO. Kaca FTO dilapisi selotip sebagai pembatas sehingga terbentuk area aktif pendeposisian seluas $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$. Kemudian dipanaskan pada hot plate dengan temperature $200\text{ }^\circ\text{C}$ selama 10 menit. Area aktif kaca FTO tersebut kemudian ditetesi menggunakan larutan platina dengan pipet tetes sebanyak 3 tetes selama 15 menit, kemudian didiamkan sampai mencapai suhu ruangan dan melepaskan selotip. Kemudian kaca FTO yang sudah dilapisi platina dimasukkan kedalam *furnace carbolite* di *annealing* pada suhu $450\text{ }^\circ\text{C}$ dengan waktu tahan 60 menit dan *heating rate* $10\text{ }^\circ\text{C}/\text{menit}$.

2.7. Fabrikasi DSSC

Setelah seluruh komponen dibuat, maka proses selanjutnya yaitu pembuatan DSSC menggunakan system *sandwich*. Lapisan nanokomposit ZnO/TiO_2 (1:1) yang telah direndam dalam *dye* alami selama 24 jam diangkat dan biarkan kering selama 10 menit. Pasang penghalang isolator pada bagian sisi kiri dan kanan kaca FTO yang telah dilapisi ZnO/TiO_2 untuk mencegah terjadinya *short contact*. Larutan elektrolit ditetaskan diatas area aktif yang telah dilapisi nanokomposit ZnO/TiO_2 . Kemudian letakan elektroda lawan diatas kaca FTO yang sudah dilapisi nanokomposit ZnO/TiO_2 .

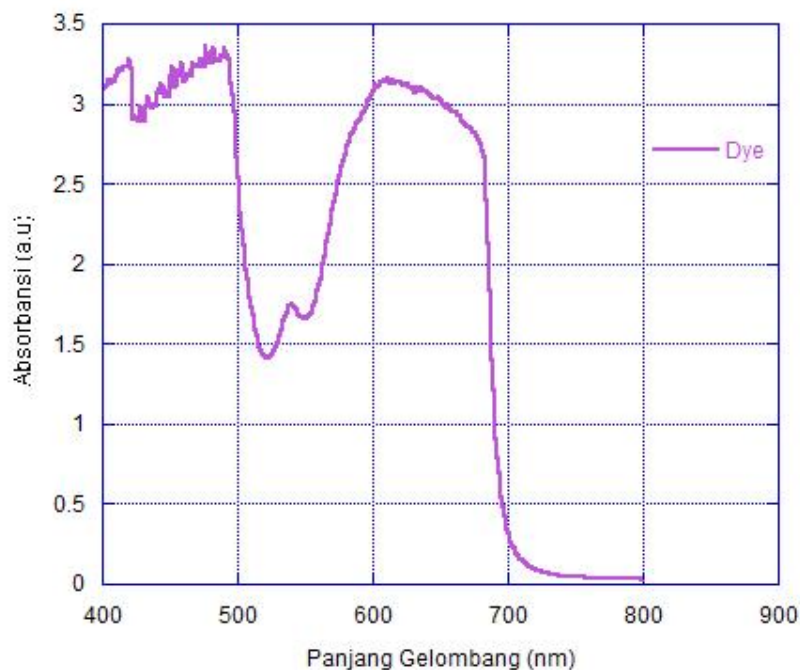
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakterisasi absorbansi dye alami kangkung

Absorbansi merupakan sifat optik yang mengarah pada suatu respon material terhadap radiasi elektromagnetik pada rentang cahaya tampak. Absorbansi terjadi saat foton bertumbukan langsung dengan atom-atom pada material dan kehilangan energi pada elektron atom. Foton mengalami perlambatan dan akhirnya berhenti saat cahaya yang keluar dari material berkurang dibandingkan ketika masuk ke material. Energi foton yang diserap atom digunakan untuk bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Peristiwa absorbansi terjadi ketika eksitasi elektron dari pita valensi melewati band gap menuju pita konduksi, sehingga terbentuk sebuah elektron bebas dalam pita konduksi dan hole pada pita valensi.

Larutan *dye* dalam penelitian ini adalah *dye* alami kangkung. Karakterisasi pada *dye* alami kangkung diperoleh menggunakan *UV-Visible Spectrometer Lambda 25*. Absorbansi dari *dye* alami kangkung memiliki puncak penyerapan yang cukup tinggi. Penyerapan tersebut menunjukkan bahwa puncak elektron yang berinteraksi akibat penyerapan cahaya berupa energi foton oleh molekul *dye*.

Hasil absorbansi dari *dye* alami kangkung memiliki dua spektrum penyerapan yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 435-480 nm dan 610-800 nm. Masing-masing spektrum penyerapan memiliki dua puncak penyerapan foton yaitu pada panjang gelombang 476 nm dan 611 nm. Nilai absorbansi berturut-turut yaitu 3,35724 a.u dan 3,15647 a.u seperti Gambar 1.



Gambar 2. Kurva absorbansi *dye* alami kangkung (*Ipomoea aquatica*).

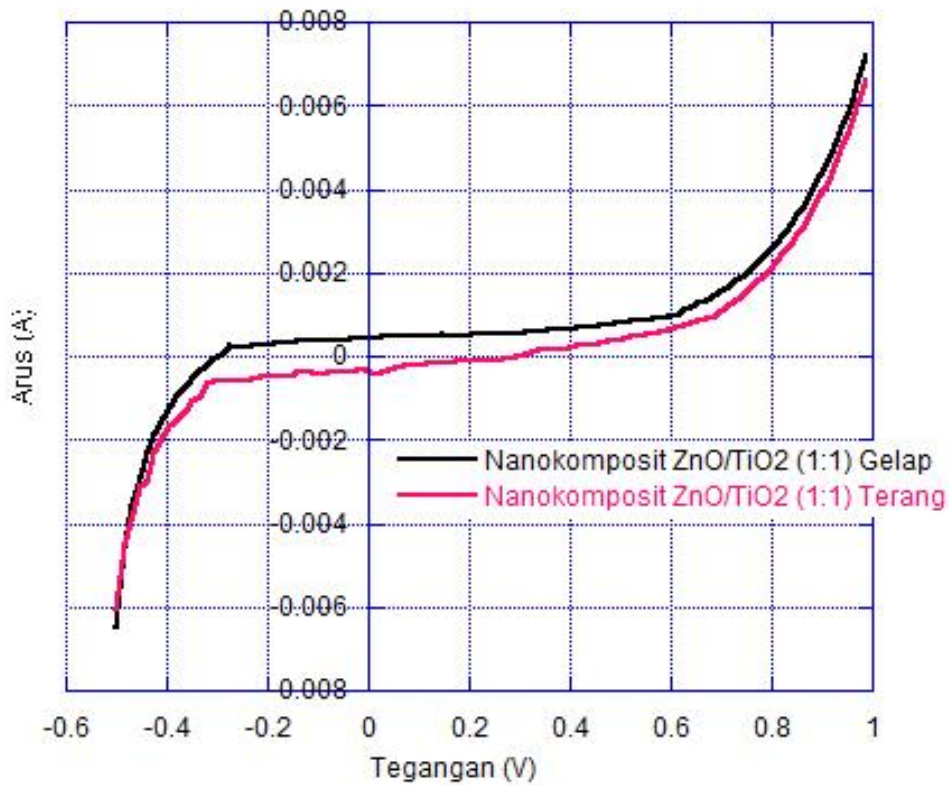
3.2. Karakterisasi I-V DSSC

Karakterisasi arus-tegangan (*I-V*) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui kinerja DSSC yaitu seberapa besar kemampuan DSSC untuk dapat mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Karakterisasi *I-V* DSSC diuji dengan menggunakan *Keithley 2602A*. Pengujian dilakukan pada keadaan gelap atau tanpa penyinaran dan pada keadaan terang yang dibantu pencahayaan lampu halogen berintensitas cahaya 1000 W/m^2 . Penyinaran cahaya

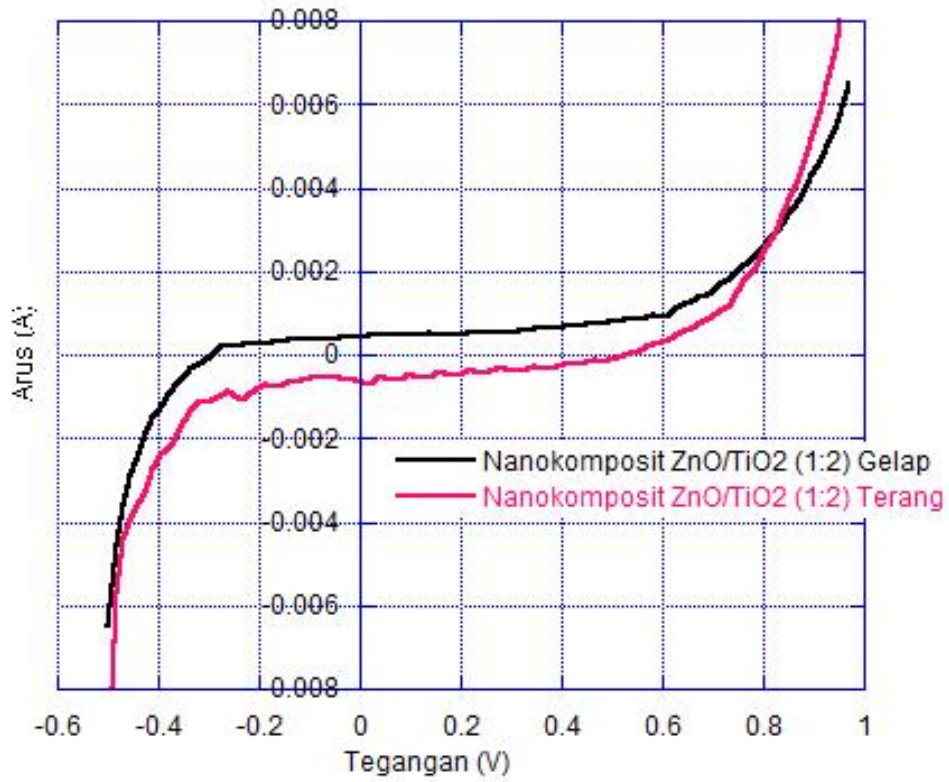
dalam pengujian tersebut bertujuan untuk menggantikan penyinaran cahaya matahari. Hasil karakterisasi $I-V$ DSSC ini digunakan untuk menentukan parameter fotovoltaiik yaitu I_{sc} , V_{oc} , FF, dan η . Pengujian peforma DSSC *dye* organik alam dilakukan untuk mengetahui tingkatan performa yang dihasilkan oleh DSSC. Hasil pengujian arus-tegangan ($I-V$) untuk *dye* kangkung ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Karakterisasi $I-V$ DSSC berdasarkan komposisi material untuk *dye* alami kangkung

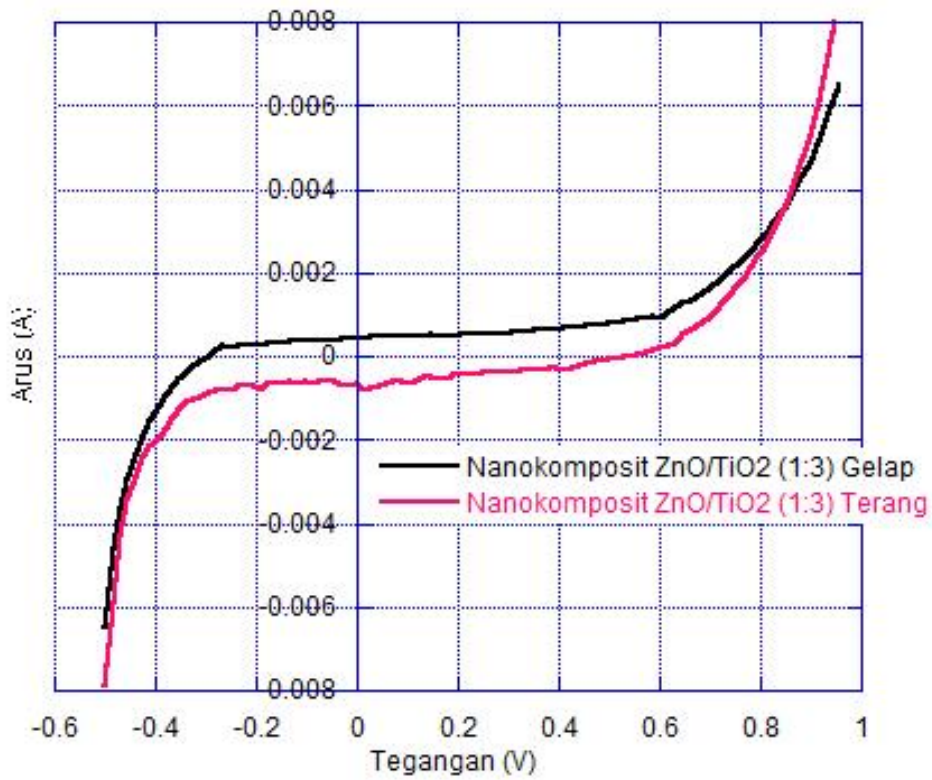
Komposisi Material	I_{max} (mA)	V_{max} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{oc} (mV)	η (%)
Nanocomposite ZnO/TiO ₂ (1:1)	0,00035	0,22726	0,00113	0,33352	0,08165
Nanocomposite ZnO/TiO ₂ (1:2)	0,00042	0,48497	0,00141	0,54553	0,20743
Nanocomposite ZnO/TiO ₂ (1:3)	0,00058	0,40912	0,00149	0,50011	0,24044



Gambar 3(a). Kurva $I-V$ nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1)



Gambar 3(b). Kurva I - V nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2)



Gambar 3(c). Kurva I - V nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3)

Hasil efisiensi diperoleh nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1) dengan efisiensi (η) sebesar 0,08165%, nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) dengan efisiensi (η) 0,20743% nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3) dengan efisiensi (η) 0,24044%. Pada nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) terjadi peningkatan efisiensi yang signifikan dari nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1). Kemudian untuk nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3) terjadi peningkatan efisiensi nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) tetapi tidak signifikan. Efisiensi yang dihasilkan dalam penelitian ini masih terlalu kecil dibandingkan dengan hasil penelitian (Chao, *et al.*) dengan bahan yang sama tetapi dengan metode yang berbeda menghasilkan efisiensi ($\eta = 2,163\%$).

4. KESIMPULAN

Absorbansi dari *dye* alami kangkung memiliki dua spektrum penyerapan yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 435-480 nm dan 610-800. Masing-masing spektrum penyerapan memiliki dua puncak penyerapan foton yaitu pada panjang gelombang 476 nm dan 611 nm. Nilai absorbansi berturut-turut yaitu 3,35724 a.u dan 3,15647.

Efisiensi diperoleh nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1) dengan efisiensi (η) sebesar 0,08165%, nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) dengan efisiensi (η) 0,20743% nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3) dengan efisiensi (η) 0,24044%. Pada nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) terjadi peningkatan efisiensi yang signifikan dari nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:1). Kemudian untuk nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:3) terjadi peningkatan efisiensi nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:2) tetapi tidak signifikan.

5. SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut diharapkan menggunakan berbagai macam *dye* tentang *dye* alami ditinjau dari perubahan level energi dan mobilitas elektron didalamnya. Sehingga bisa diperoleh karakterisasi lebih banyak dan bisa meningkatkan performa DSSC, dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Memperbaiki struktur masing-masing komponen DSSC agar memperoleh persambungan lapisan (*interface*) yang lebih baik dan mengurangi cacat yang terbentuk diantara lapisan (*interface*). Menggunakan elektroda lawan dari material lain yang memiliki konduktivitas dan sifat katalis yang lebih baik misalnya Polyaniline, dan jenis elektrolit lain yang mempunyai nilai viskositas yang rendah misalkan PEO Polymer.

DAFTAR PUSTAKA

- Cari C, Khairuddin, Septiawan T Y, Suciarmoko P M, Kurniawan D and Supriyanto A. (2018). Effect of sol-gel MgO spin-coating on the performance of TiO₂-based dye-sensitized solar cells. *AIP Conference Proceedings*, 2014, 020106. <https://doi.org/10.1063/1.5054510>
- Chao C H, Chang C L, Chan C H, Lien S Y, Weng K W and Yao K S. (2010). Rapid thermal melted TiO₂ nano-particles into ZnO nano-rod and its application for dye sensitized solar cells. *Thin Solid Films*, 518, 7209. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2010.04.081>
- Graetzel M, Janssen R A J, Mitzi D B and Sargent E H. (2012). Materials interface engineering for solution-processed photovoltaics. *Nature*, 488, 304. <https://www.nature.com/articles/nature11476?message-global=remove&page=13>
- Kalyanasundaram K and Gratzel. (1998). Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices. *Coord. Chem. Rev.*, 77, 347. [https://doi.org/10.1016/S0010-8545\(98\)00189-1](https://doi.org/10.1016/S0010-8545(98)00189-1)

- Kim S S, Yum J H and Sun Y E. (2005). Flexible dye-sensitized solar cells using ZnO coated TiO₂ nanoparticles. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 171, 269. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.10.019>
- O'Regan B and Gratzel M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353, 737. <https://www.nature.com/articles/353737a0>
- Pichot F, Pitts J R and Gregg B A. (2000). Low-Temperature Sintering of TiO₂ Colloids: Application to Flexible Dye-Sensitized Solar Cells. *American Chemical Society*, 16, 5626. <https://doi.org/10.1021/la000095i>
- Septiawan T Y, Sumardiasih S, Obina W M, Supriyanto A, Khairuddin and Cari C. (2017). The preparation of natural dye for dye –sensitized solar cells (DSSC). *AIP Conference Proceedings*, 1868, 060010. <https://doi.org/10.1063/1.4995174>
- Smestad G, Bignozzi C and Argazzi R. (1994). Testing of dye sensitized TiO₂ solar cells I: Experimental photocurrent output and conversion efficiencies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 32, 259-272. [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(94\)90263-1](https://doi.org/10.1016/0927-0248(94)90263-1)
- Supriyanto A, Cari C, Khairuddin, Suciarmoko P M, Kurniawan D and Septiawan T Y. (2019). The fabrication of DSSC TiO₂ transparent thin layer with natural dye sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Journal of Physics: Conf. Series*, 1153, 012098. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1153/1/012098/meta>
- Wu S, Han H, Tai Q, Zhang J, Chen B L, Xu S, Zhou C, Yang Y, Hu H and Zhou X Z. (2008). Improvement in dye-sensitized solar cells with a ZnO coated TiO₂ electrode by rf magnetron sputtering. *Applied Physics Letters*, 92, 122106. <https://doi.org/10.1063/1.2903105>
- Yang L and Leung W W F. (2011). Application of a Bilayer TiO₂ Nanofiber Photoanode for Optimization of Dye-Sensitized Solar Cells. *Advanced Materials*, 23, 4559. <https://doi.org/10.1002/adma.201102717>
- Yuwono A H and Dharma H. (2011). FABRIKASI NANORODS SENG OKSIDA (ZnO) MENGGUNAKAN METODE SOL-GEL DENGAN VARIASI KONSENTRASI POLYETHYLENE GLYCOL DAN WAKTU TUNDA EVAPORASI AMONIA. *Majalah Metalurgi*, 26.2, 101-108. <http://dx.doi.org/10.14203/metalurgi.v26i2.14>
- Zhang H, Feng J, Wang J and Zhang M. (2007). Preparation of ZnO nanorods through wet chemical method. *Materials Letters*, 61, 5202. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.04.030>
- Zhang Q and Li C. (2019). TiO₂ Coated ZnO Nanorods by Mist Chemical Vapor Deposition for Application as Photoanodes for Dye-Sensitized Solar Cells. *Nanomaterials*, 9, 1339. <https://doi.org/10.3390/nano9091339>