

Efek ketebalan film tipis TiO_2 dan karakterisasi zat warna menggunakan daun Binahong (*Anredera cordifolia*) pada *dye-sensitized solar cell*

*Effect of TiO_2 thin film thickness and dye characterization using Binahong leaf (*Anredera cordifolia*) as photosensitizer in dye-sensitized solar cell*

Abdan Itsarul Muflih J. Lallo¹, Eka Cahya Prima^{1,*}, Endi Suhendi¹, dan Brian Yulianto²

Received 27 September 2022

Accepted 12 October 2022

Published October 2022

¹Solar Energy Materials Laboratory, Faculty of Mathematics and Science Education, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

²Advanced Functional Materials Laboratory, Faculty of Industrial Technology, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Abstrak. Dye pada sel surya jenis DSSC merupakan bahan utama yang digunakan sebagai fotosensitizer yang dapat menyerap spektrum warna serta sangat berpengaruh bagi efisiensi sel. Pada penelitian ini, dye yang digunakan adalah pigmen klorofil. Binahong (*Anredera Cordifolia*) merupakan tanaman yang dapat tumbuh di dataran rendah maupun dataran tinggi dan dapat tumbuh dengan mudah, sehingga daun ini banyak dan mudah ditemukan. Parameter yang menentukan baik atau tidaknya suatu TiO_2 digunakan sebagai lapisan semikonduktor pada DSSC selain dari ukuran partikelnya yang kecil, serta ketebalan dari lapisan TiO_2 yang meliputi suatu ketebalan lapisan TiO_2 dengan struktur permukaan serta diameter pori antar partikel TiO_2 sebagai *diffusor dye*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cell memiliki efisiensi tertinggi 7.24%, rekor efisiensi tertinggi dalam capaian efisiensi dye berbasis klorofil.

Abstract. Dye in DSSC solar cells is the primary pigment used as a photosensitizer. It can absorb the color spectrum and is very influential on cell efficiency. In this research, the dye used is chlorophyll pigment. Binahong (*Anredera cordifolia*) is a plant that can grow in the lowlands and highlands and can grow easily, so the leaves are abundant and easy to find. Parameters that determine whether or not a TiO_2 is used as a semiconductor layer in DSSC apart from its small particle size and the thickness of the TiO_2 layer which includes a TiO_2 layer thickness which includes surface structure and pore diameter between TiO_2 particles as an absorber layer. The results showed that the cell had the highest efficiency of 7.24%, the highest efficiency in achieving the efficiency of chlorophyll-based dyes.

Keywords: Dye-sensitized solar cell, Pigment, TiO_2 .

Pendahuluan

Sel surya jenis *dye-sensitized solar cell* merupakan jenis sel surya generasi ketiga yang memanfaatkan prinsip fotoelektrokimia. Sel surya jenis ini diyakini mampu menyediakan konsep energi *alternative* dengan biaya produksi yang lebih terjangkau dan dengan teknologi fabrikasi yang lebih sederhana dibandingkan sel surya pendahulunya dengan berbahan silikon kristal (Natalia, 2011).

Komponen DSSC terdiri dari beberapa bagian, yaitu dye sebagai fotosensitizer, elektrolit untuk menyuplai *electron* ke dye, katalis (*counter electrode*) untuk menarik *electron* ke dalam elektrolit, dan lapisan semikonduktor yang menggunakan TiO_2 sebagai adsorpsi pewarna serta transportasi *electron* (Nurosyid, 2016).

Kinerja utama dari sel ini tergantung oleh dye yang digunakan sebagai fotosensitizer. Spektrum serapan zat warna dan penjangkaran zat warna ke permukaan TiO_2 merupakan parameter penting dalam menentukan efisiensi sel (Maiaugree *et al.*, 2015).

Dye merupakan peranan penting dalam pengembangan kinerja yang cukup tinggi dari DSSC. Dye perlu memiliki persyaratan seperti daya serap yang kuat dalam menyerap spektrum cahaya tampak, membawa ikatan yang sesuai dari gugus kimia untuk dapat diikat dengan semikonduktor dan dapat menyuntikkan *electron* ke permukaan semikonduktor (Rosana, 2014).

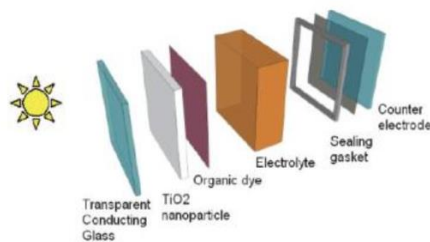
Binahong (*Anredera Cordifolia*) merupakan tanaman yang tumbuh di dataran rendah maupun dataran tinggi dan dapat digunakan sebagai salah satu sumber dye alami dengan ekstrak klorofil yang dapat dimanfaatkan sebagai dye sensitizer pada sel surya jenis DSSC. Zat pewarna alami tersebut mampu memberikan efek photovoltaic walaupun efisiensi yang dihasilkan masih jauh lebih kecil daripada zat warna sintesis.

Parameter yang menentukan baik atau tidaknya suatu TiO_2 digunakan sebagai lapisan semikonduktor pada DSSC selain dari ukuran partikelnya yang kecil, serta ketebalan dari lapisan TiO_2 yang meliputi suatu ketebalan lapisan TiO_2 yang meliputi struktur permukaan serta diameter pori antar partikel TiO_2 sebagai *diffusor dye*.

Slip casting adalah metode yang cukup mudah bila dibandingkan dengan metode lainnya, serta alat yang digunakan mudah ditemukan. Untuk meratakan TiO_2 yang dideposisikan diatas TCO hanya perlu spatula, ketebalan pada metode ini bergantung pada selotip yang diberikan pada substrat (Nuryadi, 2011).

Metode lain yang digunakan untuk meratakan lapisan TiO_2 yaitu metode *spin coating* berupa metode yang memanfaatkan substrat dengan gaya semu sentrifugal serta menggunakan laju pada putaran spin tertentu serta larutan yang digunakan haruslah bersifat homogen (Cui, 1993).

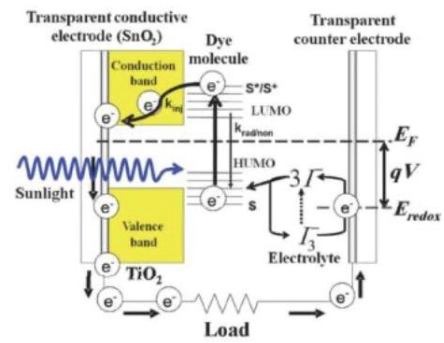
DSSC mempunyai tiga komponen utama, diantaranya elektroda kerja, elektroda lawan, dan larutan elektrolit. Elektroda lawan dan elektroda kerja ini disusun seperti bentuk sandwich dengan elektrolit redoks sebagai pemisah antara kedua elektroda tersebut. Elektroda kerja dilapisi oleh lapisan TiO_2 sedangkan elektroda lawan dilapisi oleh karbon. Keduanya terbuat dari substrat kaca transparan yang konduktif, misalnya kaca FTO/ITO. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I^-/I^{-3} . Typical konfigurasi DSSC digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur Dye-sensitized Solar Cells

Fungsi dari tiap lapisan berbeda beda, diantaranya ;

1. Glass Substrat, yaitu lapisan yang melindungi Transparant Conducting Layer dan meneruskan penetrasi cahaya matahari ke lapisan conducting layer.
2. Transparant Conducting Layer, berupa TCO (Transparant Conductive Oxide) termasuk FTO dan ITO serta Aluminium zinc oxide sebagai penghantar electron yang dieksitasi dye
3. TiO_2 Nanopartikel, material anode yang sensitive terhadap cahaya serta memiliki struktur yang stabil di bawah radiasi matahari
4. Organic dye, (Dye dari Binahong) yang digunakan sebagai tempat berlangsungnya eksitasi electron ketika terkena sinar matahari. (Hasil pengembangan peneliti telah mendapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan dye-klorofil memiliki gugus carboxylate).
5. Elektrolite, sebagai mediator electron antara TiO_2 photoanode electrode dengan counter electrode (berupa pasangan redoks I^-/I^{-3})
6. Counter electrode, material katoda yang meregenerate I^- . biasanya material yang paling efisien adalah Platinum (Pt) atau dapat diganti dengan CNT (Carbon Nanotube).



Gambar 2 Prinsip kerja DSSC

Sedangkan prinsip kerja dari DSSC pada Gambar 2 sendiri antara lain ;

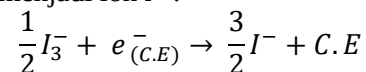
1. Proses eksitasi (akibat penyerapan photon dan terpenetrasi ke lapisan dye)

$$S + \text{Photon}^- \rightarrow S^*$$
2. Electron kemudian diinjeksi melalui conduction band SnO_2 ke TiO_2 Anode, dan terjadi oksidasi molekul dye

$$S^* + \text{TiO}_2^- \rightarrow e_{\text{TiO}_2}^- + S^+$$
3. Elektron mengalir melalui TiO_2 melalui beban dan menghasilkan energi listrik pada prosesnya

$$e_{(\text{TiO}_2)}^- + C.E \rightarrow \text{TiO}_2 + e_{(C.E)}^- + \text{Electrical Energy}$$
4. Dye molecule yang teroksidasi akan teregenerasi dengan menangkap electron dari elektrolit redoks ke I^- yang akan teroksidasi menjadi I^{-3} (Tri Iodine ions)

$$S^+ + \frac{3}{2}I^- \rightarrow S + \frac{1}{2}I_3^-$$
5. Tri-iodine ions mensubstitusi electron dengan eksternal load sehingga mengalami reduksi dan kembali menjadi ion I^- .



Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan mereview penelitian sebelumnya. Berikut merupakan tahapan dalam pengumpulan serta pengolahan data dari hasil penelitian yang dilakukan :

Pembuatan Ekstrak Natural Dye

Dalam membuat ekstrak *natural dye*, dilakukan pengeringan serta penggilingan bahan selama 3-5 hari pada suhu kamar. Selanjutnya, sampel serbuk dicampur dengan aseton kemudian diaduk selama 12 jam pada suhu kamar. Dan dilakukan penyaringan dengan kertas whatmann no.41 simpan di lemari es (Wasan, 2015). Namun pada penelitian penulis, pembuatan dye dilakukan dengan cara membersihkan dan memotong daun hingga kecil lalu dikeringkan dengan oven. Lalu daun yang sudah kering ditimbang sebanyak 10 gr, kemudian dimasukkan ke dalam botol sample dan ditambahkan aseton sebanyak 20 ml. lalu dibungkus menggunakan aluminium foil dan didiamkan selama 2 minggu untuk didapatkan ekstraknya. Setelah 2 minggu, sample kemudian diuji menggunakan UV-Vis untuk mengetahui kadar klorofilnya.

Pembuatan Fotoelektroda TiO₂

TiO₂ yang digunakan dalam penelitian ini adalah Titanium (IV) Oksida, anatase Titanium dioksida bubuk, 99,8% trace logam dasar (Darmawan, 2020). Pembuatan TiO₂ Standar dilakukan dengan mencampurkan air (15 mL) dan methanol (15 mL) kemudian di stir selama 10 menit. Kemudian campuran ditambahkan HCl 0.1 M sebanyak 0,25 mL kemudian di stir kembali selama 10 menit. Kemudian, masukkan TiO₂ powder sebanyak 5 gram dan menambahkan 1.5 gr PEG 6000 untuk mengikat TiO₂ menjadi nanopartikel (*Sol-Gel Method*) dan terakhir tambahkan TritonX-100 sebanyak 5 tetes ke dalam campuran TiO₂ dan distir lagi selama 4 jam pada suhu 50°C dan pada 400 rpm.

Pembuatan Thin Film TiO₂

Setelah menjadi pasta, TiO₂ dilapiskan pada substrat ITO-Glass (1×1 cm²) dengan luas daerah aktif 0,5×0,5 cm² dengan metode *spin coating* sebagai lapisan fotoanoda. Lapisan TiO₂/ITO-Glass dipanaskan pada suhu 450 °C selama 30 menit. Lapisan TiO₂/ITO-Glass direndam dalam larutan dye yang mengandung β-karoten dan etanol selama 24 jam. Pembuatan elektroda lawan dengan karbon pada substrat ITO-glass dengan luas daerah aktif 0,5×0,5 cm² (Suprayogi, Maftuha, & Diantoro, 2018). Pembuatan thin film dilakukan dengan meneteskan pasta TiO₂ ke substrat yang sudah dibersihkan yang selanjutnya di spin coating selama 45 detik dengan kecepatan putaran 3000 rpm.

Pembuatan Counter Elektroda

Larutan elektrolit dibuat dengan mencampur 0.8 gram potassium iodide dan 10 mL aseton lalu diaduk. Selanjutnya ditambah iodine sebanyak 0,127 g sambal diaduk. Counter elektroda karbon dibuat dengan melapis graphite ke Substrat pada bagian konduktif kemudian dipanaskan selama 10 menit pada 450°C.

Pemasangan DSSC

TiO₂ dideposisikan dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian kaca substrat yang konduktif. Pasta TiO₂ dideposisikan dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta dan dikeringkan selama 15 menit dan dipanaskan pada suhu 450°C. Lapisan TiO₂ lalu direndam dalam dye selama kurang lebih 24 jam.

Counter elektroda karbon kemudian diletakkan di atas lapisan TiO₂ dengan struktur seperti sandwich dengan masing masing ujung diberi offset sebesar 0,2 cm untuk kontak elektrik kemudian agar struktur selnya baik, dijepit dengan klip pada kedua sisinya. Larutan elektrolit kemudian diteteskan diantara kedua elektroda dan sel surya siap untuk diuji

Pengujian XRD

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari serbuk katalis TiO₂

dengan mengetahui puncak sampel dan membandingkan dengan puncak standar. pengolahan data dari hasil pola difraksi dilakukan dengan menggunakan *software Match!* yang akan menghasilkan jumlah persentase berat dari fasa yang terbentuk dari fase kristal TiO fase kristal TiO₂. Ukuran bulir kristal ini dapat diperoleh dengan menggunakan rumus Debye Scharrer (Yusariarta Ade Wahyu, 2015) berikut.

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{B \cdot \cos \theta} \text{ (Pers.1)}$$

$$B = 4\varepsilon \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \text{ (Pers.2)}$$

Dengan ukuran D merupakan ukuran kristal (Å), λ merupakan panjang gelombang yang digunakan dalam pengujian XRD yakni 1.54059 Å, k merupakan konstanta bernilai 0,9 yang merupakan factor bentuk tanoa dimensi dari partikel bola (Sadikin, 2017).

SEM

Digunakan untuk mengetahui morfologi, porositas, komposisi senyawa, dan ketebalan film. Penggunaan gambar SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari suatu material. Ketebalan dari fotoelektroda TiO₂ didapatkan dari ukuran ketebalan film yang diperoleh dari gambar lintang TiO₂ menggunakan SEM dengan pembesaran sebesar 40.000x pada operasi 10 kV. Data yang diolah ini kemudian dihasilkan untuk dapat mengetahui homogenitas ukuran partikel yang terbentuk menggunakan software ImageJ serta untuk mengamati partikel atau grain yang terbentuk dengan skala SEM.

Pengujian Absorpsi

Profil absorpsi dye dianalisa dengan menggunakan UV-Vis. Tahapan ini dilakukan untuk mengukur suatu absorbansi dan panjang gelombang cahaya tampak yang diserap oleh dye melalui spektrofotometer UV-vis. Grafik hasil penggunaan spektrofotometer UV-Vis, untuk menentukan panjang gelombang absorbansi yang optimal *Light, Harvesting Efficiency* (LHE), serta energi *gap dye* dihitung dengan metode Tauch Plot.

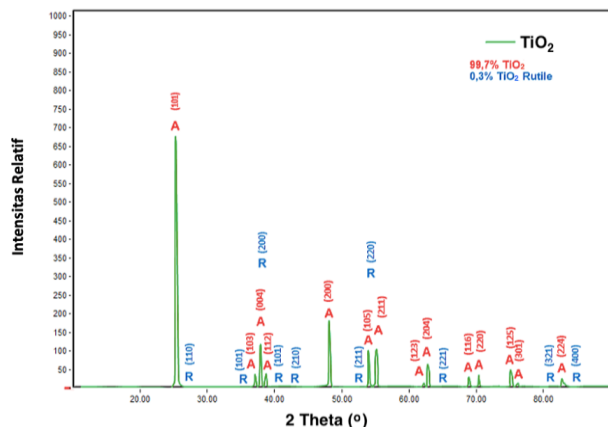
Pengujian Arus Listrik

Pada sel surya yang telah dirangkai dilakukan pengujian. Yaitu pengujian langsung tegangan dan arus yang terukur dari sel surya dengan multimeter digital. Sumber cayanya yang digunakan dapat menggunakan cahaya matahari langsung atau menggunakan *Solar Standard Simulator 1.5 AM filter* 100 mW/cm². Data arus dan tegangan yang didapatkan kemudian di plot ke dalam grafik setelah nilai arus dibagi oleh luas permukaan lapisan tipis TiO₂ terlebih dahulu untuk menghasilkan nilai densitas arus.

Hasil Penelitian

Sampel yang dikarakterisasi dengan XRD adalah pasta TiO₂ yang telah dikalsinasi pada suhu 450°C yang kemudian digerus menjadi serbuk kembali. Hasil

karakterisasi XRD berupa pola difraksi (difraktogram) yang terdiri dari puncak-puncak karakteristik TiO_2 , dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil uji XRD TiO_2

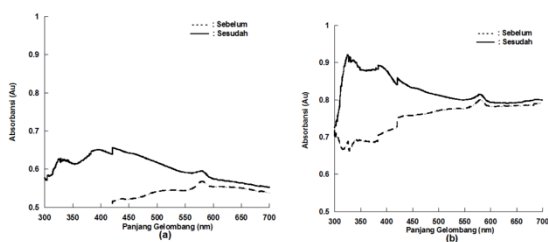
Anatase yang dihasilkan terletak pada puncak difraksi (101), (103), (004), (112), (200), (105), (211), (123), (204), (116), (220), (125), (301), dan (224). Dengan puncak anatase hkl (101) sebesar 64.01nm dengan menggunakan Persamaan 1.

Analisa Morfologi lapisan TiO_2 ditunjukkan pada Gambar 4 yakni lapisan TiO_2 yang dideposisi di atas substrat FTO dan diambil dengan menggunakan kamera AFM.



Gambar 4 Substrat FTO (Deni, 2014)

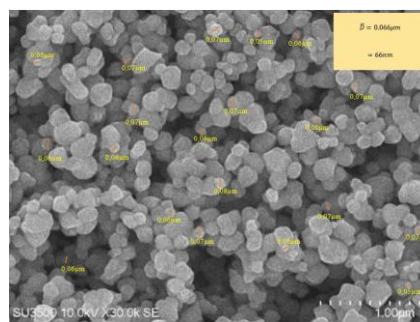
Pada gambar 4 TiO_2 dideposisi dengan teknik *slip casting*, sedangkan pada gambar 4b dengan teknik *spin coating*. Hasil morfologi lapisan TiO_2 dengan teknik *spin coating* lebih homogen dibandingkan dengan morfologi lapisan TiO_2 menggunakan teknik *slip casting* (Deni, 2014)



Gambar 5 Spektrum absorpsi TiO_2

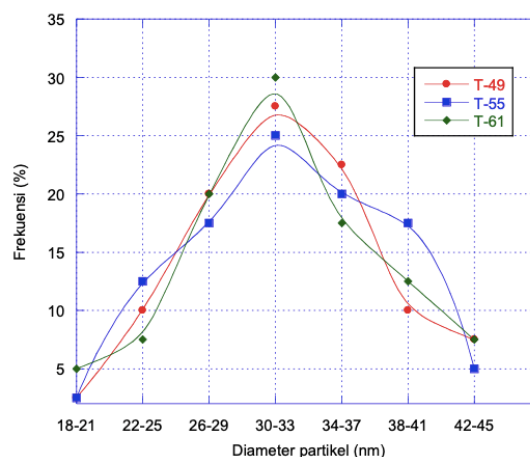
Pada Gambar 5 (a) sifat optik (absorpsi) lapisan TiO_2 sebelum dan sesudah direndam dye. Pada Gambar 5 (b) merupakan teknik spin coating. Absorpsi panjang gelombang cahaya pada film semikonduktor berhubungan

dengan energi yang dibutuhkan elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi (Caglar, 2009)



Gambar 6 Struktur morfologi TiO_2

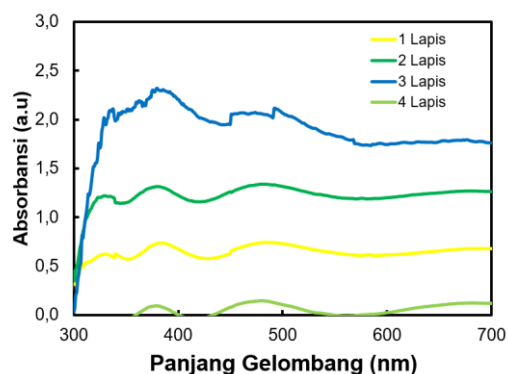
Hasil pengukuran diameter bulir tersebut ditentukan dengan menggunakan software *ImageJ* seperti pada Gambar 9. Dari hasil tersebut diperoleh diameter bulir sebesar 66 nm. Hal ini diketahui dari bentuk morfologi sampel yang berbentuk bulat dan hampir seragam, perbedaan ukuran dari diameter bulir tersebut dapat terjadi akibat tingginya suhu kalsinasi, dimana apabila suhu kalsinasi SEM lebih tinggi, maka kemungkinan akan terjadi aglomerasi (Myint, 2017).



Gambar 7 Distribusi ukuran partikel TiO_2 yang digambarkan dengan SEM (Nadeak, 2012)

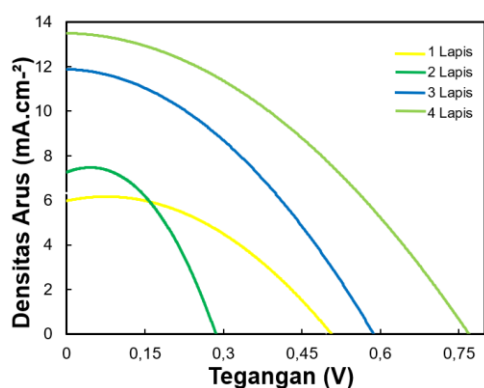
Diameter partikel TiO_2 yang dibuat dengan screen T-49, T-55, dan T-61 berada pada kisaran 30-33 nm. Screen tidak mempengaruhi perubahan diameter partikel TiO_2 pada penelitian pada artikel yang dibaca, ini diakibatkan dari ukuran diameter partikel serta kristal TiO_2 dapat berubah apabila diberi perlakuan panas yang berbeda (Nadeak, 2012).

Berdasarkan Gambar 7, terjadi peningkatan laju absorpsi setelah lapisan TiO_2 direndam pada dye. Ini disebabkan dari molekul dye yang menempel pada partikel TiO_2 sehingga dye dapat meningkatkan absorpsi pada lapisan TiO_2 , serta hasil karakterisasi UV-Vis ini menunjukkan puncak dari masing-masing absorpsi bahan. Ketebalan lapisan yang tidak seragam dapat mempengaruhi proses keluarnya elektron menjadi



Gambar 8 kurva absorbansi lapisan TiO₂ berdasarkan karakterisasi UV-Vis.

terhambat. Sehingga keluaran tegangan yang dihasilkan menjadi kurang optimal. Apabila coating TiO₂ terlalu tebal, maka penetrasi dye menuju TiO₂ akan semakin sulit berada pada posisi yang lebih dalam atau bagian yang lebih dekat pada substrat ITO. Hal ini juga dapat memblokir cahaya yang masuk menuju partikel TiO₂ terluar (Kumara, 2012).



Gambar 9 Kurva karakteristik J-V

Perendaman TiO₂ nanopartikel pada larutan dye hasil ekstrak daun *Anredera Cordifolia* menghasilkan nilai performansi dengan nilai efisiensi yang besar pada 7,24% yang digunakan sebagai fotosensitizer. Sesuai Tabel 1.

Tabel 1 Kinerja DSSC

Dye + TiO ₂	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF (%)	n (%)
1 Lapis	2.51	0.49	12.05	2.82
2 Lapis	2.48	0.28	21.94	4.36
3 Lapis	2.33	0.58	28.78	5.37
4 Lapis	2.68	0.77	33.82	7.24

Hal tersebut dapat terjadi ketika lapisan TiO₂ yang semakin tebal akan semakin banyak dye yang menempel dan menyerap foton pada lapisan tersebut, sehingga memungkinkan untuk dapat terjadi eksitasi elektron. Semakin banyak terbentuk eksiton akan meningkatkan terbentuknya nilai arus serta efisiensi DSSC semakin meningkat.

Kesimpulan

Meningkatnya kinerja DSSC dengan dye klorofil dari ekstrak daun binahong menghasilkan ukuran bulir sekitar 64 nm dari penumbuhan fase anatase dari karakterisasi kristalinitas fotoelektroda menggunakan XRD. Dan ukuran bulir yang terbentuk dari struktur morfologi dihasilkan sebesar 66 nm. Hasil yang didapat tidak berbeda jauh, sehingga membuat struktur dari TiO₂ tersebut dapat digunakan sebagai fotoelektroda dalam pembuatan DSSC. Penggunaan dye juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan dengan hasil efisiensi terbaik sebesar 7.24% pada ketebalan lapisan fotoelektroda TiO₂ empat lapis. Efisiensi ini meningkat seiring tebalnya lapisan fotoelektroda.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (No. 1250/UN40.LP/PT.01.03/2022) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI 2022.

Referensi

- Deni Yulika, K. R. (2014) Pelapisan TiO₂ di atas FTO dengan Teknik Slip Casting dan Spin Coating untuk Aplikasi DSSC. *Jurnal Fisika Indonesia UGM*. **18**(53):66-69.
- F. Nurosyid, L. F. (2016) Effect of Screen Printing Type on Transparent TiO₂ Layer as The Working Electrode of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) for Solar Windows Applications. *Journal of Physics: Conference Series*. **776**: 012011
- H. Cui, H. S. S. M. (1993) Photocatalytic Properties of Titanium (IV) Oxide Thin Films Prepared by Spin Coating and Spray Pyrolysis. *Materials Research Bulletin*. **28**(3): 195-201.
- Hardeli, S. R. (2013) Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata*. 5-6.
- Kusumawardani, C. (2009) Titanium Dioksida Terdoping Nitrogen: Kajian Tentang sintesis, karakterisasi dan aplikasinya. *Prosiding seminar nasional penelitian, pendidikan dan penerapan MIPA*. 124-133.
- Khwanhit Wongcharee, V. M. (2006) Dye-sensitized solar Cell Using Natural Dyes Extracted From Rosella And Blue Pea Flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. **91**(7): 566-571.
- Kumara, M. P. (2012) Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun bayam (*Amaranthus hybridus* L.) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC. *Skripsi, Jurusan Fisika, FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- M. Caglar, S. I. (2009) Influence of dopant concentration on the optical properties of ZnO: In films by sol-gel method. *thin solid films*. **517**(17): 5023-5028.
- Muh, I. D., Hardani, Idham, H., Aini, Jumari, U., & Roushandy, A. F. (2020) Fabrication Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) using *Pandanus amaryllifolius* Extract. *Easy Chair (Preprint)*. 3761
- Nadeak, S. M. (2012) Variasi temperatur dan waktu tahan kalsinasi terhadap unjuk kerja semikonduktor TiO₂ sebagai dye sensitized solar cell (DSSC) dengan dye dari ekstrak buah naga merah. *Jurnal Teknik Pomits*. **1**(1):1-6.

- Natalita, M., & Nursam, L. M. (2011) Sel surya dye-sensitized TiO₂: Fabrikasi dan analisa material elektrolit. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*. **11**(1): 72-77.
- Nuryadi, R. (2011) Efek Adsorpsi Dye ke dalam Lapisan TiO₂ dengan Metode Elektroforesis: DSSC Berbasis Lapisan TiO₂ Terbuat dengan Metode Slip Casting dan Metode Elektroforesis. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. **8**(1): 35-40.
- Rosana, N. T. M, J. D. (2014) Mixed Dye from *Nerium oleander* and Hibiscus Flowers as a Photosensitizer in Dye Sensitized Solar Cells. *International Journal of ChemTech Research*. **6**(12): 5022-5026.
- Sadikin, S. N. (2017) Effect of spin-coating cycle on the properties of TiO₂ thin film and performance of DSSC. *International Journal of Electrochemical Science*. **12**(6): 5529-5538.
- Thatit, S., Dina, M., & Markus, D. (2017) Pembuatan DSSC dengan fotoanoda dari TiO₂ dan β -karoten sebagai sensitizer dan Analisis kurva I-V. *Journal of Physical Science and Engineering*. **2**(2): 66-71.
- Wasan, M. S. L.-a. (2015) A dye sensitized solar cell using natural counter electrode and natural dye derived from mangosteen peel waste. *Scientific Reports*. **5**: 15230.
- Yadanar, W. M., Tun, T. M., Wint, Y. L., Anjae, C., & Phyu, P. W. (2017) The Effect Of Heat Treatment On Phase Transformation And Morphology Of Nano-Crystalline Titanium Dioxide (TiO₂). *International Journal of Scientific & Technology Research*. **6**(6): 293-299.
- Yusariarta Ade Wahyu, P. H. (2015). Analisa Penambahan Aluminium (Al) terhadap Sifat Hidrogenasi Paduan Mg₂-xAlxNi Hasil Sintesa Mechanical Milling dan Heat Treatment. *Jurnal Teknik ITS*. **4**(1): 2337-3539.