

Penggunaan Lapisan Komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ sebagai Fotoanoda pada *Dye Sensitized Solar Cell*

M.N. Fajar,¹ R Hidayat,² Triwikantoro,³ dan Endarko^{3,*}

¹Departemen Fisika-FSains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

²Divisi Penelitian Bidang Fisika Magnet dan Photonik, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

³Departemen Fisika-FIA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Intisari

Fotoanoda adalah salah satu komponen *dye-sensitized solar cell* (DSSC) yang disintesis dari bahan semikonduktor oksida logam dengan ukuran nanopartikel yang didepositkan ke kaca konduktif transparan. Bahan semikonduktor yang digunakan harus memenuhi beberapa kriteria seperti permukaan yang luas dan tingkat porositas yang tinggi sehingga dapat menyerap dye dengan baik. Salah satu modifikasi yang sering dilakukan pada DSSCs untuk meningkatkan kinerjanya adalah dengan mengaplikasikan $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ pada fotoanoda DSSC. Dalam penelitian ini, kinerja DSSC yang disintesis dengan komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ dengan struktur lapisan tunggal dan ganda akan dibandingkan dengan kinerja DSSC yang disintesis dari fotoanoda dengan struktur lapisan tunggal TiO_2 atau SnO_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi DSSC dapat dicapai untuk kedua lapisan tunggal TiO_2 dan SnO_2 adalah pada 2,12 dan 2,06%.

Abstract

Photoanode is one component of dye-sensitive cell solar (DSSC) which synthesized from metal oxide semiconductor materials with nanoparticle size that deposited onto the transparent conductive glass. The semiconductor material used must meet several criteria such as a wide surface and a high level of porosity so that it can absorb dye properly. One modification that is often done on DSSCs was to improve its performance by applying $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ to DSSC photoanodes. In this study, the performance of the synthesized DSSC with $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ composites with both single and double layers structure will be compared to the performance of the synthesized DSSC from either photoanodes with a single layer structure of TiO_2 or SnO_2 . The results showed that the high-efficiency of the DSSC could be achieved for both TiO_2 and SnO_2 single layer with value at 2.12 and 2.06%, respectively.

Keywords: Double layer; single layer; komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$

<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682.v15i1.4487>

2460-4682 ©Departemen Fisika, Fakultas Sains-ITS

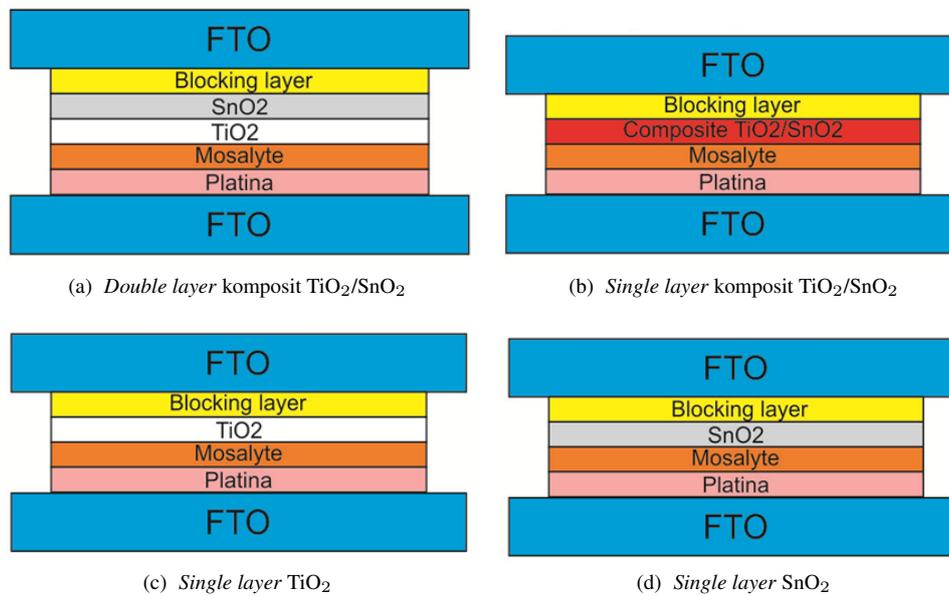
I. PENDAHULUAN

Saat ini *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menjadi perhatian utama sebagai pengganti sel surya konvensional dikarenakan sifatnya yang ramah lingkungan, fabrikasi yang mudah dan murah [1, 2]. Umumnya DSSC tersusun atas fotoanoda berbahan semikonduktor berpori, elektrolit, dan counter elektroda berbahan metal konduktif atau karbon [3]. Fotoanoda biasanya dibuat dengan mendeposisikan material semikonduktor pada permukaan *transparent conducting oxide* (TCO), sedangkan counter elektroda merupakan lapisan tipis konduktif berbahan metal atau karbon yang didepositkan pada TCO

yang lain [2].

Untuk mengembangkan potensi dari DSSC, telah banyak dilakukan penelitian pada komponennya dengan tujuan mendapatkan performa maksimal dari DSSC. Dari tahun 1997 sampai dengan 2015 penelitian terbanyak untuk komponen DSSC adalah fotoanoda [4] dan masih terus diteliti hingga sekarang. Titanium dioxide (TiO_2) merupakan material yang paling sering digunakan sebagai fotoanoda pada DSSC terutama fasa anatase dikarenakan sifatnya yang stabil dan fotoaktivitas yang tinggi. Sebagai material penyusun utama fotoanoda, karakteristik dari TiO_2 meliputi struktur dan morfologi akan sangat berpengaruh pada performa DSSC [5]. Beberapa kriteria harus dipenuhi seperti mempunyai struktur pori, permukaan yang luas sehingga kapasitas penyerapan dye dapat meningkat. Beberapa strategi untuk memenuhi kriteria ini adalah dengan membuat komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ pada lapisan

*Electronic address: endarko@physics.its.ac.id



Gambar 1: Struktur DSSCs.

fotoanoda.

Tin Oxide (SnO₂) cocok ketika dikompositkan dengan TiO₂ pada aplikasi fotokatalis dan baterai. SnO₂ mempunyai beberapa kelebihan dibanding TiO₂ diantaranya memiliki tingkat difusi elektron yang tinggi [6].

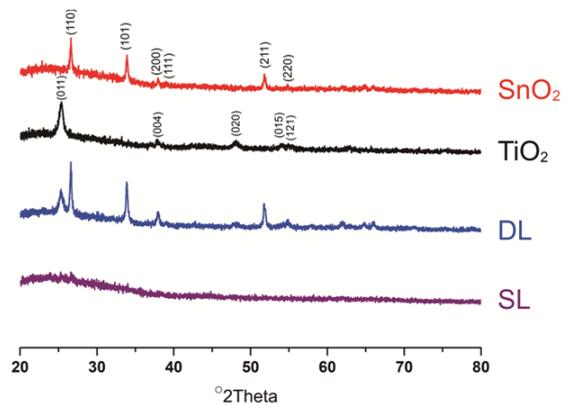
II. METODOLOGI

Pembuatan komposit *single* dan *double layer* TiO₂ / SnO₂ telah selesai pada penelitian sebelumnya [7] dengan struktur terdiri dari *blocking layer* TiO₂, lapisan TiO₂, lapisan SnO₂, komposit *single layer* (SL) dan *double layer* TiO₂ / SnO₂ (DL) seperti terlihat pada Gambar 1. Pada penelitian ini, analisis dan karakteristik film secara struktur, sifat optik dan morfologinya berturut-turut digunakan XRD, UVVis dan SEM.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis fasa material

Bahan semikonduktor untuk fotoanoda pada penelitian ini menggunakan pasta TiO₂ (titanium dioksida), dan pasta SnO₂ (tin dioksida). Dengan analisis kualitatif menggunakan perangkat lunak *Match!*, pada Gambar 2, didapatkan bahwa fasa pasta TiO₂ adalah anatase. Bidang kristal (101) yang terletak pada sudut 2θ sekitar 25,3° merupakan bidang kristal yang dominan dengan intensitas yang paling tinggi pada lapisan tipis TiO₂ [8]. Sedangkan pada bahan semikonduktor lainnya, didapatkan bahwa fasa SnO₂ adalah cassesterite dengan intensitas paling tinggi pada bidang (110), (101) dan (211). Pola difraksi berbentuk padatan amorf didapatkan dari pola difraksi substrat kaca. Pola difraksi yang terbentuk dari fotoanoda DL dan SL merupakan gabungan dari puncak

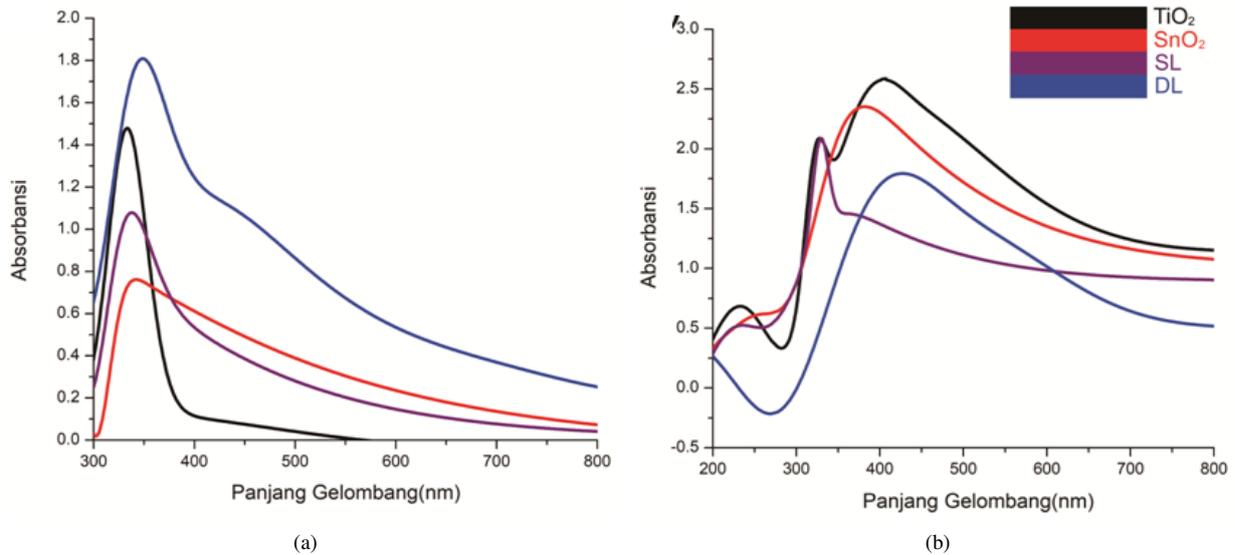


Gambar 2: Hasil pola X-Ray Diffraction (XRD).

TiO₂ dan SnO₂ pada bidang kristal tertentu. Pola difraksi DL didominasi oleh bidang-bidang kristal dari fasa cassesterite SnO₂ sedangkan pola difraksi SL menunjukkan bidang kristal (101) yang berasal dari fasa anatase TiO₂ dan bidang kristal (110) dari fasa cassesterite SnO₂. Li *et al.* [9] juga mendapatkan pola difraksi yang sama pada lapisan komposit TiO₂/SnO₂. Selain itu penambahan SnO₂ pada komposit juga mampu mereduksi puncak (101) pada TiO₂, hasil serupa juga didapatkan oleh Arunachalam *et al.* [10] pada penelitiannya terkait efek penambahan Sn untuk pembuatan lapisan tipis TiO₂.

Hasil analisis karakteristik optik dan *band gap* fotoanoda

Setelah dilakukan pengujian UV-Vis pada fotoanoda yang telah dibuat, didapatkan hasil berupa grafik absorbansi dan transmitansi yang menggambarkan bagaimana karakteristik optik dari fotoanoda. Terlihat bahwa absorbansi



Gambar 3: Nilai absorbansi (a) fotoanoda sebelum direndam pada dye N-719, (b) fotoanoda setelah direndam pada dye N-719.

dari fotoanoda TiO_2 berada pada rentang panjanggelombang 300-600 nm sedangkan SnO_2 pada rentang panjanggelombang 300-870 nm (Gambar 3(a)). Fotoanoda DL mempunyai rentang panjanggelombang 300-870 nm dan nilai absorbansi tertinggi jika dibandingkan dengan fotoanoda TiO_2 dan SnO_2 . Hal ini dikarenakan pada fotoanoda DL tersusun atas dua lapisan penyusun yaitu lapisan TiO_2 yang mempunyai nilai absorbansi tinggi dan lapisan SnO_2 yang mempunyai rentang panjanggelombang 300-870 nm. Gambar 3(a) menunjukkan nilai absorbansi pada rentang panjanggelombang tertentu dari fotoanoda TiO_2 , SnO_2 , dan SL dimana nilai absorbansi fotoanoda SL lebih rendah dibandingkan dengan fotoanoda TiO_2 pada rentang panjanggelombang 300-600 nm namun lebih tinggi jika dibandingkan dengan fotoanoda SnO_2 pada rentang panjanggelombang 300-870 nm. Hal ini dikarenakan pada fotoanoda SL tersusun atas satu lapisan penyusun yaitu lapisan komposit $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ sehingga absorbansinya lebih rendah dibanding fotoanoda TiO_2 namun mempunyai rentang panjanggelombang yang sama dengan fotoanoda SnO_2 [11]. Hasil analisis absorbansi menggunakan pengujian UV-Vis bertujuan untuk menentukan energi gap dan posisi pita energi dari lapisan fotoanoda. Menurut Morrison [12], untuk menentukan posisi pita energi dari lapisan fotoanoda dapat digunakan formula

$$E_c = -\chi + 0,5E_g \quad (1)$$

$$E_v = E_c - E_g \quad (2)$$

dengan E_c adalah pita konduksi, χ adalah nilai elektronegativitas, E_g adalah energi gap, dan E_v adalah pita valensi. Karena pada sampel digunakan komposit *double* dan *single* layer $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ maka E_g TiO_2 dan SnO_2 terlebih nilai energi gap dan posisi pita valensi diperlihatkan pada Tabel I.

Terlihat dari Gambar 4, terjadi 1 kali rekombinasi dari fotoanoda DL dan 2 kali rekombinasi pada fotoanoda SL.

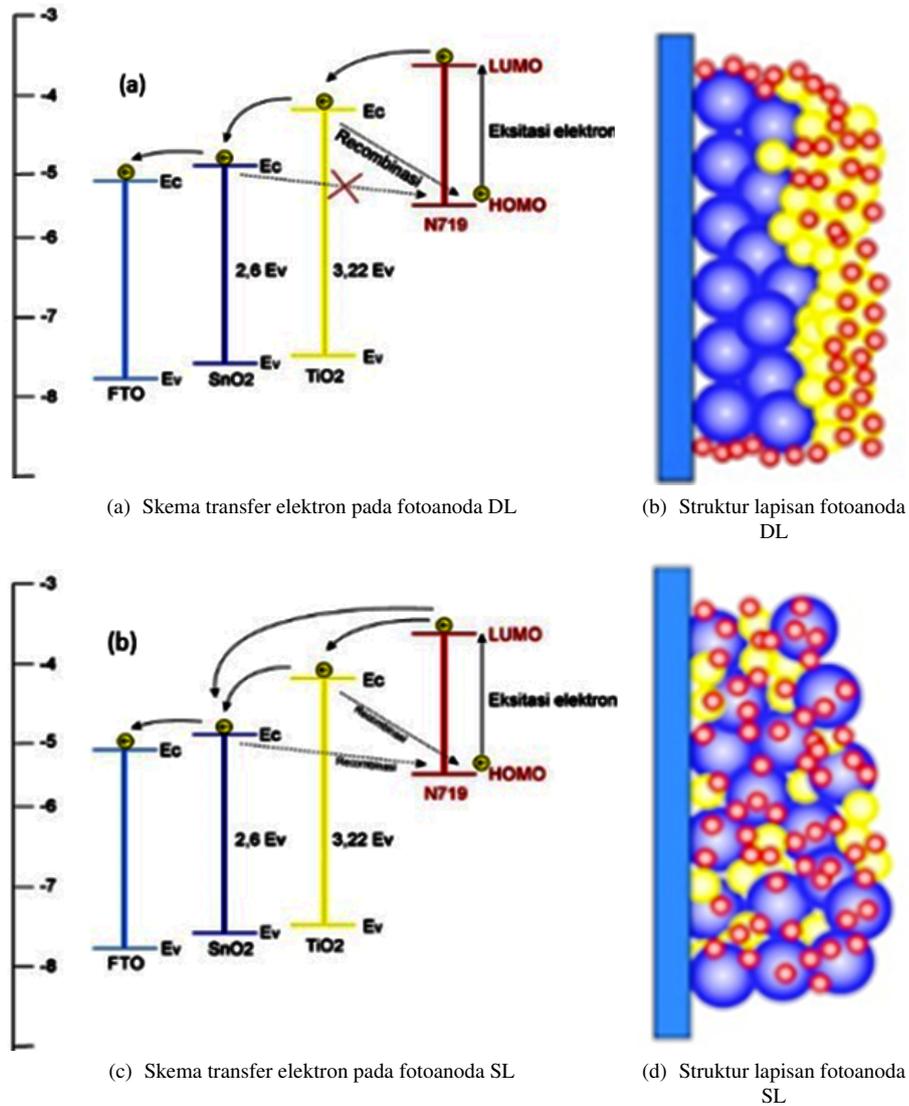
TABEL I: Nilai Energi gap dan posisi pita energi lapisan tipis fotoanoda.

Sampel	E_v (eV)	E_c (eV)	E_g (eV)
TiO_2	-7.435	-4.185	3.25
SnO_2	-7.55	-4.95	2.6

Rekombinasi ini terjadi dari pita konduksi metal oxide menuju level HUMO pada dye N179. Perbedaan proses rekombinasi ini disebabkan oleh struktur komposit yang berbeda (Gambar 4(b) dan (d)). Pada fotoanoda DL struktur kompositnya adalah *layer by layer* dimana terdapat 2 lapisan yaitu lapisan SnO_2 dan TiO_2 . SnO_2 memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan dengan TiO_2 sehingga dye hanya menempel pada TiO_2 . Karena dye hanya menempel pada TiO_2 , maka SnO_2 hanya menerima injeksi elektron yang berasal dari TiO_2 . Sedangkan, pada fotoanoda SL struktur kompositnya adalah campuran antara TiO_2 dan SnO_2 . Sehingga dye dapat menempel pada permukaan TiO_2 maupun SnO_2 . Hal ini mengakibatkan terjadi 2 proses rekombinasi yaitu dari pita konduksi TiO_2 dan SnO_2 menuju level HOMO dye. Green et al. [13], Hung et al. [14], dan Vinayak et al.[15] menjelaskan bahwa proses rekombinasi ini berpengaruh terhadap kinerja DSSC dimana semakin banyak rekombinasi yang terjadi maka semakin rendah kinerja DSSC.

Setelah proses perendaman dye pada fotoanoda, dilakukan pengukuran UV-Vis lagi. Hal ini bertujuan untuk menganalisis penyerapan dye pada fotoanoda yang akan digunakan pada dye sensitized solar cell.

Gambar 3(b) memperlihatkan peningkatan nilai absorbansi pada fotoanoda setelah direndam dengan dye N719. Hal ini dikarenakan adanya proses penyerapan dye N719 oleh fotoanoda saat direndam. Nilai absorbansi ini terbentuk dari



Gambar 4: Skema transfer elektron dan struktur lapisan fotoanoda DL dan SL. Keterangan gambar: SnO₂ → bulatan biru, TiO₂ → bulatan kuning, Dye N719 → bulatan merah.

gabungan absorpsi fotoanoda dan dye N719. Dye N719 menyerap cahaya secara maksimal pada rentang panjang gelombang 200-500 nm dan 500-700 nm (Gambar 3) hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan nilai absorpsi fotoanoda pada rentang panjang gelombang 300-650 nm. Menurut Pazoki *et al.* [16], mol atau jumlah zat dye N719 yang menempel pada fotoanoda dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Gamma = \frac{A_{fotoanoda+dye}}{1000 \cdot \epsilon} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{A_{dye} \cdot Mr_{dye}}{100 \cdot \text{konsentrasi larutan dalam mg/ml}} \quad (4)$$

Γ adalah jumlah dye yang diserap oleh fotoanoda (mol/cm²), A adalah absorpsi, Mr adalah massa relatif dan ϵ adalah

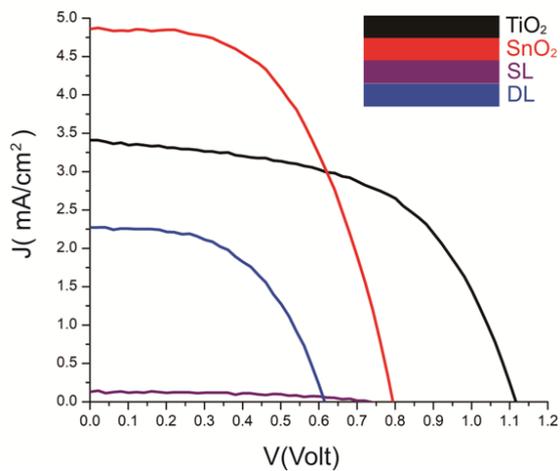
TABEL II: Dye yang terserap pada fotoanoda.

Sampel (mol/cm ²)	
TiO ₂	4.25 10 ⁻³
SnO ₂	3.82 10 ⁻³
DL	2.17 10 ⁻³
SL	2.99 10 ⁻³

koefisien ekstinsi molar atau kekuatan suatu bahan untuk menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu (M⁻¹ cm⁻¹).

Setelah dilakukan perhitungan, hasil dirangkum pada Tabel II dimana nilai penyerapan dye paling besar adalah pada fotoanoda TiO₂ dan SnO₂.

Hasil analisis arus dan tegangan DSSC



Gambar 5: Kurva karakteristik I-V DSSC.

TABEL III: Parameter I-V DSSC.

Sampel	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	Fill Factor	Efisiensi (%)
TiO ₂	1.12	3.40	0.55	2.12
SnO ₂	0.78	4.86	0.54	2.06
DL	0.60	2.27	0.54	0.74
SL	0.74	0.13	0.41	0.04

Arus dan tegangan DSSC diukur dengan alat I-V Keithley meter menggunakan lampu halogen pada luas area fotoanoda sebesar 0,25 cm². Gambar 5 memperlihatkan kurva karakteristik I-V dari DSSC dengan simulasi cahaya yang memiliki intensitas sebesar 100 mW cm⁻².

Dari Tabel III terlihat nilai V_{oc} pada sampel TiO₂ lebih tinggi jika dibandingkan dengan sampel SnO₂, DL, dan SL namun memiliki nilai J_{sc} yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sampel SnO₂. Nilai V_{oc} dan J_{sc} yang didapatkan mempengaruhi nilai efisiensi dari DSSC, sehingga dapat ter-

lihat nilai efisiensi dari TiO₂ dan SnO₂ berada pada kisaran 2%.

Struktur lapisan tipis komposit TiO₂/SnO₂ sangat mempengaruhi performa dari DSSC. Terlihat pada lapisan tipis fotoanoda DL dan SL terjadi penurunan nilai V_{oc} dan J_{sc} sehingga menghasilkan efisiensi sebesar 0,74% dan 0,04%. Nilai V_{oc} dan J_{sc} dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu fasa bahan, morfologi permukaan, karakteristik optik, dan daya serap dye pada fotoanoda.

Pada fotoanoda DL dan SL, penggabungan 2 fasa anatase dan cassiterite menyebabkan penurunan kristalinitas fasa anatase yang ditandai dengan menurunnya intensitas puncak difraksi. Penurunan kristalinitas pada fasa anatase ini menyebabkan penurunan performa dari fotoanoda dalam menyerap cahaya [15]. Banyaknya dye yang terserap pada fotoanoda juga menjadi faktor penting dalam performa DSSC. Dari hasil perhitungan penyerapan dye pada fotoanoda, dye yang menempel pada fotoanoda DL dan SL lebih sedikit jika dibandingkan dengan fotoanoda TiO₂ dan SnO₂. Oleh sebab itu terjadi penurunan nilai efisiensi pada fotoanoda DL dan SL [16].

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis sintesis dan karakterisasi fotoanoda komposit TiO₂/SnO₂ diperoleh bahwa terjadi penurunan efisiensi DSSC setelah TiO₂ dikompositkan dengan SnO₂ baik pada struktur *double-layer* dan *single layer*. Penurunan performa ini diakibatkan oleh turunnya nilai intensitas fasa anatase pada komposit TiO₂/SnO₂ yang dipengaruhi oleh penambahan fasa cassiterite dari SnO₂. Efisiensi pada DSSC yang menggunakan struktur fotoanoda *single layer* TiO₂ maupun SnO₂ lebih tinggi dibandingkan komposit *double-layer* (DL) dan *single layer* (SL). Hal ini dikarenakan dye yang menempel pada metal oksida lebih banyak, dan peluang terjadinya rekombinasi yang sedikit. Didapatkan nilai efisiensi terbesar yaitu 2,12% pada DSSC dengan *single layer* TiO₂.

[1] M. Wu, X. Lin, T. Wang, J. Qiu, and T. Ma, "Low-cost dye-sensitized solar cell based on nine kinds of carbon counter electrodes", *Energy Environ. Sci.*, vol. 4, no. 6, pp. 2308-2315, 2011.

[2] S. Suhaimi, M.M. Shahimin, Z.A. Alahmed, J. Chysk, and A.H. Reshak, "Materials for enhanced dye-sensitized solar cell performance: Electrochemical application", *nt J Electrochem Sci*, vol. 10, no. 4, pp. 2859-2871, 2015.

[3] M. Ye *et al.*, Recent advances in dye-sensitized solar cells: from photoanodes, sensitizers and electrolytes to counter electrodes, *Mater. Today*, vol. 18, no. 3, pp. 155-162, 2015.

[4] J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, and Z. Zhou, Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): advanced techniques and research trends, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, pp. 234-246, 2017.

[5] S.R. Adawiyah and Endarko, Structural and morphological characterization of TiO₂-SnO₂ thin film prepared by combining doctor-blade and sol-gel techniques, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 188, p. 012062.

[6] C. S. K. Ranasinghe, *et al.*, Tin oxide based dye-sensitized solid-state solar cells: surface passivation for suppression of recombination, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 40, pp. 890-895, 2015.

[7] M. N. Fajar, *et al.*, Experimental Study of Acid Treatment Toward Characterization of Structural, Optical, and Morphological Properties of TiO₂-SnO₂ Composite Thin Film, in *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1011, p. 012006.

[8] S. Mahshid, M. Askari, M. S. Ghamsari, N. Afshar, and S. Lahuti, "Mixed-phase TiO₂ nanoparticles preparation using sol-gel method", *J. Alloys Compd.*, vol. 478, no. 1, pp. 586-589,

- 2009.
- [9] H. Li, C. Xie, Y. Liao, Y. Liu, Z. Zou, and J. Wu, "Characterization of Incidental Photon-to-electron Conversion Efficiency (IPCE) of porous TiO₂/SnO₂ composite film", *J. Alloys Compd.*, vol. 569, pp. 88-94, 2013.
- [10] A. Arunachalam, S. Dhanapandian, and C. Manoharan, "Effect of Sn doping on the structural, optical and electrical properties of TiO₂ films prepared by spray pyrolysis", *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 27, no. 1, pp. 659-676, 2016.
- [11] M. Batmunkh, M. Dadkhah, C. J. Shearer, M. J. Biggs, and J. G. Shapter, "Tin Oxide Light-Scattering Layer for Titania Photoanodes in Dye-Sensitized Solar Cells", *Energy Technol.*, vol. 4, no. 8, pp. 959-966, 2016.
- [12] S.R. Morrison, "The chemical physics of surfaces", Springer Science & Business Media, 2013.
- [13] A. N. Green, E. Palomares, S. A. Haque, J. M. Kroon, and J. R. Durrant, "Charge transport versus recombination in dye-sensitized solar cells employing nanocrystalline TiO₂ and SnO₂ films", *J. Phys. Chem. B*, vol. 109, no. 25, pp. 12525-12533, 2005.
- [14] I. Hung, *et al.*, "Effect of Photoanode Design on the Photoelectrochemical Performance of Dye-Sensitized Solar Cells Based on SnO₂ Nanocomposite", *Energies*, vol. 9, no. 8, p. 641, 2016.
- [15] M. V. Vinayak, T. M. Lakshmykanth, M. Yoosuf, S. Soman, and K. R. Gopidas, "Effect of recombination and binding properties on the performance of dye sensitized solar cells based on propeller shaped triphenylamine dyes with multiple binding groups", *Sol. Energy*, vol. 124, pp. 227-241, 2016.
- [16] M. Pazoki, P. W. Lohse, N. Taghavinia, A. Hagfeldt, and G. Boschloo, "The effect of dye coverage on the performance of dye-sensitized solar cells with a cobalt-based electrolyte", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 16, no. 18, pp. 8503-8508, 2014.