

FABRIKASI SEL SURYA TERSENSITASI *DYE* DENGAN SPIRO-OMETAD SEBAGAI *HOLE TRANSPORT LAYER*

LUSI SAFRIANI[†], SHEILA SAKKYANANDA, FITRI YULIASARI, ANNISA APRILIA

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat

Abstrak. Akhir-akhir ini sel surya tersensitasi *dye* menarik perhatian para peneliti karena memiliki keunggulan yaitu biaya produksi yang murah dan proses fabrikasi yang sederhana dibandingkan dengan sel surya konvensional dari bahan silikon. Walaupun demikian kinerja sel surya tersensitasi *dye* ini masih rendah sehingga perlu dilakukan berbagai modifikasi untuk meningkatkan efisiensi divais. Dalam penelitian ini telah dibuat sel surya tersensitasi *dye* dengan *Ruthenium-dye* sebagai material aktif yang disisipkan pada lapisan mesopori TiO₂. Untuk meningkatkan efisiensi sel surya, material spiro-OMeTAD yang merupakan material dengan mobilitas *hole* yang baik digunakan sebagai *hole transport layer*. Hasil karakterisasi berupa pengukuran kurva rapat arus (*J*) terhadap tegangan (*V*) memperlihatkan bahwa efisiensi sel surya tersensitasi *dye* dengan spiro-OMeTAD sebagai *hole transport layer* memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan sel surya tersensitasi *dye* tanpa spiro-OMeTAD. Hal ini terjadi karena *hole transport layer* merupakan lapisan yang dapat mempermudah proses transport pembawa muatan menuju ke masing-masing elektroda.

Kata kunci : Nanopartikel Fe₃O₄, Polietilen Glikol (PEG-1000)

Abstract. Recently, dye sensitized solar cells attract much attention due to its advantage as a low cost solar cells and simple manufacturing processes compared to conventional solar cells based on silicon. Despite some advantages of dye sensitized solar cells, its efficiency is still far behind from conventional solar cell that need to be improved. In this research, we fabricated a dye sensitized solar cells with Ruthenium-dye as active material which is inserted in TiO₂ mesoporous layer. To improve its efficiency, we used spiro-OMeTAD material as hole transport layer. Based on *J-V* measurement, we found that dye sensitized solar cell with spiro-OMeTAD show higher efficiency than that of dye sensitized solar cell without spiro-OMeTAD. We assume that higher efficiency is due to hole transport layer that could ease the diffusion of charge carrier to each electrode after dissociation process in active layer of dye sensitized solar cells.

Keywords : dye sensitized solar cells, hole transport layer, spiro-OMeTAD

1. Pendahuluan

Sel *photovoltaic* atau juga dikenal dengan nama sel surya merupakan divais yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik, sehingga divais ini memiliki potensi yang besar sebagai salah satu sumber energi baru dan terbarukan terutama bagi negara tropis seperti Indonesia.

Generasi pertama dari divais *photovoltaic* ini adalah sel surya dengan material aktif silikon yang dapat menghasilkan efisiensi sebesar 24% [1]. Meskipun sampai dengan saat ini sel surya berbasis silikon menghasilkan efisiensi paling besar tetapi proses pembuatannya membutuhkan material yang kompleks, biaya produksi yang sangat mahal serta proses fabrikasi yang rumit [2]. Generasi kedua dari divais *photovoltaic* adalah sel surya yang menggunakan film tipis semikonduktor seperti CdTe dan CuIn_{1-x}Ga_xSe₂ sebagai material aktifnya. Sel surya dengan material aktif film tipis ini ringan, fleksibel dengan biaya produksi yang lebih murah. Akan tetapi efisiensi yang dihasilkan lebih rendah

[†] email : lusi.safriani@phys.unpad.ac.id

daripada generasi pertama dan mengandung beberapa zat beracun sehingga bukan merupakan divais yang ramah lingkungan [3].

Saat ini, generasi ketiga sel surya adalah sel surya tersensitisasi *dye* atau dikenal dengan nama *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) yang pertama kali ditemukan oleh *Gratzel* dkk sehingga disebut pula sebagai sel *Gratzel* [4]. Walaupun efisiensi sel surya tersensitisasi *dye* masih rendah yaitu 11% tetapi sel surya ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu proses fabrikasi yang relatif mudah dan sederhana, ramah lingkungan serta menghasilkan sel surya yang ringan [5, 6]. Secara umum, sel surya tersensitisasi *dye* yang bekerja berdasarkan sistem reaksi reduksi-oksidasi terdiri dari dua buah elektroda yaitu elektroda kerja dan elektroda lawan [7]. Elektroda kerja dilapisi oleh lapisan oksida berpori dan kemudian diisi oleh molekul *dye* yang berfungsi sebagai penangkap foton. Lapisan oksida berpori dapat merupakan material semikonduktor berbentuk nanopartikel yang berfungsi untuk meneruskan elektron yang dieksitasi oleh foton. Selain itu, dalam sel surya tersensitisasi *dye* menggunakan media elektrolit sebagai medium transport muatan. Elektrolit yang umumnya digunakan adalah *iodine* (I^-) dan *triiodide* (I_3^-) sebagai pasangan redoks.

Hole Transport Layer (HTL) merupakan suatu material yang membantu proses difusi/transport muatan dalam divais sel surya [8]. Material yang dapat digunakan sebagai lapisan pembawa muatan pada sel surya adalah material yang memiliki kestabilan yang tinggi dengan tingkat energi yang baik. Material spiro merupakan material yang cocok sebagai HTL pada divais sel surya khususnya sel surya tersensitisasi *dye*. Di antara berbagai jenis material spiro, spiro-OMeTAD atau 2,2',7,7'-tetrakis(*N,N*-di-*p*-metoxyphenilamine)-9,9'-spirobifluorene merupakan material spiro yang memiliki mobilitas *hole* yang paling baik sehingga dapat dengan efektif menjadi media transport pembawa muatan *hole* [9, 10]. Dalam makalah ini, akan diuraikan proses fabrikasi sel surya tersensitisasi *dye* menggunakan material spiro-OMeTAD sebagai HTL untuk meningkatkan efisiensi sel surya tersensitisasi *dye*.

2. Eksperimen

Sebelum proses fabrikasi sel surya tersensitisasi *dye*, dilakukan pengukuran spektrum UV-Vis untuk mengetahui absorpsi lapisan mesopori TiO_2 , lapisan *dye*, gabungan lapisan mesopori TiO_2 dan lapisan *dye* serta gabungan lapisan mesopori TiO_2 , lapisan *dye* dan lapisan spiro-OMeTAD.

Fabrikasi sel surya tersensitisasi *dye* dengan elektrolit berbentuk gel dan spiro-OMeTAD sebagai HTL terbagi menjadi tiga tahap [11]. Tahap pertama adalah pembuatan fotoanoda sebagai lapisan yang berfungsi untuk menyerap foton dari sinar cahaya yang diberikan pada sel surya. Pembuatan fotoanoda dilakukan menggunakan teknik *screen printing* pada substrat FTO (*Fluoride Tin Oxide*). Bahan yang pertama dideposisikan pada substrat FTO adalah *Ti Nanooxide T/SP* kemudian *Ti Nanooxide MC/SP* dan kembali *Ti Nanooxide T/SP*. Selanjutnya substrat tersebut dipanaskan bertahap sampai suhu $500^\circ C$ selama 30 menit di atas *hotplate*. Hasil yang diperoleh adalah lapisan mesopori TiO_2 .

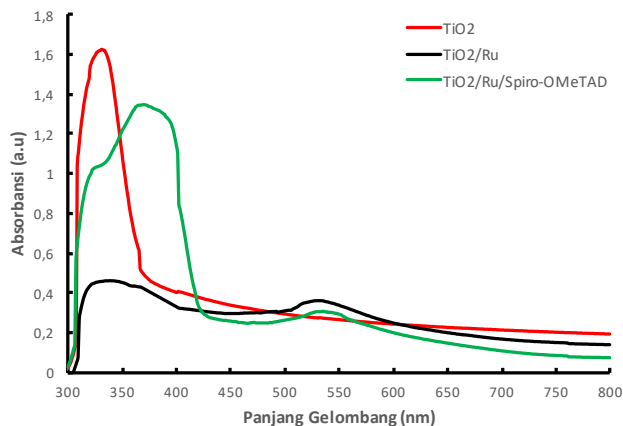
Tahap kedua adalah merendam fotoanoda mesopori TiO_2 ke dalam larutan campuran *dye Ruthenium* (*535-bisTBA*; produksi Solaronix) and *chenodeoxylycacid* dengan perbandingan volume 1:10 dan didiamkan selama semalam, kemudian dibilas dengan *acetonitrile* untuk menghilangkan sisa molekul *dye* yang tidak masuk ke dalam mesopori TiO_2 . Fotoanoda yang dihasilkan adalah FTO/mesopori TiO_2 /Ru-*dye*. Kemudian spiro-OMeTAD (produksi Lumtec) sebagai HTL dideposisikan di atas fotoanoda sehingga diperoleh FTO/mesopori TiO_2 /Ru-*dye*/spiro-OMeTAD.

Tahap ketiga adalah menyusun fotoanoda (FTO/mesopori TiO_2 /Ru-dye/spiro-OMeTAD) dengan elektroda lawan platina yang telah terdeposisi pada substrat FTO (Pt/FTO). Kemudian diantara kedua elektroda tersebut diberi lapisan pemisah yaitu *surlyn* dengan ketebalan $\pm 25 \mu\text{m}$. Bagian akhir dari fabrikasi sel surya tersensitasi *dye* adalah menginjeksikan elektrolit semi padat, yang berasal dari polimer hybrid TMSPPMA dan *mosalyte* (produksi *Solaronix*) melalui lubang dari bagian elektroda lawan Pt/FTO dan menutup lubang agar tidak terjadi kebocoran.

Kinerja sel surya tersensitasi *dye* dengan struktur lapisan FTO/mesopori TiO_2 /Ru-dye/spiro-OMeTAD/elektrolit semi-padat/Pt/FTO dilakukan melalui pengukuran kurva J-V dalam keadaan tanpa dan dengan penyinaran dari lampu dengan intensitas $36,5 \text{ mW/cm}^2$.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 menunjukkan spektrum UV-Vis dari lapisan mesopori TiO_2 , Ruthenium *dye*, lapisan mesopori TiO_2 /Ru-*dye* dan lapisan mesopori TiO_2 /Ru-*dye*/spiro-OMeTAD. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa ketiga sampel mengabsorpsi pada rentang UV-Vis. Puncak absorpsi lapisan mesopori TiO_2 berada pada panjang gelombang sekitar 330 nm, lapisan mesopori TiO_2 /Ru-*dye* memiliki 2 (dua) puncak absorpsi yang berasal dari puncak lapisan mesopori TiO_2 , diperlihatkan oleh adanya bahu (*shoulder*) pada panjang gelombang 330 nm dan berasal dari Ru-*dye* pada panjang gelombang 530 nm. Spektrum UV-Vis lapisan TiO_2 /Ru-*dye*/spiro-OMeTAD memperlihatkan daerah absorpsi yang semakin melebar dan berasal dari absorpsi masing-masing lapisan. Pada spektrum ini, puncak pada panjang gelombang 370 nm berasal dari lapisan spiro-OMeTAD.



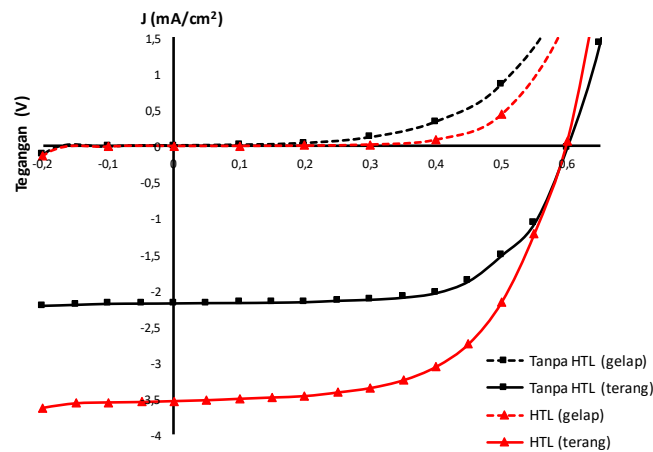
Gambar 1. Spektrum UV-Vis lapisan mesopori TiO_2 , lapisan mesopori TiO_2 /Ru-*dye* dan lapisan mesopori TiO_2 /Ru-*dye*/spiro-OMeTAD

Gambar 2 memperlihatkan hasil pengukuran kurva rapat arus (J) terhadap tegangan (V) dari sel surya tersensitasi *dye* yang menggunakan spiro-OMeTAD sebagai HTL dan tanpa HTL. Dalam keadaan gelap, kurva J-V memperlihatkan efek dioda yang menunjukkan bahwa *interface* antar lapisan telah terbentuk dengan baik. Dalam keadaan penyinaran, kedua divais telah pula menunjukkan efek *photovoltaic*. Parameter divais sel surya tersensitasi *dye* hasil pengukuran kurva J-V diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter divais sel surya tersensitasi *dye* dengan spiro-OMeTAD sebagai *hole transport layer* (HTL) dan tanpa HTL

Sampel	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (Volt)	FF (%)	η (%)
Tanpa HTL	2,18	0,6	64	2,31
HTL	3,53	0,6	58	3,38

Kedua divais baik dengan spiro-OMeTAD sebagai HTL dan tanpa HTL memiliki nilai tegangan terbuka (V_{oc}) yang sama yaitu sebesar 0,6 Volt. Sedangkan, nilai rapat arus hubung singkat (J_{sc}) untuk divais tanpa HTL dan dengan HTL berbeda. Dari hasil pengukuran J-V sel surya tersensitasi *dye* tanpa HTL memiliki nilai J_{sc} lebih kecil dibandingkan dengan divais yang menggunakan spiro-OMeTAD sebagai HTL. Hal ini terjadi karena dengan adanya spiro-OMeTAD sebagai *hole transport layer* mempermudah transport pembawa muatan dalam divais. Perbedaan pada nilai J_{sc} ini memberikan pengaruh secara langsung nilai efisiensi η (*Power Conversion Energy/PCE*) divais. Tanpa HTL efisiensi sel surya tersensitasi *dye* adalah 2,31%, sedangkan divais dengan HTL memiliki efisiensi yang lebih tinggi yaitu mencapai 3,38%.

**Gambar 2.** Kurva J-V dari sel surya tersensitasi *dye* tanpa *hole transport layer* (HTL) spiro-OMeTAD dan dengan HTL dalam keadaan tanpa penyinaran (gelap) dan penyinaran (terang).

4. Kesimpulan

Telah dilakukan fabrikasi sel surya tersensitasi *dye* dengan fotoanoda berupa lapisan mesopori TiO₂ dan Ru-*dye*. Hasil pengukuran kurva J-V memperlihatkan bahwa penggunaan spiro-OMeTAD dapat meningkatkan efisiensi divais. Peningkatan efisiensi berkaitan dengan nilai rapat arus hubung singkat yang meningkat ($J_{sc} = 3,53$ mA/cm²). Peningkatan rapat arus disebabkan adanya lapisan transport (spiro-OMeTAD) yang berfungsi mempermudah transport *hole* bergerak menuju katoda sekaligus menghalangi transport elektron (*electron blocking layer*) dari tingkat LUMO material aktif menuju ke anoda.

Daftar Pustaka

1. J. Le Perchea, et.al., *19,3% Efficiency on P-Type Silicon Solar Cells by Pulsion® Plasma-Immersion Implantation*, Energy Procedia 33 (2013) 18 – 23
2. Andrew Blakersa, et.al., *High Efficiency Silicon Solar Cells*, Energy Procedia 33 (2013) 1 – 10

3. Shruti Sharma, et.al., *Solar Cells: In Research and Applications - A Review*, Materials Sciences and Applications 6 (2015) 1145-1155
4. B. O'regan, et al. *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films*, Nature 353 (1991) 24.
5. M. Gratzel, *The advent of mesoscopic injection solar cells*, Prog. Photovolt. Res. Appl. 14 (2006) 429–442.
6. Yiming Cao, et.al., *11% efficiency solid-state dye-sensitized solar cells with copper(II/I) hole transport materials*, Nature Communications 8, (2017) 15390
7. Meidan Ye, et.al., *Recent advances in dye-sensitized solar cells: from photoanodes, sensitizers and electrolytes to counter electrodes*, Materials Today 18 (2015) 155-162
8. Sandro Lattante, *Electron and Hole Transport Layers: Their Use in Inverted Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells*, Electronics 3 (2014) 132-164
9. Tobat P. I. Saragi, et.al., *Spiro Compounds for Organic Optoelectronics*, Chem. Rev. 107 (2007) 1011–1065
10. Dong Shi, et.al., *Spiro-OMeTAD single crystals: Remarkably enhanced charge-carrier transport via mesoscale ordering*, Science Advances 2 (2016) e1501491
11. L Safriani, W P Primawati, C Mulyana, T Susilawati, and A Aprilia, *Fabrication of Semi-quasi Solid DSSC using Spiro Material as Hole Transport Material*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 196 (2017) 012014