

SEL SURYA HIBRID *BULK HETEROJUNCTION* NANOPARTIKEL ZnO/Cu-FEOFITIN

Sugianto, Akhiruddin*, Irmansyah

Bagian Biofisika, Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia 16680

*e-mail: akhiruddin@ipb.ac.id

ABSTRACT

The hybrid solar cell in bulk-heterojunction form has been fabricated. It was combined among ZnO and chlorophyll derivatives (Cu-Pheophytin) and insertion of CuSCN layer as hole conductor. The hybrid film of ZnO/Cu-pheophytin has a wide absorption spectrum compare with the ZnO film alone. The characterization result of the hybrid film of ZnO/Cu-pheophytin solar cell has fill factor about 55% which indicated an ideal curve of I-V characteristic. Moreover, the conversion efficiency of the cell was 0.3%.

Keywords: Hybrid solar cell, hybrid film, ZnO, Cu-pheophytin.

ABSTRAK

Telah dipabrikasi sel surya hibrid dalam bentuk bulk heterojunction, yang merupakan kombinasi antara ZnO dan klorofil turunan (Cu-feofitin) dan CuSCN digunakan sebagai konduktor hole. Kombinasi ZnO/Cu-feofitin dalam bentuk film hibrid menyebabkan pelebaran daerah serapan ZnO sehingga lebih banyak spektrum yang terserap. Hasil karakterisasi sel surya hibrid ZnO/Cu-feofitin menghasilkan nilai fill factor sebesar 55% yang memperlihatkan bentuk kurva I-V yang ideal. Sedangkan nilai efisiensi konversi yang dihasilkan adalah 0,3 %.

Kata kunci: Sel surya hibrid, film hibrid, ZnO, Cu-feofitin.

PENDAHULUAN

Sel surya hibrid merupakan perpaduan antara semikonduktor anorganik dan organik. Material organik dalam sel surya jenis ini berfungsi sebagai penyerap cahaya (fotoaktif) dan bagian anorganiknya adalah nanokristal semikonduktor sebagai akseptor elektron, biasanya material yang golongan II-IV, umumnya adalah TiO₂ dan ZnO dengan masing-masing energi *bandgap* adalah 3,2 eV¹ dan 3,2–3,4 eV.²

Secara umum, lapisan fotoaktif pada sel surya hibrid dapat memiliki tiga bentuk struktur yaitu bilayer, *bulk heterojunction* dan interdigit dengan memadukan bahan yang bersifat donor dan akseptor yang didepositkan pada substrat. Berbeda dengan *bulk* semikonduktor anorganik, penyerapan foton oleh semikonduktor organik tidak menghasilkan pembawa muatan

bebas tetapi terikat oleh pasangan elektron-*hole* yang selanjutnya disebut sebagai eksiton.³

Secara khusus, prinsip kerja sel surya hibrid diawali dengan penyerapan foton oleh bahan absorban sehingga dibangkitkan eksiton dari pita valensi ke pita konduksi. Eksiton berdifusi ke *interface* donor/akseptor, selanjutnya terjadi pemisahan eksiton menjadi elektron bebas dan *hole* dibawah pengaruh medan listrik internal yang ditransferkan oleh material donor atau akseptor yang dominan dan akhirnya dikumpulkan pada masing-masing elektroda.

Dalam beberapa dekade terakhir, klorofil dan turunannya telah dikembangkan untuk berbagai aplikasi bahan semikonduktor, diantaranya adalah optoelektronik,⁴ fotosensitiser, fototransistor⁵ dan terapi fotodinamik untuk kanker.⁶ Secara umum klorofil merupakan pigmen yang mudah terdegradasi akibat berkurangnya atau degradasi logam Mg di dalam inti cincin porfirin. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu panas⁷ dan konsentrasi asam,⁸ sehingga beberapa penelitian telah melakukan modifikasi terhadap logam inti pada klorofil (Mg) dengan unsur logam lainnya yaitu seng (Zn^{2+}) dan tembaga (Cu^{2+}),⁹ agar pigmen klorofil lebih stabil.

Dalam penelitian ini dimanfaatkan klorofil termodifikasi ion logam Zn^{2+} dan Cu^{2+} sebagai material fotoaktif (penyerap foton) sekaligus donor elektron pada sistem sel surya hibrid nanopartikel ZnO.

METODOLOGI

Sintesis dan karakterisasi nanopartikel ZnO

Penumbuhan nanopartikel ZnO dilakukan dengan cara melarutkan 8,75 gram *Zinc acetat dyhidrat* ($(CH_3COO)_2Zn \cdot 2H_2O$) ke dalam etanol (C_2H_5OH) dan *ethylene glycol* ($HOCH_2CH_2OH$) dengan metode hidrotermal. Prekursor yang diperoleh dari proses hidrotermal dicuci dengan akuades dan etanol secara bergantian sebanyak tiga kali lalu dikeringkan di atas *hotplate* pada suhu $100^\circ C$ sampai mengering, kemudian dikalsinasi selama satu jam pada suhu $300^\circ C$. Selanjutnya dilakukan karakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) untuk menentukan struktur kristal dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati morfologinya. Pengukuran sifat optik film ZnO dilakukan dengan menggunakan spektrometer UV-Vis (*Ocean Optics*).

Pabrikasi film hibrid ZnO/Cu-Feofitin

Mula-mula dilakukan degradasi klorofil dengan melepaskan ion inti Mg^+ menggunakan HCl. Selanjutnya dilakukan modifikasi klorofil tersebut dengan mensubstitusi ion Cu^+ sebagai pengganti Mg^+ . Pabrikasi film hibrid dilakukan dengan melarutkan bubuk ZnO ke dalam etanol kemudian di aduk dengan kecepatan 300 rpm sambil diberikan tetesan *ethylene glycol*, selanjutnya ditambahkan bubuk klorofil termodifikasi. Reaksi dilakukan selama 10 menit sampai semua komponen terlihat tercampur sempurna. Pelapisan film hibrid ZnO/klorofil dilakukan dengan menggunakan metode *casting*.¹⁰

Pabrikasi sel surya hibrid

Pembuatan sel surya hibrid *bulk heterojunction* dilakukan dengan cara mencampurkan bubuk nanopartikel ZnO dan bubuk klorofil turunan kemudian digerus dengan menggunakan mortar dan ditambahkan etanol secukupnya sampai halus sempurna. Selanjutnya ditambahkan larutan asam asetat sampai tercampur sempurna. Kemudian adonan diteteskan di atas kaca ITO yang telah dibuat pola terlebih dahulu dengan ukuran pola 1x1 cm². Pelapisan dilakukan dengan menerapkan metode *Doctor blade*. Sel yang telah terbentuk dibiarkan pada suhu ruang sampai mengering, kemudian sel ditetesi dengan larutan CuSCN secukupnya sampai merata. Kemudian pada bagian atasnya ditutupi dengan kaca ITO lainnya dengan bagian konduktif menghadap ke dalam. Selanjutnya dilakukan pengukuran untuk menentukan performa sel surya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

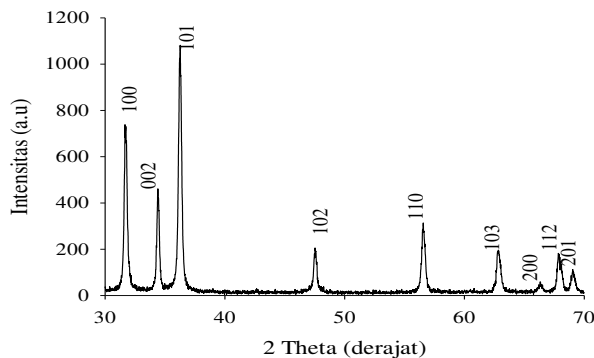
Struktur kristal dan morfologi nanopartikel ZnO

Gambar 1 adalah difraktogram hasil karakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) yang memperlihatkan bentuk pola difraksi polikristalin ZnO dengan struktur heksagonal *wurtzite*. Puncak-puncak difraksi ditunjukkan pada sudut 2θ berturut-turut pada 31,66°(100), 34,4°(002), 36,28°(101), 47,54°(102), 56,56°(110), 62,78°(103), 66,34°(200), 67,84°(112), 69,02°(201). Pola difraksi ini menunjukkan kesesuaian dengan data JCPDS no. 1314-13-2.¹¹

Pada pola difraksi tampak bahwa bidang (101) memiliki intensitas yang lebih tinggi dari lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa bidang (101) lebih dominan pada struktur ZnO. Ukuran kristal dihitung berdasarkan pelebaran pola difraksi bidang (101), dengan menggunakan persamaan (1)

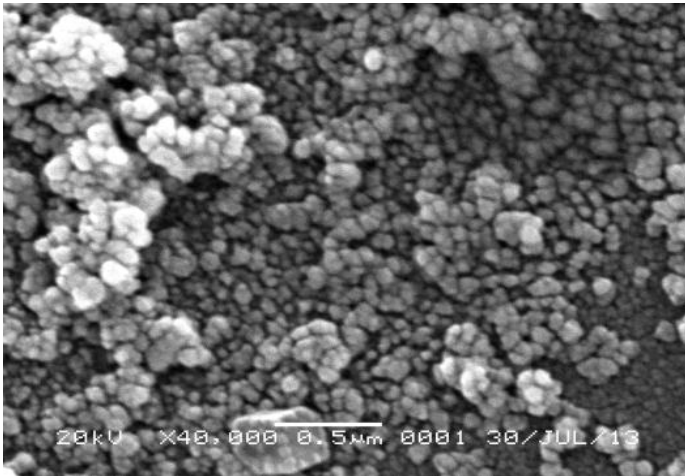
$$\sigma = k\lambda / (\beta \cos\theta) \quad (1)$$

σ adalah ukuran kristal rata-rata, k adalah konstanta (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X sumber yaitu 1,54059 Å, β adalah lebar setengah puncak maksimum (FWHM) setiap puncak, dan θ adalah sudut difraksi.



Gambar 1. Pola difraksi nanopartikel ZnO yang disintesis dengan metode hidrotermal.

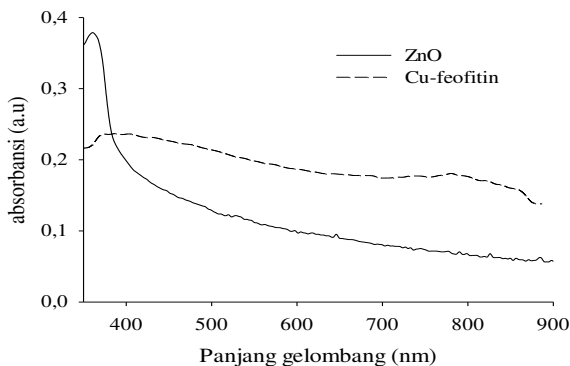
Gambar 2 adalah citra SEM sampel ZnO yang memperlihatkan bahwa morfologi permukaan nanopartikel ZnO cenderung homogen. Akan tetapi pada bagian tertentu juga memperlihatkan adanya penggumpalan (aglomerasi) yang terjadi saat dilakukan proses anil akibat kecenderungan sifat material nanoskopik.



Gambar 2. Foto SEM permukaan film ZnO.

Sifat optik film hibrid ZnO/Cu-feofitin

Spektrum ZnO/Cu-feofitin menghasilkan serapan pada rentang 332-632 nm. Hasil ini memperlihatkan bahwa kombinasi ZnO/Cu-feofitin memiliki rentang serapan yang lebih lebar dari kombinasi lainnya, sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 3. Kombinasi antara semikonduktor ZnO dengan klorofil turunan yaitu Cu-feofitin, telah menyebabkan pelebaran daerah serapan spektrum ZnO. Pelebaran serapan ini menunjukkan bahwa jumlah spektrum yang terserap lebih banyak setelah kombinasi. Pelebaran serapan ini ditunjukkan pada rentang panjang gelombang yang dihasilkan.



Gambar 3. Serapan spektrum dari film ZnO/Cu-feofitin

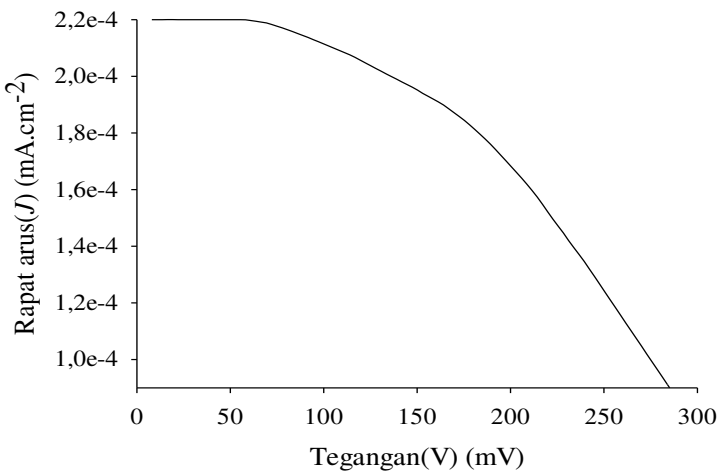
Karakteristik sel surya hibrid ZnO/Cu-feofitin

Kurva I-V sel surya diperlihatkan pada Gambar 4. Hasil karakterisasi sel surya hibrid dengan struktur ITO-CuSCN-ZnO/Cu-feofitini-ITO didapatkan nilai-nilai parameter kisi dalam sel surya yaitu, I_{sc} , V_{oc} , fill factor (FF), dan efisiensi (η) dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan karakteristik I-V didapatkan nilai *fill factor* sel surya sebesar 55% dengan nilai efisiensi 0,3%. Besarnya nilai *fill factor* ini kemungkinan besar disebabkan oleh tingkat stabilitas dari *dye* akibat adanya substitusi ion Cu^{2+} ke dalam inti klorofil.^{9,12-14} *Dye* yang kurang stabil akan lebih mudah mengalami perubahan struktur molekul, yang akan berpengaruh pada mekanisme transfer elektronnya, yang menyebabkan menurunnya transfer muatan dari *dye* ke semikonduktor. Nilai efisiensi sangat dipengaruhi oleh jumlah elektron yang ditransferkan hingga sampai pada elektrodanya, yang kemudian terbaca sebagai arus maksimum (I_{max}) dan tegangan maksimum (V_{max}). Sedangkan besarnya nilai tegangan V_{oc} dan arus I_{sc} kemungkinan besar dipengaruhi oleh jumlah konsentrasi pada *dye*. Dengan konsentrasi yang lebih tinggi, *dye* memiliki jumlah muatan yang lebih banyak. Hal ini mengakibatkan banyaknya jumlah muatan yang tereksitasi ketika mendapat energi foton, sehingga mampu menghasilkan nilai tegangan yang tinggi.

Tabel 1. Nilai parameter dalam sel surya.

Sampel	V_{oc}	I_{sc}	V_{max}	I_{max}	P_{max}	FF	H
	(mV)	(mA)	(mV)	(mA)	$mWcm^{-2}$	FF	(%)
Cu-feofitin	286,8	$2,2 \times 10^{-4}$	218,5	$1,6 \times 10^{-4}$	0,035	0,55	0,3



Gambar 4 Kurva I-V sel surya hibrid ZnO/Cu-feofitin

SIMPULAN

Kombinasi film hibrid ZnO/Cu-feofitin telah menyebabkan pelebaran pada serapan dari ZnO. Rendahnya nilai efisiensi yang dihasilkan dari klorofil yang tersubstitusi ion logam, kemungkinan disebabkan oleh penurunan konsentrasi sehingga mengurangi jumlah muatan yang ditransfer dari dye ke semikonduktor.

DAFTAR PUSTAKA

1. Reddy K.M, Manorama S.S, Reddy A.R. Bandgap studies on anatase titanium dioxide nanoparticles, *Materials Chemistry and Physics* 2002;78: 239–245
2. Song, P. K., Watanabe, M., Kon, M., Mitsui, A. & Shigesato, Y. Electrical and optical properties of gallium-doped zinc oxide films deposited by dc magnetron sputtering. *Thin Sol. Films* 2002; 411: 82–86.
3. Gledhill S. E, Scott, B.Gregg, B. A. Organic and nano-structured composite photovoltaics: An overview. *J Mater Res* 2005; 20(12):. 3167-3179.
4. Ohtani N, Kitagawa N, and Matsuda T. *Fabrication of Organic Light-Emitting Diodes Using Photosynthetic Pigments Extracted from Spinach*. *Jpn. J. Appl. Phys.* 2011; 50.
5. Chen S-Y, Lu Y-Y, Shih F-Y, Ho P-H, Chen Y-F, Chen CW, Chen Y-T, Wang H-W. 2013. Biologically inspired graphene-chlorophyll phototransistors with high gain. [Manuscript tex]
6. Park YJ, Lee WY, Hahn B-S, Han MJ, Yang WL, Kim BS. Chlorophyll Derivatives a New Photosensitizer for Photodynamic Therapy of Cancer in Mice. *Yonsei Med. J.* 1989; 30 (3).
7. Erge H.S, Karadeniz F, Koca, Soyer Y. Effect Of Heat Treatment On Chlorophyll Degradation And Color Loss In Green Peas. *GIDA*. 2008;33(5):225-233
8. Koca N, Karadeniz F., Burdurlu H.S. Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Tech* 2003; 073.
9. Kupper H, Kupper F, Spiller M. Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants. *J. Exp.Bot* 1996; 295(47):259-266.
10. Ibrahim Mohammed A, YuWei H, Tsai M-H, Ho K-C, Shyue J-J, Chu CW., Solution-processed zinc oxide nanoparticles as interlayer materials for inverted organic solar cells, *Solar E. Mat.* 2013; 108: 156–163
11. Wu Y.L., Tok. A.I.Y, Boey F.Y.C, Zeng X.T. X., Zhang X.H. Surface modification of ZnO nanocrystals. *App. Surface Sci.* 2007;253 :5473–5479.
12. Nurdin. Pembuatan bubuk ekstrak Cu-turunan klorofil daun cincau (*prema oblongifolia merr.*) dan uji praklinis untuk pencegahan aterosklerosis. [Desertasi].

13. Nurhayati dan Veinardi Suendo. 2011. Isolation of Chlorophyll a from Spinach Leaves and Modification of center Ion with Zn^{2+} : Study on its Optical Stability. *JMS*. 2009;16 (2).
14. Zvezdanovic J.B, Markovic D.Z, Milenkovic S.M. Zinc (II) and copper (II) complexes with pheophytin and mesoporphyrin and their stability to UV-B irradiation: Vis spectroscopy studies. *J. Serb. Chem*, 2012.; 2 :187-199