



ELEKTRODA *SOLAR CELL* BERBASIS KOMPOSIT $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF TERBARUKAN

Ade Yulia Kusuma Dewi*), Sigit Priatmoko, dan Sri Wahyuni

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Juli 2012
Disetujui Agustus 2012
Dipublikasikan November 2012

Kata kunci:
sol-gel
komposit
 SiO_2
solar cell

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pembuatan elektroda *solar cell* komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$. Permasalahan dalam penelitian adalah seberapa besar pengaruh SiO_2 terhadap nilai *band gap* dan kinerja elektroda sel TiO_2 . Tujuan dalam penelitian adalah mensintesis semikonduktor $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dan mempelajari pengaruh konsentrasi SiO_2 terhadap kinerja *solar cell*. Komposit disintesis menggunakan metode sol-gel dengan prekursor TiIPP dan TEOS. Karakterisasi terhadap material hasil sintesis meliputi: *band gap*, bentuk dan ukuran kristal, morfologi permukaan dan komposisi komponen penyusunnya berturut-turut menggunakan DR-UV, XRD dan SEM-EDX. *Solar cell* diuji kinerjanya menggunakan lampu UV dengan panjang gelombang 365 nm. Penambahan SiO_2 sebesar 0, 10, 15 dan 20 % mol menghasilkan nilai *band gap* berturut-turut sebesar 3,39 eV; 3,25 eV; 3,23 eV dan 3,42 eV dan efisiensi berturut-turut sebesar 0,0607%; 1,1471%; 2,2234% dan 0,0286%. Nilai efisiensi terbaik diberikan oleh komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dengan konsentrasi SiO_2 15 % mol. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ memiliki struktur kristal tetragonal dengan ukuran partikel 16,24 nm - 9,38 nm, meskipun bentuk morfologi permukaannya kurang homogen.

Abstract

The research to product Electrodes Solar Cell based on $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Composite for Alternative Energy development has been done. The problem research is how much impact addition of SiO_2 on the band gap value and performance electrode cell TiO_2 . The purposes of this study are to synthesize the semiconductor $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ and to know the effect of the concentrating of SiO_2 toward the performance solar cell. Composite is synthesized with sol-gel method using precursor TiIPP and TEOS. Characterizations of the material result of synthesis consist of band gap, crystal shape and size, morphology surface and the composition of composite element $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ using DR-UV, XRD and SEM-EDX, respectively. Solar cell's performance is tested using UV lamp with 365 nm wavelength. The addition of SiO_2 0, 10, 15, and 20 % mol produces 3.39 eV; 3.25 eV; 3.23 eV and 3.42 eV band gap value and 0.0607%; 1.1471%; 2.2234% and 0.0286% efficiency value respectively. The result of the performance test shows that the best efficiency value is given by solar cell $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ composite with the concentration of SiO_2 is 15 % mol. The result of the characterization XRD shows that $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ composite has a tetragonal crystal structure and 16.24 nm - 9.38 nm particle size in spite of non-homogeneous surface morphology.

Pendahuluan

Ketersediaan energi merupakan hal pokok bagi laju pertumbuhan ekonomi, kualitas kehidupan manusia, dan stabilitas dunia. *World Bank* memperkirakan bahwa kebutuhan energi akan berlipat ganda (mencapai 30 trilyun) pada tahun 2050 mendatang dengan meningkatnya populasi dunia yang mencapai 9 milyar penduduk disertai dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan ekonomi. Bahan bakar fosil sekarang ini hanya mencukupi 80% dari kebutuhan energi diseluruh dunia (Lucky, 2008).

Energi surya dianggap sebagai energi alternatif yang paling menjanjikan sebagai pengganti bahan bakar fosil untuk mengatasi krisis energi di dunia. Energi total dari matahari yang dapat diserap bumi sekitar 3×10^{24} joule, yaitu sekitar 104 lebih besar daripada kebutuhan energi di dunia sekarang ini. Sel surya atau *solar cell* merupakan alat yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik sehingga energi matahari seharusnya dapat dimanfaatkan secara maksimal (Phani *et al.*, 2001).

TiO₂ adalah salah satu material yang banyak dikembangkan sebagai elektroda *solar cell* karena sifat semikonduktornya. Semikonduktor titania (TiO₂) bersifat inert, tidak berbahaya, relatif murah dan reaktif terhadap cahaya sehingga memiliki karakteristik optik yang baik. Semikonduktor TiO₂ hanya aktif dalam daerah cahaya UV (Linsebigler *et al.*, 2005).

Pada aplikasi *solar cell*, semikonduktor titania masih menghasilkan efisiensi yang rendah. Hal ini dikarenakan terjadinya rekombinasi prematur di dalam sel yang menyebabkan proses transfer elektron menjadi tidak maksimal. Oleh karena itu, para peneliti mulai mengembangkan penelitiannya dengan memodifikasi TiO₂ dalam bentuk komposit (Maddu, 2010).

Material silika merupakan material yang dapat dikompositkan dengan titania pada aplikasi *solar cell* komposit, hal ini karena adanya SiO₂ sebagai material komposit secara efektif dapat meningkatkan stabilitas fase kristal anatase TiO₂, membatasi pertumbuhan kristalit dan meningkatkan luas permukaan bahan semikonduktor. Namun demikian, dalam penambahan SiO₂ perlu dilakukan pengontrolan karena porositas bahan, tingkat keseragaman pori, dan homogenitas sebaran logam pada

semikonduktor merupakan faktor-faktor yang juga menentukan kualitas bahan semikonduktor (Hidayat, 2005).

Metode sol-gel mempunyai kelebihan yaitu mudah, pencampuran dapat terjadi sempurna dan fase yang dihasilkan homogen. Metode ini dapat diaplikasikan untuk sintesis TiO₂ yang dikompositkan dengan SiO₂ sehingga ukuran partikel dan homogenitasnya menjadi terkontrol (Liquin *et al.*, 2005).

Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan SiO₂ untuk membentuk komposit dengan TiO₂ terhadap *band gap* yang dihasilkan dan pengaruhnya terhadap kinerja *solar cell*. Penelitian ini juga mempelajari karakteristik komposit TiO₂/SiO₂ dari hasil metode sol-gel yang meliputi morfologi permukaan, struktur kristal dan ukuran kristal komposit tersebut menggunakan XRD dan SEM-EDX.

Metode Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat gelas (Pirex), *Magnetic stirrer* (IKAMAG), Oven (Memmert), pipet tetes, neraca analitik (Ohaus), *universal indicator* (E. Merck), *Furnace* (Barnstead Thermolyne 1400), Spektrofotometer UV-Vis mini (Shimadzu), *X-Ray Diffractometer* (Shimadzu), *Diffuse Reflectance UV* (DR-UV) (Shimadzu UV-1700), SEM-EDX (JEOL JSM-6360LA), Luxmeter (Lutron) dan lampu UV (Spectroline Model CM-10). Bahan yang digunakan berkualitas *analytical grade* dalam penelitian ini adalah TiIPP (titanium (IV) isopropoxide) 98% (E. Merck), TEOS (tetraetilortosilikat) 97% (E. Merck), etanol 96% (E. Merck), HCl 98% (E. Merck), polivinil alkohol (PVA), etilen glikol, KI (kalium iodida), Ekstrak kulit manggis, aquades, dan Substrat PET:ITO (In₂O₃:Sn) 3 x 3 cm (Sigma Aldrich).

Substrat PET:ITO berukuran 3 x 3 cm dibersihkan terlebih dahulu dengan merendam substrat menggunakan aquades dan etanol masing-masing selama 5 menit, kemudian dikeringkan pada suhu kamar (25° C).

Pembentukan komposit TiO₂/SiO₂ dilakukan dengan metode sol-gel yaitu TiIPP sebanyak 8,80 mL ditambahkan ke dalam 143 mL etanol dan ditambahkan variasi %mol SiO₂ sebanyak 0, 10, 15, dan 20 % mol. Larutan diaduk selama 15 menit pada temperatur ruang dan ditambahkan larutan HCl sebanyak 0,5 mL. Selanjutnya, aquades ditambahkan pada larutan dan diaduk selama 30 menit, larutan didiamkan selama 24 jam sampai terbentuk sol. Sol yang

terbentuk di oven pada suhu 120° C selama 10 jam, kemudian difurnace pada suhu 500° C selama 2 jam. Serbuk yang dihasilkan dilapiskan pada substrat fleksibel ITO pada bagian konduktifnya dengan ukuran 2 x 2 cm dan di oven pada suhu 60° C selama 3 jam dan dikarakterisasi dengan menggunakan XRD, SEM-EDX, dan DR-UV.

Elektroda karbon sebagai elektroda lawan dibuat dengan melarutkan serbuk karbon dalam polivinil alkohol 1% dengan perbandingan 1:1, artinya setiap 1 gram serbuk karbon dilarutkan dalam polivinil alkohol (PVA) 1% sebanyak 1 mL. PVA 1% disintesis dengan cara melarutkan PVA sebanyak 1 gram dalam pelarut air sebanyak 100 mL. Grafit ditambahkan dengan PVA agar terbentuk kontak yang baik sesama partikel karbon dan ITO. Campuran tersebut kemudian dilapiskan ke substrat fleksibel ITO pada bagian konduktifnya dengan ukuran 2x2 cm dan di oven pada suhu 60° C selama 3 jam.

Sebelum digunakan sebagai elektroda kerja, komposit TiO₂/SiO₂ terlebih dahulu direndam dengan larutan *dye* selama 1 jam. Larutan *dye* dibuat dengan cara menimbang 15 gram kulit bagian dalam buah manggis dan menghaluskannya dengan mortar kemudian direndam dalam campuran methanol:asam asetat:air (25:4:21 perbandingan volume) selama 24 jam. Larutan kemudian difilter dengan kertas saring dan disimpan dalam botol berwarna gelap.

Larutan elektrolit *iodolyte* dibuat dengan mencampurkan 0,375 gram kalium iodida (KI) ke dalam 5 mL etilen glikol, kemudian ditambahkan 0,05 gram I₂ ke dalam larutan tersebut dan diaduk. Larutan disimpan dalam botol berwarna gelap dan tertutup.

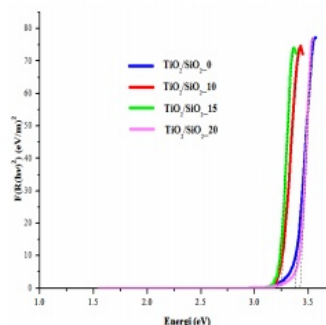
Penyusunan *solar cell* dilakukan dengan struktur *sandwich* dan menyisakan 1 cm pada bagian tepi substrat yang tidak terlapis sebagai elektroda pada masing-masing kutubnya. Posisi substrat yang terlapis komposit TiO₂/SiO₂ di bagian atas kemudian ditempel dengan elektroda karbon secara berhadapan. Diantara kedua elektroda ditetesi elektrolit dan dijepit menggunakan paper klip.

Solar cell komposit TiO₂/SiO₂ dipasangkan antara elektroda positif dan negatifnya dengan alat uji kinerja yang dihubungkan dengan variasi hambatan listrik (R), variasi hambatan yang diberikan dimulai dari 1 sampai 20000 Ω. *Solar cell* kemudian disinari dengan sumber foton (sinar UV), dicatat besar potensial listrik

(V) dan arus listrik (I) yang dihasilkan.

Hasil dan Pembahasan

Diffuse Reflectance Ultra Violet (DR-UV) digunakan untuk menganalisis *band gap* komposit TiO₂/SiO₂. Perhitungan *band gap* dilakukan dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk yaitu (E_g) diperoleh dari grafik hubungan antara $[\alpha \cdot h \cdot c / \lambda]^2$ terhadap $(h \cdot c / \lambda)$ atau energi (eV). *Band gap* pada semikonduktor adalah $(h \cdot c / \lambda)$ pada saat $[\alpha \cdot h \cdot c / \lambda]^2 = 0$ yang diperoleh dari penarikan garis lurus memotong sumbu x dalam kurva antara energi foton (eV) terhadap $[\alpha \cdot h \cdot c / \lambda]^2$. Grafik perhitungan *band gap* komposit TiO₂/SiO₂ hasil sintesis dengan pengaruh konsentrasi SiO₂ ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik perhitungan *band gap* komposit TiO₂/SiO₂ hasil sintesis dengan pengaruh konsentrasi SiO₂.

Berdasarkan Gambar 1 diperoleh *band gap* komposit TiO₂/SiO₂ hasil sintesis seperti yang disajikan pada Tabel 1.

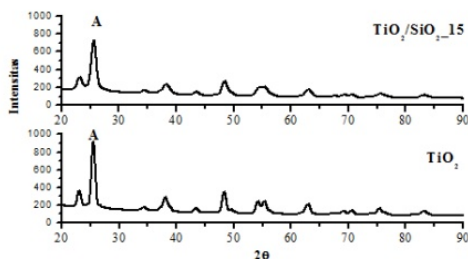
Tabel 1. *Band gap* Semikonduktor TiO₂/SiO₂

Sampel	<i>Band gap</i> (eV)
TiO ₂ /SiO ₂ 0 %mol	3,39
TiO ₂ /SiO ₂ 10 %mol	3,25
TiO ₂ /SiO ₂ 15 %mol	3,23
TiO ₂ /SiO ₂ 20 %mol	3,42

Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa semakin kecil *band gap* maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini menandakan bahwa konsentrasi SiO₂ yang ditambahkan dapat mempengaruhi nilai *band gap*. *Band gap* yang terkecil diberikan oleh SiO₂ dengan konsentrasi 15 % mol sebesar 3,23 eV. Pada penambahan SiO₂ 20 % mol *band gap* komposit mengalami perluasan. Hal ini dikarenakan adanya kenaikan level pada pita konduksi dan penurunan level pada pita valensi yang mengakibatkan jarak antara pita konduksi dan pita valensi semakin jauh. Namun

demikian, hasil ini lebih baik dibandingkan dengan peneliti-peneliti terdahulu seperti Yuwono *et al* (2011) yang memperoleh *band gap* terbaik sebesar 3,48 eV untuk sel surya tersintetasi zat pewarna berbasis nanopartikel TiO₂ dan Kim *et al* (2007) memperoleh *band gap* terbaik sebesar 3,43 untuk TiO₂ yang dihibrid dengan ZrO₂.

Difraksi sinar-x digunakan untuk mengetahui ukuran, struktur kristal dan orientasi kristal dari semikonduktor TiO₂/SiO₂ yang telah disintesis. Hasil analisis XRD yaitu difraktogram TiO₂ murni dan komposit TiO₂/SiO₂ 15 % mol diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola difraksi TiO₂ murni dan komposit TiO₂/SiO₂ 15 % mol

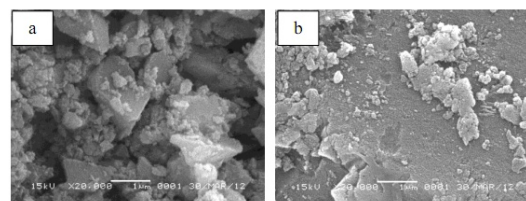
Pada Gambar 2, baik pada difraktogram TiO₂ murni maupun komposit TiO₂/SiO₂ menunjukkan puncak 2θ tertinggi berada pada 25°, puncak ini merupakan kekhasan dari senyawa TiO₂. Kristal SiO₂ tidak terlihat pada difraktogram, sedangkan menurut data *Powder Diffraction File* (PDF) nomor 04-0379, *peak* SiO₂ seharusnya muncul dengan intensitas tinggi pada 21°, hal ini karena kristal TiO₂ persebarannya tidak merata sehingga menutupi kristal SiO₂ yang persebaran dan bentuknya homogen. Selain itu, adanya penambahan silika pada titania yang kurang dari 20% tidak begitu mempengaruhi pola intensitas kristal padatan yang dihasilkan sehingga fase anatase tetap mendominasi puncak-puncak intensitas dan akibatnya fase SiO₂ menjadi kurang teramati.

TiO₂ hasil sintesis telah memiliki kesesuaian dengan material TiO₂ dari data *Powder Diffraction File* (PDF) nomor 04-0477 yaitu kristal TiO₂ fase anatase dengan orientasi penumbuhan kristal secara berturut-turut yaitu 25,5° (101), 48,3° (200) dan 54,1° (211). Hal ini sesuai dengan yang diharapkan dari penelitian ini yaitu terbentuknya TiO₂ fase anatase.

Melalui data XRD ukuran kristal hasil sintesis dapat ditentukan dengan menggunakan

persamaan Debye-Scherrer : $D = 0,9\lambda/\beta \cos\theta$. Berdasarkan perhitungan masing-masing puncak diketahui bahwa ukuran partikel TiO₂ murni sekitar 16,24 nm dan TiO₂/SiO₂ 15 % mol sekitar 9,38 nm. Semakin kecil ukuran partikel maka luas permukaan diharapkan semakin besar sehingga daya absorpsi terhadap *dye* juga semakin besar.

Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan TiO₂/SiO₂ yang dilapiskan pada substrat fleksibel ITO. Morfologi permukaan TiO₂ murni dan TiO₂/SiO₂ 15 % mol ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Foto SEM dengan perbesaran 20000x, (a) TiO₂ murni, (b) TiO₂/SiO₂ 15 % mol

Berdasarkan hasil analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada Gambar 3a tampak bahwa lapisan TiO₂ yang berpori dengan bentuk kristal bulat-bulat. Akan tetapi, berbeda dengan Gambar 3b yang memperlihatkan lapisan TiO₂/SiO₂ dengan permukaan yang tidak terlihat adanya kristal-kristal sebagaimana pada TiO₂ murni, hal ini karena adanya agregat-agregat SiO₂ yang tidak menempel pada TiO₂, ketidakhomogenan ini juga kemungkinan diakibatkan adanya sintering yaitu penggerombolan kristal karena adanya pemanasan yang tinggi.

Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan komposisi unsur dari sampel TiO₂ murni dan komposit TiO₂/SiO₂. Komposisi unsur hasil analisis EDX disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi unsur hasil analisis EDX

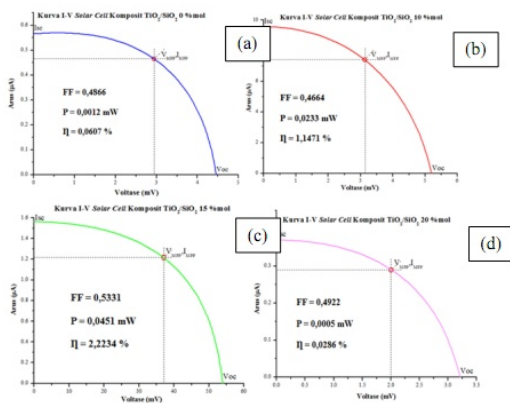
No.	Jenis Unsur	Kandungan unsur dalam padatan (%b/b)	
		TiO ₂ murni	TiO ₂ /SiO ₂
1	Titanium (Ti)	59,26	55,44
2	Silikon (Si)	-	2,21
3	Oksigen (O)	39,82	39,55
4	Karbon (C)	0,92	2,80

Berdasarkan analisis EDX pada Tabel 2, kadar unsur titanium dalam padatan TiO₂/SiO₂ lebih kecil dibandingkan dalam padatan TiO₂ murni, hal ini dikarenakan adanya penambahan silika dalam padatan TiO₂ sehingga sebagian

atom Ti dalam struktur kristal TiO₂ ada yang tergantung oleh atom Si. Oleh karena itu, unsur Ti akan terlepas dari ikatannya yang menyebabkan komposisi unsur Ti dalam padatan komposit TiO₂/SiO₂ menjadi berkurang.

Kinerja Solar Cell

Pada penelitian ini, sumber foton berasal dari lampu UV dengan panjang gelombang 365 nm untuk menguji kinerja solar cell, lampu UV ini digunakan sebagai pengganti sinar matahari. Sinar matahari terdiri dari berbagai spektrum dengan intensitas penyinaran yang sulit untuk difokuskan sehingga akan mengganggu kestabilan arus dan potensial yang akan diukur. Lampu UV yang digunakan memberikan intensitas cahaya sebesar 11 Lux untuk jarak 10 cm dari sumber cahaya ke permukaan solar cell. Kurva karakteristik I-V dari setiap solar cell komposit yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva karakteristik solar cell komposit TiO₂/SiO₂, (a) 0 % mol, (b) 10 % mol, (c) 15 % mol, dan (d) 20 % mol

Berdasarkan Gambar 4, keempat kurva telah memperlihatkan karakteristik yang baik yaitu mampu mengubah energi foton menjadi energi listrik secara langsung dan dari kurva tersebut juga dapat ditentukan parameter-parameter solar cell, diantaranya tegangan rangkaian terbuka (Voc), arus rangkaian pendek (Isc), tegangan maksimum (VMPP), arus maksimum (IMPP) dan daya maksimum. Dari parameter-parameter tersebut dapat ditentukan fill factor (FF) dan efisiensi solar cell (η). Parameter solar cell komposit TiO₂/SiO₂ disajikan pada Tabel 3.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa Solar cell dengan penambahan SiO₂ 15 % mol memberikan efisiensi paling baik. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Janlamool *et al* (2010) mendapatkan bahwa TiO₂ yang

dikompositkan dengan SiO₂ dapat memunculkan sifat baru yang lebih baik. Pada penelitian ini, saat penambahan SiO₂ 20 % mol kinerja dari solar cell terlihat menurun dan memberikan efisiensi paling kecil diantara yang lainnya bahkan lebih kecil dari efisiensi yang dihasilkan oleh TiO₂ murni. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh membesarnya band gap pada solar cell sehingga efisiensi kinerja solar cell menjadi turun.

Tabel 3. Parameter Solar Cell Komposit TiO₂/SiO₂

Sampel TiO ₂ /SiO ₂	Parameter						
	Voc (mV)	Isc (μA)	V _{MPP} (mV)	I _{MPP} (μA)	FF	P (mWatt)	η (%)
0 %mol	4,484	0,565	2,729	0,452	0,487	0,0012	0,0607
10 %mol	5,239	9,531	3,141	7,413	0,466	0,0233	1,1471
15 %mol	54,035	1,567	37,085	1,217	0,533	0,0451	2,2234
20 %mol	3,200	0,368	2,002	0,289	0,492	0,0005	0,0286

* efisiensi diukur dengan pembandingan lampu UV 10 Watt

Hasil penelitian ini memberikan perkembangan yang positif untuk prototipe solar cell skala laboratorium, jika dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu oleh: Byranvand (2010) dalam fabrikasi nanokristal TiO₂ untuk DSSC menggunakan sensitizer buah delima memperoleh efisiensi terbaik 1,26%; Maddu (2010) memperoleh efisiensi terbaik sebesar 0,45% untuk komposit TiO₂/Ta₂O₅, dan Saehana (2011) memperoleh efisiensi terbaik 1,2% untuk partikel TiO₂ yang terdposisi logam Cu.

Meskipun demikian, nilai efisiensi yang diperoleh pada penelitian ini masih sangat kecil. Nilai efisiensi yang kecil dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain terbatasnya kemampuan sensitisasi molekul antosianin ke pita konduksi TiO₂/SiO₂ karena hanya mampu membentuk satu ikatan khelat. Selain itu, elektrolit yang digunakan mempunyai waktu penggunaan yang relatif singkat dan mudah rusak serta menguap karena panas. Rendahnya efisiensi konversi energi terutama akibat rendahnya arus yang dihasilkan karena beberapa faktor di atas dapat diminimalisasi dengan mengganti antosianin menggunakan zat warna lain dan atau memodifikasi elektrolit sebagai donor elektron.

Karakteristik keluaran solar cell dengan penambahan SiO₂ 15 % mol paling baik dibandingkan dengan penambahan SiO₂ 0, 10 atau 20 % mol. Hal ini bersesuaian dengan karakteristik semikonduktor dimana komposit TiO₂/SiO₂ 15 % mol memperlihatkan nilai band gap yang paling kecil dan ukuran kristal dalam skala nano. Akibatnya luas permukaan lebih besar untuk penyerapan dye dan transfer elektron menjadi lebih cepat sehingga secara

keseluruhan menghasilkan efisiensi konversi yang lebih besar.

Simpulan

Hasil penelitian membawa kepada kesimpulan bahwa komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dipreparasi dengan variasi konsentrasi SiO_2 memberikan hasil terbaik pada SiO_2 15 %mol. *Band gap* terbaik dihasilkan oleh komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dengan konsentrasi SiO_2 15 % mol. Kinerja terbaik juga diberikan oleh *solar cell* komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 15 % mol dengan nilai *fill factor* dan efisiensi berturut-turut sebesar 53,3% dan 2,2234%. Karakteristik *solar cell* komposit $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ didominasi oleh fase kristal anatase TiO_2 dengan struktur kristal tetragonal dan berukuran antara 10-20 nm yang termasuk dalam kelompok nanopartikel.

Daftar Pustaka

- Byranvand, M. Malekshahi, M.H Bazargan, A. Nemati Kharat. 2010. Fabrication and Investigation of Flexible Dye Sensitized Nanocrystalline Solar Cell Utilizing Natural Sensitizer Operated with Gold Coated Electrode. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructure*. 5(3):645-650
- Hidayat, Sofwan. 2005. *Sintesis Material Photovoltaic SiO₂-TiO₂ Melalui Proses Sol-Gel dengan Pengontrol Hidrolisis Asetil Asetonat*. Skripsi. Kimia FMIPA Universitas Negeri Surakarta, Surakarta
- Janlamool, Jongsomijit. 2010. Characteristics of $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ Microparticle Composites Using Different Types of SiO_2 Particle. *Science Journal*. 1(2):35-39
- Kim, Chang-Sik and Hyun-Dam Jeong. 2007. Band Gap Tuning $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ Hybrid Thin Films. *Journal Korean Chemistry*. 28(12):2333-2337
- Linsebigler, A.L., Lu, G., Yates, J.t., 2005. Photocatalysis on TiO_2 Surfaces: Principles, Mechanism, and Selected Result. *Chem.Rev*. 95:730-735
- Liqun, M., Qinglin, L., Hongxin D. and Zhang, Z. 2005. Synthesis of nanocrystalline TiO_2 with high photo-activity and large specific surface area by sol-gel method. *Materials Research Bulletin*. 40:201-203
- Lucky, Rahima A. 2008. *Synthesis of TiO_2 -Based Nanostructured Materials using A sol-gel Process in Supercritical CO_2* . Thesis. The University of Western Ontario, Canada
- Maddu A., Erwin Yudaswara, Irmansyah dan Ardian Arif. 2010. Sel Surya Tersensitasi Dye Padat Menggunakan Fotoelektroda Komposit $\text{TiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ dan Elektrolit Gel Polimer. *Jurnal Seminar Nasional Fisika*. 2:234-241
- Phani, G. Tulloch, D. Vittorio, dan I. Skyrabin. 2001. Titania solar cells: new photovoltaic technology. *Journal Renewable Energy*. 226(3): 156-157
- Saehana, Sahrul., Rita Prasetyowati, Marina I. Hidayat, Pepen Arifin, Khairurrijal, dan Mikrajudin Abdullah. 2011. Efficiency Improvement in TiO_2 -Particle Based Solar Cells after Deposition of Metal in Spaces between Particles. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*. 11(6):15-28
- Yuwono, Akhmad Hermawan., Donanta Dhaneswara, Alfian Ferdiansyah. 2011. Sel Surya Tersintetasi zat Pewarna Berbasis Nanopartikel TiO_2 Hasil Proses sol-Gel dan Perlakuan Pasca-Hidrotermal. *Jurnal Material dan energi Indonesia*. 1(3):127-140