



SINTESIS NANOKOMPOSIT ZnO/TiO₂ DENGAN METODE SOL-GEL UNTUK ELEKTRODA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*

Arya Dwi Cahyo Utomo*), Harjito dan Sri Wahyuni

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang

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

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Diterima Maret 2013
Disetujui Maret 2013
Dipublikasikan Mei 2013

Kata kunci:
sintesis
nanokomposit ZnO/TiO₂
DSSC

Abstrak

Telah dilakukan sintesis nanokomposit ZnO/TiO₂ dengan metode sol-gel untuk elektroda *dye sensitized solar cell*. Tujuan penelitian yaitu mengetahui pengaruh TiO₂, hubungan rasio dan karakter kristal yang dihasilkan. Senyawa TiO₂ ditambahkan ke ZnO untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja *solar cell* sistem DSSC. Kalsinasi sampel pada 500°C selama 2 jam untuk fasa *anatase* (TiO₂) dan *wurtzite* (ZnO). Pelapisan komposit pada substrat ITO dicampur binder PVA memakai suhu ±150°C selama 10 menit di atas *hotplate* dengan variasi komposit 1:0, 1:1, 1:2. Zat warna yang dipakai ekstrak kulit manggis pada konsentrasi 20 mM dengan lama pencelupan 24 jam. Karakter kristal menggunakan analisis XRD berupa fasa *anatase* (TiO₂) pada puncak tertinggi 2θ: 25,2607° dan *wurtzite* (ZnO) 2θ: 36,97°. Energi gap oleh DR-UV sampel komposit kinerja optimum 1:2 memiliki nilai 3,16 eV. Penambahan massa TiO₂ berpengaruh terhadap kinerja *solar cell* yang menghasilkan efisiensi listrik optimum 2,4 % dengan luas area aktif 3,6 cm² nilai Voc = 788 mV dan Isc = 3,39 μA pada pengukuran cahaya UV λ 365 nm. Morfologi permukaan semakin beragam seiring bertambahnya massa TiO₂ oleh analisis SEM-EDX. Peningkatan senyawa TiO₂ ke dalam ZnO dapat mempengaruhi komposisi, struktur dan energi yang dihasilkan untuk aplikasinya sebagai DSSC.

Abstract

Have done ZnO/TiO₂ nanocomposite synthesis by sol-gel method for dye-sensitized solar cell electrodes. The purpose of research is to know the influence of TiO₂, the relationship karaketr ratio and the resulting crystals. TiO₂ is added to the ZnO compound to determine its effect on the performance of solar cell DSSC system. Calcining the sample at 500°C for 2 hours to phase *anatase* (TiO₂) and *wurtzite* (ZnO). Composite coating on ITO substrate temperature using PVA binder mixed with ± 150°C for 10 minutes on the hotplate with a variety of composite 1:0, 1:1, 1:2. The dye used mangosteen peel extract at a concentration of 20 mM with a 24-hour immersion time. Character crystals using XRD analysis in the form of *anatase* phase (TiO₂) on the highest peak of 2θ: 25.2607° and *wurtzite* (ZnO) 2θ: 36.97°. Energy gap by DR-UV 1:2 optimum performance composite sample has a value 3.16 eV. The addition of TiO₂ mass effect on the performance of the solar cell that produces optimum power efficiency of 2.4% with an active area of 3.6 cm² Voc = 788 mV values and Isc = 3.39 μA on the measurement of λ 365 nm UV light. Increasingly diverse surface morphology with increasing mass of TiO₂ by SEM-EDX analysis. The increase in the ZnO TiO₂ compounds can affect the composition, structure and energy is generated for application as a DSSC.

© 2013 Universitas Negeri Semarang

Pendahuluan

Kebutuhan energi dunia terus meningkat seiring dengan tingkat kemajuan peradaban umat manusia. Pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar. Kendala tersebut adalah sumbernya semakin berkurang dan lebih penting lagi munculnya persoalan polusi lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan umat manusia itu sendiri. Oleh karena itu, pengembangan sumber tenaga alternatif terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia.

Melihat kondisi yang ada, gerakan hemat energi sudah merupakan keharusan di seluruh dunia. Energi surya ini selain ramah lingkungan, juga bernilai sangat ekonomis. Dengan adanya potensi sumber daya manusia dan alam di Indonesia, serta mengingat kandungan sel surya dalam fabrikasinya yang mencapai 70-75 % dari kebutuhan total, maka perlu dikembangkan fabrikasi *solar cell*, sehingga kita tidak lagi bergantung dengan pasokan *solar cell* dari luar negeri (Mulyanti *et al.*, 2010). Salah satu semikonduktor yang dikembangkan sebagai alternatif pengganti piranti fotovoltaik konvensional (sel surya p-n silikon) yaitu TiO_2 tersensitisasi dye. Beberapa keuntungan sistem sel surya ini adalah proses fabrikasinya lebih mudah, sederhana tanpa menggunakan peralatan canggih dan mahal sehingga dapat ditekan biaya pembuatannya, bahan dasarnya mudah diperoleh di pasaran serta relatif lebih murah (Hao *et al.*, 2006). Selain TiO_2 , terdapat juga semikonduktor lain yang memiliki sifat kimia dan fisika hampir sama yaitu ZnO.

Dilakukan modifikasi elektroda TiO_2 untuk aktivitas katalitik, misalnya dalam bentuk komposit seperti $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ (Nguyen *et al.*, 2007), $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Zhang *et al.*, 2003) dan $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ (Lee *et al.*, 2003) diterangkan dalam Maddu, 2010). Fabrikasi film tipis TiO_2/ZnO DSSC Rajaram *et al.*, (2005), mendapatkan konversi energi 0,67%. Hasil-hasil penggabungan komposit dari penelitian sebelumnya tersebut belum dijelaskan secara detail mengenai rasio masing-masing senyawa yang digunakan sebagai komposit. Tetapi, penelitian Nobuya, *et al.*, (2008) menunjukkan bahwa komposit atau *core shell* ZnO/TiO_2 dengan variasi rasio 100%/0% mendapatkan hasil persen efisiensi sebesar 4,39%, rasio

80%/20% efisiensi sebesar 0,25%. Metode sol-gel telah banyak digunakan dalam sintesis nano TiO_2 maupun ZnO. Chen (2007), melakukan preparasi larutan sol TiO_2 dengan mencampurkan titanium (IV) iso propoksida (TTIP) dilarutkan dalam etanol yang berisi air, asetil aseton dan etanol pada pemanasan 400°C selama 10 jam. Reza (2010), melaporkan bahwa penelitian pada hasil sintesis *core shell* ZnO/TiO_2 nanokomposit dengan suhu kalsinasi 500°C didapatkan ukuran kristal nanokomposit 40 nm dan dikarakterisasi dengan fotoluminisense. Berdasarkan pemaparan di atas, maka penelitian ini menekankan pada teknik preparasi oksida logam dengan metode sol-gel, selain itu akan dilakukan pula kajian terhadap variasi prekursor TiO_2 dan kinerja *solar cell* nanokomposit ZnO/TiO_2 .

Metode Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Seperangkat alat gelas (Pyrex), magnetik stirer (IKAMAG), oven pengering Memmert, furnace Thermolyne 6000, neraca analitik (Ohaus), ultrasonic cleaning bath Branson 1510 (45kHz) 75 W, hot plate magnetic stirer (Cimarex 2), difraktometer sinar-X (Shimadzu 6000), diffuse reflectance spectrophotometer (Shimadzu UV 1700 Pharmaspec UV-Vis) (DR-UV), scanning electron microscopy-energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDX), penjepit dan lampu UV 365 nm; 12 lux (Goldstar), multimeter (Heles UX 839TR), hambatan geser 20 kV, dan ruang gelap. Bahan-bahan seperti seng asetat dihidrat (E.Merck), titanium (IV) isopropoksida (97% Aldrich), kulit buah manggis, substrat kaca ITO ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$) 8-12 Ω/sq (Aldrich), trietanol amin (TEA), isopropanol p.a (E. Merck), grafit (batu baterai), chloroform, aseton p.a (E.Merck), etanol teknis 96%, asam asetat p.a (E. Merck), methanol p.a (E.Merck), etilen glikol (E. Merck), polietilen glikol 4000, iodolyte (KI dan I_2), polivinil alkohol (PVA), karbon, aquades, kertas Whattman.

Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu rasio prekursor TiO_2 pada komposisi ZnO/TiO_2 . Variasi ZnO/TiO_2 adalah 1:0; 1:1; 1:2. Variabel terikat yaitu rasio ZnO/TiO_2 dalam nanokomposit, karakter kristal, potensial arus listrik dan efisiensi yang dihasilkan dalam pengukuran kinerja *solar cell*. Sedangkan variabel kendali yaitu suhu kalsinasi 500°C , lama pengadukan 60 menit, lama penyinaran 2 jam dan pH 3-4 (pH hidrolisis), sumber foton berasal dari lampu UV-Vis pada panjang

gelombang 365 nm dengan variasi hambatan listrik dari 0,5; 1; 1,5; 2; 4; 6; 8 - 1000 Ω .

Dalam sintesis elektroda komposit ZnO/TiO₂, dibuat terlebih dahulu serbuk ZnO yaitu sebanyak 4 gram seng asetat dihidrat dilarutkan dalam isopropanol yang kemudian distirer selama 60 menit. Larutan kemudian ditambahkan TEA sebagai stabilizer. Campuran tersebut di aging selama 24 jam dan di oven pada suhu 120°C kurang lebih 3 jam. Terakhir, dikalsinasi selama 2 jam pada 500°C (Ghodsi & Absalan, 2010). Serbuk TiO₂ dibuat dengan cara melarutkan 1 mL larutan TIPP ke dalam 10 mL isopropanol kemudian dikeringkan pada suhu ruang. Setelah kering di kalsinasi pada 500°C selama 2 jam. Tahap selanjutnya, pembersihan substrat dengan pelarut etanol, aseton dan air selama 3 menit dalam reaktor sonokimia. *Dye* yang digunakan berasal dari ekstrak kulit manggis pada konsentrasi 20 mM Woo & Wooshung, 2011) dengan perbandingan etanol:asam asetat:air (25:4:21) sebanyak 40 mL yang kemudian disaring dengan kertas Whatman. Ekstrak tersebut di ukur panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Setelah itu, elektroda kerja direndam dalam *dye* tersebut selama 24 jam.

Pembuatan elektroda pembanding menggunakan grafit dari baterai bekas yang dihaluskan 100 mesh. Grafit dikontakkan dengan 5% PVA 50 mL pada substrat ITO dengan suhu $\pm 150^\circ\text{C}$ selama 3 menit. Elektrolit gel dibuat dari 7 gram PEG 4000 dalam 25 mL kloroform yang diisi iodolit (KI/I₂). Larutan elektrolit tersebut dipanaskan pada suhu 60°C selama 10 menit sampai membentuk gel. Tahap akhir yaitu, pembuatan elektroda kerja dan penggabungan sel. Diawali dengan rasio ZnO (1:0, 1:1, 1:2) dengan penambahan massa TiO₂. Masing-masing 0,2 gram kelipatan penambahan TiO₂ yang ditambahkan ke dalam 0,2 gram ZnO dengan dicampur 5% PVA tetes demi tetes pada suhu 60°C sampai membentuk pasta. Selanjutnya digerus dan dioleskan dengan metode *doctor blade* pada substrat berukuran 2,5 x 2,5 cm menyisakan 1 cm untuk tempat kontak anoda terhadap tegangan. Elektroda kerja dan pembanding ditempelkan dengan elektroda pembanding dan diberi celah sedikit untuk meneteskan elektrolit diantara kedua elektroda tersebut. Perlakuan tersebut di ulang untuk perbandingan selanjutnya. Elektroda dijepit dengan penjepit anoda dan katoda yang dihubungkan tegangan pada alat *solar cell*.

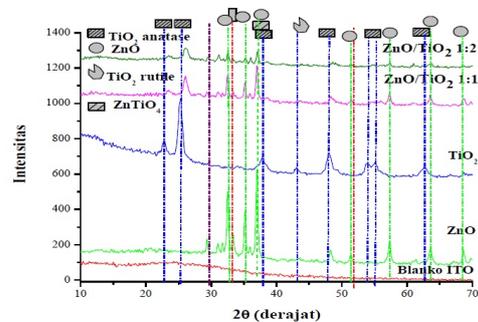
Pembacaan di mulai ketika potensio di putar dari 0 sampai nilai tertinggi elektroda tersebut yang dicapai dengan menekan tombol hambatan dan arus.

Hasil komposit dikarakter menggunakan XRD untuk mengetahui diameter dan struktur kristal. Energi celah pita dianalisis dengan DR-UV menggunakan rumus *Kubelka-Munk* serta morfologi (pemerataan distribusi partikel dan komposisi komposit) oleh SEM-EDX.

Hasil dan Pembahasan

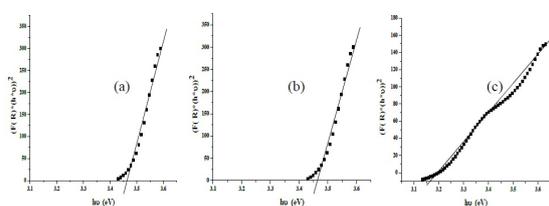
Pencampuran senyawa TIPP dengan isopropanol terjadi reaksi hidrolisis yang diperlihatkan dengan warna putih kental antara alkoksida dengan prekursor. Sama dengan TIPP, seng asetat akan terhidrolisis oleh molekul-molekul air yang berasal dari ikatan hidrat pada kristal Zn(CH₃COO)₂·2H₂O maupun molekul air yang terkandung dalam isopropanol dan larutan trietanol amin.

JCPDS nomor 36-1451 untuk senyawa ZnO (Zincite) memiliki puncak difraktogram 2 θ pada 31,77° (100); 34,42° (002); 36,25° (101). Hasil penelitian ini menunjukkan *peak* 2 θ didapatkan puncak difraktogram 32,49° (100); 35,14° (002); 36,97° (101). Pada Gambar 1 terdapat *peak* fasa rutil untuk senyawa TiO₂ sebelum ditambahkan ke dalam ZnO. Hal ini dapat terjadi ketika prekursor TIPP (Titanium (IV) iso propoksida) yang terhidrolisis terlebih dahulu ketika akan disintesis dan saat dikalsinasi senyawa tersebut sudah berubah fasa. Sifat prekursor ini sangat rentan terhadap udara, TIPP mudah mengalami penguapan yang pada karakteristik MSDSnya. Pada Gambar 1. terlihat bahwa kristalinitas komposit ZnO/TiO₂ semakin menurun ketika TiO₂ ditambahkan ke dalam ZnO. Terbentuknya senyawa ZnTiO₄ pada *peak* disamping puncak ZnO. Hal tersebut dimungkinkan adanya perubahan struktur karena kristalinitas komposit menurun.



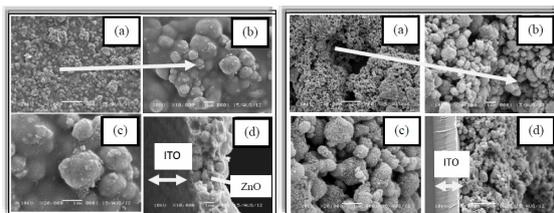
Gambar 1. Pola difraksi sinar-X nanokomposit ZnO/TiO₂ (1:0;1:1;1:2), TiO₂ yang disintesis dengan pemanasan 500°C selama 2 jam dan blanko ITO

Hasil komposit ZnO/TiO₂ 1:0 Gambar 2 (a) memiliki potensi untuk transisi elektron agar eksitasi berjalan lancar tanpa terjadi rekombinasi muatan elektron. Energi *gap* yang dihasilkan sampel ZnO/TiO₂ 1:0 sebesar 3,46 eV. Energi celah pita tersebut melebihi celah pita ZnO yang bernilai 3,37 eV. Rajaram *et al.*, (2005), melaporkan energi foton yang dihasilkan dari nanokristalin film TiO₂/ZnO dan TiO₂ masing-masing 3,26 eV dan 3,58 eV. Material ZnO ditambahkan ke dalam TiO₂ bahwa akan menyebabkan penurunan band gap energi material tersebut karena adanya kemungkinan kristalinitas yang tinggi dari komposit film tersebut.



Gambar 2. Kurva energi gap komposit ZnO / TiO₂, ZnO / TiO₂ 1:0 (a), ZnO / TiO₂ 1:1(b), ZnO / TiO₂ 1:2 (c)

Gambar 3 (kiri), menunjukkan bahwa sampel terlihat berpori, material ini yang memiliki potensi sebagai aplikasi *solar cell* dengan luas permukaan porinya. Perbesaran yang dipakai dalam pemindaian SEM ini yaitu sebesar 2.000X, 10.000X, 20.000X. Permukaan ITO masih terlihat pada perbesaran 20.000X pada Gambar 3 (d).

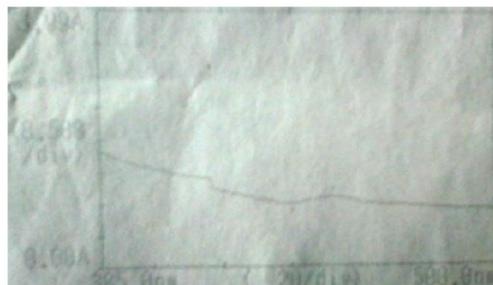


Gambar 3. Hasil pemindaian SEM ZnO/TiO₂ 1:0 (kiri) dan 1:2 (kanan) dengan perbesaran 2.000X (a), perbesaran 10.000X (b), perbesaran 20.000X (c), perbesaran 10.000X ZnO di atas substrat ITO (d)

Pada Gambar 3 pemindaian SEM menampilkan kumpulan partikel ZnO/TiO₂ 1:2 (kanan) yang mulai seragam dengan ditunjukkannya ukuran-ukuran yang hampir sama. Struktur pori nanokomposit ZnO/TiO₂ 1:2 terlihat jelas pada perbesaran 20.000X (c). Pada Gambar 3 (d) menampilkan lapisan ITO pada substrat kaca yang terlihat jelas dan tersusun rapi serta berbeda dengan sampel ZnO/TiO₂ 1:0 pada Gambar 3 (d). Perbedaan lapisan tersebut kemungkinan disebabkan lama

paparan gelombang ultrasonik dalam pencucian substrat ITO. Semakin lama paparan gelombang ultrasonik dapat menyebabkan rontoknya ITO (In₂O₃:Sn).

Penelitian ini menggunakan *dye* alami dari ekstrak kulit buah manggis dengan konsentrasi 20 mM (konsentrasi optimum) mengacu Woo & Woosung (2011) selama 24 jam pada volume 20 mL dan untuk mempermudah pengambilan cairan dengan pipet volum. Pengukuran panjang gelombang maksimum dengan spektrometer UV-Vis yang menghasilkan panjang gelombang maksimum sebesar 440 nm pada absorbansi 0,992.



Gambar 4. Hasil pengukuran absorbansi maksimum ekstrak kulit buah manggis konsentrasi (25:4:21) 20 mM 20 mL dengan rentang panjang gelombang 385-500 nm

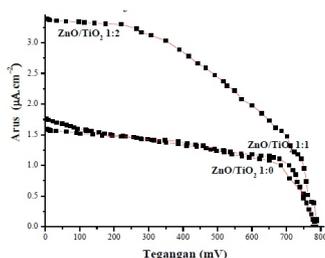
Variasi volume yang digunakan mengacu penelitian Zhan *et al.*, (2006) dengan perbandingan volume 25:4:21. Panjang gelombang 440 nm masih berada pada rentang cahaya tampak yang berpotensi sebagai penyerapan energi foton dari sinar matahari. Hasil pengukuran absorbansi maksimum konsentrasi ekstrak *dye* kulit buah manggis pelarut metanol:asetat:air (25:4:21) dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengujian arus dan tegangan pada kondisi gelap menggunakan lampu UV panjang gelombang 365 nm dengan intensitas cahaya 12 lux yang dihasilkan oleh luxmeter. Konversi cahaya masuk (Pin) sebesar 1,405 Watt/cm². *Solar cell* diukur menggunakan 3 buah multimeter berfungsi sebagai voltmeter, amperemeter dan ohmmeter serta dihubungkan dengan potensiometer (hambatan geser) untuk variasi supaya didapatkan kurva hubungan arus dan potensial (I-V). Ketiga sampel hasil pengujian dengan alat solar cell ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter pengujian kinerja nano komposit ZnO/TiO₂

Sampel	Parameter							
	Voc (mV)	Isc (µA)	Vmpp (mV)	Impp (µA)	FF (%)	Pmax (µW.cm ⁻²)	Intensitas sinar (lux)	η (%)
ZnO/TiO ₂ (1:0)	778	1,76	650	1,08	54,63	0,01881	12	1,34
ZnO/TiO ₂ (1:1)	789	1,59	680	1,11	60,16	0,02150	12	1,52
ZnO/TiO ₂ (1:2)	788	3,39	518	2,37	46,54	0,03410	12	2,4

Nilai V_{oc} (tegangan sirkuit terbuka) yang kecil mungkin disebabkan oleh kebocoran elektrolit pada sel surya tersebut. Penelitian ini memakai elektrolit gel cair, seharusnya gel padat akan tetapi untuk menghindari terhambatnya reaksi redoks tersebut dipreparasi elektrolit cair. Kebocoran elektrolit akan menghambat pertukaran elektron antara elektroda kerja dan pembanding, sehingga tidak mampu mengimbangi kecepatan generasi elektron yang diinjeksikan ke sisi elektroda kerja akibat fotosensitasi.



Gambar 5. Kurva I-V sampel nanokomposit ZnO/TiO₂

Sampel pada Tabel 1 tanpa penambahan massa TiO₂ ke dalam ZnO (ZnO/TiO₂ 1:0) memiliki efisiensi 1,34% lebih kecil dibandingkan adanya penambahan massa 2,0 gram TiO₂ ke dalam ZnO (ZnO/TiO₂ 1:1) sebesar 1,52 %. sampel ZnO/TiO₂ 1:0 mempunyai energi *gap* lebih kecil dari sampel ZnO/TiO₂ 1:1 yaitu 3,46 eV yang aliran elektron lebih banyak dibanding energi *gap* 3,51 eV. Adanya penambahan massa TiO₂ pada ZnO semakin meningkatkan energi *gap* dari semikonduktor tersebut, sehingga elektron dari foton cahaya UV sedikit yang terserap. Sampel ZnO/TiO₂ 1:2 mempunyai energi *gap* sebesar 3,16 eV atau memudahkan elektron tereksitasi dari kondisi *ground state* menuju *excited state* oleh zat warna dan elektron meloncat ke *hole* semikonduktor dan kemudian *hole* tersebut meninggalkan tempatnya oleh proses reaksi kimia secara terus menerus tergantung intensitas cahaya yang teriluminasi ke permukaan semikonduktor.

Konversi energi listrik yang dilaporkan Shin *et al.*, (2005), mendapatkan efisiensi 1,78 % pada penambahan 1 w% TiO₂ ke dalam ZnO dengan prekursor Ti(OBu)₄, sedangkan sebelum penambahan didapatkan nilai konversi sebesar 0,16% dengan luas area aktif 0,226 cm² untuk penambahan 1 w% TiO₂. Hasil kopling kedua semikonduktor tersebut dapat meningkatkan kinerja *solar cell*.

Nilai konversi 0,16% masih rendah jika dibandingkan dengan penambahan TiO₂.

Rendahnya nilai tersebut dikaitkan dengan dua alasan utama yaitu, ketidakstabilan ZnO terhadap molekul asam *dye*, sehingga terjadi pemutusan sebagian ion Zn²⁺ dari permukaan ZnO dan laju kinetika injeksi elektron yang lambat ke matrik ZnO (Shin *et al.*, 2005). Alasan tersebut yang menjadikan semikonduktor ZnO dikopling dengan TiO₂ berguna dalam mencapai pemisahan dari cahaya yang lebih efisien dihasilkan pasangan elektron dan *hole* serta mengarah ke peningkatan fotoaktif (Wu *et al.*, 2009).

Dari hasil penelitian ini dapat dikatakan efektif karena konversi listrik yang dihasilkan di atas 1% dengan luas area aktif 3,6 cm² pada saat sebelum ada penambahan TiO₂ ke dalam ZnO. Setelah ada penambahan TiO₂ konversi bertambah menjadi di atas 2%.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa variasi penambahan massa TiO₂ mempengaruhi kinerja yang dihasilkan oleh nanokomposit ZnO/TiO₂ dari daya maksimum pada rasio (1:2). Peningkatan rasio TiO₂ ke dalam ZnO dapat mempengaruhi penurunan energi *gap* nanokomposit ZnO/TiO₂ yaitu sebesar 3,16 eV, karakter kristal yang dihasilkan pada proses sol-gel sesuai dengan yang diharapkan yaitu ZnO berfasa *wurtzite* dan TiO₂ (*anatase*) dan bersifat fotoaktif dengan penyerapan cahaya tampak.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti) atas dana yang diberikan pada Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKMP) dan semua pihak yang membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Chen, X. 2007. Titanium Dioxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, Modifications, and Applications. *Chem Rev.* Lawrence Berkeley National Laboratory, and University of California, Berkeley, California 94720.
- Ghodsi, F.E. & Absalan H. 2010. Comparative Study of ZnO Thin Films Prepared by Different Sol-Gel Route. *Acta Physica Polonica A.* Department of Physics, Iran: Faculty of Science, University of Guilan. Vol. 118.
- Hao S, Wu J, Huang Y, Lin J. 2006. Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell," *Solar Energy*; 80: 209-214.
- Lee SW, Kim JY, Hong KS, Junk HS, Lee J-K & Shin H. 2003. Enhancement of the

- Photoelectric Performance of Dye-Sensitized Solar Cell by Using a CaCO_3 -Coated TiO_2 Nanoparticle Film as An Electrode. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 90(15): 2405-2412.
- 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. Dalam Prosiding Seminar Nasional Fisika. ISBN : 978-979-98010-6-7.
- Mulyanti, B, Rosa S., E., Wiranto, G., Suartini, T. 2010. Penumbuhan Lapisan Anti Refleksi ZnO Untuk Aplikasi Sel Surya Berbasis Silikon (100). dalam Prosiding Seminar Nasional Fisika. Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan: UPI. ISBN: 978-979-98010-6-7.
- Nguyen T-V, Lee H-C, Khan MA & Yang O-B. 2007. Electrodeposition of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ Nanocomposite for Dye-Sensitized Solar Cell. *Solar Energy*. 81(4):529.
- Nobuya, S. Norimichi, K. And Takurou, N. M. 2008. *Energy Environ. Sci. Faculty Biomedical Engineering*. Japan: Toin University of Yokohama 1614 Kuroganecho.
- Rajaram S. Mane, Won Joo Lee, Habib M. Pathan, and Sung-Hwan Han. 2005. Nanocrystalline TiO_2/ZnO Thin Films: Fabrication and Application to Dye-Sensitized Solar Cells. *J. Phys. Chem.* 109 (51), 24254-24259, DOI: 10.1021/jp0531560.
- Reza. 2010. Synthesis of ZnO/TiO_2 Core/Shell Type Nanocomposite via Sol-Gel Method. *Journal Key Engineering Materials*. Iran : University of Teheran. Vol. 471 – 472.
- Shin, Yu J., Ki Seok Kim, Nam-Gyu Park, Kwang Sun Ryu, and Soon Ho Chang. 2005. Enhancement of Photovoltaic Properties of Ti-modified Nanocrystalline ZnO Electrode for Dye-sensitized Solar Cell. *Bull. Korean Chem. Soc. Communications to the Editor*. Dept. of Chemistry The Catholic Univ. of Korea. Vol. 26, No. 12.
- Woo Rhee, Shi & Woosung Kwon. 2011. Key technological elements in dye-sensitized solar cells (DSC). *Korean J. Chem. Eng. System on Chip Chemical Process Research Center, Department of Chemical Engineering*. Korea: Pohang University of Science and Technology (POSTECH), San 31, Hyoja-dong, Nam-gu, Pohang 790-784. 28(7), 1481-1494.
- Wu, M., Yue Shen, Feng GU, Yun Zhang, Yian Xie, Jiancheng Zhang. 2009. Preparation and photoelectric properties of mesoporous ZnO/TiO_2 composite films for DSSC. *Photonics and Optoelectronics Meetings (POEM)*. School of Materials Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China.
- Zhan, J., Peng Sun, Shan Jiang, Xiaohang Sun. 2006. An investigation of the performance of dye-sensitized nanocrystalline solar cell with anthocyanin dye and ruthenium dye as the sensitizers. NIB 4th Semester. Roskilde University.
- Zhang X-T, Susanto I, Taguchi T, Tokuhiko K, Meng G-B, Rao TN, Fujishima A, Watanabe H, Nakamori T & Uragami M. 2003. Al_2O_3 -Coated Nanoporous TiO_2 Electrode for Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*. 80.