

## Efek Konsentrasi Larutan pada Kualitas *Transparent Conductive Oxide* Sel Surya

<sup>1)</sup>Zainal Arifin, <sup>1)</sup>Suyitno,  
<sup>2)</sup>Ahmad Arif Santoso, <sup>2)</sup>Mirza Yusuf

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126, Telf/Fax: 0271 632163; e-mail : zainal\_mp@yahoo.co.id  
<sup>2)</sup>Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126, Telf/Fax: 0271 632163

### Abstrak

*Transparent conductive oxide* (TCO) menjadi salah satu komponen penting dalam sel surya jenis *dye sensitized*. Persyaratan utama TCO untuk sel surya yaitu mempunyai hambatan listrik yang rendah dan transmitansi cahayanya tinggi. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh konsentrasi larutan pada nilai rerata hambatan listrik, keseragaman hambatan listrik dan transmitansi pada TCO pada substrat kaca berukuran 5 cm x 5 cm. Pembuatan TCO dilakukan dengan metode *spray deposition* dimana prekursoranya berupa larutan SnCl<sub>2</sub>:F dengan konsentrasi 0,3 M, 0,5 M, dan 0,7 M. *Spray deposition* dilakukan dengan menggunakan *nebulizer* dengan waktu deposisi selama 10 menit. Sebelum dilakukan deposisi, substrat kaca dipanaskan pada temperatur 500°C. TCO yang dihasilkan kemudian diuji hambatan listriknya untuk setiap luasan 1 cm<sup>2</sup> sehingga dapat dicari nilai rerata dan distribusinya pada TCO dengan luasan 5 cm x 5 cm. Transmitansi diuji untuk mengetahui serapan cahaya pada TCO. Morfologi dari oksida yang terbentuk diuji dengan SEM sedangkan unsurnya diuji dengan EDX. Hasil dari penelitian ini adalah nilai rerata hambatan TCO yang kecil diperoleh pada 0,7 M yaitu sebesar 25 Ω/cm<sup>2</sup> dengan nilai transmitansi sebesar 76%. Keseragaman hambatan listrik yang baik juga diperoleh pada larutan 0,7 M. Karakteristik TCO yang dihasilkan memenuhi persyaratan sebagai bahan TCO sel surya jenis DSSC.

**Keywords:** *transparent conductive oxide, sel surya, kerataan hambatan, transmitansi*

### Pendahuluan

Seiring perkembangan penelitian sel surya jenis *dye sensitized* (DSSC) para peneliti berusaha dan mencari cara untuk meningkatkan efisiensi sel surya DSSC. Salah satu upaya diantaranya dengan mengembangkan DSSC berbasis nanopartikel. DSSC berbasis nanopartikel adalah DSSC yang menggunakan lapisan tipis yang tersusun dari material nano, bersifat semikonduktor dan sekaligus berfungsi sebagai elektroda. Pada teknologi DSSC, lapisan elektroda berskala nanometer mendorong adanya penyerapan zat pewarna (*dye*) yang maksimal sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya tersebut (Sheng et al., 2009).

Sel surya DSSC tersusun dari elektroda kerja, elektroda *counter* dan elektrolit. DSSC bekerja pada daerah sinar tampak hingga sedikit infra merah. Sinar tampak merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 390-770 nm, sedangkan infra merah sedikit lebih panjang. Untuk mendapatkan DSSC yang berefisiensi tinggi, maka setiap komponen harus mempunyai kualitas yang baik. Pada penelitian ini akan dipaparkan proses manufaktur dan kontrol kualitas salah satu komponen DSSC yaitu kaca

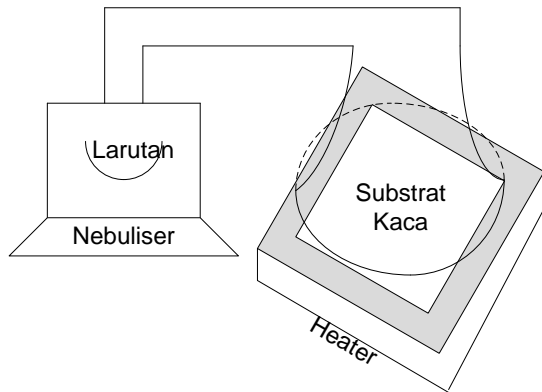
transparant konduktif (TCO). TCO itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan sebagai tempat elektron mengalir.

Material yang umumnya digunakan untuk membuat TCO adalah *flourine-doped tin oxide* (SnO<sub>2</sub>:F atau bisa disebut dengan FTO), indium tin oxide (In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Sn atau ITO). Baik FTO maupun ITO (Kao et al., 2009; Purwanto et al., 2009; Ogi et al., 2009) telah banyak dipakai sebagai bahan TCO oleh banyak peneliti. Pemilihan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami kerusakan pada proses sintering, dimana temperatur sintering itu sendiri sebesar 100-500°C (Lee et al., 2005).

### Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Proses manufaktur TCO dilakukan dengan metode *spray deposition*. Dibandingkan dengan metode *pulse magnetron sputtering* (Lin et al., 2007) atau *electron beam technique* (Abdel et al., 2008), metode *spray deposition* masing lebih sederhana. *Spray deposition* merupakan metode pembuatan nanopartikel yang memanfaatkan atomisasi atau penyemprotan larutan berupa *droplet* ke atas permukaan yang dipanasi sehingga pada saat *droplet* bersentuhan dengan

permukaan panas akan teruapkan dan tertinggal partikel oksida yang kemudian menempel pada permukaan. Faktor utama pembentuk partikel sangat dipengaruhi proses *spray* (pembentukan *droplet*) dan proses pemanasan (Nuryadin, 2008).



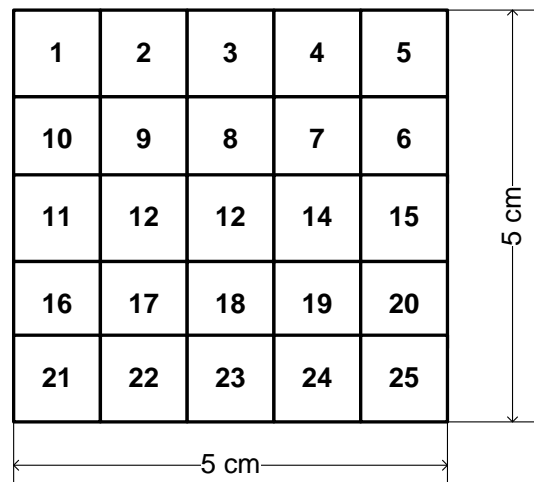
Gambar 1. Skema peralatan pembuatan TCO

Pembuatan droplet dilakukan dengan menggunakan peralatan *ultrasonic nebulizer* Omron NE-U17. Substrat yang digunakan adalah kaca berukuran 5 cm x 5 cm x 3 mm. Skema peralatan pembuatan TCO dapat dilihat pada Gambar 1. Bahan yang digunakan untuk pembuatan kaca FTO adalah larutan yang terdiri dari Tin (II) Chloride ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), Amonium flouride ( $\text{NH}_4\text{F}$ ), dan Ethanol 96 %. Konsentrasi larutan yang digunakan adalah 0,3 M, 0,5 M, dan 0,7 M. Konsentrasi larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,3 M dibuat dengan melarutkan ethanol 96 % sebanyak 100 ml, tin (II) chloride 6,909 g, dan amonium flouride 0,1134 g. Konsentrasi larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,5 M dibuat dengan mencampurkan ethanol 96 % sebanyak 100 ml, tin (II) chloride 11,5115 g, dan amonium flouride 0,1889 g. Konsentrasi larutan  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  0,7 M dibuat dengan mencampurkan ethanol 96 % sebanyak 100 ml, tin (II) chloride 16,1161 g, dan amonium flouride 0,2646 g.

Setelah diaduk sampai rata, larutan tersebut masing-masingnya dituang dalam *ultrasonic nebulizer*. Substrat kaca dipanasi pada variasi temperatur  $500^\circ\text{C}$ . Selanjutnya larutan dari nebulizer diarahkan pada kaca panas tersebut selama 10 menit sehingga menjadi TCO. Konsentrasi larutan yang digunakan adalah 0,3 M, 0,5 M, dan 0,7 M.

TCO yang dihasilkan kemudian dilakukan uji transmitansi, uji hambatan, dan uji morfologi. Uji transmitansi digunakan untuk mengetahui seberapa banyak sinar tampak yang dapat diteruskan oleh TCO tersebut. Alat yang digunakan untuk pengujian ini adalah UV-Vis spectrophotometer. Hal ini dilakukan karena pada pembuatan kaca FTO larutan yang dideposisikan di atasnya akan menyebabkan kaca

menjadi lebih buram. Sehingga perlu dicari titik dimana kaca memiliki hambatan kecil dan kaca tetap dapat meneruskan cahaya dengan baik. Konduktivitas kaca TCO dicirikan dengan hambatan yang rendah. Pengukuran hambatan dilakukan dengan menggunakan multimeter merk Heles UT, D UX-838 TR. Posisi pengukuran dari TCO yang dihasilkan dapat dilihat pada



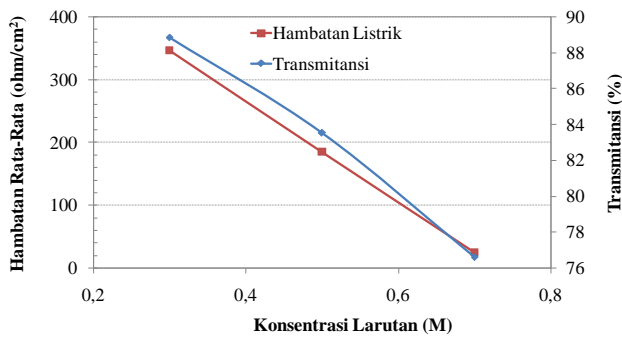
Gambar 2. Posisi pengukuran hambatan pada TCO

Uji morfologi dari kaca TCO terdiri dari uji SEM, XRD dan EDX. Uji XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dan karakteristik struktur serta orientasi kristal yang terbentuk pada suatu unsure. Alat XRD yang digunakan adalah Bruker AXS D8 Advance X-Ray. Tujuan dilakukan pengujian XRD pada kaca FTO adalah mengetahui sifat-sifat dan karakteristik struktur serta orientasi kristal yang terbentuk pada lapisan  $\text{SnO}_2 : \text{F}$ . Uji EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) adalah untuk mengetahui komposisi unsur. Tujuan dilakukan pengujian EDX adalah mengetahui unsur-unsur yang terkandung pada kaca transparan konduktif.

## Hasil dan Pembahasan

### Uji Hambatan dan Transmitansi TCO

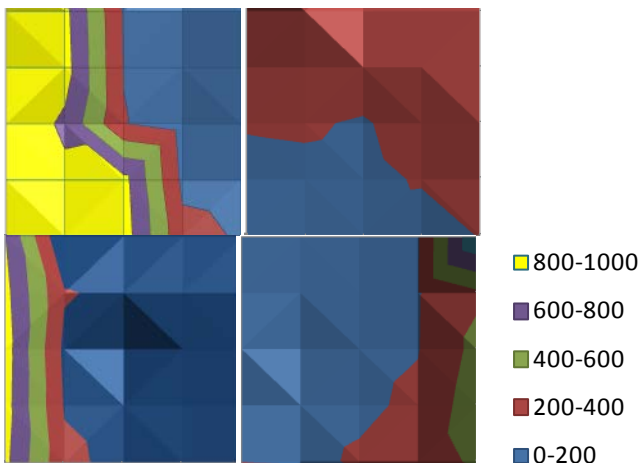
Nilai hambatan dan nilai transmitansi TCO yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1. Hambatan listrik yang kecil yaitu  $25 \text{ ohm/cm}^2$  yang diperoleh pada konsentrasi larutan 0,7 M. Namun demikian dengan semakin tinggi larutan, transmitansi yang dihasilkan menurun. Pada konsentrasi larutan 0,7 M, transmitansi yang dihasilkan masih lebih besar dari 75% sehingga masih baik untuk dijadikan bahan TCO untuk sel surya DSSC.



**Gambar 3.** Nilai hambatan listrik dan transmitansi TCO

**Kerataan Hambatan**

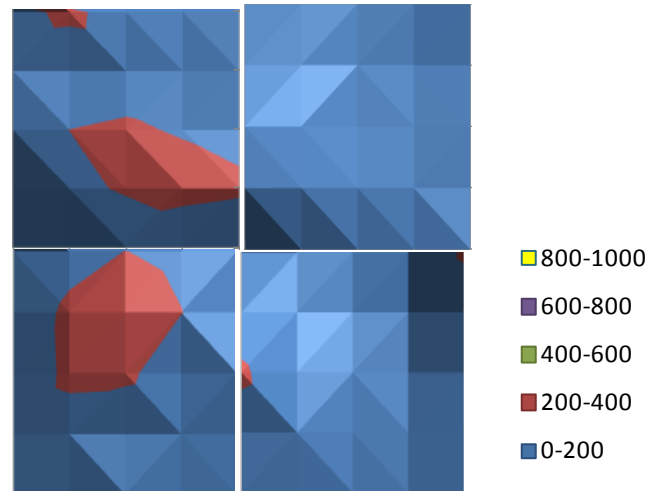
Gambar 2 sampai Gambar 4 memperlihatkan distribusi hambatan pada permukaan empat buah TCO dengan ukuran masing-masingnya 5 cm x 5 cm pada berbagai konsentrasi larutan yang berbeda. Pada konsentrasi larutan 0,3 M, hambatan terbesar ditemukan sekitar 1000 ohm/cm<sup>2</sup>, pada hampir 1/3 bagian kaca TCO bagian atas. Pada bagian tengah kaca TCO mempunyai hambatan di bawah 200 ohm/cm<sup>2</sup>. Terlihat bahwa pada konsentrasi larutan 0,3 M, hambatan listrik yang terjadi pada TCO tidak merata distribusinya dan nilai rata-ratanya sekitar 347 ohm/cm<sup>2</sup>, sehingga dapat dipastikan tidak baik untuk sel surya jenis DSSC.



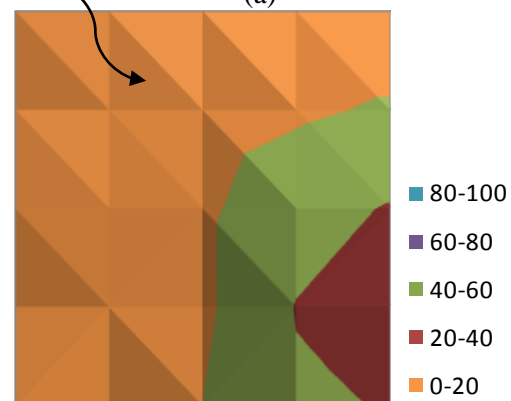
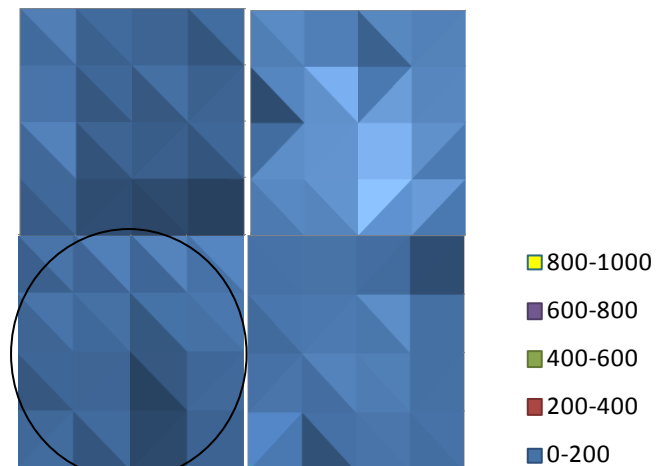
**Gambar 4.** Kerataan nilai hambatan listrik TCO pada konsentrasi larutan 0,3 M

Pada konsentrasi larutan 0,5 M, hambatan listrik yang terjadi cenderung lebih merata distribusinya. Nilai hambatan listrik dibawah 400 ohm/cm<sup>2</sup> hanya pada dua kaca TCO dari empat sampel yang dibuat sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 2 dan Gambar 3 memperlihatkan bahwa konsentrasi larutan sangat menentukan kerataan dari distribusi hambatan listrik pada kaca TCO. Konsentrasi larutan yang terlalu kecil menyebabkan ketika dibuat droplet oleh *ultrasonic nebulizer* dan

kemudian dihembus udara, menyebabkan distribusi larutan pada udara terjadi tidak merata. Akibatnya ketika menyentuh kaca yang panas, jumlah larutan yang dideposisikan juga tidak merata.



**Gambar 5.** Kerataan nilai hambatan listrik TCO pada konsentrasi larutan 0,5 M



**Gambar 6.** Kerataan nilai hambatan listrik TCO pada konsentrasi larutan 0,7 M: (a) skala 0-1000, (b) skala 0-100

Gambar 5 menunjukkan kerataan nilai hambatan listrik TCO pada konsentrasi larutan 0,7 M. Terlihat

bahwa nilai hambatan listrik berada dibawah 60 ohm/cm<sup>2</sup> dengan rata-rata 25 ohm/cm<sup>2</sup>. Semakin besar konsentrasi larutan menyebabkan distribusi droplet dalam udara yang keluar nebuliser semakin baik sehingga pada saat menyentuk kaca yang panas terjadi deposisi larutan yang lebih seragam.

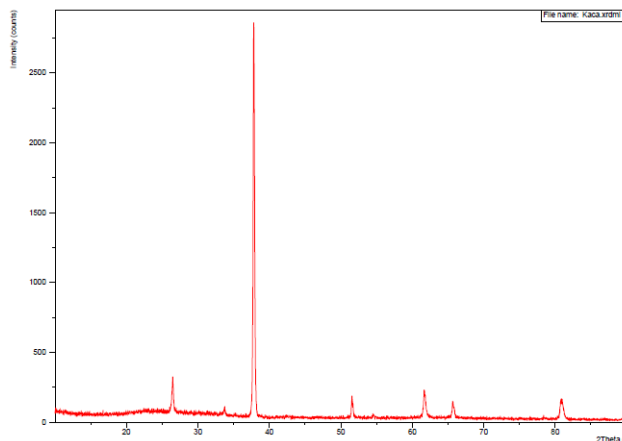
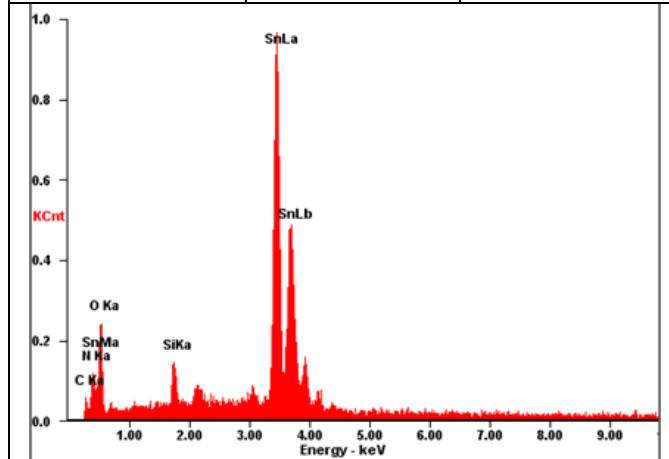
**Morfologi Permukaan TCO**

Hasil uji morfologi dengan XRD (**Gambar 7**) menunjukkan bahwa kristal pada SnO<sub>2</sub> terbentuk dengan baik pada kondisi temperatur sintering 500°C. Pembentukan kristal SnO<sub>2</sub> dapat dilihat pada sudut penyinaran 2θ sebesar 37°. Jika diteliti lebih lanjut dari elemen penyusun pada TCO dengan menggunakan EDX, maka dapat bahwa unsur utama pada TCO adalah Sn dan O sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1. Unsur penyusun TCO yang lain yang ditemukan adalah C, N dan Si yang kemungkinan besar berasal dari udara dan dari kaca. Sebagaimana diketahui bahwa kaca mengandung Si dalam jumlah yang cukup banyak. Hal ini sekaligus menunjukkan juga bahwa SnO<sub>2</sub> terdeposisi secara merata pada kaca.

Menariknya adalah bahwa jika dilihat dari hasil uji EDX tidak terlihat adanya unsur F. Hal ini mengindikasikan bahwa doping F tidak berhasil proses TCO pada penelitian ini. Kemungkinan yang terjadi adalah jumlah NH<sub>4</sub>F yang terlalu rendah atau temperatur sintering yang terlalu tinggi. Temperatur sintering yang terlalu tinggi memberi efek pada terlampauinya titik didih NH<sub>4</sub>F sehingga justru tidak terdeposisi pada substrat kaca.

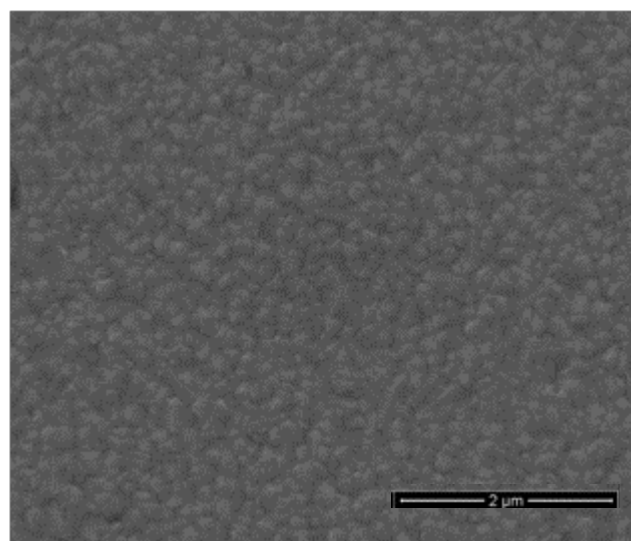
**Tabel 1.** Hasil uji EDX pada permukaan TCO dengan konsentrasi larutan 0,7 M

Element	Wt%	At%
CK	3.59	12.02
NK	2.40	6.89
OK	21.35	53.58
SiK	2.69	3.85
SnL	69.96	23.67



Gambar 7. Hasil uji XRD pada TCO dengan konsentrasi larutan 0,7 M

Hasil uji morfologi yang lain dengan menggunakan SEM dengan pembesaran 50.000 x dapat dilihat pada Gambar 8. Terlihat bahwa distribusi partikel SnO<sub>2</sub> terjadi secara merata pada kaca dan ukuran yang terbentuk seragam. Besarnya butir SnO<sub>2</sub> yang terbentuk berukuran rata-rata sekitar 100-150 nm.



Gambar 8. Hasil uji SEM pada TCO dengan konsentrasi larutan 0,7 M. Pembesaran 50.000 x

**Kesimpulan**

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa parameter pembentukan TCO yang memenuhi syarat untuk sel surya DSSC telah berhasil ditemukan. Semakin besar konsentrasi larutan menyebabkan nilai hambatannya rendah dan lebih rata, namun transmitansinya menurun. Nilai rerata hambatan TCO yang kecil diperoleh pada konsentrasi larutan 0,7 M yaitu sebesar 25 Ω/cm<sup>2</sup> dengan nilai transmitansi sebesar 76%. Keseragaman hambatan listrik yang baik juga diperoleh pada larutan 0,7 M.

**Referensi**

- Abdel, Hafez Mohamed-Hussein, and Hazem Mahmoud Ali. Characterization of Ito/Cdo/Glass Thin Films Evaporated by Electron Beam Technique. *Physics Department, Faculty Of Science, Sohag University, 82524 Sohag, Egypt*. (2008).
- Kao, M.C., H.Z. Chen, and S.L. Young. Effects of Preannealing Temperature of ZnO Thin Films on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cells. *Appl Phys A* vol.98:pp.595-599. (2009).
- Lee, Won Jae, Dong Yoon Lee, Jae Sung Song, and Bok Ki Min. Effect of Process Parameters on the Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells. *Metals And Materials International* Vol. 11 (No. 6 ):pp. 465~471. (2005).
- Lin, Y.C, J.Y. Li, and W.T Yen. Low Temperature Ito Thin Film Deposition on Pcs Substrate Using Pulse Magnetron Sputtering. *Department of Mechatronics Engineering, National Changhua University of Education, Changhua 50007, Taiwan*. (2007).
- Nuryadin, B.W. Rancang Bangun Reaktor Spray Drying Dan Spray Pyrolysis Menggunakan Ultrasonic Nebulizer Dan Pemanas Bertingkat,. *Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia*. (2008).
- Ogi, Takashi, Darmawan Hidayat, Ferry Iskandar, Agus Purwanto, and Kikuo Okuyama. Direct Synthesis of Highly Crystalline Transparent Conducting Oxide Nanoparticles by Low Pressure Spray Pyrolysis. *Advanced Powder Technology* 20:203–209. (2009).
- Purwanto, Agus, Hendri Widiyandari, Darmawan Hidayat, Ferry Iskandar, and Kikuo Okuyama. Facile Method for the Fabrication of Vertically Aligned Ito Nanopillars with Excellent Properties. *Chemistry of Materials* 21:4087–4089. (2009).
- Sheng, Xianliang, Jin Zhai, Lei Jiang, and Daoben Zhu. Enhanced Photoelectrochemical Performance of ZnO Photoanode with Scattering Hollow Cavities. *Appl Phys A* vol.96: pp.473–479. (2009).