

PENGEMBANGAN SEL SURYA DARI BAHAN MURAH DAN RAMAH LINGKUNGAN MENGGUNAKAN METODE SPRAY DAN ELEKTROPLATING

Mamat Rokhmat^{1,2}, Sutisna³, Edy Wibowo⁴, Khairurrijal⁵, dan Mikrajuddin Abdullah⁶

^{1,3,4,5,6}Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung

²Program Studi Teknik Fisika, Universitas Telkom

E-mail: mamatrokhmat76@gmail.com

Abstrak

Pengembangan prototipe sel surya dengan menggunakan bahan murah, yaitu TiO₂ (technical low grade) telah berhasil dilakukan. Metode-metode yang sangat sederhana, yaitu metode spray dan electroplating juga dilaporkan dalam makalah ini. Efisiensi sel surya di atas 1% dengan fill factor di atas 0.3 telah berhasil dilakukan dari sel surya yang dikembangkan. Peranan pemakaian impuritas pada TiO₂ dan peranan material logam pada film TiO₂ juga dikaji. Kedua peran tersebut terbukti mampu meningkatkan efisiensi sel surya secara significant dibandingkan dengan menggunakan TiO₂ murni. Pengembangan sel surya dari bahan murah dan metode sederhana seperti yang dilakukan di sini ke depannya akan sangat memberikan sumbangsih dalam rangka mendapatkan sel surya yang murah dan ramah lingkungan

Kata kunci: Deposisi Partikel Tembaga; Elektroplating; Sel Surya; Spray; TiO₂

Pendahuluan

Titanium dioksida (TiO₂) adalah bahan yang memiliki stabilitas kimia tinggi, tidak beracun dan harga yang murah (Buraidah, dkk., 2011). Pemanfaatan TiO₂ dalam sel surya banyak digunakan dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Efisiensi tertinggi sel surya berbahan dasar TiO₂ dalam DSSC dilaporkan sebesar 11% (Chiba, dkk., 2006). Sel surya DSSC menggunakan *dye* sebagai media absorber foton dengan TiO₂ dipakai sebagai media injeksi electron. Meskipun banyak paper yang membahas TiO₂ sebagai bahan utama sel surya, namun penggunaan TiO₂ sebagai penyerap foton dan penghasil electron-hole sangat sedikit dilaporkan. Efisiensi yang dihasilkan pun masih sangat rendah (Rahman, dkk., 2004, Zainun, dkk., 2012).

Paper kami yang terdahulu (Rokhmat, dkk., 2015) telah melaporkan hasil efisiensi tertinggi adalah 0,35% dan 1,24% dengan menggunakan TiO₂ sebagai media penyerap foton. Struktur sel yang digunakan (Rokhmat, dkk., 2015) adalah *sandwich* yang tersusun atas *fluorin-doped tin oxide* (FTO), lapisan partikel TiO₂ yang disisipi partikel logam tembaga, polimer elektrolit, dan aluminium sebagai *counter elektrode*. Lapisan TiO₂ dibuat dengan proses penyemprotan dan partikel tembaga disisipkan pada ruang antara partikel TiO₂ dengan metode electroplating menggunakan tegangan tetap sebesar 5 Volt. Pendeposisian partikel tembaga dimaksudkan untuk mengurangi proses rekombinasi elektron dan hole yang pada lapisan TiO₂. Terlihat dari hasil yang disampaikan (Rokhmat, dkk., 2015) bahwa partikel tembaga berhasil ditumbuhkan dengan metode electroplating menggunakan tegangan tetap ini, dan peningkatan efisiensi sel surya telah berhasil dengan penumbuhan lapisan tembaga ini. Namun, variasi waktu elektroplating dan besarnya tegangan belum dilakukan secara rinci.

Dalam penelitian ini, dikembangkan sel surya berbahan dasar TiO₂ dengan metode *spray* dan electroplating seperti yang telah dilaporkan (Rokhmat, dkk., 2015). Penekanan penelitian di sini adalah pada pengembangan metode elektroplating untuk menyisipkan partikel tembaga pada ruang antara partikel TiO₂. Metode elektroplating yang dilakukan di sini menggunakan tegangan bolak-balik dengan potensial “*up*” sebesar 2,5 volt dan potensial “*down*” adalah -2,5 Volt, dengan *duty cycle* dan waktu elektroplating dipakai sebagai parameter optimasi.

Material dan Eksperiment

Dalam penelitian ini, kami menggunakan FTO dari Solaronix-Swiss dan LiOH dari Kanto-Jepang. Bubuk partikel TiO₂ anatase, Alkohol 70%, aquadest, Polyvinyl Alcohol (PVA), CuSO₄, aluminium, dan tembaga (II) nitrat (Cu (NO₃)₂) diperoleh dari Bratachem-Indonesia.

Pertama, kami mempersiapkan substrat FTO dengan cara direndam dalam air suling selama 20 menit, dan dalam alkohol selama 40 menit, dengan menggunakan Ultrasonic Bath Branson 1510. Suspensi TiO₂ dibuat dengan

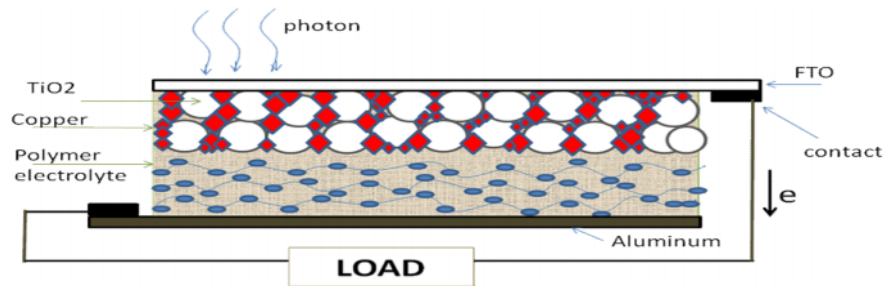
mencampur 5 gram TiO_2 dengan 0.07 gram *copper(II) nitrate trihydrate* dalam 20 ml *aquadest*. Campuran diaduk menggunakan pengaduk magnetik sehingga tersebar merata. Lapisan TiO_2 dideposisikan pada permukaan FTO dengan cara menyemprotkan suspensi ke permukaan FTO dalam tekanan 120 psi. Film FTO/ TiO_2 kemudian dipanaskan di atas hot plate dengan suhu $200\text{ }^\circ\text{C}$ selama 10 menit dan dilanjutkan dalam Furnace pada suhu $450\text{ }^\circ\text{C}$ selama 30 menit.

Partikel tembaga disisipkan pada ruang antara partikel TiO_2 dengan proses electroplating seperti yang dijelaskan dalam (Rokhmat, dkk., 2015, Saehana, dkk., 2012), tetapi kami mengeksplorasi metode ini dengan menggunakan sumber tegangan bolak-balik dengan *duty cycle* dan lamanya waktu elektroplating digunakan sebagai parameter optimasi. Kami juga menggunakan elektrolit polimer yang terdiri dari PVA dan LiOH seperti dilansir (Saehana, dkk., 2012). Akhirnya, prototipe sel surya yang merupakan struktur sandwich dari film FTO/ TiO_2 /Cu, polimer elektrolit dan aluminium diperoleh dengan cara menumpukkan semua komponen tersebut. Untuk meningkatkan kontak antara aluminium, elektrolit, dan film, kami menggunakan metode NaOH post-treatment seperti dilansir (Rokhmat, dkk., 2015).

Untuk mengamati morfologi dan unsur dari CuO atau film $\text{TiO}_2 / \text{CuO} / \text{Cu}$, kami menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) (JEOL-JSM 6360LA) dan Energi-dispersif X-ray spektroskopi (EDS). IV meter Keithley 617 digunakan untuk mendapatkan karakterisasi arus dan tegangan (IV) sel surya.

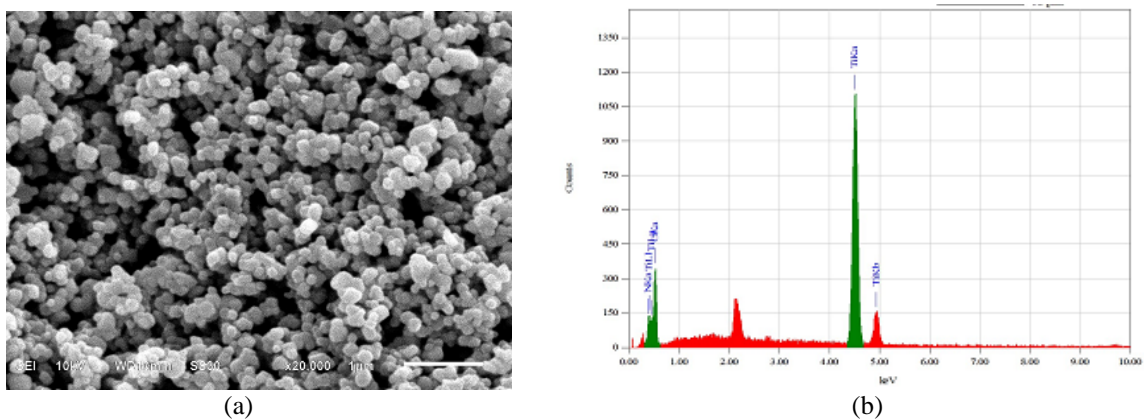
Hasil dan Diskusi

Struktur sel surya yang dikembangkan dalam penelitian ini sama seperti yang telah kami kembangkan dalam penelitian sebelumnya (Rokhmat, dkk., 2015). Struktur sel surya dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur sel surya yang dikembangkan (diambil dari (Rokhmat, dkk., 2015))

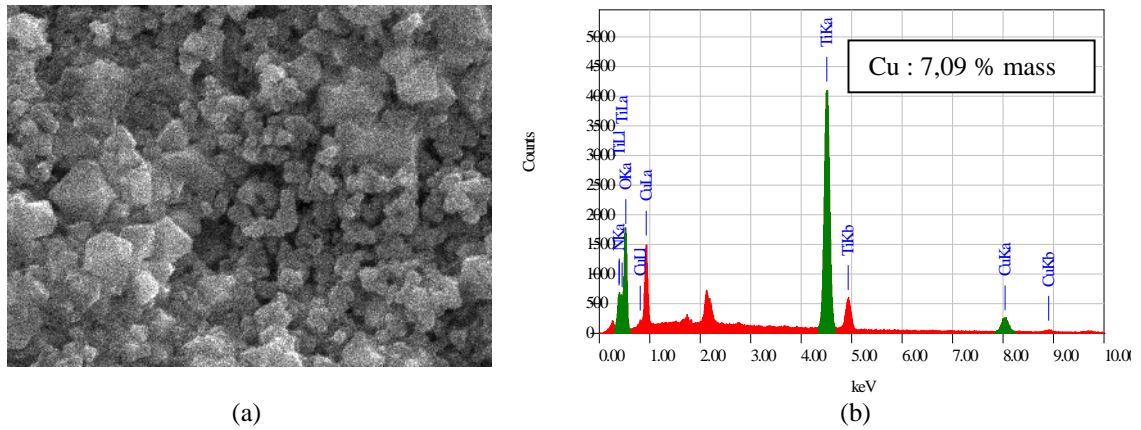
Gambar 2a memperlihatkan hasil karakterisasi SEM dari struktur lapisan TiO_2 yang disemprotkan pada FTO. Terlihat bahwa morfologi partikel TiO_2 berbentuk bulat dengan ukuran rata-rata 200 nm. Gambar 2b adalah hasil karakterisasi EDS dari lapisan TiO_2 . Meskipun TiO_2 yang dipakai adalah TiO_2 teknis (bukan murni), namun dari hasil EDS ini menunjukkan bahwa kandungan Ti dan O yang terbaca pada hasil EDS dapat menunjukkan kemurnian lapisan TiO_2 sudah tinggi.



Gambar 2. Hasil karakterisasi SEM (a) dan EDS (b) dari lapisan TiO_2

Hasil karakterisasi SEM dan EDS laisan TiO_2 setelah disisipi partikel tembaga dengan metode tegangan bolak-balik ($V_{up}=2,5$ volt, $V_{down}=-2,5$ volt) selama 120 detik dengan *duty cycle* sebesar 50% dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat dari Gambar 3a bahwa telah terbentuk partikel tembaga berbentuk *pyramid* di antara partikel

TiO₂ yang berbentuk bulat. Hasil ini sangat sesuai dengan hasil yang telah dilaporkan oleh (Saehana, dkk., 2012, Rokhmat, dkk., 2015) Kehadiran partikel tembaga di antara partikel TiO₂ juga dibuktikan melalui hasil karakterisasi EDS yang diperlihatkan dalam gambar 3b dengan adanya puncak-puncak untuk Cu.



Gambar 3. Hasil karakterisasi SEM (a) dan EDS (b) dari lapisan TiO₂ setelah disisipi partikel tembaga

Hasil karakterisasi arus-tegangan (IV) sel surya baik yang belum dan telah disisipi partikel tembaga dengan metode elektroplating diperlihatkan dalam Tabel 1. Metode elektroplating yang digunakan menggunakan tegangan bolak-balik ($V_{up}=2,5$ volt, $V_{down}=-2,5$ volt) selama 60 detik. Terlihat dari tabel 1 bahwa dengan penyisipan partikel tembaga, kinerja sel surya meningkat. Sebelum disisipi partikel tembaga di antara partikel TiO₂, efisiensi yang berhasil diraih adalah 0.002%, dan mengalami peningkatan terbesar menjadi 0.46% untuk *duty cycle* sebesar 50%. Ini menunjukkan bahwa *duty cycle* sebesar 50% adalah nilai *duty cycle* yang paling optimal. Kehadiran partikel tembaga mampu memperbaiki fenomena migrasi dari electron yang telah dihasilkan lapisan TiO₂ setelah disinari, sehingga electron dapat dengan mudah menuju elektroda.

Tabel 1. Hasil karakterisasi IV sel surya yang dikembangkan dengan *duty cycle* sebagai parameter optimasi (waktu electroplating: 60 detik)

Sel Surya	Duty cycle (%)	I _{sc} (mA)	V _{oc} (V)	Fill Factor	Efficiency (%)
TiO ₂ murni	-	0,007	0,135	0,20	0,002
TiO ₂ /Cu	40	0,246	0,56	0,35	0,32
TiO ₂ /Cu	50	0,321	0,56	0,38	0,46
TiO ₂ /Cu	60	0,271	0,57	0,36	0,37
TiO ₂ /Cu	70	0,252	0,55	0,35	0,33

Penambahan *duty cycle* lebih dari 50% pada proses electroplating menyebabkan efisiensi sel surya kembali menurun. Fenomena ini disebabkan karena partikel tembaga yang sebenarnya berfungsi untuk mempermudah elektron dalam bergerak menuju elektroda, dalam hal ini malah menutupi lapisan TiO₂ dalam menangkap foton. Untuk melihat seberapa besar kandungan partikel tembaga yang paling optimal sehingga mampu memperbaiki proses migrasi elektron tanpa mengganggu kinerja TiO₂ dalam menyerap foton, kami memvariasikan lamanya waktu elektroplating dengan menggunakan *duty cycle* 50%. Hasil karakterisasi IV sel surya dengan proses elektroplating menggunakan tegangan bolak-balik ($V_{up}=2,5$ volt, $V_{down}=-2,5$ volt) dan *duty cycle* 50% yang divariasikan terhadap lamanya electroplating diperlihatkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil karakterisasi IV sel surya yang dikembangkan dengan waktu elektroplating sebagai parameter optimasi (*duty cycle*: 50%)

Sel Surya	Waktu elektroplating	I _{sc} (mA)	V _{oc} (V)	Fill Factor	Efficiency (%)
TiO ₂ /Cu	60	0,321	0,56	0,38	0,46
TiO ₂ /Cu	90	0,376	0,62	0,37	0,58
TiO ₂ /Cu	120	0,484	0,64	0,4	0,83
TiO ₂ /Cu	150	0,412	0,58	0,37	0,59

Terlihat dari table 2 bahwa efisiensi tertinggi sebesar 0,83% dengan *fill factor* sebesar 0,40 diperoleh apabila proses elektroplating menggunakan *duty cycle* 50% selama 120 detik. Jika dilihat dari gambar 3b maka dengan *duty cycle* sebesar 50% selama 120 detik ini menghasilkan kandungan tembaga sebesar 7,09%. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan kandungan tembaga hanya sebesar 7,09% untuk menghasilkan efisiensi paling tinggi jika menggunakan *duty cycle* 50%. Hasil ini tidak berbeda jauh dengan hasil sebelumnya bahwa nilai kandungan tembaga yang optimal hanya sebesar 5,77% apabila menggunakan electroplating dengan tegangan DC 5 Volt selama 10 detik (Rokhmat, dkk., 2015).

Kesimpulan

Pembuatan prototype sel surya berbahan dasar TiO₂ dengan penyisipan partikel tembaga pada lapisan TiO₂ telah berhasil dilakukan. Efisiensi sel surya tertinggi diperoleh sebesar 0,83% di mana penyisipan dilakukan dengan *duty cycle* 50% selama 120 detik dan diperoleh kandungan Cu di dalam lapisan TiO₂ sebesar 7,09% massa. Dari hasil ini menunjukkan bahwa penyisipan partikel logam pada lapisan TiO₂ mampu meningkatkan efisiensi sel surya.

Acknowledgement

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi melalui Hibah Penelitian Disertasi Doktor Nomor: 105/SP2H/PPM/DRPM/II/2016

Daftar Pustaka

- Garcia-Ochoa, F. F. and Gomez, E., (2004), "Theoretical prediction of gas-liquid mass transfer coefficient, specific area and hold-up in sparged stirred tanks" *Chemical Engineering Science*, Vol. 59 (12) pp. 2489-2501.
- Buraidah, M. H., Teo, L. P., Yusuf, S. N. F., Noor, M. M., Kufian, M. Z., Careem, M. A., Majid, S. R., Taha, R. M. and Arof, A. K., (2011), "TiO₂/Chitosan-NH₄I(+I₂)-BMII-Based Dye-Sensitized Solar Cells with Anthocyanin Dyes Extracted from Black Rice and Red Cabbage" *International Journal of Photoenergy* pp. 1-11.
- Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiya, R., Koide, N. and Han, L., (2006), "DSSC with Conversion Efficiency of 11.1%" *Japanese Journal of Applied Physics* Vol 45 pp. 638-640
- Rahman M. Y. A., Salleh, M. M., Talib, I. A. and Yahaya M., (2004), "Effect of ionic conductivity of a PVC-LiClO₄ based solid polymeric electrolyte on the performance of solar cells of ITO/TiO₂/PVC-LiClO₄/graphite" *Journal of Power Sources* 133 pp. 293-297
- Rokhmat M., Wibowo, E., Sutisna, Khairurrijal and Abdullah, M., (2015), "Enhancement of TiO₂ Particles Based-Solar Cells Efficiency by Addition of Copper(II) Nitrate and Post-Treatment with Sodium Hydroxyde" *Advanced Materials Research* 1112 pp. 245-250
- Saehana, S., Arifin, P., Khairurrijal and Abdullah, M., (2012), "A new architecture for solar cells involving a metal bridge deposited between active TiO₂ particles" *Journal of Applied Physics* 111 pp. 123109 1-7
- Zainun, A. R., Tomoya S., Noor, U. M., Rusop M. and Masaya I., (2012), "New approach for generating Cu₂O/TiO₂ composite films for solar cell applications, Materials Letters 66 (2012) 254-256" *Materials Letter* 66 pp. 254-256