

Peningkatan Kinerja *Dye-Sensitized Solar Cells* menggunakan Metode Ultrasonikasi

Hadi Santoso,* Vicran Zharvan, Rizqa Daniyati, Nur Ichzan AS, Gatut Yudoyono,[†] dan Endarko
*Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111*

Intisari

Telah dibuat *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang mampu mengkonversi cahaya menjadi energi listrik dengan memanfaatkan ekstrak kulit manggis sebagai dye sensitizer dan bahan semikonduktor TiO₂ sebagai penyusun elektroda kerja. Pembuatan elektroda kerja dibuat dari lapisan 10 μm TiO₂ terdepositasi pada kaca ITO dengan metode *doctor blade* yang kemudian dilakukan proses perendaman dalam larutan dye ekstrak kulit manggis dengan menggunakan ultrasonikasi dan tanpa ultrasonikasi dengan waktu perendaman yang singkat yakni 300 sekon. Sementara itu disiapkan elektroda pembanding yakni kaca ITO yang dilapiskan dengan karbon. Antara elektroda kerja dengan elektroda pembanding diberikan elektrolit iodine (I⁻) dan triiodide (I₃⁻) sebagai pasang-an redoks yang menunjang siklus transfer elektron untuk terus berlanjut. Hasilnya menunjukkan bahwa DSSC yang dibuat dengan proses perendaman dye menggunakan ultrasonikasi memberikan efisiensi yang lebih besar.

Abstract

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) which is able to convert light into electrical energy by using mangosteen extract as a dye sensitizer and TiO₂ semiconductor material as a photoelectrode has been conducted. TiO₂ layer with thickness of 10 μm was deposited on top of a ITO glass by doctor blade method and subsequently the TiO₂ electrode will be immersion into the dye sensitizer mangosteen extract using with and without ultrasonication method. Immersion time of TiO₂ photoelectrode will be investigated at 300 seconds. Meanwhile, prepared ITO glass electrode that is superimposed with carbon. Between the photoelectrode to carbon-electrode is given electrolyte iodine (I⁻) and triiodide (I₃⁻) as a redox couple for support electron transfer cycle continues.

KATA KUNCI: dye-sensitized solar cell (DSSC), kulit anggis, ultrasonikasi, efisiensi

I. PENDAHULUAN

Sel surya atau fotovoltaik merupakan teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi ini memiliki emisi CO₂ yang rendah dan struktur modular yang fleksibel [1]. Salah satu jenis sel surya yang dikembangkan oleh Grätzel, yang dikenal dengan *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) memiliki beberapa keuntungan antara lain proses fabrikasinya mudah dan sederhana sehingga biaya pembuatan dapat lebih murah serta bahan dasarnya mudah diperoleh [2]. Dalam sistem DSSC, energi foton dari cahaya matahari diserap oleh material dye yang menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dan menghasilkan pasangan hole-elektron. Penelitian terhadap komponen penyusun DSSC telah banyak diteliti untuk memperoleh efisiensi yang baik, salah satunya adalah dye sensitizer (larutan dye).

Peran material donor dan akseptor dalam piranti fotovoltaik konvensional, digantikan oleh komponen penghasil muatan dan transfer muatan dalam sistem DSSC. Penghasil muatan

diperankan oleh antarmuka (*interface*) semikonduktor-dye, sedang transfer muatan diperankan oleh semikonduktor dan elektrolit [3]. Adsorpsi dye pada permukaan semikonduktor berperan penting pada unjuk kerja DSSC, umumnya proses adsorpsi dilakukan dengan cara perendaman lapisan semikonduktor dalam larutan dye selama 24 jam [4–8], atau perendaman semalaman [9, 10], tergantung pada ketebalan lapisan semikonduktor dan ukuran partikel. Adapula untuk mempertinggi laju adsorpsi dye dilakukan dengan menambahkan larutan co-adsorbance [11].

Pengurangan waktu proses adsorpsi dye telah dilakukan dengan beberapa cara, seperti mempertinggi konsentrasi larutan [12], menambah temperatur proses [13], memberi larutan asam [14], menggunakan bantuan piranti ultrasonik [15], dan medan listrik [16]. Seo, [15] menggunakan piranti ultrasonik untuk proses adsorpsi dye N719 (dye sintetik) pada permukaan lapisan TiO₂.

Pada paper ini dilaporkan hasil perbandingan unjuk kerja sistem DSSC dengan proses adsorpsi larutan dye natural ekstrak kulit manggis pada permukaan lapisan TiO₂ menggunakan metode ultrasonikasi.

*E-MAIL: hadi_santoso@screntist.com

[†]E-MAIL: gyudoyono@physics.its.ac.id

II. METODOLOGI

Sintesis pasta TiO₂

Nanopartikel TiO₂ disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan TiCl₃ sebagai sumber Ti. TiCl₃ (15%, Merck) ditambahkan sejumlah aquades serta diaduk (*magnetic stirrer*) selama 5 jam. pH larutan diatur dengan menambahkan NH₄OH (28.9%, Aldrich) hingga pH 9 dan tetap diaduk hingga didapatkan endapan berwarna putih. Endapan dicuci dengan aquades hingga larutan pencuci mempunyai pH 7, kemudian disaring dan dikeringkan. Prekursor TiO₂ dikalsinasi pada temperatur 400° selama 3 jam [17].

Pasta TiO₂ dibuat dengan menambahkan 1,4 ml aquades kedalam 0,7 gram serbuk TiO₂ dan digerus dengan mortar selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan 0,3 gram PEG-1000, 0,7 ml asam asetat, 1 ml acetylacetone dan 0,7 ml triton X-100 [18], sambil diaduk hingga didapatkan pasta yang homogen.

Preparasi elektroda dan pembuatan DSSC

Pendeposisian pasta TiO₂ pada kaca ITO dengan menggunakan metode *doctor blade*. Penggunaan kaca ITO sebagai substrat fotoanoda (elektroda kerja) dimaksudkan untuk memperbaiki konduktivitas listrik dan transmitansi cahaya yang masuk ke sistem DSSC [19]. Kaca ITO berukuran (2,5 × 2,5) cm² diberi pembatas menggunakan plastik pada sisi luar sehingga didapatkan area pendeposisian seluas (2 × 2) cm². Selain digunakan sebagai pembatas daerah deposisi, plastik yang digunakan juga berfungsi untuk kontrol ketebalan lapisan TiO₂, pada penelitian ini menggunakan plastik dengan ketebalan 10 μm, sehingga diharapkan ketebalan lapisan TiO₂ yang terbentuk mempunyai ketebalan sekitar 10 μm. Gong [19] menyebutkan bahwa ketebalan lapisan TiO₂ yang optimum untuk digunakan dalam DSSC sekitar 5-30 μm. Setelah pasta TiO₂ terdeposisi secara merata, langkah berikutnya adalah memberi perlakuan termal untuk menghilangkan molekul-molekul pelarut dengan dipanaskan pada temperatur 450°C selama 15 menit.

Adsorpsi larutan dye dalam lapisan TiO₂ dilakukan dengan dua metode, yakni perendaman lapisan TiO₂ dalam larutan dye dengan dan tanpa ultrasonikasi. Metode pertama (DSSC-1), lapisan TiO₂ direndam dalam 10 ml larutan dye dan ditempatkan dalam ultrasonic cleaner (Branson 1510, frekuensi 42 kHz) selama 300 sekon. Metode kedua (DSSC-2), lapisan TiO₂ direndam dalam larutan dye tanpa perlakuan ultrasonikasi dengan waktu perendaman yang sama.

Pada penelitian ini digunakan *natural dye* berupa ekstrak kulit manggis. Larutan dye dibuat dengan mencampurkan 10 gram serbuk ekstrak kulit manggis kedalam 50 ml ethanol kemudian sambil diaduk di atas *magnetic stirrer* selama 30 menit pada temperatur 60°C. Larutan dye disaring untuk memisahkan dari endapan yang masih tersisa. Larutan dye diharapkan tidak mengandung serbuk kulit manggis yang

berupa endapan karena berpotensi merusak lapisan TiO₂ pada proses perendaman secara ultrasonikasi.

Sebelum dilakukan proses penyusunan sandwich DSSC disiapkan bahan penyusun DSSC lainnya. Elektrolit, dalam penelitian ini digunakan elektrolit berupa pasangan iodide dan triiodide (I⁻/I₃⁻) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Elektrolit yang digunakan bersifat gel, karena fase gel ini lebih stabil pada temperatur tinggi dibanding fase cair [20]. Kelemahan lain elektrolit fase cair adalah mudah bereaksi dengan molekul-molekul udara atau air sehingga menurunkan unjuk kerja DSSC, dan juga kesulitan membentuk modul multi-sel [21]. Selain elektrolit, penyusun lainnya adalah elektroda pembanding. Elektroda pembanding yang digunakan berupa material karbon yang dilapiskan pada permukaan kaca ITO. Fungsi karbon sebagai katalis untuk mempercepat reaksi dalam DSSC.

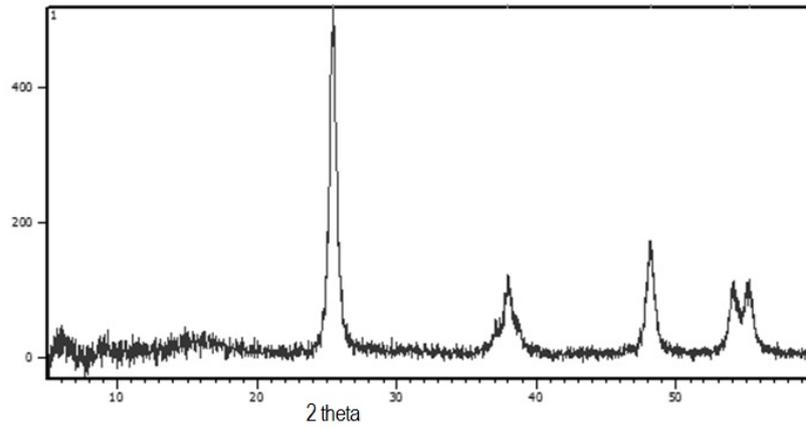
Komponen-komponen DSSC disusun secara sandwich, yang terdiri dari elektroda kerja, elektrolit dan elektroda karbon. Sisi-sisi elektroda kerja dilapisi dengan plastik yang memiliki ketebalan 100 μm, 10 μm telah ditempati oleh elektroda kerja, sehingga akan ada ruang 90 μm yang dapat diisi dengan elektrolit gel. Setelah elektrolit diisi, kemudian ditutup dengan elektroda karbon dengan rapat. Agar gel elektrolit tidak mengalir ataupun menguap keluar yang menyebabkan berkurangnya jumlah elektrolit yang digunakan, maka *packaging* dibuat sedemikian rupa sehingga susunan sandwich terutama elektrolit tetap dalam keadaan dan jumlah yang konstan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan plastik pembatas area dan kontrol ketebalan, dimana plastik tersebut dibiarkan tetap berada pada sisi sel yang telah dibuat, dan dipermukaannya diberikan perekat untuk merekatkan elektroda kerja-elektrolit dengan elektroda karbon. Salah satu titik di konduktif ITO disambungkan kabel sebagai pengalir elektron.

Karakterisasi

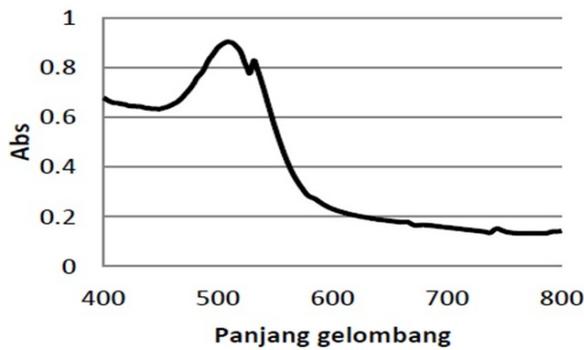
Struktur nanokristalin TiO₂ hasil sintesis, dikarakterisasi dengan X-ray diffraction meter (XRD, Xpert MPD). Spektrum absorpsi larutan dye ekstrak kulit manggis diukur menggunakan UV-Vis spectrophotometer (Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific). Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) dilakukan menggunakan alat Keithley I-V meter (model 2601A). Berdasarkan data karakteristik I-V devais DSSC, dapat dianalisis parameter sel-surya seperti tegangan *open-circuit* (V_{oc}), arus *short circuit* (I_{sc}), *maximum power point* (MPP), tegangan dan arus pada MPP (V_{MPP} dan I_{MPP}), fill factor (FF) dan efisiensi (η).

III. HASIL DAN DISKUSI

Pola difraksi sinar-X untuk serbuk hasil sintesis ditunjukkan Gambar 1. Pada analisis menggunakan software Match! didapatkan bahwa TiO₂ serbuk hasil sintesis mempunyai fasa anatase. Fase anatase ini lebih aktif secara kimiawi ketika digunakan dalam sistem DSSC dibandingkan fase



Gambar 1: Pola difraksi XRD serbuk TiO₂.

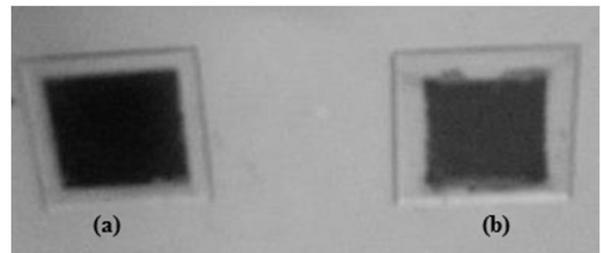


Gambar 2: Absorbansi ekstrak kulit manggis.

rutile, walaupun fase rutile merupakan fase yang paling stabil [19]. Ukuran kristal dari nanomaterial TiO₂ hasil sintesis didapatkan sebesar 11,37 nm, yang dihitung menggunakan software Maud.

Spektrum absorbansi dye (ekstrak kulit manggis) diamati dengan spektrofotometer UV-Vis. Larutan dye disiapkan dengan melarutkan ekstrak kulit manggis ke dalam ethanol. Gambar 2 menunjukkan spektrum absorbansi bahan dye sebagai fungsi panjang gelombang berkas cahaya. Analisis spektrum absorbansi menunjukkan bahwa nilai absorpsi tertinggi terletak pada panjang gelombang 528 nm, hal ini menandakan bahwa kemungkinan adanya pigmen antosianin jenis sianidin-3-glukosida [22] yang terkandung pada ekstrak kulit. Natural dye bisa didapatkan dari bagian-bagian tumbuhan, seperti daun, bunga, buah, batang, yang terbentuk dalam beberapa jenis pigmen, seperti antosianin, karoten, klorofil [21, 23].

Penggunaan metode ultrasonik memberikan efek sebagai dispersi pada endapan molekul dye, peningkatan difusi molekul dye ke dalam pori TiO₂ nanopartikel, dan terjadi pelepasan gas yang terperangkap pada lapisan TiO₂ berpori secara cepat. Penggunaan waktu yang singkat, bertujuan untuk mencegah agar proses ultrasonik tidak merusak lapisan TiO₂, karena pada dasarnya ultrasonik mempengaruhi larutan dye untuk menghasilkan gaya dorong yang bergerak tak be-



Gambar 3: Hasil perendaman (a) menggunakan ultrasonikasi, tampak lebih gelap dan (b) tanpa ultrasonikasi, tampak lebih cerah.

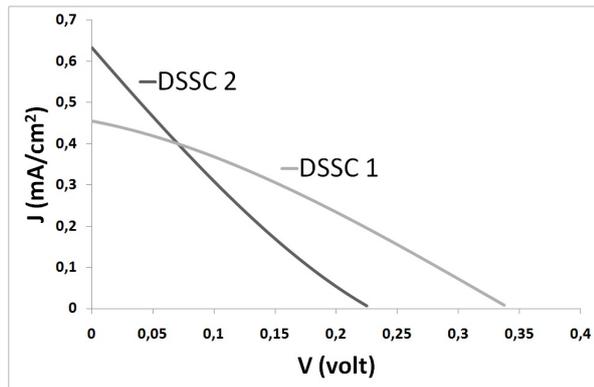
TABEL I: Parameter DSSC.

Sampel	I _{sc} (mA)	V _{oc} (mV)	V _{MPP} (volt)	I _{MPP} (mA)	FF (%)	η (%)
DSSC-1	0,046	0,31	0,16	0,03	34	0,42%
DSSC-2	0,06	0,22	0,085	0,036	22	0,17%

raturan sehingga bila dioperasikan dalam waktu yang cukup lama akan berpotensi untuk mengikis lapisan TiO₂. Gambar 3 memberikan informasi kualitatif bahwa kandungan yang dimiliki Gambar 3(a) yang menggunakan ultrasonikasi memiliki warna yang lebih gelap, ini menunjukkan bahwa kandungan dye yang teradsorpsi cukup banyak. Sedangkan Gambar 3 (b) yang menggunakan metode tanpa ultrasonikasi memiliki warna yang lebih cerah, menunjukkan bahwa kandungan dye pada elektroda kerja lebih sedikit.

Karakterisasi listrik sistem DSSC dilakukan menggunakan I-V meter dengan disinari lampu halogen dengan daya 1000 Watt/m² (Solar Power meter TES-1333R). Gambar 4 menunjukkan grafik karakteristik *photocurrent-voltage* sistem DSSC-1 dan DSSC-2.

Hasil analisis data pengukuran *photocurrent-voltage* sistem DSSC-1 dan DSSC-2 ditunjukkan Tabel I. Berdasarkan analisis data diperoleh bahwa DSSC-1 lebih baik dibandingkan DSSC-2, hal ini disebabkan beberapa hal, pertama



Gambar 4: Karakteristik *photocurrent-voltage* sistem DSSC

pengaruh perendaman elektroda kerja dengan ultrasonikasi dalam waktu yang singkat memberikan pengaruh yang cukup mengadsorpsi dye, ini terlihat dari Gambar 3(a) yang menunjukkan bahwa elektroda yang diproses dengan cara ultrasonikasi berhasil mengikat dye lebih banyak dibandingkan elektroda tanpa proses ultrasonikasi (Gambar 3(b)) yang bi-

asanya membutuhkan waktu yang relatif lebih lama. Penggunaan metode ultrasonikasi mampu meningkatkan unjuk kerja sistem DSSC, yang ditunjukkan oleh nilai efisiensi yang lebih besar dibanding tanpa ultrasonikasi. Penggunaan dye natural berupa ekstrak kulit manggis yang memberikan efisiensi 0,42% ini masih lebih rendah dibandingkan hasil penelitian peneliti lainnya [20, 21, 23], walaupun demikian hasil ini masih lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian sebelumnya [24].

IV. SIMPULAN

Pada proses perendaman elektroda kerja kedalam larutan dye dalam waktu yang singkat dapat digunakan proses ultrasonikasi pada alat ultrasonic cleaner. Pada proses perendaman elektroda kerja kedalam larutan dye dalam waktu yang singkat metode ultrasonikasi lebih baik dibandingkan tanpa ultrasonikasi. DSSC yang dibuat dengan proses perendaman elektroda dengan dan tanpa ultrasonikasi memiliki efisiensi masing-masing 0,42%; 0,17%.

- [1] M.K. Moorhty, D.V.A. Kumar, and J.N. Reddy, *Control of Grid Connected PV Cell Distributed Generation Systems*, IEEE Region 10 Conferences, 18 - 21 November 2008, Hyderabad, India (2008).
- [2] B. O'regan, and M. Grätzel, *Nature*, **353**(6346), 737-780 (1991).
- [3] M.K. Nazeeruddin, E. Baranoff, M. Grätzel, *Sol. Energy*, **85**, 1172-1178 (2011).
- [4] Y. Lee, M. Kang, *Mater. Chem. Phys.*, **122**, 284-289 (2010).
- [5] M. Li, *et al.*, *Appl. Energy*, **88**, 825-830 (2011).
- [6] H. Choi, *et al.*, *Curr. Appl. Phys.*, **12**, 737-741 (2012).
- [7] B. Hu, *et al.*, *J. Power Sources*, **267**, 445-451 (2014).
- [8] M.-G. Choi, Y.-M. Sung, *Opt. Mater.*, **36**, 1430-1435 (2014).
- [9] A. Subramanian, H.-W. Wang, *J. Photochem. Photobiol. Chem.*, **279**, 32-37 (2014).
- [10] N.-Q. Fu, *et al.*, *Electrochem. Commun.*, **34**, 254-257 (2013).
- [11] R. Hou, *et al.*, *Electrochimica Acta*, **154**, 190-196 (2015).
- [12] M.K. Nazeeruddin, *et al.*, *Chem. Commun.*, **12**, 1456-1457 (2003).
- [13] F. Hirose, *et al.*, *J. Electrochem. Soc.*, **157**, B1578-B1581 (2010).
- [14] B. Kim, *et al.*, *Appl. Mater. Interface.*, (2013) A-G. doi:10.1021/am401034r.
- [15] Y. Seo, J.H. Kim, *J. Ind. Eng. Chem.*, **19**, 488-492 (2013).
- [16] H. Seo, *et al.*, *Electrochimica Acta*, **55**, 4120-4123 (2010).
- [17] V. Zharvan, R. Daniyati, N. Ichsan, G. Yudoyono, Darminto, *Study on Fabrication of TiO₂ Thin Films by Spin-coating and their Optical Properties*, The 4th International Conference on Theoretical and Applied Physics (ICTAP-2014), Denpasar-Bali, 2014.
- [18] L.J. Kook, *et al.*, *J. Ind. Eng. Chem.*, **15**, 724-729 (2009).
- [19] J. Gong, J. Liang, K. Sumanthy, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **16**, 5848-5860 (2012).
- [20] H. Hug, M. Bader, P. Mair, T. Glatzel, *Appl. Energy*, **115**, 216-255 (2014).
- [21] M.R. Narayan, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **16**, 208-215 (2012).
- [22] W. Supiyanti, D.W. Endang, L. Kusmita, *Uji Aktivitas Antioksidan dan Penentuan Kandungan Antosianin Total Kulit Buah Manggis (Granicia mangostana L)*, *Majalah Obat Tradisional*, **15**, 62 (2010).
- [23] N.A. Ludin, *et al.*, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **31**, 386-396 (2014).
- [24] N. Puspitasari, *Characterization Dye Sensitized Solar Cells based on TiO₂ using a Variation of Natural dyes and Thickness of TiO₂ layer*, Thesis Fisika, FMIPA-ITS, Surabaya, 2013.