

## ***Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO<sub>2</sub> Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami***

Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando T, Maulidis, Silvia Ridwan

Jurusan kimia FMIPA UNP Padang, 25131

hardeli1@yahoo.com

**Abstrak.** *Dye-Sensitized Solar cell* (DSSC) merupakan seperangkat sel surya yang berbasis fotoelektrokimia, yang melibatkan transfer muatan listrik dari suatu fasa ke fasa lain. Penelitian ini bertujuan untuk membuat dye-sensitized solar cell dan mengetahui nilai konversi energi surya menjadi energi listrik serta nilai efisiensi yang dihasilkannya. Pada penelitian ini digunakan TiO<sub>2</sub> Degusa P-25 yang dilapiskan pada kaca konduktif melalui teknik sol-gel dan sebagai zat penyerap foton digunakan *dye* antosianin dari ekstrak ketan hitam, daun bayam merah, bunga rosella, buah naga super merah dan ubi jalar ungu. Hasil karakterisasi dengan XRD pada serbuk TiO<sub>2</sub> menunjukkan puncak difraksi yang tinggi dan tajam dengan struktur kristal anatase dan rutil serta ukuran kristal sekitar 20 nm. Karakterisasi substrat kaca yang telah dilapisi TiO<sub>2</sub> menggunakan SEM dan EDX dimana dengan alat SEM terlihat bahwa TiO<sub>2</sub> dipermukaan kaca lebih merata serta dari EDAX diperoleh bahwa zat yang dominan terdapat pada permukaan kaca adalah Ti. Pada karakterisasi absorpsi cahaya UV-VIS diketahui bahwa antosianin dapat menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang sekitar 530 nm. Selain itu ketika sel surya disinari dengan cahaya matahari, sel surya dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. Tegangan, arus listrik dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya dengan zat warna antosianin untuk masing-masing sumber zat warna adalah beras ketan hitam 937 mV, 468  $\mu$ A dan 0,405%, daun bayam 349,8 mV, 87  $\mu$ A dan 0,304%; bunga rosella 393,2 mV, 109  $\mu$ A dan 0,30%; buah naga 606 mV, 396  $\mu$ A dan 0,24% serta ubi jalar ungu 521 mV, 75  $\mu$ A dan 0,11%.

**Kata kunci :** Sel Surya, DSSC, zat warna organic, ekstrak ketan hitam, daun bayam, bunga rosella, buah naga, ubi jalar ungu, TiO<sub>2</sub>

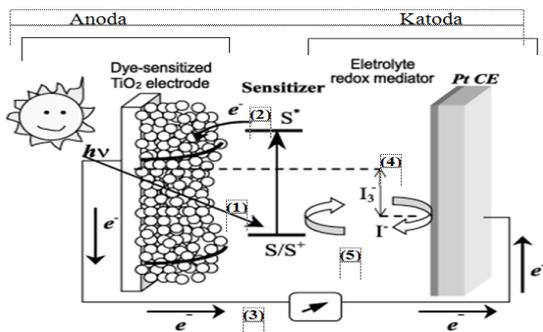
### **PENDAHULUAN**

Energi mempunyai peranan penting dalam setiap segi kehidupan manusia. Penyediaan energi saat ini masih bergantung pada minyak, gas bumi dan berbagai sumber bahan bakar fosil lainnya. Dengan semakin menipisnya cadangan energi fosil ini, negara-negara didunia sedang berlomba-lomba mengembangkan energi alternatif yang dapat diperbaharui. Dari sekian banyak sumber energi yang dapat diperbaharui seperti angin, biomassa dan *hydro* power, penggunaan energi

melalui sel surya (*solar cell*) merupakan alternatif yang cukup menjanjikan.

*Dye-sensitized solar cell* (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. DSSC muncul seiring dengan perkembangan nanoteknologi yang beberapa tahun ke depan akan menjadi sangat penting bagi kehidupan manusia. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal sebagai Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya silikon yang dapat mencapai 17-25%. Namun demikian





Gambar 1. Skema Kerja dari DSSC [5]

pembuatan sel surya silikon masih tidak ramah lingkungan dan proses perakitanya yang tidak sederhana menjadi suatu kendala. Di samping itu, sel surya konvensional jenis silikon ini memiliki keterbatasan suplai bahan baku silikonnya. Ini dapat dipahami karena harga silikon meningkat seiring dengan permintaan industri semikonduktor.

Pada DSSC terjadi proses absorpsi cahaya oleh molekul zat warna, Molekul zat warna yang menyerap cahaya matahari tersebut akan mengalami eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi tersebut langsung terinjeksi menuju semikonduktor nanokristal anorganik yang mempunyai *band-gap* yang lebar. Salah satu semikonduktor anorganik yang mempunyai *band-gap* lebar serta sering digunakan adalah Titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>) [4]. Hal ini dikarenakan TiO<sub>2</sub> relatif mudah, inert, dan juga tidak beracun, sehingga lebih aman digunakan dalam aplikasinya.

Prinsip kerja DSSC dimulai dengan eksitasi elektron molekul *dye* akibat absorpsi foton (1). Elektron tereksitasi dari *ground state* (S) ke *excited state* (S\*).



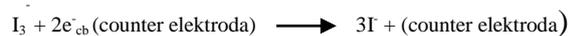
Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi (2) menuju *conduction band* (e<sub>cb</sub>) TiO<sub>2</sub> sehingga molekul *dye* teroksidasi (S<sup>+</sup>).



Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter-elektroda* melalui rangkaian eksternal (3). Dengan adanya katalis pada *counter-elektroda*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I<sub>3</sub><sup>-</sup>), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berkombinasi dengan elektron membentuk iodida (I) (4).



Dengan kata lain, I<sub>3</sub><sup>-</sup> Dihasilkan pada elektroda TiO<sub>2</sub> dan digunakan pada *counter electrode*, dengan demikian penyebarannya pada elektrolit saling berhubungan.. Demikian pula, I<sup>-</sup> dihasilkan pada *counter-elektroda* dan disebarkan ke arah yang berlawanan dalam elektrolit. Iodida (I<sup>-</sup>) ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi (5), sehingga terbentuk suatu siklus transport electron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

Berbagai optimasi juga telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sel surya tersensititasi zat warna, baik efisiensi konversi maupun penggunaan elektrolit yang sesuai. Elektrolit yang sering digunakan dalam desain sel surya berupa elektrolit cair. Sehingga perlu dilakukan perbandingan penggunaan elektrolit ini dengan elektrolit lain yaitu elektrolit gel polimer yang berisi larutan iodide/triiodida (I/I<sub>3</sub><sup>-</sup>).

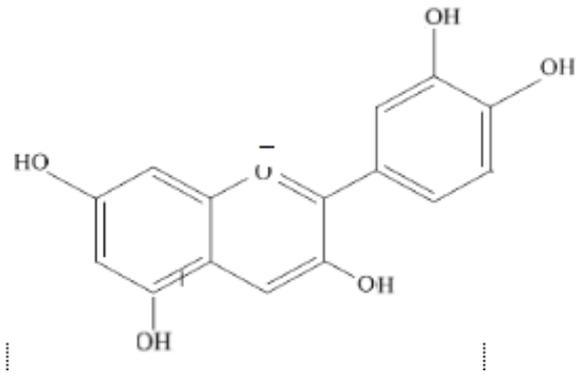
Karakteristik lain juga dibutuhkan yaitu penggunaan zat pembentuk warna yang mampu menyerap spektrum cahaya lebar dan cocok dengan pita energi TiO<sub>2</sub> sebesar 3,2 eV [3]. Sejauh ini, pewarna yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa pewarna sintetik maupun pewarna alami.



Pewarna sintetik umumnya menggunakan organologam berbasis *Ruthenium kompleks*, DSSC komersial ini telah mencapai efisiensi 10%, namun ketersediaan dan harganya yang mahal membuat adanya alternatif lain pengganti pewarna jenis ini yaitu pewarna alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah.

Pada penelitian ini digunakan ketan hitam (*oryza sativa*), daun bayam merah, bunga rosella, buah naga super merah dan ubi jalar ungu sebagai sumber *dye*. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan organik yang bisa digunakan sebagai molekul *dye* dalam DSSC karena mengandung zat warna antosianin. Antosianin merupakan senyawa yang mampu menyerap cahaya matahari dengan baik, antosianin inilah yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga [1]. Antosianin yaitu suatu zat yang memiliki banyak ikatan  $\pi$ . Semakin banyak ikatan  $\pi$  maka electron yang akan tereksitasi semakin banyak sehingga semakin tinggi efisiensi DSSC yang dihasilkan.

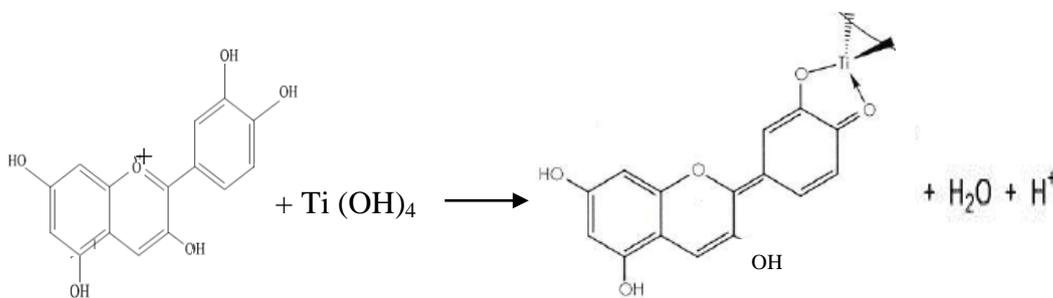
Secara kimia semua antosianin merupakan turunan suatu struktur aromatik tunggal, yaitu sianidin yang semuanya terbentuk dari pigmen sianidin ini dengan penambahan atau pengurangan gugus hidroksil atau dengan metilasi atau glikosilasi. Struktur kimia sianidin ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur sianidin

Dari struktur di atas dapat diketahui bahwa pigmen antosianin memiliki cukup banyak ikatan  $\pi$  terkonjugasi. Ikatan  $\pi$  ini berguna untuk menangkap foton dari cahaya matahari yang mengenai sampel. Daerah yang paling berguna dari spektrum UV adalah daerah dengan panjang gelombang di atas 200 nm yaitu daerah transisi  $\pi$  ke  $\pi^*$  untuk senyawa dengan ikatan rangkap terkonjugasi serta beberapa transisi  $n$  ke  $\sigma^*$  dan  $n$  ke  $\pi^*$ .

Saat molekul antosianin ini berinteraksi dengan  $\text{TiO}_2$  terjadi adsorpsi sianidin ke permukaan  $\text{TiO}_2$ , menggantikan OH dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup sianidin [3], seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Adsorpsi senyawa sianidin pada permukaan  $\text{TiO}_2$  [3]

## PERCOBAAN

### Preparasi Komponen-Komponen DSSC

- Pasta TiO<sub>2</sub> dibuat dengan mencampur TiO<sub>2</sub> degusa P-25 4,5 g dengan polivinil alkohol (PVA) 0,5 g lalu diaduk pada 80 °C dan digerus dengan mortar
- Larutan *dye* dibuat dengan cara masing-masing 50 gram beras ketan hitam, bunga rosrella, daun bayam merah dan buah naga super merah digerus dengan mortar, kemudian direndam dengan larutan methanol : asam asetat : air selama 24 jam.
- Selama perendaman, larutan ekstrak disimpan di tempat gelap dan disaring dengan menggunakan kertas saring whatman
- Larutan elektrolit iodida/triiodida dibuat dengan cara mencampur 0,8 gram potassium iodida dengan 10 ml asetonitril lalu diaduk. Selanjutnya ditambah 0,127 gram Iodin sambil diaduk.
- Counter-Elektroda Karbon dibuat dengan cara melapiskan graphite dari pensil ke TCO pada bagian konduktifnya kemudian dipanaskan pada temperatur 450°C selama 10 menit.

### Pemasangan DSSC

Kaca TCO yang telah dipotong 1,2 x 1,2 cm dibentuk area tempat TiO<sub>2</sub> dideposisikan dengan bantuan *Scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif.

Pasta TiO<sub>2</sub> dideposisikan di atas kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta, lalu dikeringkan selama 15 menit dan dipanaskan pada suhu 450°C.

Lapisan TiO<sub>2</sub> kemudian direndam dalam larutan *dye* selama kurang lebih 24 jam.

Counter-elektroda karbon kemudian diletakkan di atas lapisan TiO<sub>2</sub> dengan

struktur sandwich dimana masing-masing ujung diberi offset sebesar 0,2 cm untuk kontak elektrik. Kemudian agar struktur selnya mantap dijepit dengan klip pada kedua sisi.

Larutan elektrolit kemudian ditetaskan pada ruang diantara kedua elektroda dan sel surya siap untuk diuji.

### Pengujian

#### a. XRD

Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur Kristal dari serbuk katalis TiO<sub>2</sub> dengan mengetahui puncak-puncak sampel dan membandingkan dengan puncak-puncak standar dari Hanawalt index.

#### b. SEM-EDAX

SEM-EDAX digunakan untuk mengetahui morfologi, porositas, komposisi senyawa dan ketebalan film katalis.

#### c. Pengujian Absorpsi Dye

Profil absorpsi dari *dye* dianalisa dengan menggunakan UV-VIS

#### d. Pengujian Arus Listrik

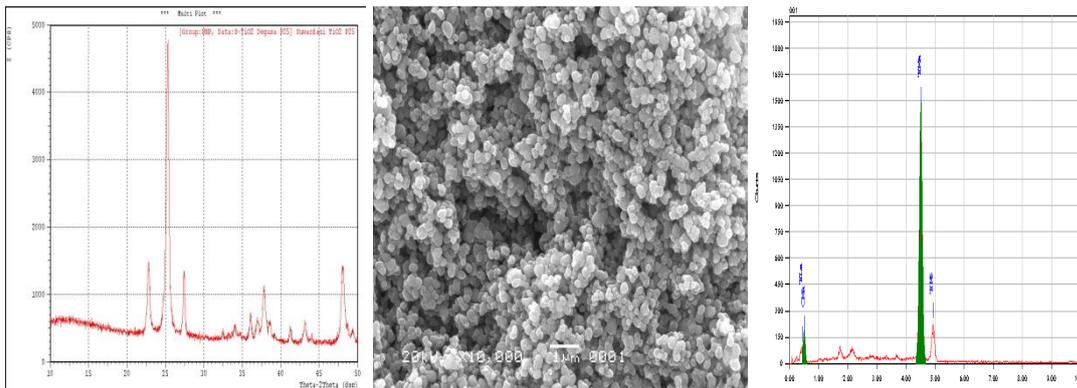
Pada sel surya yang telah dirangkai dilakukan pengujian. Yaitu pengujian langsung tegangan dan arus yang terukur dari sel surya dengan menggunakan multimeter digital. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung.

#### 3. Hasil dan Pembahasan

##### 3.1 Karakterisasi Lapisan DSSC

Sampel yang dikarakterisasi dengan XRD adalah pasta TiO<sub>2</sub> yang telah dikalsinasi pada suhu 450°C yang kemudian digerus menjadi serbuk kembali. Hasil karakterisasi XRD berupa pola difraksi (difraktogram) yang terdiri dari puncak-puncak karakteristik TiO<sub>2</sub>, dapat dilihat pada Gambar 3.





Gambar 3. Hasil Pengukuran XRD dan SEM-EDAX

Puncak-puncak karakteristik  $TiO_2$  sangat jelas muncul pada difraktogram dengan orientasi *prefer* pada sudut  $2\theta = 25,26^\circ$  dengan persentase  $I_n T$  (100%). Puncak-puncak karakteristik berikutnya muncul signifikan berturut-turut pada sudut ( $2\theta$ ) 48,03 (28%); 22,77 (24); 27,40 (20); 37,80 (18%); dan seterusnya. Puncak-puncak  $TiO_2$  ini dominan dengan persentase terbanyak kristal anatase. Dengan membandingkan hasil pengukuran dan kartu interpretasi data dapat diketahui bahwa Kristal yang terbentuk adalah rutil dan anatase. Dari nilai FWHM dan persamaan Scherrer diperoleh ukuran kristal 20,33 nm.

Morfologi permukaan lapisan  $TiO_2$  dan partikel lain pembentuk pori  $TiO_2$  dapat dilihat dengan menggunakan instrumen SEM-EDAX. Hasil permukaan lapisan yang diperoleh relatif rata dan seragam dengan struktur berpori, terisi penuh namun kurang rapat.

Hasil pengukuran EDAX terlihat tidak adanya partikel lain pembentuk struktur nanopori material  $TiO_2$ . Hal ini

menunjukkan bahwa kaca TCO yang digunakan bebas dari partikel lain, serta pelapisan  $TiO_2$  sudah sangat baik. Partikel lain pembentuk struktur nanopori ini biasanya didapat dari bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan kaca konduktif ataupun saat proses pelapisan  $TiO_2$  pada kaca konduktif. Pada hasil karakterisasi sampel terlihat ada tiga buah puncak yang menunjukkan jumlah partikel pembentuk struktur. Namun dari data yang diperoleh diketahui hanya ada dua partikel pembentuk struktur yaitu Ti (75,84 %) dan O (24,26 %). Sedangkan puncak yang satu lagi meskipun tidak diketahui, kemungkinan berasal dari kaca TCO.

### Analisis Sel Surya

Sel surya yang telah dipasang dilakukan pengujian langsung kemampuan konversi energinya dengan iluminansi dari cahaya matahari. Sel surya berhasil mengkonversi energi cahaya matahari menjadi listrik yang ditunjukkan dengan nilai tegangan dan arus listrik.

Tabel 1. Pengukuran Tegangan dan Arus DSSC

Antosianin Dari									
Beras Ketan		Daun bayam		Bunga Rosella		Buah Naga		Ubi Jalar Ungu	
Tegangan (mV)	Arus ( $\mu A$ )	Tegangan (mV)	Arus ( $\mu A$ )	Tegangan (mV)	Arus ( $\mu A$ )	Tegangan (mV)	Arus ( $\mu A$ )	Tegangan (mV)	Arus ( $\mu A$ )
937	468	349,8	87	393,2	109	606	396	521	75



Gambar 4. Hasil Pengukuran Arus dengan multimeter digital

Sel surya (DSSC) berhasil mengkonversi energi surya menjadi listrik yang ditunjukkan dengan nilai tegangan maksimum pada multimeter. Dari keempat sumber antosianin, maka arus terbesar dihasilkan oleh beras ketan hitam. Efisiensi konversi sel surya yang dihasilkan masih rendah dibandingkan dengan hasil-hasil yang diperoleh oleh peneliti-peneliti terdahulu. Untuk sistem sel surya tersensitisasi *dye* alami telah dicapai efisiensi antara 0,3–1,5 % oleh Zhang dalam Maddu [6]. Namun, hasil ini jauh lebih baik daripada hasil yang didapat oleh Maddu yaitu 0,034 %.

Tabel 2. Perbandingan nilai efisiensi sel surya

Efisiensi, $\eta$ (%)				
Beras Ketan	Daun bayam	Bunga Rosella	Buah Naga	Ubi Jalar Ungu
0,405	0,304	0,30	0,240	0,11

Secara keseluruhan kinerja sel surya belum cukup baik, khususnya nilai efisiensi konversi ( $\eta$ ) yang masih sangat kecil (di bawah 1%). Nilai efisiensi yang sangat rendah dikarenakan nilai arus dan tegangan yang sangat kecil. Arus sel surya sangat ditentukan oleh mekanisme transfer dan transpor elektron di dalam sel. Dari analisis hasil pengukuran arus dan tegangan, diyakini bahwa telah terjadi transfer elektron dari antosianin teroksidasi ke dalam lapisan fotoelektroda, namun diperkirakan belum optimal, demikian juga

transfer elektron di dalam lapisan fotoelektroda belum berjalan baik karena hambatan lapisan yang sangat besar. Kedua faktor ini diyakini penyebab utama rendahnya arus dan tegangan listrik yang dihasilkan sehingga efisiensi konversi sel surya rendah.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. *dye-sensitized solar cell* (DSSC) dibuat dengan mengkombinasikan bahan anorganik TiO<sub>2</sub> dengan bahan organik antosianin dari ekstrak beras ketan hitam, daun bayam merah, bunga rosella, buah naga super merah dan ubi jalar ungu.
2. Zat warna Antosianin yang memberikan nilai arus, tegangan dan efisiensi terbaik adalah berasal dari beras ketan hitam dengan nilai tegangan sebesar 937 mV, arus sebesar 468  $\mu$ A dan efisiensi konversi energi surya menjadi energi listrik sebesar 0,405 %

## DAFTAR PUSTAKA

- Suherdiana, Rudi. 2008. Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell Berbasis Nanopori Semikonduktor Anorganik.  
[http://google.com/dye\\_sensitized\\_solar\\_cell.pdf](http://google.com/dye_sensitized_solar_cell.pdf).



- Halme, Jane, 2002. "Dye Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : technical review and preliminary tests". Master Thesis of Helsinki University of Technology.
- Septina, Wilman. 2007. Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell). <http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-wilmansept-32437>.
- Gratzel, Michael. (2003). "Dye-Sensitized Solar Cells", journal of Photochemistry and Photobiology. Vol.4, 145-153.
- Longo, Claudia and Marco-A. De Paoli. 2003. Dye-Sensitized Solar Cells: A Successful Combination of Materials. J. Braz. Chem. Soc., Vol. 14, No. 6, 889-901,
- Maddu, Akhiruddin., Mahfuddin Zuhri, dan Irmansyah. 2007. Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersensitisasi Dye. Bogor: Institut Pertanian Bogor. Jurnal Makara, Teknologi, Vol. 11, No. 2, 78-84
- Harbone, J.B. 1987. Metode fitokimia: Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan. ITB. Bandung.
- Fessenden & Fessenden. 1982. (Aloysius Hadyana Pudjaatmaka: penterjemah). "Kimia Organik Jilid II". Jakarta: Erlangga



