

Penggunaan Bunga Rosela (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Zat Warna pada *Dye Sensitized Solar Cell*

Retno Adi Marwati^a, Abdul Haris^a, Gunawan^{a*}

^a Analytical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

* Corresponding author: gunawan@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
Dye Sensitized Solar Cell, TiO₂, anthocyanin, Roselle flower

Kata kunci:
Dye Sensitized Solar Cell, TiO₂, antosianin, Bunga Rosela

Abstract

A research on the performance of Dye Sensitized Solar Cell on the LCD glass with the sensitizer of the roselle flower (*Hibiscus sabdariffa*) has been conducted. Construction of solar cells used was a sandwich system. The opposite-graphite electrode was placed above the TiO₂-colored roselle flower layer with an electrolyte put between the two electrodes. The characterization of solar cells was tested by electronic absorption analysis on *Impatiens balsamina* L flowers, scanning Electron Microscopy (SEM), X-ray diffraction, infrared absorption and solar cell potential measurements. The maximum wavelength on a rosella flower was 515 nm. The morphology of the TiO₂ thin layer surfaces at 20,000x and 40,000x magnifications showed a cavity-like surface of TiO₂ with a size ranging from 0.1 to 13 nm. The cross section of TiO₂ thin layer displayed homogeneous layers of 3 nm thickness. The diffractogram of TiO₂ thin layer presented the intensity of the diffraction pattern was quite high with the main peak at 2θ at 25.41°; 37.91°; 48.16°; 55.19° and 62.83° with the basal spacings were 3.503 Å; 2.71 Å; 1.888 Å; 1.663 Å and 1.478 Å respectively as anatase crystals with crystal size of 17.366 nm. Research of solar cell system with roselle dye with variation of immersion time for 24 hours and 1 hour each yielded efficiency value of 0.00065% with current 0.035 x 10⁻³ A, voltage of 0.509 V and 0.00022% with current 0,028 x 10⁻³ A and a voltage of 0.293 V.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang performansi *Dye Sensitized Solar Cell* pada kaca LCD dengan *sensitizer* dari bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa*). Konstruksi sel surya yang digunakan adalah sistem *sandwich*. Elektroda lawan-grafit diletakkan di atas lapisan TiO₂-pewarna bunga rosela dengan elektrolit terletak di antara kedua elektroda tersebut. Karakterisasi sel surya dilakukan dengan analisis serapan elektronik pada bunga pacar air merah, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), difraksi sinar X, serapan inframerah, dan pengukuran potensial sel surya. Panjang gelombang maksimum pada bunga rosela sebesar 515 nm. Morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ pada perbesaran 20.000x dan 40.000x menunjukkan permukaan TiO₂ yang berongga-rongga dengan ukuran yang berkisar antara 0,1 - 13 nm. Tampang lintang lapis tipis TiO₂ menunjukkan lapis-lapis homogen dengan ketebalan 3 nm. Pada difraktogram lapis tipis TiO₂ menunjukkan intensitas pola difraksi cukup tinggi dengan puncak utama pada 2θ yaitu 25,41°; 37,91°; 48,16°; 55,19° dan 62,83° dengan jarak antar bidang (*d*) sebesar 3,503 Å; 2,371 Å; 1,888 Å; 1,663 Å dan 1,478 Å sebagai kristal *anatase* dengan ukuran kristal sebesar 17,366 nm. Penelitian sistem sel surya dengan rosela sebagai zat warna dengan variasi waktu perendaman yaitu 24 jam dan 1 jam masing-masing menghasilkan harga efisiensi sebesar 0,00065% dengan arus 0,035.10⁻³ A, tegangan 0,509 V serta 0,00022% dengan arus 0,028.10⁻³ A dan tegangan 0,293 V.

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Saat ini pemenuhan kebutuhan energi baik dunia maupun Indonesia berasal dari energi fosil. Pada penggunaan energi fosil sebagai bahan bakar akan menghasilkan Gas Rumah Kaca (GRK) yang merupakan salah satu penyebab *Global warming*. Sehingga perlu adanya energi alternatif yang bersifat terbarukan yang dapat menggantikan energi fosil dan bebas emisi. Energi terbarukan tersebut antara lain adalah energi surya [1].

Dye-sensitized solar cell (DSSC) yang merupakan sel surya generasi ketiga, diperkenalkan pertama kali oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan dikenal dengan nama Sel Gratzel [2]. Pada DSSC, semikonduktor hanya digunakan sebagai pemisah muatan, dan fotoelektron diperoleh dari zat warna yang sensitif terhadap cahaya. Selain itu, pemisahan muatan tidak terjadi dengan sendirinya oleh semikonduktor, tetapi dibantu oleh peranan elemen ketiga, yakni elektrolit, yang menghubungkan keduanya. Keunggulan DSSC diantaranya mampu bekerja pada kondisi cahaya yang sedikit, sehingga dapat bekerja optimal walaupun dalam kondisi berawan. Keuntungan lain yang dimiliki oleh DSSC adalah harga yang relatif lebih murah dan proses pembuatan yang lebih mudah, meskipun efisiensi yang dihasilkan masih dibawah sel surya berbasis silikon [1].

Penelitian yang dilakukan Septina *dkk.* [3] mengenai pembuatan prototype solar cell murah dengan bahan organik-anorganik (*Dye-sensitized solar cell*). *Dye sensitized* yang digunakan adalah bahan organik sejenis pewarna antosianin dari ekstrak buah delima dan semikonduktor nanopori TiO_2 yang disintesis dengan metoda sol-gel. Penggunaan zat warna yang peka cahaya mempunyai pita serapan lebar pada konjungsi dengan film oksida yang memiliki morfologi nanokristal memungkinkan untuk menangkap fraksi sinar dalam jumlah banyak.

Penelitian yang dilakukan Wongcharee *dkk.* [4] mengenai *dye sensitized* (Pewarna peka terhadap cahaya) menggunakan ekstrak bunga rosela dan bunga ercis biru dalam pembuatan sel surya. Sensitisasi dilakukan dengan menghubungkan interaksi antara pewarna dan permukaan TiO_2 saat penyerapan cahaya. Pada ekstraksi zat warna dilakukan variasi temperatur yaitu 25° , 50° , 75° serta 100°C dengan pelarut 0,1 M HCl. Hasil variasi temperatur diperoleh pada suhu 50°C merupakan temperatur optimum untuk ekstraksi rosela dengan efisiensi 0,52%.

Rosela (*Hibiscus sabdariffa*) termasuk famili *Malvaceae* merupakan tanaman tropis yang sekarang banyak tumbuh di Indonesia. Tumbuhan ini menghasilkan kelopak bunga yang dapat digunakan untuk membuat selai, agar-agar dan jus [5]. Penyelidikan fitokimia terhadap tanaman ini menunjukkan adanya senyawa fenol, antosianin, flavonol. Kelopak bunganya mengandung pigmen merah dari empat antosianin termasuk dephinidin 3-sambubiosida, sianidin 3-

sambubiosida, delphinidin 3-glukosida dan sianidin 3-glukosida.

Penggunaan ekstrak rosela dalam sel surya tersensitizer dikarenakan kemampuan antosianin dalam ekstrak rosela untuk menyerap cahaya dan sebagai donor proton dalam proses transfer elektron. Selain itu, antosianin yang terdapat pada rosela memiliki ikatan =O atau OH sehingga mampu berikatan dengan kisi Ti^{4+} pada permukaan semikonduktor TiO_2 [6].

Dalam penelitian ini, ekstrak pewarna yang digunakan yaitu ekstrak bunga rosela. Ekstraksi rosela menggunakan pelarut metanol : asam asetat : akuades dengan perbandingan volume 25 : 4 : 21. Pada penelitian ini menggunakan TiO_2 teknis serta surfaktan yang dipakai polivinilalkohol (PVA). Dari penelitian ini diharapkan penggunaan TiO_2 teknis mampu menyerap cahaya lebih banyak dengan adanya pewarna dari ekstrak rosela sehingga efisiensi yang dihasilkan cukup besar.

2. Metode Penelitian

Ekstraksi Dye Ekstrak Bunga Rosela

Sebanyak 1,5 gram bunga rosela direndam ke dalam metanol:asam asetat:air (25:4:21 perbandingan volume) sebanyak 10 mL. Kemudian dimaserasi selama 24 jam dan wadahnya ditutup dengan aluminium foil untuk meminimalkan kontak dengan cahaya [3].

Pembuatan Pasta TiO_2

Polivinilalkohol (PVA) sebanyak 0,5 gram ditambahkan ke dalam 4,5 mL air, kemudian diaduk pada temperatur 80°C . Suspensi ini berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta. Langkah selanjutnya, penambahan suspensi tersebut pada bubuk TiO_2 sebanyak kurang lebih 4,5 gam. Kemudian digerus dengan mortar sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan. Derajat kekentalan pasta yang optimal didapatkan dengan mengatur banyaknya pengikat dan bila diperlukan dapat ditambah air pada campuran pengikat dan bubuk TiO_2 [3].

Pembuatan Elektrolit-Polimer

Sebanyak 0,8 gram potassium iodida (KI) dilarutkan ke dalam 10 mL asetonitril kemudian diaduk, ditambahkan 0,127 gram iod (I_2) ke dalam larutan tersebut kemudian diaduk. Larutan disimpan dalam botol tertutup [3]. Sebanyak 7 gram PEG dilarutkan dengan 25 mL kloroform hingga membentuk gel [7], kemudian dimasukkan 5 tetes larutan yang telah dibuat sebelumnya.

Pembuatan Counter Electrode

Sebagai sumber karbon digunakan grafit. Grafit dilapiskan pada bagian penghantar kaca TCO. Kemudian dipanaskan pada temperatur 450°C selama 10 menit, setelah dingin digunakan sebagai *counter electrode* [3].

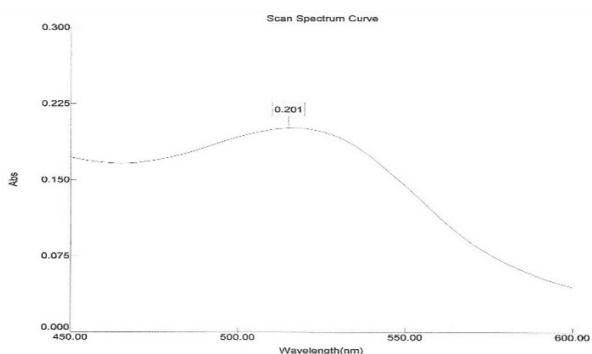
Pembuatan dan Karakterisasi Sel Surya

Elektroda TiO_2 dibuat dengan melapiskan pasta TiO_2 pada kaca TCO dengan ukuran luasan $2 \times 1,5 \text{ cm}^2$, kemudian dua buah elektroda ini direndam dalam larutan

dye masing-masing selama 1 jam dan 24 jam. Kemudian elektrolit polimer dilapiskan pada elektroda TiO₂ yang telah disensitisasi dengan dye dan ditutup dengan counter electrode menjadi struktur sandwich. Sel surya tersebut kemudian diukur arus dan tegangannya dengan multimeter dalam keadaan disinari cahaya matahari.

Karakterisasi komponen pembuatan sel surya meliputi analisis menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dan FTIR pada larutan dye ekstrak bunga rosela untuk mengetahui panjang gelombang maksimum dan serapan gugus fungsional yang ada. Analisis SEM dan XRD pada lapisan tipis TiO₂ yang dihasilkan untuk mengetahui morfologi serta fase kristal TiO₂.

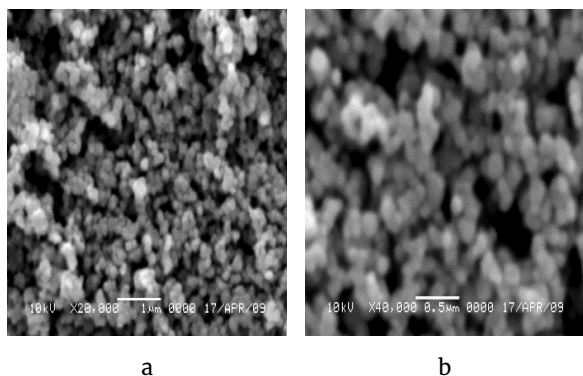
3. Hasil Penelitian



Gambar 1. Spektra serapan UV-Vis ekstrak bunga rosela

Hasil analisis spektra di UV-Vis memperlihatkan bahwa ekstrak rosela menyerap foton pada panjang gelombang maksimum 515 nm dengan absorbansi 0,201. Spektrum serapan ekstrak antonsianin cukup lebar yang mencakup dari pita biru hingga kuning (450–570 nm) dengan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) pada sekitar 515 nm. Hal ini menandakan bahwa pigmen antosianin yang ada pada bunga rosela dapat mengabsorb cahaya dengan panjang gelombang pada daerah spektrum cahaya tampak

Karakterisasi Lapis Tipis TiO₂ dengan metoda SEM



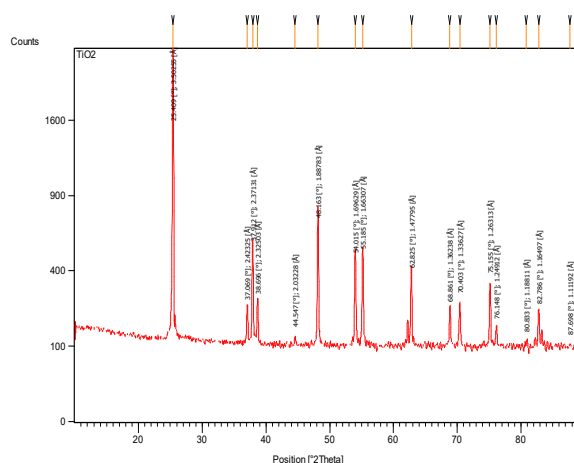
Gambar 2. Morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ perbesaran (a) 20.000 x (b) 40.000 x

Dari hasil SEM lapis tipis TiO₂ disimpulkan bahwa pada pembesaran yang cukup tinggi terlihat morfologi permukaan lapis tipis TiO₂ yang berongga-rongga berkisar antara 0,1 nm sampai dengan 13 nm. Semakin banyak zat warna yang teradsorp secara merata pada

lapis tipis TiO₂ maka semakin banyak jumlah elektron yang dihasilkan sehingga meningkatkan arus yang mengalir pada sistem sel surya.

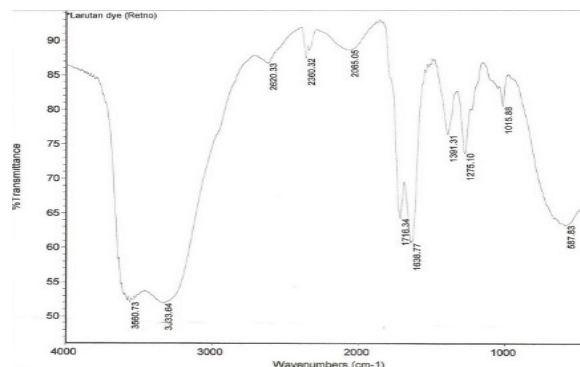
Karakterisasi Lapis Tipis TiO₂ dengan XRD

Data difraktogram lapis tipis TiO₂ menunjukkan ada 3 puncak yaitu pada 2 θ yaitu 25,409°; 38,696° dan 48,162° serta jarak antarbidang (d) sebesar 3,502, 2,325 dan 1,887 Å. Berdasarkan difraktogram diperoleh bahwa puncak tertinggi 25,409 pada TiO₂ tersusun atas kristal anatase, sesuai database JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) 12-1272 yaitu 25,28; 48,047; 37,80; 55,058; 62,686. Jarak antarbidang kristal anatase menurut database sebesar 3.42 Å (JCPDS).



Gambar 3. Difraktogram lapis tipis TiO₂

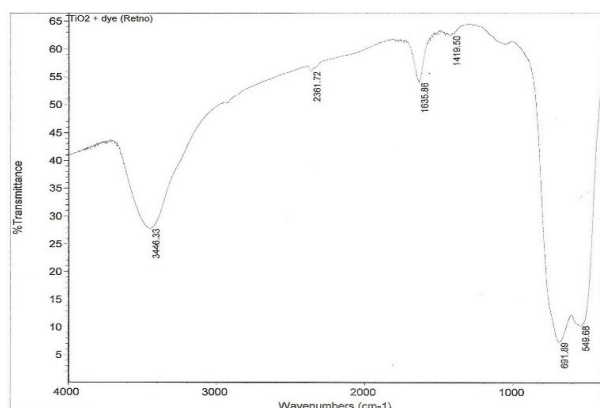
Karakterisasi Serapan Inframerah Rosela



Gambar 4. Spektra inframerah zat warna bunga rosela

Spektra inframerah zat warna bunga rosela pada bilangan gelombang menunjukkan pita kuat lebar di daerah bilangan gelombang 3333,64 cm⁻¹ merupakan gugus OH yang dapat membentuk ikatan hidrogen. Sedangkan pita tajam 1716,34 serta 1638,77 cm⁻¹ menunjukkan rentangan gugus C=C dan C=O. Pita lebar 587,83 cm⁻¹ menunjukkan substitusi atom karbon jenuh pada posisi meta. Sehingga serapan pada daerah 1638,77 cm⁻¹ yang didukung adanya serapan 587,83 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus benzena dengan substitusi pada posisi meta. Adanya gugus C-O ditunjukkan oleh pita tajam pada daerah 1015,88 cm⁻¹. Serapan 1391,31 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus metil

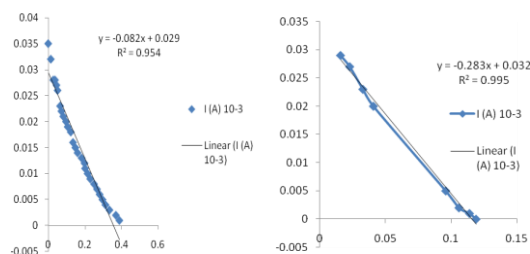
Karakterisasi Serapan Inframerah Lapis Tipis TiO₂-zat warna



Gambar 5. Spektra inframerah lapis tipis TiO₂

Dari spektra inframerah lapis tipis TiO₂ gambar yang diperoleh terdapat beberapa puncak yang muncul pada daerah bilangan gelombang 3446.22, 1635.88, 1419.50 cm⁻¹ serta serapan lebar pada 691.89-549.88 cm⁻¹. Pita kuat lebar pada daerah 3446.22 cm⁻¹ merupakan gugus OH renggang. Sedangkan pita tajam pada 1635.88 cm⁻¹ terdapat gugus C=C. Pita lebar 691.89 cm⁻¹ menunjukkan inti benzena mono tersubstitusi serta pita lebar pada 1419.50 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus alkil. Puncak yang lebar pada 541,83 cm⁻¹ yang muncul pada spektra inframerah diidentifikasi sebagai gugus Ti⁴⁺.

Penentuan Arus-Tegangan pada Sel Surya dengan Variasi Waktu Perendaman Rosella 1 Jam Serta 24 Jam



Tabel 1. Pengukuran arus dan tegangan pada sel surya ekstrak bunga rosela

Hasil Pengukuran	LCD (Perendaman rosela 24 jam)	LCD (Perendaman Rosela 1 jam)
V _{oc} (V)	0,388	0,119
I _{sc} A x 10 ⁻³	0,035	0,029
V _{MPP} (V)	0,128	0,064
I _{MPP} (A) x 10 ⁻³	0,015	0,013
FF	0,14	0,024
P _{MAX} (W)	1,96 x 10 ⁻⁶	8,2 x 10 ⁻⁸
η(%)	0,00063%	0,00027%

Pengukuran arus dan tegangan pada sel surya dari ekstrak bunga rosela sebagai zat warna dengan variasi waktu perendaman ekstra rosela yaitu 1 jam dan 24 jam. Pada perendaman zat warna selama 24 jam diperoleh arus dan tegangan lebih besar dari perendaman selama 1 jam. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu perendaman semakin tinggi konsentrasi molekul

antosianin yang teradsorpsi pada permukaan partikel TiO₂ sehingga penyerapan foton lebih besar dan jumlah injeksi elektron ke dalam partikel TiO₂ semakin banyak.

4. Kesimpulan

Telah dibuat sel surya dengan bunga rosela sebagai zat warna yang mampu menyerap energi matahari pada panjang gelombang maksimum 515 nm.

Karakterisasi lapis tipis TiO₂ menghasilkan permukaan TiO₂ tersusun atas kristal anatase dengan puncak difraksi 25, 409 Å serta mempunyai rongga sebesar 0,1-13 nm dan lapisan penampang lintang yang homogen dengan ketebalan 3 nm.

Arus dan tegangan yang dihasilkan pada sel surya dengan variasi waktu perendaman rosela selama 1 jam serta 24 jam masing masing yaitu 0,029.10⁻³ A, 0,119 V dan 0,035.10⁻³ A, 0,388 V dengan efisensi 0,00027%, serta 0,00063%.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. K. Deb, R. Ellingson, S. Ferrere, A. J. Frank, B. A. Gregg, A. J. Nozik, N. Park, G. Schlichthörl, A. Zaban, Photochemical solar cells based on dye-sensitization of nanocrystalline TiO₂, *AIP Conference Proceedings*, 462, 1, (1999) 473-482 <https://doi.org/10.1063/1.57993>
- [2] Michael Grätzel, All surface and no bulk, *Nature*, 349, (1991) 740 <http://dx.doi.org/10.1038/349740a0>
- [3] Wilman Septina, Dimas Fajarisandi, Dimas Aditia, Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell), in: Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi Penghargaan P.T. Rekayasa Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2007.
- [4] Khwanchit Wongcharee, Vissanu Meeyoo, Sumaeth Chavadej, Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 7, (2007) 566-571 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2006.11.005>
- [5] Vilasinee Hirunpanich, Anocha Utaipat, Noppawan Phumala Morales, Nuntavan Bunyapraphatsara, Hitoshi Sato, Angkana Herunsale, Chuthamane Suthisisang, Hypocholesterolemic and antioxidant effects of aqueous extracts from the dried calyx of Hibiscus sabdariffa L. in hypercholesterolemic rats, *Journal of Ethnopharmacology*, 103, 2, (2006) 252-260 <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.08.033>
- [6] Andreas Kay, Michael Grätzel, Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 44, 1, (1996) 99-117 [https://doi.org/10.1016/0927-0248\(96\)00063-3](https://doi.org/10.1016/0927-0248(96)00063-3)
- [7] Akhiruddin Maddu, Kiagus Dahlan, Irmansyah, Pengembangan Sel Surya Fotoelektrokimia, in: Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2003.