

PENGARUH PELARUT METANOL DAN PELARUT METANOL-ASAM ASETAT-AIR TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* DARI EKSTRAK BUNGA ROSELA (*Hibiscus sabdariffa*)

Prestysiana Ariane Dewi, Gunawan, Abdul Haris
Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Diponegoro

ABSTRAK—Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh pelarut metanol dan pelarut metanol-asam asetat-air terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* dengan menggunakan bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa*) sebagai *sensitizer*. Konstruksi sel surya yang digunakan adalah sistem *sandwich*. Elektroda perlawanan diletakkan di atas lapisan TiO_2 dengan elektrolit padat berbasis gel polimer PEG terletak di antara kedua elektroda tersebut. Karakterisasi sel surya dilakukan dengan analisis serapan elektronik pada bunga rosela, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), difraksi sinar X, dan pengukuran arus-tegangan sel surya. Panjang gelombang maksimum ekstrak bunga rosela dari hasil maserasi dengan pelarut metanol sebesar 508,5 nm sedangkan untuk ekstrak rosela hasil maserasi dengan pelarut campuran metanol-asam asetat-air sebesar 524,5 nm. Morfologi permukaan TiO_2 pada perbesaran 10000x menunjukkan permukaan TiO_2 yang berongga-rongga dengan ukuran berkisar 69,56-347,82 nm, dan penampang lintang menunjukkan ketebalan 39,05 μm . Pada difraktogram lapis tipis TiO_2 menunjukkan intensitas pola difraksi cukup tinggi dengan puncak utama pada 2θ yaitu 29,57 dengan jarak antar bidang (d) sebesar 3,5074 Å. Efisiensi yang dihasilkan untuk sistem sel surya dengan menggunakan *dye* hasil maserasi dengan pelarut metanol lebih besar sebesar $4,65 \cdot 10^{-4} \%$, dan untuk sistem sel surya dengan menggunakan *dye* hasil maserasi dengan pelarut metanol-asam asetat-air sebesar $3,58 \cdot 10^{-4} \%$.

ABSTRACT—Research on The influence of methanol and methanol-acetic acid-water solvents on efficiency of *Dye Sensitized Solar Cell* using rosella flower (*Hibiscus sabdariffa*) as *sensitizer* has been done. Construction of solar cell used was a sandwich system. Counter electrode was placed in the top layer of TiO_2 with gel-based solid polymer electrolyte PEG lied between these two electrodes. Solar cell characterization has been evaluated with UV-Vis spectrometer in rosella flower, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), X-ray diffraction, and the measurement of current-voltage solar cell. The maximum wavelength of rosella flower's extracts by maceration with methanol was at 508,5 nm while for the rosella's extract by maceration with solvent mixture of methanol-acetic acid-water was at 524,5 nm. Surface morphology of TiO_2 at 10000x magnification shows the surface of TiO_2 cavities with the size range of 69,56-347,82 nm, and cross section showing the thickness of 39,05 μm . In the thin layer of TiO_2 diffractogram shows high intensity diffraction pattern with main peaks at 2θ of 29,57 with a plane spacing (d) of 3,5074 Å. Efficiency for solar cell using *dye* with methanol more bigger are $4,65 \cdot 10^{-4} \%$ than solar cell using *dye* with methanol-acetic acid-water are $3,58 \cdot 10^{-4} \%$.

Key words: Dye Sensitized Solar Cell, TiO₂, rosella flower, methanol solvent, methanol-acetic acid-water solvents

PENDAHULUAN

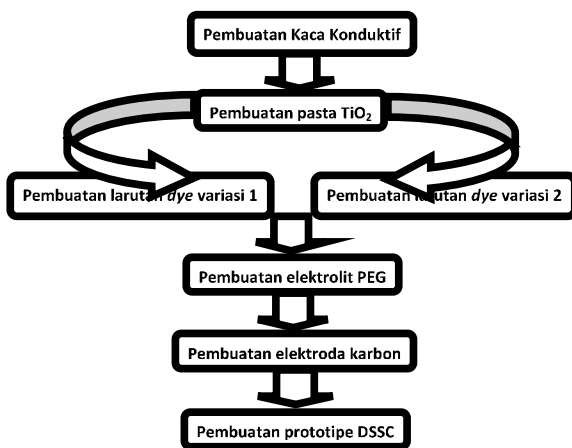
Kebutuhan energi saat ini semakin meningkat, sedangkan bahan bakar energi seperti bahan bakar fosil semakin menipis persediaannya dan juga membutuhkan waktu lama untuk memperbaharui. Energi alternatif sel surya sesuai untuk menggantikan bahan bakar fosil, namun saat ini sel surya yang digunakan masih berbasis silikon. Kelemahan dari sel surya berbasis silikon ini adalah proses fabrikasi yang mahal. Sel surya TiO_2 tersensitisasi *dye* dikembangkan sebagai konsep alternatif piranti fotovoltaik konvensional. Beberapa keuntungan sistem

sel surya tersensitisasi *dye* ini adalah proses pabrikasinya lebih mudah dan sederhana tanpa menggunakan peralatan canggih dan mahal sehingga dapat ditekan biaya pembuatannya, disamping itu bahan dasarnya mudah diperoleh di pasaran dan relatif lebih murah (Hao dkk, 2004). Sistem sel surya ini pertama kali dikembangkan oleh Grätzel *et.al.* (1991) sehingga disebut juga sel Grätzel. Efisiensi konversi yang dihasilkan dari sel surya TiO_2 tersensitisasi *dye* telah mencapai 10-11% (Schmidt-Mende dan Grätzel, 2006).

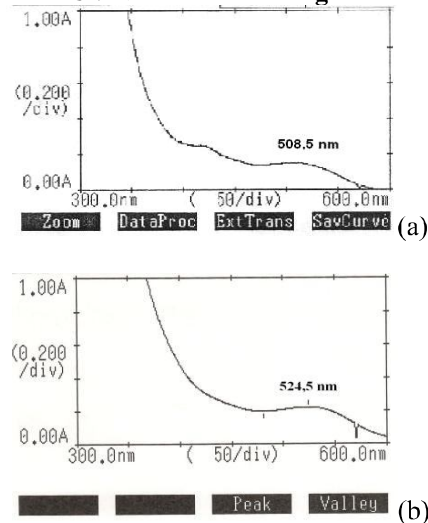
Sejauh ini *dye* yang digunakan sebagai sensitizer baik berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. *Dye* sintesis umumnya menggunakan ruthenium kompleks, *dye* sintesis ini cukup mahal. Sedangkan *dye* alami dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah. Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi *dye*. Sebuah kelompok peneliti di Jepang (Garcia dkk, 2003) telah mencoba lebih dari dua puluh jenis *dye* alami dari ekstrak tumbuhan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya ini, diantaranya adalah kol merah, kunyit, teh hijau, dan sebagainya. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer berupa ekstrak klorofil (Wang dkk, 2006) karoten (Wang dkk, 2006) dan antosianin (Dai dan Rabani, 2002).

Dalam penelitian ini sel surya yang dikembangkan menggunakan *dye* alami dari ekstrak bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa*). Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai pengaruh pelarut yang digunakan untuk mengekstrak *dye* baik berupa pelarut tunggal seperti etanol, air (Wongcharee dkk, 2006) maupun pelarut campuran seperti metanol-asam asetat-air (Maddu dkk, 2007). Dalam penelitian ini dikembangkan yaitu dengan membandingkan pelarut yang digunakan untuk mengekstrak antara pelarut tunggal (metanol) dengan pelarut campuran (metanol-asam asetat-air).

METODE PENELITIAN



HASIL PENELITIAN
Spektra UV-Vis Ekstrak Bunga Rosela

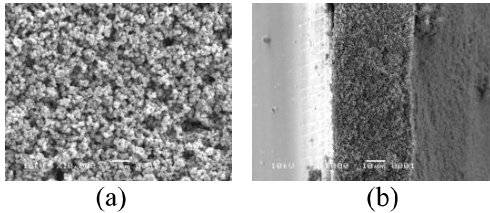


Gambar 1. Hasil UV-Vis ekstrak bunga rosela dengan menggunakan pelarut metanol (a) dan menggunakan pelarut metanol asam asetat-air (b)

Dari gambar 1 (a) diperoleh hasil bahwa puncak panjang gelombang maksimum dari ekstrak bunga rosela sebesar 508,5 nm. Larutan *dye* hasil ekstraksi berwarna merah tua dikarenakan antosianin pada suasana asam akan membentuk warna merah sesuai dengan kesetimbangan struktur antosianin yang tergantung oleh nilai pH (Nassau, 1983). Pada panjang gelombang 508,5 nm pigmen antosianin dapat menyerap energi cahaya lebih banyak. Pelarut campuran dibuat dari campuran antara metanol-asam asetat-air dengan perbandingan volume 25:4:21. Pada perbandingan tersebut lebih dominan pada pelarut polar karena senyawa antosianin bersifat polar (Cherepy, 1997). Pada gambar 1 (b) diperoleh hasil bahwa puncak gelombang maksimum dari ekstrak bunga rosela sebesar 524,5 nm. Hasil panjang gelombang yang diperoleh dari ekstrak bunga rosela menggunakan pelarut campuran (metanol-asam asetat-air) tidak jauh berbeda dengan hasil panjang gelombang yang diperoleh dari ekstrak yang hanya menggunakan pelarut tunggal (metanol), hanya terjadi pergeseran pada panjang gelombangnya. Dalam pelarut-pelarut yang lebih polar serapan bergeser ke panjang gelombang yang panjang (pergeseran

batokromik) (Sastrohamidjojo, 2001). Panjang gelombang dari *dye* yang menggunakan pelarut tunggal lebih pendek dari panjang gelombang yang dihasilkan pada *dye* yang menggunakan pelarut campuran.

Karakterisasi Lapis Tipis TiO₂ dengan metode SEM



Gambar 2. Permukaan TiO₂ hasil pencitraan SEM pada perbesaran 10000 kali (a). Penampang lintang TiO₂ hasil pencitraan SEM perbesaran 1000 kali (b).

Analisis karakteristik bentuk permukaan dan ketebalan lapis tipis TiO₂ ditentukan dengan metode SEM. Hasil yang didapatkan dari analisis adalah bentuk permukaan lapis tipis adalah berongga-rongga dengan ukuran rongga berkisar antara 69,56 nm-347,8 nm. Rongga pada permukaan lapis tipis berfungsi dalam absorpsi molekul antosianin ke TiO₂. Jumlah dan luas rongga mempengaruhi efektivitas adsorpsi molekul zat warna antosianin ke dalam permukaan lapis tipis TiO₂ (Lee dkk, 2007).

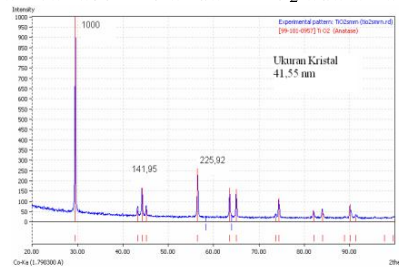
Analisis ketebalan lapis tipis TiO₂ dilakukan dengan cara mengukur ketebalan penampang lintang dari lapis tipis TiO₂ tersebut. Penampang lintang TiO₂ dari hasil pencitraan SEM mempunyai ketebalan sebesar 39,05 μm. Ketebalan penampang lintang TiO₂ juga mempengaruhi keefektifitasan aliran elektron dalam rangkaian. Semakin tipis lapisan dari TiO₂ maka semakin efektif kinerja dari DSSC.

Karakterisasi Lapis Tipis TiO₂ dengan XRD

Karakteristik fase kristal TiO₂ dengan metode difraksi sinar X (XRD) bertujuan untuk mengetahui fase kristal dari TiO₂ MERCK yang digunakan dalam pembuatan DSSC. Difraktogram hasil

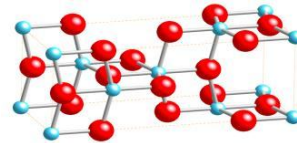
analisis kemudian dibandingkan dengan data standar primer TiO₂ dari JCPDS.

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa fase kristal dari TiO₂ adalah anatase.



Gambar 3. Difraktogram TiO₂ hasil analisis

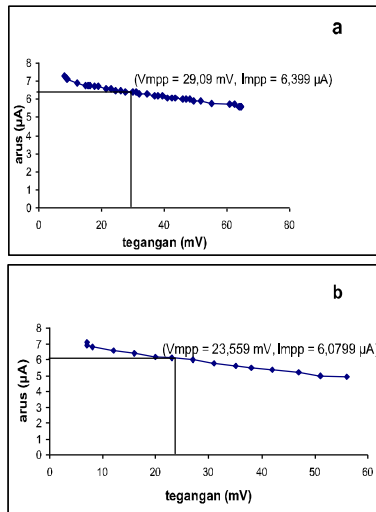
Pada jurnal penelitian sebelumnya digunakan TiO₂ Degussa yang komposisinya 80% adalah kristal anatase (Smestad, 1998). Fase kristal TiO₂ anatase paling efektif digunakan dalam pembuatan lapis tipis DSSC karena luas permukaan yang mampu menghasilkan daya adsorpsi yang efektif terhadap molekul pewarna dan fase kristalnya stabil pada suhu rendah.



Gambar 4. Struktur Kristal Anatase

Penentuan Efisiensi DSSC

Penentuan efisiensi DSSC dilakukan dengan metode kurva arus dan tegangan. Tujuannya adalah untuk mengetahui keefektifan dari suatu susunan komponen DSSC dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dinyatakan dalam persen. Pengujian sel surya dilakukan dengan menghubungkan sel surya pada potensiometer dengan nilai resistansi yang diubah-ubah. Variasi nilai resistansi atau hambatan ini dilakukan untuk menentukan besaran-besaran yang dibutuhkan dalam pengukuran efisiensi DSSC. Besaran tersebut adalah tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung pendek (I_{sc}), tegangan optimum (V_{mpp}), arus optimum (I_{mpp}) dan fill factor (FF).



Gambar 5. Kurva arus-tegangan DSSC dengan zat warna hasil maserasi menggunakan pelarut metanol (a) dan dengan zat warna hasil maserasi menggunakan pelarut metanol-asam asetat-air (b)

Dari pengukuran kurva arus tegangan dengan P_{cahaya} sebesar 10 mW/cm^2 dan luasan aktif sel surya adalah 4 cm^2 diperoleh hasil pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus-Voltase Sel Surya

Subs trat DSS C	V_{oc} (V) x 10^{-3}	I_{sc} (A) x 10^{-6}	FF	P_{MAX} (w)	η (%)
varia si 1	64,4	7,3	0,39 59	$1,86 \times 10^{-7}$	$4,65 \cdot 10^{-4}$
varia si 2	56	7,1	0,36 03	$1,43 \times 10^{-7}$	$3,58 \cdot 10^{-4}$

Keterangan :

variasi 1 : sistem sel surya menggunakan *dye* hasil maserasi dengan pelarut metanol
 variasi 2 : sistem sel surya menggunakan *dye* hasil maserasi dengan pelarut metanol-asam asetat-air

Nilai efisiensi yang diperoleh dalam penelitian ini sangat kecil yaitu $4,65 \cdot 10^{-4} \%$ untuk sel surya dengan *dye* hasil maserasi menggunakan pelarut metanol dan $3,58 \cdot 10^{-4} \%$ untuk sel surya dengan *dye* hasil maserasi menggunakan pelarut metanol-asam asetat-air. Hal ini berbeda jauh dengan nilai

efisiensi dalam penelitian pembuatan DSSC menggunakan senyawa antosianin dari buah beri hitam oleh Ali (2007) yaitu sebesar 1%. Banyak faktor yang menyebabkan nilai efisiensi sangat kecil. Faktor tersebut antara lain teknik preparasi kaca konduktif yang dibuat sendiri memiliki nilai hambatan yang sangat besar, idealnya TCO memiliki nilai hambatan antara $10\text{-}30 \Omega$ (Smestad and Gratzel, 1998). Keterbatasan sensitisasi yang dilakukan oleh molekul antosianin ke pita konduksi TiO_2 juga mempengaruhi besarnya nilai efisiensi.

Secara keseluruhan, senyawa antosianin dapat digunakan sebagai senyawa persensitisasi alternatif pengganti kompleks rutenium pada DSSC karena mampu menyerap gelombang tampak polikromatik, dapat berinteraksi dengan TiO_2 dan dapat mengeksitasi elektron yang kemudian menghasilkan arus listrik meskipun dengan nilai efisiensi yang sangat kecil.

Pengaruh Penggunaan Pelarut Metanol dan Pelarut Campuran Metanol-Asam Asetat-Air Untuk Mengekstrak Dye Terhadap Sistem DSSC

Pelarut yang digunakan untuk mengekstraksi zat warna mempengaruhi efisiensi dari sistem DSSC (Polo, 2006). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi dari sel surya yang menggunakan zat warna hasil maserasi dengan pelarut metanol lebih besar yaitu sebesar $4,65 \cdot 10^{-4} \%$ dibandingkan dengan sel surya yang menggunakan zat warna hasil maserasi dengan pelarut campuran (metanol-asam asetat-air) yaitu sebesar $3,58 \cdot 10^{-4} \%$. Hal ini dikarenakan pada pelarut campuran yang terdiri dari pelarut metanol, asam asetat dan air lebih polar dibandingkan dengan pelarut tunggal yang mengakibatkan panjang gelombang pada UV-Vis mengalami pergeseran panjang gelombang yang lebih panjang atau disebut juga dengan pergeseran batokromik (pergeseran merah) (Sastrohamidjojo, 2001). Panjang gelombang untuk senyawa antosianin berkisar antara $475\text{-}560 \text{ nm}$ (Harborne, 1987). Terjadinya pergeseran pada panjang gelombang ini mempengaruhi energi foton yang diserap,

sesuai dengan persamaan $E = \frac{hc}{\lambda}$. Energi

foton yang diserap mempengaruhi proses eksitasi elektron dari senyawa antosianin. Energi yang diserap oleh senyawa antosianin hasil maserasi dengan pelarut metanol lebih besar sebesar $3,91 \times 10^{-19}$ J, sedangkan energi yang diserap oleh senyawa antosianin hasil maserasi dengan pelarut campuran sebesar $3,79 \times 10^{-19}$ J, sehingga elektron pada senyawa antosianin lebih banyak mengalami eksitasi. Semakin banyak elektron yang tereksitasi, maka semakin bagus untuk proses sistem sel surya. Dispersi dari molekul *dye* hasil maserasi dengan pelarut metanol pada permukaan oksida lebih baik daripada dispersi dari molekul *dye* hasil maserasi dengan pelarut campuran metanol-asam asetat-air, sehingga dapat meningkatkan sistem efisiensi. Seperti halnya pada penelitian sebelumnya yang membandingkan antara pelarut etanol dengan pelarut air yang menunjukkan bahwa pada sistem DSSC dengan *dye* hasil maserasi menggunakan pelarut etanol memberikan nilai efisiensi yang lebih tinggi daripada dengan menggunakan pelarut air dikarenakan dispersi dari molekul *dye* hasil maserasi dengan pelarut etanol lebih baik dari pelarut air sehingga dapat meningkatkan sistem efisiensinya (Wongcharee, 2006).

SIMPULAN

1. Senyawa antosianin dari bunga rosela dapat digunakan sebagai pewarna peka cahaya (*dye sensitizer*) alternatif pada rangkaian DSSC.
2. Hasil ekstrak dari maserasi rosela dengan menggunakan pelarut tunggal (metanol) menghasilkan nilai efisiensi yang lebih besar sebesar $4,65 \cdot 10^{-4}$ % dibandingkan dengan hasil ekstrak dari maserasi rosela dengan menggunakan pelarut campuran (metanol-asam asetat-air) sebesar $3,58 \cdot 10^{-4}$ % pada rangkaian DSSC.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ali, S., 2007, *Biomimicry in Solar Conversion With Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Photovoltaic Cells*, Oberlin College, Ohio
2. Bowerman, B., dan Fthenakis, V., 2001, *EH&S Analysis of Dye Sensitized Photovoltaic Solar Cell Production*, New York
3. Brammer, T., 2004, Nanostructured Titania Dye Sensitized Solar Cell: Study of Effects of Variations in The TiO₂ Film Thickness and Dyeing Times, *Disertasi*, The University of Queensland, Queensland
4. Brown, D.W., Floga, A.J., and Sainsbury, M. 1998. *Organic Chemistry*. John Wiley and Sons. New York.
5. Cherepy, N.J., Smestad, G.P., Grätzel, M., dan Zhang, J.Z., 1997, Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode, *Journal of Physical Chemistry*, vol.101, 9342-9351
6. Dai, Q., dan Rabani, J., 2002, *Journal Photochemistry Photobiology. A : Chem.* vol.148, 17
7. Fernando, J.M.R.C., dan Senadeera, G.K.R., 2008, Natural Anthocyanins as Photosensitizer for Dye-Sensitized Solar Devices, *Journal of Current Science*, vol.95, 663-666
8. Flohr, M.J.K., 1997, X-Ray Powder Diffraction, *United States Geological Survey*, Unites States of America
9. Fujimaki, H., dan Watanabe, M., 2007, Dye Sensitized Solar Cell, *US Patent Application Publication*, Washington DC
10. Garcia, C.G., Polo, A.S., dan Iha, N.Y.M., 2003, *Journal Photochemistry Photobiology. A : Chem*, 160, 87
11. Goldstein, G.I., Newbury, D.E., Echlin, P., Joy, D.C., Fiori, C., dan Lifshin, E., 1981, *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Plenum Press, New York
12. Grätzel, M. and R. Durrant, 2006, *Dye-Sensitized Mesoscopic Solar Cells*, chapter 8, 503-536

13. Grätzel, M., 2008, Dye Sensitized Solar Cells, *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, vol.4, 145-153
14. Hao, S., Wu, J., Fan, L., Huang, Y., Lin, J., dan Wei, Y., 2004, *Solar Energy*, chapter 76, 745
15. Harborne, J.B., 1987, Metode Fitokimia, *Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*, Terbitan Kedua, ITB, Bandung
16. Harvey, D., 2000, *Modern Analytical Chemistry*, International edition, McGraw-Hill Companies, United States of America
17. [Http://id.wikipedia.org/wiki/Rosela](http://id.wikipedia.org/wiki/Rosela)
18. Joseph, J., Son, K.M., Vittal, R., Lee, W., dan Kim, K.-J., 2006, *Semiconductor Science Technology*, vol.21, 697
19. Lee, J.W., Hwang, K.J., Shim, W.G., Park, K.H., Gu, H.B., dan Kwun, K.H., 2007, Energetics Surface Hetrogenity of Nanocrystalline TiO₂ Films for Dye-Sensitized Solar Cell, *Korean Journal Chemical Engineering*, vol.24, 847-850
20. Schmidt-Mende, L., dan Grätzel, M., 2006, *Solid Films* 500, 296
21. Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., Qiu, Y., 2006, *Solar Energy Material Solar Cells*, vol.90, 549
22. Maddu, A., Zuhri, M., dan Irmansyah., 2007, Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye, *Makara Teknologi*, vol.11, 78-84
23. Muñoz-Espada, A.C., Wood, K.V., Bordellon, B., dan Watkins, B.A., 2004, Anthocyanin Quantification and Radical Scavenging Capacity of Concord, Norton, and Marechal Foch Grapes and Wines, *Journal Agricultural and Food Chemistry*, vol.52, 6779-6786
24. Nassau, K., 1983, *The Physics and Chemistry of Color*, John Wiley and Sons, United States of America
25. Pandey, A., dan Samaddar, A.B., 2006, Dye Sensitized Photovoltaic Devices: An Answer to The Daunting Challenge of Future Energy Crisis, *Advances in Energy Research (AER)*, 497-502
26. Park, N.G., van Lagemaat, J., dan Frank, A.J., 2000, Comparison of Dye-Sensitized Rutile-and Anatase-Base TiO₂ Solar Cells, *Journal of Physical Chemistry*, vol.104, 8989-8994
27. Phani, G., Tulloch, G., Vittorio, D., dan Skryabin, I., 2001, Titania Solar Cells: New Photovoltaic Technology, *Journal of Renewable Energy*, vol.22, 303-309
28. Polo, A.S., Iha, N.Y., 2006, *Solar Energy Material Solar Cells*, vol.90, 1936
29. Sastrohamidjojo, H., 2001, *Spektroskopi*, Liberty, Yogyakarta
30. Schmidt-Mende, L., dan Grätzel, M., 2006, *Thin Solid Films*, chapter 500, 296
31. Sentanin, F.C., Pawlicka, A., dan Avellaneda, C.O., 2006, Optical and Electrochemical Properties of SnO₂: Sb Thin Films Prepared by The Sol-Gel Process, *Mol.Crystal Liquid Crystal*, vol.447, 243-250
32. Septina, W., Fajarisandi, D., dan Aditia, M., 2007, Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye Sensitized Solar Cell), *Laporan Penelitian Bidang Energi*, Institut Teknologi Bandung
33. Zhang, D., Yamamoto, N., Yoshida, T., Minoura, H., 2002, *Transac. Mater. Res. Soc. Japan*, vol 27, 811
34. Smestad, G.P., dan Grätzel, M., 1998, Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter, *Journal of Chemical Education*, vol.75, 752-756
35. Smith, B.C., 1996. *Fundamental of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, LOGAMC Press. Boca Raton.
36. Smith, D.K., Bayliss, P., dan Robert, C., 1999, Mineral Classification in The Mineral

- Powder Diffraction File, *JCPDS-International Centre for Diffraction Data*, 606-613
35. Sudjadi, E.P., dan Sakti., 2005, *Pengaturan Cahaya Lampu Sebagai Fotosintesis Phytoplankton Buatan dengan Menggunakan Mikrokontroler At89s52*, Jurusan Teknik Elektro, Undip, Semarang
36. Sze, S.M., 1981, *Physics of Semiconductor Devices*, second edition, chapter 14, John Wiley and Sons, United States of America
37. Wan, H., 2004, Dye Sensitized Solar Cells, *Literatur Seminar*, Department of Chemistry University of Alabama
38. Wang, T., dan Cizek, T.F., 2004, *Purified Silicon Production System*, Midwest, Kansas City
39. Wang, X.F., Matsuda, A., Koyama, Y., Nagae, H., Sasaki, S.I., Tamiaki, H., dan Wada, Y., 2006, *Chemical Physics. Lett.* vol.423, 470.
40. Wang, X.F., Xiang, J., Wang, P., Koyama, Y., Yanagida, S., Wada, Y., Hamada, K., Sasaki, S.I., dan Tamiaki, H., 2006, *Chemical Physics. Lett.* vol.408, 409
41. Wongcharee, K., Meeyo, V., dan Chavadej, S., 2006, Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted from Rosella and Blue Peas Flowers, *Elsevier B.V*
42. Yong, L., Hui, S., Xiaorui, H., dan Youjun, D., 2006, A New Improved Structure of Dye Sensitized Solar Cell With Reflection Film, *Chinese Science Bulletin*, vol.51, 369-373
43. Zhang, D., Yamamoto, N., Yoshida, T., Mnoura, H., 2002, *Transac.Material.Res.Soc.Japan*, chapter 27, 811
-
-

