



Dye Sensitized Solar Cell Nanokristal TiO₂ Menggunakan Ekstrak Antosianin *Melastoma malabathricum* L

Dye Sensitized Solar Cell Nanocrystal TiO₂ using pigment Antosianin from *Melastoma malabathricum* L

Satrio Amrullah^{*}), Darmawati Darwis dan Iqbal

Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Tadulako

ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a new generation of solar cells that are growing because of the need for cheap and environmentally friendly solar cells. DSSC consists of two types of molecules that work based on the principles of photoelectrochemistry, dye molecules as light absorbing agents and semiconductor molecules as a place of charge separation. This study aims to create and analyze the utilization of anthocyanin dye extract *Melastoma malabathricum* L as a sensitizer on DSSC solar cells based on TiO₂ nanoparticles. The research methods include the manufacturing process of TiO₂ nanoparticles, extraction of anthocyanin *Melastoma malathricum* L, assembly DSSC and testing of I-V characteristic solar cell. The results showed that DSSC had an ideal characteristic with Voc output voltage 125 mV, Isc strength of 1.3 μA, maximum power 0,049 mW/cm², fill factor 31% and efficiency level of 0.4%.

Keywords: *Anthocyanin, DSSC, Melastoma malabathricum L., Solar cell, TiO₂*

ABSTRAK

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya generasi baru yang berkembang karena kebutuhan akan sel surya yang murah dan ramah lingkungan. DSSC bekerja berdasarkan prinsip fotoelektrokimia dengan dye sebagai agen penyerap cahaya dan semikonduktor sebagai tempat separasi muatan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat serta menganalisis pemanfaatan ekstrak *dye* antosianin *Melastoma malabathricum* L sebagai *sensitizer* pada sel surya DSSC berbasis nanopartikel semikonduktor TiO₂. Metode penelitian meliputi proses pembuatan nanopartikel TiO₂, ekstraksi antosianin *Melastoma malathricum* L, perangkaian sel surya dan pengujian karakteristik I-V dari sel surya DSSC yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan sel surya DSSC berbasis TiO₂ berbahan *dye* antosianin *Melastoma malabathricum* L memiliki kemampuan untuk menghasilkan energi listrik. Nilai parameter karakteristik I-V yang dihasilkan ialah yakni Voc sebesar 125 mV, kuat arus Isc sebesar 1,3 μA, daya maksimal 0,049 mW/cm², *fill factor* sebesar 31% dan tingkat efisiensi sebesar 0,4%.

Kata Kunci : *Antosianin, DSSC, Melastoma malabathricum L., Sel surya, TiO₂*

Corresponding author: satrioamrullah@gmail.com (ph/fax: +62-857-96362494)

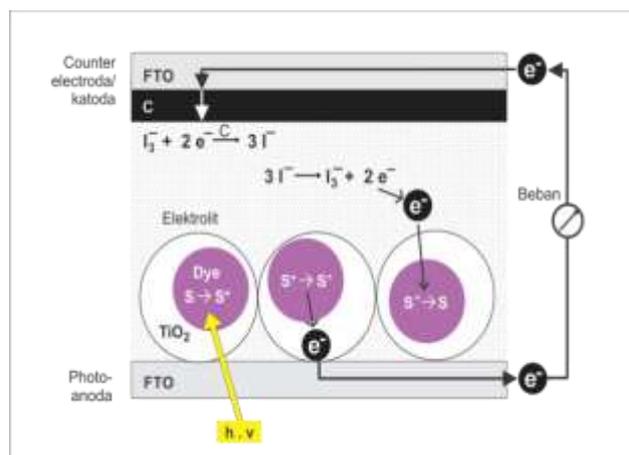
LATAR BELAKANG

Menipisnya cadangan sumber energi fosil membuat manusia mencari sumber energi alternatif, salah satunya ialah sel surya. Namun demikian, sel surya yang beredar di masyarakat saat ini umumnya merupakan sel surya berbasis silikon yang cenderung mahal, proses fabrikasinya sulit serta kurang ramah lingkungan (Septiana dkk, 2007). Oleh karenanya perlu inovasi untuk mencari dan menemukan sel surya generasi baru.

Pada tahun 1991 O'Regan dan Grätzel memperkenalkan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), suatu inovasi sel surya yang menggunakan bahan material semikonduktor tak murni yang memiliki *band gap* lebar seperti TiO_2 , ZNO, CdS, dll sebagai donor elektron dan molekul pewarna (*dye*) sebagai agen penyerap foton (Septiana dkk, 2007). Sejak saat itu berbagai penelitian seputar DSSC terus dilakukan. Diantaranya menemukan jenis bahan semikonduktor terbaik atau menemukan jenis dye terbaik untuk aplikasi DSSC.

Mekanisme kerja DSSC dapat dilihat pada Gambar 1. Foton yang datang diabsorpsi oleh molekul *dye* yang teradsorpsi pada permukaan kristal nanopartikel TiO_2 dan elektron dari keadaan dasar S tereksitasi ke keadaan yang lebih tinggi S^* . Elektron yang

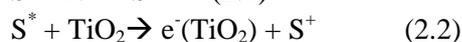
terekstasi diinjeksi ke dalam pita konduksi partikel TiO_2 meninggalkan molekul dye kedalaam keadaan teroksidasi S^+ . Elektron yang terinjeksi melewati struktur nanokristal menuju lapisan konduksi transparan yang terbuat dari bahan gelas (elektroda negatif) dan akhirnya melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan (elektroda positif). Elektron akan mereduksi sebuah donor yang teroksidasi dalam elektrolit. Dan siklus ini ditutup dengan penerimaan elektron dari donor tereduksi (I^3^-) pada molekul dye yang teroksidasi dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal S (Halme, 2012).



Gambar 1. Mekanisme kerja DSSC (Hug et al, 2014)

Keterangan: Mekanisme kerja yang terjadi pada piranti DSSC hingga mampu mengubah energi cahaya menjadi energi listrik

Rangkaian reaksi kimia yang terjadi pada DSSC adalah (Halme, 2012):





Sejauh ini dye yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa dye sintesis maupun dye alami. Dye sintesis umumnya menggunakan organik logam berbasis ruthenium kompleks, dye sintesis ini cukup mahal. Alternatif lain ialah dye alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah (Maddu, 2007).

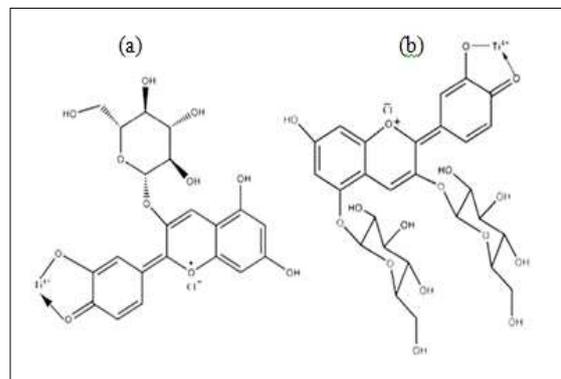
Sebuah kelompok peneliti di Malaysia (Azhari *et al.*, 2015) misalnya telah mengujicoba cobakan lima jenis dye alami yang berasal dari Buah Naga, Henna, Turmeric, Shrub, Blueberry dan Raspberry. Kelompok peneliti lain dari Afrika (Pamain *et al.*, 2014) juga meneliti empat jenis dye alami, Begonia Rex, Hibiscus, Java Plum dan Red Cabbage. Sementara beberapa penelitian dalam negeri diantaranya Terong Ungu (Astuti, 2012), Jahe Merah (Ekasari & Yudhoyono, 2013), Murbei (Hikmah & Prajitno, 2015), Rosela (Hilman & Sa'diyah, 2013), Strawberry (Misbachudin dkk, 2013) dan sebagainya.

Pada eksperimen ini peneliti mengujicoba-kan DSSC berbasis nanopartikel TiO_2 dengan menggunakan dye alami dari antosianin *Melastoma malabatricum* L. Diketahui bahwasanya kandungan antosianin *Melastoma malabatricum* L. cukup tinggi bila dibanding tanaman jenis lain yakni mencapai 38,38 mg/100 gr (Kristiana dkk, 2012).

Adapun jenis senyawa antosianin utama yang terdapat pada *Melastoma malabatricum* L. ialah cyanidin-3-glucoside dan cyanidin-3,5-diglucoside (Gambar 2). Senyawa inilah yang akan berikatan dengan molekul TiO_2 dan berperan dalam menyerap foton serta mengeksitasi elektron pada permukaan TiO_2 (Singh *et al.*, 2014)

Meski demikian penelitian penggunaan dye *Melastoma malabatricum* L. sebagai

sensitizer pada DSSC masih belum banyak dilakukan, terutama unjuk kerjanya pada TiO_2 nanokristal. Sehingga penelitian ini dapat menambah referensi baru mengenai pemanfaatan *Melastoma malabatricum* L. sebagai sensitizer pada *Dye Sensitized Solar Cell*.



Gambar 2. Ikatan struktur kimia antara TiO_2 dengan (a) cyanidin-3-glucoside (b) cyaniding 3,5-diglucoside (Singh *et al.*, 2014)

Keterangan: cyanidin-3-glucoside dan cyanidin-3,5-diglucoside ialah senyawa yang akan berikatan dengan molekul TiO_2 dan berperan dalam menyerap foton serta mengeksitasi elektron pada permukaan TiO_2 (Singh *et al.*, 2014)

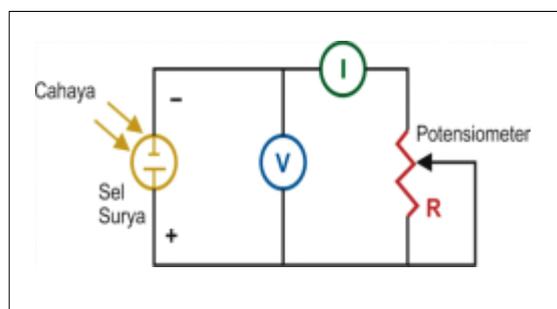
BAHAN DAN METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain; gelas ukur, tabung erlemeyer, kertas saring, pipet tetes, lumpang dan alu, batang pengaduk, ensil grafit, neraca analitik, tanur, kaca konduktor, penjepit kertas, multimeter, pengaduk magnet, pita perekat, ultrasonik, luxmeter, spektrometer UV-Vis, *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscopy*. Sementara bahan-bahan yang digunakan ialah; bubuk Titanium Oxide (TiO_2), Natrium Hidroksida (NaOH) 10 M, Asam Klorida (HCl) 2%, Asetonitril, PVA 10%, Potassium iodide (KI), Aquades, Iodine (I_2), Etanol 96%, Asam Sulfat, Asam Sitrat dan buah *Melastoma malabatricum* L.

Metode penelitian meliputi proses pembuatan bubuk nanokritas TiO_2 menggunakan teknik sonikasi (Arami *et al.*, 2007). Selanjutnya melakukan ekstraksi

dye antosianin buah *Melastoma malabathricum* L. dengan larutan etanol 80% dan asam sitrat 5% (85:15) (Kristiana dkk, 2012). Selanjutnya membuat larutan elektrolit antara KI (0,5 M) dan Iodine (0,05 M) (86:14) dan membuat conter elektroda carbon menggunakan pensil grafit (Septina dkk, 2007)

Terakhir merangkai sel surya secara *sandwich* dengan susunan TCO / dye / elektrolit /counter elektroda. Teknik deposisi TiO₂ pada permukaan TCO menggunakan teknik *doctor blade* (Septina, dkk). Selanjutnya dilakukan uji karakteristik I-V menggunakan rangkaian arus-tegangan (Gambar 3). Penelitian dilakukan dibawah sinar matahari dengan intensitas terukur 121,49 W/m². Nilai arus dan tegangan sel surya diukur pada setiap posisi potensiometer yang diberbeda-beda dari resistansi maksimum hingga minimum. Hasil pengukuran yang diperoleh dibuat kurva I-V untuk menentukan performa energi sel surya.



Gambar 3. Rangkaian pengukuran karakteristik I-V sel surya

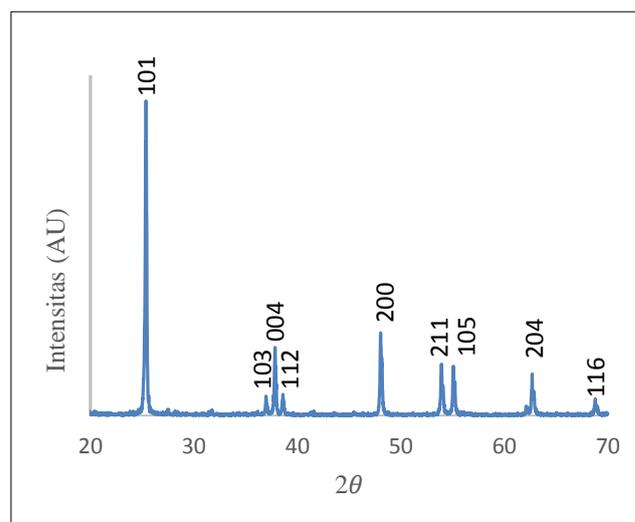
Keterangan: Pengukuran karakteristik I-V sel surya dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sel surya yang dihasilkan. Pengujian tersebut dilakukan menggunakan rangkaian uji seperti pada gambar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Kristal TiO₂

Struktur Kristal TiO₂ dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffractometer

(XRD). Karakterisasi ini berguna untuk menentukan fase, parameter kisi dan ukuran kristal dari bubuk TiO₂. Sumber gelombang sinar-x berasal dari tembaga (Cu). Ditembakkan pada panjang gelombang 1,54056 Å dengan sudut hamburan 2θ pada rentang 20° - 70°. Analisis dilakukan dengan membandingkan puncak difraksi sampel uji dengan puncak difraksi standar JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*). Grafik hasil karakterisasi XRD ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Difraktogram TiO₂ sampel uji
Keterangan: Pengujian sampel TiO₂ menggunakan XRD menghasilkan rangkaian grafik pola-pola difraksi seperti pada gambar. Hasil ini dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal dari sampel uji

Hasil karakterisasi XRD pada Gambar 4 memperlihatkan pola-pola difraksi TiO₂ bersesuaian dengan JCPDS No: 21-1272. Ini ditandai dengan munculnya puncak-puncak serapan dengan intensitas yang kuat terjadi berada pada daerah 2θ = 25,38°;

36,98°; 37,86°; 38,62°; 48,06°; 53,94°; 55,08°; 62,10°; 62,70°; dan 68,80°. Puncak serapan ini adalah puncak serapan khas dari TiO₂ pada fase anatase.

Data JCPDS No: 21-1272 juga memperlihatkan fase anatase memiliki sistem kristal tetragonal dengan sumbu a=b ≠c dan α= β= γ=90°. Dengan menerapkan hukum Bragg untuk sistem kristal tetragonal kita dapat menghitung nilai parameter kisi a dan c dari kristal TiO₂. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa parameter kisi TiO₂ hasil uji dan JCPDS No. 21-1272 memiliki nilai yang hampir sama. Berikut adalah nilai parameter kisi TiO₂ dan perbandingannya dengan data JCPDS No. 21-1272

Tabel 1. Nilai parameter kisi TiO₂ hasil uji dan JCPDS

Sampel	a (Å)	a JCPDS (Å)	c (Å)	c JCPDS (Å)
TiO ₂	3,79 2	3,785	9,37 6	9,513

Selain parameter kisi jarak antar bidang dari indeks Miller (d_{hkl}) juga dapat dihitung ukuran partikel kristal TiO₂ juga dapat diketahui dengan menerapkan persamaan Scherrer. Sebelumnya terlebih dahulu mencari nilai *full width at half-maximum* (FWHM) pada masing-masing puncak serapan dengan menggunakan aplikasi OriginPro 8.5. Hasil perhitungan dan analisis struktur kristal TiO₂ sampel uji dapat dilihat pada Tabel 2.

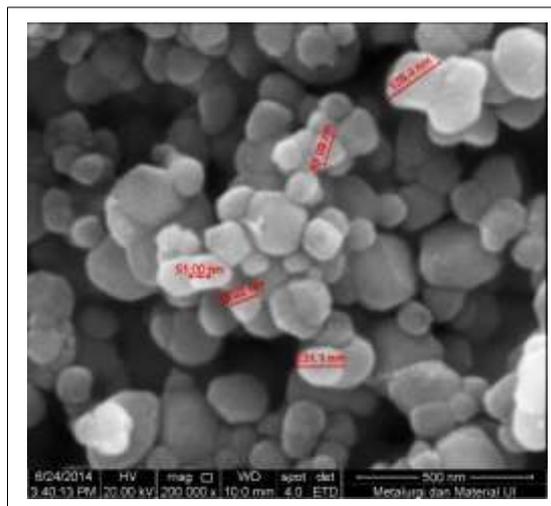
Tabel 2. Hasil perhitungan dan analisis sampel TiO₂

2θ(°)	I	hkl	d (Å)	FWHM	Ukuran Kristal (nm)
25,38	100	101	3,516	0,1895	42,97
36,98	10	103	2,430	0,1874	44,70
37,86	20	004	2,378	0,1969	42,65
38,62	10	112	2,332	0,2028	41,51
48,06	35	200	1,892	0,2396	36,30
53,94	20	105	1,699	0,2738	32,55
55,08	20	211	1,666	0,2531	35,40
62,10	4	213	1,493	0,2380	38,96
62,70	14	204	1,480	0,3096	30,05
68,80	6	116	1,364	0,3015	31,93

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa ukuran partikel kristal TiO₂ sampel rata-rata adalah 37,702 nm. Terlihat pula bahwa ukuran partikel kristal TiO₂ berbanding terbalik dengan nilai FWHM. Dimana semakin besar nilai FWHM maka semakin kecil ukuran partikel kristalnya. Nilai jarak antar bidang (d_{hkl}) pada penelitian ini juga sesuai dengan TiO₂ anatase standar Natl, Bur, Stand (US), 1969.

Morfologi TiO₂

Morfologi sampel TiO₂ dapat diketahui dengan menggunakan instrumen *Scanning Elec-tron Microscopy* (SEM). SEM bekerja berdasarkan prinsip scan sinar electron pada permukaan sampel yang selanjutnya informasi yang diperoleh diubah menjadi gambar. Hasil citra SEM TiO₂ sampel dapat dilihat pada Gambar 5.



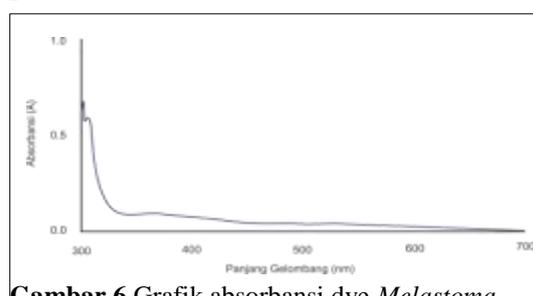
Gambar 5. Citra SEM TiO₂ sampel perbesaran 200.000x

Keterangan: Hasil citra SEM dapat memperlihatkan struktur morfologi permukaan sampel TiO₂ terlihat berongga dengan butiran berukuran puluhan-ratusan nanometer

Hasil visual karakterisasi SEM memperlihatkan bentuk morfologi partikel TiO₂ cukup merata/homogen. Meskipun pada perbesaran 200.000x akan terlihat perbedaan ukuran masing-masing partikel. Adapun ukuran partikel rata-rata berkisar 104,56 nm. Selain itu karakterisasi hasil SEM juga memperlihatkan morfologi TiO₂ cukup berongga (berpori). Morfologi yang berongga ini sangat baik digunakan untuk aplikasi DSSC karena akan memperbesar luas permukaan TiO₂. Dimana hal ini akan memberikan keuntungan dalam mengadsorpsi dye. Selain itu keberadaan rongga tersebut bisa mempermudah penyebaran larutan elektrolit (Nugrahawati, 2012)

Karakterisasi Spektrum Absorpsi Dye

Sebelum digunakan sebagai sensitizer, ekstrak antosianin *Melastoma malabathricum* L. terlebih dahulu diuji spektrum absorpsinya menggunakan Spektrometer UV-Vis. Spektrum absorbansi diukur pada rentang panjang gelombang 300 nm - 700 nm dalam larutan ethanol. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 6.

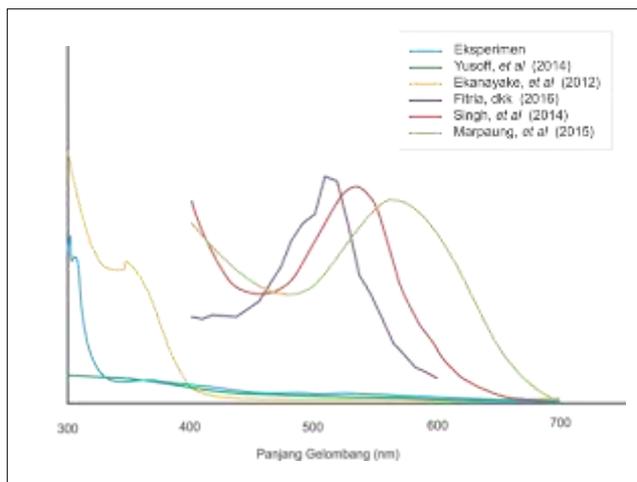


Gambar 6. Grafik absorbansi dye *Melastoma malabathricum* L

Keterangan: Uji absorbansi dye dilakukan dengan menggunakan instrument UV-VIS sehingga memperlihatkan pola garis serapan cahaya

Hasil karakterisasi memperlihatkan bahwa serapan dye antosianin *Melastoma malabathricum* L. terjadi pada daerah panjang gelombang pendek, yakni pada rentang 300-350 nm. Hasil ini memiliki kemiripan dengan hasil penelitian Ekanayake, *et al*, (2012) dan Yusoff, *et al* (2014). Namun hasil ini agak berbeda dengan beberapa penelitian serupa seperti Singh, *et al* (2014), Marpaung, *et al* (2015) dan Fitria, *dkk* (2016) yang menunjukkan bahwa daerah serapan dye antosianin terjadi

pada panjang gelombang 500-600 nm. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7.Perbedaan daerah serapan Melastoma mala-bathricum L di berbagai hasil penelitian

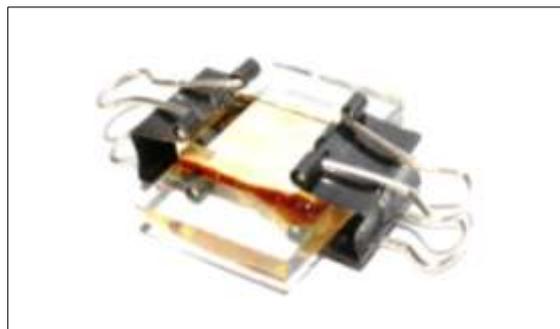
Keterangan: Sebagian penelitian menunjukkan serapan dye Melastoma pada daerah 500 nm, namun sebagian lainnya tidak. Perbedaan daerah serapan ini menurut Ekanayake et al, 2012 disebabkan oleh faktor keasaman pada proses ekstraksi

Perbedaan ini menurut Ekanayake, *et al* (2012) disebabkan faktor keasaman pada saat proses ekstraksi. Penambahan asam seperti HCl pada proses ekstraksi ternyata membawa pengaruh terhadap hasil serapan dye. Ekanayake dalam tulisanya membandingkan spektrum ekstraksi antosianin *Melastoma malabathricum L.* yang diasamkan menggunakan HCl dan yang tidak diasamkan. Hasilnya pada *Melastoma malabathricum L* dengan penambahan HCl (50:0.2 v/v) muncul sebuah puncak serapan pada daerah 540 nm. Lebih lanjut, penelitian serupa yang

dilakukan Marpaung, *et al* (2015) juga memperlihatkan bahwa serapan dye antosianin *Melastoma malabathricum L.* dapat memberikan hasil berbeda-beda bergantung pada derajat keasaman (PH) pada proses ekstraksi bahan.

Hasil Perangkaian dan Karakterisasi I-V Sel Surya

Sel surya dirangkai dengan susunan sandwich TCO/TiO₂/Dye/Elektrolit/TCO. Dimana dye yang digunakan ialah antosianin buah mangsi (*Melastoma malabathricum L.*). Hasil perangkaian sel surya dapat dilihat pada Gambar 8.

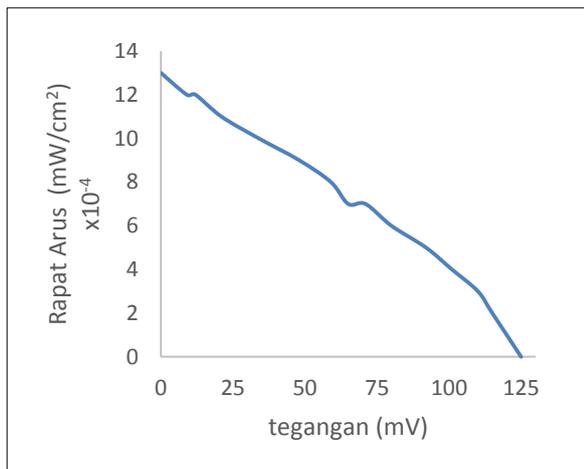


Gambar 8.Hasil akhir DSSC yang berhasil dibuat

Keterangan: Penampakan fisik DSSC yang telah selesai dirangkai. Selanjutnya siap untuk dilakukan pengujian karakteristik I-V sel surya

Pengujian I-V sel surya dilakukan menggunakan rangkaian ukur pada Gambar 4. Sehingga menghasilkan kurva karakteristik I-V (Gambar 9). Dengan beberapa parameter sebagai berikut; arus hubungan singkat I_{sc} (short circuit), tegangan rangkaian terbuka V_{oc} (open circuit voltage), V_{max} yaitu tegangan yang

memberikan nilai daya maksimum, dan I_{\max} ialah kuat arus yang memberikan nilai daya maksimum.



Gambar 9. Grafik hasil karakteristik I-V sel surya
Keterangan: Grafik karakteristik I-V sel surya ini memperlihatkan unjuk kerja dari sel surya yang dihasilkan

Dari gambar tersebut dapat dihitung beberapa nilai parameter dalam sel surya yang meliputi Tegangan terbuka (V_{oc}), kuat Arus pendek (I_{sc}), tegangan maksimum (V_{max}), kuat arus maksimum (I_{max}), daya maksimum (P_{max}), fill factor (FF) dan efisiensi (η) yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan data pada Tabel 3 diketahui besar tegangan rangkaian buka (V_{oc}) sel surya mencapai 125 mV. Meski demikian nilai ini terbilang cukup rendah dibandingkan dengan penelitian-penelitian terdahulu seperti Maddu, dkk (2007) yang mencapai 500 mV atau Ramdhani (2012) yang mencapai yakni 207 mV. Namun nilai ini masih lebih baik dibandingkan Hikmah

dan Prajitno (2015) yang hanya mencapai 77 mV.

Arus keluaran sel surya juga terbilang masih rendah yaitu dalam orde mikroAmpere (μA). Arus rangkaian pendek (I_{sc}) yang diperoleh yakni mencapai $1,3 \mu A$. Menurut Maddu dkk, 2007 kecilnya arus keluaran yang dihasilkan DSSC dapat disebabkan oleh resistansi lapisan semikonduktor TiO_2 dan larutan elektrolit yang sangat besar. Akibatnya laju elektron pada lapisan TiO_2 yang diinjeksi dari *dye* mengalami perlambatan. Penyebab lainnya bisa dikarenakan belum optimalnya fungsi *dye* dalam pem-bangkitan dan injeksi ke lapisan elektroda TiO_2 .

Karena arus keluaran yang masih kecil, maka daya maksimum keluaran juga kecil, daya maksimum keluaran masih dalam orde miliWatt (mW), besarnya yakni $0,049 \text{ mW/cm}^2$. Semen-tara itu nilai factor pengisian (*fill factor*) sel surya organik ini adalah 0,31. Ini bersesuaian dengan bentuk kurva arus-tegangan (I-V) yang landai. Kurva I-V paling ideal adalah bentuk kotak persegiempat, namun demikian menurut Maddu, 2007 kurva ideal seperti itu tidak akan pernah tercapai karena resistansi dari sel surya.

Efisiensi konversi sel surya diperoleh cukup baik yakni 0,4%. Hal ini dikarenakan untuk sistem sel surya tersensitisasi *dye* alami efisiensi ideal adalah berkisar 0,3-1,5 %. Sedangkan untuk sel surya tersensitisasi

Tabel. 3 Nilai parameter dalam sel surya

V_{oc} (mV)	I_{sc} (mA)	V_{max} (mV)	I_{max} (mA)	P_{max} (mW/cm ²)	FF	η (%)
125	$1,3 \times 10^{-3}$	71	$7,0 \times 10^{-3}$	0,049	0,31	0,4

dye sintesis dengan elektrolit padat berbasis polimer telah dicapai efisiensi hingga 4 % (Maddu dkk, 2007).

Bila dibandingkan dengan peneliti-peneliti sebelumnya yang menggunakan dye jenis berbeda seperti, Maddu, dkk (2007) yang menggunakan ekstrak antosianin kol Merah hanya memperoleh efisiensi sebesar 0,034% dan 0,055%. Hilman dan Sa'diyah (2013) menggunakan ekstrak Rosella memperoleh efisiensi 0,37% dan buah Naga dengan efisiensi 0,22%. Atau Nugrahawati (2012) yang menggunakan Mawar Merah hanya mencapai efisiensi 0,0001% – 0,0036%. Maka efisiensi dye antosianin *Melastoma malabathricum* L yang diperoleh sebesar 0,39% memiliki potensi yang lebih baik bila dibandingkan dengan dye alami jenis lainnya.

Sehingga dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa sel surya DSSC yang dibuat memiliki kemampuan konversi energi cahaya menjadi energi listrik. Kemampuan konversi energi ini menunjukkan antosianin *Melastoma malabath-ricum* L dapat menjadi alternatif fotosensitizer alami untuk aplikasi sel surya tersintesisasi dye.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Sugianto Arjo, selaku senior sekaligus asisten laboratorium yang telah memberikan saran dan bantuan selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arami, H., Mazloumi, M., Khalifehzadeh, R., & Sadrnezhaad, S. K., 2007, Sonochemical preparation of TiO₂ nanoparticles. *Materials Letters*, 61(23), 4559-4561.
- Astuti, R. D., 2012, *DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) Dengan Senyawa Antosianin Dari Kulit Terong Ungu (Solanum melongena L.) Sebagai Photosensitized*. Skripsi. FMIPA Universitas Sebelas Maret
- Azhari, M. A., Arith, F., Ali, F., Rodzi, S., & Karim, K. 2015, Fabrication Of Low Cost Sensitized Solar Cell Using Natural Plant Pigment Dyes. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 10, No. 16
- Ekasari, V., & Yudoyono, G. 2013, Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(1), B15-B20.

- Ekanayake, P., Iskandar, M., & Kushan, U. T. 2012, Fabrication of eco-friendly dye sensitized solar cells using pigments from *Melastoma malabathricum* L., a native plant in Borneo. *Ceylon Journal of Science (Physical Sciences)*, 12(1), 65-70.
- Fitria, A., Amri, A., & Fadli, A. 2016, Pembuatan Prototip Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum* L) dengan Variasi Fraksi Pelarut dan Lama Perendaman Coating TiO₂. *Jom FTEKNIK*, 3(1)
- Halme, J. 2002 *Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests*. Master of Science in Technology, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.
- Hikmah, I., & Prajitno, G. 2015, Pengaruh Penggunaan Gel-Electrolyte pada Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis TiO₂ Nanopartikel dengan Ekstrak Murbei (*Morus*) sebagai Dye Sensitizer pada Substrat Kaca ITO. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1), B5-B10.
- Hilman, C., & Sa'diyah, M. 2013, Analisis Pemanfaatan Anthocyanin Tumbuhan Tropis sebagai Sensitizer pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Fisika. Institut Teknologi Bandung*.
- Hug, H., Bader, M., Mair, P., & Glatzel, T. 2014, Biophotovoltaics: natural pigments in dye-sensitized solar cells. *Applied Energy*, 115, 216-225.
- Kristiana, H. D., Ariviani, S., & Khasanah, L. U. 2012, Ekstraksi pigmen antosianin buah senggani (*Melastoma malabathricum* auct. Non linn) dengan variasi jenis pelarut. *Jurnal Teknosains Pangan*, 1(1).
- Maddu, A., Zuhri, M., & Irmansyah, I. 2009, Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitisasi Dye. *MAKARA*, 11(2), pp-78.
- Marpaung, A. M., Andarwulan, N., Hariyadi, P., & Nur, D. 2015, Spectral Characteristics and Color Stability of *Melastomataceae* and *Clitoria ternatea* L. Extracts. In 17th Food Innovation Asia Conference 2015 (FIAC 2015). *Innovative ASEAN Food Research towards the World. Bangkok, Thailand, 18-19 June 2015*
- Misbachudin, M. C., Trihandaru, S., & Sutresno, A. 2013, Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Memanfaatkan Ekstrak Antosianin Strawberry. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII, Fakultas Sains dan Matematika, UKSW, Vol 4, No.1*
- National Bureau of Standards U.S. 1969, Standard X-Ray Diffraction Powder Patterns. U.S Department Of Commerce
- Nugrahawati, D. 2012, *Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (Rosa damascene Mill) Sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin*. Skripsi.

Jurusan Fisika FMIPA Universitas
Sebelas Maret.

- Pamain, A., Pogrebnaya, T., & King'ondou, C. K. 2016, Natural dyes for solar cell application: UV-Visible spectra and outdoor photovoltaic performance. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences* 3(5) 332-336
- Ramdhani, H. S, 2012, *Pembuatan Sel Surya TiO₂ Tersensitisasi Dye Padat Dengan Elektrolit Polimer*. Departemen Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor
- Septina, W., Fajarisandi, D., & Aditia, M. 2007, *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*. Laporan Penelitian Bidang Energi, Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Singh, L. K., Karlo, T., & Pandey, A, 2014, Performance of fruit extract of *Melastoma malabathricum* L. as sensitizer in DSSCs. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 118, 938-943.
- Yusoff, A., Kumara, N. T. R. N., Lim, A., Ekanayake, P., & Tennakoon, K. U. 2014, Impacts of temperature on the stability of tropical plant pigments as sensitizers for dye sensitized solar cells. *Journal of Biophysics*, Article ID 739514