

# Sintesis dan Karakterisasi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella

Rafika Andari\*

*Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang, Jalan Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, 25143*

## Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengkarakterisasi DSSC menggunakan sensitizer antosianin dari ekstrak kelopak bunga rosella (*hibiscus sabdariffa*), mengetahui pengaruh konsentrasi larutan elektrolit dan lama perendaman sel dalam ekstrak dye terhadap efisiensi yang dihasilkan sel surya, dan mengetahui besar arus listrik yang dihasilkan DSSC dari sumber cahaya matahari langsung dan cahaya lampu halogen 150 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DSSC dapat dibuat dengan menggunakan kombinasi bahan anorganik TiO<sub>2</sub> dengan bahan organik dye dari ekstraksi bunga rosella. Efisiensi tertinggi didapatkan pada lama perendaman 30 menit. Pada sumber cahaya matahari nilai efisiensi tertinggi (0,52%) didapat pada konsentrasi elektrolit 0,5 M. Sedangkan pada sumber cahaya lampu halogen nilai efisiensi tertinggi (0,49%) didapat pada konsentrasi elektrolit 0,3 M. DSSC yang dibuat telah berhasil mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan sumber cahaya matahari dan cahaya lampu halogen dengan arus maksimum masing-masing sebesar 0,28 mA dan 0,09 mA. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa karakteristik penentu performansi sel surya diantaranya struktur, jenis dye (karakteristik absorpsi cahaya), konsentrasi larutan elektrolit dan sumber cahaya yang digunakan.

## ABSTRACT

This research aims were to make and characterize DSSC using anthocyanin sensitizer from rosella (*hibiscus sabdariffa*) petals, to know the effect of electrolyte concentration and soaking time in dye extract on solar cell's efficiency, and to know the amount of electrical current produced by DSSC from direct sunlight and 150 watt halogen lamp. This research included the production of TiO<sub>2</sub> paste, dye solution preparation from rosella petals, electrolyte solution preparation, counter-electrode carbon preparation, DSSC fabrication, testing, and characterization. Research results showed that DSSC could be made by combining inorganic matter such as TiO<sub>2</sub> and organic dye from rosella flower extract. The highest efficiency was produced by 30 minutes soaking time. In direct sunlight, the highest efficiency (0,52%) was produced from the electrolyte concentration of 0,5M. Meanwhile, in 150 watt halogen lamp, the highest efficiency (0,49%) was produced from the electrolyte concentration of 0,3M. The DSSC was able to convert solar energy to electrical energy from sunlight and 150 watt halogen lamp with the maximum electrical current of 0,28 mA and 0,09 mA respectively. Therefore, it could be concluded that the main characteristics that determine solar cells performance were structure, type of dye (light absorbance characteristic), electrolyte solution concentration, and the source of light.

KATA KUNCI: Dye-Sensitized Solar Cell, Hibiscus sabdariffa, anthocyanin  
<http://dx.doi.org/10.12962/j24604682>.

## I. PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan sumber energi yang terbesar, kontinyu, tidak mengandung polusi, tidak habis dipakai, dan gratis. Saat ini, energi matahari belum digunakan sebagai sumber energi primer karena penyediaan energi masih bergantung pada berbagai sumber bahan bakar fosil. Terhitung sejak tahun 2002, ketersediaan cadangan sumber energi fosil di seluruh dunia semakin menipis [1]. Untuk mengatasi krisis energi dan mendukung kelangsungan hidup manusia, dapat dilakukan konversi energi matahari menjadi energi listrik.

Konversi energi matahari menjadi energi listrik berlangsung melalui sistem sel fotovoltaik. Efek fotovoltaik adalah peristiwa terlepasnya muatan listrik di dalam bahan seba-

gai akibat penyerapan cahaya oleh bahan tersebut. Salah satu mekanisme yang bekerja berdasarkan sistem fotovoltaik adalah sel surya. Pada sel surya, foton dari radiasi matahari diserap kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Sel surya yang banyak digunakan saat ini adalah sel surya konvensional berbasis teknologi silikon. Namun demikian, biaya produksi silikon sangat mahal sehingga biaya konsumsinya lebih mahal daripada sumber energi fosil. Selain itu proses fabrikasi sel surya silikon juga menggunakan bahan kimia berbahaya.

DSSC adalah salah satu teknologi sel surya non-konvensional yang berkembang sejalan dengan perkembangan nanoteknologi. DSSC terdiri dari nanokristal TiO<sub>2</sub> sebagai fotoelektroda, dye sebagai penyerap cahaya, dan elektrolit sebagai pendonor elektron disusun dengan struktur *sandwich*. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton. Proses kedua terjadi pada elektroda negatif (an-

\*E-MAIL: rafika.andari09@gmail.com

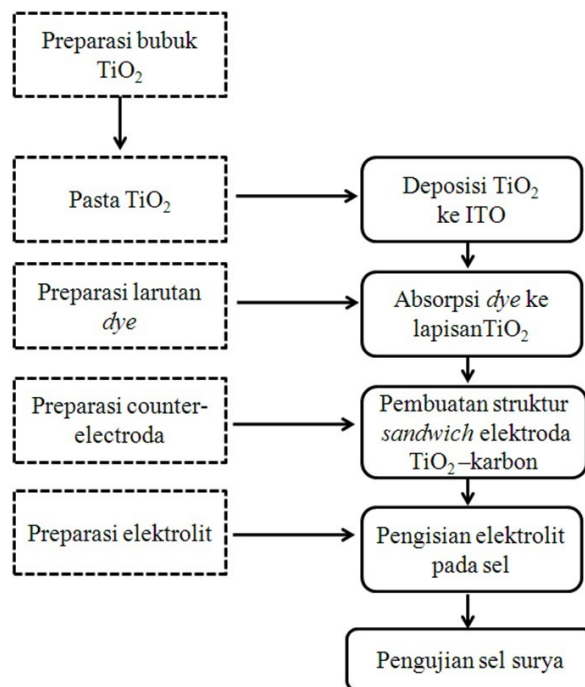
oda), yaitu pada lapisan  $\text{TiO}_2$  dimana elektron tereksitasi kemudian terinjeksi menuju pita konduksi  $\text{TiO}_2$  sehingga dye teroksidasi. Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit ( $\text{I}^-$ ) maka molekul dye kembali ke keadaan awalnya dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh dye yang teroksidasi. Pada proses ketiga, setelah mencapai elektroda ITO, elektron mengalir menuju *counter-elektrode* yang berperan sebagai elektroda positif (katoda) melalui rangkaian eksternal. Proses selanjutnya, dengan adanya katalis pada *counter-elektrode*, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit ( $\text{I}^{3-}$ ), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodida ( $\text{I}^-$ ). Proses terakhir, iodida ini digunakan untuk mendonor elektron kepada dye yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik [2].

Keunggulan DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah [3]. Berbeda dengan sel surya konvensional, pada DSSC absorpsi cahaya dan transfer muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul dye, sedangkan transfer muatan dilakukan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita relatif besar. Salah satu semikonduktor yang sering digunakan adalah titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) yang relatif murah, banyak dijumpai, inert, dan juga tidak beracun [4]. Bahan dye yang digunakan harus mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan cocok dengan celah pita energi  $\text{TiO}_2$  sebesar 3,2 eV. Pada DSSC,  $\text{TiO}_2$  harus memiliki permukaan yang luas sehingga dye yang terserap lebih banyak sehingga dapat meningkatkan arus keluaran sel surya.

Dye sebagai sensitizer meliputi dye sintesis dan dye alami. DSSC komersial menggunakan dye sintesis berjenis *ruthenium complex* dengan efisiensi 9,2%. Namun, ketersediaan dan harganya mahal sehingga muncul alternatif pengganti yaitu dye alami hasil ekstraksi dari bagian-bagian tumbuhan [3]. Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi dye. Dye-sensitizer alami yang pernah digunakan dalam sistem DSSC diantaranya yaitu, kol merah [3], bunga rosella [5, 6], buah naga [7] dan bluberi dan kranberi [8]. Zat warna alami tersebut terbukti mampu memberikan efek fotovoltaiik walaupun efisiensinya masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintesis [6].

Dalam penelitian terdahulu, bunga rosella digunakan sebagai sumber dye [5]. Bunga rosella diekstrak dengan pemanasan pada temperatur  $50^\circ\text{C}$ . Hasil penelitian menunjukkan nilai efisiensi sel surya sebesar 0,71%. Pada penelitian ini penulis mengekstraksi bunga rosella dengan perendaman pada waktu tertentu tanpa pemanasan. Cara ekstraksi yang berbeda dapat menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda sehingga peneliti ingin menyelidiki lebih lanjut pada penelitian ini.

Pada penelitian ini digunakan kelopak bunga rosella sebagai sumber dye karena mengandung senyawa antosianin yang tinggi [7]. Antosianin adalah pigmen merah dan ungu pada kelopak bunga, dan merupakan senyawa yang mampu menyerap cahaya matahari dengan baik. Dengan kandungan



Gambar 1: Alur tahapan pembuatan DSSC.

antosianin yang tinggi, diharapkan dye dari kelopak bunga rosella mampu menghasilkan efisiensi sel surya yang tinggi.

Tujuan penelitian ini antara lain: 1) membuat dan mengkarakterisasi DSSC menggunakan sensitizer antosianin dari ekstrak kelopak bunga rosella, 2) mengetahui pengaruh konsentrasi larutan elektrolit dan lama perendaman sel dalam ekstrak dye terhadap efisiensi yang dihasilkan sel surya, dan 3) mengetahui besar arus listrik yang dihasilkan DSSC dari sumber cahaya matahari langsung dan cahaya lampu halogen 150 watt.

## II. METODOLOGI

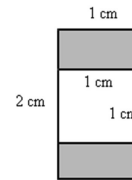
Tahapan dalam penelitian ini meliputi pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ , preparasi larutan dye dari kelopak bunga rosella, preparasi larutan elektrolit, preparasi *counter-elektrode* karbon, fabrikasi DSSC, dan yang terakhir yaitu pengujian dan karakterisasi. Adapun alur dari tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

### Pembuatan pasta $\text{TiO}_2$

Tahap preparasi pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan teknik lapisan tebal dengan mencampurkan 3,07 gram polivinil alkohol (PVA) ke dalam 30 ml aquades, kemudian mengaduknya selama 30 menit pada temperatur  $40^\circ\text{C}$  menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian, sebanyak 3,10 gram bubuk  $\text{TiO}_2$  ditambahkan hingga terbentuk pasta. Viskositas pasta diatur melalui banyaknya binder yang digunakan.

TABEL I: Perbandingan banyaknya zat yang digunakan untuk pembuatan larutan elektrolit.

Konsentrasi Larutan	B a n y a k n y a Kalium Iodida (gram)	B a h a n Asetonitril (ml)	B a h a n Gramiodin (gram)
I <sup>-</sup> dan I <sup>3-</sup> 0,5 M	0,83	10	0,127
0,3 M	0,49	10	0,076
0,1 M	0,166	10	0,025



Gambar 2: Skema area deposisi pasta TiO<sub>2</sub>.

**Preparasi larutan dye**

Pelarut yang sering digunakan untuk dye antara lain etanol 95%, metanol, air dan heksana [9]. Larutan dye dibuat dengan menghaluskan 10,2 gram kelopak bunga rosella segar dan menambahkan 5 ml etanol 95%, 4 ml asam asetat, dan 21 ml aquades. Setelah perendaman selama 24 jam, antosianin diekstrak dengan menggunakan kertas saring Whatman dan ditampung dalam botol berwarna gelap.

**Persiapan larutan elektrolit**

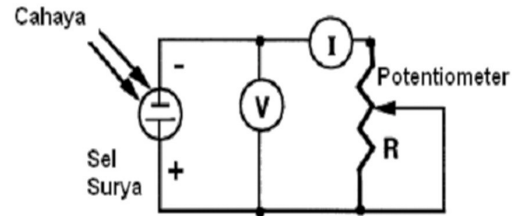
Larutan elektrolit yang dipersiapkan adalah larutan elektrolit I<sup>-</sup> dan I<sup>3-</sup> 0,5 M; I<sup>-</sup> dan I<sup>3-</sup> 0,3 M; serta I<sup>-</sup> dan I<sup>3-</sup> 0,1 M. Elektrolit redoks, biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I/I<sub>3</sub><sup>-</sup>) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel [9]. Larutan tersebut dibuat dengan mencampurkan kalium iodida (KI) ke dalam asetonitril hingga larut dan menambahkan gramiodin. Larutan kemudian disimpan dalam botol tertutup. Perbandingan bahan yang dilakukan untuk masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Tabel I.

**Persiapan counter-elektrode karbon**

Sumber karbon diperoleh dari grafit pensil 2B yang diarsir pada bagian konduktif ITO hingga merata. Kaca dibakar di atas nyala lilin dengan posisi arsiran menghadap api. Pembakaran dilakukan hingga jelaga api menutupi permukaan konduktif ITO.

**Fabrikasi DSSC**

Fabrikasi DSSC dilakukan dengan mendeposisikan pasta TiO<sub>2</sub> pada ITO berukuran 1×2 cm<sup>2</sup> di bagian konduktif sehingga terbentuk area seluas 1×1 cm<sup>2</sup> seperti pada Gambar 2. Proses deposisi dilakukan dengan metode *doctor blade*. Lapisan yang terbentuk dikeringkan selama 15 menit dan dibakar dalam oven listrik pada temperatur 150°C selama 30 menit. Lapisan TiO<sub>2</sub> direndam dalam larutan dye selama 10, 20, dan 30 menit. Selanjutnya, ITO dibilas dengan aquades dan etanol dan dibiarkan mengering untuk adsorpsi sianin ke permukaan TiO<sub>2</sub>. Sianin menggantikan OH<sup>-</sup> dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup antosianin [3]. *Counter-elektrode* karbon diletakkan pada lapisan TiO<sub>2</sub> dengan struktur *sandwich*, masing-masing ujung diberi offset sebesar 0,5 cm untuk kontak elektrik. Kemudian kedua sisi dijepit dengan klip untuk memantapkan struktur sel. Pada ruang antar elektroda ditetaskan larutan elektrolit sebanyak 2 tetes.



Gambar 3: Skema rangkaian listrik pengujian sel surya.

**Pengujian dan karakterisasi**

Tahapan uji meliputi pengujian lapisan TiO<sub>2</sub>, pengujian absorpsi dye, dan pengujian arus listrik.

1. Pengujian lapisan TiO<sub>2</sub>

Pengujian dilakukan dengan dua macam pengukuran yaitu XRD dan SEM. Untuk menghitung ukuran kristal TiO<sub>2</sub> digunakan persamaan Scherrer [1]. Karakterisasi dilakukan di PTBIN-BATAN, Serpong dengan menggunakan alat Philips tipe APD 3520 dengan jangkauan sudut difraksi 2θ = 20°-100°.

Selain XRD, analisis struktur morfologi sampel TiO<sub>2</sub> juga dilakukan dengan SEM di PTBIN-BATAN, Serpong dengan menggunakan alat SEM JEOL JSM-6510 LA pada tegangan 10 kV.

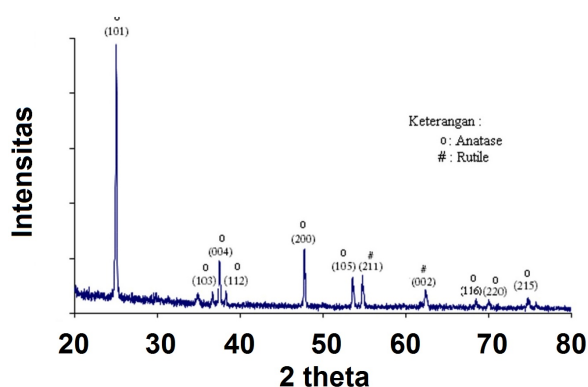
2. Pengujian absorpsi dye

Analisis profil absorpsi dye dilakukan dengan menggunakan UV-VIS Spektrometer dengan instrumen spektrofotometer UV-VIS Lambda 25 Perkin Elmer dengan rentang panjang gelombang cahaya 400-700 nm.

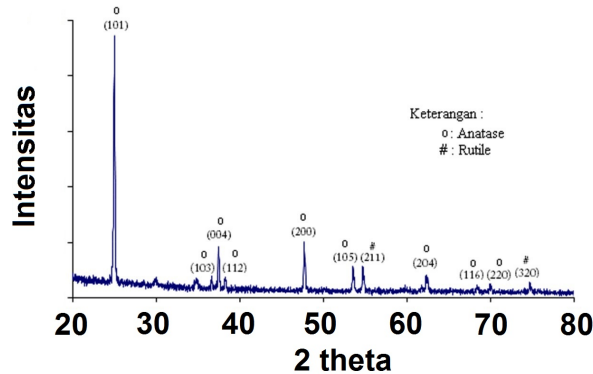
3. Pengujian arus listrik

Uji tegangan dan arus listrik dilakukan dengan potentiometer. Skema rangkaian listrik pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung dan cahaya lampu halogen 150 Watt. Cahaya diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel surya dengan jarak 30 cm dari sumber cahaya. Karakterisasi pada sumber cahaya matahari dilakukan antara pukul 11.00-13.00 WIB saat iluminasi cahaya cerah yang terukur melalui luxmeter.



Gambar 4: Pola XRD elektroda TiO<sub>2</sub>.



Gambar 5: Pola XRD elektroda TiO<sub>2</sub> yang telah direndam dalam larutan dye selama 10 menit.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

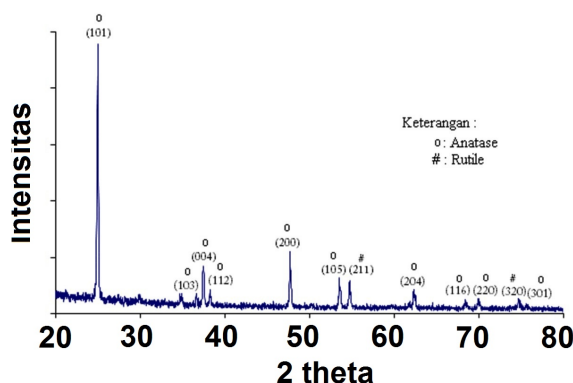
Karakterisasi elektroda TiO<sub>2</sub>

1. Hasil Analisis XRD

Gambar 4 menunjukkan pola difraksi elektroda TiO<sub>2</sub> pada kaca ITO, tampak dalam gambar bahwa puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> yang muncul pada orientasi sudut 2θ yang berbeda, antara lain 101, 200, 004, 105, 211. Puncak-puncak TiO<sub>2</sub> ini dominan dengan persentase terbanyak fasa kristal anatase. Berdasarkan kartu interpretasi, kristal yang terbentuk adalah anatase sesuai JCPDS No. 21-1272 dan rutile sesuai JCPDS No. 21-1276. Intensitas pola difraksi sampel yang cukup tinggi menunjukkan bahwa derajat kristalinitas baik. Dengan menggunakan persamaan Scherrer pada indeks bidang miller (101), ukuran kristal terhitung 43,76 nm. Ukuran tersebut cukup jauh berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Marwati [11] yang memperoleh ukuran kristal TiO<sub>2</sub> sebesar 17,36 nm.

Berdasarkan hasil XRD dapat diketahui bahwa TiO<sub>2</sub> yang diuji sesuai untuk diaplikasikan dalam DSSC karena fasa kristal anatasanya memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi dan derajat kristalinitas cukup baik sehingga dapat meningkatkan efisiensi sel surya. Selain itu, TiO<sub>2</sub> dengan struktur nanopori akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang lebih tinggi sehingga akan menaikkan jumlah molekul zat warna yang teradsorpsi yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorpsi [12].

Elektroda TiO<sub>2</sub> yang telah direndam larutan dye selama 10 dan 30 menit juga dikarakterisasi dengan XRD. Hasil karakterisasinya dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6. Berdasarkan hasil difraksi, dapat diketahui bahwa persentase terbanyak adalah fasa kristal anatase. Pada perendaman 10 menit, puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> tertinggi muncul pada orientasi sudut 2θ = 25,019°. Sedangkan pada perendaman 30 menit, puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> muncul pada orientasi sudut 2θ = 25,007°.



Gambar 6: Pola XRD elektroda TiO<sub>2</sub> yang telah direndam dalam larutan dye selama 30 menit.

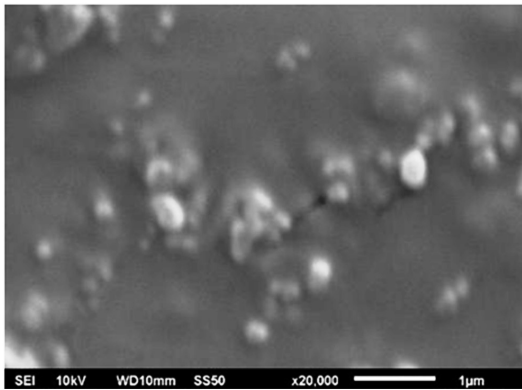
Kedua sudut tersebut hampir sama dengan sudut pada kondisi sebelum perendaman yaitu 2θ = 25,26°.

2. Hasil analisis SEM

Karakterisasi SEM dengan perbesaran 20.000 kali dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur lapisan TiO<sub>2</sub> pada substrat kaca ITO. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa lapisan yang diperoleh memiliki struktur berpori namun partikel TiO<sub>2</sub> belum tersebar merata di seluruh permukaan. Struktur pori yang terlihat umumnya adalah struktur pori antarpartikel. Struktur pori dalam partikel dan profil permukaan tidak dapat diketahui karena keterbatasan resolusi alat dan data penelitian. Struktur sampel TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Gambar 7.

Sebaran diameter ukuran kristal elektroda TiO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel II. Berdasarkan Tabel II dapat diketahui bahwa jangkauan diameter terbanyak adalah antara 200-350 nm. Diameter ini lebih besar dibandingkan pada penelitian Septina [3] dengan ukuran pori sebesar 100 nm.

Struktur nanopori dari lapisan TiO<sub>2</sub> merupakan karakteristik penting DSSC. Morfologi lapisan berpori yang lebih banyak dapat meningkatkan jumlah molekul dye



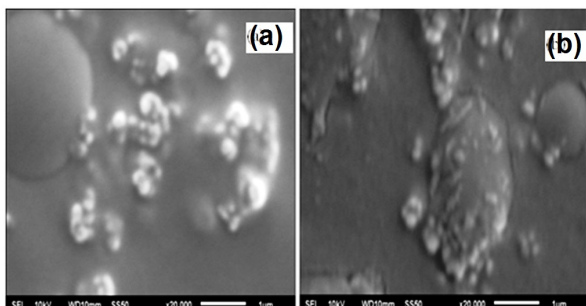
Gambar 7: Foto SEM sampel TiO<sub>2</sub>.

TABEL II: Diagram sebaran ukuran partikel elektroda TiO<sub>2</sub>.

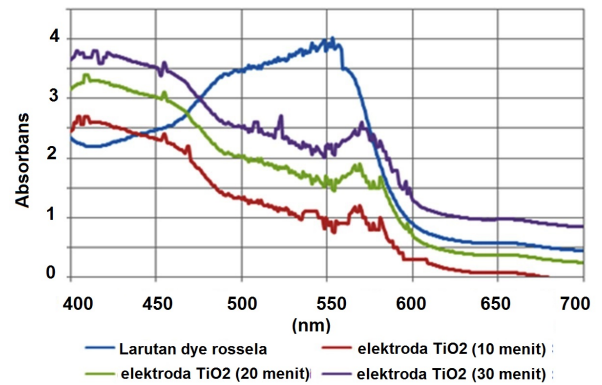
Jangkauan diameter (nm)	Jumlah partikel
0-100	0
100-200	10
200-300	12
300-400	7
400-500	2
500-600	1

yang terserap pada permukaan partikel-partikel TiO<sub>2</sub>. Semakin banyak volume pori yang terbentuk, maka semakin luas ruang yang dapat ditempati oleh molekul dye. Hal ini menyebabkan penyerapan foton lebih mudah sehingga meningkatkan jumlah elektron terinjeksi ke permukaan TiO<sub>2</sub> yang pada akhirnya dapat meningkatkan kemampuan sel surya.

Adapun setelah perendaman dalam larutan dye, pada perendaman selama 10 menit lapisan TiO<sub>2</sub> memiliki struktur berpori namun belum tersebar merata. Sedangkan pada perendaman selama 30 menit struktur pori yang terbentuk lebih rapat. Dengan demikian, semakin lama waktu perendaman, semakin banyak pula ekstrak dye yang terserap. Struktur lapisan TiO<sub>2</sub> yang telah direndam dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8: Foto SEM lapisan TiO<sub>2</sub> setelah perendaman dalam larutan dye, (a) 10 menit (b) 30 menit.



Gambar 9: Spektrum absorpsi dye bunga rosella.

TABEL III: Hasil pengukuran tegangan dan arus sel surya menggunakan sumber cahaya matahari.

Lama perendaman dalam larutan dye	Tegangan (mV)			Arus (mA)		
	0,5 M	0,3 M	0,1 M	0,5 M	0,3 M	0,1 M
10 menit	232,2	222,2	222,6	0,21	0,18	0,13
20 menit	237,2	225,9	221,2	0,28	0,25	0,17
30 menit	237,6	227,6	217,2	0,31	0,28	0,2

### Analisis absorpsi dye bunga rosella

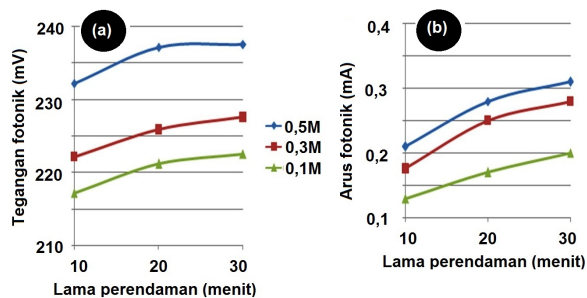
Hasil karakterisasi spektrum absorpsi dapat dilihat pada Gambar 9. Tampak dalam gambar bahwa spektrum absorpsi ekstrak antosianin bunga rosella sekitar 450-600 nm dengan panjang gelombang maksimum sekitar 553 nm. Hasil ini tidak jauh berbeda dibandingkan panjang gelombang maksimum pada penelitian Wongcharee [5] yaitu 520 nm. Dengan demikian ekstrak bunga rosella sangat signifikan dan dominan menyerap cahaya tampak pada spektrum hijau (500-550 nm) serta bersesuaian dengan warna ekstrak yang kemerahan [13].

Setelah perendaman selama 10, 20, dan 30 menit, spektrum absorpsi elektroda TiO<sub>2</sub> tersensitisasi antosianin bergeser ke arah panjang gelombang 550-600 nm dengan puncak pada sekitar 570 nm akibat perubahan warna dye dari kemerahan menjadi keunguan. Selain itu, muncul pula pita absorpsi pada daerah spektrum ungu (400-430 nm), yang merupakan karakteristik serapan TiO<sub>2</sub>. Pada waktu perendaman yang lebih lama (30 menit), intensitas absorpsi semakin besar. Nilai absorpsi dipengaruhi oleh kandungan antosianin pada permukaan elektroda TiO<sub>2</sub>. Karakteristik dye dari bunga rosella ini hampir sama dengan dye jenis *ruthenium complex* N719 yang memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 550 nm dan 400 nm [14]. Dengan demikian, dye bunga rosella dapat digunakan sebagai alternatif penggunaan dye sintesis kompleks.

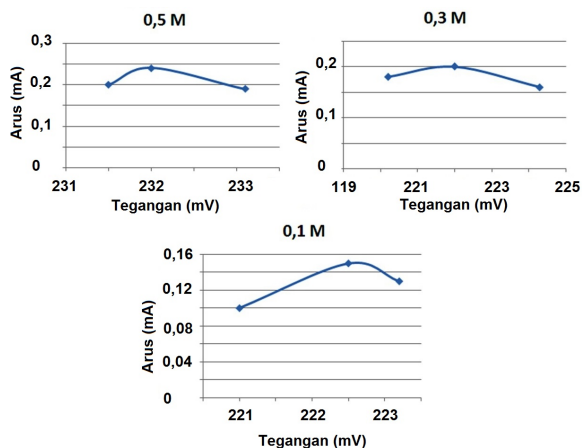
### Analisis sel surya

Hasil pengukuran tegangan dan arus sel surya menggunakan sumber cahaya matahari diperlihatkan pada Tabel III untuk masing-masing lama perendaman dalam dye dan konsentrasi elektrolit yang berbeda. Berdasarkan Tabel III, sel surya





Gambar 10: Kurva (a) tegangan dan (b) arus terhadap lama perendaman dalam dye menggunakan cahaya matahari.



Gambar 11: Kurva I-V sel surya dengan sumber cahaya matahari pada lama perendaman dye selama 30 menit.

dapat mengkonversi energi matahari menjadi listrik dengan tegangan tertinggi sebesar 237,6 mV pada perendaman sel selama 30 menit dengan konsentrasi larutan elektrolit 0,5 M. Sedangkan arus tertinggi yaitu 0,31 mA diperoleh pada perendaman 30 menit dengan konsentrasi larutan elektrolit 0,5 M. Perbandingan tegan dan arus sel surya tersebut dapat diilustrasikan pada Gambar 10.

Berdasarkan kurva I-V dapat diketahui bahwa perendaman yang lebih lama menghasilkan performa sel surya yang lebih baik. Hal ini karena peningkatan jumlah tegangan sebanding dengan peningkatan konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan. Demikian pula arus listrik yang meningkat dengan peningkatan konsentrasi larutan elektrolit. Hasil karakterisasi arus-tegangan sel surya yang direndam dye selama 30 menit masing-masing pada konsentrasi 0,5 M; 0,3 M dan 0,1 M ditunjukkan pada Gambar 11.

Kurva pada Gambar 11 menunjukkan pola yang belum cukup idea karena kelengkungan kurva tidak begitu terlihat. Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat dalam bentuk kurva I-V, diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya sebagaimana Tabel IV.

Berdasarkan Tabel IV, nilai tegangan maksimum sebesar 238,2 mV serta arus maksimum sebesar 0,28 mA dihasilkan pada sampel berkonsentrasi elektrolit 0,5 M. Hal ini menunjukkan nilai tegangan dan arus meningkat seiring den-

TABEL IV: Parameter-parameter sel surya yang diperoleh dengan sumber cahaya matahari.

Karakterisasi I-V	Sampel A (0,5 M)	Sampel B (0,3 M)	Sampel C (0,1 M)
$V_{max}$ (mV)	238,2	227,3	217,3
$I_{max}$ (mA)	0,28	0,28	0,20
$P_{max}$ (mW)	66,69	63,644	43,46
$I_{sc}$ (mA)	0,3	0,31	0,27
$V_{oc}$ (mV)	234	225,6	217,5
Fill Factor	0,95	0,91	0,74
Efisiensi (%)	0,52	0,50	0,34

gan meningkatnya konsentrasi elektrolit. Konsentrasi elektrolit yang besar mempercepat transfer elektron didalam elektroda  $TiO_2$  menuju elektroda karbon sehingga siklus di dalam sel berjalan baik yang akan meningkatkan kemampuan sel surya.

Hasil penelitian ini cukup baik untuk sel surya skala laboratorium jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya sebesar 162,4 mV. Untuk nilai arus maksimum yang diperoleh sebesar 0,28 mA pada penelitian ini masih cukup bagus bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Maddu [3] menggunakan ekstrak kol merah yang memperoleh arus sebesar 5,6  $\mu A$  dan menggunakan ekstrak buah delima sebesar 0,07 mA.

Nilai arus keluaran sel surya (disebut juga arus fototik) yang kecil disebabkan oleh resistansi lapisan elektroda semikonduktor  $TiO_2$  dan elektrolit yang digunakan. Nilai resistansi yang besar mengakibatkan transfer elektron dari dye teroksidasi di dalam lapisan  $TiO_2$  belum berjalan baik sehingga jumlah elektron yang mengalir ke rangkaian luar menjadi kecil. Selain itu fungsi dye juga belum optimal dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda  $TiO_2$ .

Berdasarkan nilai tegangan maksimum dan arus maksimum dapat diketahui efisiensi sel surya sebesar 0,52%. Dibandingkan sistem sel surya pada penelitian Wongcharee [15] yang memiliki nilai efisiensi 0,71% nilai efisiensi sel surya pada penelitian ini lebih rendah. Namun demikian nilai ini lebih baik dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Marwati [12] sebesar 0,00022% dan 0,00065% serta penelitian Artono [6] sebesar 0,21%. Penggunaan jenis dye yang sama ternyata dapat menghasilkan nilai efisiensi yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik yang berbeda dari bunga rosella baik dari daerah tempat tumbuhnya maupun cara ekstrak bunga rosella tersebut. Selain itu, terdapat perbedaan pada substrat yang digunakan sebagai komponen pendukung DSSC. Perbandingan parameter-parameter keluaran sel surya pada beberapa penelitian sebelumnya ditunjukkan pada Tabel V.

Sementara itu, dengan menggunakan sumber cahaya lampu halogen 150 watt hasil pengukuran tegangan dan arus sel surya diperlihatkan pada Tabel VI. Perbandingan tegangan dan arus sel surya menggunakan sumber cahaya lampu terhadap lama perendaman substrat dalam larutan dye diperlihatkan pada Gambar 12.

Kurva pada Gambar 12 menunjukkan bahwa dengan perendaman yang lebih lama kemampuan sel surya menjadi lebih baik. Peningkatan jumlah tegangan sebanding dengan

TABEL V: Perbandingan hasil keluaran sel surya pada penelitian sebelumnya.

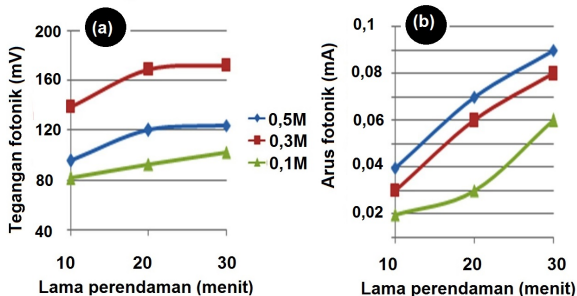
Parameter sel surya	Wongcharee (2006)	Marwati (2007)	Artono (2013)
Substat yang digunakan	kaca konduktif ITO	LCD	kaca konduktif ITO
Sumber dye	bunga rosella	bunga rosella	bunga rosella
$V_{max}$	512 mV	509 mV	-
$I_{max}$	1,39 mA	0,035 mA	-
$P_{max}$	375,3 mW	17,81 mW	-
$I_{sc}$	2,51 mA	-	0,301 mA
$V_{oc}$	488 mV	-	481 mV
Fill Factor	0,58	-	0,52
Efisiensi (%)	0,71	0,00065	0,21

TABEL VI: Hasil pengukuran tegangan dan arus sel surya menggunakan sumber cahaya lampu halogen 150 Watt.

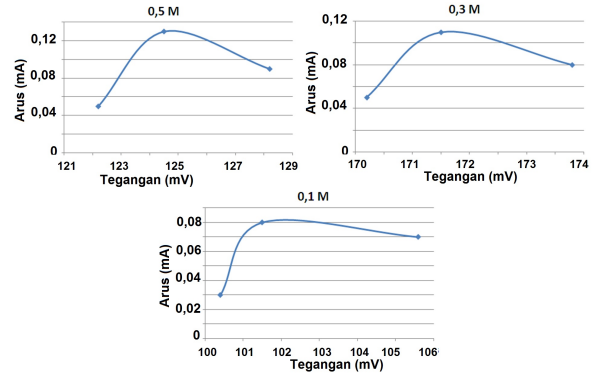
Lama perendaman dalam larutan dye	Tegangan (mV)			Arus (mA)		
	0,5 M	0,3 M	0,1 M	0,5 M	0,3 M	0,1 M
10 menit	95,6	139,6	81,6	0,04	0,03	0,02
20 menit	120,4	169,3	92,7	0,07	0,06	0,03
30 menit	124,3	172,5	102,5	0,08	0,09	0,06

peningkatan konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan. Demikian pula dengan jumlah arus listrik yang diperoleh meningkat dengan peningkatan konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan. Hasil karakterisasi arus-tegangan sel surya ditunjukkan pada Gambar 13. Untuk sel surya yang direndam dye selama 30 menit masing-masing pada konsentrasi 0,5 M; 0,3 M dan 0,1 M.

Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat dalam bentuk kurva I-V, diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya yang ditunjukkan pada Tabel VII. Hasil pengukuran menunjukkan dengan lama perendaman yang sama (30 menit), nilai efisiensi sel surya menggunakan cahaya lampu halogen 150 watt menunjukkan nilai tertinggi pada konsentrasi elektrolit 0,3 M. Hal ini menyatakan bahwa konsentrasi larutan elektrolit yang lebih besar (0,5 M) menghasilkan efisiensi yang lebih rendah. Ini dapat terjadi kemungkinan disebabkan oleh larutan yang kurang terjaga ke-



Gambar 12: Kurva (a) tegangan dan (b) arus terhadap lama perendaman dalam dye menggunakan cahaya lampu halogen 150 watt.



Gambar 13: Kurva I-V sel surya dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt pada lama perendaman dye selama 30 menit.

TABEL VII: Parameter-parameter sel surya dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt.

Karakterisasi I-V	Sampel A (0,5 M)	Sampel B (0,3 M)	Sampel C (0,1 M)
$V_{max}$ (mV)	124,5	171,5	101,5
$I_{max}$ (mA)	0,08	0,09	0,07
$P_{max}$ (mW)	11,205	15,435	7,105
$I_{sc}$ (mA)	0,12	0,10	0,11
$V_{oc}$ (mV)	125	174,6	102,3
Fill Factor	0,74	0,78	0,63
Efisiensi (%)	0,32	0,49	0,22

murniannya akibat penggunaan untuk pengujian sampel yang bervariasi.

Nilai tegangan maksimum dengan sumber cahaya lampu halogen 150 watt adalah sebesar 171,5 mV; sedangkan nilai arus maksimum sebesar 0,09 mA. Berdasarkan nilai tegangan maksimum dan arus maksimum dapat diketahui efisiensi sel surya, yaitu 0,49%. Nilai efisiensi pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi pada penelitian Maddu [3] yang menggunakan lampu halogen 24 watt, yaitu sebesar 0,034%. Hal ini disebabkan perbedaan intensitas lampu halogen yang digunakan lebih besar sehingga cahaya yang diserap oleh molekul dye lebih banyak dan mempercepat transfer elektron pada elektroda  $TiO_2$  yang pada akhirnya akan meningkatkan kinerja sel surya.

Hasil pengujian menggunakan sumber cahaya lampu lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan cahaya matahari. Nilai tegangan yang lebih besar dari sumber cahaya matahari disebabkan cahaya matahari mempunyai intensitas cahaya yang lebih tinggi selain itu spektrum cahaya yang dipancarkan lebih lebar. Oleh karena itu cahaya matahari merupakan sumber iluminansi yang paling efektif untuk pengujian.

IV. SIMPULAN

Beberapa simpulan yang didapatkan berdasarkan hasil penelitian antara lain:

1. Nilai efisiensi meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi elektrolit dan lama perendaman sel dalam ekstrak dye bunga rosella. Efisiensi tertinggi didapatkan pada lama perendaman 30 menit. Untuk sumber cahaya matahari nilai efisiensi tertinggi (0,52%) didapat pada konsentrasi elektrolit 0,5 M. Sedangkan untuk sumber cahaya lampu halogen 150 watt nilai efisiensi tertinggi (0,49%) didapat pada konsentrasi elektrolit 0,3 M.
2. DSSC yang dibuat dengan memvariasikan lama perendaman dalam ekstrak dye dan variasi konsentrasi larutan elektrolit telah berhasil mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan sumber cahaya matahari dan cahaya lampu halogen 150 watt dengan arus maksimum masing-masing sebesar 0,28 mA dan 0,09 mA.

- 
- [1] V.A. Quan, *Degradation of the Solar Cell Dye Sensitizer N719 Preliminary Building of Dye-Sensitized Solar Cell*, Master Thesis, Roskilde University, Denmark, 2006.
  - [2] R. Sastrawan, *Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells*, Dissertation, University of Freiburg, 2006.
  - [3] A. Maddu, Makara, *Teknologi*, 11(2), 78-84 (2007).
  - [4] M. Grtzel, *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 4, 145-153 (2003).
  - [5] K. Wongcharee, *et al.*, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(7), 566-571 (2007).
  - [6] M. Artono, *Fabrikasi Dye sensitized Solar Cell Menggunakan Natural Dye sebagai Alternatif Dye Ruthenium*, Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITB, Bandung, 2013.
  - [7] T. Ariyanto, *Analisis Efisiensi Dye sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Kulit Buah Naga Merah dan Kulit Buah Naga Merah*, Program Studi Teknik Fisika Fakultas Teknologi Industri ITB, Bandung, 2013.
  - [8] L.Vania, *Investigasi Kinerja DSSC (Dye-sensitized Solar Cell) Tersensitasi Ekstrak Bluberi dan Kranberi sebagai Sumber Pemeka Antosianin*, Departemen Kimia FMIPA, ITB, Bandung, 2017.
  - [9] Sudjadi, *Penentuan Struktur Senyawa Organik* (Ghalia Indonesia, Bandung, 1983).
  - [10] G.P. Smestad *et al.*, *Journal Chemistry Education*, 75(6), 1 (1998).
  - [11] R. Marwati, *Penggunaan Bunga Rosela (Hibiscus sabdariffa) sebagai Zat Warna pada Dye sensitized Solar Cell (DSSC)*, Jurusan Kimia FMIPA ITB, Bandung, 2010.
  - [12] J. Helme, *Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cell: technical review and preliminary test*, Master's thesis, Helsinki University of Technology, 2002.
  - [13] Sukardjo, *Kimia Koordinasi* (PT. Rineka Cipta, Jakarta, 1992).
  - [14] J. Zhan, *et al.*, *An Investigation of the Performance of Dye-Sensitized Nanocrystalline Solar Cell with Anthocyanin Dye and Ruthenium Dye as the Sensitizers* (Roskilde University Project, 2006).
  - [15] L. Anggraini, *Pembuatan Dye Sensitized Solar-Cell Dengan Memanfaatkan Sensitizer Ekstrak Kol Merah*, Jurusan Kimia Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.