

Identifikasi pH Larutan Antosianin Kol Merah (*Brassica Oleracea Var.*) terhadap Kinerja Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Ferri Rusady Saputra,* Suryasatriya Trihandaru, dan Adita Sutresno†
*Program Studi Pendidikan Fisika, dan Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Matematika
 Universitas Kristen Satya Wacana, Jl. Diponegoro No. 52-60, Salatiga 50711*

Intisari

Kol merah adalah salah satu bahan organik yang mengandung antosiani. Antosianin ini dapat dimanfaatkan sebagai dye dalam pembuatan prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) sebagai donor elektron. Pada artikel ini dilaporkan bahwa sel surya direndam dalam larutan ekstrak kol merah (*Brassica Oleracea Var.*) dengan variasi pH larutan yang berbeda-beda yaitu pada pH 1,5; 2,5; dan 3,5. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sel surya dengan perendaman larutan antosianin kol merah pH 3,5 memiliki hasil keluaran paling baik yaitu pada rangkaian terbuka diperoleh arus pendek (I_{sc}) sebesar $56 \mu A$, pada tegangan terbuka (V_{oc}) diperoleh sebesar 250 mV dan besar rapat arus sebesar $24,89 \mu A/cm^2$ pada luasan $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$. Nilai efisiensi konversi sel surya mencapai $2,55 \times 10^{-3}\%$.

ABSTRACT

Red cabbage is one of the organic materials containing anthocyanin. Anthocyanin can be used as the dye in *Dye sensitized Solar Cell* (DSSC) prototype manufacture as the electron donor. In this study, the solar cell was immersed in the extract solution of red cabbage (*Brassica oleracea Var*) with pH varying at pH 1.5, pH 2.5, and pH 3.5. The measurement results showed that the solar cell with red cabbage anthocyanin soaking solution at pH of 3.5 and the best result as at the open circuit is obtained $56 \mu A$ of short circuit (I_{sc}), at the open voltage (V_{oc}) is obtained 250 mV and $24.89 \mu A/cm^2$ of current density in the $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ area. The conversion efficiency value of solar cell reached $2.55 \times 10^{-3}\%$

KATA KUNCI: pH, anthocyanin, *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

I. PENDAHULUAN

Krisis Energi

Bio sel surya *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan sumber energi alternatif sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan zat alam sebagai fotosensitizer. Mengingat matahari merupakan sumber energi yang sangat besar, terkait dengan letak Indonesia yang berada pada garis katulistiwa, dalam sehari wilayah Indonesia disinari matahari selama 10-12 jam, total intensitas penyinaran rata-rata 4,5 kWh per meter persegi perhari. Lama rata-rata matahari bersinar berkisar 2000 jam per tahun sehingga tergolong kaya sumber energi matahari [1]. Berkaitan dengan pemanfaatan sumber energi matahari, Michael Grätzel adalah peneliti yang pertama kali berhasil mengembangkan sistem sel surya tersintesa pewarna [2, 3]. Penelitiannya me-

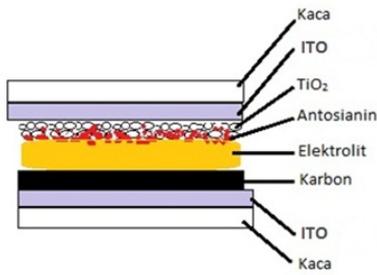
nunjukkan bahwa kelebihan dari bio sel surya harganya murah dan tidak menggunakan peralatan canggih sehingga mudah dibuat [3–5]. Bio sel DSSC ini perlu dikembangkan mengingat kebutuhan akan energi listrik pada waktu lama akan semakin meningkat yang dikarenakan oleh pemakaian listrik yang tidak terkontrol, akibat pertumbuhan ekonomi dan penduduk yang pesat. Ini akan menimbulkan permasalahan yaitu krisis energi listrik. Target pertumbuhan ekonomi selama 5 tahun kedepan telah dipatok pada angka 7% yang berarti harus ada persiapan penyediaan listrik dengan laju pertumbuhan sekitar 10,5% per tahun. Jika mengacu dari pertumbuhan tersebut maka tahun 2020 perlu penambahan 30.000 mW untuk wilayah Jawa, Madura, dan Bali [6].

Di sisi lain masih perlu banyak pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan nilai efisiensi DSSC ini. Dalam penelitian awal Penulis pada paper [7] tentang kinerja dari sel surya (DSSC) terhadap pengaruh jumlah antosianin yang terkandung dalam ekstrak kol merah dari tegangan terhadap waktu yang dihasilkan. Dalam penelitian tersebut diketahui bahwa semakin banyak jumlah antosiani, maka semakin tinggi tegangan yang dihasilkan yaitu pada perbandingan pelarut metanol, asam asetat, dan aquades sebesar 40:8:52 [7].

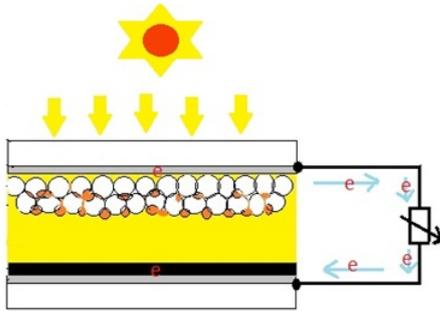
Penulis mengembangkan penelitian pada paper [5] untuk

*E-MAIL: ferrirusady_marsa@ymail.com

†E-MAIL: adita@staff.uksw.edu



Gambar 1: Skema Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) [7]



Gambar 2: Sistem kerja DSSC

mengetahui pengaruh pengenceran larutan ekstrak antosianin kol merah dalam kinerja sel surya (DSSC). Dalam penelitian ini ditemukan bahwa pada konsentrasi 100% (tanpa pengenceran) diperoleh keluaran tegangan terhadap waktu (V-t) yang lebih besar daripada dengan konsentrasi yang lain, begitu juga arus terhadap tegangan (I-V) [5].

Pada artikel ini dilaporkan hasil kajian lanjutan dari hasil penelitian sebelumnya ([5] dan [7]) yakni untuk mengetahui pengaruh pH larutan antosianin kol merah terhadap efisiensi DSSC. Kajian pustaka tentang derajat keasaman (pH), antosianin, cara kerja DSSC, dan karakterisasi arus-tegangan DSSC pada artikel ini mengacu pada artikel sebelumnya pada halaman 58 di depan, dengan gambar skema dan cara kerja DSSC ditunjukkan Gambar 1 dan 2.

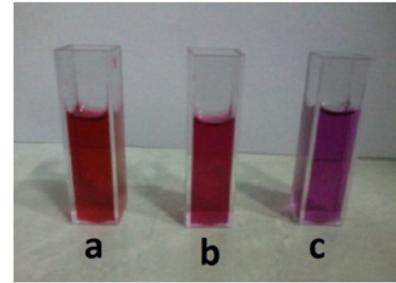
II. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan dan Alat

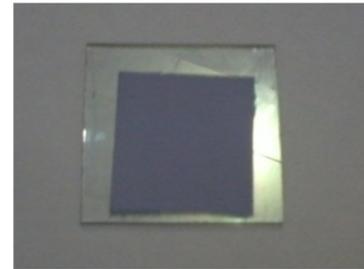
Pada penelian ini bahan-bahan yang digunakan meliputi kaca berlapis ITO (indium-tin oxide), titanium dioxide (TiO₂), aseton, etanol, metanol, asam asetat, aquades, potasium iodide (KI), iodine (I₂), *polyethylene glycol* (PEG).

Ekstraksi Dye Antosianin

20 gram kol merah yang masih segar ditimbang dengan menggunakan timbangan digital dan ditumbuk dengan mor-



Gambar 3: Larutan ekstrak kol merah a. pH 1.5, b. pH 2.5, dan c. pH 3.5

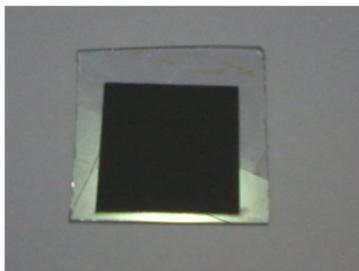


Gambar 4: Skema Pelapisan TiO₂ pada Kaca ITO.

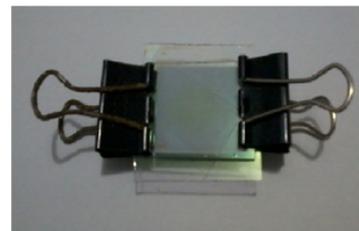
tar sampai halus. Selanjutnya kol yang sudah halus dimasukkan dalam tabung erlenmeyer yang sudah dilapisi dengan aluminium foil atau botol yang berwarna gelap dan direndam selama 24 jam dalam campuran pelarut 40 ml metanol, 8 ml asam asetat, dan 52 ml aquades yang sebelumnya sudah diaduk selama 30 menit menggunakan magnetic stirer. Setelah 24 jam ekstrak antosianin kol merah disaring dengan menggunakan kertas saring (filter) dan dimasukkan ke dalam botol gelap atau botol yang telah dilapisi dengan aluminium foil [5]. Setelah hasil ekstrak antosianin diperoleh kemudian diukur pH nya dengan menggunakan *pH-indicator strips*. Untuk membuat larutan ekstrak antosianin dengan pH yang berbeda-beda dilakukan pengurangan atau penambahan jumlah asam asetat sebanyak 4 ml pada campuran pelarut saat mengekstrak. Hasil ekstrak antosianin kol merah ditunjukkan pada Gambar 3.

Preparasi Elektroda TiO₂

Dengan menggunakan multimeter digital kaca berlapis ITO (*indium-tin oxide*) diukur resistansinya. Kemudian pada bagian tepi kaca berlapis ITO ditutup dengan menggunakan isolatipe seperti pada Gambar 4. sehingga sisa luasan yang dikosongkan mempunyai luasan 15 mm × 15 mm. Selanjutnya dalam pembuatan larutan TiO₂ digunakan untuk melapisi kaca ITO. 3,5 gram koloid TiO₂ dilarutkan pada 15 ml etanol, lalu diaduk selama 30 menit menggunakan magnetic stirer [14]. Setelah terbentuk pasta TiO₂ selanjutnya dilakukan pelapisan pada bagian kaca berlapis ITO yang sudah dibersihkan dengan aseton. Setelah lapisan kering, isolatipe dibuka dan kemudian kaca ITO dipanaskan dengan suhu 200°C selama ±20 menit.



Gambar 5: Skema Pelapisan Karbon pada Kaca ITO.



Gambar 6: Struktur wafer sel surya DSSC

Preparasi Elektrolit

Sebanyak 8,30 gram Potassium Iodide (KI) dan 1,26 gr Iodine (I_2) digunakan untuk membuat elektrolit yang kemudian dilarutkan dalam 100 ml *Polyethylene Glycol* (PEG). Kemudian larutan elektrolit tersebut diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit. Larutan elektrolit yang sudah jadi kemudian disimpan dalam botol berwarna gelap atau botol yang telah dilapisi dengan aluminium foil [14].

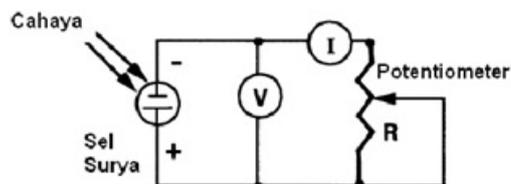
Preparasi Elektroda Karbon

Kaca berlapis ITO dibersihkan dengan aseton terlebih dahulu kemudian diukur resistansiya dengan menggunakan multimeter digital. Kemudian pada bagian tepi kaca berlapis ITO ditutup dengan menggunakan isolatipe seperti pada Gambar 5. Selanjutnya kaca berlapis ITO dilapisi dengan larutan karbon yang dibuat dari karbon pensil 2B yang sudah dihaluskan dengan mortar, lalu ditimbang sebanyak 3,5 gram yang dilarutkan dalam 15 ml etanol. Kemudian diaduk selama 30 menit menggunakan magnetic stirrer hingga terbentuk larutan karbon [15].

Pembuatan dan Karakterisasi DSSC

Elektroda TiO_2 yang telah jadi kemudian direndam dalam larutan ekstrak antosianin yang berbeda pH-nya yaitu masing-masing pada pH 1,5; 2,5; dan 3,5 selama 24 jam. Setelah masing-masing elektroda TiO_2 direndam dalam larutan ekstrak antosianin, kemudian diangkat dan dikeringkan dengan kertas tisu. Selanjutnya elektroda TiO_2 , elektrolit, dan elektroda karbon dirangkai seperti struktur wafer yang dicepit dengan binder clips seperti pada Gambar 6.

Untuk menganalisis karakteristik hasil keluaran dari sel surya yang telah dirangkai selanjutnya diukur arus dan tegangannya (I-V) dengan menggunakan multimeter digital. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya lampu xenon pada jarak 30 cm seperti pada rangkaian pengukuran (Gambar 7). Nilai arus maupun tegangan keluaran pada sel surya diukur pada setiap variasi hambatan mulai dari hambatan maksimal hingga minimalnya. Selanjutnya hasil pengukuran yang didapat dibuat kurva I-V kemudian dianalisis untuk mengetahui performa dari sel surya.



Gambar 7: Rangkaian pengukuran DSSC [4] dengan modifikasi gambar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Arus dan Tegangan

Berdasarkan pengukuran pH larutan ekstrak antosianin kol merah dengan menggunakan pH-Indikator strips didapatkan pH 3,5 pada larutan dengan pengurangan asam asetat 4 ml (40 ml methanol : 4 ml asam asetat : 52 ml aquades), pada larutan ekstrak tanpa penambahan atau pengurangan asam asetat (40 ml methanol : 8 ml asam asetat : 52 ml aquades) didapatkan pH 2,5, sedangkan pada penambahan 4 ml asam asetat (40 ml methanol : 12 ml asam asetat : 52 ml aquades) didapatkan pH 1,5, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

Pada Gambar 9, disajikan kurva pengaruh pH larutan ekstrak kol merah pada karakteristik arus terhadap tegangan (I-V) dari sel surya dengan penyinaran lampu xenon 1000 watt/m² pada jarak 30 cm. Seperti pada Table I. dapat dilihat bahwa pH larutan mempengaruhi parameter-parameter hasil kinerja sel surya. Dari data hasil pengujian sel surya tersebut, maka dapat diketahui nilai efisiensi konversi energi (η) sel surya dengan menggunakan Pers. (1), (2), dan (3).

Pada sel surya yang direndam dalam larutan ekstrak antosianin kol merah dengan pH 3,5 ditunjukkan nilai tegangan rangkaian buka (V_{oc}) sebesar 250 mV dengan besar arus rangkaian pendek (I_{oc}) sebesar 56 μA . Tegangan maksimum (V_{max}) yang dihasilkan sebesar 153 mV, sedangkan arus maksimum (I_{max}) sebesar 38 μA . Besar rapat arus pada luasan $15 \times 15 \text{ mm}^2$ sebesar 24,89 $\mu A/cm^2$. Nilai efisiensi konversi sel surya baru mencapai $2,55 \times 10^{-3} \%$ (Gambar 9(a)).

Sedangkan sel surya yang direndam dalam larutan ekstrak antosianin kol merah dengan pH 2,5 menunjukkan tegangan rangkaian buka (V_{oc}) 39 mV dengan besar arus rangkaian pendek (I_{sc}) 52 μA . Tegangan maksimum (V_{max}) yang dihasilkan 27 mV, sedangkan arus maksimum (I_{max}) 43 μA .



Gambar 8: Pengecekan besar pH dengan pH-indicator strips, kol 1 menunjukkan pH 1,5 merupakan larutan dengan penambahan asam asetat 4 ml, kol 2 menunjukkan pH 2,5 merupakan larutan tanpa penambahan atau pengurangan asam asetat, dan kol 3 menunjukkan pH 3,5 merupakan larutan dengan pengurangan asam asetat 4 ml.

TABEL I: Parameter-parameter Sel Surya DSSC

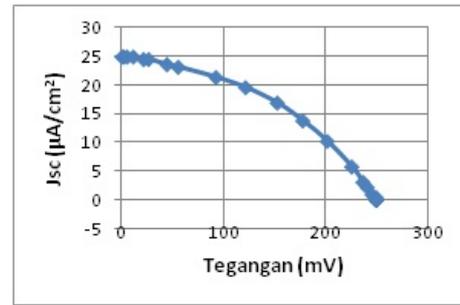
pH Larutan	I_{sc}	V_{oc}	I_{max}	V_{max}	J_{sc}	FF	η
Ekstrak Antosianin Kol merah	(μA)	(mV)	(μA)	(mV)	($\mu A/cm^2$)		($10^{-3}\%$)
3,5	56	250	38	153	24,89	0,41	2,55
2,5	52	39	43	27	23,11	0,57	0,51
1,5	44	6,6	4,6	31	19,56	0,49	0,06

Besar rapat arus sebesar $23,11 \mu A/cm^2$. Nilai efisiensi konversi sel surya mencapai $0,51 \times 10^{-3}\%$ (Gambar 9(b)).

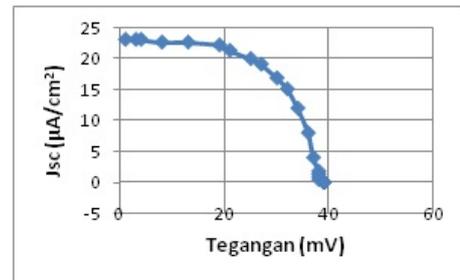
Pada perendaman sel surya dalam larutan ekstrak antosianin kol merah dengan pH 1,5 ditunjukkan nilai tegangan rangkaian buka (V_{oc}) 6,6 mV dengan besar arus rangkaian pendek (I_{sc}) 44 μA . Tegangan maksimum (V_{max}) yang dihasilkan 31 mV, sedangkan arus maksimum (I_{max}) 4,6 μA . Besar rapat arus $19,56 \mu A/cm^2$, nilai efisiensi konversi sel surya mencapai $0,06 \times 10^{-3}\%$ (Gambar 9(c)).

Dari Tabel I, dapat dilihat bahwa keluaran yang dihasilkan DSSC untuk TiO_2 yang direndam dalam cairan ekstrak antosianin pada pH 3,5 selama 24 jam menghasilkan efisiensi konversi keluaran paling besar yaitu $2,55 \times 10^{-3}\%$ (Gambar 11(a)), hasil ini sedikit lebih baik dibandingkan dengan hasil yang didapat pada penelitian Anita, *dkk.* [15] dengan menggunakan klorofil daun kacang panjang sebagai dye dengan efisiensi konversi $2 \times 10^{-3}\%$, tetapi efisiensi ini masih kecil dibandingkan dengan Michael Grätzel *et al.* [3] dengan menggunakan dye sintetis yang mencapai 11%, seperti terlihat pada Gambar 10.

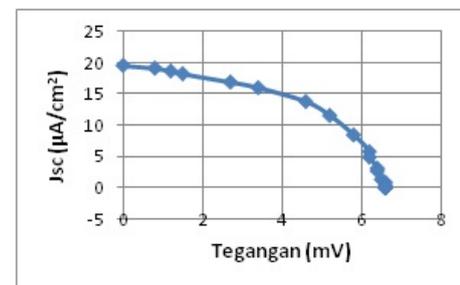
Sedangkan pada pH 1,5 menunjukkan efisiensi konversi keluaran paling kecil. Ini memperlihatkan pada larutan pH 3,5 memiliki kinerja sel surya yang paling efektif. Hal ini dikarenakan pH larutan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi stabilitas dari antosiani, sehingga mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan. Hasil ini berlawanan dengan



(a) pH 3,0



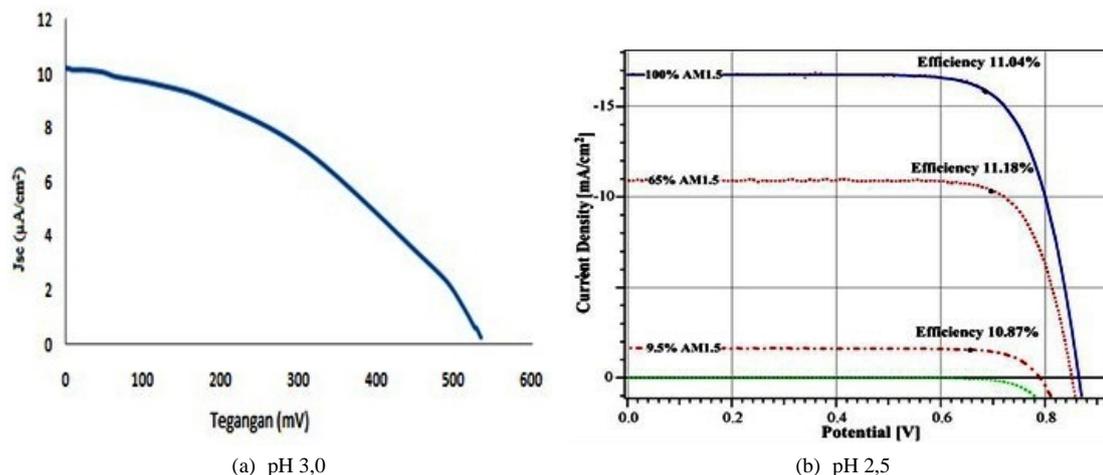
(b) pH 2,5



(c) pH 2,0

Gambar 9: Grafik karakteristik arus-tegangan DSSC dengan perbedaan pH pada perendaman 24 jam. (a) pH 3,5 (40 ml methanol : 4 ml asam asetat : 52 ml aquades), (b) pH 2,5 (40 ml methanol : 8 ml asam asetat : 52 ml aquades), dan (c) pH 1,5 (40 ml methanol : 12 ml asam asetat : 52 ml aquades).

penelitian lain yang menggunakan ekstrak antosianin strawberry dimana pada pH 2 justru menunjukkan kinerja yang paling efektif. Ini disebabkan susunan struktur kimia dasar dari antosianin kol merah dan strawberry yang berbeda sehingga mengakibatkan berbedanya hasil keluaran. Hasil keluaran ini lumayan cukup besar terutama pada arus keluaran pada sel surya dibandingkan dengan penelitian A. Maddu, *dkk.* [4] dan Anita, *dkk.* [15] yang dikarenakan pada lapisan gabungan elektroda TiO_2 - elektrolit - elektroda karbon nilai resistansinya sudah relative lebih kecil yaitu 1,4 kiloOhm ($k\Omega$) dibanding dengan penelitian sebelumnya mencapai orde megaOhm ($M\Omega$) [4, 15]. Nilai resistansi yang cukup kecil ini mengakibatkan elektron yang diinjeksi dari dye mengalami hambatan yang lebih kecil di dalam lapisan TiO_2 sehingga jumlah elektron yang mengalir ke rangkaian luar menjadi lebih besar, akibatnya arus yang dihasilkan juga lebih besar. Sel surya ini juga belum dapat sempurna yang dimungkinkan



Gambar 10: Grafik karakteristik arus-tegangan DSSC (a) pada penelitian Anita[15] dan (b) pada penelitian Michael Grätzel[3].

belum optimalnya penyerapan dye dan fungsi dye itu sendiri dalam proses injeksi elektron pada elektroda TiO_2 .

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berisi tentang laporan penelitian tentang pengaruh pH larutan ekstrak antosianin kol merah terhadap kinerja sel surya (DSSC). Sel surya yang digunakan dalam penelitian telah direndam selama 24 jam pada larutan pH 3,5;

2,5; dan 1,5. Ditemukan bahwa pada perendaman larutan pH 3,5 diperoleh keluaran tegangan rangkaian buka (V_{oc}) dan arus rangkaian pendek (I_{sc} yang lebih besar daripada dengan pH lainnya yaitu 250 mV dan $56 \mu\text{A}$). Tegangan maksimum (V_{max}) dan arus maksimum (I_{max}) masing-masing sebesar 153 mV dan $38 \mu\text{A}$. Besar rapat arus pada luasan $15 \times 15 \text{ mm}^2$ sebesar $24,89 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, sedangkan nilai efisiensi konversi sel surya mencapai $2,55 \times 10^{-3}\%$. Dari hasil penelitian didapatkan kinerja sel surya yang paling efektif yaitu pada perendaman larutan ekstrak antosianin kol merah dengan pH 3,5.

- [1] D.A. Widodo, dkk., *Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas*, Artikel Penelitian, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2009.
- [2] M. Grätzel, *J. Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* **4**, 145-153 (2003).
- [3] M. Grätzel, *Chimie* **9**, 578-583 (2005).
- [4] A. Maddu, M. Zuhri, dan Irmansyah, *Makara, Teknologi* **11**(2), 78-84 (2007).
- [5] F.R. Saputra, F.S. Rondonuwu, A. Sutresno, *Pemanfaatan Ekstrak Antosianin Kol Merah (Brassica Oleracea Var) Sebagai Dye Sensitized dalam Pembuatan Prototipe Solar Cell (DSSC)*, Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII **4**(1), 332-333, 2013.
- [6] Listrik dan Sumber Energi Baru [<http://www.suaramerdeka.com/v1/index.php/read/cetak/2012/06/22/190272/10/Listrik-dan-Sumber-Energi-Baru>]. (22 juni 2012)
- [7] F.R. Saputra, F.S. Rondonuwu, A. Sutresno, *Identifikasi Antosianin Kol Merah (Brassica oleracea var) untuk Potensi sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, Seminar Nasional 2nd Lontar Physics Forum 2013 LPF 1345.
- [8] Seafast Center, *Merah-Ungu Antosianin, Pewarna Alami untuk Pangan* (23-43) 2012.
- [9] P.K. Das, et al., *Plant Signaling and Behavior* **6**(1) (2011).
- [10] V. Ekasari, dan G. Yudoyono, *Jurnal Sain dan Seni POMITS* **2**(1), 2337-3520 (2013).
- [11] J.M.R.C. Fernando, and G.K.R. Senadeera, *Current Science* **95**(5), 663-666 (2008).
- [12] M.S.W. Kumara, dan G. Prajitno, *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC*, Laporan Penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 2012.
- [13] T. Marinado, T., *Photoelectrochemical studies of dye sensitized solar cells using organic dyes* (Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 2009).
- [14] W. Septina, dkk., *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*, Laporan Penelitian Bidang Energi, Instiut Teknologi Bandung, Bandung 2007.
- [15] Anita, dkk., *Karakteristik Klorofil Pada Daun Kacang Panjang (Vigna Sinensis) sebagai Dye-Sensitized Solar Cells*, Seminar Nasional 2nd Lontar Physics Forum 2013 LPF 1353.