



KARAKTERISASI PROTOTIPE SEL SURYA ORGANIK BERBAHAN DASAR EKSTRAK BAWANG MERAH YANG DIFABRIKASI DENGAN METODE SPINCOATING

Noverdi Afrian, Sutikno[✉], Ngurah Made Dharma Putra

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Diterima Februari 2015

Disetujui Februari 2015

Dipublikasikan Agustus 2015

Keywords:

Onion essence, organic solar cell, spincoating

Abstrak

Sel surya organik dengan struktur laminated heterojunction ITO/Pedot: PSS/PEG/PEG+Antosianin/Antosianin/Al telah dibuat. Fabrikasi lapisan aktif sel surya organik dengan menggunakan metode spin coating sedangkan fabrikasi elektroda counter dengan menggunakan metode evaporator. Antosianin pada lapisan aktif menggunakan ekstrak bawang merah. Karakterisasi sifat optik lapisan aktif dilakukan pada cahaya tampak dengan menggunakan VIS-NIR Spektrometer dan FTIR Spektrometer, sedangkan karakteristik sifat listrik menggunakan I-V Meter El Kahfi. Karakterisasi sel surya organik diukur dengan menggunakan Keithley 4200. Sel surya organik diukur dibawah pencahayaan sebesar 1000 watt/m² dengan menggunakan sumber cahaya xenon pada luas area 1 cm². Berdasarkan hasil yang diperoleh sel surya organik yang difabrikasi memiliki nilai $I_{sc} = -5,52 \times 10^{-7}$ A, $V_{oc} = -0,5000346$ V, $FF = 1,103$, Efisiensi = $3,045 \times 10^{-4}\%$.

Abstract

An organic solar cell with laminated heterojunction ITO/Pedot: PSS/PEG/PEG+Antosianin/Antosianin/Al structure had been created. Active layer fabrication of an organic solar cell used spin coating method, and counter electrode fabrication used evaporator method. Antosianin in active layer used onion essence. Optical property characterization of the active layer was carried out at visible light using VIS-NIR Spectrometer and FTIR Spectrometer, while electrical property characterization used I-V meter El Kahfi. Organic solar cell characterization was measured using Keithly 4200. Organic solar cell was measured under the lighting about 1000 watt/m² using light source of xenon in 1 cm² area. Based on the result, organic solar cell that was fabricated had value of $I_{sc} = -5,52 \times 10^{-7}$ A, $V_{oc} = -0,5000346$ V, $FF = 1,103$, Efficiency = $3,045 \times 10^{-4}\%$.

© 2015 Universitas Negeri Semarang

[✉] Alamat korespondensi:
E-mail: smadnasri@yahoo.com

PENDAHULUAN

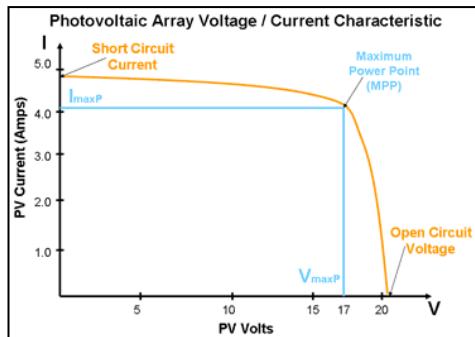
Sel surya atau yang biasa disebut sebagai fotovoltaik merupakan piranti elektronik berbahan semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi listrik arus searah (Patel, 2006). Energi surya menjadi salah satu alternatif yang banyak digunakan karena sangat menjanjikan antara lain ditinjau dari segi kelimpahannya di alam, bersih, aman dan memungkinkan sebagai pembangkit energi di daerah-daerah terpencil terutama di Indonesia yang beriklim tropis (Arya et al., 2013). Hal ini berangkat dari fakta bahwa cahaya matahari merupakan sumber energi regeneratif yang sangat penting dan merupakan satu-satunya sumber hampir tak terbatas di alam. Energi iradiasi matahari di bumi tiap tahun (5% UV, 43% terlihat, 52% IR) melebihi konsumsi energi tahunan dunia. Sehingga salah satu upaya untuk memanfaatkan energi surya tersebut adalah dengan mengkonversikannya langsung menjadi energi listrik melalui sel fotovoltaik (Whorle, 1991).

Namun meski begitu energi surya memiliki aplikasi terbatas yang terkait langsung dengan biaya tinggi dari per watt listrik yang dihasilkan. Terlebih saat ini teknologi sel surya berbasis silikon kristal menghadapi masalah bahan baku. Sehingga penelitian berkenaan dengan pengembangan material baru sebagai bahan sel surya dengan biaya yang lebih rendah merupakan masalah yang mendesak (Al Bat'hi, 2013).

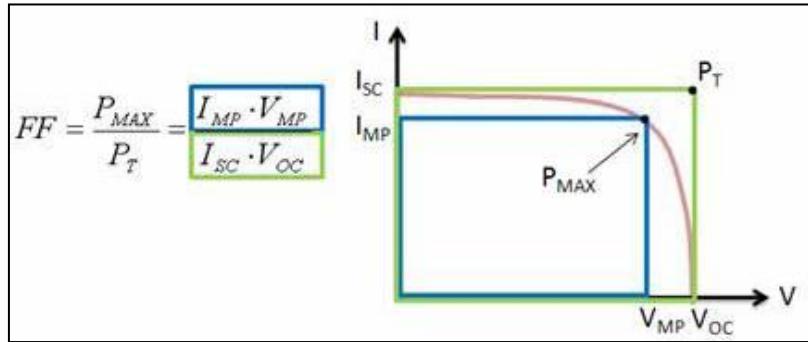
Baru-baru ini, penelitian telah difokuskan pada pewarna yang mudah diperoleh di alam sebagai fotosensitizer karena koefisien yang besar penyerapan, efisiensi pemanenan cahaya tinggi, biaya rendah, keramahan persiapan dan lingkungan yang mudah. Sejauh ini, beberapa pewarna diekstrak dari sumber alami delima, mawar (Karki, 2012), beras hitam, kubis merah (Buraidah, 2011), anggur, Hibiscus, Klorofil (Alhamed, 2012), dll, telah digunakan sebagai sensitizer dalam DSSC karena penerapan pigmen alami yang dikandung. Dalam penelitian ini digunakan antosianin yang merupakan pigmen alami yang memberikan warna merah, ungu, serta biru. Keuntungan dari antosianin adalah pengikatan karbonil dan hidroksil kelompok ke permukaan film semikonduktor berpori. Hal ini menyebabkan transfer elektron dari molekul antosianin ke pita konduksi lapisan bahan semikonduktor (Kim, 2013).

Proses operasi dari sel surya organik terdiri dari 3 tahapan, yaitu (a) absorpsi cahaya surya (energi foton), (b) terjadinya pemisahan muatan (elektron dan hole) pada permukaan antara donor-akseptor, dan (c) aliran dari kedua muatan tersebut di dalam bahan organik ke kedua elektrodanya. Syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi pengubahan energi foton (cahaya) menjadi arus listrik adalah bahwa elektron dan hole tidak terjadi rekombinasi sebelum dibawa ke rangkaian eksternal. Untuk mengurangi proses rekombinasi elektron - hole, maka elektron dan hole ditransportasikan oleh bahan yang berbeda. Sebagai contoh untuk piranti donor - akseptor, maka material akseptor mempunyai sifat konduktivitas electron yang baik. Sebaliknya untuk bahan donor mempunyai konduktivitas hole yang baik. Oleh karena itu bahan organik yang mudah menghasilkan pasangan elektron - hole dan bahan organik mobilitas muatan yang tinggi adalah merupakan faktor yang penting dalam menentukan besarnya efisiensi sel surya bahan organik (Nurosyid, 2010). Adapun pada penelitian ini digunakan bawang merah yang telah diekstrak dan dikarakterisasi agar dapat diketahui nilai absorbansinya. Dengan harapan dapat dijadikan sebagai tolok ukur dalam pemanfaatannya sebagai *dye sensitizer* pada sel surya organik.

Secara umum, karakteristik sel surya berupa grafik *non-linier* I-V. Daya listrik yang dihasilkan sel surya diperoleh dari kemampuan sel tersebut untuk menghasilkan tegangan ketika diberi beban, dan arus yang dihasilkan ketika memalui beban pada waktu yang sama (Hilman, 2013).



Gambar 1. Karakteristik I-V sel surya



Gambar 2. Fill Factor sel surya

Karakteristik lain dari sel surya adalah fill factor, yaitu perbandingan antara daya maksimum terhadap daya teoritis.

$$FF = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (1)$$

Sementara nilai efisiensinya diperoleh dari perbandingan antara daya maksimum dengan daya masukan dari sel surya organik.

$$\eta(\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{P_{in}} \times 100 \quad (2)$$

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah bawang merah, larutan ethanol 96%, aquades, asam asetat, spiritus, dan kaca preparat. Dengan menggunakan alat-alat seperti glass baker, gelas ukur, kertas saring, blender, alat destilasi, kompor spiritus, pemotong kaca, kertas obat, penyaring, magnetic stirrer, spincoater, oven, serta UV vis, I-V meter, dan CCD sebagai alat uji karakterisasinya.

Bawang merah yang telah dipotong dicampur pelarut dengan komposisi 20 gram aquades dan 100 gram ethanol, dan 4 gram asam asetat. Pada penelitian ini sampel ekstrak bawang merah dibagi menjadi 5 jenis sampel dengan nilai fraksi yang berbeda-beda. Yaitu dengan nilai fraksi 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; dan 0,6. Dengan variasi massa bawang merah berturut-turut sebesar 31 gram, 62 gram, 83 gram, 124 gram, 186 gram.

Tabel 1. Fraksi ekstraksi bawang merah

Kode Sampel	Fraksi (x)	Bawang merah (gram)	Pelarut (gram)
A	0,2	31	124
B	0,3	62	124
C	0,4	83	124
D	0,5	124	124
E	0,6	186	124

Campuran bawang merah dan pelarut dalam tiap-tiap fraksi tersebut kemudian diblender selama 2 menit. Larutan didiamkan sejenak, lalu disaring dengan penyaring dan kertas saring sehingga hanya diperoleh cairan larutan ekstraksi.

Larutan ekstrak bawang merah tersebut diukur volumenya melalui gelas ukur kemudian dimasukkan ke dalam tabung destilasi. Lalu larutan dalam tabung tersebut mulai dipanaskan dengan menggunakan kompor spirtus. Dalam proses destilasi ini perlu dilakukan pengamatan yang cukup cermat berkaitan dengan waktu awal dimulainya pemanasan, waktu dimana uap mulai menetes di baker glass, juga waktu dimana uap mulai berhenti menetes.

Larutan residu yang tersisa di dalam tabung destilasi kemudian kembali dimasukkan ke dalam gelas ukur untuk mengetahui besar perubahan volume yang terjadi. Kemudian dimasukkan ke dalam gelas yang telah diberi magnet yang akan diputar sebagai pengaduk melalui heated magnetic stirrer dengan kecepatan putar sebesar 500 rpm. Larutan tersebut terus dipanaskan dan diputar hingga mengental. Kemudian ekstrak bawang merah tersebut dimasukkan ke dalam botol tetes.

Tiap-tiap ekstrak bawang merah yang telah melalui proses destilasi dan heated magnetic stirring mula-mula diteteskan pada kaca preparat ukuran 1x1,25 cm yang telah direndam dengan ethanol 96%. Kemudian preparat diputar dengan spincoater selama 30 detik. Usai di-spincoating, preparat tersebut kemudian dikeringkan dan dipanaskan pada suhu 220°C selama 10 menit ke dalam oven. Setelah itu, film tipis dari ekstrak bawang merah disimpan dalam kertas obat. Film tipis yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi dengan I-V meter, Vis NIR, dan CCD untuk diketahui sifat kelistrikan, nilai absorbansi, serta gambar penampang permukaan film dari tiap-tiap fraksi ekstrak bawang merah.

Setelah proses ekstraksi selesai, maka dilakukanlah proses fabrikasi. Mula-mula dengan memotong ITO ukuran 1 cm x 1,5 cm. Kaca ITO yang telah dipotong kemudian direndam dalam ethanol menggunakan ultrasonic cleaner selama 15 menit. Kemudian dimulailah proses pelapisan layer dengan metode spincoating. Lapisan pertama adalah PEDOT:PSS yang dilapiskan pada kecepatan 600 rpm menggunakan spincoating. Setelah 1 menit, lapisan tersebut kemudian dianneling pada suhu 100°C selama 10 menit.

Lapisan selanjutnya adalah PEG yang didepositikan dengan kecepatan putar 600 rpm selama 30 detik, kemudian dianneling pada suhu 100°C selama 10 menit. Sebagai lapisan akseptor, larutan PEG+antosianin didepositikan diatas lapisan PEG dengan kecepatan putar 2500 rpm selama 30 detik dan dianneling pada suhu 200°C. Dan selanjutnya lapisan antosianin yang didepositikan diatas lapisan PEG+antosianin dengan kecepatan putar 2500 rpm selama 30 detik dan dianneling pada suhu 200°C. Elektroda alumunium dibuat dengan teknik evaporasi termal. Area aktif dari device sel surya berukuran 1 cm². Karakterisasi arus dan tegangan dilakukan dengan menggunakan Keithley dibawah penyinaran dan tanpa penyinaran. Sumber cahaya menggunakan lampu xenon dengan intensitas sebesar 1000watt/m² diukur dengan menggunakan solar power meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bawang merah diekstrak dengan variasi massa bawang merah yang disesuaikan dengan tiap-tiap fraksinya. Hal ini didasarkan pada persamaan:

$$x = \frac{a}{a+b} \quad (3)$$

dengan x = fraksi; a = massa bawang merah; b = massa pelarut.

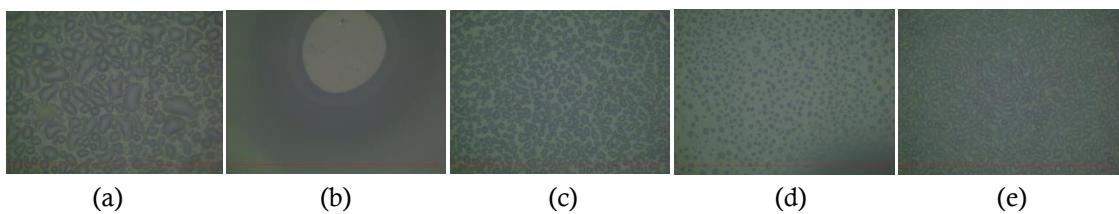
Sehingga mulai dari fraksi 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; dan 0,6 berturut-turut diperoleh besar massa bawang merah yang akan diekstrak yaitu 31 gram, 62 gram, 83 gram, 124 gram, dan 186 gram.

Variasi massa bawang merah ini membuat volume ekstraksi bawang merah setelah didestilasi menjadi berbeda-beda. Pada fraksi 0,2 didapatkan volume sebesar 24 ml. Pada fraksi 0,3 didapatkan volume ekstraksi sebesar 36 ml. Pada fraksi 0,4 didapatkan volume ekstraksi sebesar 58 ml. Pada fraksi 0,5 didapatkan volume ekstraksi sebesar 73 ml. Dan pada fraksi 0,6 didapatkan volume ekstraksi sebesar 44 ml.

Dalam proses destilasi, larutan ekstrak bawang merah akan dipisahkan dari pelarutnya. Mula-mula larutan dalam tabung destilasi akan dipanaskan hingga mencapai titik uapnya. Dalam hal ini campuran akan dipisahkan menjadi dua, yaitu bagian yang mudah menguap dan bagian yang sukar menguap. Uap yang mengembun kemudian dialirkan lewat tabung pendingin menuju ke bejana penampung. Sehingga akan diperoleh ekstrak antosianin bawang merah yang telah dipisahkan dari campuran bahan pelarut.

Karakterisasi struktur mikro film ekstrak bawang merah dilakukan dengan menggunakan CCD Microscope MS-804. Sampel cairan ekstrak bawang merah dilapiskan pada substrat kaca dengan metode *spin coating*. Proses *spin coating* dilakukan selama 30 detik. Proses selanjutnya, sampel film tipis di-*prebake* selama 10 menit menggunakan oven dengan suhu 150 °C. Kemudian sampel film tipis kering ini dikarakterisasi menggunakan CCD Microscope MS-804 untuk mengetahui struktur mikro film tipis.

Struktur mikro kelima sampel film tipis ekstrak bawang merah dengan komposisi yang berbeda ditunjukkan oleh gambar. Berdasarkan gambar tersebut, homogenitas permukaan sampel film tipis ekstrak bawang merah berbeda-beda.

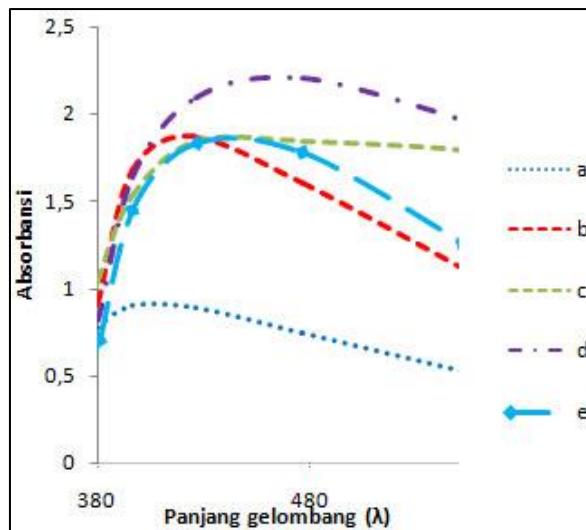


Gambar 3. Struktur permukaan film tipis ekstrak bawang merah: a) fraksi 0,2; b) fraksi 0,3; c) fraksi 0,4; d) fraksi 0,5; e) fraksi 0,6.

Pada sampel A terlihat penampang permukaannya bersifat homogen. Pada sampel B nampak terdapat gelembung besar yang terbentuk akibat proses *prebake*. Sampel C jauh lebih homogen daripada sampel B. Pada sampel D dan E juga masih terlihat homogen dengan sampel E lebih homogen daripada sampel D. Meskipun demikian, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen dari sampel A sampai E sehingga semakin banyak komposisi ekstrak bawang merah, struktur mikro film tipis cenderung semakin homogen. Kondisi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu proses *spin coating* dan proses *prebake*.

Pada penelitian ini, absorbansi masing-masing sampel dikarakterisasi menggunakan spektrometer *ocean optic Vis-NIR USB4000*. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui sifat absorbansi ekstrak bawang merah pada panjang gelombang tampak hingga inframerah (350-1000 nm). Secara keseluruhan, kelima sampel memiliki absorbansi yang identik namun berbeda-beda nilainya. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan komposisi ekstrak bawang merah pada penelitian ini turut berpengaruh kepada absorbansi lapisan ekstrak bawang merah pada film tipis.

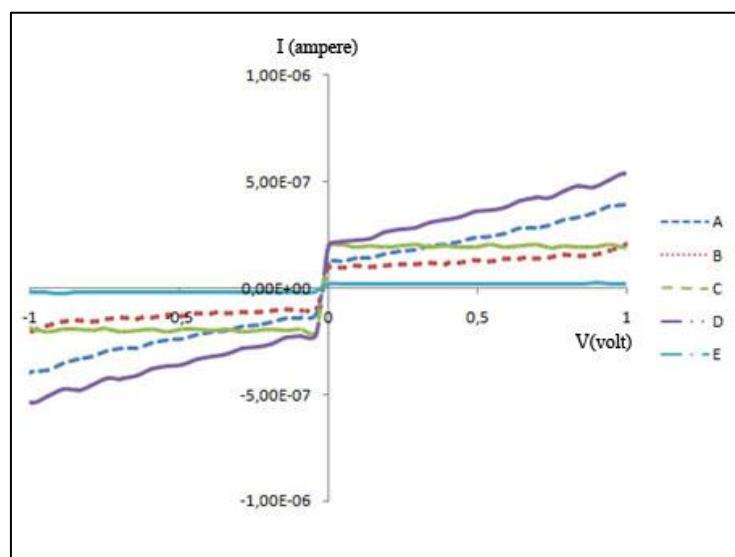
Nampak pada gambar 2 menunjukkan sampel D mempunyai absorbansi yang paling tinggi. Berdasarkan gambar tersebut, sampel D menunjukkan memiliki nilai absorbansi yang paling besar diikuti dengan sampel C, kemudian diteruskan dengan sampel E dan B yang hampir sama besar, dan yang terakhir adalah sampel A. Dari fraksi 0,2 sampai 0,5 nampak bahwa semakin tinggi konsentrasi bawang merah maka semakin tinggi pula absorbansinya. Dan bahan dengan tingkat absorbansi tinggi sangat bagus untuk diaplikasikan sebagai bahan aktif sel surya.



Gambar 4. Absorbansi lapisan ekstrak bawang merah pada sampel A, B, C, D, dan E pada rentang 380 sampai 550

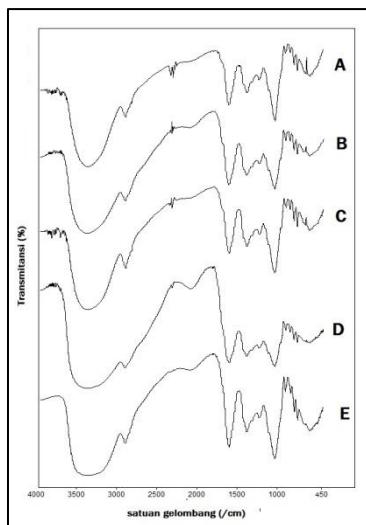
Karakteristik sifat listrik larutan klorofil ditunjukkan dari grafik I-V pada gambar 3. Pengukuran sifat listrik menggunakan alat el-kahfi I-V meter dengan metode two point probe. Dari grafik hubungan I-V yang didapatkan, digunakan untuk menentukan nilai konduktivitas film tipis ekstrak bawang merah.

Berdasarkan grafik yang diperoleh, perbedaan kemampuan lapisan ekstrak bawang merah dalam mengabsorbsi cahaya mempengaruhi kemampuannya dalam mengalirkan elektron. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian I-V larutan. Jika pada gambar 2 menunjukkan sampel D mempunyai absorbansi yang paling tinggi, hal yang sama pada pengujian sifat listriknya dimana sampel D dapat menghasilkan arus yang paling tinggi meskipun tidak stabil. Sedangkan perbandingan nilai konduktivitas bahan dari kelima sampel tersebut ditunjukkan pada gambar 3. Sampel D menunjukkan memiliki nilai konduktivitas yang paling besar diikuti dengan sampel A, sampel B, sampel C dan yang terakhir justru sampel E. Semakin besar nilai konduktivitasnya maka bahan tersebut semakin bagus untuk diaplikasikan sebagai bahan aktif sel surya.



Gambar 5. Grafik I-V meter ekstrak bawang merah pada film tipis.

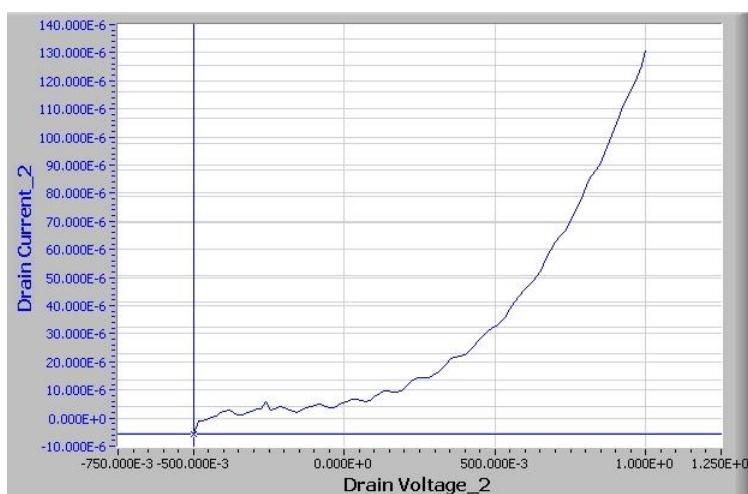
Selanjutnya film tipis ekstrak antosianin bawang merah dikarakterisasi menggunakan Fourier Transform Infra Red (FTIR). Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada gambar . Kelima sampel film tipis tersebut memiliki struktur spektrum yang hampir sama.



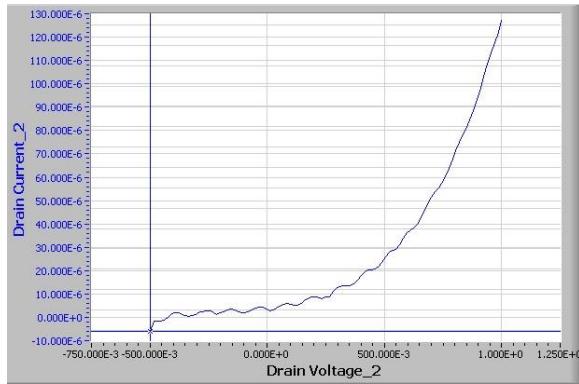
Gambar 6. Spektrum FTIR pada film tipis ekstrak antosianin bawang merah.

Kelima sampel film tipis tersebut memiliki struktur spektrum yang hampir sama. Merujuk pada penelitian yang dilakukan Kim (2013), didapatkan puncak spektrum dari kelima sampel yakni $3395,45\text{ cm}^{-1}$ pada sampel A; $3405,34\text{ cm}^{-1}$ pada sampel B; $3400,51\text{ cm}^{-1}$ pada sampel C; $3399,96\text{ cm}^{-1}$ pada sampel D; $3400,52\text{ cm}^{-1}$ pada sampel E; menunjukkan adanya vibrasi kumpulan hidroxyl bebas pada fenol (Ar-OH). Selain itu adanya puncak spektrum pada $922,81\text{ cm}^{-1}$, $867,34\text{ cm}^{-1}$, $818,16\text{ cm}^{-1}$, dan $779,70\text{ cm}^{-1}$ pada sampel A; $921,96\text{ cm}^{-1}$, $867,58\text{ cm}^{-1}$, $818,46\text{ cm}^{-1}$, dan $779,51\text{ cm}^{-1}$ pada sampel B; $921,33\text{ cm}^{-1}$, $818,48\text{ cm}^{-1}$, $779,49\text{ cm}^{-1}$, dan $671,61\text{ cm}^{-1}$ pada sampel C; $921,10\text{ cm}^{-1}$, $866,10\text{ cm}^{-1}$, $818,39\text{ cm}^{-1}$, dan $779,82\text{ cm}^{-1}$ pada sampel D; $921,91\text{ cm}^{-1}$, $865,57\text{ cm}^{-1}$, $818,73\text{ cm}^{-1}$, dan $779,58\text{ cm}^{-1}$ pada sampel E; menunjukkan bahwa terdapat vibrasi pada ikatan C-H dari ikatan alkena ($\text{RCH}=\text{CH}_2$). Sedangkan puncak spektrum pada rentang 1550 sampai 1700 cm^{-1} pada kelima sampel menunjukkan adanya absorpsi infra merah oleh ikatan $\text{C}=\text{C}$.

Berdasarkan hasil karakterisasi lapisan aktif tersebut, maka dipilih ekstrak bawang merah fraksi 0,5 sebagai lapisan aktif. Dan untuk mengetahui kinerja sel surya organik, dilakukan karakterisasi menggunakan Keithley 4200. Dari grafik I-V yang dibuat, dapat dilihat besarnya arus saat hubungan pendek (*short current*) I_{sc} , tegangan terbuka (*open circuit*) V_{oc} , dan efisiensi sel surya organik. Grafik karakteristik sel surya organik laminated heterojunction berbasis ekstrak bawang merah dalam keadaan disinari lampu xenon dengan intensitas 1000 W/m^2 pada luas area sel surya 1 cm^2 .



Gambar 7. Grafik karakteristik sel surya dalam kondisi gelap.



Gambar 8. Grafik karakteristik sel surya di bawah peninjiran.

Nilai efisiensi konversi daya sangat dipengaruhi oleh besarnya I_{sc} . Semakin besar I_{sc} efisiensinya semakin besar. Jika ditelusuri, I_{sc} merupakan rapat arus yang muncul dalam divais sel surya, ketika divais mendapat pemaparan cahaya tanpa diberi tegangan panjar maju maupun tegangan balik atau berada di kuadran IV (Arya, 2013).

Pada sel surya organik berbasis ekstrak bawang merah menghasilkan arus saat hubungan pendek (*short current*) $I_{sc} = 5,52 \times 10^{-7}$ A dan tegangan terbuka (*open circuit*) $V_{oc} = 0,5000346$ V. Sedangkan nilai Fill Factornya 1,103 dan effisiensinya mencapai $3,045 \times 10^{-4}\%$.

SIMPULAN

Bawang merah merupakan senyawa organik yang mengandung antosianin yang memberikan pigmen warna merah keunguan pada struktur morfologinya. Dalam penelitian ini antosianin menunjukkan respon terhadap cahaya yang ditunjukkan dengan nilai absorbansi yang berbeda-beda sesuai dengan konsentrasi bawang merahnya. Hal yang sama juga berlaku saat sampel diuji nilai konduktivitasnya dengan I-V meter. Berdasarkan hasil uji transmitansi menunjukkan adanya vibrasi kumpulan hidroxyl bebas pada fenol (Ar-OH), terdapat vibrasi pada ikatan C-H dari ikatan alkena (RCH=CH₂), serta adanya absorpsi infra merah oleh ikatan C=C. Sehingga dapat dikatakan bahwa ekstrak bawang merah berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan aktif sel surya.

Lapisan ekstrak bawang merah pada film tipis dengan fraksi 0,5 memiliki nilai konduktivitas dan absorbansi lebih tinggi daripada nilai fraksi di bawahnya. Selain itu, proses destilasi dan spincoating juga turut mempengaruhi nilai konduktivitas dan absorbansi dari film tipis yang dihasilkan.

Pada sel surya organik berbasis ekstrak bawang merah menghasilkan arus saat hubungan pendek (*short current*) $I_{sc} = 5,52 \times 10^{-7}$ A dan tegangan terbuka (*open circuit*) $V_{oc} = 0,5000346$ V. Sedangkan nilai Fill Factornya 1,103 dan effisiensinya mencapai $3,045 \times 10^{-4}\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Bat'hi, S. A. M., et al., 2013. *Natural Photosensitizers for Dye Sensitized Solar Cells*. International Journal Of Renewable Energy Research. Vol.3, No.1
- Alhammed M., et al., 2012. *Studying Of Natural Dyes Properties As Photo-Sensitizer For Dye Sensitized Solar Cells (Dssc)*. Journal of Electron Devices, Vol. 16, 2012, pp. 1370 1383
- Arya, F. et al., 2013. *Fabrikasi Sel Surya Organik Berbasis FTO/PEDOT:PSS/P3HT/Klorofil/AI*. 2nd Lontar Physics Forum ISBN: 978-602-8047-80-7
- Buraidah M. H., et al., 2011. *TiO₂/Chitosan-NH₄I(+I₂)-BMII-Based Dye-Sensitized Solar Cells with Anthocyanin Dyes Extracted from Black Rice and Red Cabbage*. International Journal of Photoenergy Volume 2011, Article ID 273683, 11 pages doi:10.1155/2011/273683

- 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 POMITS Vol. 2, No.1, (2013) 2337-3520 (2301-928X Print).
- Hilman C. & Sa'diah A. 2013. *Analisis Pemanfaatan Anthocyanin Tumbuhan Tropis sebagai Sensitizer pada Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Seminar Nasional Material 2013 | Fisika – Institut Teknologi Bandung
- Karki, I. B., et al., 2012a. *Dye-Sensitized Solar cell using extract of Punica Granatum L. Pomegranate (Bedana) as a Natural Sensitizer*. Research Journal of Chemical Sciences Vol. 2(12), 81-83, December.
- Karki, I. B. et al., 2012b. *Absorption Spectra of Natural Dyes and Their Effect on Efficiency of ZnO Based Dye-Sensitized Solar Cells*Nepal Journal of Science and Technology Vol. 13, No. 1 (2012) 179-185
- Kim, H.J. et al.,. 2013. *Natural Dye Extracted from Rhododendron Species Flowers as a Photosensitizer in Dye Sensitized Solar Cell*. Int. J. Electrochem. Sci., 8: 6734 – 6743.
- Nurosyid F. & Kusumandari. 2010. *Pembuahan Lapisan Tipis Cooper Phthalocyanine (CuPc) sebagai Bahan Dasar Sel Surya Organik*, Jurnal Natur Indonesia, pp 186-190.
- Patel, M. R. 2006. *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation*. USA: Taylor & Francis Group, LLC.
- Wohrle D. & Meissner D. 1991. *Organic Solar Cells*. Adv. Mater. 3 (1991) No. 3. VCH Verlagsgesellschaft bH, W-6940 Weinheim.