

**PENGUNAAN EKSTRAK PIGMEN KULIT BUAH MANGGIS
(*Garnicia mangostana*) SEBAGAI ZAT PEKA CAHAYA TiO₂-MONTMORILLONIT
DALAM DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Basitoh Djaelani, Is Fatimah, and Tatang Shabur Julianto

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta 55281 Indonesia
E-mail: elsyabilha@gmail.com*

ABSTRACT

An establishment Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) as solar panel using material composite of TiO₂/montmorillonit and TiO₂ with a light sensitizing Pigmen Kulit Buah Manggis (PKBM) has been carried out. The solar cell was formed as a sandwich structure, where in Indium Tin Oxide (ITO) glass used as electrode, the dispersed TiO₂ on montmorillonit was used as semiconductor, iodine (I⁻) and triiodide (I₃⁻) were used as electrolyte. The working electrode was TiO₂/montmorillonit layer and TiO₂ on glass substrate ITO, while to the counter electrode has been used platinum layer. The results of XRD showed anatase crystalline phase in the composite TiO₂/montmorillonit. The results of BET showed that the specific surface area of TiO₂ and TiO₂/montmorillonit composite respectively were 45,11 m²/g and 174,79 m²/g, total volume of TiO₂ pore was 6,24x10⁻³ cc/g and TiO₂/montmorillonit is 3,24x10⁻¹ cc/g. The result from characterization of TiO₂/montmorillonit composite at 30°C dan 100°C using DRUV-Vis showed an appearance of absorbance on 200-400 nm. The result of efficiency test using Keithley system source 2602 A showed that solar cell based on TiO₂/montmorillonit composite was higher than TiO₂ with the respectively values were 0,400 % and 0,032 %.

Keywords: DSSC, composite TiO₂/montmorillonit, PKBM extract

ABSTRAK

Pembuatan panel surya jenis *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) telah dilakukan menggunakan bahan berbasis komposit TiO₂/montmorillonit dan TiO₂ dengan zat pemeka cahaya ekstrak Pigmen Kulit Buah Manggis (PKBM). Sel surya dibentuk dengan struktur *sandwich*, dimana sebagai elektroda adalah gelas *Indium Tin Oxide* (ITO), TiO₂ yang terdispersi pada montmorillonit sebagai semikonduktor dan elektrolit iodine (I⁻) dan triiodide (I₃⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Elektroda kerja berupa lapisan TiO₂/montmorillonit dan TiO₂ pada subtrat kaca ITO serta elektroda lawan berupa lapisan platina. Hasil XRD menunjukkan fase kristal anatase pada komposit TiO₂/montmorillonit. Hasil analisis BET diperoleh luas permukaan spesifik TiO₂ dan komposit TiO₂/montmorillonit yaitu 45,11 m²/g dan 174,79 m²/g, serta volume total pori TiO₂ 6,24x10⁻³ cc/g sedangkan TiO₂/montmorillonit 3,24x10⁻¹ cc/g. Hasil karakterisasi komposit TiO₂-Montmorillonit pada temperatur 30°C dan 100°C dengan DRUV-Vis menunjukkan absorbansi pada daerah panjang gelombang 200-400 nm. Sementara pengujian efisiensi menggunakan *Keithley system source* 2602 A dihasilkan efisiensi sel surya berbasis komposit TiO₂/montmorillonit yaitu 0,040% lebih tinggi dibandingkan efisiensi menggunakan TiO₂ yaitu sebesar 0,032%.

Kata kunci: DSSC, komposit TiO₂/montmorillonit, ekstrak PKBM (Pigmen Kulit Buah Manggis)

PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan sumber energi yang utama saat ini, namun karena penggunaannya yang terus menerus sehingga dapat dipastikan akan habisnya persediaan minyak bumi. Oleh sebab itu, eksplorasi sumber energi terbarukan sangat disarankan sebagai solusi alternatif dari krisis energi yang terjadi dewasa ini. Salah satu energi alternatif dinilai berpotensi sebagai energi terbarukan adalah sel surya. Saat ini, teknologi sel surya terus berkembang hingga ditemukannya sel surya dengan menggunakan zat warna sebagai bahan peka cahaya atau *Dye Sensitiser Solar Cell (DSSC)*.

DSSC merupakan sel surya yang memiliki beberapa keunggulan, selain biaya produksinya yang relatif murah bahan-bahannya pun mudah diperoleh dan terjangkau. Banyak literatur melaporkan penggunaan ekstrak tumbuhan dan semikonduktor jenis TiO_2 telah dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya, namun penggunaan TiO_2 yang telah termodifikasi dengan cara mendispersikan TiO_2 pada lempung montmorillonit belum pernah dilaporkan.

Penggunaan oksida logam TiO_2 sebagai agen pemilar akan meningkatkan *basal spacing* dari lempung dan oksida logam akan terdistribusi pada *layer* lempung terpillar (Sterte, 1986) sehingga, berpotensi menyerap zat warna dengan baik, selain itu

dapat menciptakan DSSC yang ekonomis karena dapat menekan penggunaan TiO_2 tanpa mengurangi fungsinya sebagai semikonduktor yang memiliki stabilitas termal cukup tinggi, dan kemampuannya dipergunakan berulang kali tanpa kehilangan aktivitas katalitiknya dan tidak toksik (Fatimah, 2009). Hal tersebut terbukti pada beberapa hasil penelitian terdahulu menunjukkan potensi besar TiO_2 -montmorillonit sebagai fotokatalis untuk aplikasi degradasi zat warna, diantaranya fotodegradasi zat warna *methylene blue* (Fatimah *et al.*, 2010), *indigo carmine*, *metanil yellow*, dan *rhodamin* (Saefudin *et al.*, 2010). Keberadaan lempung montmorillo-nit berfungsi mendistribusikan TiO_2 sehingga dimungkinkan penggunaannya sebagai bahan DSSC.

Berbagai penelitian mengenai DSSC menggunakan zat warna alami dari ekstrak tumbuhan telah dilakukan dan riset tersebut berhasil membuktikan bahwa zat warna alami dapat memberikan efek *photovoltaic*. Salah satu sensitiser digunakan ekstrak PKBM (Pigmen Kulit Buah Manggis). Chairat *et al.* (2007) dalam penelitiannya digunakan ekstrak PKBM terbukti dapat dimanfaatkan sebagai sensitiser pada sel surya jenis DSSC, terlebih Indonesia adalah negara tropis yang sangat cocok untuk pertumbuhan buah manggis, sehingga buah manggis sangatlah mudah diperoleh.

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kulit buah manggis, asam sitrat (Merck), isopropanol, triton X-100, bubuk TiO₂, bubuk komposit TiO₂-montmorillonit, larutan elektrolit, etanol (Merck) dan silika gel GF₂₅₄.

2.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *rotary evaporator*, gelas Indium Tin Oxide (ITO), KLT-densitometer merek Camag KLT-Scanner 3, XRD merek Shimadzu Hadano Kanagawa Japan, Keithley I-V meter 2402 A Lampu OHP, Multimeter, Spektrofotometer UV-Vis merek Hitachi tipe U-2810, DRUV-Vis 1700 Pharmaspec Shimadzu, *Magnetic stirrer*, dan Plat KLT.

2.3 Prosedur

Ekstraksi Pigmen Kulit Buah Manggis (PKBM)

Kulit buah manggis bagian luar dikeringkan, setelah itu digerus sampai menjadi serbuk, 10 gram serbuk kulit buah manggis dilarutkan pada 15% asam sitrat dalam aquades 50 mL, selanjutnya dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 1x24 jam pada temperatur ruang. Larutan sampel kemudian disaring, filtrat yang dihasilkan dimasukkan kedalam botol coklat. Residu yang diperoleh kembali dimaserasi

sebanyak 3 kali. Filtrat yang diperoleh dikumpulkan dan dimasukkan dalam *rotary evaporator* pada temperatur 100°C.

Ekstrak PKBM emudian diuji kualitatif dengan spektrofotometer UV-Vis dan KLT-densitometer. Ekstrak PKBM ditotolkan pada lempeng silika gel GF₂₅₄, selanjutnya dielusi dengan fasa gerak BAA (butanol: asam asetat : air dengan perbandingan 4:1:5)

Karakterisasi terhadap material TiO₂-montmorillonit tersensitasi ekstrak PKBM dengan XRD dan DRUV-Vis

Sebanyak 0,2 gram ekstrak PKBM dilarutkan dalam 10 mL isopropanol, kemudian dikocok hingga homogen. Larutan sampel diambil masing-masing 5 mL pada 2 cawan porselen. Dimasukkan masing-masing 5 gram TiO₂-montmorillonit pada masing-masing cawan, dan diaduk hingga homogen. Setelah itu, kedua sampel dalam cawan porselen tersebut dipanaskan dalam oven dengan temperatur berbeda, yaitu pada temperatur 30°C dan 100°C hingga sampel kering. Sampel yang diperoleh setelah melalui proses pengeringan dalam oven tersebut, kemudian dianalisis fasa kristalnya dengan instrumen XRD.

Pembuatan lapis tipis DSSC berbasis elektroda TiO₂-montmorillonit tersensitisasi PKBM

Lapis tipis dipersiapkan melalui pembuatan pasta TiO₂-montmorillonit yang dilapiskan pada gelas ITO. Pasta TiO₂ dan TiO₂-montmorillonit dibuat dengan cara mencampurkan masing-masing 0,2 gram serbuk TiO₂ dan komposit TiO₂-montmorillonit dengan 0,2 mL etanol, 0,2 mL triton X-100 dan digerus sambil ditetes-tetesi aquades. Pasta diratakan di atas gelas ITO dengan metode *doctor blade* untuk selanjutnya dikeringkan dengan oven sebelum dikalsinasi pada temperatur 400°C selama 2-4 jam untuk mendapatkan lapis tipis fotoanoda. Lapis tipis ditetesi suspensi larutan pigmen dalam etanol, kemudian dipanaskan pada temperatur 70°C selama 30 menit dan diulangi sebanyak 5 kali.

Pembuatan counter elektroda

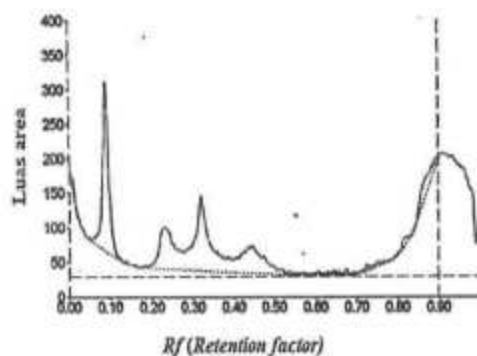
Sebagai elektroda lawan, disiapkan kaca konduktif ITO yang kemudian diratakan dengan cairan polimer platina secara perlahan-lahan dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 400°C selama 2 jam agar platina terikat pada substrat kaca ITO dengan baik. Selanjutnya setelah lapisan kering dilakukan kalsinasi pada temperatur 400°C selama 4 jam.

Pengujian DSSC

Sistem DSSC dibuat dengan menempelkan lapis tipis elektroda kerja yang terdiri dari TiO₂ dan TiO₂-montmorillonit tersensitisasi ekstrak PKBM dengan elektroda lapis tipis platina pada gelas ITO yang di antara dua lapis elektroda ditetaskan I₂ sebagai elektrolit, selanjutnya dikarakterisasi dengan I-V meter Keithley.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis kandungan senyawa dalam ekstrak PKBM dengan menggunakan KLT-densitometer disajikan pada Gambar 1.



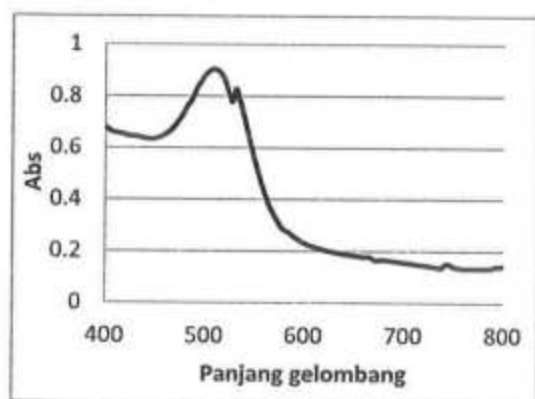
Gambar 1. Kromatogram ekstrak PKBM dengan KLT-densitometer

Berdasarkan Gambar 1. diperoleh nilai R_f untuk masing-masing puncak tersedia pada tabel 1. Supiyanti *et al.* (2010) menyatakan bahwa nilai R_f antosianin dalam fasa gerak BAA adalah rentang antara 0,10-0,40. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kemungkinan puncak 2,3,4 dan 5 merupakan antosianin, sedangkan puncak 1 dan 6 merupakan senyawa komplemen lainnya.

Tabel 1. Nilai *Rf* ekstrak PKBM

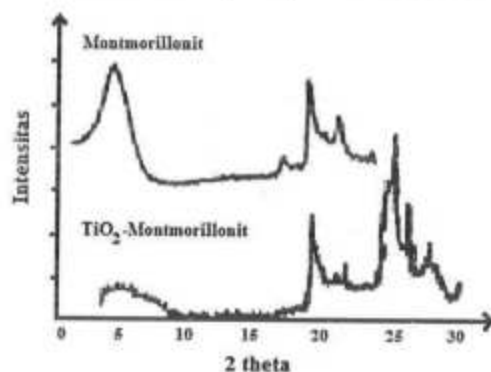
Puncak	<i>Rf</i> (Retention factor)
1	0,01
2	0,09
3	0,23
4	0,32
5	0,45
6	0,86

Hasil absorpsi ekstrak PKBM pada Gambar 2. terlihat puncak dengan nilai absorbansi tertinggi pada panjang gelombang 528 nm menandakan bahwa kemungkinan adanya pigmen antosianin jenis sianidin-3-glukosida (Supiyanti, 2010) yang terkandung pada ekstrak PKBM dapat mengabsorb cahaya dengan panjang gelombang 528 nm yang terdapat pada spektrum cahaya tampak. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa ekstrak PKBM mengandung pigmen antosianin yang baik digunakan sebagai sensitiser pada DSSC.



Gambar 2. Spektra absorbansi ekstrak PKBM

Hasil analisis XRD terhadap montmorillonit alam dan TiO₂-montmorillonit disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Difraktogram montmorillonit dan TiO₂-montmorillonit

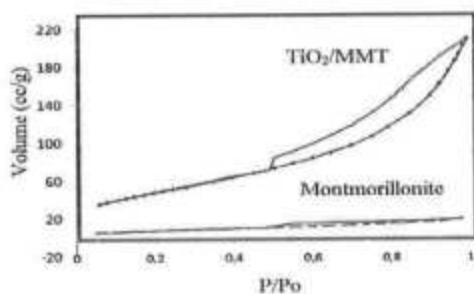
Berdasarkan difraktogram pada Gambar 3. montmorillonit alam memiliki puncak pada $2\theta=5,85^\circ$ dengan intensitas tertinggi dan $2\theta=19,75^\circ$ yang merupakan karakteristik montmorillonit alam. Sedangkan, pada difraktogram TiO₂-montmorillonit dapat dilihat bahwa telah terjadinya pergeseran *basal spacing* (d_{001}) ke arah kiri pada $2\theta=5,85^\circ$ tidak terdeteksi puncak, dan adanya *peak* pada $2\theta=25,08^\circ$ merupakan karakteristik dari TiO₂ jenis *anatase*. Hal tersebut membuktikan bahwa telah terbentuknya pilar oksida TiO₂ pada antar lapis silikat montmorillonit. Keberhasilan pemiliran pada struktur motmorillonit juga terbukti dengan adanya perubahan luas permukaan spesifik pada material montmorillonit termodifikasi, yang dikarakterisasi dengan instrumen *Surface Area Analyzer* (SAA). Pengukuran luas

permukaan luas spesifik ditentukan berdasarkan BET disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis BET

Sampel	Luas permukaan spesifik (m ² /g)	Volume total pori (cc/g)
Montmorillonit alam	45,11	6,24x10 ⁻³
TiO ₂ -montmorillonit	174,79	3,24x10 ⁻¹

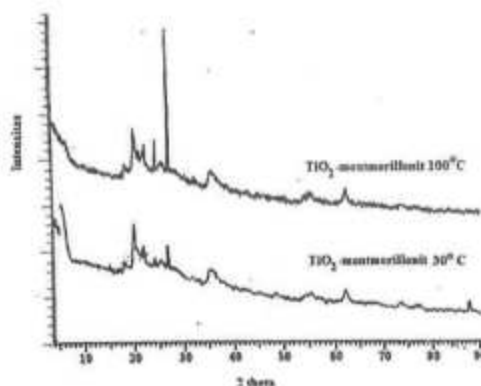
Berdasarkan hasil Tabel 2. Dapat dilihat adanya peningkatan luas permukaan spesifik pada material montmorillonit termodifikasi hal ini mengindikasikan bahwa telah terembannya TiO₂ ke dalam antarlapis montmorillonit yang mengakibatkan terbentuknya pori baru dengan ukuran mikropori. Untuk mengetahui terjadinya adsorpsi maka dapat dilihat pada grafik Gambar 5.



Gambar 5. Pola serapan gas N₂ oleh Montmorillonit alam dan TiO₂-montmorillonit (Fatimah, 2012)

Karakterisasi material TiO₂-montmorillonit yang telah disensitasi dengan ekstrak PKBM dilakukan guna mempelajari

stabilitas material TiO₂-montmorillonit apabila digunakan dalam panel surya. Rentang dalam sistem panel yang disimulasi adalah temperatur 30°C-100°C.

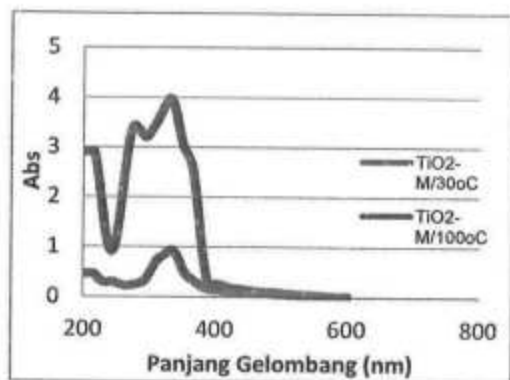


Gambar 4. Pola difraktogram XRD montmorillonit, TiO₂-montmorillonit dan TiO₂-montmorillonit tersensitasi ekstrak PKBM pada temperatur 30°C dan 100°C

Difraktogram pada Gambar 4. TiO₂-mont-PKBM 30°C pada 2θ=5,59° memberikan refleksi dengan intensitas rendah yang berkorelasi dengan turunnya kristalinitas montmorillonit, hal tersebut dimungkinkan adanya kisi yang rusak akibat interaksi antara pigmen ekstrak PKBM yang berada dalam keadaan pH rendah dengan peningkatan temperatur. Selanjutnya, karakteristik TiO₂-montmorillonit terlihat di 2θ=20,22° (Å=4,39), seperti halnya difraktogram TiO₂-montmorillonit pada 2θ=26,79° terbentuk puncak TiO₂ jenis anatase yang lancip dengan intensitas tertinggi. Titanium dioksida jenis anatase mempunyai daerah aktivasi yang lebih luas dibandingkan dengan jenis TiO₂ yang

lainnya, yaitu *rutile* dan *brookite*. Kristal *anatase* memiliki energi celah pita 3,2 eV sehingga anatase lebih reaktif terhadap cahaya matahari. Berdasarkan data tersebut, stabilitas TiO₂-montmorillonit disimpulkan bahwa material TiO₂-montmorillonit dapat dijadikan *prototype* sel surya yang baik karena pola XRD menunjukkan kestabilan TiO₂ *anatase* di dalam sistem.

Hasil karakterisasi absorbansi komposit yang telah tersensitasi dengan instrumen DRUV-Vis menunjukkan bahwa ekstrak PKBM tidak berefek banyak pada daerah sinar tampak (>400nm). Kedua sampel tersebut memiliki kemampuan mengabsorpsi sinar pada daerah 200-400nm namun tidak pada daerah panjang gelombang di atas 400nm ditunjukkan dengan nilai absorbansi yang rendah. Spektra absorbansi DRUV-Vis disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik absorbansi komposit TiO₂-M/30°C dan TiO₂-M/100°C

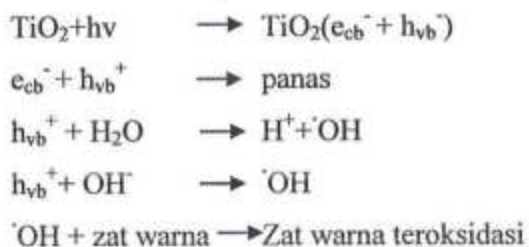
Berdasarkan Gambar 6. Memperlihatkan grafik Dari dua jenis perlakuan termal

terhadap komposit TiO₂/M dan PKBM (30°C dan 100°C) tampak bahwa penyerapan sinar dari komposit TiO₂-M/30°C jauh lebih tinggi dibandingkan TiO₂-M/100°C ditunjukkan dengan nilai absorbansi yang jauh berbeda. Nilai absorbansi tertinggi pada TiO₂-M/30°C yaitu 3,976 dengan panjang gelombang 331 nm sedangkan pada TiO₂-M/100°C yaitu 0,936 dengan panjang gelombang 333 nm. Hal ini kemungkinan besar terjadi sebagai akibat adanya perubahan struktur atau degradasi zat warna oleh adanya sinar yang disebabkan fotoaktivitas TiO₂ dalam komposit TiO₂-M sendiri, dan didukung ekstrak PKBM yang kurang stabil terhadap cahaya, pH dan temperatur (Samsudin dan Khoiruddin, 2010). Hal tersebut terbukti berdasarkan data pada Gambar 2. hasil spektra absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa ekstrak PKBM sebelum tersensitisasi atau sebelum melalui proses pemanasan, ekstrak PKBM mampu menyerap sinar pada daerah tampak yaitu 528 nm. Hal ini juga diperkuat dengan laporan hasil penelitian Effendi (1991) yaitu melakukan pemanasan ekstrak PKBM pada 55°C menyebabkan destruksi antosianin hingga 50%.

Fotoaktivitas mengakibatkan terjadinya proses penguraian pada senyawa organik dalam hal ini ekstrak PKBM yang dipercepat dengan adanya fotokatalis TiO₂. Adapun reaksi yang terjadi pada ekstrak PKBM adalah reaksi reduksi dan oksidasi, dimana

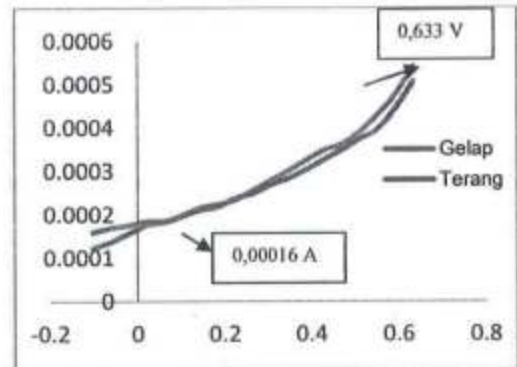
terjadi pelepasan dan penangkapan elektron. Mekanisme fotoaktivitas ini terjadi ketika semikonduktor TiO_2 dikenai sinar UV dengan energi yang lebih tinggi atau sama dengan energi celah pita TiO_2 , maka akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga terbentuk lubang (*hole*) pada pita valensi. Kehilangan elektron pada pita valensi mengakibatkan pita valensi bermuatan positif (h_{vb}^+) dan sebaliknya pita konduksi bermuatan negatif (e_{cb}^-), dari reaksi inilah membebaskan energi panas. Oleh sebab itu, uji absorbansi perbandingan variasi temperatur komposit ini penting dilakukan untuk mensimulasi pengaruh mekanisme oksidasi reduksi yang memungkinkan pembentukan panas pada sistem DSSC.

Absorbansi UV dapat mengakibatkan terjadinya radikal hidroksil yang dapat mengoksidasi zat warna (Nugrahawati, 2012). Hal tersebut terbukti grafik hasil uji pada Gambar 12. Adapun reaksi yang terjadi adalah :

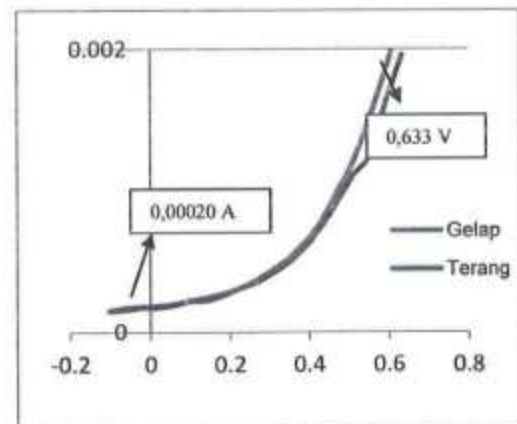


Sistem uji Keithley bertindak seperti diode, yang mana arus diukur sifatnya bolak-balik. Pengujian dilakukan pada dua kondisi, yaitu kondisi gelap dan terang. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui keberadaan

fotokonduktivitas DSSC. Pada kondisi terang dilakukan penyinaran dari OHP *light* berintensitas 1746 W/m^2 . Berikut Gambar 7 dan 8 menunjukkan karakteristik kurva I-V pada sel surya dengan membandingkan antara TiO_2 dan TiO_2 -Montmorillonit yang tersensitasi zat ekstrak PKBM.



Gambar 7. Grafik perbandingan I-V DSSC TiO_2 -Ekstrak PKBM



Gambar 8. Grafik perbandingan I-V DSSC TiO_2 -Montmorillonit-Ekstrak PKBM

Berdasarkan grafik pada Gambar 7 dan 8. menunjukkan dioda yang ideal pada kondisi gelap, apabila DSSC dikenai sinar maka akan terjadi eksitasi elektron yang kemudian menghasilkan arus. Gambar 8,

yakni komposit TiO_2 -Montmorillonit-Ekstrak PKBM memiliki efisiensi lebih besar daripada TiO_2 -Ekstrak PKBM. Nilai efisiensi komposit komposit TiO_2 -Montmorillonit-Ekstrak PKBM yang diperoleh dari grafik tersebut adalah 0,04% sedangkan DSSC TiO_2 -Ekstrak PKBM 0,032%. Walaupun selisih nilai keduanya hanya sedikit hal ini cukup membuktikan bahwa performa DSSC berbasis komposit TiO_2 -Montmorillonit-Ekstrak PKBM dapat menyerap zat warna lebih banyak sehingga dapat menaikkan efisiensi DSSC. Berdasarkan hasil riset Khoiruddin (2012) menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi zat warna maka semakin meningkat efisiensinya. Namun efisiensi yang diperoleh sangatlah kecil, hal ini dikarenakan ekstrak PKBM yang tidak stabil terhadap temperatur dan tidak memberikan efek banyak pada daerah cahaya tampak.

Pada saat tegangan rangkaian terbuka di posisi maksimum maka tidak ada arus yang mengalir, pada kondisi ini diperoleh nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}). Namun sebaliknya jika tegangan sama dengan nol, akan menghasilkan arus pada rangkaian pendek, yang disebut arus *short circuit* (I_{sc}). Dari grafik pada Gambar 7 dan 8 diperoleh nilai arus *short circuit* (I_{sc}), tegangan *open circuit* (V_{oc}), *fill factor* (FF) dan efisiensi (%) DSSC. Nilai FF dan efisiensi diperoleh dengan cara membandingkan nilai I_{sc} , V_{oc} ,

FF serta Efisiensi dari hasil riset Rosyida (2012).

Tabel 3. Hasil pengukuran arus-tegangan DSSC berbasis sensitiser ekstrak PKBM dengan multimeter Keithley.

Sampel	FF	EF (%)
TiO_2 -Ekstrak PKBM	85,335	0,032
TiO_2 -Mont-Ekstrak PKBM	106,693	0,040

KESIMPULAN

- Sel surya tipe DSSC dapat dibuat dari komposit TiO_2 -Montmorillonit dan Ekstrak PKBM sebagai sensitiser.
- Ekstrak PKBM hasil ekstraksi kulit buah manggis telah dibuat, pengujian karakteristik I-V pada DSSC menunjukkan bahwa efisiensi DSSC berbasis komposit TiO_2 -Montmorillonit-Ekstrak PKBM lebih tinggi dibandingkan DSSC berbasis TiO_2 . Efisiensi dari DSSC yang telah dibuat dengan basis TiO_2 sebesar 0,032% dan DSSC berbasis TiO_2 -Montmorillonit-Ekstrak PKBM 0,040%.
- Efisiensi rendah dikarenakan ekstrak PKBM tidak menyerap cahaya pada daerah cahaya tampak (*visible*) dan tidak stabil terhadap suhu tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Chairat, M., Bremner, J. B., dan Chantrapromma, K., 2007, Dyeing of cotton and silk yarn with the extracted dye from the fruit hulls of mangosteen, *Garcinia mangostana* linn, *Fibers and Polymers*, 8(6);613-619.
- Effendi, W., 1991, Ekstraksi, Purifikasi dan karakterisasi Antosianin dari Kulit Manggis (*Gracinia mangostana* L.), Skripsi, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Fatimah, I., 2009, *Efek Jenis Prekursor Terhadap Karakter Fisikokimiawi Material TiO₂-montmorillonit*, Jurnal Akta Kimia Indonesia, Oktober 2009, Jurusan Kimia ITS HKI Cab. Jawa Timur.
- Fatimah, I., Wang, S., dan Wijaya, K., 2010, Composites of TiO₂-Aluminum Pillared Montmorillonite: Synthesis, Characterization And Photocatalytic Degradation of Methylene Blue, *Applied Clay Science*, 50(4)-Desember 2010: 588-593.
- Khoiruddin, 2012, *Ekstrak beta Karoten Wortel (Daucus Carota) Sebagai Dye Sensitiser Pada DSSC*, Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Nugrahawati, D., 2012, *Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Mawar Merah (Rosa Damascena Mill) Sebagai Pewarna Alami Berbasis Antosianin*, Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Rosyida, N. A., 2012, *Ekstrak Antocyanin Bunga Sepatu (Hibiscus roda sinensis*
- L) *Sebagai Fotosensitiser pada Sel Surya Berbasis Titanium Dioksida (TiO₂)*, Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Saefudin, A., Darmawan, A., dan Azmiyawati, C., 2010, *Sintesis Lempung Terpillar TiO₂ Menggunakan Surfaktan*.
- Dodesilamin Karakterisasi dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis Degradasi Zat Warna Indigo Carmin, Metanil Yellow, dan Rhodamin, *Jurnal Kimia Anorganik*, Universitas Diponegoro Semarang.
- Supiyanti, W., Endang D. W., dan Kusmita, L., 2010, *Uji Aktivitas Antioksidan dan Penentuan Kandungan Antosianin Total Kulit Buah Manggis (Gracinia mangostana L)*, *Majalah Obat Tradisional*, 15(2), 62, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Yayasan Pharmasi Semarang.