

Pembuatan Prototip *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan *Dye* Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L*) dengan Variasi Fraksi Pelarut dan Lama Perendaman *Coating TiO₂*

Anisa Fitria¹, Amun Amri², Ahmad Fadli²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia ²Dosen Jurusan Teknik Kimia

Laboratorium Material dan Korosi

Jurusan Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

Email : Anisa.22icha@gmail.com

ABSTRACT

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) is a solar cell unit that work based on electrochemical principle which convert the sun radiation into electricity. DSSC uses TiO₂ semiconductor material for coating with spin coating method. The purpose of this research is to make a DSSC prototype using of Malabar melastome fruit (Melastoma Malabathricum L.) as dye and also to observe the impact of water's volume and soaking duration of TiO₂ coating on the produced voltage. The DSSC is constructed with a layering system (sandwich) which consists of working electrode and counter electrode. The working electrode is made by using FTO glass (2.5 x 2.5 cm²) which is coated with TiO₂ paste that made by mixing 0.5 gram TiO₂ powder in 4 ml ethan ol (1:8). The electrode is sintered under temperature in 350°C for 15 minutes and then soaked in dye liquid with volume of solvent fraction in dye dilution which are ; without dilution (100%); diluted once (50%); and diluted twice (25%) for about 10 minutes, 2 hours and 24 hours. This electrode is then given two droplets of 0.05 M electrolyte. After that the counter electrode is made by using FTO glass coated with carbon from candle's fire. The fabrication of DSSC is done by sticking both of the FTO glasses up. Melastome Malabar extract as dye is shown to contain anthocyanin, proven with a maximum wavelength of 515 nm. DSSC prototype generated by variation of 24 hours dye soaking duration and without dilution (100%) gave the highest voltage with the solar energy-to-electricity conversion of 1.026 volt/cm² and when illuminated with LED lamp gave 0.595 volt/cm². The morphology of TiO₂ layer show a porous surface that is conducive to the absorption of dye. The level of adhesion obtained from the best samples showed good adhesion qualities (3B)

Keywords: DSSC, LED, melastome malabar l, sunlight, voltage

1. Pendahuluan

Pasokan energi dunia tiap tahunnya mengalami penurunan drastis, sedangkan permintaan akan energi tersebut mengalami kenaikan, akibatnya timbul permasalahan yang menyebabkan krisis energi dunia. Salah satu energi yang sangat dibutuhkan oleh manusia adalah energi listrik, namun pasokan energi ini tidak *balanced* dengan suplai bahan bakar pembangkit energi listrik

yaitu bahan bakar fosil atau energi fosil (*unsustainable energy*). Keterbatasan serta kelemahan yang ada pada energi fosil ini memaksa kita untuk mencari alternatif pengganti energi tersebut. Salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan cahaya matahari sebagai energi listrik dengan teknologi *photovoltaic* yang bekerja dengan prinsip menkonversi langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik yang

diaplikasikan pada *solar cell*, salah satunya adalah DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). DSSC ditemukan oleh Prof. Gretzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dan mendapat perhatian dunia dikarenakan biaya produksi yang murah dan mudah. Pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang berbeda, molekul *dye* bertugas mengabsorpsi cahaya sedangkan separasi muatan dilakukan oleh inorganik semikonduktor nanokristal. *Dye* sebagai zat warna telah banyak diteliti dengan pengembangan bahan-bahan dari tanaman seperti *Spirulina Sp* [Amao dan Komori, 2004], buah delima [Septina *et al*, 2007], klorofil daun cincau [Prananto *et al*, 2013] dan lainnya

Dye yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium *complex* [Septina *et al*, 2007]. Performa ini kemudian disaingi oleh *dye* jenis *black dye*. Walaupun DSSC menggunakan ruthenium *complex* dan *black dye* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium *complex* komersil berharga mahal, jumlah logam mulia yang terbatas, dan cara sintesis serta pemurnian yang rumit [Septina *et al*, 2007]. Alternatif lain muncul untuk menggantikan *dye* konvensional yaitu penggunaan *dye* dari buah-buahan, khususnya *dye* antosianin. Antosianin ini yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga. Salah satu pigmen cianin yang memegang peranan penting dalam proses absorpsi cahaya yaitu cianidin 3-O- β -*glucoside* [Septina *et al*, 2007]. Keunggulan dari *dye* alami ini seperti harganya yang murah, tidak beracun, serta mudah terurai di alam. Molekul pewarna dengan warna yang memiliki panjang gelombang yang lebih pendek (merah) akan memberikan energi yang besar untuk mengeksitasi elektron, sehingga efisiensi konversi energi lebih baik jika dibandingkan dengan warna yang

memiliki panjang gelombang yang panjang [Jacub, 2011]

Pada penelitian ini penggunaan buah senduduk sebagai *dye* merupakan suatu pengembangan baru dalam penggunaan *dye* alami dan belum ada yang menggunakannya sebagai *dye* pada DSSC sebelumnya, disamping itu buah senduduk yang digunakan merupakan tanaman yang tidak berkompetitif dengan kegunaan dibidang lainnya serta masih dianggap gulma bagi masyarakat luas dan mudah didapat. Dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa ekstrak buah senduduk mengandung antosianin pada panjang gelombang 515 nm. Terhadap performa DSSC pengenceran *dye* dan lama perendaman *coating* TiO₂ berpengaruh terhadap kinerja DSSC.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini DSSC dibuat dari ekstrak *dye* dari buah senduduk segar sebanyak 20 gram yang diperoleh dari kawasan Universitas Riau, dan bahan-bahan lain yang terdiri dari semikonduktor TiO₂, etanol, metanol, asam asetat, KI 0.5 M, *iodine/triiodine*, lilin, aquades, dan menggunakan substrat kaca TCO jenis FTO yang di-*import* dari China dengan ukuran 2.5 x 2.5 cm² x 2.2 mm.

Pada tahapan persiapan bahan baku, dilakukan preparasi substrat yaitu kaca FTO yang sudah dipotong dengan ukuran 2.5 x 2.5 cm² dengan area aktif 2 x 2.5 cm². Dalam setiap satu DSSC dibutuhkan 2 buah kaca FTO. FTO disterilisasi menggunakan etanol 96 % dan kemudian dikeringkan

Tahap persiapan ekstrak *dye* dilakukan dengan mengekstraksi buah senduduk segar sebanyak 20 gram dengan metode maserasi atau perendaman *dye* dalam pelarut. Dengan variasi tanpa pengenceran (100%), satu kali pengenceran (50%) dan dua kali pengenceran (25%). Senduduk yang telah digerus direndam selama 24 jam dalam

pelarut dan disaring serta disimpan di tempat yang tidak terkena cahaya matahari.

Pembuatan pasta TiO_2 dilakukan dengan menggunakan etanol 96% sebanyak 4 ml untuk setiap 0.5 gram serbuk TiO_2 (1:8) yang diaduk selama 30 menit untuk menghomogenkan larutan. Kemudian dilanjutkan dengan preparasi larutan elektrolit dengan cara mencampurkan 0.8 gram KI kedalam 10 ml aquades. Selanjutnya ditambahkan *iodine* kedalam larutan KI yang telah dibuat sebelumnya. Setelah semua preparasi bahan yang dibutuhkan telah tersedia DSSC siap untuk dirakit dengan metode *sandwich* yang menggunakan elektroda kerja dan *counter electrode*.

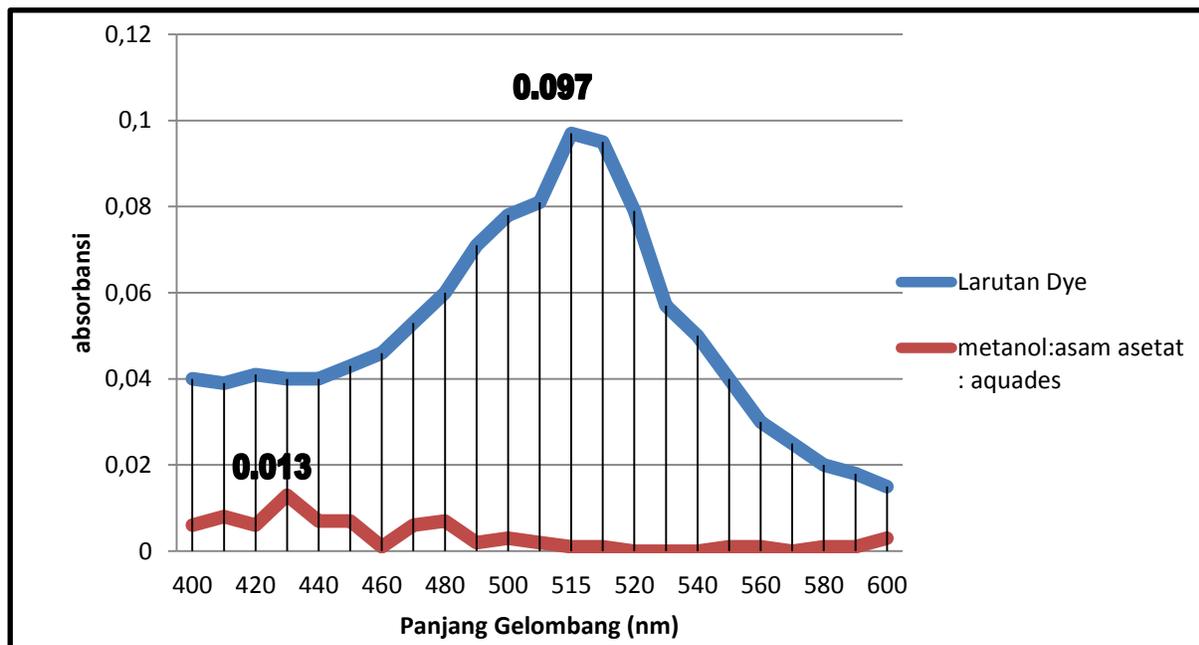
Elektroda kerja dibuat dengan cara melapisi kaca FTO yang telah disiapkan dengan pasta TiO_2 dengan metode *spin coating*. Substrat yang telah di-*coating* selanjutnya disintering selama 15 menit dengan suhu 350°C dalam *furnace*. Elektroda kerja yang telah disintering, direndam dalam larutan *dye* yang telah

disiapkan dengan variasi 10 menit, 2 jam dan 24 jam. Setelah perendaman, elektroda ditetesi elektrolit dan ditempelkan dengan *counter electrode* yang dibuat dari api lilin. Setelah ditempelkan antara elektroda kerja dan *conter electrode*, DSSC telah siap dan dapat dilakukan pengujian *performa* yang terdiri dari uji tegangan listrik, karakterisasi serapan UV-Vis, uji SEM dan uji kekuatan daya rekat substrat dan lapisan TiO_2 (adhesi).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengukuran Dearah Serapan *Dye* Buah Senduduk (UV-Vis)

Dye ekstrak buah senduduk yang telah didapat dilakukan pengukuran panjang gelombang absorbansinya sehingga didapatkan panjang gelombang maksimum. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui spektrum karakteristik absorbansi yaitu rentang panjang gelombang cahaya yang mampu diserap dengan baik oleh suatu bahan [Susanthy *et al*, 2014].



Gambar 3.1 Grafik Panjang Gelombang *dye* buah senduduk

Gambar 3.1 diperoleh bahwa panjang gelombang maksimum (puncak) dari ekstrak buah senduduk sebesar 515 nm yang menandakan eksistensi pigmen antosianin yang ada pada buah senduduk dapat mengabsorpsi cahaya maksimal pada panjang gelombang 515 nm dan masih dalam spektrum cahaya tampak [Sutanto, 2012]. Hal ini menunjukkan tingginya konsentrasi larutan *dye* dalam menyerap radiasi energi yang diberikan. Sehingga, semakin banyak pula foton yang bisa dieksitasi untuk dikonversikan oleh sel surya menjadi energi listrik [Trianiza dan Yudhoyono, 2011].

Disamping itu jika dilihat pada Gambar 3.1, terdapat perbandingan antara absorbansi pelarut *dye* yang digunakan dengan larutan *dye*, dimana absorbansi larutan *dye* lebih tinggi dibandingkan dengan absorbansi pelarut yang digunakan. Hal ini dikarenakan oleh adanya kandungan antosianin pada *dye* yang mempengaruhi tingkat absorbansi pada larutan *dye* menjadi lebih tinggi dari pada pelarut yang digunakan.

Pelarut campuran dalam mengestrak buah senduduk dibuat dari campuran antara metanol-asam asetat dan aquades dengan perbandingan volume 40:8:52 dan menghasilkan larutan berwarna merah. Larutan *dye* hasil ekstraksi berwarna merah dikarenakan antosianin pada suasana asam akan membentuk warna merah sesuai dengan kesetimbangan struktur antosianin yang tergantung oleh nilai pH [Nassau, 1983 dalam Dewi *et al*, 2010]. Antosianin adalah senyawa yang bersifat amfoter, yaitu memiliki kemampuan untuk bereaksi baik dengan asam maupun dalam basa. Dalam media asam antosianin berwarna merah, dan berubah menjadi ungu dan biru jika media bertambah basa. Antosianin stabil pada pH

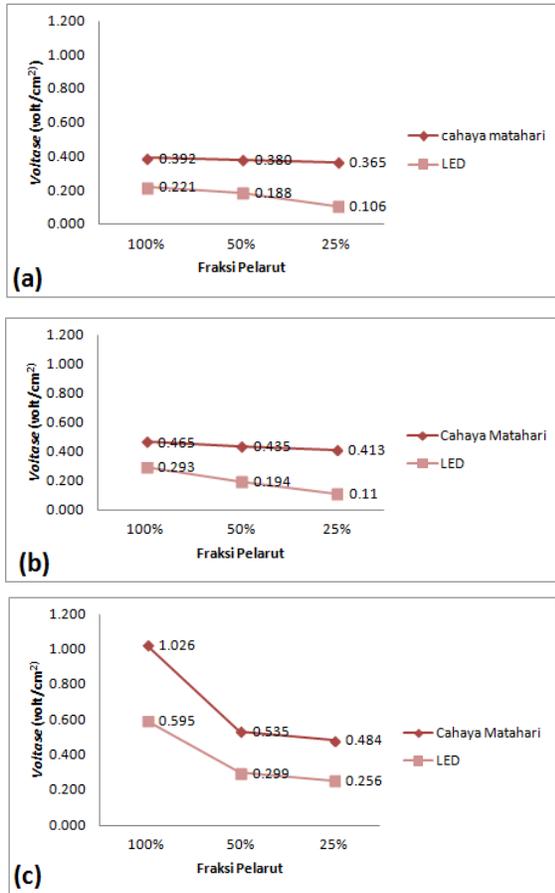
asam dan suhu 50°C serta mempunyai berat molekul 207.08 gram/mol dengan rumus molekul $C_{15}H_{11}O$ [Fennema, 1996]. Antosianin dilihat dari penampakan fisik berwarna merah, merah senduduk, ungu dan biru, serta mempunyai panjang gelombang maksimum yang berkisar antar 515-545 nm, dan bergerak dengan eluen BAA (nbutanol-asam asetat-air) pada kertas [Harborne, 1996 dalam Sutanto, 2012]. Dengan demikian buah senduduk secara kualitatif terbukti mengandung senyawa antosianin yang dapat digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC.

3.2 Pengujian Performa DSSC

3.2.1 Pengukuran Nilai Tegangan Listrik DSSC

Pengujian *solar cell* dilakukan berdasarkan metode pencahayaan langsung di bawah sinar matahari dan penyinaran dalam ruangan menggunakan sinar lampu LED (1EA) untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan ketika objek *solar cell* dikenai cahaya pada bagian elektroda kerja bagian atas (anoda). Pengujian dengan pencahayaan matahari dan lampu LED dilakukan dengan perlakuan yang sama, yaitu tegangan dicatat selama 2 menit dengan selang waktu 15 detik. Hal ini dilakukan agar didapatkan hasil tegangan yang lebih stabil yang kemudian diambil tegangan rata-rata sebagai tegangan hasil. Pengujian *cell* yang sudah dirakit dilakukan dengan menggunakan alat multimeter digital.

Pada pengujian tegangan dengan lama perendaman 10 menit, 2 jam dan 24 jam menggunakan penyinaran langsung dengan cahaya matahari dan penyinaran dalam ruangan menggunakan lampu LED dapat dilihat pada Gambar 3.2

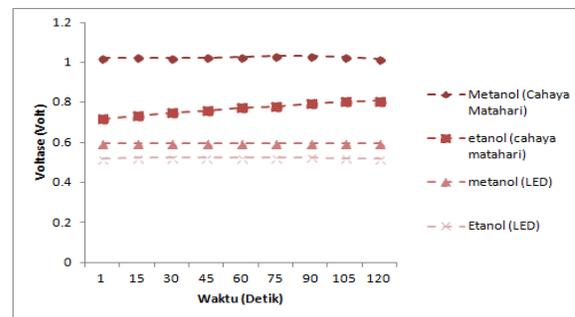


Gambar 3.2 Grafik Nilai Tegangan dengan Penyinaran Cahaya Matahari dan Lampu LED (1EA): (a) 10 menit; (b) 2 jam; (c) 24 jam

Perbedaan penyinaran langsung cahaya matahari dan lampu LED terlihat jelas pada Gambar 3.2, dimana nilai tegangan yang dihasilkan oleh penyinaran dengan cahaya matahari menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan cahaya lampu LED. Nilai tegangan yang lebih besar ini disebabkan cahaya matahari mempunyai intensitas cahaya yang lebih tinggi, selain itu spektrum cahaya yang dipakai dipancarkan lebih lebar, oleh karena itu cahaya matahari merupakan sumber iluminasi yang paling efektif untuk pengujian [Septina *et al*, 2007]. Sedangkan pada cahaya lampu LED hanya menyerap panjang gelombang tampak (Vis)

pada panjang gelombang 400-800 nm [Admesy, 2014]

Dari tegangan tertinggi yang didapat pada berbagai variasi sampel yang tersedia, nilai tegangan tertinggi didapat pada variasi lama perendapan 24 jam dan tanpa pengenceran (100%) dibuat kembali dengan pelarut yang berbeda, yaitu metanol diganti dengan etanol. Hal ini dilakukan untuk melihat keefektifan diantara ke dua pelarut tersebut. Berikut perbandingan tegangan yang dihasilkan antara pelarut metanol dan etanol.



Gambar 3.3 Grafik perbandingan pelarut Metanol vs Etanol pada penyinaran Cahaya Matahari dan Lampu LED

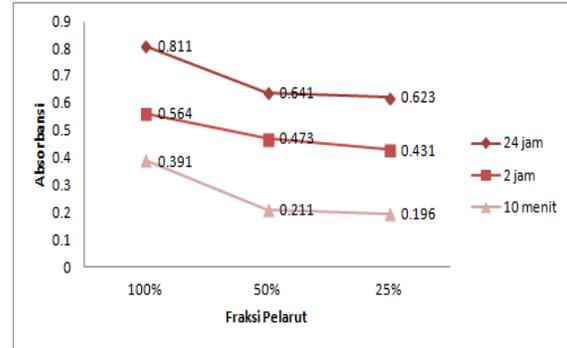
Dari Gambar 3.3, penggunaan pelarut metanol menunjukkan nilai *voltase* yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan etanol. Hal ini dikarenakan untuk mengisolasi senyawa antosianin, metode yang biasa digunakan adalah mengekstraksi jaringan segar dengan cara perendaman dalam alkohol polar dan mengandung asam. Pelarut organik yang biasa digunakan adalah metanol. Hal ini karena metanol merupakan senyawa yang lebih polar dibandingkan dengan etanol sehingga pigmen antosianin dapat mudah larut, dan meningkatkan penyerapan foton pada *dye* yang menyebabkan meningkatnya *voltase* yang dihasilkan. Antosianin merupakan senyawa yang tidak stabil di dalam larutan netral atau basa, sehingga ekstraksi dilakukan pada kondisi asam. Jadi

penambahan asam dalam metanol dimaksudkan untuk menjaga agar kondisi media asam. Pelarut yang seringkali digunakan untuk mengekstrak antosianin adalah etanol, metanol, isopropanol, aseton, atau dengan air (aquades) dalam kombinasi dengan asam, seperti asam klorida, asam asetat, asam format, atau asam askorbat [Zamrani *et al*, 2013].

3.2.2 Karakteristik Absorbansi Ekstrak Antosianin Buah Senduduk (*Melastoma Malabatricum L*)

Ekstrak antosianin buah senduduk diukur spektrum absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Pengujian UV-Vis bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang (λ) dan nilai absorbansi (A) dari suatu larutan, dengan cara menembakkan sinar ultraviolet (UV) pada larutan. Prinsip spektrofotometri adalah penyerapan cahaya oleh molekul-molekul larutan. Molekul dapat menyerap radiasi dari daerah UV-Vis karena mengandung elektron, baik berpasangan maupun sendiri yang dapat dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi [Ekasari *et al*, 2013]

Pengukuran spektrum absorbansi antosianin dilakukan dengan cara mengencerkan ekstrak beberapa milliliter ekstrak antosianin dengan campuran pelarut metanol, asam asetat, dan aquades (40:8:52). Sebelumnya dicari terlebih dahulu panjang gelombang maksimum dari ekstrak buah senduduk dengan hasil panjang gelombang maksimum yang didapat yaitu 515 nm (Gambar 3.1), sehingga dapat dilihat absorbansi *dye* buah senduduk pada panjang gelombang maksimum pada masing-masing variasi pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Absorbansi larutan antosianin dengan variasi fraksi pelarut dan lama perendaman *coating* TiO₂ pada panjang gelombang maksimum 515 nm

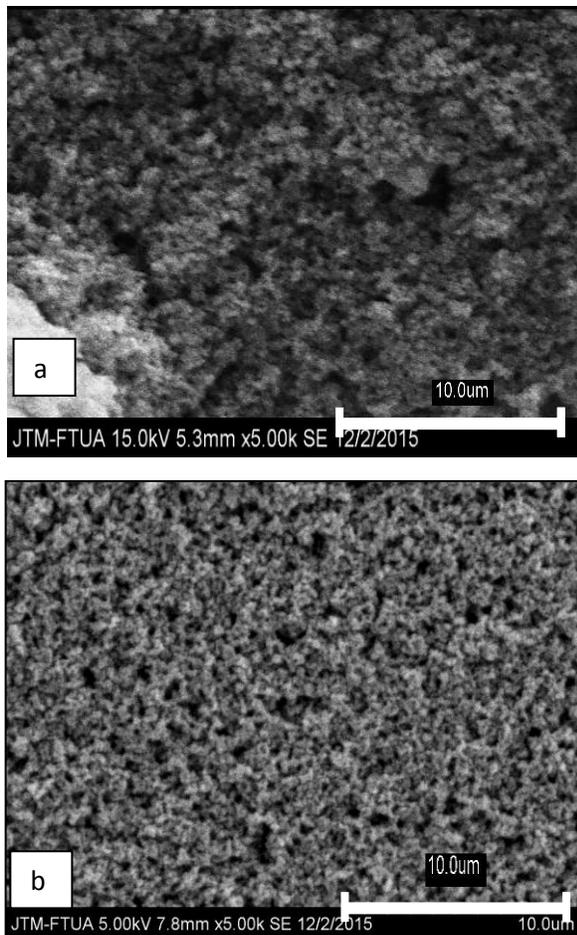
Gambar 3.4 memperlihatkan absorbansi yang berbeda-beda pada masing-masing variasi. Absorbansi meningkat dengan semakin pekatnya pelarut dan semakin lamanya perendaman TiO₂. Semakin lama perendaman maka semakin banyak *dye* yang teradsorpsi pada TiO₂

3.3 Karakterisasi Morfologi *Coating* TiO₂

Analisis karakteristik bentuk permukaan dan ketebalan lapisan tipis TiO₂ ditentukan dengan metode SEM. Hal ini dilakukan untuk mengetahui morfologi nanostruktur dan pori pada lapisan tipis TiO₂ yang terdapat pada kaca FTO. Hasil SEM untuk hasil terbaik pada keseluruhan variasi pada perbesar 5000 kali ditunjukkan pada Gambar 3.5 a dan b

Dari Gambar 3.5 a dan b terlihat bahwa permukaan lapisan tipis TiO₂ berongga-rongga atau berpori. Rongga pada lapisan tipis berfungsi untuk adsorpsi molekul antosianin pada TiO₂. Jumlah dan luas rongga mempengaruhi efektivitas adsorpsi molekul zat warna antosianin ke dalam permukaan lapis tipis TiO₂ [Lee *et al*, 2007]. Semakin banyak pori pada permukaan lapisan TiO₂, akan meningkatkan adsorpsi TiO₂ terhadap larutan *dye*. Sehingga semakin banyak larutan *dye* teradsorb maka akan

meningkatkan penyerapan foton oleh *dye* tersebut, dengan begitu juga akan meningkatkan *voltase* yang dihasilkan. Namun pengaruh perendaman *dye* pada analisa SEM tidak begitu jelas terlihat, hanya terlihat dari gelapnya hasil pada perendaman *dye* dibandingkan dengan tanpa perendaman *dye*. Hal ini dikarenakan keterbatasan resolusi alat dalam melihat adsorpsi *dye* oleh TiO₂. Sedangkan dari uji SEM yang dilakukan didapatkan ketebalan TiO₂ sekitar 100 μm dengan takaran volume *micro* pipet sebanyak 100 μl.



Gambar 3.5 Permukaan TiO₂ hasil pencitraan SEM pada perbesaran 5000 kali (a) perendaman 24 jam; (b) tanpa *dye*

3.4 Sifat Adhesi *coating*- Substrat

Pengujian adhesi dilakukan untuk mengetahui sifat daya rekat *coating* terhadap substrat kaca FTO. Pengujian dilakukan pada *coating* TiO₂ yang telah disintering pada suhu 350°C. Metode yang digunakan adalah semi kualitatif ASTM D 3359 *Cross Hatch Cutter* dengan menggunakan alat Elcometer 107. Hasil dari pengujian ini kemudian diklasifikasi dalam beberapa bagian berdasarkan standar pengujian menggunakan keterangan yang diambil pada buku "Annual Book Of ASTM Standar".

Berdasarkan hasil analisa lapisan *coating* TiO₂ setelah *sintering*, daya rekat (*adhesi*) yang terlihat pada Tabel 3.4 di atas, dapat diperoleh hasil bahwa permukaan mempunyai daya ikat koating yang bagus (3B) antara lapisan dengan substrat. Hal ini menunjukkan adanya lapisan *coating* yang terkelupas sekitar 5-15% dari substrat yang telah digoreskan. Hal ini dikarenakan pengaruh suhu yang digunakan pada *sintering* tidak terlalu tinggi, sehingga perekatan antara lapisan TiO₂ dan kaca tidak melekat sangat baik. *Sintering* bertujuan untuk meningkatkan daya ikat antara molekul oksida dengan substrat FTO, sehingga semakin tinggi suhu yang digunakan maka daya ikat antar molekul TiO₂ dengan substrat TiO₂ juga semakin kuat [Prayoga *et al*, 2013]. Namun setiap material memiliki ketahanan tertentu dalam pemanasan atau *sintering*, pada substrat FTO yang digunakan dalam penelitian ini memiliki batas pemanasan hingga 450°C, disamping itu ketahanan bahan yang akan di-*sintering* juga harus diperhatikan. Lapisan TiO₂ pada penelitian ini mengalami perubahan warna hingga kecoklatan (seperti terbakar) ketika suhu *sintering* yang digunakan mencapai 400°C, oleh karena itu digunakan suhu 350°C dalam pemanasan, agar struktur substrat dan bahan tetap terjaga

4. Kesimpulan

Prototip DSSC dari *dye* ekstrak senduduk telah berhasil dibuat dan dapat menghasilkan tegangan listrik. DSSC *dye* senduduk menghasilkan tegangan rata-rata tertinggi dengan cahaya matahari adalah 1.026 volt/cm² dan 0.595 volt/cm² dengan penyinaran LED dengan lama perendaman 24 jam dan tanpa pengenceran (100%). Tegangan rata-rata terendah adalah 0.365 volt/cm² dan 0.106 volt/cm² dengan lama perendaman 10 menit dan 2 kali pengenceran(25%). Hal ini menunjukkan semakin lama perendaman *coating* TiO₂ semakin tinggi tegangan yang dihasilkan, dan semakin pekat larutan *dye* maka semakin tinggi juga tegangan yang dihasilkan. Morfologi permukaan lapisan TiO₂ menunjukkan bentuk yang berongga atau berpori, semakin banyak pori pada permukaan *dye* maka akan semakin banyak *dye* yang teradsorb sehingga akan menghasilkan tegangan yang lebih tinggi. Perekatan antara substrat dan lapisan TiO₂ menunjukkan tingkat perekatan yang bagus berdasarkan uji adhesi ASTM D 3359

Daftar Pustaka

Admesy, 2014, *Spectroscopy : General Spectroscopy*, www.admesy.nl, diakses 9 Desember 2015

Amao, Y., Komori, T., 2004, *Bio-photovoltaic conversion device using chlorine-e6 derived from chlorophyll from Spirulina adsorbed on nanocrystalline TiO₂ Film electrode*, Biosens Bioelectron, 19(8) : 843-847

Dewi, P.A., Gunawan, Haris. A., 2010, *Pengaruh pelarut methanol dan pelarut methanol –asam asetat- air terhadap efisiensi dye sensitized solar cell dari ekstrak bunga rosella (Hibiscus sabdariffa)*, Jurnal Sains dan Matematika, 18 : 132-138

Ekasari, V., Yudoyono, G., 2013, *Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var.Rubrum) Variasi Larutan Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating*, Jurnal Sains dan Seni POMITS, 2 (1) : 2337-3520

Fennema, O.,R., Editor, 1996, *Food Chemistry*, 3rded, New York : Marcel Dekker

Jacub, J., 2011, *Sintesis Nanopartikel ZnO Dengan Teknik Presipitasi: Pengaruh Temperatur Pencampuran Prekursor Terhadap Pertumbuhan Nanokristalit Oksida Anorganik*, Tesis, Depok : Universitas Indonesia

Kay, A., Gratzel, M., 1996, *Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder*, Solar Energy Material and Solar Cells, 44(1) : 99-117

Lee, S, H., Chang, Y, P., Lee, L, Y., Hsu, J, F., 2007, *characterization of Dye-Sensitized Solar Cell with ZnO Nanorod*". J Engineering Technology and Education, 5 :545-552

Prananto, H.D., Anggie, T., Christin, S., Bahriarto. Y., 2013, *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbahan Dasar Klorofil Daun Cincau sebagai Fotosensitiser*, Prosiding Seminar Nasional Fisika, 30-32

Prayogo, A.F., Sholeh, H. P., Eka. M., 2013, *Pengujian dan Analisis Performansi Dye Snsitized Solar Cell (DSSC) terhadap cahaya*, Skripsi, Malang: Universitas Sriwijaya

Septina, W., Dimas, F., Aditia, M., 2007, *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell)*, Laporan Penelitian Bidang Energy, Bandung: Intitut Teknologi Bandung

- Susanthy, D., Gusnedi., Kamus, Z., 2014, *Pengaruh waktu spin coating terhadap struktur dan sifat listrik sel surya pewarna tersensitasi*, *Pillar of Physics*, 1 : 33-40.
- Sutanto, C.,N., 2012, *Pemanfaatan Ekstrak Bunga Kecombrang (Nicolaia speciosa Horan) Sebagai Pewarna Alami Pada Makanan Ceni*, Skripsi, Yogyakarta : Universitas Atma Jaya
- Trianiza, I., Yudhoyono. G., 2011, *Fabrikasi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) dengan Teknik Pelapisan Spin Coating Menggunakan Kaca ITO dan FTO sebagai Substrat dan Variasi Jahe Merah (Zingiber Officinale Var Rubrum) sebagai Dye Sensitizer*, Tugas Akhir, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zamrani, R., A., Prajitno, Gontjang., 2013, *Pembuatan Dan Karakterisasi Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Kuli Buah Manggis Sebagai Dye Sensitizer Dengan Metode Doctor Blade*, *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*, 1(2) : 1-6