

Pembuatan Prototip *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbasis Zat Warna Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L.*) : Pengaruh Suhu Sintering TiO₂ dan Konsentrasi Elektrolit

Wilda Zakiah¹⁾, Amun Amri²⁾, Ahmad Fadli²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia ²⁾Dosen 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 : zakiahwilda@gmail.com

ABSTRACT

*Increasing demand of energy consumption enforces the development of alternative energy source to solve the world energy crisis. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a promising alternative for solar cell application of future generation which is based in semiconductors that utilizes photoelectrochemical phenomenon as basic principle to generate electricity. This research tries to make DSSC prototype with dye from melastome fruit (*Melastoma Malabathricum L.*). The examined variables are TiO₂ sintering temperature at 300°C, 350°C, 400°C, and electrolyte concentration 0.025M, 0.05M and 0.075M of iodine. On the first step, the dye was made by diluting 20 gr of melastome fruit in aquadest, methanol, and acetic acid. Next, the coating of TiO₂ by solving TiO₂ powder in ethanol and deposited on spin coater and sintered by using furnace. Then the making of carbon electrode, making of electrolyte, and finally characterization of DSSC. UV-Vis spectroscopy examination result showed that melastome fruit contains anthocyanin that was proved from absorbance on wavelength of 515 nm. DSSC voltage examination showed that the higher TiO₂ sintering temperature and electrolyte concentration, then the voltage generated was higher as well. The highest voltage was showed on sample with iodine electrolyte concentration of 0,075 M which is 2,385 Volt/cm². Morphology test showed that TiO₂ coating has porous structure with equal particle dispersion on every increment of TiO₂ sintering temperature. XRD examination showed that the coating is in anatase phase and adhesion test showed that DSSC with highest voltage has adhesivity of 3B (Good).*

Key Word : *dye sensitized solar cell (dssc), dye, electrolyte, tio₂*

1. Pendahuluan

Manusia memiliki ketergantungan yang tidak terbatas terhadap energi. Hal ini terbukti dari permintaan masyarakat global terhadap energi yang meningkat tiga kali lipat sejak tahun 1950 [Abat dkk, 2013]. Menurut survey yang dilakukan oleh Profesor Ricards Smalley menyatakan bahwa masalah energi akan menjadi masalah terbesar yang dihadapi manusia hingga 50 tahun mendatang. Sampai saat sekarang ini, total kebutuhan energi di seluruh dunia diperkirakan mencapai 10 Terra Watt (setara dengan 3×10^{20} Joule/

tahun) dan diprediksi jumlah ini akan terus meningkat hingga mencapai 30 Terra Watt pada tahun 2030. Sementara total energi matahari yang sampai di permukaan bumi adalah $2,6 \times 10^{24}$ Joule setiap tahunnya. Salah satu cara untuk memanfaatkan radiasi panas dan cahaya yang dipancarkan matahari adalah dengan teknologi sel surya atau sel *photovoltaic*. *Photovoltaic* adalah suatu teknologi sel surya yang mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan panel *photovoltaic*, dalam hal ini menggunakan *Poly Crystalline*

Silicon sebagai material semikonduktor *photo cell* [O' Regan dan Gratzel, 1991]. Namun, karena teknologi *fotovoltaic* ini biaya produksinya masih cukup tinggi, Profesor Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 di École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Swiss mengembangkan suatu teknologi sel surya berbasis zat warna tersensitasi (*Dye Sensitized Solar Cells*). *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Efisiensi konversinya telah mencapai 10-11% [Abat dkk, 2013].

Pada DSSC, *dye* berfungsi sebagai donor elektron yang menyebabkan timbulnya ruang saat molekul *dye* terkena sinar matahari. Ketika molekul *dye* terkena sinar matahari, elektron *dye* tereksitasi dan masuk ke daerah tereduksi yaitu film titanium dioksida [Prasetyowati, 2012]. Elektroda kerja pada DSSC merupakan kaca yang sudah dilapisi oleh TiO₂ yang telah terabsorpsi oleh *dye*, yang mana TiO₂ berfungsi sebagai *collector* elektron. Struktur nano pada TiO₂ memungkinkan *dye* yang teradsorpsi lebih banyak sehingga menghasilkan proses absorpsi cahaya yang lebih efisien. Pada elektron pembanding dilapisi katalis berupa karbon untuk mempercepat reaksi redoks pada elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I⁻/I³⁻ (iodide/triiodide) [Abat dkk, 2013].

Dye (zat pewarna) yang akan teradsorpsi pada permukaan semikonduktor merupakan zat pewarna yang berfungsi sebagai penyerap (absorpsi) cahaya matahari untuk menghasilkan elektron. *Dye* yang banyak digunakan dan mencapai efisiensi tertinggi yaitu jenis ruthenium *complex*. Namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan *ruthenium* kompleks komersil berharga sangat mahal. Alternatif lain dengan menggunakan *dye* dari buah-buahan dan tumbuhan, khususnya *dye* antosianin. Antosianin ini yang

menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga [Brouillard, 1988 dalam Kristiana dkk, 2012]. Antosianin buah senduduk dapat digunakan sebagai *dye* dalam pembuatan DSSC yang hingga saat ini belum ditemukan *dye* dari ekstrak senduduk sebagai *dye* dalam pembuatan DSSC. Semakin tinggi suhu sintering TiO₂ dan konsentrasi elektrolit yang diberikan, maka akan semakin besar pula tegangan listrik yang dihasilkan oleh DSSC. Hal ini juga dibuktikan dari hasil uji morfologi lapisan TiO₂ yang persebaran partikel yang merata dengan peningkatan suhu sintering TiO₂. Uji adhesi juga menunjukkan daya ikat *coating* terbaik pada suhu yang lebih tinggi.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan yaitu sebagai berikut; kaca *fluorine tin oxide* (FTO), TiO₂ (MERCK), etanol absolut, metanol, serbuk Kalium Iodida (KI), serbuk *Iodine*, aquadest, lilin dan biji Senduduk (*Melastoma malabathricum* L.) yang didapat dari lingkungan sekitar Universitas Riau. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu gelas beker 25 dan 100 ml, *spin coater*, *micropipette*, kaca arloji, mortar, batang pengaduk, gelas ukur 100 ml, *magnetic stirrer*, pipet ukur 5 ml, *hot plate*, kertas saring, neraca analitik, multimeter digital, kertas saring, gelas piala dan *furnace*

Pada penelitian ini buah senduduk yang digunakan sebanyak 20 gram, perendaman *dye* selama 24 jam, komposisi pelarut pasta TiO₂ menggunakan pelarut etanol absolut (1:8), katalis karbon dengan menggunakan lilin, ukuran kaca 2,5 x 2,5 cm, sumber cahaya LED dan matahari sedangkan variasinya adalah temperatur sintering TiO₂ 300°C, 350°C dan 400°C serta konsentrasi elektrolit 0,025M, 0,05M dan 0,075M I₂

Pada tahapan prosesnya, buah senduduk ditimbang sebanyak 20 gram kemudian dihancurkan menggunakan mortar dan alu sehingga menjadi serbuk. Serbuk senduduk tadi dilarutkan dengan aquadest 52 ml, metanol 40 ml, dan asam

asetat 8 ml. Kemudian ekstrak yang telah dicampurkan tersebut disaring dengan kertas saring agar diperoleh larutan *dye* nya saja [Maddu dkk, 2007].

Pembuatan pasta TiO₂ di atas kaca FTO dengan teknik *spin coating*. Pasta TiO₂ dibuat dengan melarutkan 1 gr serbuk TiO₂ dalam 8 mL etanol. Pasta tersebut di-*stirrer* selama 30 menit dengan kecepatan putar 300 rpm, agar larutan homogen. [Yulika dkk, 2014], pasta TiO₂ kemudian dideposisi pada kaca FTO. Sebanyak 100 μ l pasta TiO₂ ditetesi diatas sisi konduktif kaca FTO yang sudah diletakkan diatas mesin *spin coater*. *Spin coating* dilakukan dengan putaran 300 rpm selama 30 detik dan 1000 rpm selama 30 detik. Selanjutnya kaca FTO yang telah terdepositasi pasta TiO₂ disintering dengan suhu yang bervariasi yaitu 300°C , 350°C dan 400°C masing-masing selama 15 menit.

Elektroda pembanding yang digunakan pada penelitian ini adalah berupa kaca FTO dengan permukaan konduktif yang dilapisi oleh karbon. Karbon yang digunakan adalah karbon yang dihasilkan dari pembakaran menggunakan lilin. Kaca FTO dibakar dengan lilin selama ± 2 menit sampai karbon merata disisi kaca konduktif FTO.

Pembuatan larutan elektrolit dibuat dengan perbandingan konsentrasi garam alkali *iodida* 0,025 M , 0,05 M dan 0,075 M I₂. Pembuatan elektrolit 0,025 M I₂ dibuat dengan memasukkan sebanyak 0,83 gr KI (0,5 M) dilarutkan dalam 10 mL aquadest.

Kemudian sebanyak 0,063 gr I₂ (0,025 M) dicampurkan dalam larutan KI dan aquadest, lalu diaduk hingga homogen.

Pembuatan elektrolit 0,05 M I₂ dibuat dengan memasukkan sebanyak 0,83 gr KI (0,5 M) dilarutkan dalam 10 mL aquadest. Kemudian sebanyak 0,127 gr I₂ (0,05 M) dicampurkan dalam larutan KI dan aquadest, lalu diaduk hingga homogen.

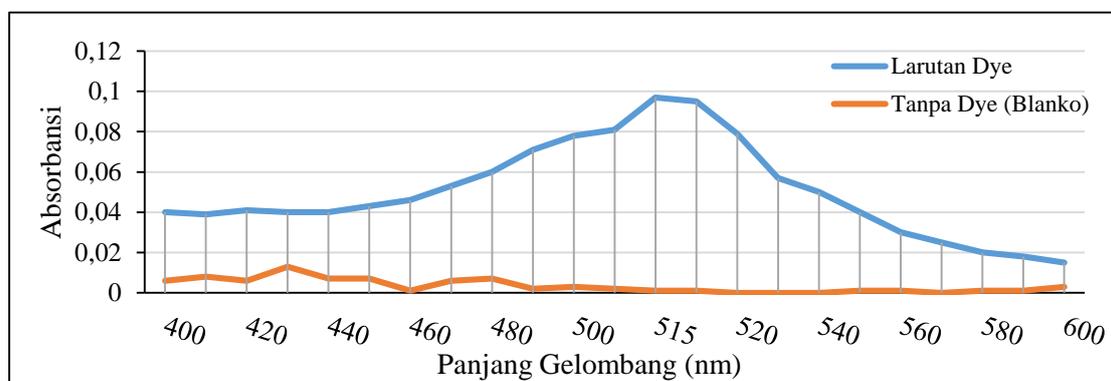
Pembuatan elektrolit 0,075 M I₂ dibuat dengan memasukkan sebanyak 0,83 gr KI (0,5 M) dilarutkan dalam 10 mL aquadest. Kemudian sebanyak 0,19 gr I₂ (0,075 M) dicampurkan dalam larutan KI dan aquadest tadi, lalu diaduk hingga homogen.

Selanjutnya, DSSC dirakit sehingga membentuk sebuah struktur *sandwich* dan kemudian diuji kelistrikkannya untuk mencari nilai tegangan tertinggi dengan menggunakan multimeter digital yang dihubungkan ke DSSC yang disinari lampu LED kemudian dengan sinar matahari setiap 10 detik selama 2,5 menit

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Absorbansi *Dye* Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L.*)

Pengukuran spektrum absorbansi dilakukan dengan cara mengambil larutan *dye* yang telah diekstrak. Setelah itu larutan *dye* diukur dengan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 400-600 nm. Hasil pengujian dan puncak-puncak absorbansi terhadap panjang gelombang (nm) dapat dilihat pada Gambar 1.

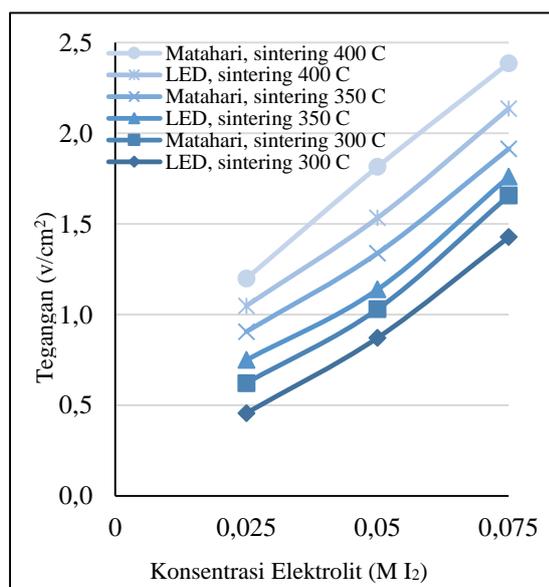


Gambar 1. Hubungan Absorbansi Buah Senduduk dan Pengekstrak yang digunakan terhadap Panjang Gelombang

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa spektrum serapan tertinggi dari ekstrak buah senduduk adalah pada panjang gelombang (λ max) yaitu 515 nm. Panjang gelombang maksimum yang dihasilkan pada pengujian absorbansi *dye* buah senduduk ini masuk dalam *range* panjang gelombang pigmen antosianin karena panjang gelombang dari pigmen antosianin berkisar antara 515-545 nm [Sutanto, 2012]. Dengan demikian berarti ekstrak antosianin sangat signifikan dan dominan menyerap spektrum (500-550 nm), ini bersesuaian dengan warna ekstrak yang didapat yaitu berwarna kemerahan [Madduk, 2007]. Hal tersebut mengindikasikan bahwa larutan *dye* buah senduduk memang terbukti memiliki pigmen antosianin sehingga dapat digunakan sebagai zat pewarna yang tersensitivasi pada pembuatan prototip *dye sensitized solar cell* (DSSC).

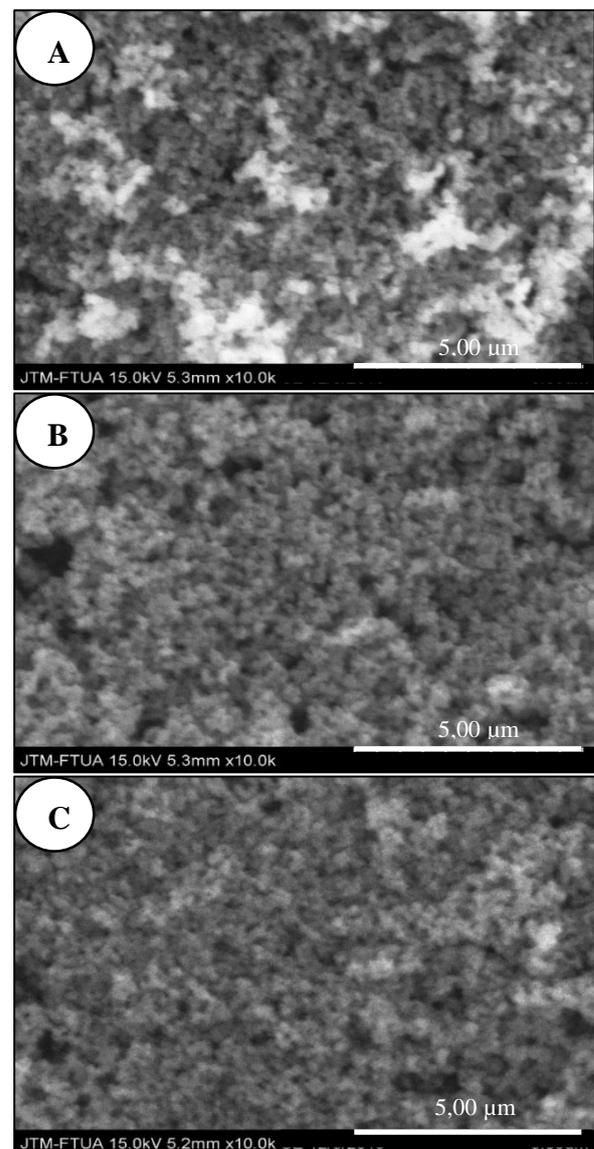
3.2 Pengujian Karakterisasi Keluaran *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Pengujian karakterisasi keluaran DSSC ditandai dengan adanya tegangan yang dihasilkan oleh DSSC. Berikut gambar grafik tegangan DSSC berdasarkan sumber cahaya dengan pengaruh suhu sintering dan konsentrasi elektrolit .



Gambar 2. Grafik Perbandingan Tegangan yang Dihasilkan pada DSSC

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) secara umum meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit dan suhu sintering TiO₂. Tegangan tertinggi ditunjukkan oleh DSSC yang dibuat dengan suhu sintering TiO₂ 400°C dengan konsentrasi elektrolit 0,075 M yaitu senilai 2,385 V/cm². Untuk membuktikan hasil ini, selanjutnya dilakukan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat pengaruh suhu sintering TiO₂ terhadap morfologinya seperti terlihat pada Gambar 3.



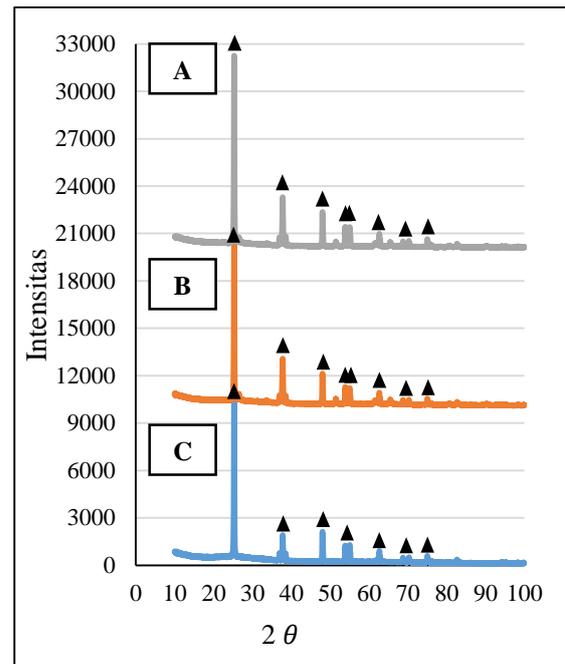
Gambar 3. Hasil Foto SEM TiO₂ pada suhu Sintering (a) 300°C , (b) 350°C dan (c) 400°C dengan perbesaran 10.000 x

Hasil foto SEM pada Gambar 3 menunjukkan morfologi dari lapisan nanopori Titanium Dioksida (TiO_2) setelah mengalami perlakuan sintering dengan suhu yang berbeda-beda. Dari hasil foto SEM TiO_2 (Gambar 3c) menunjukkan bahwa lapisan TiO_2 membentuk struktur berpori dengan partikel berukuran nano yang persebaran partikelnya lebih merata pada setiap penambahan suhu sintering TiO_2 . Struktur TiO_2 berpori yang terbentuk merupakan karakteristik yang penting dalam pembuatan DSSC. Hal ini dikarenakan molekul *dye* dari ekstrak buah senduduk akan ter-penetrasi lebih dalam melalui pori-pori tersebut. Pada foto SEM terlihat interkoneksi antar partikel dan penyatuan beberapa partikel (agregat) yang baik sehingga jalur difusi atau konduksi elektron menjadi lebih baik dan cepat. Adanya partikel dan agregat memiliki peran yang penting sebagai situs dalam mengabsorpsi *dye* dan interaksi foton dari cahaya matahari. Terlihat jelas pada temperatur 400°C , permukaan TiO_2 memiliki persebaran agregat yang lebih merata bila dibandingkan dengan lapisan TiO_2 pada temperatur 300°C dan 350°C . Pasangan redoks dalam elektrolit juga merupakan faktor penting terhadap tegangan yang dihasilkan DSSC, karena pasangan redoks ini berperan sebagai media pembawa muatan antara fotoelektroda dan elektroda pembanding untuk proses regenerasi elektron pada *dye*. Pada Gambar 2 juga dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi elektrolit maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh DSSC. Semakin tinggi konsentrasi elektrolit maka semakin besar jumlah pasangan redoks sehingga semakin besar tegangan yang dihasilkan. Tegangan tertinggi diperoleh pada konsentrasi elektrolit $0,075\text{M Iodine}$.

3.3 Analisis X-Ray Diffractometer (XRD)

Pengujian XRD pada penelitian ini menggunakan mesin PANalytical system terhadap lapisan Titanium Dioksida (TiO_2) yang telah terdeposisi di bagian sisi kaca

bagian yang konduktif. Pengukuran difraksi sinar-X dilakukan pada rentang sudut 10° - 100° dan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.540598 \AA . Pola XRD menunjukkan bahwa kristal TiO_2 yang terbentuk pada suhu sintering 300°C , 350°C dan 400°C adalah tetragonal (kartu 96-900-9087). Karakterisasi XRD dapat dilihat pada Gambar 4 berikut



Gambar 4. Grafik Karakterisasi XRD Lapisan TiO_2 yang Disintering Pada Suhu (a) 300°C , (b) 350°C dan (c) 400°C

Hasil interpretasi puncak-puncak pada data XRD diatas menunjukkan bahwa serbuk TiO_2 yang disintering pada berbagai suhu antara 300°C – 400°C berfase *anatase*. Fase *anatase* mempunyai kemampuan fotoaktif yang lebih tinggi dibandingkan dengan fase *rutile*. Hal ini dikarenakan luas permukaan *anatase* lebih besar daripada *rutile* sehingga sisi aktif per-unit *anatase* lebih besar. Adanya fase *anatase* ini dapat meningkatkan tegangan DSSC yang dihasilkan dibandingkan dengan fase lainnya [Damayanti dkk, 2014]. Untuk melihat ukuran butir fase *anatase* yang terbentuk persamaan *Scheerer* (pers. I) dan data ditabelkan pada Tabel 1.

$$D = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana ;

λ adalah panjang gelombang radiasi (Å)

B adalah *Full Width at Half Maximum* (rad)

θ adalah sudut Bragg ($^{\circ}$)

D adalah jarak kisi kristal (Angstrom)

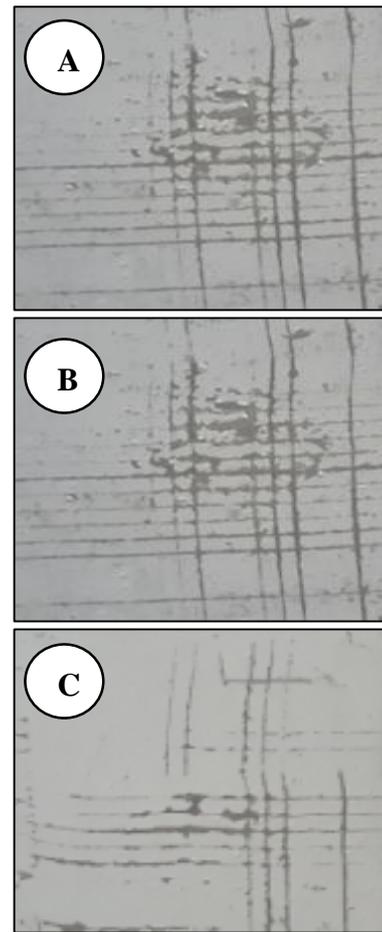
Tabel 1. Ukuran Butir Fase *Anatase* Titanium Dioksida (TiO₂) Dengan Variasi Suhu Sintering yang Dihitung dari Puncak Tertinggi

Suhu Sintering	FWHM (Rad)	Ukuran Kristal (nm)	Komposisi Senyawa
300 °C	0,1378	2,3307	Antase 100%
350 °C	0,1378	2,3315	Antase 100%
400 °C	0,1378	2,3336	Antase 100%

Pada Tabel 1 terdapat kesamaan nilai dari ukuran kristal serbuk TiO₂, tidak ditujukannya perbedaan nilai yang signifikan untuk setiap ukuran kristal dari TiO₂ terhadap masing-masing variasi suhu sintering yang diberikan. Kesamaan ini disebabkan karena pembuatan awal dari serbuk TiO₂ merupakan hasil buatan pabrik yang telah lebih dahulu diberikan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi suhu sintering pada penelitian ini [Nadeak dan Susanti, 2012].

3.4 Uji Sifat Adhesi

Pengujian sifat adhesi dilakukan untuk mengetahui daya ikat *coating* TiO₂ terhadap substrat kaca *Fluorine-Tin Oxide* (FTO). Pengujian dilakukan pada kaca yang telah di-*coating* TiO₂ dengan variasi suhu sintering 300°C, 350°C dan 400°C. Metode yang digunakan adalah ASTM D 3359 *Cross Hatch Cutter*. Gambar 5 menampilkan hasil analisa daya ikat *coating* TiO₂ dengan substrat kaca FTO berdasarkan variasi suhu sintering yang diberikan



Gambar 5. Analisa Lapisan *Coating* TiO₂ dengan substrat Kaca FTO pada variasi Suhu Sintering (a) 300°C, (b) 350°C dan (c) 400°C

Berdasarkan hasil analisa lapisan *coating* TiO₂ dengan substrat kaca FTO dengan menggunakan *Elcometer 107 Cross Hatch Cutter* terlihat bahwa daya ikat *coating* terbaik yaitu pada suhu 400°C dengan predikat daya rekatnya yaitu 3B (bagus) daripada variasi suhu sintering lainnya. Daya ikat *coating* pada suhu 300°C menunjukkan predikat 1B (buruk) sedangkan pada suhu 350°C menunjukkan predikat 2B (cukup). Hal ini menandakan bahwa semakin tinggi suhu sintering TiO₂ maka daya ikat *coating* antara TiO₂ dan substrat akan semakin baik, karena tujuan dari sintering adalah supaya molekul oksida saling mengikat sempurna dengan substratnya.

4. Kesimpulan

Prototip *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan *dye* dari buah senduduk (*Melastoma Malabathricum* L.) telah berhasil dibuat. DSSC mampu mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan tegangan tertinggi sebesar 2,385 volt/cm². Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi suhu sintering TiO₂ dan konsentrasi elektrolit maka tegangan yang dihasilkan semakin tinggi pula. Hasil tegangan terbaik pada variasi suhu sintering 400°C dan konsentrasi elektrolit *iodine* 0,075M. Untuk pengujian morfologi menunjukkan persebaran partikel yang semakin merata dengan meningkatnya suhu sintering TiO₂. Uji XRD menunjukkan bahwa serbuk TiO₂ berfase *anatase* dengan ukuran kristal 2,3336 nm pada temperatur 400 °C dan uji *adeshi* menampilkan daya ikat *coating* terbaik yaitu pada suhu 400°C dengan predikat 3B (bagus).

Daftar Pustaka

- Abat, A., Rakhmania C. D. dan Basudewi F. M. 2013. *DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Damayanti, R., Hardeli dan Sanjaya, H. 2014. *Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (Ipomoea Batatas L.)*. Jurnal Sainstek Vol. 4 No. 2:
- Kristiana, H.D., Setyaningrum A. Dan Lia U.K. 2012. *Ekstraksi Pigmen Antosianin Buah Senggani (Melastoma Malabathricum L.) dengan Variasi Jenis Pelarut*.
- Maddu, A., Zuhri, M., dan Irmansyah, 2000. *Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosentizer Pada Sel Surya TiO₂ Nanokristal Tersensitasi Dye*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Bogor. Jurnal Teknologi Pangan. Vol 1: 105-109.
- Nadeak, S, M, R dan Susanti, D. 2012. *Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO₂ sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah*. Jurnal Teknik ITS Vol.1 No. 1: 1-3.
- O'regan dan Gratzel, M. 1991. *A Low-cost High Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitizer Colloidal TiO₂ Films Nature*. Journal of Photochemistry and Photobiology. Vol.353: 325.
- Prasetyowati, R. 2012. *Sel Surya Berbasis Titania sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif*. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Sumaryanti. 2011. *Karakterisasi optik dan listrik larutan klorofil Spirulina Sp. Sebagai Dye Sensitized Solar Cell*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Sutanto, C.S. 2012. *Pemanfaatan Ekstrak Bunga Kecombrang (Nicolaia Speciosa, Horan) sebagai Pewarna Alami pada Makanan Ceni*. Skripsi. Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Yulika, D., Kusumandari dan Suryana, R. 2014. *Pelapisan TiO₂ diatas FTO dengan Teknik Slip Casting dan Spin Coating untuk Aplikasi DSSC*. Jurnal Fisika Indonesia. Vol.18 No.53: 66-69