

## ANALISIS PENGARUH LAPISAN ANTI-REFLEKSI $\text{TiO}_2$ DAN $\text{SiO}_2$ PADA KINERJA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

### ANALYSIS OF THE EFFECT OF $\text{TiO}_2$ AND $\text{SiO}_2$ ANTIREFLECTION COATINGS ON THE *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) PERFORMANCE

Alfonsius Hasiholan T<sub>1</sub>, Abrar<sub>2</sub>, Natalita Maulani Nursam<sub>3</sub>  
<sub>1,2</sub>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom  
<sub>3</sub>Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, LIPI Bandung  
<sub>1</sub>alfonsiust@student.telkomuniversity.ac.id, <sub>2</sub>abrarselah@telkomuniversity.ac.id,  
<sub>3</sub>natalita.mn@gmail.com

---

#### Abstrak

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan sel surya generasi ketiga dari pengembangan sel surya berbahan organik. Usaha untuk meningkatkan efisiensi DSSC terus dilakukan. Salah satunya, membuat lapisan anti-refleksi untuk meningkatkan penyerapan cahaya dengan mengurangi pantulan cahaya oleh permukaan sel surya. Untuk membuat lapisan anti-refleksi dibutuhkan material dengan indeks bias yang lebih rendah daripada indeks bias substrat yang digunakan. Pada penelitian ini, material yang dipilih adalah  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$ . Lapisan tipis anti-refleksi akan difabrikasi dengan memvariasikan konsentrasi larutan, dan ketebalan lapisan yang dideposisikan menggunakan teknik *spin coating*. Lapisan anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  memiliki beberapa variasi sampel konsentrasi TEOS yakni,  $\text{SiO}_2$  A: 0,33 ml,  $\text{SiO}_2$  B :1 ml, dan  $\text{SiO}_2$  C : 3,3 ml, sedangkan untuk amonia 0,5 ml, *DI water* 2 ml, ethanol 23 ml tidak dilakukan variasi konsentrasi. Sampel lapisan anti-refleksi  $\text{TiO}_2$  memiliki komposisi *titanium isopropoide* (TTIP) 12,5 ml, *isopropanol* 2 ml, *DI water* 75 ml, asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) 65% 0,6 ml. Kedua jenis lapisan anti-refleksi ini difabrikasi diatas permukaan kaca, lalu dilakukan karakterisasi morfologi, uji transmitansi, uji reflektansi, karakterisasi I-V, karakterisasi IPCE serta dilakukan pengujian pada lapisan anti-refleksi melalui penguapan pada suhu 70 °C. Hasilnya, pada morfologi lapisan anti-refleksi yang dikarakterisasi menggunakan SEM, diperoleh bahwa sampel  $\text{SiO}_2$  B dan  $\text{TiO}_2$  memiliki penyebaran lapisan permukaan yang paling merata dan hanya sedikit terlihat adanya aglomerasi. Pada uji transmitansi dan reflektansi menggunakan UV-Vis, sampel  $\text{SiO}_2$  B memiliki transmitansi tertinggi dan reflektansi terkecil. Hasil karakterisasi I-V DSSC yang diperoleh 6,15% sebelum dilakukan *spin coating* dan setelah ditambahkan lapisan anti-refleksi naik menjadi 6,45 %. Hasil uji IPCE, sampel  $\text{SiO}_2$  B memiliki nilai koefisien konversi cahaya yang paling baik dari sampel yang lain. Sehingga dengan penambahan anti-refleksi terjadi peningkatan efisiensi dari DSSC.

**Kata kunci:** DSSC, lapisan anti-refleksi,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ , *spin coating*, efisiensi, transmitansi, reflektansi.

---

#### Abstract

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) is a third generation solar cell from the development of organic solar cells. Efforts to improve the efficiency of DSSC continue to be made. One of them, making anti-reflection layers to increase the absorption of light by reducing the reflection of light by the surface of solar cells. To make the anti-reflection layer a material with a refractive index lower than the refractive index of the substrate is used. In this study, the selected material is  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$ . The anti-reflection thin layer will be fabricated by varying the concentration of the solution, and the thickness of the layer deposited using the *spin coating* technique.  $\text{SiO}_2$  anti-reflection layer has several variations of TEOS concentration samples, namely,  $\text{SiO}_2$  A: 0.33 ml,  $\text{SiO}_2$  B: 1 ml, and  $\text{SiO}_2$  C: 3.3 ml, while for ammonia 0.5 ml, *DI water* 2 ml, ethanol 23 ml concentration variation was not carried out. The  $\text{TiO}_2$  anti-reflection coating samples had 12.5 ml titanium isopropoide (TTIP) composition, 2 ml isopropanol, *DI water* 75 ml, nitric acid ( $\text{HNO}_3$ ) 65% 0.6 ml. Both types of anti-reflection layers are fabricated on the surface of the glass, then morphological characterization, transmittance test, reflectance test, I-V characterization, IPCE characterization and testing of the anti-reflection layer through evaporation at 70 °C. As a result, in the anti-reflection layer morphology characterized by SEM, it was found that  $\text{SiO}_2$  B and  $\text{TiO}_2$  samples had the most even distribution of surface layers and only slightly agglomerated. In the transmittance and reflectance test using UV-Vis,  $\text{SiO}_2$  B samples have the highest transmittance and the smallest reflectance. The DSSC I-V characterization results obtained 6.15% before *spin coating* and after adding the anti-reflection layer increased to 6.45%. IPCE test results,  $\text{SiO}_2$  B samples have the best light conversion

coefficient value than the other samples. So that the addition of anti-reflection occurs to increase the efficiency of DSSC.

**Keywords:** DSSC, anti-reflection coating,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ , spin coating, efficiency, transmittance, reflectance.

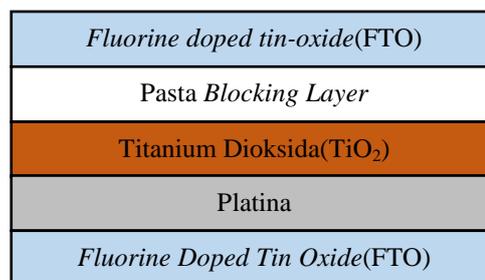
## 1 Pendahuluan

Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan adalah energi surya. Untuk memanfaatkan energi surya dengan baik, maka diperlukan alat yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atau energi lainnya. Alat yang digunakan untuk mengonversi energi surya menjadi energi listrik biasa dikenal sebagai *photovoltaic* atau sel surya [1]. *Dye sensitized solar cell* (DSSC) sel surya berbahan organik yang ramah lingkungan dan harga fabrikasi yang cukup murah dan dapat difabrikasi dengan metode yang sederhana. Namun efisiensi yang rendah merupakan kekurangan dari DSSC ini. Lapisan anti-refleksi digunakan untuk meningkatkan efisiensi. Salah satu penelitian tentang penggunaan lapisan anti-refleksi  $TiO_2$  dan  $SiO_2$  yaitu, penelitian Vallejo dkk, 2005. Pada penelitiannya, anti-refleksi  $TiO_2$  pada sel surya silikon mampu meningkatkan efisiensi sel surya kurang dari 2% menggunakan teknik *screen printing* [2] dan memiliki nilai indeks bias sebesar 2,88. Penelitian anti-refleksi  $SiO_2$  oleh Qi Luo dkk, mampu meningkatkan efisiensi pada sel surya perovskite dengan teknik *spin coating* dengan variasi kecepatan yang berbeda-beda mencapai 1,01% dari 14,81% menjadi 15,82% dan memiliki indeks bias yang relatif kecil sebesar 1,46 [3]. Hal ini disebabkan proses pelapisan anti-refleksi yang dilakukan dengan metode *spin coating* dari perubahan parameter kecepatan putar masih memiliki kekurangan dalam hal kenaikan efisiensi. Semakin cepat *spin coating*, maka hasil lapisan anti-refleksi yang menempel pada substrat sangat tipis. Hal ini akan menyebabkan indeks bias yang dihasilkan sangat kecil dan membuat efisiensi yang semakin rendah. Pada penelitian ini, untuk meningkatkan efisiensi lapisan anti-refleksi  $SiO_2$  dan  $TiO_2$  dilakukan variasi konsentrasi. Tujuannya untuk melakukan optimasi terhadap proses sintesis serta deposisi lapisan antirefeksi agar dihasilkan DSSC dengan penyerapan cahaya yang optimal. Lapisan tipis anti-refleksi yang difabrikasi dikarakterisasi morfologinya menggunakan SEM, uji transmitansi dan reflektansi menggunakan UV-VIS, karakterisasi I-V serta uji IPCE untuk mengetahui pengaruh penambahan lapisan anti-refleksi terhadap performa DSSC.

## 2 Metodologi Penelitian

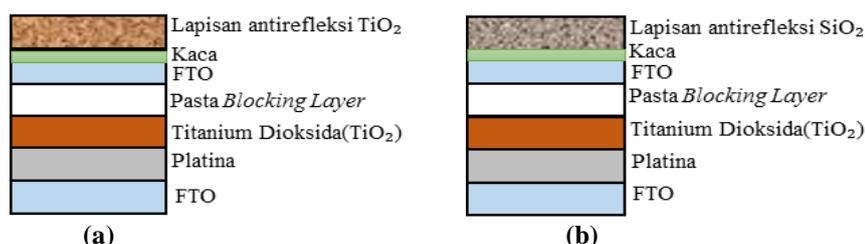
### 2.1 Rancangan sel surya yang akan dibuat

Gambar 1 menunjukkan rancangan sel surya *dye sensitized solar cell* (DSSC) yang belum dilapisi oleh anti-refleksi  $TiO_2$  dan  $SiO_2$ , rancangan ini dibuat dengan lapisan tipis *blocking layer*,  $TiO_2$  sebagai elektroda kerja, dan platina sebagai elektroda lawan.



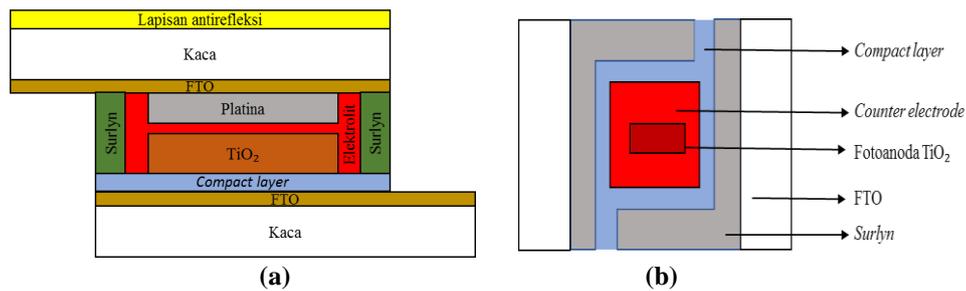
Gambar 1 Struktur sel surya tanpa lapisan antirefleksi

Gambar 2 (a) di bawah ini menunjukkan rancangan sel surya DSSC yang akan dibuat dengan penambahan lapisan antirefleksi  $TiO_2$ , lapisan tipis *blocking layer*,  $TiO_2$  sebagai elektroda kerja dan platina sebagai elektroda lawan. Gambar 2 (b) menunjukkan rancangan sel surya DSSC yang akan dibuat dengan penambahan antirefleksi  $SiO_2$ , lapisan tipis *blocking layer*,  $TiO_2$  sebagai elektroda kerja dan platina sebagai elektroda lawan



Gambar 2 (a) Struktur sel surya yang dilapisi anti-refleksi  $TiO_2$ , (b) Struktur sel surya yang dilapisi anti-refleksi  $SiO_2$

## 2.2 Fabrikasi Anti-refleksi SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> pada DSSC



Gambar 3 (a) Pola lapisan penyusun DSSC tampak samping, (b) Pola lapisan penyusun DSSC tampak atas

Gambar 3 (a) Pembuatan pola desain DSSC tampak samping yang ditambahkan lapisan-anti-refleksi menggunakan aplikasi *software coreldraw*. Pembuatan pola ini sebagai dasar untuk pembuatan pola pada *screen*. Gambar 3 (b) merupakan pola lapisan penyusun DSSC tampak atas. Fabrikasi DSSC dimulai dengan membuat larutan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> dan SiO<sub>2</sub>. Proses pembuatan larutan TiO<sub>2</sub> dimulai dari proses pencampuran bahan 12,5 ml *titanium isopropoide* (TTIP) dengan 2 ml *isopropanol* tetes demi tetes menggunakan pipet tetes, sambil di *stirrer* pada suhu ruangan selama 10 menit. Lalu ditambahkan *diionized water* (*di water*) sebanyak 75 ml yang dicampurkan juga tetes demi tetes. Lalu, setelah tercampur(homogen), tambahkan 0,6 ml asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) 65% dan dipanaskan sambil di *stirrer* pada skala 2 dan suhu 80 °C selama 8 jam. Untuk mencegah pelarut menguap, digunakan metode *reflux* dalam proses pemanasan larutan. Setelah selesai, masukkan ke dalam botol untuk menyimpan larutan.

Proses pembuatan larutan SiO<sub>2</sub> dimulai dari proses pencampuran bahan 1,5 ml NH<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O (10%) dengan *diionized water* (*di water*) 6 ml, ethanol 70 ml dalam 100 ml diaduk menggunakan magnet *stirrer*. Kemudian di tambahkan 3 ml TEOS (SiC<sub>8</sub>H<sub>20</sub>O<sub>4</sub>) tetes demi tetes kedalam campuran. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Setelah selesai, masukkan ke dalam botol gelap untuk menyimpan larutan. Kemudian di buat variasi konsentrasi larutan SiO<sub>2</sub> dengan penambahan amonia 1 ml, 3 ml, 4,5 ml dan 9 ml. Tabel 1 merupakan konsentrasi larutan lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub>, dan Tabel 2 variasi konsentrasi sampel lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub>.

Table 1 Konsentrasi larutan anti-refleksi TiO<sub>2</sub>

Nama Sampel	<i>titanium isopropoide</i> (TTIP) ml	<i>isopropanol</i>	<i>Diionized Water</i> ( <i>di water</i> ) ml	Asam nitrat (HNO <sub>3</sub> ) 65% ml
TiO <sub>2</sub>	12,5	2	75	0,6

Table 2 Variasi konsentrasi Sampel SiO<sub>2</sub>

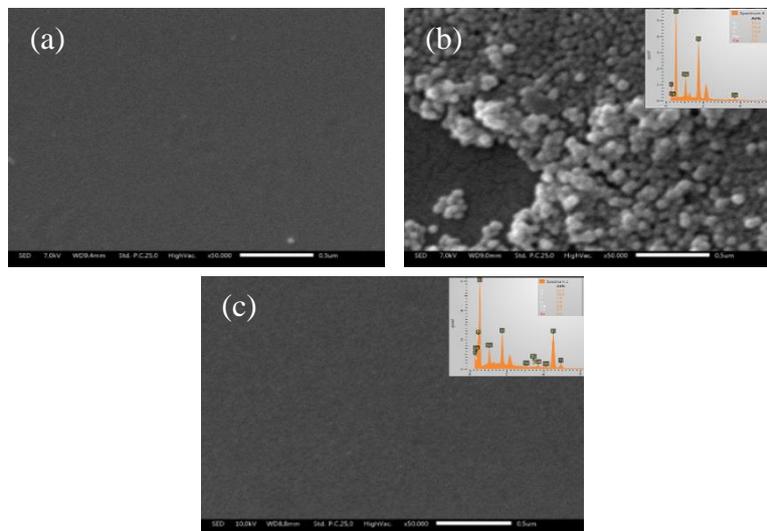
Nama Sampel	TEOS (ml)	Amonia (ml)	<i>Diionized Water</i> ( <i>di water</i> ) ml	Etanol
SiO <sub>2</sub> A	0,33	0,5	2	23
SiO <sub>2</sub> B	1	0,5	2	23
SiO <sub>2</sub> C	3,3	0,5	2	23

Fabrikasi DSSC dimulai dengan pembuatan pola menggunakan *corel draw* seperti Gambar 2. Pembuatan pola ini sebagai dasar untuk membuat pola pada *screen*, lalu dilakukan pemotongan substrat sesuai dengan pola yang sudah dibuat. Selanjutnya preparasi substrat FTO dengan cara membersihkan substrat kaca FTO di dalam isopropil alkohol, air sabun, dan *diionized water* (*di water*). Proses deposisi lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> menggunakan metode *spin coating* selama dua menit, lalu keringkan pada oven dengan suhu 500 °C selama 30 menit. Lalu lakukan proses deposisi TiO<sub>2</sub> dan keringkan pada suhu 120 °C selama 10 menit, dan lakukan proses *sintering* pada suhu 500 °C selama 30 menit. Celupkan substrat ke dalam TiCl<sub>4</sub> bersuhu 70 °C selama 30 menit lalu lakukan *sintering* pada suhu 500 °C. Kemudian lakukan proses deposisi platina lalu keringkan pada suhu 120 °C dan lakukan proses *sintering* pada suhu 450 °C selama ±40 menit. Proses selanjutnya pewarnaan lapisan TiO<sub>2</sub> dengan *dye Z907* yang diletakkan di dalam wadah selama 24 jam. Substrat yang terdiri dari elektroda kerja dan lawan selanjutnya dirakit menggunakan struktur *sandwich* lalu disuntukkan elektrolit EL-HPE pada keadaan vakum. Lakukan karakterisasi I-V, setelah itu sampel yang belum dilapisi lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> dilakukan *spin coating* lapisan pada permukaan sampel kaca DSSC, lalu dilakukan pengukuran kembali untuk melihat perubahan efisiensi yang dihasilkan.

### 3 Hasil Karakterisasi dan Pembahasan

#### 3.1 Pengujian Morfologi Lapisan anti-refleksi Menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

Karakterisasi ini bertujuan untuk mempelajari morfologi permukaan dari lapisan anti-refleksi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$ , serta menampilkan komposisi dari larutan  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  dengan menggunakan EDX. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



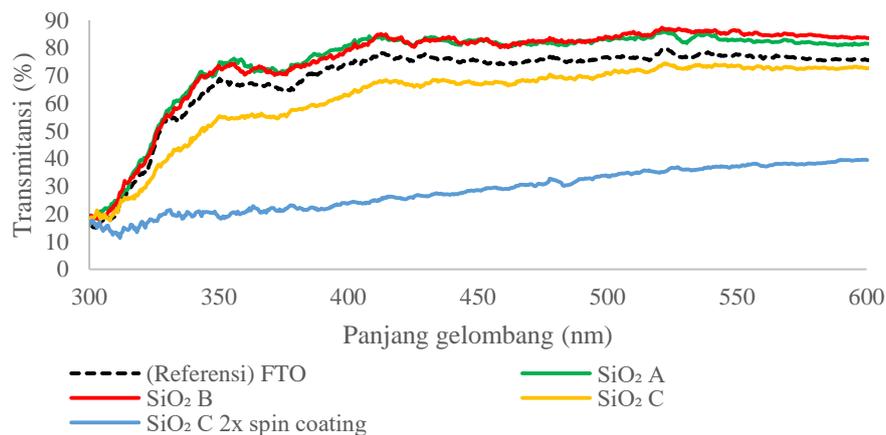
Gambar 4 (a) Sampel referensi (FTO) yang tidak dilapisi anti-refleksi. (b) Sampel anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  B, 1x *spin coating* di atas permukaan FTO. (c) Sampel anti-refleksi  $\text{TiO}_2$ , 1x *spin coating* diatas permukaan FTO.

Pengujian morfologi lapisan anti-refleksi yang dideposisikan pada substrat dengan kecepatan *spin coating* 2000 rpm selama dua menit. Lalu dilakukan pengukuran *surface* pada pembesaran 50000x dengan skala pengukuran 1  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 4 (a) menunjukkan permukaan sampel substrat FTO yang tidak dilapisi anti-refleksi. Gambar 4 (b) menunjukkan sampel anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  B dengan variasi konsentrasi TEOS 1 ml, 1x *spin coating* diatas permukaan kaca FTO. Permukaan sampel  $\text{SiO}_2$  B terlihat adanya penumpukan aglomerasi yang tidak merata dibebberapa bagian yang membuat struktur menjadi lebih tidak kontinu dan homogen. Akan tetapi memiliki ukuran partikel paling besar diantara sampel lain. Hal ini dapat dilihat dari komposisi pencuplikan yang terdiri dari O, Si dan senyawa lain setelah dilakukan pengecekan menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

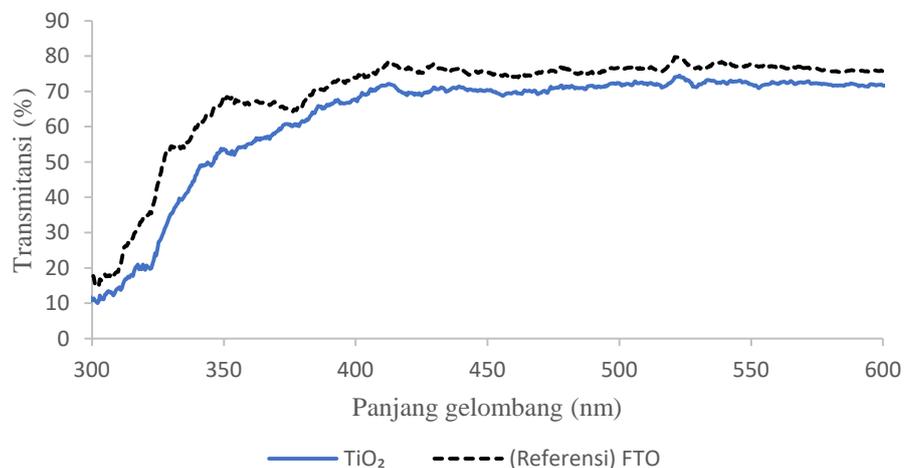
Gambar 4 (c) menunjukkan morfologi sampel anti-refleksi  $\text{TiO}_2$ , 1x *spin coating* diatas permukaan kaca FTO. Lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  memiliki permukaan yang paling rata dan memiliki ukuran partikel yang sangat kecil. Hal ini karena lapisan anti-refleksi  $\text{TiO}_2$ , dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Sehingga lapisan anti-refleksi  $\text{TiO}_2$  memiliki struktur berpori yang tersebar secara merata di permukaan kaca. Hal ini, didukung oleh pencuplikan Ti dan senyawa lain setelah dilakukan pengecekan dengan EDS

#### 3.2 Uji Transmittansi dan Reflektansi lapisan anti-refleksi $\text{SiO}_2$ dan $\text{TiO}_2$

Pengujian sifat optik dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Ini bertujuan untuk mengetahui spektrum transmittansi dan reflektansi. Pengujian ini dilakukan pada rentang panjang gelombang cahaya tampak 400 nm - 800 nm. Semua sampel yang diuji adalah sampel yang dideposisikan diatas substrat kaca FTO berukuran 1 cm x 1 cm, dengan kecepatan *spin coating* 2000 rpm selama dua menit. Gambar 5 dan Gambar 6 di bawah ini merupakan kurva yang diperoleh dari pengujian sampel anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2$



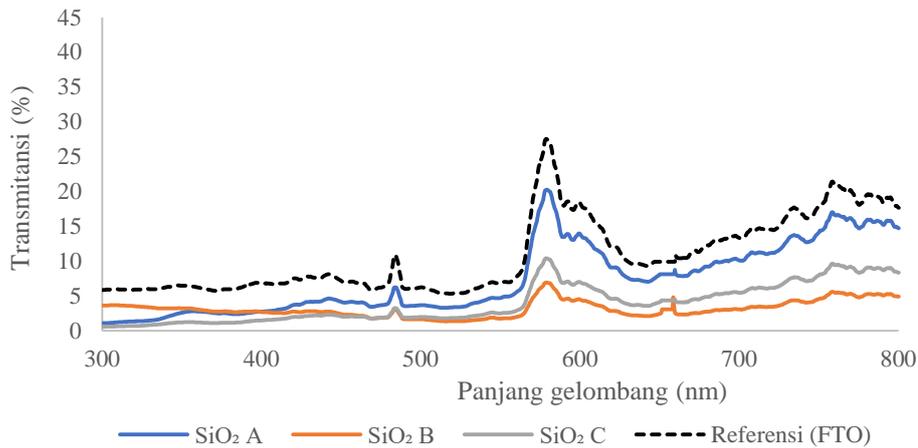
Gambar 5 Kurva Transmittansi sampel anti-refleksi SiO<sub>2</sub> A, B, C, 1x *spin coating* di atas permukaan kaca FTO, dan sampel SiO<sub>2</sub> C 2x *spin coating*, dan sampel referensi ( diluar FTO) yang tidak dilapisi anti-refleksi.



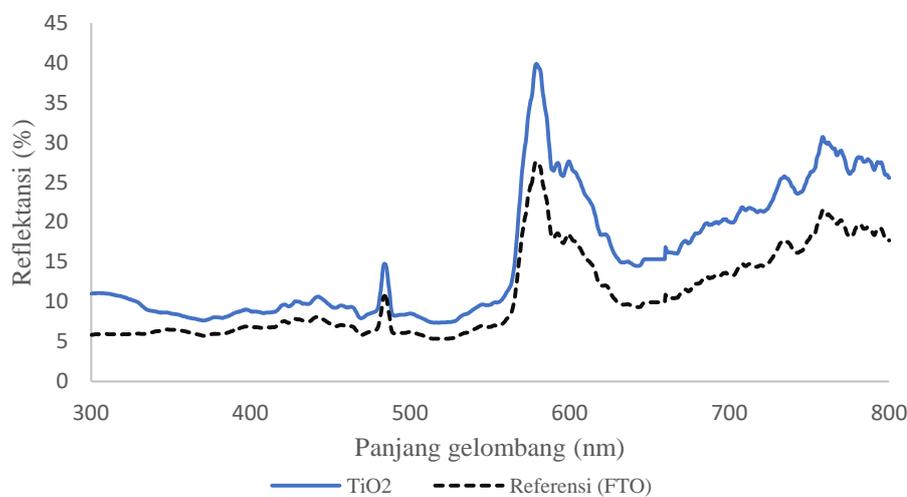
Gambar 6 Kurva Transmittansi sampel anti-refleksi TiO<sub>2</sub> 1x *spin coating* di atas permukaan kaca bagian luar FTO dan sampel referensi ( diluar FTO) yang tidak dilapisi anti-refleksi.

Terlihat pada Gambar 5 bahwa terdapat peningkatan transmittansi dengan adanya variasi konsentrasi TEOS pada larutan anti-refleksi SiO<sub>2</sub>. Peningkatan transmittansi tertinggi dicapai pada sampel SiO<sub>2</sub> A dan sampel SiO<sub>2</sub> B di atas 80% (dengan variasi larutan TEOS 0,33 ml dan 1 ml). Transmittansi terkecil dari variasi konsentrasi SiO<sub>2</sub> adalah pada, sampel SiO<sub>2</sub> C dengan variasi TEOS 3,3 ml. Sampel anti-refleksi SiO<sub>2</sub> C yang dilapisi di atas permukaan kaca bagian luar FTO dengan 1x *spin coating*, memiliki transmittansi di atas 60%. Pada sampel SiO<sub>2</sub> C dilakukan variasi ketebalan lapisan dengan 2x pengulangan *spin coating*, transmittansi yang dihasilkan sangat kecil, yaitu dibawah 40%. Penurunan transmittansi ini disebabkan oleh penyebaran lapisan yang menutup permukaan kaca seiring dengan terjadi aglomerasi SiO<sub>2</sub> dan mengakibatkan lapisan anti-refleksi menghambat transmittansi cahaya masuk ke permukaan kaca.

Gambar 6 merupakan kurva transmittansi sampel lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> yang dideposisi di atas permukaan kaca dengan kecepatan *spin coating* 2000 rpm selama dua menit, lalu dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu 500 °C memiliki transmittansi di atas 70%. Pada sampel ini, lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> memiliki kerapatan yang jauh lebih rendah dan proses pengendapan dapat dilakukan dengan tekanan atmosfer dan suhu tinggi maupun rendah, tidak mengandung korosi dan lebih sedikit dalam menyerap air. Hasil pada proses ini, menunjukkan tepi serapan yang tajam di wilayah ultraviolet pada panjang gelombang 300 nm - 600 nm. Selain itu, TiO<sub>2</sub> memiliki sifat oksidasi fotokatalitik yang baik, sehingga reaksi dari bahan hasil lapisan tipis dengan bahan TiO<sub>2</sub> dapat memperkecil indeks bias bahan substrat kaca. Dari hasil ini, diharapkan lapisan anti-refleksi mampu mentransmisikan cahaya hampir 100% ke permukaan sel surya untuk diubah menjadi energi listrik. Selain itu, untuk mengetahui lapisan anti-refleksi dapat mentransmisikan cahaya sepenuhnya ke permukaan sel dapat diuji besar reflektansi seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 7 Kurva Reflektansi sampel anti-refleksi SiO<sub>2</sub> A, B, C, 1x *spin coating* diatas permukaan kaca FTO, sampel SiO<sub>2</sub> C 1x *spin coating*, dan sampel referensi (diluar FTO) yang tidak dilapisi anti-refleksi..



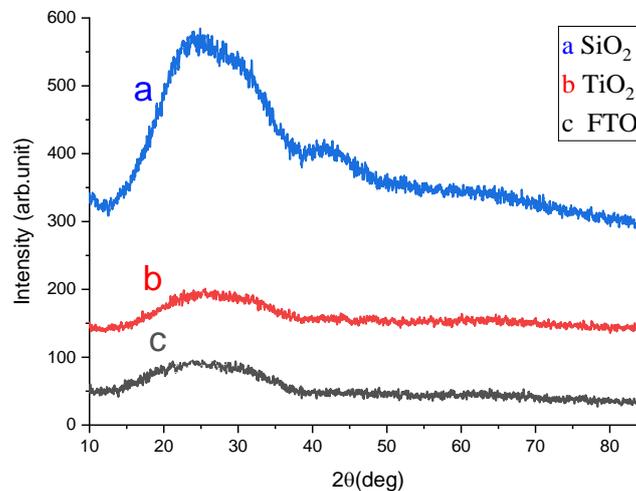
Gambar 8 Kurva Reflektansi sampel anti-refleksi TiO<sub>2</sub> 1x *spin coating* dan sampel Referensi (diluar FTO) yang tidak dilapisi anti-refleksi

Terlihat pada Gambar 7 menunjukkan hasil kurva uji reflektansi sampel lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> yang memiliki variasi konsentrasi larutan disetiap sampel. Sampel SiO<sub>2</sub> A (variasi TEOS 0,3 ml) memiliki reflektansi tertinggi diatas 20% pada rentang panjang gelombang 550 nm - 600 nm dari keempat variasi sampel lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub>. Sampel SiO<sub>2</sub> B (variasi TEOS 1 ml) memiliki reflektansi paling rendah dari semua variasi, hal ini juga didukung oleh hasil SEM dan transmitansi yang memiliki hasil yang cukup tinggi. Gambar 8 kurva uji reflektansi sampel lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> memiliki reflektansi diatas 35%, hal ini juga bersesuaian dengan hasil SEM, dimana sampel tersebut memiliki permukaan berpori yang berukuran kecil di seluruh permukaan kaca. Keadaan ini menyebabkan sampel memiliki sifat oksidasi fotokatalik yang kurang baik untuk meneruskan cahaya pada rentang panjang gelombang 550 nm - 620 nm. Pada sampel referensi (bagian luar FTO) yang tidak dilapisi anti-refleksi SiO<sub>2</sub> atau TiO<sub>2</sub> memiliki reflektansi yang paling tinggi diatas 25%, nilai ini cukup tinggi karena indeks bias kaca yang sangat besar. Hal ini bisa terjadi, karena kaca memiliki permukaan yang datar dan tidak berpori, sehingga pada saat terpapar cahaya dengan panjang gelombang cahaya tampak (300 nm- 800 nm), maka cahaya akan lebih banyak dipantulkan ke udara daripada diteruskan ke permukaan sel surya untuk dikonversi menjadi arus.

Reflektansi dari bahan hasil lapisan tipis anti-refleksi SiO<sub>2</sub> relatif kecil dibandingkan dengan lapisan tipis anti-refleksi TiO<sub>2</sub>, dan nilai reflektansi ini lebih besar dibandingkan dengan sampel referensi (bagian luar FTO). Hasil pengujian UV-Vis menunjukkan bahwa, material SiO<sub>2</sub> merupakan material anti-refleksi yang lebih baik dibandingkan TiO<sub>2</sub>, hal ini dikarenakan lapisan tersebut dapat memperkecil reflektansi cahaya yang dipantulkan dari kaca ke udara. Diketahui bahwa indeks bias material TiO<sub>2</sub> adalah 3,2, dan ini cukup tinggi untuk jadi anti-refleksi. Dengan indeks bias substrat kaca  $\pm 1,90$ , sehingga TiO<sub>2</sub> tidak ideal lagi karena indeks biasnya lebih tinggi dari substrat yang digunakan [4].

### 3.3 Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui ukuran, struktur kristal, dan analisis komposisi fasa pada material. Pengujian lapisan anti-refleksi ini dilapiskan pada permukaan kaca FTO dengan ukuran 1 cm x 1 cm dan dilakukan 10x pengulangan *spin coating* lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> dan lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> B dengan variasi TEOS 1 ml. Sebagai pembandingan, dilakukan pula pengujian terhadap sampel kaca FTO tanpa dilapisi lapisan anti-refleksi. Hasil analisis XRD lapisan anti-refleksi diperlihatkan pada Gambar 4.6 dibawah ini.



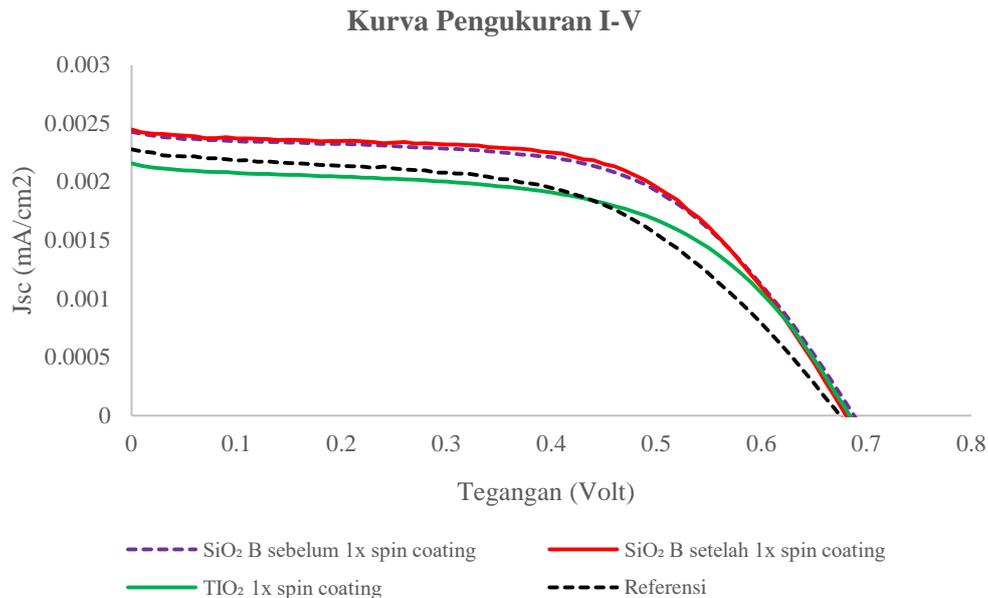
Gambar 9 Pola difraksi lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> B dengan variasi TEOS 1 ml, lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> 10x pengulangan *spin coating* dan sampel yang tidak dilapisi anti-refleksi diatas permukaan kaca FTO

Pada Gambar 9 menunjukkan difraktogram lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> B dengan variasi TEOS 1 ml, lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> dan sampel kaca FTO yang tidak dilapisi anti-refleksi. Dapat dilihat komposit tertinggi berada pada sudut  $2\theta$  25°, kristal SiO<sub>2</sub> tidak terbentuk *peak* seperti pada data *Powder Diffraction File* (PDF) nomor 04-0379, yang mana pada sudut  $2\theta$  25° SiO<sub>2</sub> seharusnya muncul *peak* dengan intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta$  21°.

Lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> tidak memiliki fase anatase (tidak terbentuk struktur kristal) dari hasil sintesis yang dilakukan. Sedangkan dari data *Power Diffraction File* (PDF) nomor 04-0477, kristal TiO<sub>2</sub> terbentuk pada fase anatase dengan orientasi penumbuhan kristal secara berturut-turut yaitu pada sudut  $2\theta$  25,5° (101), 48,3° (200) dan 54,1° (211). Bentuk puncak yang tidak terbentuk pada pada Gambar 9 sampel TiO<sub>2</sub>, menunjukkan bahwa telah terbentuk amorf. Hal ini terjadi karena lapisan TiO<sub>2</sub> yang diuji tidak dikristalisasi, karena tidak dipanaskan pada temperatur tertentu [5]. Sampel FTO yang permukaannya tidak ditambahkan lapisan anti-refleksi tidak memiliki struktur kristal juga. Namun, material SiO<sub>2</sub> sesuai dengan yang diharapkan dari lapisan anti-refleksi yaitu terbentuknya fase-fase anatase pada lapisan anti-refleksi.

### 3.4 Uji Karakterisasi I-V pada DSSC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat listrik dari DSSC yang telah difabrikasi. Pengujian ini menggunakan *I-V measurement system* dan *National Instrument* dengan sun simulator merk Oriol yang memiliki *Air Mass* (AM) 1,5 serta dilengkapi dengan *pyranometer*. Pengujian karakteristik I-V dilakukan dengan intensitas cahaya sebesar 500 W/m<sup>2</sup> pada suhu 25 °C dengan area aktif sel sebesar 0,25 cm<sup>2</sup>. Gambar 10 di bawah ini merupakan hasil pengukuran karakterisasi I-V.



Gambar 10 Kurva I-V sampel terbaik DSSC yang ditambahkan lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> B sebelum dan sesudah 1x *spin coating* pada permukaan kaca bagian luar FTO. Sampel TiO<sub>2</sub> 1x *spin coating* diatas permukaan kaca diluar FTO serta sampel referensi DSSC yang tidak dilapisi anti-refleksi

Gambar 10 di atas merupakan karakteristik I-V sampel DSSC terbaik dari hasil pengujian keseluruhan sampel sebelum dan setelah penambahan lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> dan TiO<sub>2</sub> diatas permukaan kaca DSSC serta sampel yang tidak dilapisi anti-refleksi. Hasil pengujian yang menunjukkan besar arus, daya maksimal, efisiensi, *fill factor*, arus *short circuit*, dan tegangan *open circuit* terdapat pada tabel karakterisasi I-V di bagian lampiran. Keseluruhan sampel yang telah diuji dengan parameter penambahan konsentrasi TEOS, terdapat sampel dengan efisiensi tertinggi 6,15% sebelum dilapisi anti-refleksi diatas permukaan kaca DSSC. Setelah ditambahkan lapisan anti-refleksi diatas permukaan DSSC SiO<sub>2</sub> B 1x *spin coating* diatas permukaan kaca DSSC efisiensi naik menjadi 6,45%. Efisiensi tertinggi yang diperoleh sampel SiO<sub>2</sub>, didukung hasil uji trasmintansi dan uji reflektansi, dimana pengujian yang dilakukan sampel ini memiliki rasio tertinggi dalam pengukuran transmitansi dan nilai reflektansi yang paling baik jika dilihat pada grafik.

Efisiensi tertinggi dari sampel lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> yang dilakukan 1x *spin coating*, diatas permukaan kaca DSSC. Hasil ini didukung oleh hasil karakterisasi trasmintansi dan hasil SEM-EDS. Sampel TiO<sub>2</sub> merupakan sampel yang pendeposisian lapisan anti-refleksi yang paling merata jika dibandingkan dengan sampel lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub>. Hal ini, karena lapisan anti-refleksi TiO<sub>2</sub> pertama kali dideposisikan diatas permukaan kaca FTO lalu dikeringkan pada suhu 500 °C selama 30 menit, sehingga memiliki kekuatan adhesi yang baik. Selain itu, sampel sampel TiO<sub>2</sub> baik digunakan untuk lapisan anti-refleksi yang diketahui dari nilai transmitansi yang memiliki rasio yang relatif besar.

Sampel DSSC dengan penambahan lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> mengalami kenaikan efisiensi rata-rata 1%-2%. Hal ini membuktikan, adanya pengaruh penambahan lapisan anti-refleksi diatas permukaan kaca yang dapat meningkatkan mobilitas elektron, sehingga efisiensi yang dihasilkan cukup baik. Perbedaan nilai efisiensi dalam satu variasi sampel terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi TEOS pada lapisan anti-refleksi SiO<sub>2</sub> yang dibuat. Sampel DSSC dengan penambahan anti-refleksi TiO<sub>2</sub>, jika dilihat dari Gambar 4.7 efisiensi sampel TiO<sub>2</sub> lebih rendah dibandingkan sampel kontrol yang tidak dilapisi anti-refleksi pada permukaan kaca bagian luar FTO. Hal ini didukung dari hasil uji XRD yang tidak memiliki fasa kristal, uji UV-Vis yang memiliki nilai trasmintansi lebih rendah dibandingkan sampel referensi yang tidak ditambahkan lapisan anti-refleksi.

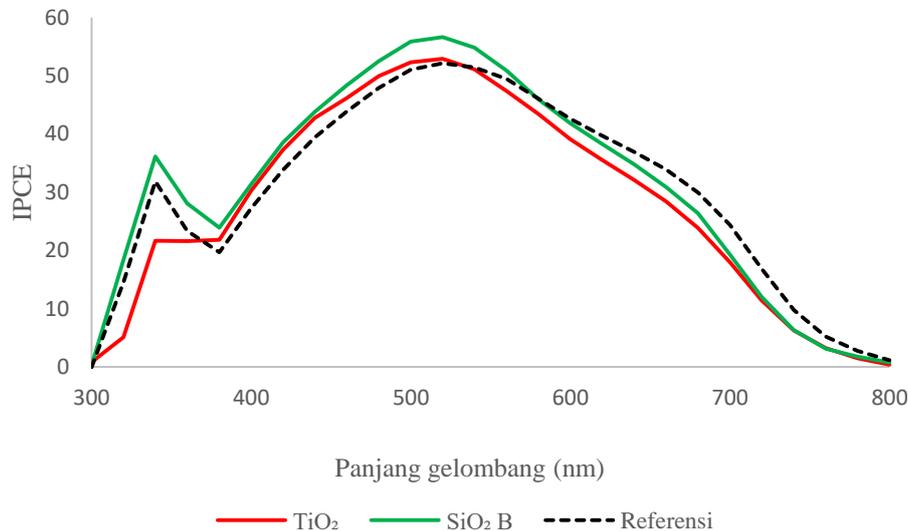
Faktor lain yang mempengaruhi perbedaan efisiensi antara lain adalah, proses fabrikasi yang tidak sempurna, ini disebabkan oleh beberapa teknis pada saat eksperimen berlangsung. Hal ini cukup fatal, karena apabila terjadi kerusakan pada bagian TiO<sub>2</sub>, akan membuat adanya lubang sehingga elektrolit dapat terhubung langsung dengan substrat kaca FTO yang akan mengganggu jalannya siklus DSSC. Selain itu juga, DSSC yang digunakan adalah tipe *sandwich* dimana tipe ini menggunakan dua substrat kaca, jika salah satu substrat diberi lubang untuk mengisi elektrolit, maka bagian lainnya juga perlu di perhatikan. Jika elektrolit tidak keluar bias, maka akan membuat fungsi sebagai penghubung dan regenerasi reaksi redoks antara elektroda lawan dan elektroda kerja tidak maksimal.

### 3.5 Karakteristik IPCE pada DSSC tipe *sandwich*

Karakterisasi *Incident Photon-to-Current Efficiency* (IPCE) digunakan untuk menentukan efisiensi konversi cahaya pada DSSC seberapa efektif konversi foton menjadi arus listrik. Pengujian ini dilakukan dengan

rentang panjang gelombang cahaya tampak 400 nm sampai 800 nm. Kurva IPCE yang ambil adalah sampel yang memiliki nilai efisiensi terbaik yang diperoleh dari penambahan lapisan anti-refleksi pada DSSC ditampilkan pada Gambar 11.

Nilai IPCE tertinggi menunjukkan proses transfer elektron dari molekul pewarna (*dye*) ke pita konduksi pada lapisan semikonduktor ( $\text{TiO}_2$ ) terjadi secara efektif. Selain itu, nilai IPCE tertinggi mengindikasikan bahwa transfer elektron dari  $I^-$  (*iodida*) pada elektrolit ke molekul pewarna dalam proses regenerasi berjalan efektif [6]. Artinya, semakin tinggi nilai IPCE yang dapat dicapai, maka semakin banyak foton yang dapat diserap untuk dikonversi menjadi arus listrik.



Gambar 11 Kurva Pengukuran IPCE pada sampel DSSC yang ditambahkan lapisan anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  B, 1x *spin coating* diatas permukaan kaca FTO dan sampel  $\text{TiO}_2$  1x *spin coating* diatas permukaan kaca FTO.

Berdasarkan Gambar 11 diatas, diketahui bahwa nilai IPCE terbaik diperoleh pada saat penggunaan sampel anti-refleksi  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SiO}_2$  B. Hal ini dapat dilihat nilai IPCE pada rentang panjang gelombang tertentu sangat tinggi, ini dikarenakan foton yang dikonversi menjadi arus listrik dapat terserap dengan baik oleh DSSC. Namun, pada sampel  $\text{TiO}_2$  konversi cahaya pada rentang panjang gelombang 300 nm - 400 nm memiliki nilai konversi cahaya paling kecil dibandingkan dengan sampel lapisan antirefleksi  $\text{SiO}_2$  dan pada pengujian ini terdapat sampel yang tidak lapsi anti-refleksi.

#### 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM, morfologi sampel dengan lapisan anti-refleksi  $\text{TiO}_2$  memiliki penyebaran material paling merata diatas permukaan kaca jika dibandingkan dengan lapisan anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  yang memiliki perbedaan parameter konsentrasi. Sampel  $\text{SiO}_2$  B memiliki penyebaran yang merata, hanya sedikit terjadi aglomerasi dan memiliki ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan lapisan anti-refleksi  $\text{TiO}_2$ , sehingga sampel  $\text{SiO}_2$  B merupakan sampel yang terbaik untuk dijadikan lapisan anti-refleksi yang diaplikasikan pada DSSC.

Uji transmitansi sampel  $\text{SiO}_2$  dengan parameter variasi konsentrasi yang berbeda memiliki nilai transmitansi tertinggi dari variasi TEOS sampel  $\text{SiO}_2$  B, hal ini didukung dengan perubahan reflektansi cahaya yang sampai ke permukaan kaca baik sebelum dan sesudah dilakukan penguapan diatas butiran air dan memiliki nilai reflektansi cahaya yang paling rendah.

Berdasarkan hasil karakterisasi I-V, sampel lapisan anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  B yang diaplikasikan pada DSSC memiliki efisiensi terbaik yaitu dari 6,873% naik menjadi 7,0276% setelah dilapisi anti-refleksi  $\text{SiO}_2$  pada permukaan kaca, dan didukung dari hasil uji IPCE efisiensi konversi cahaya tertinggi sampel  $\text{SiO}_2$  B memiliki konversi cahaya paling baik dibandingkan dengan sampel lapisan antirefleksi  $\text{TiO}_2$  dan sampel yang tidak dilapisi lapisan anti-refleksi. Hal ini disebabkan ukuran partikel yang merata dipermukaan substrat.

#### Daftar Pustaka

- [1] F. C. W. Andi Suhandi, "Simulasi Perhitungan Refleksi Cahaya oleh Permukaan Sel Surya Silikon : Studi Pengaruh Penambahan Lapisan," *Jurnal Fisika*, vol. 3 No. 1, p. 56, 2013.

- [2] B. e. a. Vallejo, ""Characterization of TiO<sub>2</sub> Deposited on Textured Silikon Water by Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition", " *Solar Energy Material and Solar Cells*, pp. 86, 299-308, 2005.
- [3] Qi Luo, Xueshuang Deng, Chenxi Zhang, Meidong Yu, , ""Enhancing photovoltaic performance of perovskite solar cell with silica nanosphere antireflection Coatings", " *Solar Energy*, pp. 128-135, 2018.
- [4] A. Suhandi and F. C. Wibowo, "Simulasi Perhitungan Refleksi Cahaya oleh Permukaan Sel Surya Silikon : Studi Pengaruh Penambahan Lapisan," *Jurnal Fisika*, vol. 3 No. 1, p. 56, 2013.
- [5] R. Andari, "Sintesis dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar cell (DSSC) dengan Sensitizer Antosianin Dari bunga Rosella (Hibiscus Sabdariffa)," *JIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, Vols. 01,No. 02 , pp. 140-150, 2017.
- [6] M. Gratzel, "Review Dye-sensitized Solar Cell," *Journal of Photochemistry and Photobiology*, pp. 145-153, 2003.
- [7] S. A. K. O. Z. H. Khaldun, ""Effective Conversion Efficiency Enhancement of Solar Cell Using ZnO/PS Anti Reflection Coating Layers", " *Solar Energy*, pp. 86, 541-547, 2012.
- [8] B. Richards, "Single-material TiO<sub>2</sub> double-layer," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, p. 79, 2002.
- [9] A. Pratiwi, Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Antosianin Kulit Manggis sebagai Dye-Sensitized terhadap Efisiensi Sel Surya jenis DSSC(Dye-Sensitized Solar Cell), Semarang: Universitas Diponegoro, 2010.
- [10] d. Setiawan, "Sel Surya Berbasis Pewarna Alami dan Potensi Pengembangan di Indonesia sebagai Sumber Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan," UU, Bali, 2015.