

## FABRIKASI SEL SURYA TERSENSITISASI DYE (*DYE SENSITIZED SOLAR CELL*) DENGAN VARIASI LAPISAN *SCATTERING*

ANDRIANTO MUHARAM<sup>1</sup>, WAODE SUKMAWATI ARSYAD<sup>1†</sup>, IDA USMAN<sup>1</sup>, RAHMAT  
HIDAYAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Halu Oleo, Jl. Prof. HEA Mokodompit No. 1, Kendari, 93232

<sup>2</sup>Fisika magnetik dan Fotonik, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10,  
Bandung,

**Abstrak.** Telah dilakukan penelitian tentang fabrikasi sel surya tersensitisasi *dye* (*Dye sensitized solar cell*) dengan variasi lapisan *scattering*, untuk mengetahui pengaruh penggunaan lapisan *scattering* yang berbeda terhadap daya serap *dye* di dalam lapisan TiO<sub>2</sub> melalui pengukuran absorbansi, dan pengaruh penggunaan lapisan *scattering* terhadap unjuk kerja sel surya melalui pengukuran I-V. Hasil pengukuran absorbansi menunjukkan bahwa tidak ada hubungan yang linear antara peningkatan nilai absorbansi dengan peningkatan nilai efisiensi sel DSSC yang dihasilkan. Penggunaan lapisan *scattering* terbukti memperpanjang lintasan cahaya didalam lapisan TiO<sub>2</sub> yang tampak dari spektrum absorbansi yang dihasilkan dimana daerah penyerapannya menjadi lebih panjang melewati daerah cahaya tampak (Sampel B dan C) dan memasuki daerah penyerapan cahaya *Near Infrared* (NIR) (Sampel D). Hasil pengukuran I-V, sampel C2 menunjukkan efisiensi terbaik yang dihasilkan oleh sel yang menggunakan *Ti-Nanooxide reflector* sebagai lapisan *scattering* yaitu sebesar 3,43%, J<sub>sc</sub> sebesar 9,19 mA/cm<sup>2</sup> dan V<sub>oc</sub> sebesar 0,69 Volt. Berdasarkan hasil penelitian ini, lapisan *scattering* yang paling cocok digunakan pada sel DSSC adalah menggunakan *Ti-nanooxide reflector*.

Kata kunci : DSSC, lapisan *scattering*, absorbansi, V<sub>oc</sub>, J<sub>sc</sub>

**Abstract.** *The research about dye sensitized solar cells have been done with scattering layer variations, in order to study the effect scattering layer to the quantity of dye absorbance in TiO<sub>2</sub> layer. The current-voltage characteristic also investigated during this research to observed the effect of scattering layer of the cell. From UV-Vis absorbance measurement, increments dye absorbance is not linearly relates to the solar cell performance. The used of scattering layer is proven can increase the visible light path inside TiO<sub>2</sub> photoanode (sample B and C) and near infrared (NIR) for sample D, considered from absorbance spectra. Current-voltage measurement shows that C2 sample has a highest efficiency of 3.43%, which is use Ti-Nanooxide reflector as scattering layer with J<sub>sc</sub> of 9.19%, V<sub>oc</sub> of 0.69 volt. It can be concluded from these results that the suitable scattering layer for dssc is use Ti-nanooxide reflector.*

Keywords: DSSC, scattering layer, absorbance, V<sub>oc</sub>, J<sub>sc</sub>

### 1. Pendahuluan

Sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui telah banyak ditemukan seperti angin, biomass, air dan energi cahaya matahari yang dapat membantu mencegah krisis energi pada masa mendatang. Dari sekian banyak sumber energi alternatif yang ditemukan, energi cahaya matahari merupakan energi alternatif yang paling menarik untuk dikembangkan, hal ini dikarenakan jumlah energi cahaya matahari yang sampai ke bumi cukup besar. Salah satu pemanfaatan energi matahari adalah dengan mengubahnya menjadi energi listrik melalui divais yang dikenal dengan sel surya.

Sel surya yang berhasil dikembangkan pada generasi pertama yaitu sel surya yang menggunakan bahan silikon kristal tunggal dan sel surya yang menggunakan wafer silikon polikristalin. Sel surya

---

<sup>†</sup> email : wdsukmawati@uho.ac.id

ini memiliki efisiensi yang sangat tinggi namun biaya fabrikasinya sangat besar serta proses fabrikasinya yang membutuhkan teknologi yang rumit dan temperatur yang sangat tinggi sehingga membatasi pengembangannya dalam jangka panjang. Generasi kedua yaitu sel surya yang dibuat dengan lapisan tipis salah satunya adalah sel surya yang dibuat menggunakan Cadmium Telluride (CdTe). Efisiensi dari sel surya jenis ini juga cukup baik, akan tetapi penggunaan logam berat Cadmium dapat menimbulkan polusi yang sangat membahayakan bagi lingkungan. Sel surya generasi ketiga yaitu sel surya dari bahan polimer atau biasa disebut sel surya organik, sel surya fotoelektrokimia dan sel surya tersensitisasi dye (*dye-sensitized solar cells/DSSC*). Sel surya generasi ketiga ini dapat dibuat dengan metode yang sederhana, tidak membutuhkan ruang vakum dan proses deposisi logam, material pembuatnya yang tergolong murah serta telah dapat mencapai efisiensi yang cukup tinggi  $\sim 7,1\%$  sejak pertama kali ditemukan. Sejak saat itu penelitian tentang DSSC telah berkembang hingga sekarang. Efisiensi yang diperoleh tercatat  $10,4\%$  [1],  $11,1\%$  [2] dan terbaru DSSC berbasis elektrolit cair telah mencapai efisiensi sebesar  $13\%$  [3], hampir mendekati nilai efisiensi realistik secara komersial.

DSSC adalah jenis sel surya yang tersusun dari empat komponen utama yaitu foto-elektroda atau elektroda kerja, material penyerap cahaya (*dye*), elektroda pengumpul (*counter electrode*) dan larutan elektrolit. Foto-elektroda umumnya terbuat dari bahan semikonduktor seperti  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$ . Beberapa peneliti telah melakukan pengembangan dalam rangka mengoptimasi kegunaan  $\text{TiO}_2$  sebagai lapisan foto-elektroda diantaranya adalah penggunaan  $\text{TiO}_2$  dengan lapisan pasivasi yang lebih rendah (rutile/rutile dicampur dengan  $\text{TiO}_2$ ) dan lapisan atasnya menggunakan film  $\text{TiO}_2$  anatase seperti yang dilakukan oleh Yu dkk., (2009) yang membandingkan efisiensi antara sel DSSC yang menggunakan dan yang tidak menggunakan lapisan pasivasi diperoleh efisiensi masing-masing  $7,6\%$  dan  $5,7\%$  [4]. Ditemukan bahwa lapisan  $\text{TiO}_2$  yang padat tidak hanya berperan sebagai lapisan pelindung terhadap penetrasi ionik tetapi juga menimbulkan struktur mikro yang berbeda di dalam elektroda  $\text{TiO}_2$  dari proses sol-gel yang pada akhirnya menyebabkan perbedaan jumlah dye yang diserap pada permukaan  $\text{TiO}_2$ . Metode lain yang dikembangkan oleh beberapa peneliti dalam memodifikasi lapisan  $\text{TiO}_2$  yaitu menggunakan partikel  $\text{TiO}_2$  *scattering* (dalam bentuk film atau dicampur dengan partikel-partikel nanokristal). Lapisan/partikel *scattering* ini akan membantu untuk membangun lapisan film  $\text{TiO}_2$  nanokristalin yang sangat tipis dengan luas permukaan yang tinggi yang akan mengurangi penggunaan dye tanpa mengorbankan efisiensi sel. Kim dkk., (2008) melaporkan peningkatan efisiensi dari  $5,77\%$  menjadi  $7,48\%$  dari sel DSSC diberikan tambahan lapisan *scattering* dari partikel  $\text{TiO}_2$  berukuran  $300\text{ nm}$  [5]. Beberapa jenis metal oksida yang lain juga telah diinvestigasi untuk digunakan sebagai lapisan *scattering* pada bagian atas film  $\text{TiO}_2$  seperti  $\text{ZrO}_2$  ( $5,8\%$ ),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $7,3\%$ ),  $\text{TiO}_2$  dalam bentuk rutile, dan  $\text{ZnO}$  ( $2,58\%$ ). Penggunaan lapisan *scattering* yang sifat lapisannya berwarna buram (*opaque*) mempunyai beberapa keuntungan diantaranya meningkatkan performa DSSC, dengan meminimalisasi rekombinasi elektron dan hole dalam meningkatkan resistansi permukaan  $\text{TiO}_2$  dan menunda proses back elektron transfer menuju elektrolit, dan meningkatkan penyerapan dye sehubungan dengan meningkatnya area permukaan yang pada akhirnya menghasilkan efisiensi yang tinggi [6]. Selain itu juga, penggunaan lapisan *scattering* akan memperpanjang jarak lintasan cahaya di dalam sel, karena cahaya yang masuk akan terpantul kembali setelah sampai ke permukaan lapisan  $\text{TiO}_2$  *scattering*. Akibatnya, foton akan terperangkap lebih lama di dalam sel dan meningkatkan peluang foton dikonversi menjadi arus listrik.

Berdasarkan uraian di atas, penulis mencoba memvariasikan lapisan *scattering* menggunakan Titanooxide microchannel, Ti-nanooxide reflektor dan  $\text{ZnO}$  nanopartikel di atas permukaan lapisan  $\text{TiO}_2$  transparan dan pengaruhnya terhadap performa kerja sel surya yang dihasilkan.

## 2. Eksperimen

### 2.1 Fabrikasi Sel Surya

Substrat konduktif FTO dicuci dengan air dan sabun tepol kemudian dibilas dengan aquades dan etanol teknis, setelah itu dikeringkan menggunakan *hair dryer*. Substrat FTO yang sudah kering

kemudian ditempatkan pada wadah yang berisi isopropanol dan aseton dengan perbandingan volume 1:1, selanjutnya wadah tersebut ditempatkan pada *ultrasonic bath* selama 15 menit dengan daya 50 Watt, setelah itu substrat FTO di cuci kembali dengan aquades dan etanol teknis lalu dikeringkan menggunakan *hair dryer*, dilanjutkan dengan proses pretreatment. Deposisi lapisan tipis pasta TiO<sub>2</sub> Transparan (produk dari Solaronix) menggunakan teknik *screen printing* dengan ukuran mesh 90T, yang dibuat sebanyak 4 lapis diakhiri dengan pemanasan di atas *hot plate* dengan suhu 80°C selama 6 menit, dan dinaikkan secara gradual hingga mencapai suhu 500°C. Lapisan *scattering* yang digunakan adalah ZnO nanopartikel+10wt% ethyl selulosa, *Ti-nanooxide microchannel*, dan *Ti-nanooxide* reflektor dalam bentuk pasta. Lapisan *scattering* divariasikan ketebalannya berupa variasi jumlah pelapisan dari 1 hingga 3 kali yang dideposisikan menggunakan teknik *screen printing* dengan ukuran mesh 90T. *Dye* yang digunakan adalah dye N719 (solaronix) yang dilarutkan 4 ml etanol p.a dengan konsentrasi 0.7mM. Elektroda kerja TiO<sub>2</sub> kemudian direndam dalam wadah yang berisi larutan *dye* N719 selama 24 jam. Substrat elektroda kerja dan substrat elektroda lawan disatukan dengan menggunakan *film surlyn* dengan bantuan *hot press* dengan suhu ±120°C. Sebelum digunakan, elektroda lawan yang berupa substrat kaca FTO yang dilapisi platina terlebih dahulu dibersihkan dengan etanol teknis. Elektrolit diinjeksikan ke dalam ruang diantara kedua substrat elektroda melalui lubang kecil pada bagian atas elektroda lawan dengan menggunakan teknik vakum.

## 2.2 Spektroskopi UV-Vis

Karakterisasi sifat optik berupa pengukuran absorbansi dari sel dengan menggunakan UV-Vis Spektrometer. Hasil pengukuran absorbansi akan menentukan seberapa besar kemampuan dye untuk terabsorpsi ke dalam sel aktif TiO<sub>2</sub>.

## 2.3 Karakterisasi Fotovoltaik

Fungsi kerja sel DSSC diukur menggunakan perangkat *solar simulator Oriel Newport AM 1.5* (100 mW/cm<sup>2</sup>) yang terintegrasi dengan peralatan *Keithley* dan perangkat lunak *Lab View*. Data yang diperoleh berupa data I-V yang kemudian dianalisis dengan perhitungan menggunakan persamaan

$$FF = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \quad (1.1)$$

$$\eta = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (1.2)$$

dimana J<sub>sc</sub> adalah rapat arus rangkaian pendek, V<sub>oc</sub> adalah tegangan rangkaian terbuka, FF adalah faktor pengisian (*Fill factor*) sel surya, P<sub>in</sub> adalah daya yang masuk yaitu 100 mW/cm<sup>2</sup>.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Karakterisasi UV-Vis

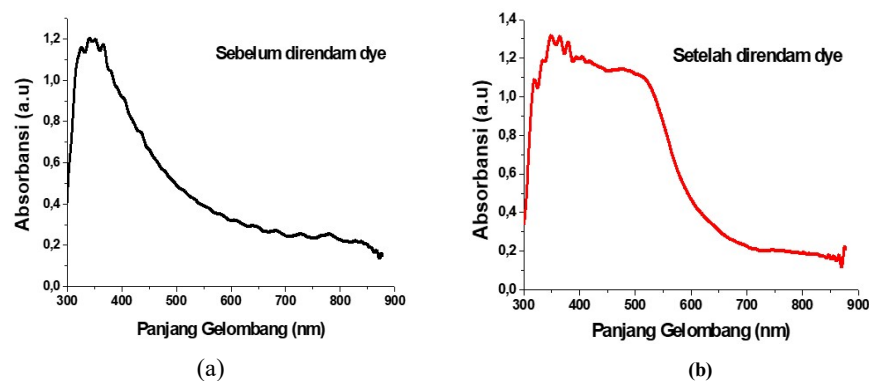
Penamaan sampel yang berkaitan dengan variasi lapisan *scattering*, ditabulasikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Jenis sampel yang digunakan pada penelitian ini

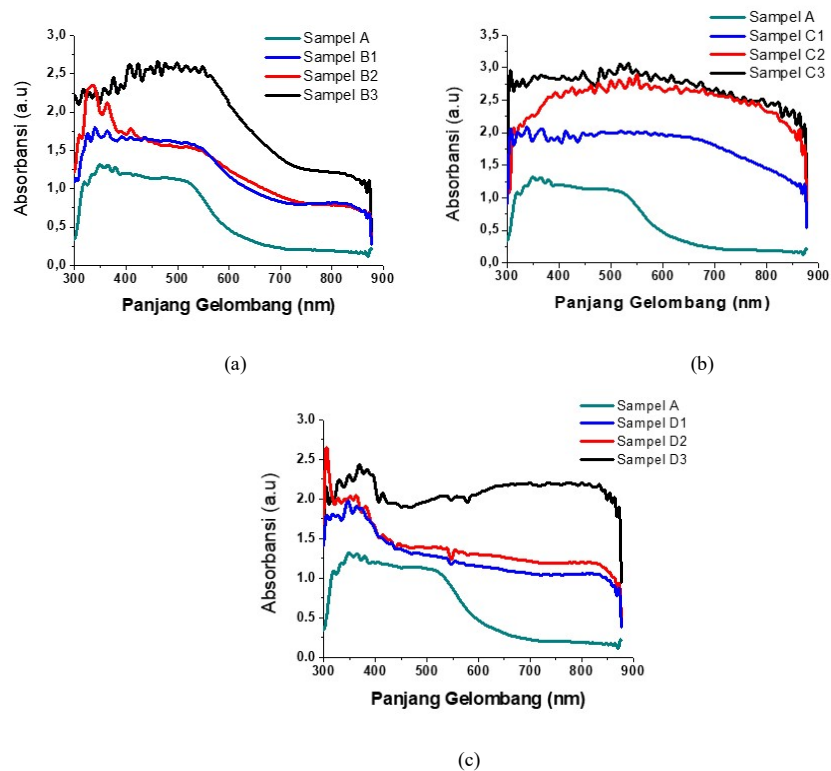
Nama Sampel	Jumlah Lapisan TiO <sub>2</sub> Transparan	Jenis Lapisan Scattering	Jumlah Pelapisan lapisan scattering	Ketebalan Lapisan (μm)
A	4	Tanpa Lapisan Scattering	0	12
B1	4	Ti-Nanooxide Microchannel	1	24
B2	4	Ti-Nanooxide Microchannel	2	28
B3	4	Ti-Nanooxide Microchannel	3	33
C1	4	Ti-Nanooxide reflector	1	20
C2	4	Ti-Nanooxide reflector	2	22
C3	4	Ti-Nanooxide reflector	3	25
D1	4	ZnO Nanopartikel + 10 wt% ethyl selulosa	1	20
D2	4	ZnO Nanopartikel + 10 wt% ethyl selulosa	2	27
D3	4	ZnO Nanopartikel + 10 wt% ethyl selulosa	3	29

Karakterisasi dengan UV-Vis dilakukan untuk melihat apakah penggunaan lapisan scattering yang berbeda akan berpengaruh terhadap serapan *dye*, dalam hal ini *dye* yang digunakan adalah *dye* tipe N719. Absorbansi dilakukan sebelum sampel direndam pada larutan *dye* dan setelah di rendam larutan *dye*. Pengamatan spektrum absorbansi mulai dari rentang panjang gelombang 300 nm sampai dengan 900 nm menggunakan *Spectrometer Ocean Optik 2000*.

Hasil karakterisasi yang diperoleh untuk sampel A sebelum dan sesudah direndam pada larutan dye ditampilkan pada Gambar 1. Terdapat perbedaan karakteristik spektrum absorbansi dari keduanya. Pada gambar 4.2(a) nampak terdeteksi daerah penyerapan untuk TiO<sub>2</sub> dengan puncak berada pada panjang gelombang 350 nm, setelah TiO<sub>2</sub> tersebut direndam dengan *dye* (gambar 4.2(b)) kemudian muncul daerah penyerapan yang baru, dimana puncaknya berada pada panjang gelombang 550 nm. Puncak ini berkaitan dengan puncak penyerapan oleh *dye* N719. Hasil ini mengkonfirmasi telah terjadinya proses penyerapan *dye* didalam lapisan TiO<sub>2</sub>.

Gambar 1. Spektrum absorbansi sampel A sebelum direndam *dye* (a) dan setelah direndam *dye* (b)

Untuk mengkonfirmasi apakah penggunaan lapisan scattering dapat mengurung cahaya lebih lama didalam lapisan TiO<sub>2</sub> sehingga memperpanjang lintasan cahaya maka pada Gambar 2 ditampilkan perbandingan spektrum absorbansi antara sampel A, B, C dan D, dengan variasi jumlah pelapisan.



**Gambar 2.** Spektrum absorbansi (a) Menggunakan *Ti-nanooxide microchannel* (b) Menggunakan *Ti-nanooxide reflector* dan (c) Menggunakan ZnO nanopartikel + 10 wt% ethyl selulosa

Pada Gambar 2 terlihat bahwa semakin banyak lapisan *scattering* yang digunakan maka pengaruhnya terhadap cahaya yang dihamburkan (efek *scattering* nya) semakin besar. Hal ini terlihat pada bagian ekor (*tail*) spektrum absorbansi yang dihasilkan untuk semua sampel, jika dibandingkan dengan sampel  $\text{TiO}_2$  tanpa lapisan *scattering*. Pada Gambar 2(a) (sampel B) terlihat bahwa penggunaan material *Ti-nanooxide microchannel* nampaknya tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan bentuk spektrum absorbansi, dimana bentuk spektrum nya masih menyerupai bentuk spektrum lapisan  $\text{TiO}_2$  tanpa *scattering* (sampel A) dimana daerah penyerapannya mulai mengalami peluruhan pada panjang gelombang 520 nm. Perbedaan bentuk spektrum sampel B1, B2, dan B3 hanya terletak pada posisi *baseline* ujung spektrum absorbansi.

Pada gambar 2(b), penggunaan lapisan *Ti-nanooxide reflector* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan bentuk absorbansinya dimana daerah penyerapannya menjadi lebih panjang hingga ke daerah panjang gelombang 650 nm sebelum kemudian meluruh. Perbedaan *baseline* pada sampel C1, C2, dan C3 juga disebabkan oleh efek hamburan cahaya dimana semakin tebal lapisan *scattering* yang digunakan maka efek hamburannya juga semakin besar.

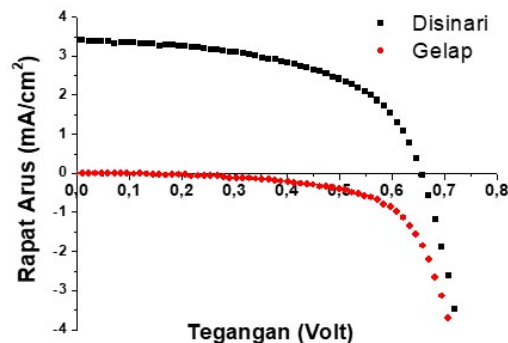
Pada gambar 2(c) penggunaan lapisan ZnO nanopartikel + ethyl selulosa 10 wt% juga memperpanjang daerah penyerapan cahaya yang pengaruhnya sebenarnya lebih baik dari penggunaan lapisan *Ti-nanooxide reflector* dimana rentang daerah penyerapannya hingga memasuki

daerah *Near Infrared* (NIR) pada panjang gelombang 820 nm sebelum kemudian meluruh. akan tetapi, nampaknya penggunaan lapisan ZnO nanopartikel + 10wt% ethyl selulosa menyebabkan puncak penyerapan *dye* N719 yang seharusnya berada pada panjang gelombang 500nm menjadi hilang, hal ini disebabkan karena sifat keasaman dari *dye* N719 yang ketika bereaksi dengan ZnO akan membentuk  $Zn^{2+}$  kompleks dengan ligan dari *dye*, reaksi ini merupakan reaksi kimia yang tidak diinginkan karena dapat merusak permukaan ZnO dan menghalangi pemisahan muatan [7]. Molekul-molekul *dye* yang membentuk pasangan kompleks tidak akan dapat menginjeksikan elektron ke pita konduksi  $TiO_2$ , dimana hal ini kemudian akan berpengaruh pada nilai rapat arus sel surya yang dihasilkan, yang akan ditampilkan pada pembahasan selanjutnya.

Dari Gambar 2 di atas dapat dilihat bahwa absorbansi terbesar diperoleh pada sampel dengan tiga kali pelapisan (B3, C3, dan D3). Hal ini terjadi karena semakin tebal lapisan  $TiO_2$  maka semakin banyak molekul-molekul *dye* yang dapat berikatan dengan  $TiO_2$ , sehingga lebih banyak cahaya yang dapat di serap oleh *dye*.

### 3.2 Karakteristik Fotovoltaik

Berikut ini ditampilkan kurva hubungan rapat arus dan tegangan sel surya DSSC dengan variasi tanpa lapisan scattering dalam kondisi gelap atau tidak disinari dan disinari.

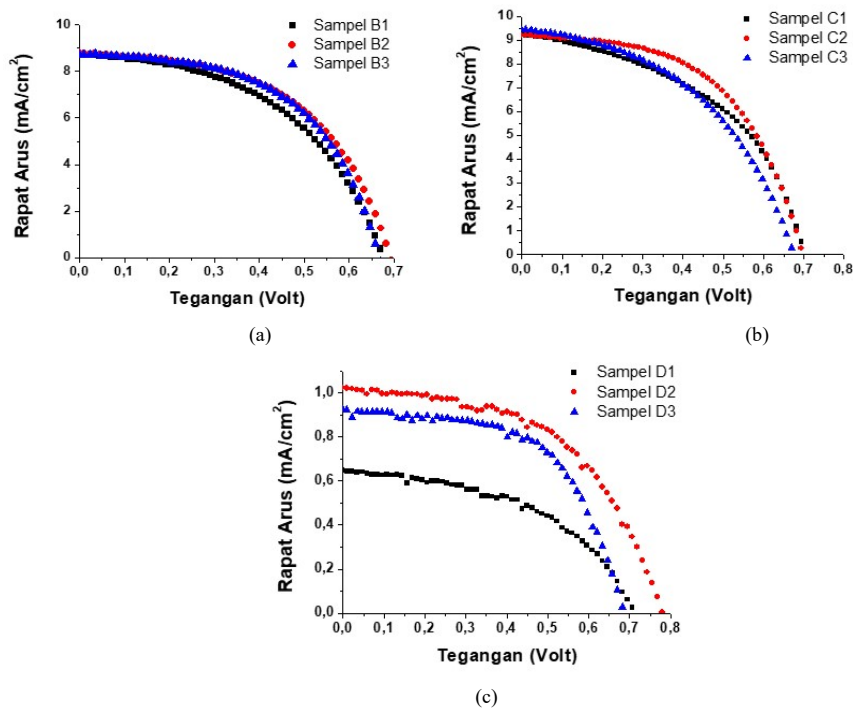


**Gambar 3.** Kurva J-V sampel A yang diukur dalam kondisi gelap dan kondisi disinari dengan intensitas cahaya  $100 \text{ mW/cm}^2$ .

Gambar 4 menampilkan kurva hubungan J-V hasil pengukuran sel dengan variasi lapisan scattering dan variasi jumlah pelapisan lapisan scattering. Pada Gambar 4(a) untuk sampel B1, B2, dan B3, nilai rapat arus ( $J_{sc}$ ) nya tidak terlalu mengalami perubahan yang signifikan yaitu  $8,75 \text{ mA/cm}^2$ ,  $8,87 \text{ mA/cm}^2$  dan  $8,72 \text{ mA/cm}^2$  untuk sampel B1, B2, dan B3 secara berurutan. Adapun nilai tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) nya awalnya mengalami peningkatan dengan bertambahnya ketebalan lapisan *scattering* dari B1 ke B2, akan tetapi peningkatan ketebalan lebih lanjut (B3) kemudian menyebabkan penurunan pada nilai  $V_{oc}$  nya.

Pada Gambar 4(b) untuk sel DSSC yang menggunakan *Ti-nanooxide reflector*, nilai rapat arus untuk sampel C1 dan C2 sama yaitu  $9,19 \text{ mA/cm}^2$  dan kemudian meningkat menjadi  $9,44 \text{ mA/cm}^2$  dengan bertambahnya ketebalan lapisan *scattering* (sampel C3), akan tetapi nilai  $V_{oc}$  nya menurun dari 0,69 Volt untuk sampel C1 dan C2 menjadi 0,67 V untuk sampel C3. Nilai efisiensi terbesar untuk sel DSSC yang menggunakan *Ti-nanooxide reflector* diperoleh pada sampel dengan dua kali pelapisan lapisan *scattering* dengan ketebalan total  $22 \mu\text{m}$ . Dari Gambar 4(c) untuk sampel dengan variasi

ketebalan lapisan *scattering* menggunakan ZnO nanopartikel + 10wt% ethyl selulosa (Sampel D1, D2, dan D3) diperoleh bahwa nilai  $J_{sc}$  dan  $V_{oc}$  yang terbesar diperoleh pada sampel dengan dua kali pelapisan (ketebalannya 27  $\mu\text{m}$ ) yaitu 1,02  $\text{mA}/\text{cm}^2$  dan 0,78 V.



**Gambar 4.** Kurva J-V yang diukur dalam kondisi disinari dengan variasi lapisan *scattering* (a) menggunakan *Ti-nanooxide microchannel* (b) menggunakan *Ti-nanooxide reflector* (c) menggunakan ZnO nanopartikel + 10wt% ethyl selulosa.

Dari keseluruhan sampel, nilai  $V_{oc}$  terbesar diperoleh pada sampel D2, sedangkan nilai  $J_{sc}$  terbesar diperoleh pada sampel C3. Akan tetapi, secara keseluruhan nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada sampel dengan dua kali pelapisan (B2, C2, dan E2). Hasil tabulasi parameter-parameter fotovoltaik sel DSSC dengan variasi lapisan *scattering* ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

**Tabel 2.** Tabulasi parameter-parameter kerja sel surya DSSC dengan variasi lapisan *scattering*.

Nama Sampel	$J_{sc}$ $\text{mA}/\text{cm}^2$	$V_{oc}$ (volt)	FF (%)	$\eta$ (%)
A	3,4	0,65	54,69	1,2
B1	8,75	0,67	48,52	2,84
B2	8,87	0,68	52,85	3,16
B3	8,72	0,65	54,69	3,13
C1	9,19	0,69	47,73	3,04
C2	9,19	0,69	53,81	3,43
C3	9,44	0,67	39,95	2,52
D1	0,64	0,71	48,5	0,22
D2	1,02	0,78	52,73	0,42
D3	0,92	0,68	58,34	0,37

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, nilai efisiensi yang diperoleh meningkat dengan bertambahnya jumlah pelapisan lapisan *scattering* (Sampel B1 ke B2, sampel C1 ke C2, dan sampel

D1 ke D2). Hal ini berkaitan dengan meningkatnya jumlah *dye* yang berikatan dengan TiO<sub>2</sub> dengan meningkatnya ketebalan sel sehingga pada akhirnya meningkatkan jumlah cahaya yang diserap oleh *dye*. Akan tetapi ketika ketebalan lapisan *scattering* (sampel B3, C3, dan D3) ditambah, efisiensinya malah mengalami penurunan, hal ini dapat dikaitkan dengan kemampuan elektrolit untuk berpenetrasi ke dalam lapisan TiO<sub>2</sub>, semakin tebal lapisan TiO<sub>2</sub> maka elektrolit akan semakin sulit untuk masuk ke dalam pori-pori TiO<sub>2</sub> sehingga elektrolit tidak dapat menjalankan fungsinya untuk meregenerasi kembali *dye* yang berada dalam keadaan teroksidasi (kehilangan elektron), akibatnya tidak dapat terbentuk kembali pasangan eksiton pada pita valensi *dye* sehingga tidak ada elektron yang dapat dieksitasikan menuju ke pita konduksi *dye* untuk selanjutnya diinjeksikan ke pita konduksi TiO<sub>2</sub> dan berdifusi di dalam lapisan TiO<sub>2</sub> tersebut sehingga terbaca sebagai arus pada rangkaian luar. Disamping itu, jika lapisan TiO<sub>2</sub> juga terlalu tipis maka akan mengurangi jumlah molekul *dye* yang dapat berikatan dengan TiO<sub>2</sub> sehingga mengurangi jumlah foton yang dapat di serap untuk selanjutnya di ubah menjadi arus listrik. Oleh karena itu, efisiensi sel DSSC untuk sampel B1, C1, dan D1 juga lebih kecil. Dari hasil penelitian ini, diperoleh bahwa efisiensi terbesar diperoleh pada sampel dengan dua kali pelapisan yaitu B2, C2, dan D2.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil pengukuran spektrum absorbansi diketahui bahwa semakin besar jumlah pelapisan lapisan *scattering* maka absorbansi yang dihasilkan juga semakin besar. Efek pengurangan cahaya yang maksimum di dalam sel ditunjukkan oleh sel DSSC yang menggunakan ZnO nanopartikel + 10wt% ethyl selulosa yang ditunjukkan dengan perpanjangan daerah penyerapan hingga ke daerah Near Infrared (NIR). Penggunaan Ti-nanooxide reflector dan Ti-nanooxide microchannel sebagai lapisan *scattering* menghasilkan efisiensi sel DSSC yang lebih baik dibandingkan ZnO nanopartikel + Ethyl Selulosa. Efisiensi terbaik sebesar 3,43% diperoleh pada sampel dengan dua kali pelapisan menggunakan Ti-nanooxide reflektor.

#### Daftar Pustaka

1. Nazeeruddin, M. K., Kay, A., Rodicio, L., Humphry-Baker, R., Muller, E., Liska, P., Vlachopoulos, N., Gratzel, M., 1993. *Conversion of Light to Electricity by Cis-X<sub>2</sub>Bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate)ruthenium(II) Charge Transfer Sensitizers (X = Cl, Br, I, CN, and SCN) on Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Electrodes*, J. Am. Chem. Soc., **115**, 6382-6390
2. O'Regan, B., Gratzel, M., 1991, *A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell based on Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> Films*, Nature, 335, 737-740.
3. Mathew, S., Yella, A., Gao, P., Humphry-Baker, R., Curchod, B. F. E., Ashari-Astani, N., Tavernelli, I., Rothlisberger, U., Nazeeruddin, M. K., Gratzel, M., 2014. *Dye-Sensitized Solar Cells With 13% Efficiency Achieved Through The Molecular Engineering of Porphyrin Sensitizers*, Nature Chemistry, **6**, 242-247.
4. Yu, Hua, Zhang, Shanqing, Zhao, Huijun, Will, Geoffrey, Liu, Porun, 2009. *An Efficient and Low Cost TiO<sub>2</sub> Compact Layer for Performance Improvement of Dye-Sensitized Solar Cells*, Electrochim. Acta, **54**, 4, 1319-1324.
5. Kim, Yoon, H. L., Mi, H. L., 2008. *Formation of Efficient Dye-Sensitized Solar Cells by Introducing an Interfacial Layer of Long-Range Ordered Mesoporous TiO<sub>2</sub> Thin Film*, Langmuir, **24**, 22, 13225-13230.
6. Jung dkk., 2005. *Preparation of Nanoporous MgO-Coated TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and Their Application to The Electrode of Dye Sensitized Solar Cells*, Langmuir, **21**, 23, 10332-10335.
7. Juan A. Anta, Guillen E., Tena-Zaera R., 2012. *ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cells*, J. Phys. Chem. C., **116**, 11413-11425.