FABRIKASI *INTER LAYER COUNTER ELECTRODE* KARBON UNTUK *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* TIPE MONOLITIK

FABRICATION OF COUNTER ELECTRODE CARBON INTER LAYER FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELL MONOLITHIC TYPE

Diky Meidianto[1], Mamat Rokhmat[2], Shobih[3]
[1,2]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[3]Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi (P2ET), LIPI
[1]**dikym97@gmail.com**, [2]**mamatrokhmat76@gmail.com**, [3]**sho99bih@gmail.com**

Abstrak

***Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) tipe monolitik yang hanya memiliki satu substrat banyak dikembangkan karena harga fabrikasi yang murah dan proses fabrikasi yang sederhana. Namun, efisiensi yang rendah merupakan salah satu kelemahannya. Salah satu penyebabnya adalah *counter electrode* yang digunakan sebagai lapisan untuk meningkatkan konduktivitas substrat kaca FTO, tidak menempel kuat pada substrat kaca FTO, sehingga diperlukan lapisan *inter layer* yang dapat meningkatkan konduktivitas lapisan *counter electrode* serta meningkatkan adhesivitas antara *counter electrode* dengan substrat kaca FTO. Pada penelitian ini, bahan *counter electrode* yang diguankan adalah karbon dan bahan *inter layer* yang digunakan adalah karbon dan TiO_2 *colloid* yang berfungsi sebagai *binder*. Pendeposisian setiap lapisan DSSC tipe monolitik dilakukan dengan teknik *screen printing.* Lapisan pertama karbon 1 (*Inter Layer*) memiliki komposisi 0,13 gr grafit, 0,2 ml TiO_2 *colloid*, 0,2 ml Triton 10% dan 0,25 ml *terpineol* dan karbon 2 (*Counter Electrode*) memiliki komposisi 0,5 gr *carbon nanopowder,* 2 gr bubuk grafit, 0,3 gr *ethyl-cellulose*, 0,25 gr TiO_2-P25, dan 4,25 gr *terpineol*. Kedua lapisan karbon tersebut komposisinya dikali 10 untuk memperbanyak pasta yang dihasilkan. Massa grafit pada karbon 1 (*Inter Layer*) divariasikan menjadi 5 variasi yaitu 0,9 gr (A), 1,1 gr (B), 1,3 gr (C), 1,5 gr (D), dan 1,7 gr (E). Setelah *inter layer* karbon difabrikasi, dilakukan karakterisasi morfologi, pengukuran resistansi *sheet*, uji adhesivitas dan uji transmitansi serta karakterisasi I-V pada DSSC tipe monolitik yang telah difabrikasi. Hasilnya, pada morfologi *inter layer* karbon yang dikarakterisasi menggunakan SEM, diperoleh bahwa lapisan *inter layer* sampel B memiliki penyebaran grafit yang merata dan hanya sedikit terlihat adanya aglomerasi pada karbon. Selain itu, pada uji resistansi *sheet* menggunakan *four point probe* diperoleh hasil bahwa sampel B memiliki *Rs* yang stabil dengan rata rata 12,097±0,054 Ω/sq. Pada uji adhesivitas, terlihat bahwa lapisan karbon 1 yang melekat kuat pada substrat kaca FTO secara visual, dan pada uji transmitansi menggunakan UV-VIS, sampel B memiliki rasio transmitansi terkecil antara sesudah dan sebelum uji adhesivitas sebesar 1,963. Hasil karakterisasi I-V DSSC tipe monolitik, diperoleh efisiensi terbesar berasal dari sampel B yang memiliki massa 1,1 gr grafit pada TiO_2 *colloid* sebesar 1,258 %. Sehingga penambahan *inter layer* karbon antara *counter electrode* karbon dan substrat kaca FTO dapat meningkatkan efisiensi dari DSSC tipe monolitik**

Kata kunci: DSSC tipe monolitik, karbon, grafit

Abstract

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) monolithic type which has only one substrate developed a lot because of the low price of fabrication and a simple fabrication process. However, low efficiency is one of its weaknesses. One reason is the counter electrode which is used as a layer to increase the conductivity of the FTO glass substrate, not firmly attached to the FTO glass substrate, so that an inter layer is needed that can increase the conductivity of the counter electrode layer and increase the adhesivity between the counter electrode and the FTO glass substrate. In this study, the material of counter electrode was used carbon and the inter layer material was used carbon and TiO2 colloid which functioned as binders. Deposition of each monolithic type DSSC layer is done by screen printing techniques. The first layer of carbon 1

(Inter Layer) has a composition of 0,13 gr graphite, 0,2 ml TiO2 colloid, 0,2 ml Triton 10% and 0,25 ml terpineol and carbon 2 (Counter Electrode) has a composition of 0,5 gr carbon nanopowder, 2 gr graphite powder, 0,3 gr ethyl-cellulose, 0,25 gr TiO2-P25, and 4,25 gr terpineol. The two carbon layers are multiplied by 10 to multiply the resulting paste. Graphite mass at carbon 1 (Inter Layer) varied into 5 variations, namely 0,9 gr (A), 1,1 gr (B), 1,3 gr (C), 1,5 gr (D), and 1,7 gr (E). After fabricated inter layer carbon, soma characterizations were done, like morphological characterization, sheet resistance measurement, adhesivity test and transmittance test and I-V characterization on monolithic type DSSC were fabricated. As a result, in the inter layer carbon morphology characterized using SEM, it was found that the inter layer of sample B had a uniform spread of graphite and only a small amount of carbon agglomeration was seen. In addition, the sheet resistance test using four point probes shows that sample B has a stable Rs with an average of 12,097±0,054 Ω/ sq. In the adhesion test, it can be seen that the carbon 1 layer is firmly attached to the FTO glass substrate visually, and in the transmittance test using UV-VIS, sample B has the smallest transmittance ratio between after and before the adhesive test of 1,963. The results of the monolithic type I-V DSSC characterization, obtained the greatest efficiency derived from sample B which has a mass of 1.1 gr graphite on the colloid TiO2 of 1,258%. So that the addition of the inter layer carbon between the carbon electrode counter and the FTO glass substrate can improve the efficiency of the monolithic type DSSC

Keywords: monolithic type DSSC, carbon, graphite

---

1. Pendahuluan

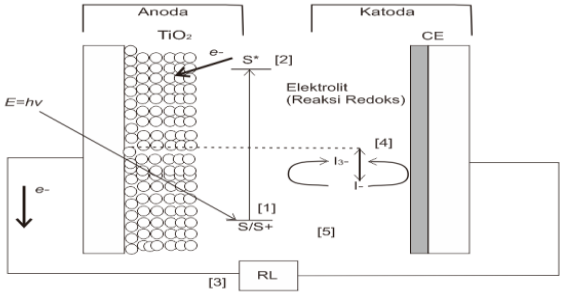
Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan adalah energi surya. Untuk memanfaatkan energi surya dengan baik, maka diperlukan alat yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atau energi lainnya. Alat yang digunakan untuk mengonversi energi surya menjadi energi listrik biasa dikenal sebagai *photovoltaic* atau sel surya[1]. D*ye Sensitized Solar Cell* (DSSC) tipe monolitik yang hanya memiliki satu substrat merupakan salah satu sel surya yang sedang banyak dikembangkan karena harga fabrikasi yang murah dan dapat difabrikasi dengan metode yang sederhana. Namun efisiensi yang rendah merupakan kekurangan dari DSSC tipe ini. *Counter electrode* yang digunakan untuk meningkatkan konduktivitas substrat FTO, merupakan faktor penting untuk meningkatkan efisiensi. Salah satu penelitian tentang *counter electrode* untuk DSSC menggunakan karbon adalah penelitian yang dilakukan oleh Zaky Mubarak [2]. Pada penelitian tersebut efisisensi yang dihasilkan dari penggunaan *counter electrode* karbon adalah 0,221 %. Hal ini terjadi karena karbon tidak melekat kuat pada substrat sehingga diperlukan tambahan lapisan karbon (*inter layer*) sebagai penghubung antara substrat kaca FTO dan lapisan *counter electrode* karbon. Pada penelitian kali ini, untuk meningkatkan adhesivitas antara *counter electrode* karbon dan substrat kaca FTO, dilakukan fabrikasi *inter layer* karbon menggunakan TiO_2 *colloid* sebagai *binder* untuk DSSC tipe monolitik. *Inter layer* karbon yang difabrikasi dikarakterisasi morfologinya menggunakan SEM, kekuatan adhesinya menggunakan uji adhesivitas, transmitansinya menggunakan UV-VIS, serta karakterisasi I-V untuk mengetahui pengaruh penambahan lapisan *inter layer* terhadap performansi DSSC tipe monolitik

2. Dasar Teori

2.1 Prinsip Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah sel surya yang memiliki lapisan semikonduktor yang dilapisi oleh *dye* (pewarna) untuk meningkatkan efisiensinya. DSSC merupakan sel surya generasi ketiga setelah sel surya berbasis silikon dan *thin-film*. Pada DSSC, prinsip yang digunakan bukan berdasarkan *photovolaic* lagi, tetapi *photoelectrochemical.* Lapisan *dye* digunakan sebagai penyerap energi foton sehingga elektron dapat tereksitasi dari HOMO *(Highest Occupied Molecular Orbital)* menuju LUMO *(Lowest Occupied Molecular Orbital)* [18]. Dye digunakan karena TiO_2 sebagai semikonduktor memiliki *band gap* 3,1 eV [3] sehingga hanya bisa menerima energi atau berinteraksi dengan sinar Ultra Violet (UV) untuk itu dye digunakan untuk menyerap energi cahaya pada panjang gelombang cahaya tampak, sehingga elektron akan

tereksitasi dari HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) menuju LUMO (*Lowest Occupied Molecular Orbital*) *dye* lalu elektron akan diinjeksikan menuju pita konduksi TiO_2.



Gambar 1. Prinsip kerja DSSC

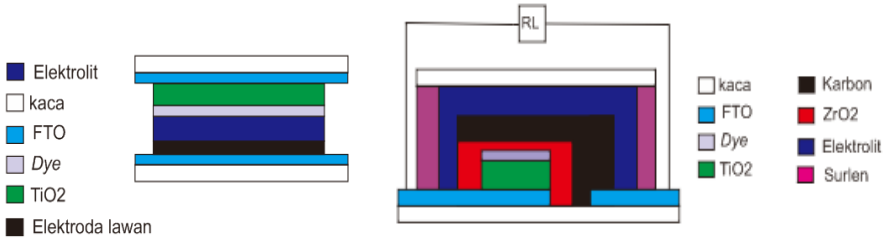
Prinsip kerja DSSC ditunjukkan pada gambar 2.4. Berikut ini proses yang terjadi pada sel surya DSSC [2, 5] :

1. Energi foton sebsar *hv* datang menuju elektron yang terikat di bagian HOMO dye (S) dan akan tereksitasi menuju level tertinggi LUMO (S*).
$$S + hv \rightarrow S^*$$
2. Setelah elektron tereksitasi (*S**), elektron akan terinjeksi menuju pita konduksi semikonduktor TiO_2 sehingga molekul *dye* teroksidasi ($S^{+)}$.
$$S^* + TiO_2 \rightarrow e^-(TiO_2) + S^+$$
Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) molekul *dye* akan kembali ke *ground state* dan *dye* yang teroksidasi dicegah untuk ditangkap kembali.
$$S^+ + 3I^- \rightarrow S + I_3^-$$
3. Kemudian elektron akan menuju TCO, dan selanjutnya akan menuju elektroda lawan melalui rangkaian eksternal.
4. *Counter electrode* yang berperan sebagai katalis membuat elektron diterima oleh elektrolit, sehingga *hole* berkombinasi dengan elektron membentuk iodida.
$$I_3^- + 2e\ (counter\ electrode) \rightarrow 3I^-\ (counter\ electrode)$$

Kesimpulannya, I_3^- dihasilkan pada elektroda TiO_2 dan digunakan pada *counter electrode*. Demikian pula I^- yang dihasilkan pada *counter electrode* yang disebarkan ke arah berlawanan dalam elektrolit. Iodida (I^-) memberikan elektron kepada *dye* yang teroksidasi sehingga terbentuklah suatu siklus.

2.2 Struktur DSSC

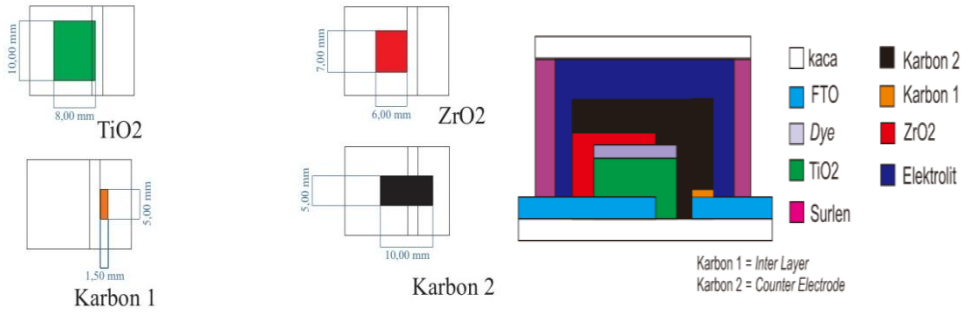
Struktur DSSC terdiri dari substrat *Transparent Counductive Oxide* (TCO), jenis TCO dapat berupa *F-doped Tinoxide* (FTO) dan *I-doped Tinoxide* (ITO), nanokristal TiO_2 berpori sebagai elektrode kerja (Anoda), *dye* sebagai *sensitizer*, elektrolit redoks berupa pasangan iodide/triodide untuk meregenerasi elektron, serta *counter electrode* sebagai katoda [4]. Berdasarkan strukturnya, DSSC dibedakan menjadi dua yaitu tipe monolitik dan tipe z/tipe *sandwich.* Pada tipe monolitik, hanya menggunakan satu substrat TCO, sedangkan tipe z/tipe *sandwich* menggunakan dua substrat TCO [2]. Struktur DSSC ditunjukkan oleh gambar 1:



(a) (b)

Gambar 2. (a) Struktur DSSC tipe *sandwich* (b) Struktur DSSC tipe monolitik

2.3 Fabrikasi *Inter Layer* Karbon untuk DSSC Tipe Monolitik



Gambar 3. Pola lapisan DSSC tipe monolitik dengan penambahan *inter layer* karbon

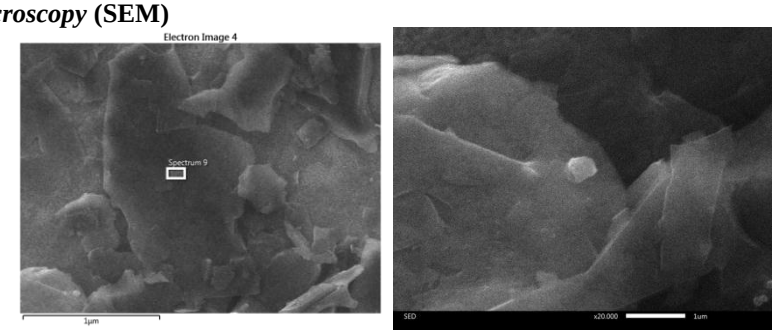
Fabrikasi DSSC dimulai dengan pembuatan pola menggunakan *Corel Draw*. Setiap lapisan di desain berdasarkan penelitian [8] yang menghasilkan efisiensi tertinggi adalah DSSC tipe monolitik yang memiliki konfigurasi TiO_2 yang melewati garis pemisah antara *counter electrode* dan *working electrode* serta ZrO_2 yang tidak melewati garis pemisah.. Selanjutnya melakukan pembuatan pola pada *screen* dan preparasi substrat FTO dengan cara membersihkan substrat kaca FTO di dalam isopropil alkohol, air sabun, dan Deionisasi *water*. Bentuk pola etsa FTO sesuai dengan pola yang telah dibuat, lalu lakukan proses deposisi TiO_2 lalu keringkan pada suhu 120 ^oC selama 10 menit, dan lakukan proses *sintering* pada suhu 500 ^oC selama 40 menit. Celupkan substrat ke dalam $TiCl_4$ bersuhu 70 ^oC selama 30 menit lalu lakukan *sintering* pada suhu 500 ^oC. Kemudian lakukan proses deposisi ZrO_2 lalu keringkan pada suhu 120 ^oC dan lakukan proses *sintering* pada suhu 400 ^oC selama 40 menit. Selanjutnya siapkan pasta karbon 1 dan karbon 2. Pasta karbon 1 komposisinya terdiri dari 0,13 gr grafit, 0,2 ml TiO_2 *colloid*, 0,2 ml Triton 10% [6] dan 0,25 ml *teropineol*. Campurkan grafit, TiO_2 *colloid* dan Triton dalam mortar lalu aduk hingga rata, masukkan ke dalam oven bersuhu 120 ^oC selama 30 menit, lalu tambahkan *terpineol* dan tumbuk kembali. Pasta karbon 2 yang akan digunakan merupakan campuran dengan komposisi 0,5 gr grafit, 2 gr karbon aktif, 0,3 gr *ethyl-cellulose*, 0,25 gr TiO_2 P 25, dan 4,25 gr *terpineol* [2]. Semua bahan karbon 1 dan karbon 2 dibuat 10x massa dan volume agar menghasilkan jumlah pasta yang banyak. Variasikan massa grafit pada karbon 1 menjadi 0,9 gr , 1,1 gr, 1,3 gr, 1,5 gr, dan 1,7 gr untuk menghasilkan massa dengan efisiensi terbaik. Lakukan proses deposisi karbon 1 dan keringkan di atas *hot plate* pada suhu 120 ^oC selama 10 menit dan lakukan proses *sintering* pada suhu 500 ^oC selama 30 menit. Lakukan hal yang sama pada pasta karbon 2. Selanjutnya lakukan perendaman di dalam *dye* Z907 selama 24 jam di ruang tertutup, setelah itu lakukan proses enkpasulasi menggunakan penutup kaca biasa, dan injeksikan elektrolit EL-HPE pada ruang vakum.

Tabel 1 Variasi massa grafit dan volume TiO_2 *colloid*, Triton 10%, dan *Terpineol*

Nama Sampel	Massa Grafit (gr)	Volume TiO_2 *colloid* (ml)	Volume Triton 10 % (ml)	Volume Terpineol (ml)
A	0,9	2	2	2,5
B	1,1	2	2	2,5
C	1,3	2	2	2,5
D	1,5	2	2	2,5
E	1,7	2	2	2,5

3. Hasil Karakterisasi dan Pembahasan

3. 1 Pengujian Morfologi *Inter Layer* Karbon 1 Menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)



Gambar 4 Hasil SEM *inter layer* karbon 1 perbesaran 5000x dan 20000x pada sampel B

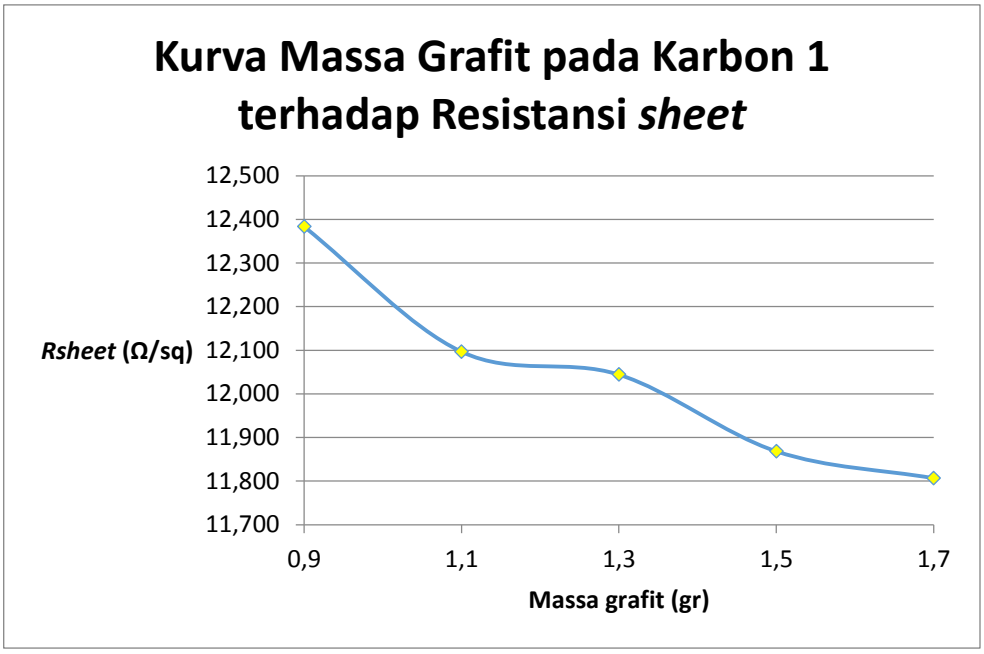
Penambahan massa karbon, menyebabkan adanya penumpukan karbon yang terjadi karena viskositas dari karbon yang semakin meningkat sehingga penyebaran karbon tidak merata yang mengakibatkan terjadinya aglomerasi seiring dengan kenaikan massa karbon seperti yang terjadi pada sampel C-D. Pada sampel A tidak terlalu banyak bongkahan-bongkahan karbon karena sampel ini memilki massa grafit yang paling sedikit diantara sampel lain karena menghasilkan pasta dengan viskositas yang rendah. Pada sampel B terlihat penyebaran karbon cukup merata, dan hanya sedikit terlihat adanya aglomerasi karbon yang akan menghambat transportasi elektron.

3.2 Pengukuran Resistansi *Sheet* menggunakan *Four Point Probe*.

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan tiga kali pengukuran untuk masing-masing sampel pada posisi 0,25 cm, 0,5 cm, dan 0,75 cm dari ujung substrat yang berukuran 1cmx 1cm, untuk mengetahui sampel yang memiliki resistansi yang merata.

Tabel 2. Hasil pengukuran Resistansi *Sheet* dari FTO dan *counter electrode* karbon 1

Letak Pengukuran (cm)	**FTO R*sheet* (Ω/sq)**	**A R*sheet* (Ω/sq)**	**B R*sheet* (Ω/sq)**	**C R*sheet* (Ω/sq)**	**D R*sheet* (Ω/sq)**	**E R*sheet* (Ω/sq)**
0,25	14,720	12,025	12,140	12,263	12,050	12,493
0,5	14,510	11,990	12,020	11,650	12,050	11,898
0,75	14,510	13,135	12,130	12,220	11,505	11,030
STDEV	0,099	0,532	0,054	0,279	0,257	0,601
AVERAGE	14,580	12,383	12,097	12,044	11,868	11,807



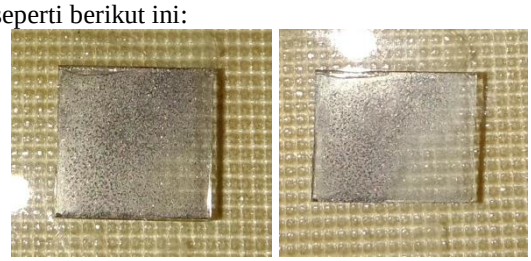
Gambar 5. Kurva variasi massa grafit pada pasta *inter layer* karbon terhadap *Rs*

Dari hasil yang diperoleh dari hasil pengukuran, resistansi dari FTO rata-rata sebesar 14,580 Ω/sq, cukup kecil sehingga memiliki sifat konduktivitas yang baik, namun penambahan *counter electrode* karbon 1 yang memiliki resistansi yang lebih kecil dari FTO akan meningkatkan mobilitas elektron dalam proses transportasi elektron. Berdasarkan uji resistansi, terlihat semakin banyak penambahan massa grafit, semakin kecil resistansi yang dihasilkan yang berarti semakin besar konduktivitas dari pasta *inter layer* karbon 1. Konduktivitas ini dapat ditingkatkan apabila pada penelitian berkelanjutan ditambahkan bahan penyusun FTO ke dalam komposisi pasta *inter layer* karbon 1.

Pada sampel E memiliki resistansi terkecil dari 5 sampel lain yaitu sebesar 11,807 Ω/sq. Namun pada sampel B memiliki standar deviasi terkecil diantara lima sampel lain sebesar 0,054 Ω/sq. Hal ini terjadi karena deposisi pasta pada sampel B yang merata.

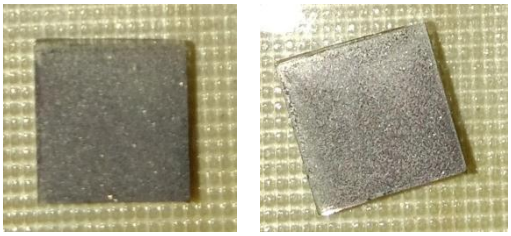
3.3 Uji Adhesivitas dan Uji Transmitansi pada *Inter Layer* Karbon 1

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan adhesivitas karbon 1 sebelum dan sesudah dilakukan pengujian. Pengujian ini menggunakan isolasi plastik yang dilekatkan pada karbon yang telah dideposisikan pada substrat kaca FTO berukuran 1 cm x 1 cm dan dilakukan proses *sintering* pada suhu 500 ^{o}C. Pengujian ini mengikuti metode yang digunakan pada referensi [7]. Terdapat 5 sampel sesuai variasi karbon 1 yang akan diuji coba kekuatan adhesivitasnya secara visual. Hasilnya seperti berikut ini:



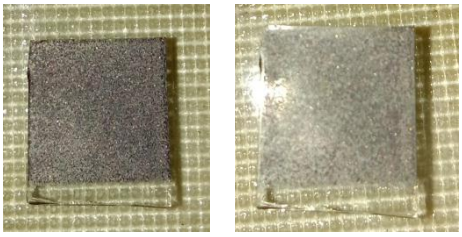
(a) (b)

Gambar 6. Sampel A (a) sebelum, (b) sesudah, uji adhesivitas



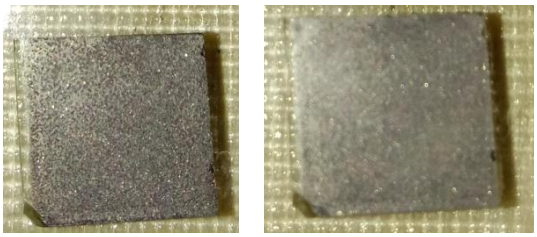
(a) (b)

Gambar 7. Sampel B (a) sebelum, (b) sesudah, uji adhesivitas



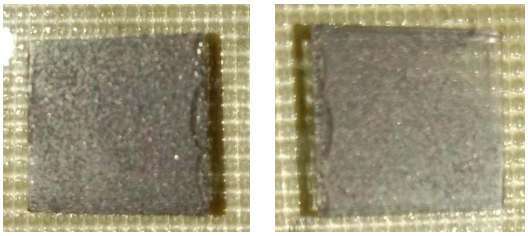
(a) (b)

Gambar 8. Sampel C (a) sebelum, (b) sesudah, uji adhesivitas



(a) (b)

Gambar 9. Sampel D (a) sebelum, (b) sesudah, uji adhesivitas

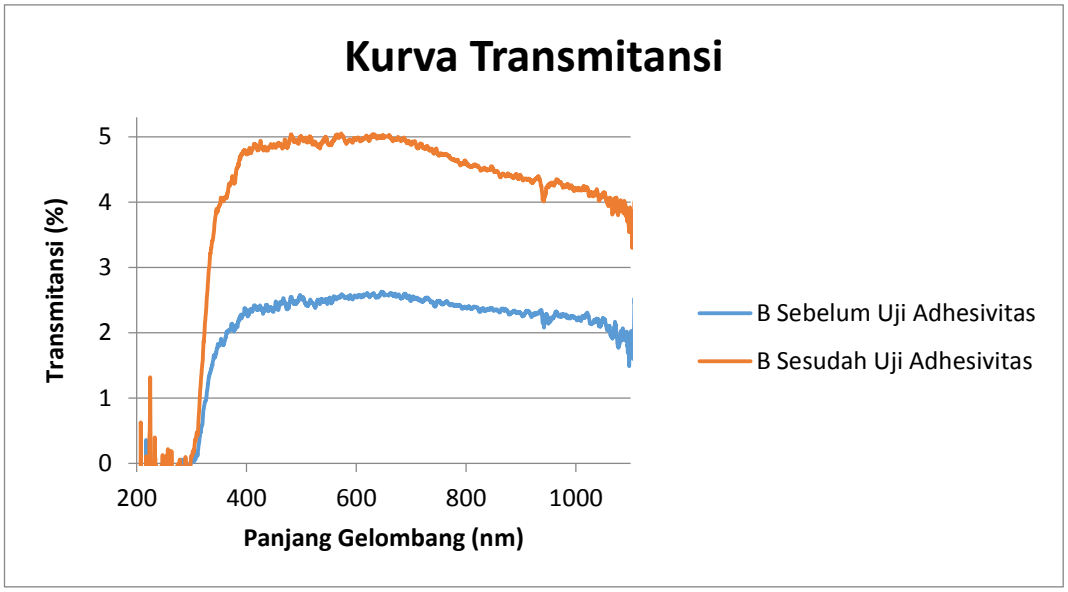


(a) (b)

Gambar 10. Sampel E (a) sebelum, (b) sesudah, uji adhesivitas

Dari 5 sampel yang diuji coba, sampel A adalah sampel yang memiliki perbedaan yang cukup terlihat secara visual setelah dilakukan pengujian adhesivitas bahan menggunakan isolasi. Hal ini terjadi karena sampel tersebut memiliki viskositas yang rendah jika dilihat secara visual (encer) sehingga tidak menempel dengan kuat pada substrat kaca FTO. Sedangkan pada 4 sampel lainnya, tidak terlihat perbedaan yang terlalu mencolok dari kondisi sebelum dan sesudah pengujian. Hal ini menunjukkan, bahwa adhesivitas dari pasta yang dihasilkan cukup baik dan dapat digunakan sebagai lapisan adhesi yang baik yang dapat menghubungkan antara kaca substrat FTO dan lapisan karbon 2.

Untuk menguji transmitansi dari hasil uji adhesivitas sesudah dan sebelum, diperoleh rasio transmitansi terkecil pada sampel B yang menunjukkan sampel B memiliki sifat adhesi yang paling baik. Rasio yang diperoleh sebesar 1,963.



Gambar 11. Kurva Transmitansi sesudah dan sebelum uji transmitansi sampel B

Tabel 3. Hasil pengukuran transmitansi sampel rata-rata pada panjang gelombang 400-800 nm sebelum dan sesudah uji adhesivitas

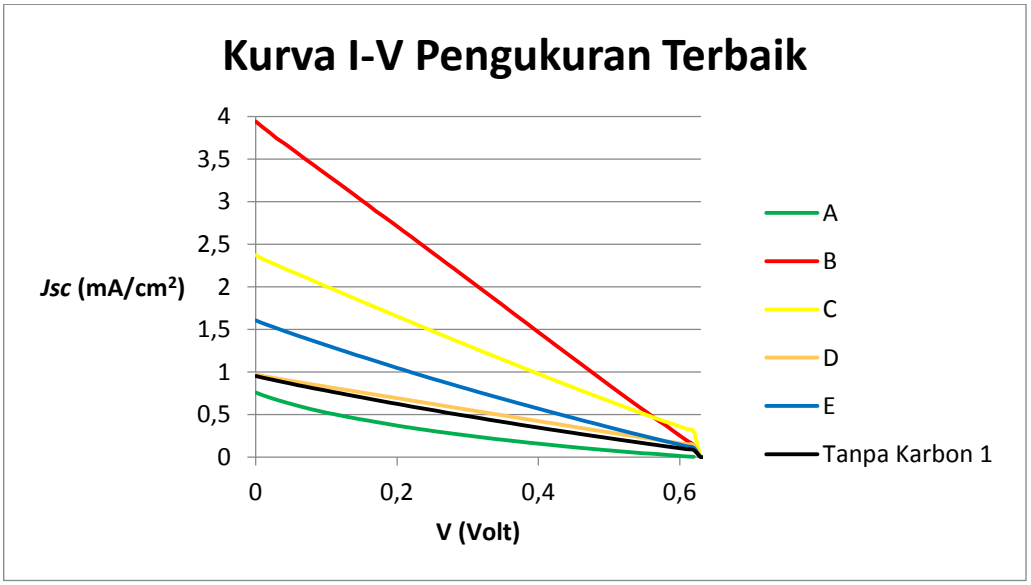
Nama Sampel	Transmitansi Rata-Rata Sebelum Uji Adhesivitas (%)	Transmitansi Rata-Rata Setelah Uji Adhesivitas (%)	Selisih Transmitansi Rata-Rata Setelah dan Sebelum Uji Adhesivitas (%)	Rasio Transmitansi
A	8,000	25,680	17,680	3,208
B	2,480	4,880	2,400	1,963
C	1,010	4,310	3,300	4,257
D	0,790	9,590	8,800	12,074
E	1,890	8,000	6.110	4,215

3. 4 Karakterisasi I-V pada DSCC Tipe Monolitik

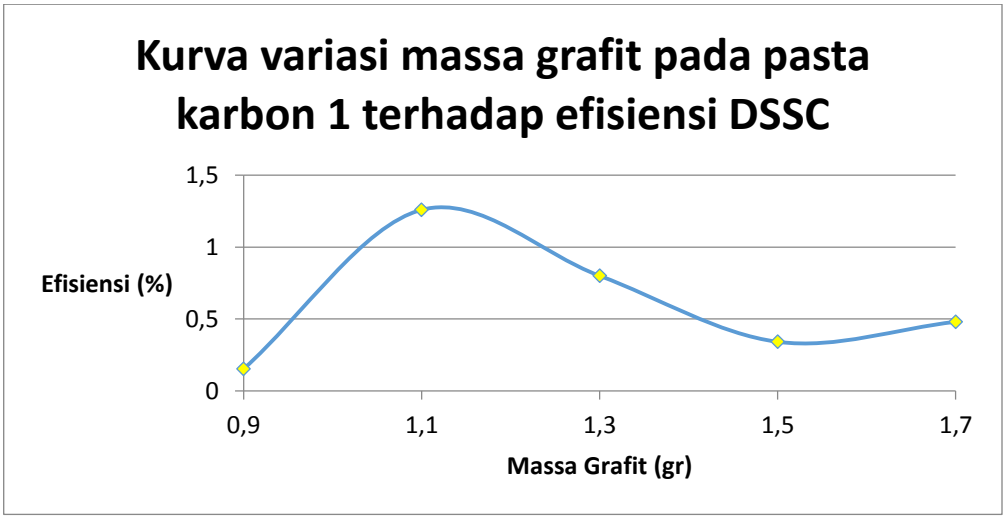
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat listrik dari DSSC yang telah difabrikasi. Pengujian ini menggunakan alat I-V *measurement system* dan *National Instrument* dengan simulator *merk* Oriel yang memiliki *Air Mass* (AM) 1,5 serta dilengkapi dengan sensor *pyranometer*. Pengujian karakterisasi I-V dilakukan dengan intesitas cahaya sebesar 500 W/m^2 pada suhu 25 ^{o}C dengan aktif area sebesar 0,25 cm^2.

Tabel 4. Hasil pengukuran karakterisasi I-V dari 5 variasi sampel *inter layer* karbon 1 dan *counter* electrode karbon 2

No	Nama Sampel	Pmax (W)	Eff (%)	FF	*Jsc* (mA/cm^2)	*Voc* (Volt)
1	A	0,00002	0,153	0,109	0,750	0,620
2	B	0,00016	1,258	0,172	3,940	0,640
3	C	0,00010	0,800	0,181	2,360	0,720
4	D	0,00004	0,341	0,190	0,960	0,730
5	E	0,00006	0,480	0,161	1,600	0,670
6	Tanpa Karbon 1	0,00004	0,289	0,164	0,950	0,690



Gambar 12. Kurva I-V DSSC tipe monolitik 6 sampel



Gambar 13. Kurva variasi massa grafit pada pasta karbon 1 terhadap efisiensi DSSC

Pada tabel 4 menunjukkan besar arus daya maksimal, efisiensi, *fill factor*, arus *short circuit*, dan tegangan *open circuit* yang diperoleh dari pengujian karakterisasi I-V DSSC monolitik dengan dua lapisan karbon, yaitu karbon 1 dan karbon 2, serta yang hanya menggunakan satu lapisan karbon yaitu sampel yang diberi nama karbon 2. Dari 6 sampel yang telah diuji, terdapat satu sampel yang memiliki efisiensi tertinggi, yaitu sampel B yang memiliki efisiensi sebesar 1,258 %.

Sebagian besar DSSC tipe monolitik yang menambahkan lapisan karbon 1 sebagai lapisan penghubung antara substrat kaca FTO dan *counter electrode* karbon 2, memiliki efisiensi yang lebih besar jika dibandingkan dengan DSSC tipe monolitik yang hanya menggunakan *counter electrode* karbon 2. Tercatat, dari kelima sampe terbaik dari masing-masing variasi, hanya sampel A yang memiliki efisiensi yang lebih rendah dari DSSC yang hanya menggunakan lapisan karbon 2. Hal ini membuktikan, adanya lapisan *inter layer* karbon 1 dapat meningkatkan fungsi *counter electrode* karbon 2 sehingga efisiensi yang dihasilkan cukup baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan karakterisasi SEM, sampel dengan massa 1,1 gr grafit pada komposisi *inter layer* karbon (sampel B) memiliki persebaran grafit yang paling merata dan hanya sedikit terjadi aglomerasi, Sampel B memiliki resistansi *sheet* dengan standar deviasi terkecil sebesar 0.054 Ω/sq, Dengan uji adhesivitas terlihat secara visual lapisan *inter* layer karbon 1 memiliki kekuatan adhesi yang baik, dan sampel B memiliki rasio transmitansi terkecil sebesar 1,963. Pada karakterisasi I-V DSSC tipe monolitik, pada sampel B memiliki efisiensi terbesar yaitu 1,258 %. Sedangkan sampel yang hanya menggunakan satu lapisan karbon yaitu *counter electrode* karbon 2 (Tanpa Karbon 1) sebesar 0.28965 % . Sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya *nter layer* karbon 1 yang menghubungkan antara substrat kaca FTO dan *counter* electrode karbon 2 dapat meningkatkan efisiensi dari DSSC tipe monolitik apabila komposisi massa grafit pada *inter layer* karbon memilki kemerataan deposisi yang baik .

Daftar Pustaka:

[1] Pratiwi, A. L. (2010). *Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Antosianin Kulit Manggis sebagai Dye-Sensitizer terhadap Efisiensi Sel Surya jenis DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell).* Semarang: Universitas Diponegoro.

[2] Mubarak, Z. (2018). *Sintesis Pasta Karbon Sebagai Counter-Electrode pada Dye- Sensitized Solr Cell (DSSC) Berstruktur Monolitik.* Universitas Hassanudin, Makassar

[3] Sari, N.K., Handayani, L.P., Abrar. (2016). Optimasi Pembuatan Sel Surya TiO_2 dengan Metode Spin Coating dan Perendaman Dye Buah Naga Merah. *E-Proceeding of Engineering, Vol.3,* 2100-2107.

[4] Dzulkifli, Rezky. (2013). *FABRIKASI SEL SURYA SEDERHANA BERBASIS MATERIAL TiO_2 DENGAN METODE DSSC (DYE-SENSITIZED SOLAR CELL).* Bandung: Universitas Telkom.

[5] Mochammad C., M., Surya S., Adita S. (2013). PEMBUATAN PROTOTIPE DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) DENGAN MEMANFAATKAN EKSTRAK ANTIOSIANIN STRAWBERRY. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VII, Vol. 4, 2087-0922.*

[6] Dileep, V.R., Sudip, K. B., Raj, M. (2016). Fabrication of Low-Cost Carbon Paste Based Counter Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells. *International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques*, 3760-3764.

[7] Amri, A., Rinaldi, R., Khairat. 2017. Synthesis of Fluorinated Tin Oxide (FTO) Using Sustainable Precursors and Additions of Graphene with Spray Coating Deposition Methods for Transparent Conductive MaterialApplications. Applied Science and Technology, 174-183.

[8] Nugraha, B.A., Shobih, Hidayat, J., Tahir, D. (2018). Effect of Geometrical Structure to the performance of Monolithic Dye-Sensitized Solar Cells. *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi* (JET), *Vol. 18,53-59.*