

OPTIMASI PEMBUATAN SEL SURYA TiO_2 DENGAN PENYISIPAN GRAFIT

OPTIMIZATION OF GRAPHITE INSERTED- TiO_2 SOLAR CELL FABRICATION

JF. Zen¹, IP. Handayani², M. Rosi³

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹jalilafz@students.telkomuniversity.ac.id, ²iphandayani@telkomuniversity.ac.id,

³memoriarosi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel surya berbasis TiO_2 menjadi perhatian karena produksi murah dan mudah. Walaupun efisiensi masih rendah dan kemampuan menyerap cahayanya hanya 3,1 eV (spektrum ultraviolet). Sebagai solusi, karbon nanopartikel digunakan untuk meningkatkan kemampuan menyerap cahaya. Karbon nanopartikel ini biasanya mahal dan efisiensinya masih sekitar 4%. Untuk itu perlu digali sumber karbon yang lain yang lebih murah dan dieksplorasi efek terhadap peningkatan efisiensi. Pada penelitian ini dibuat sel surya berbasis TiO_2 yang disisipi grafit berukuran mikro dengan metode *doctor blade* dan *spin coating*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sel surya tergantung pada massa grafit dan kecepatan putaran *spin coating*. Dengan menggunakan TiO_2 sebesar 0,7 gram yang dilapiskan di atas FTO dan diberi elektrolit campuran PVA dan LiOH, efisiensi terbaik sebesar 0,06% tercapai pada saat massa grafit 0,4 gram. Penelitian menunjukkan bahwa metode *doctor blade* dapat menghasilkan sel surya dengan efisiensi hampir sama dengan metode *spin coating*.

Kata kunci: sel surya berbasis TiO_2 , grafit, *spin coating*

ABSTRACT

TiO_2 based solar cell has been of interest due to it is low cost and simple fabrication, regardless it is low efficiency and it is light absorption of only above 3.1 eV (ultraviolet spectrum). As a solution, people have used carbon nanoparticules to increase it's absorption capability. However, the carbon nanoparticles are usually expensive with the solar cell efficiency remains about 4%. Therefore we propose an alternative cheaper carbon sources and investigate their effects on the increasing of the efficiency. In this study, a micro-sized graphite were inserted into TiO_2 solar cells using a doctor blade and spin coating method. We found that efficiency of solar cells depends on graphite mass and the rotational speed of the spin coating. By using 0,7 grams of TiO_2 coated on the surface of FTO wafer and a mixture of PVA and LiOH electrolyte, it is shown that the best efficiency of 0.06% is reached when the mass of graphite 0.4 grams. Surprisingly, we found that the doctor blade technique provided comparable results with the spin coating method.

Keywords: solar cell based on TiO_2 , graphite, *spin coating*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dalam rangka menggali energi terbarukan maka dikembangkan energi alternatif yang aman, bersih, tidak berpolusi, dan dengan persediaan yang tidak terbatas diantaranya adalah energi surya. Energi surya merupakan alternatif dikarenakan jumlah energi surya atau energi matahari yang sampai kebumi sangat besar, sekitar 700 MW setiap menitnya. Bila dikalkulasikan, jumlah ini 10.000 kali lebih besar dari total konsumsi energi dunia [1]. Energi surya merupakan salah satu energi yang sedang dikembangkan saat ini oleh pemerintahan Indonesia karena sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar[2]. Teknologi fotovoltaik merupakan teknologi yang mampu mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan *device* semikonduktor yang disebut sel surya atau *solar cell*. Sel surya merupakan piranti untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik secara langsung tanpa polusi [3].

Pada penelitian ini dikembangkan sel surya yang memiliki struktur terdiri dari elektroda transparan yaitu *flourine-doped tin oxide* (FTO), lapisan aktif penyerap foton yaitu TiO_2 yang akan disisipi dengan grafit, lapisan polimer elektrolit (LiOH dan PVA) sebagai sumber ion, dan lapisan *counter elektroda* yang akan dibuat dari aluminium. TiO_2 yang digunakan pada penelitian ini belum berstruktur nano dan memiliki energi celah pita sebesar 3,2-3,8 eV, maka untuk meningkatkan besar efisiensi dilakukan penyisipan dengan grafit untuk bisa meningkatkan spektrum serapan dan mempersempit energi celah pita. Nilai efisiensi yang masih rendah dari penelitian TiO_2 murni sebelumnya memberikan tantangan untuk pengembangan sel surya dengan penyisipan grafit menggunakan metode *doctor blade* dan *spin coating* [4]. Metode *spin coating* menghasilkan lapisan tipis TiO_2 yang disisipi dengan grafit melalui proses pemutaran atau *spin*. Untuk mengetahui pengaruh penyisipan grafit pada TiO_2 terhadap spektrum

serapan dikarakterisasi dengan menggunakan UV-Vis. Sedangkan untuk mengetahui pengaruh penyisipan grafit terhadap efisiensi sel surya maka dianalisis dengan menggunakan kurva I-V dan untuk mengetahui bahan hasil penelitian maka dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) yang digunakan untuk meneliti struktur morfologi permukaan dan komposisi kimia secara kuantitatif dari sel surya yang dibuat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan menjadi acuan pada perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan mendesain sel surya berbahan dasar TiO_2 yang disisipi grafit?
2. Faktor apa saja yang mempengaruhi proses penumbuhan TiO_2 /grafit?
3. Bagaimana hubungan antara konsentrasi grafit terhadap serapan dan efisiensi sel surya berbahan dasar TiO_2 ?

1.3 Tujuan Penelitian

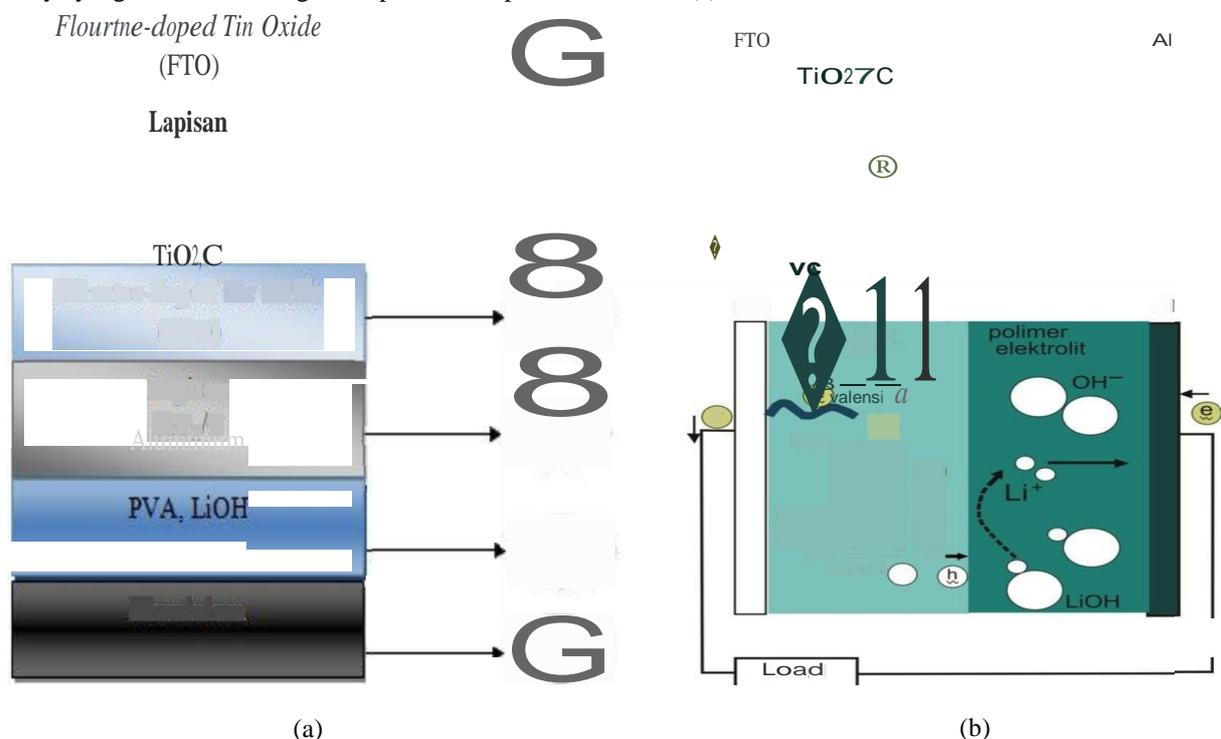
Tujuan dari perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan sel surya berbahan dasar TiO_2 yang disisipi grafit.
2. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi proses penumbuhan TiO_2 /grafit.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi grafit terhadap serapan cahaya dan efisiensi sel surya yang dikembangkan.

2. Dasar Teori

2.1 Sel Surya yang Dikembangkan

Pada penelitian ini, sel surya yang dikembangkan adalah sel surya berbahan dasar *titanium dioksida* (TiO_2). *Titanium dioksida* atau yang sering dikenal dengan TiO_2 merupakan sel surya generasi ke tiga yaitu sel surya fotoelektrokimia. Lapisan TiO_2 disebut juga sebagai lapisan aktif sel surya yang memiliki peran penting dalam menghasilkan karakteristik sel surya yang baik [5]. Lapisan TiO_2 merupakan sebagai lapisan aktif penyerap foton. TiO_2 memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik Adapun struktur sel surya yang akan dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 2.1(a).



Gambar 2.1 (a) Struktur sel surya yang akan dikembangkan dan (b) Mekanisme kerja sel surya dengan doping grafit.

Pada Gambar 2.1 (a), struktur sel surya yang dikembangkan terdiri atas: (1) elektroda transparan, (2) lapisan aktif, (3) polimer elektrolit dan (4) *counter electrode*.

Prinsip kerja sel surya yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan mekanisme kerja sel surya TiO_2 yang disisipi dengan grafit. Dapat dilihat pada Gambar 2.1 (b), ketika lapisan aktif TiO_2 /grafit disinari cahaya dengan energi yang sama atau melebihi *bandgap* semikonduktor TiO_2 maka akan menghasilkan pasangan *electron-hole*, dalam

keadaan tersebut elektron akan tereksitasi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* di pita valensi. Elektron yang tereksitasi kemudian mengalir menuju elektroda (FTO). Selanjutnya elektron dari elektroda akan mengalir menuju beban luar. Ketika pada keadaan yang sama, *hole* dari hasil proses eksitasi eksiton ditangkap polimer elektrolit menjadi ion (terjadi ionisasi pada lapisan elektrolit). Dengan adanya beda potensial, ion bergerak menuju *counter electrode*. Elektron dari beban luar mengalir menuju *counter electrode* dan berekombinasi dengan

hole pada ion untuk menjadi normal kembali. Mekanisme tersebut berlangsung secara terus menerus sehingga keberlangsungan aliran elektron dapat dipertahankan.

Struktur sel surya yang dikembangkan pada Gambar 2.1 (a) terdiri dari (1) lapisan *electrode*, lapisan ini merupakan kaca transparan konduktif yang digunakan sebagai pelindung dan kontak listrik sel surya dengan rangkaian luar. Pada penelitian ini material yang akan digunakan adalah *fluorine-doped Tin Oxide* (FTO). FTO pada range temperatur 400-500°C tidak mengalami *defect*, fotoelektrikal tinggi, resistansi rendah dan transmitansi optikal yang tinggi [6]. FTO dilapisi kaca yang memiliki konduktivitas sebesar $2,702 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$, resistivitas sebesar 0,371 $\Omega \cdot \text{cm}$ dan mobilitas sebesar $3,1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ (resistansi 10Ω , *transmission* 75%) [7]. (2) Lapisan selanjutnya adalah lapisan *titanium dioxide* (TiO_2) yang disisipi grafit. TiO_2 memiliki beberapa sifat diantaranya sangat fotoaktif, fotostabil, iner, tidak beracun, memiliki harga yang ekonomis dan memiliki energi gap sebesar 3,2 eV sampai 3,8 eV. Pada penelitian ini digunakan jenis *Titanium dioxide* (TiO_2) *anatase* yang memiliki struktur kristal tetragonal (*dipyramidal*), transparan pada wilayah spektrum matahari, stabil pada sisi temperatur dan *photo-corrosion* dan akan membentuk kristal pada pemanasan suhu rendah (100-700°C) [8]. Grafit adalah salah satu alotrop karbon yang mempunyai empat elektron valensi dan empat *vacancy* dikulit terluarnya dengan konfigurasi elektron pada keadaan dasar: $1s^2 2s^2 2p^2$. (3) Lapisan elektrolit berfungsi sebagai media *transport hole*, sumber ion dan medium untuk penggabungan elektron hasil eksitasi yang mengalir menuju elektroda dan beban luar dengan *hole*, atau lebih umumnya sebagai media *transport* muatan. Elektrolit berperan sebagai penerima *hole* dan mencegah terjadinya rekombinasi kembali antara *electron* dan *hole* [9, 4]. Elektrolit yang dibuat pada penelitian ini adalah *quasi solid* dapat meningkatkan *lifetime* sel surya terdiri dari campuran polimer dan garam yang didalamnya terdapat ion terlarut yaitu PVA dan LiOH [10]. Dan (4) Lapisan *counter electrode* berfungsi sebagai kontak dengan rangkaian luar yang tersambung dengan elektroda atau sebagai mediator redoks, sehingga elektron dapat mengalir dari *electrode* ke *counter electrode*. Karakteristik yang harus dimiliki oleh *counter electrode* yang baik adalah memiliki hambatan listrik yang rendah, stabilitas kimia, dan katalistor yang baik bagi reaksi reduksi dari yang terjadi pada *interface* elektrolit-*counter-electrode* [7]. Pada penelitian ini menggunakan aluminium karena memiliki keunggulan *work function* sekitar 4,06-4,26 eV dan sebagai katalisator yang baik [11].

Untuk mengetahui kinerja sel surya dapat menggunakan karakterisasi I-V meter dan dapat ditentukan oleh sebuah besaran yaitu efisiensi. Efisiensi adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan dengan daya energi matahari yang diserap oleh sel surya. Perhitungan efisiensi adalah sebagai berikut.

$$\dots\dots\dots(1)$$

dimana arus *short circuit* (I_{sc}) adalah arus yang mengalir pada saat sel surya tidak terbebani, atau tegangan sel surya sama dengan nol. Tegangan *Open circuit* (V_{oc}) adalah tegangan yang dihasilkan sel surya ketika sel surya dibebani maksimum sehingga arus yang dihasilkan sama dengan nol. Dan *fill factor* (FF) adalah perbandingan antara daya maksimum (daya terbesar) yang dihasilkan sel surya terhadap hasil kali antara I_{sc} dengan V_{oc} , adalah:

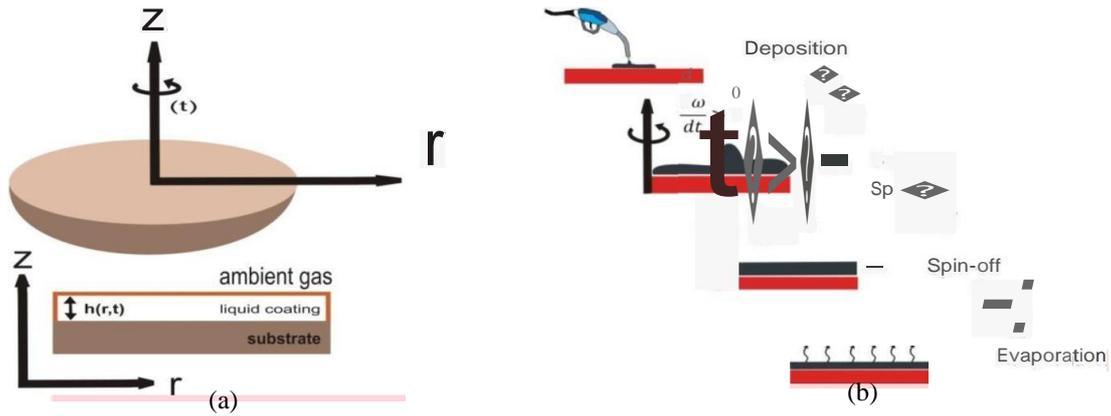
$$\dots\dots\dots(2)$$

Dengan adalah tegangan daya maksimum sel surya dan adalah arus daya maksimum sel surya.

2.2 Metode Fabrikasi dan Karakterisasi Sel Surya TiO_2 /Grafit

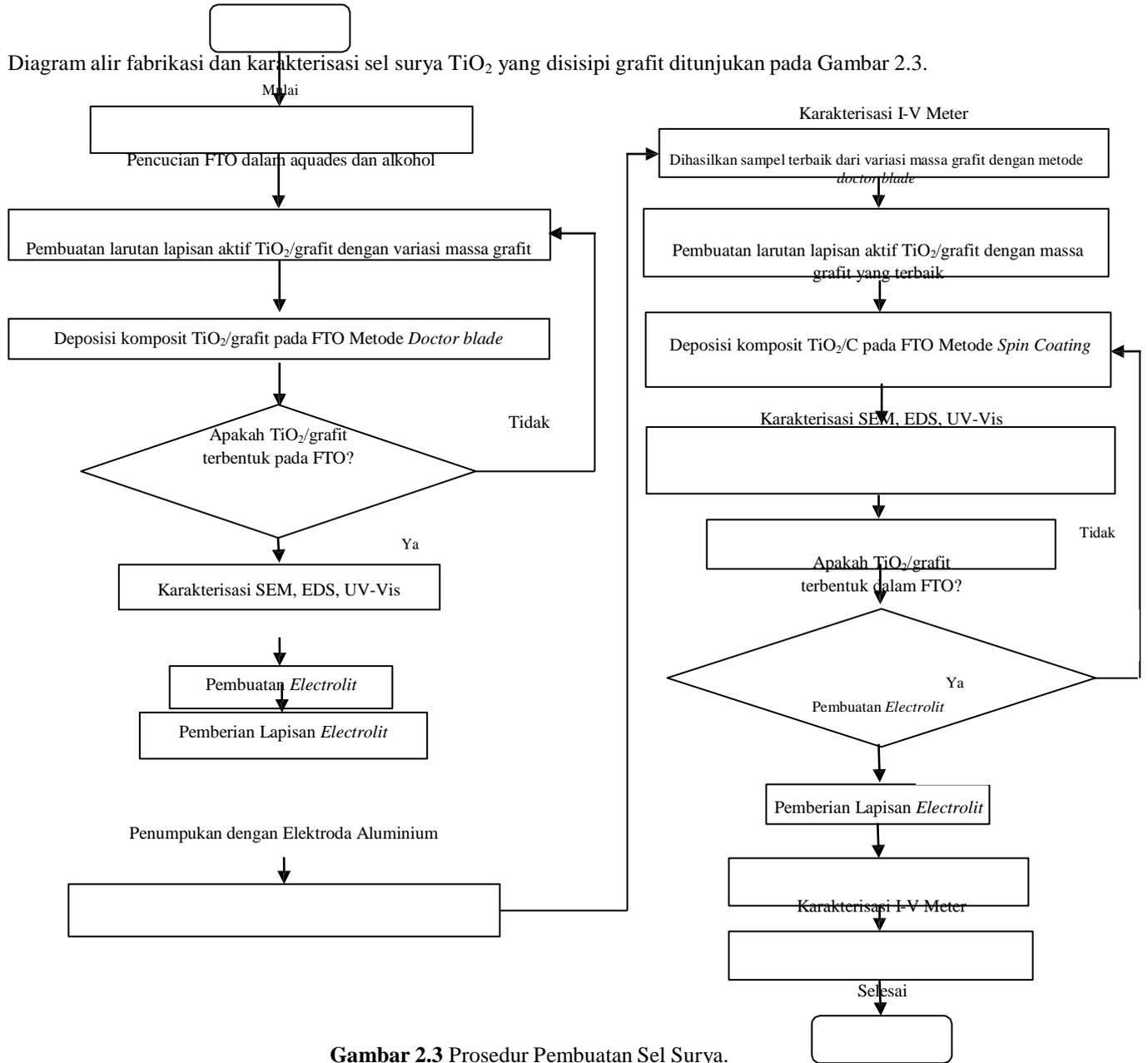
Metode *doctor blade* merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis yang sangat mudah dan sering dilakukan dalam proses pelapisan TiO_2 pada substrat kaca FTO. Teknik *doctor blade* adalah teknik pelapisan TiO_2 /grafit pada substrat kaca dengan batang pengaduk yang digerakan secara cepat ke arah tepi bawah kaca dan kemudian menggerakannya kembali ke arah berlawanan dengan sebelumnya secara cepat.

Metode *spin coating* merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis diatas substrat [2]. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau *gel*. Adapun prinsip kerja dari *spin coating* tersebut adalah dengan cara meneteskan larutan atau *gel* diatas substrat (FTO) dan disimpan diatas piringan (*spin coater*), proses *spin coating* dilakukan dengan memutar alat *coater* dengan kecepatan yang cukup tinggi (rpm) dalam waktu tertentu. Sketsa putaran *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 2.2 (a) dan tahapan dasar metode *spin coating* dapat dilihat pada Gambar (b).



Gambar 2.2 (a) Skema Putaran Spin Coating dan (b) Skema Tahapan Spin Coating.

Diagram alir fabrikasi dan karakterisasi sel surya TiO₂ yang disisipi grafit ditunjukkan pada Gambar 2.3.

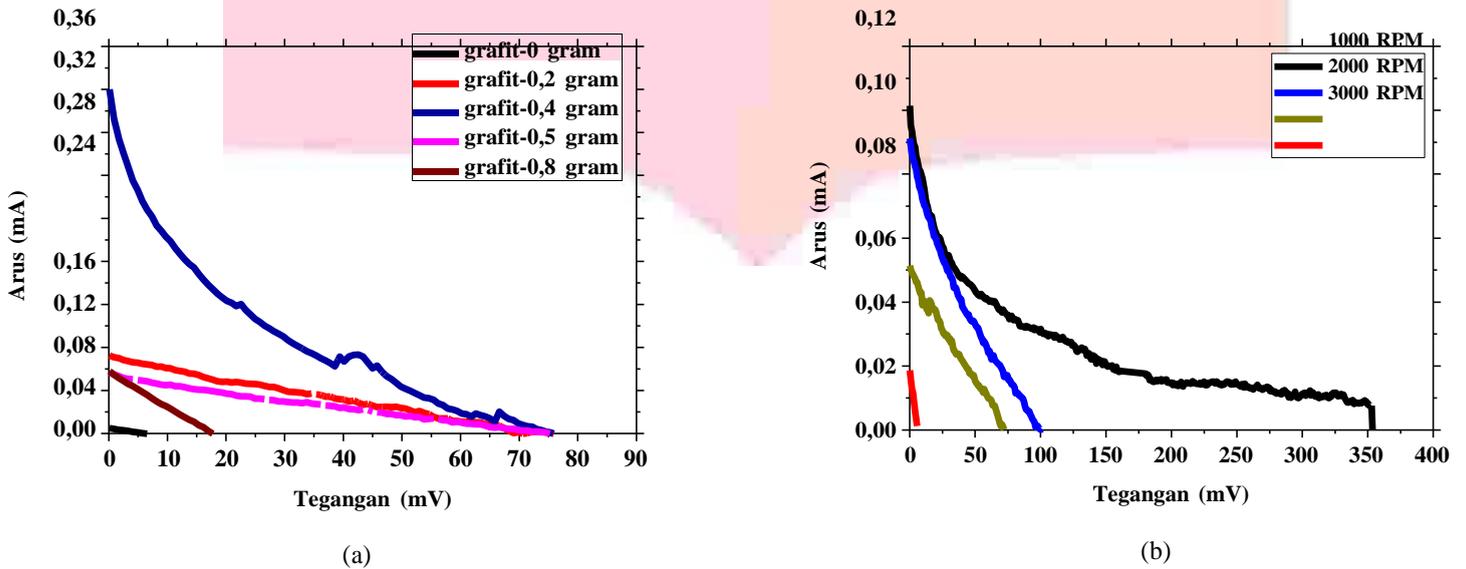


Gambar 2.3 Prosedur Pembuatan Sel Surya.

3. Pembahasan

3.1. Hasil Karakterisasi I-V Sel Surya TiO₂/grafit

Lapisan tipis sel surya yang telah dibuat menggunakan metode *doctor blade* dengan variasi konsentrasi grafit dan dengan metode *spin coating* dengan variasi kecepatan dengan komposisi massa grafit terbaik dari pendeposisian metode *doctor blade*, kemudian dilakukan pengujian I-V dengan menguji nilai arus dan tegangan yang keluar dari sampel yang telah dibuat menggunakan sumber cahaya lampu halogen dengan intensitas $5,22 \times 10^{-3}$ watt/cm dengan menggunakan I-V meter Keithley 2400, dengan luar area yang terkena sumber cahaya sebesar 1 cm². Untuk melihat kurva karakteristik I-V dari metode *doctor blade* dengan variasi massa grafit dapat dilihat pada Gambar 3.1 (a) sedangkan untuk metode *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 3.1(b)



Gambar 3.1 (a) Kurva Karakteristik I-V sel surya TiO₂/grafit dengan Variasi Konsentrasi Grafit dan (b) Kurva Karakteristik I-V Sel Surya TiO₂/grafit terhadap Variasi Kecepatan *Spin Coating*.

Berdasarkan Gambar 3.1 besar arus, tegangan, *fill factor* dan efisiensi yang dihasilkan dari sampel dapat dilihat pada tabel 1 untuk metode *doctor blade* dan tabel 2 untuk metode *spin coating*.

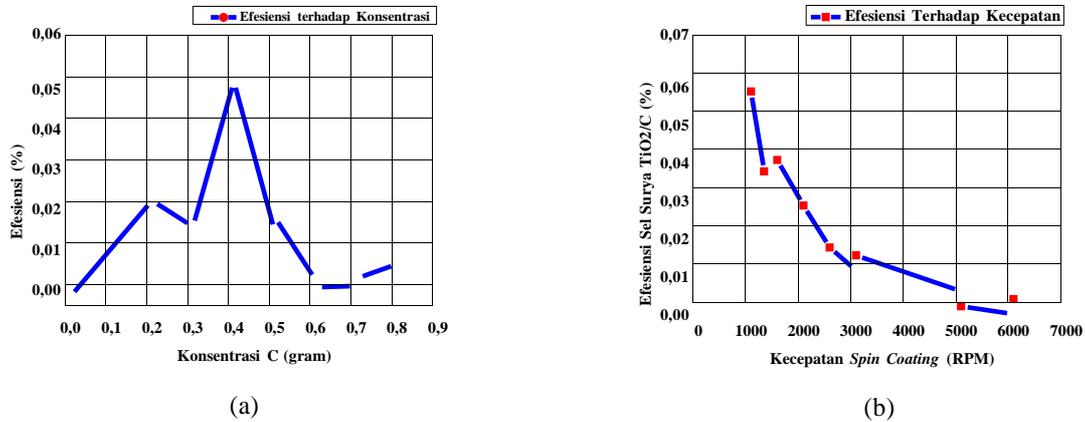
Tabel 1 Besar Voc, Isc, Vmaks, Imaks, FF dan Efisiensi Variasi Konsentrasi grafit dalam Sel Surya TiO₂/grafit.

Konsentrasi Grafit (gr)	Voc (mV)	Isc (mA)	Vmaks (mV)	Imaks (mA)	FF	η (%)
0	5,74	0,0049	0,253	0,0029	0.263	0,000142
0,2	75,44	0,075	28,2	0,043	0.223	0,0233
0,3	66,61	0,055	23,3	0,037	0,241	0,017
0,4	44,22	0,320	22,7	0,120	0,192	0,052
0,5	74,61	0,057	24,16	0,034	0,194	0,016
0,6	10,53	0,016	4,95	0,009	0,261	0,0008
0,7	8,15	0,030	4,11	0,015	0,256	0,0012
0,8	17	0,058	9,74	0,025	0,253	0,0047

Tabel 2 Besar Voc, Isc, Vmaks, Imaks dan FF Variasi Kecepatan *Spin Coating* dalam Sel Surya TiO₂/grafit.

Kecepatan (rpm)	Voc (mV)	Isc (mA)	Vmaks (mV)	Imaks (mA)	FF	η (%)
1000	353	0,101	66,57	0,047	0,087	0,059
1250	355,5	0,132	45,75	0,044	0,042	0,038
1500	111	0,138	25,75	0,084	0,140	0,041
2000	101	0,091	32,95	0,047	0,167	0,029
2500	109	0,055	37,75	0,026	0,163	0,018
3000	72,19	0,051	15,34	0,041	0,167	0,012
5000	3,31	0,014	15,34	0,008	0,314	0,0028
6000	5,723	0,019	3,309	0,009	0,282	0,0005

Efek *photovoltaic* pada Tabel 1 dan Gambar 3.1(a) menunjukkan bahwa hasil efisiensi terbaik pada metode *doctor blade* yaitu sampel dengan massa grafit 0,4 gram sebesar 0,052% sehingga besar massa grafit yang akan digunakan pada penelitian pendeposisian TiO₂/grafit metode *spin coating* yaitu 0,4 gram. Efek dari massa grafit terhadap efisiensi dapat dilihat pada Gambar 3.2 (a). Sedangkan berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 3.1 (b) menunjukkan bahwa nilai efisiensi terbesar terdapat pada variasi kecepatan antara 1000 rpm sebesar 0,059%. Untuk memperjelas efek kecepatan *spin coating* terhadap efisiensi sel surya sebagai fungsi kecepatan *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 3.2 (b).

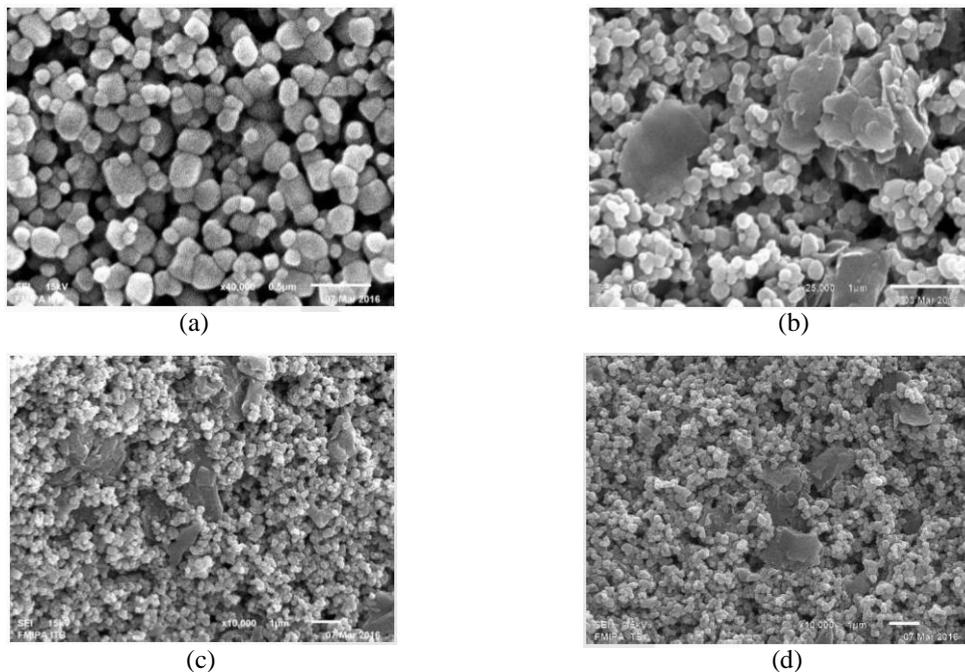


Gambar 3.2 (a) Kurva Efisiensi Sel Surya TiO₂/grafit sebagai Fungsi Massa Grafit dan (b) Kurva Efisiensi Sel Surya TiO₂/grafit sebagai Fungsi Kecepatan *Spin Coating*.

Pada Gambar 3.2 besar hasil efisiensi yang dihasilkan pada dua metode pendeposisian yang digunakan menghasilkan besar efisiensi yang berbeda hasilnya tidak begitu signifikan.

3.2 Hasil Pengujian SEM dan EDS Sel Surya TiO₂/C

Untuk mengetahui morfologi permukaan sel surya dan komposisi unsur sel surya yang sudah dibuat maka dilakukan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS). Pada penelitian ini dilakukan pada beberapa sampel diantaranya pada sampel TiO₂ murni dan TiO₂ dengan penyisipan grafit.



Gambar 3.3 (a) Foto morfologi permukaan lapisan TiO₂ dengan perbesaran 40000x (b) lapisan TiO₂/grafit dengan metode *doctor blade* dengan perbesaran 25000x dan foto morfologi permukaan lapisan permukaan TiO₂ doping grafit dengan perbesaran 10000x dengan variasi kecepatan *spin coating* (c) 1000 rpm (d) 3000 rpm.

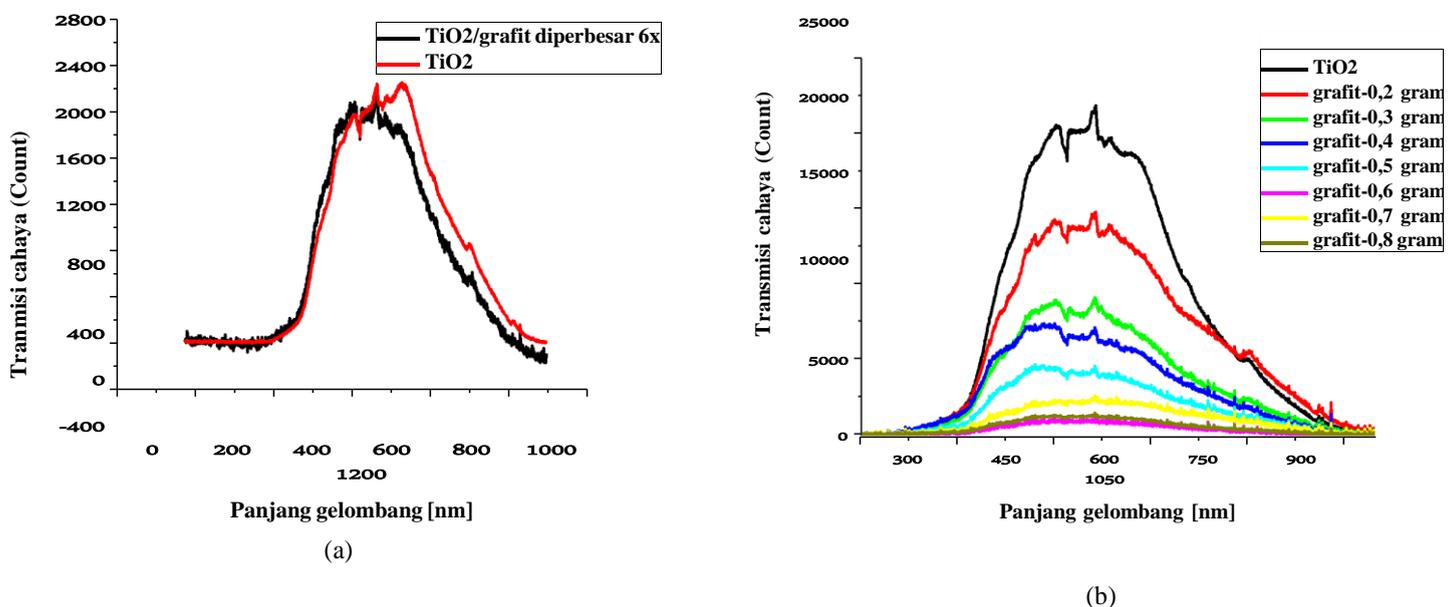
Pada Gambar 3.3 hasil morfologi (SEM) menunjukkan bahwa pada gambar sebaran TiO_2 murni cukup merata, sedangkan pada hasil TiO_2 /grafit putaran *spin coating* maupun *doctor blade* tidak mempengaruhi morfologi secara signifikan. Sehingga tidak mempengaruhi transport muatan, yang lebih berpengaruh adalah ketebalan dan konsentrasi grafit yang digunakan, sehingga mempengaruhi pada serapan foton dan jarak foton dengan elektroda.

Berdasarkan hasil EDS komposisi unsur % massa yang terkandung dalam sampel sel surya TiO_2 tanpa doping adalah 6,21% N, 43,06% O dan 50,72% Ti. Adanya unsur N disinyalir berasal dari nitrogen gas yang dialirkan pada fabrikasi sel surya TiO_2 . Komposisi pada sampel sel surya TiO_2/C dengan metode *doctor blade* adalah 22,39% C, 42,44% O, 0,34% Si dan 34,82% Ti. Komposisi Unsur pada sampel sel surya TiO_2/C dengan metode *Spin Coating* pada kecepatan 1000 rpm adalah 19,47% C, 41,35% O, 0,48% Si dan 38,69% Ti. Sedangkan komposisi unsur pada sel surya TiO_2/C dengan kecepatan *spin coating* 3000 rpm adalah 21,38% C, 40,64% O, 0,36% Si dan 37,63% Ti. Adanya kandungan Si pada komposisi unsur pada sel surya TiO_2/C dengan metode *doctor blade* dan *spin coating* disinyalir dari TiO_2 yang tidak murni atau terdapat pengotor dan persentasi dari Si tersebut sangat kecil.

Hasil EDS yang dihasilkan dari sampel dengan penyisipan grafit terdapat unsur komposisi grafit yang terkandung dalam sampel sehingga menunjukkan terdapat grafit yang tumbuh dalam sampel. Besar % massa dari setiap sampel yang disisipi dengan grafit menunjukkan hasil yang tidak begitu signifikan karena menggunakan persentasi konsentrasi deposisi yang sama.

3.3 Hasil Pengujian Absorbansi Sel Surya TiO_2/C

Untuk mengetahui absorbansi sel surya maka dilakukan karakterisasi UV-Vis. Pada Penelitian ini karakteristik dilakukann pada sampel sel surya dengan variasi grafit menggunakan metode *doctor blade*.



Gambar 3.4 (a) Perbandingan TiO_2 Murni dengan TiO_2 /grafit (b) Kurva Transmisi Cahaya Variasi Konsentrasi Grafit.

Gambar 3.4 (a) perbedaan serapan antara TiO_2 murni dengan TiO_2 dengan penyisipan grafit terjadi penurunan kurva pada panjang gelombang 680 nm sampai 800 nm yaitu diantara cahaya tampak berwarna kuning dan merah. Untuk mengetahui kurva transmisi cahaya terhadap panjang gelombang dari sampel TiO_2 murni dan sampel TiO_2 dengan penyisipan grafit dapat dilihat pada Gambar 3.4 (b).

Pada Gambar 3.4 (b) menunjukkan setiap konsentrasi grafit menghasilkan intensitas kurva tranmisi yang berbeda. Kurva transmisi tersebut menunjukkan banyaknya elektron yang dihasilkan dari setiap sampel. Semakin besar konsentrasi grafit yang disisipkan pada TiO_2 intensitas transmisi semakin turun. Pada saat tanpa penyisipan grafit sampai penyisipan grafit 0,5 gram dapat dilihat perbedaan penurunan intensitas tranmisinya secara signifikan. Tetapi pada kondisi penyisipan grafit antara 0,6-0,7 gram penurunan intensitas tranmisinya tidak begitu sigifikan perbedaanya. Serapan terbesar terjadi di konsentrasi grafit 0,4 gram.

Hasil serapan cahaya dari setiap sampel tidak berbanding lurus dengan besar efisiensi yang dihasilkan, hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor diantaranya adalah jarak *counter electrode* yang terlalu lebar sehingga transport elektron tidak lancar atau tidak mengalir mulus sampai *counter electrode*, selain itu elektrolit yang digunakan dapat berpengaruh pada transport elektron juga sehingga berpengaruh pada besar efisiensi yang dihasilkan. Selain itu proses serapan juga mengalami saturasi pada saat massa grafit diatas 0,4 gram. Berdasarkan SEM terlihat luas grafit lebih besar dari pada TiO_2 sehingga dapat menutupi permukaan TiO_2 yang menyerap cahaya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut.

1. Sel surya yang dikembangkan berbahan dasar TiO₂ dengan penyisipan grafit menghasilkan efisiensi terbaik sebesar 0,06% tercapai pada saat massa grafit 0,4 gram ditambahkan pada TiO₂ sebesar 0,7 gram, dan difabrikasi dengan kecepatan putar *spin coating* step 1 sebesar 500 rpm, step 2 sebesar 750 rpm, step 3 sebesar 1000 rpm.
2. Faktor yang mempengaruhi penumbuhan sel surya TiO₂/grafit adalah perbandingan massa TiO₂ dengan massa grafit serta putaran *spin coating*.
3. Pada penelitian ini, *spin coating* dan *doctor blade* bisa menghasilkan nilai efisiensi yang sama dan morfologi yang sama.
4. Konsentrasi grafit berpengaruh terhadap besar efisiensi dan jumlah foton yang diserap, tetapi absorbansi tidak selalu berbanding lurus terhadap besar efisiensi yang dihasilkan.

Daftar Pustaka:

- [1] Septina W. 2007. "Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-sensitized Solar Cell). Bandung: FMIPA Institut Teknologi Bandung.
- [2] Purwanto, Prajitno. 2013. "Variasi Kecepatan dan Waktu Pemutaran Spin Coating dalam Pelapisan TiO₂ untuk pembuatan dan karakteristik DSSC dengan Ekstrak Kulit Manggis sebagai Dye Sensitizer," *Jurnal Sains dan Seni POMITS*. Vol. 2, No. 1. Surabaya: ITS.
- [3] Yuwono B. 2005. "Optimasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51". (Skripsi S-1 Progdil Fisika). Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- [4] Prasetyowati R. 2012. "Sel Surya Berbasis Titania Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta: Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [5] Gumilar, R. P. 2014. "Pengaruh Penyisipan Tembaga Cu menggunakan Metode Pulse Plating pada Sel Surya TiO₂". Bandung: Universitas Telkom.
- [6] Sigma-Aldrich. "Fluorine doped Tin Oxide (FTO) Glass". [Online] Available at: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/materials-science-products.html> [Accessed 16 Maret 2015].
- [7] Panda, D. K.. 2011. "*Nanostructured Organic Solar Cells*". Wollong: University of Wollongong.
- [8] E. Hastuti. 2011. *Analisis Difraksi Sinar X TiO₂ Dalam Penyiapan Bahan Sel Surya Tersensitisasi Pewarna. Neutrino Vol.4, No.1*, p. 95.
- [9] Ramdhani H. S. 2012. "Pembuatan Sel Surya TiO₂ Tersensitisasi Dye Padat Dengan Elektrolit Polimer". Bogor: Fakultas MIPA, Institut Pertanian Bogor.
- [10] Fu H, Zhu Y, and Zhang L. 2008. "Efficient TiO₂ Photocatalysts from Surface Hybridization of TiO₂ Particles with Graphite-like Carbon". *Advanced Functional Materials*, vol. 18, no. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, pp. 2180-2189.
- [11] Hidayat A. S. 2011. "Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar *Spin Coating* Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO₂". Bandung: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.