

OPTIMASI PEMBUATAN SEL SURYA TiO_2 DENGAN METODE *SPIN COATING* DAN PERENDAMAN *DYE* BUAH NAGA MERAH

OPTIMIZATION OF TiO_2 SOLAR CELL FABRICATION USING *SPIN COATING* METHOD AND SOAKING IN RED DRAGON FRUIT *DYE*

N.K Sari¹, I.P Handayani², Abrar³

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

¹nunikania@gmail.com ²iphandayani@telkomuniversity.ac.id ³abrarselah@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel surya berbahan dasar material aktif TiO_2 banyak dikembangkan dikarenakan berbahan murah dan proses fabrikasinya yang sederhana. Beberapa persoalan yang menjadi tantangan dalam fabrikasi sel surya TiO_2 adalah effisiensinya yang rendah dan penyerapan cahaya diatas 3,1 eV (spektrum ultraviolet). Pada penelitian ini dikembangkan sel surya dengan material aktif Titanium Dioksida (TiO_2) dan *dye sensitizer* ekstrak buah naga merah. Proses fabrikasi menggunakan metode penumbuhan *spin coating* dan parameter yang dipelajari meliputi pengaruh variasi kecepatan putar *spin coating*, variasi konsentrasi TiO_2 , dan pengaruh penambahan *dye* ekstrak buah naga merah terhadap efisiensi sel surya. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa efisiensi sel surya tergantung pada kecepatan putar *spin coating*, massa TiO_2 , dan penambahan *dye* ekstrak buah naga merah. Dengan menggunakan TiO_2 sebesar 40 gram yang dilapiskan diatas FTO serta menggunakan *spin coating* berkecepatan step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm, dan diberi polimer elektrolit campuran PVA dan LiOH, dihasilkan efisiensi terbesar sebesar 0,007%. Setelah dilakukan perendaman didalam ekstrak buah naga merah selama 48 jam, efisiensi meningkat menjadi 0,024%.

Kata kunci: TiO_2 , *dye* buah naga merah, *spin coating*

Abstract

The TiO_2 based solar cells are developed due to their low cost and simple fabrication. However, the efficiency is low and the material only absorbs light above 3,1 eV (ultraviolet spectrum). In this study, a TiO_2 based solar cell is fabricated using spin coating method. In order to increase its efficiency a red dragon fruit dye sensitizer is added. We found that the efficiency of TiO_2 solar cells depends on rotational speed of spin coating, TiO_2 mass, and the additional red dragon fruit dye. Using 40 grams of TiO_2 coated on FTO wafer and three steps of spin coating speed (step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm), as well as a mixture of PVA and LiOH electrolyte polymer, the obtained efficiency is 0,007%. This efficiency increases up to 0.024% after the solar cell is soaked in red dragon fruit extracts for 48 hours.

Keywords: TiO_2 , red dragon fruit dye, *spin coating*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Krisis energi merupakan persoalan yang harus diatasi mengingat semakin hari ketersediaan energi semakin menipis sedangkan kebutuhan dan konsumsi energi meningkat. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan dan mengoptimalkan potensi energi terbarukan. Salah satu energi alternatif terbarukan yang dikembangkan Indonesia adalah energi surya. Untuk memanfaatkan energi surya dengan baik, maka diperlukanlah alat yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atau energi lainnya yang bisa dimanfaatkan. Alat yang digunakan untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik biasa dikenal sebagai panel *photovoltaic* atau sel surya.

Pada tugas akhir ini, dikembangkan sel surya berbahan dasar Titanium Dioksida (TiO_2) menggunakan metode sederhana dan bahan murah serta melihat pengaruh penambahan *dye* ekstrak buah naga merah terhadap efisiensi sel surya TiO_2 . Struktur sel surya ini menggunakan FTO sebagai elektroda, TiO_2 sebagai lapisan aktif penyerap foton, polimer elektrolit sebagai sumber ion, aluminium sebagai *counter electrode* dan ekstrak buah naga sebagai *dye*. Metode penumbuhan sel surya berbahan TiO_2 dilakukan dengan metode *spin coating*. Penelitian ini akan melanjutkan penelitian sebelumnya untuk mendapatkan parameter-parameter yang mempengaruhi proses deposisi dengan menggunakan *spin coating* selanjutnya setelah didapatkan efisiensi terbesar akan dilihat pengaruh dari penambahan *dye* ekstrak buah naga terhadap efisiensi sel surya. Pengaruh konsentrasi TiO_2 , kecepatan putar *spin coating*, dan *dye* ekstrak buah naga terhadap efisiensi sel surya akan dianalisis dengan menggunakan kurva I-V, serta analisis morfologi lapisan dan komposisi penyusun menggunakan SEM dan EDS.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi TiO_2 terhadap efisiensi sel surya?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan putar *spin coating* terhadap efisiensi sel surya?
3. Bagaimana pengaruh penambahan *dye* ekstrak buah naga terhadap peningkatan efisiensi sel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari perancangan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hubungan antara pengaruh konsentrasi TiO_2 terhadap efisiensi sel surya.
2. Mengetahui hubungan antara pengaruh kecepatan putar *spin coating* terhadap efisiensi sel surya.
3. Mengetahui pengaruh penambahan *dye* ekstrak buah naga terhadap peningkatan efisiensi sel surya.

1.4 Metoda Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini terbagi menjadi lima tahapan, diantaranya sebagai berikut:

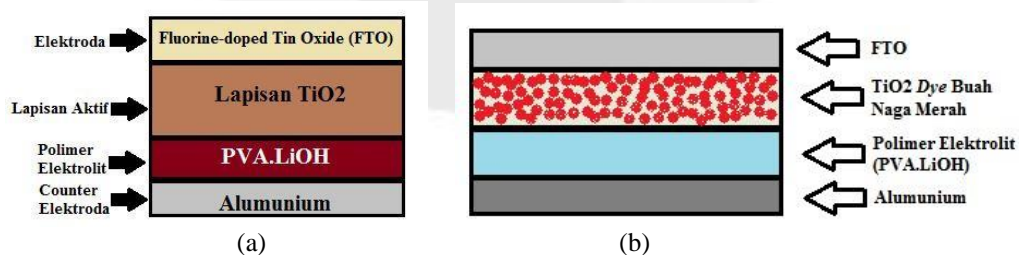
1. Studi literatur teori pendukung dari berbagai sumber seperti paper, jurnal, skripsi, tesis, buku dan internet yang menunjang pembuatan sel surya berbahan dasar TiO_2 dengan metode *spin coating*.
2. Pembuatan sel surya TiO_2 dengan metode penumbuhan yang telah ditulis sebelumnya dan parameter yang digunakan sesuai ruang lingkup penelitian.
3. Melakukan pengujian dan eksperimen dengan menggunakan sel surya yang telah selesai dibuat untuk mendapatkan informasi tentang kurva karakteristik I-V dan efisiensi sel surya yang dibuat serta morfologi dan kandungan kimia dalam sel surya.
4. Seluruh data yang didapat dari hasil pengujian dan eksperimen selanjutnya didokumentasikan dan dianalisis sehingga dapat dilakukan penarikan kesimpulan.

Seluruh data eksperimen dan analisis yang telah didokumentasikan dituliskan dalam bentuk sebuah laporan akhir atau skripsi.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Sel Surya yang Dikembangkan

Pada penelitian ini, dikembangkan sel surya berbahan dasar TiO_2 yang berperan sebagai lapisan aktif yang mengabsorpsi energi cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan *dye* ekstrak buah naga untuk membantu penyerapan foton dan menggunakan metode *spin coating*. *Spin coating* merupakan metode untuk meratakan lapisan diatas suatu substrat dengan memanfaatkan gaya semu sentrifugal dengan menggunakan laju putar spin tertentu [1]. Dalam penelitian ini akan diteliti parameter-parameter yang dapat meningkatkan efisiensi sel surya TiO_2 dikarenakan titanium dioksida memiliki energi celah pita (*band gap*) yang sangat besar yaitu 3,2 eV -3,8 eV sehingga dapat mengakibatkan nilai laju rekombinasi elektron-hole menjadi besar dan dapat menurunkan efisiensi sel surya. Struktur sel surya yang dikembangkan ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.1 Struktur sel surya yang dikembangkan, (a) tanpa *dye*, (b) dengan *dye*

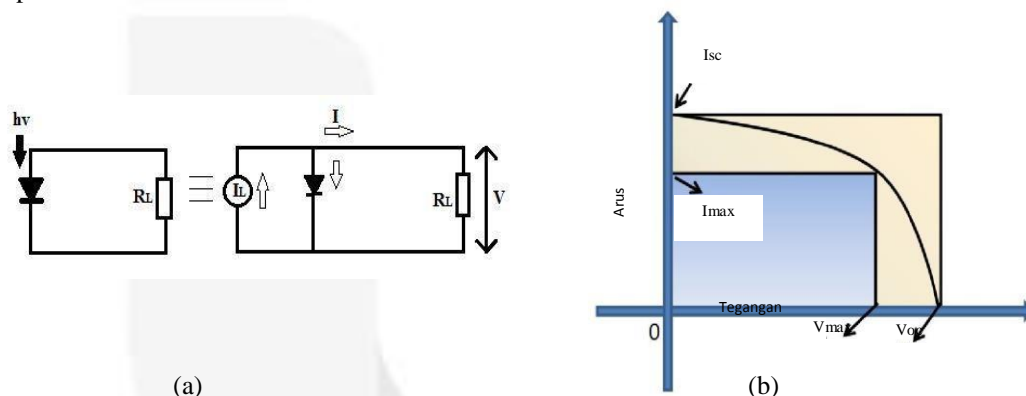
Prinsip kerja sel surya berbahan dasar TiO_2 tanpa *dye* pada penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut: material TiO_2 bertindak sebagai lapisan aktif penyerap foton dari cahaya matahari sehingga elektron pada pita valensi tereksitasi menuju pita konduksi bila energi matahari yang disinari sama atau melebihi *bandgap* semikonduktor TiO_2 . Elektron yang telah tereksitasi pada pita konduksi selanjutnya mengalir menuju elektroda yaitu FTO dan mengalir menuju rangkaian ke beban luar. Pada saat yang sama, *hole* hasil proses eksitasi ditangkap

polimer elektrolit menjadi ion (terjadi ionisasi pada lapisan elektrolit), karena ada beda potensial, ion bergerak menuju *counter* elektroda. Elektron dari beban luar mengalir menuju *counter elektroda* dan berekombinasi dengan *hole* pada ion untuk menjadi normal kembali. Mekanisme ini berlangsung terus-menerus sehingga keberlangsungan aliran elektron dapat dipertahankan.

Sedangkan sel surya TiO_2 dengan penambahan *dye* ekstrak buah naga, prinsip kerjanya berdasarkan persamaan berikut: Ketika sel surya dikenai cahaya, maka foton akan mengeksitasi *dye* dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) ke level LUMO (*Lowest Occupied Molecular Orbital*) yang lebih tinggi. *Dye* yang tereksitasi kemudian menginjeksi elektron ke pita konduksi bahan semikonduktor TiO_2 dan meninggalkan *dye* dalam keadaan memiliki *hole*. Proses ini disebut proses injeksi elektron. Elektron yang dihasilkan kemudian berdifusi menuju elektroda yang terhubung dengan beban luar sampai menuju *counter electrode*. Proses ini disebut proses transfer elektron. Setelah menginjeksi elektron ke TiO_2 , *dye* dalam keadaan memiliki *hole* (D^+) hasil proses eksitasi ditangkap polimer elektrolit menjadi ion (terjadi ionisasi pada lapisan elektrolit), karena ada beda potensial, ion bergerak menuju *counter* elektroda. Elektron dari beban luar mengalir menuju *counter elektroda* dan berekombinasi dengan *hole* pada ion untuk menjadi normal kembali, proses ini disebut proses regenerasi *dye*. Mekanisme ini berlangsung terus-menerus. Performa sel surya dapat diketahui melalui parameter efisiensi yang diukur dengan I-V meter [2]. Efisiensi adalah perbandingan energi yang dihasilkan sel surya (P_{out}) terhadap besarnya energi matahari yang diserapnya (P_{in}) [2].

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{I_{\text{max}} \times V_{\text{max}}}{I_{\text{sc}} \times V_{\text{oc}}} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan I_{sc} (arus *short circuit*) adalah arus yang dihasilkan sel surya dibawah penyinaran dengan tegangan sel surya sama dengan nol, V_{oc} (tegangan *open circuit*) adalah tegangan maksimum yang dihantarkan sel surya saat penyinaran dengan arus sel surya sama dengan nol, dan FF (*fill factor*) adalah besaran yang menyatakan perbandingan daya maksimum ($I_{\text{max}} \times V_{\text{max}}$) yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara V_{oc} dan I_{sc} . Efisiensi sel surya setelah disinari dapat dipahami dengan menggunakan rangkaian ekuivalen sel surya seperti dan kurva I-V yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



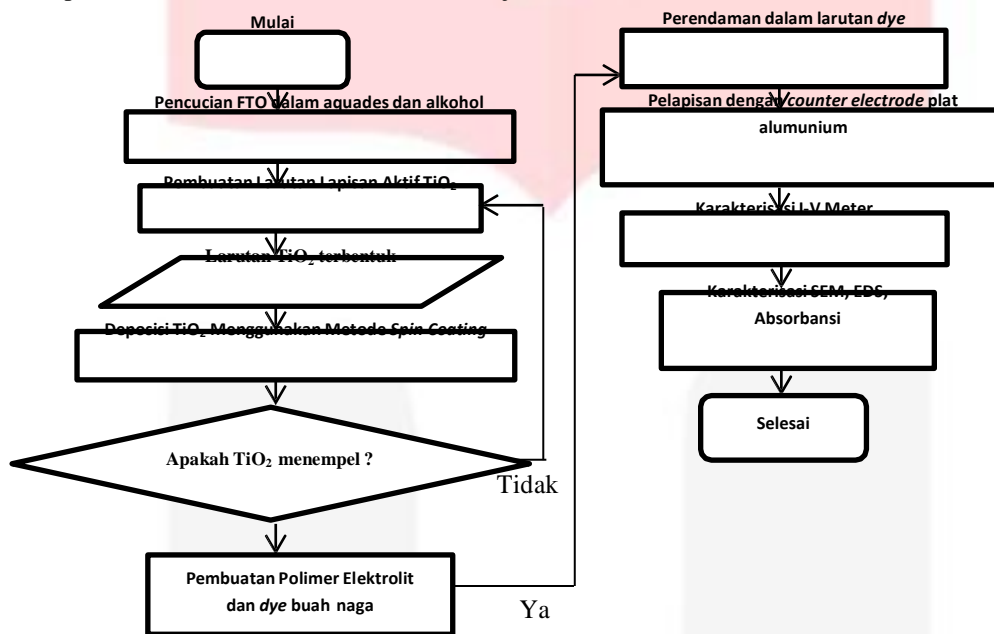
Gambar 2.2 (a) Rangkaian ekuivalen sel surya, (b) Kurva I-V sel surya [3].

Sel surya yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan bahan-bahan diantaranya: *Fluorine doped tin oxide* (FTO) merupakan salah satu material dari kaca transparan konduktif atau *Transparent Conductive Oxide* (TCO) yang berfungsi sebagai lapisan *electroda* (kontak listrik sel surya dengan rangkaian luar) transparan pada sel surya berbahan dasar TiO_2 dan sebagai pelindung. Lapisan selanjutnya yaitu TiO_2 atau titania merupakan salah satu semikonduktor yang memungkinkan digunakan sebagai komponen utama dalam divais sel surya generasi ketiga selain ZnO dan Nb_2O_5 . Dibandingkan dengan semikonduktor tersebut, titania adalah bahan yang paling umum digunakan karena sifatnya yang sangat fotoaktif, fotostabil, *inert*, tidak beracun, dan juga murah [4]. Lebar celah pita yang dimiliki semikonduktor titania adalah sebesar 3,2 eV – 3,8 eV dan dapat terjadi eksitasi apabila bahan tersebut disinari foton dengan besar energi yang lebih atau sama dengan 3,2 eV [4]. *Anatase* merupakan bentuk TiO_2 yang paling aktif terhadap radiasi sinar UV dan bentuk ini merupakan bentuk yang paling umum digunakan sebagai bahan penyerap foton. Selanjutnya digunakan daging buah naga merah sebagai *dye* alami. Buah naga merah adalah buah yang mengandung antosianin [5]. Antosianin adalah pigmen larut air yang terdapat pada berbagai jenis tumbuhan dan buah-buahan [5]. Warna yang diberikan oleh antosianin berkat susunan ikatan rangkap terkonjugasinya yang panjang, memiliki kemampuan menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak [5]. Untuk meningkatkan konduktivitas, elektrolit polimer disisipkan diantara lapisan TiO_2 dan *counter electrode*. Pada penelitian ini digunakan elektrolit campuran *polyvinyl alcohol* (PVA) dengan LiOH dalam bentuk *quasi solid state* atau dalam bentuk gel elektrolit. Penggunaan *quasi* memang meningkatkan *lifetime* sel surya, namun efisiensi yang diperoleh masih lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *liquid electrolyte* [6]. Lapisan terakhir adalah

counter electrode adalah elektroda yang bertindak sebagai katoda dalam sel surya organik [2]. Kriteria yang harus dimiliki oleh *counter electrode* adalah konduktivitas elektrik yang tinggi, stabilitas kimia, dan katalisator yang baik bagi elektrolit [2]. Pada penelitian ini digunakan plat aluminium sebagai *counter electrode*.

2.2 Metode Penumbuhan Sel Surya Dengan *Spin Coating* dan Karakterisasinya

Metode *Spin coating* merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat terlebih dahulu, kemudian diputar dengan kecepatan konstan agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis [7]. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat larutan atau *gel*, yang kemudian diteteskan di atas suatu substrat (dalam hal ini FTO) dan disimpan di atas piringan alat *spin coating*, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi hingga 6000 rpm [8]. Jika dibandingkan dengan metode pelapisan film tipis lainnya, misalnya metode *spray* dan *screen printing*, teknik *spin coating* dapat memberikan homogenitas yang lebih baik dan ketebalan dapat diatur yang mana sulit didapatkan ketika menggunakan metode pelapisan sederhana lainnya [7]. Diagram alir prosedur fabrikasi dan karakterisasi ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Prosedur pembuatan sel surya

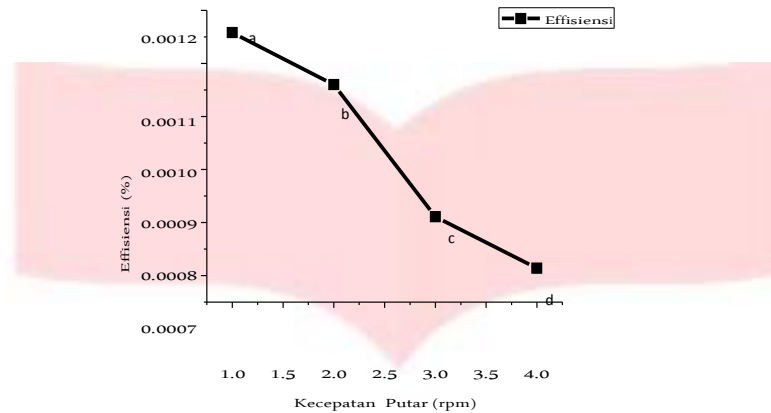
3. Pembahasan

3.1. Pengujian Awal Untuk Berbagai Putaran *Spin Coating*

Pengujian ini dilakukan untuk menemukan kaitan antara kecepatan putar *spin coating* dengan sifat listrik sel surya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 30 gram TiO_2 yang dilarutkan dalam 20 ml aquades dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1,5 jam dengan kecepatan 500 rpm dan suhu 0°C dan elektrolit yang terbuat dari 0,18 gram LiOH dilarutkan dalam 10 ml aquades dicampur dengan 1,8 gram PVA yang dilarutkan dalam 20 ml aquades. Kemudian, larutan TiO_2 yang telah dideposisi di atas FTO, dilapisi dengan larutan elektrolit dan aluminium. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Keithley 2400* untuk mendapatkan kurva I-V. Pada saat karakterisasi, sampel yang terkena cahaya sebesar 1 cm^2 dan penyinaran menggunakan lampu halogen dengan intensitas sebesar 93000 lux atau daya masukan (Pin) sebesar 0.014 watt. Selain itu, arus dan tegangan yang dihasilkan juga dikarakterisasi pada keadaan tidak ada cahaya. Hasil karakterisasi dengan menggunakan cahaya halogen ditampilkan oleh kurva berwarna hitam, sedangkan hasil karakterisasi tanpa menggunakan cahaya ditampilkan oleh kurva berwarna merah. Efek fotovoltaiik didefinisikan sebagai hasil pengurangan kurva arus- tegangan dengan cahaya dikurangi dengan kurva arus-tegangan tanpa cahaya. Pada pembahasan kali ini, akan dibahas mengenai variasi kecepatan putar *spin coating* pada berbagai step dari step 1 hingga step 3 dan efeknya terhadap optimasi efisiensi sel surya.

Tabel 3.1 Effisiensi sel surya dengan variasi kecepatan putar *spin coating*

Kecepatan Putar (rpm)	Isc	Voc	Im	Vm	FF	Effisiensi (%)
500,1200,2000 (a)	10 μ A	0.4 V	2.18 μ A	0.07 V	0.04	$1,2 \times 10^{-3}$
500,1500,2200 (b)	7.85 μ A	0.14 V	2.57 μ A	0.056 V	0.13	1×10^{-3}
500,1800,2100 (c)	4.10 μ A	0.27 V	1.83 μ A	0.06 V	0.11	$0,8 \times 10^{-3}$
500,2100,2800 (d)	1.80 μ A	0.28 V	0.9 μ A	0.1 V	0.2	$0,07 \times 10^{-3}$

**Gambar 3.1** Grafik kurva I-V dengan variasi kecepatan putar *spin coating*

Berdasarkan Tabel 3.1 dan Gambar 3.1, ditunjukkan bahwa dengan menggunakan kecepatan putar sebesar, step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 2000 rpm dapat menghasilkan efisiensi yang terbesar dibandingkan menggunakan kecepatan putar yang lain.

3.2 Pengujian Kecepatan Putar (RPM) *Spin Coating* Dengan Variasi Step 3

Setelah sebelumnya memvariasikan ketiga step kecepatan putar *spin coating* dan didapatkan efisiensi yang terbesar, maka kali ini dilakukan pengujian efisiensi sel surya dengan memvariasikan kecepatan putar *spin coating* pada step 3 sedangkan step 1 dan step 2 dibuat tetap dengan menggunakan step 1 dan step 2 yang menghasilkan efisiensi terbesar dipengujian sebelumnya, yaitu sebesar step 1: 500 rpm dan step 2: 1200 rpm. Masih dengan komposisi larutan, polimer elektrolit, intensitas penyinaran, *ramp* dan *dwell* yang sama seperti sebelumnya, maka didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 3.2 Effisiensi sel surya dengan variasi kecepatan putar *spin coating*

Kecepatan Putar (rpm)	Isc	Voc	Im	Vm	FF	Effisiensi (%)
500,1200,1400	24.4 μ A	0.18 V	4.4 μ A	0.07 V	0.07	$2,2 \times 10^{-3}$
500,1200,1600	26.2 μ A	0.4 V	3.6 μ A	0.1 V	0.035	$2,7 \times 10^{-3}$
500,1200,1800	27 μ A	0.05 V	9.9 μ A	0.02 V	0.15	$1,5 \times 10^{-3}$
500,1200,2000	10 μ A	4 V	2.2 μ A	0.07 V	0.04	$1,2 \times 10^{-3}$
500,1200,2500	5.4 μ A	0.3 V	2.8 μ A	0.11 V	0.17	$2,1 \times 10^{-3}$
500,1200,3000	21 μ A	0.26 V	4.5 μ A	0.08 V	0.07	3×10^{-3}
500,1200,3500	31.6 μ A	0.32 V	9.4 μ A	0.07 V	0.06	5×10^{-3}
500,1200,5000	13 μ A	0.04 V	6.3 μ A	0.02 V	0.22	$0,9 \times 10^{-3}$
500,1200,6000	15.6 μ A	0.17 V	3.6 μ A	0.03 V	0.044	$0,8 \times 10^{-3}$

Berdasarkan Tabel 3.2, ditunjukkan bahwa dengan menggunakan kecepatan putar sebesar, step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm dapat menghasilkan efisiensi yang terbesar dibandingkan menggunakan kecepatan putar yang lain. Gambar grafik kurva I-V pengujian ini akan ditampilkan pada Gambar 3.2 dibawah.

3.3 Pengujian Variasi Konsentrasi TiO₂ Dengan Menggunakan Kecepatan Putar *Spin Coating* Terbaik

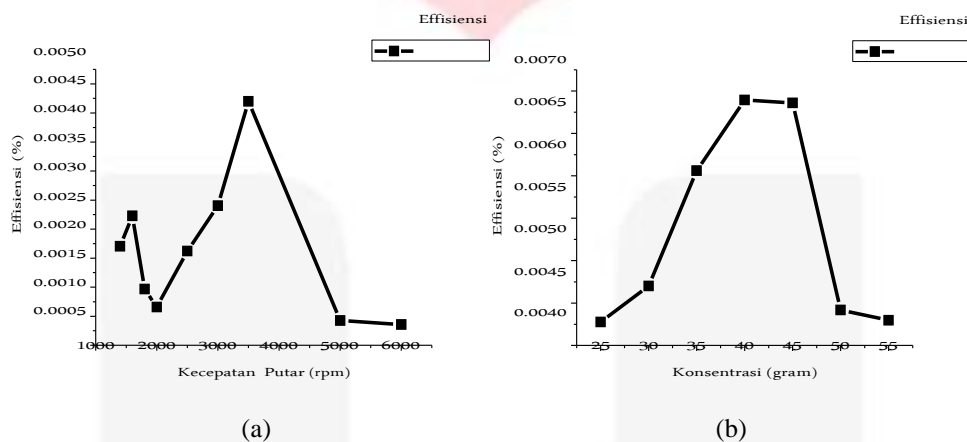
Setelah didapatkan parameter kecepatan putar *spin coating* terbaik dari pengujian sebelumnya, didapatkanlah efisiensi terbesar sebesar 0.005%. Maka dalam pengujian kali ini dilakukan pengujian dengan memvariasikan konsentrasi TiO₂ dari 25 gram hingga 55 gram dengan konsentrasi pelarut yang sama yaitu 20 ml aquades diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan waktu pengadukan untuk konsentrasi 25 gram selama 1 jam, dan untuk setiap kenaikan konsentrasi, waktu pengadukan meningkat 30 menit lebih lama, kecepatan dan suhu pengadukan sebesar

500 rpm dan 0° C. Kemudian larutan dideposisikan diatas FTO menggunakan *spin coating* dengan kecepatan sebesar, step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm. Pengujian dilakukan masih dengan komposisi polimer elektrolit, intensitas penyinaran, *ramp* dan *dwell* yang sama seperti pengujian sebelumnya, didapatkanlah data dibawah ini.

Tabel 3.3 Kinerja sel surya dengan variasi konsentrasi TiO₂

Konsentrasi							Effisiensi
TiO ₂ (gram)	Isc	Voc	Im	Vm	FF	(%)	
25 gram	32.1 μ A	0.23 V	9.1 μ A	0.064 V	0.078	$4,3 \times 10^{-3}$	
30 gram	31.6 μ A	0.32 V	9.4 μ A	0.068 V	0.064	5×10^{-3}	
35 gram	37.4 μ A	0.25 V	9.4 μ A	0.088 V	0.089	6×10^{-3}	
40 gram	34.1 μ A	0.33 V	8.6 μ A	0.108 V	0.084	7×10^{-3}	
45 gram	27.6 μ A	0.46 V	8.9 μ A	0.105 V	0.074	$6,8 \times 10^{-3}$	
50 gram	33.8 μ A	0.16 V	7.7 μ A	0.078 V	0.11	$4,4 \times 10^{-3}$	
55 gram	19.6 μ A	0.27 V	6.6 μ A	0.088 V	0.11	$4,2 \times 10^{-3}$	

Berdasarkan Tabel 3.3, ditunjukkan bahwa dengan menggunakan konsentrasi TiO₂ sebesar 40 gram dapat menghasilkan efisiensi yang terbesar dibandingkan menggunakan konsentrasi yang lain. Perbedaan efisiensi antara 40 gram dan gram tidak terlihat begitu jauh. Gambar grafik kurva I-V pengujian ini akan ditampilkan pada Gambar 3.2 dibawah.



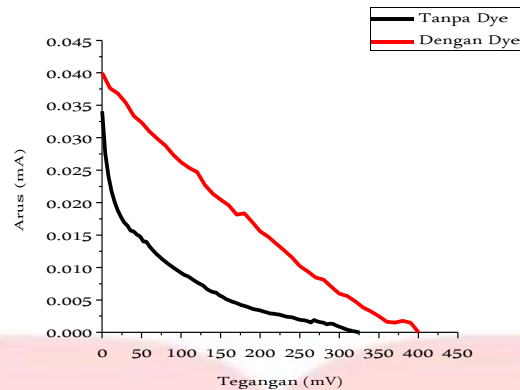
Gambar 3.2 Grafik kurva I-V, (a) variasi kecepatan putar step 3 *spin coating*, (b) variasi konsentrasi TiO₂

3.4 Pengujian Dengan Perendaman Dye Ekstrak Buah Naga Merah

Dari ketiga pengujian sebelumnya yaitu pengujian variasi kecepatan putar *spin coating*, pengujian variasi kecepatan putar *spin coating* dengan step 1 dan step 2 tetap, dan pengujian variasi konsentrasi TiO₂ dengan kecepatan putar tetap, dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan menggunakan kecepatan putar *spin coating* sebesar step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm dan dengan komposisi larutan aktif berupa 40 gram TiO₂ dilarutkan dalam 20 ml aquades dapat menghasilkan efisiensi sel surya terbesar yaitu sebesar 0,007%. Selanjutnya dilakukan perendaman sampel sel surya dengan parameter yang telah disebutkan sebelumnya didalam larutan ekstrak buah naga merah. Sampel sel surya yang terbuat dari 40 gram TiO₂ diputar dengan *spin coating* kecepatan step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm direndam selama 48 jam dalam larutan ekstrak buah naga merah setelah itu sampel dipanaskan selama 5 menit diatas *hotplate* dengan suhu 100° C kemudian sampel dilapisi dengan elektrolit yang terbuat dari 0,18 gram LiOH dilarutkan dalam 10 ml aquades dicampur dengan 1,8 gram PVA yang dilarutkan dalam 20 ml aquades kemudian dikarakterisasi menggunakan Keithley 2400 seperti pada pengujian karakterisasi sebelumnya dengan menggunakan daya masukan (Pin) sebesar 0.014 watt dan luas penampang (A) sebesar 1 cm².

Tabel 3.4 Kinerja sel surya TiO₂ tanpa dan dengan perendaman dye

Sel Surya	Isc	Voc	Im	Vm (V)	FF	Effisiensi (%)
Dengan Dye	41 μ A	0.4 V	18.4 μ A	0.18 V	0.208	0.024
Tanpa Dye	34.1 μ A	0.33 V	8.66 μ A	0.11 V	0.084	0.007

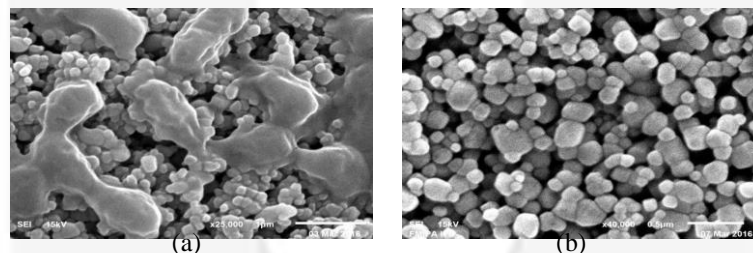


Gambar 3.3 Perbandingan kurva I-V sel surya TiO_2 dengan dan tanpa perendaman dye.

Berdasarkan Gambar 3.3 terlihat perbandingan kurva I-V dari sel surya dengan perendaman *dye* dan sel surya tanpa perendaman *dye*. Dan juga dari data pada tabel 3.4 menunjukkan bahwa dengan menggunakan perendaman *dye* dapat menghasilkan efisiensi yang terbesar dibandingkan tanpa perendaman *dye*. Besar efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya dengan perendaman *dye* sebesar 0.024% dan besar efisiensi yang dihasilkan sel surya tanpa perendaman *dye* sebesar 0.007%.

3.5 Uji SEM dan EDS

Uji SEM ditujukan untuk mengetahui morfologi permukaan sel surya TiO_2 dengan atau tanpa *dye* dan uji EDS ditujukan untuk mengetahui kandungan kimia apa saja yang ada dalam sampel surya TiO_2 dengan atau tanpa *dye*. Sampel yang diuji SEM dan EDS merupakan sampel sel surya TiO_2 dengan konsentrasi dan kecepatan putar *spin coating* yang menghasilkan efisiensi paling besar dan sampel surya TiO_2 dengan perendaman *dye* buah naga merah. Gambar hasil SEM ditunjukkan oleh Gambar 3.4 dibawah ini.



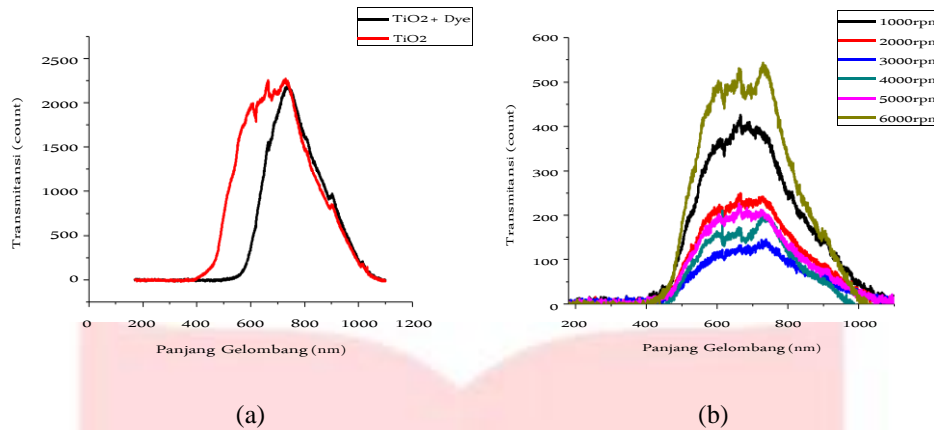
Gambar 3.4 Hasil uji SEM, (a) sampel TiO_2 *dye* buah naga perbesaran 25.000x, (b) sampel TiO_2 tanpa *dye* perbesaran 40.000x.

Pada Gambar 3.4 (a) diatas terlihat bahwa *dye* hanya tumbuh di bagian tertentu sehingga cenderung tidak homogen penyebarannya. Dan untuk saat ini penumbuhan *dye* belum bisa dikontrol penyebarannya. Dari Gambar 3.5 (a) dan 3.5 (b) diatas terlihat jelas perbedaan gambar morfologi antara sampel sel surya TiO_2 dengan perendaman *dye* dan sampel sel surya tanpa perendaman *dye*. Pada gambar sampel surya TiO_2 dengan perendaman *dye*, terlihat ada partikel-partikel besar diatas partikel TiO_2 , partikel-partikel besar tersebut merupakan partikel *dye* buah naga yang tumbuh, dan pada gambar sampel sel surya TiO_2 tanpa perendaman *dye*, terlihat bahwa hanya partikel TiO_2 saja yang tumbuh dan tidak terlihat adanya partikel lain.

Hasil uji EDS menunjukkan bahwa kandungan sel surya yang tersintesisasi *dye* buah naga merah mengandung elemen karbon (C) 26.08%, oksigen (O) 42,83%, dan Titanium (Ti) 31,09%. Sedangkan sel surya TiO_2 tanpa *dye* buah naga merah mengandung elemen diantaranya, nitrogen (N) 6,21%, oksigen (O) 43,06%, dan titanium (Ti) 50,72%. Hasil EDS sampel dengan perendaman *dye* terlihat terdapat kandungan C atau Karbon yang mana unsur karbon didapatkan dari senyawa kimia yang terkandung dalam buah naga, yang mana senyawa kimia tersebut diantaranya, vitamin C, vitamin E, vitamin A, polifenol, dan senyawa flavonoida [9].

3.6 Uji Serapan Cahaya

Uji serapan cahaya dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui spektrum serapan dari material TiO_2 dan TiO_2 yang telah diberi pewarna *dye* buah naga merah, serta untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar step 3 *spin coating* terhadap banyaknya cahaya yang diserap oleh material aktif TiO_2 .



Gambar 3.5 (a) Spektrum serapan sel surya dengan material aktif TiO_2 dan sel surya TiO_2 dengan perendaman *dye* buah naga merah, (b) Kurva transmisi variasi RPM *spin coating*

Pada Gambar 3.5 (a) terlihat besar serapan sel surya TiO_2 murni dengan sel surya TiO_2 dengan perendaman *dye* buah naga merah terjadi pada panjang gelombang 400nm-750nm yang mana cahaya yang diserap pada rentang panjang gelombang tersebut merupakan cahaya tampak berwarna biru, hijau, dan kuning. Berdasarkan kurva diatas, terlihat bahwa buah naga merah terbukti memiliki daya *absorb* pada hampir semua warna pada cahaya tampak. Gambar 3.5 (b) kurva transmisi menunjukkan banyaknya elektron yang ditransmisikan dari setiap sampel. Berdasarkan data diatas, jumlah elektron yang ditransmisikan paling sedikit berada pada kecepatan 3000 rpm dan 4000 rpm, hal ini sebanding dengan besar efisiensi yang dihasilkan, yang mana efisiensi terbesar berada pada kecepatan step 3 sebesar 3500 rpm.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dibuat, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan sel surya dengan berbahan dasar material aktif TiO_2 dipengaruhi putaran *spin coating* dan massa TiO_2 .
2. Putaran *spin coating* dengan step 1: 500 rpm; step 2: 1200 rpm; step 3: 3500 rpm, dan massa TiO_2 sebesar 40 gram, menghasilkan efisiensi terbesar sebesar 0,007%.
3. Perendaman TiO_2 dalam larutan *dye* buah naga selama 48 jam meningkatkan efisiensi sebesar 0,024%.
4. Berdasarkan hasil uji SEM dan EDS, terdapat tambahan komposisi elemen karbon (C) sebesar 26,08% dalam sel surya TiO_2 yang direndam ekstrak buah naga merah.

Daftar Pustaka:

- [1] D. Yulika, Kusumandari, R. Suryana, Pelapisan TiO_2 diatas FTO dengan Teknik Slip Casting dan Spin Coating Untuk Aplikasi DSSC, Jurnal Fisika Indonesia. vol. XVIII (2014) no. 53, 66-69.
- [2] RP. Gumilar, Pengaruh Penyisipan Tembaga Cu Menggunakan Metode Pulse Plating Pada Sel Surya TiO_2 , Universitas Telkom, 2014.
- [3] Hindawi, Prospect of Nanostructure-Based Solar Cells, 2009, <http://www.hindawi.com/journals/ijp/2009/154059/fig5/>.
- [4] B.T. Technical News, Titanium-Oxide Photocatalyst, Three Bond Technical News Issued, Three Bond Co. Ltd, edition 62, 2004.
- [5] A.T. Nasukhah, G. Prajitno, Fabrikasi dan Karakterisasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daging Buah Naga Merah (*Hylocereus Polyrhizus*) Sebagai *Dye Sensitizer*, Jurnal Sains Dan Seni POMITS, vol. 1 (2012) no. 1, 1-6.
- [6] J. Wu, Z. Lan, S. Hao, P. Li, J. Lin, M. Huang, L. Fang, dan Y. Huang, Progress On The Electrolytes For Dye-Sensitized Solar Cells, Pure and Applied Chemistry, vol. 80 (2008) no. 11, 2241-2258.
- [7] A.S. Hidayat, Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO_2 , Universitas Telkom, 2014.
- [8] E.C. Equipment, Spin Coat Theory, 2015, <http://www.utdallas.edu/~rar011300/CEEspinner/SpinTheory.pdf>.
- [9] N.K. Siregar, Karakterisasi Simplisia Dan Skrining Fitokimia Serta Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Buah Naga (*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose), Universitas Sumatera Utara, 2011.