PEMBUATAN SEL SURYA BERBAHAN TITANIUM DIOKSIDA DENGAN PENDEPOSISIAN PERAK MENGGUNAKAN METODE ELEKTROPLATING

FABRICATION OF TITANIUM DIOXIDE BASED SOLAR CELLS WITH SILVER DEPOSITION USING ELECTROPLATING METHOD

Wahyu Kurniawan[1], Mamat Rokhmat[2], Edi Wibowo[3]
[1]Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1]wahyukurniawa@student.telkomuniversity.ac.id, [2]mamat.rokhmat76@gmail.com, [3]edb.telu@gmail.com

Abstrak

Sel surya merupakan pembangkit listrik ramah lingkungan yang memanfaatkan cahaya matahari. Pada perkembangannya, sel surya telah sampai pada generasi ketiga. Penyerapan foton pada sel surya generasi ketiga biasanya menggunakan bahan TiO_2 (Titanium Dioksida) atau ZnO (Seng Oksida). Bahan TiO_2 digunakan dalam penelitian ini karena memiliki kemampuan penyerapan cahaya yang baik dalam kondisi sedikit cahaya dan pada kondisi teduh. Beberapa penelitian menyatakan untuk fotokatalis dan pembuatan sel surya terbaik menggunakan kristalin *anatase*. Namun, TiO_2 *anatase* memiliki energi gap yang besar (3,2 ev) sehingga dibutuhkan pendeposisian logam tertentu dengan tujuan agar efisiensi dapat meningkat. Pada penelitian digunakan pendeposisian partikel Ag karena nilai konduktifitas Ag lebih besar dari Cu dan Au sehingga diharapkan efisiensinya menjadi lebih baik. Pendeposisian TiO_2 pada FTO menggunakan metode *doctor blade* dan pendeposisian partikel Ag pada FTO/TiO_2 menggunakan metode elektroplating. Pendeposisian partikel Ag diharapkan dapat mengurangi laju rekombinasi pada sel surya TiO_2. Massa partikel Ag yang terdeposisi pada FTO/TiO_2 sebanyak 0,001566 gram saat diberikan tegangan sebesar 1,5 volt selama 7 detik. Nilai efisiensi yang didapatkan sel surya TiO_2 adalah 0,00176%, sedangkan nilai efisiensi TiO_2/Ag yang didapatkan adalah sebesar 0,09938% yang menunjukkan kenaikan 56,46 kali lebih baik saat dideposisi partikel Ag.

Kata Kunci: Sel surya TiO_2, $AgNO_3$, LiOH, *doctor blade* dan elektroplating.

Abstract

Solar cells are environmentally friendly power plants that utilize by sunlight. In its development, solar cells have arrived at the third generation. Photon absorption in third generation of solar cells usually used TiO_2 (Titanium Dioxide) or ZnO (Zinc Oxide) materials. TiO_2 material is used in this study because it has good light absorption capability in light conditions and under shaded conditions. Several studies have stated that photocatalysts and the manufacture of the best solar cells use crystalline anatase. However, anatase TiO_2 has a large energy gap (3,2 ev) so that the deposition of certain metals is needed in order to increase efficiency. In this study Cu was replaced with Ag particles because the conductivity value of Ag material is greater than Cu and Au, so it is expected that efficiency can be increased. The deposition of TiO_2 in the FTO using the doctor blade method and the deposition of Ag particles using the electroplating method. The depositing of Ag particle is expected to reduce the recombination in TiO_2 solar cells. The particle mass of Ag which is deposited on FTO/TiO_2 is 0,001566 grams when given a voltage of 1,5 volts for 7 seconds. The efficiency value obtained by TiO_2 solar cells is 0,00176%, while the efficiency value of TiO_2/Ag obtained is 0,09938% which shows an increase of 56,46 times better when deposited by Ag.

Keywords: TiO_2 solar cells, $AgNO_3$, LiOH, doctor blade method and electroplatin.

1. Pendahuluan

Sel surya merupakan pembangkit listrik ramah lingkungan yang memanfaatkan cahaya matahari. Di Indonesia sangat cocok dikembangkan pembangkit listrik sel surya karena letak geografisnya, sehingga daya rata–rata sel surya yang mampu dihasilkan adalah 4 kWh/m^2 [1]. Pada perkembangannya, sel surya telah sampai pada generasi ketiga yaitu sel surya yang berbahan dasar TiO_2 (Titanium Dioksida) dan ZnO (Seng Oksida). Sel surya generasi ketiga seperti DSSC *(Dye Sensitized Solar Cell)*, PSC *(Polymer Solar Cell)*, dan sel surya *perovskite*. Selain dari ketiga jenis sel surya yang ada, terdapat pula sel surya yang hanya menggunakan TiO_2 atau ZnO sebagai bahan dasar pembuatan sel surya dengan deposisi seperti Ag (Perak), Au (Emas), Cu (Tembaga) dan logam lainnya.

TiO_2 pada sel surya generasi ketiga berperan sebagai material aktif yang menyerap energi cahaya matahari menjadi arus listrik [2]. TiO_2 dipilih karena memiliki kemampuan penyerapan cahaya yang baik dalam kondisi sedikit cahaya dan pada kondisi teduh [3]. Cahaya matahari datang akan ditangkap oleh TiO_2 yang merupakan semikonduktor tipe – n dan menyebabkan elektron tereksitasi. Elektron yang tereksitasi akan ditangkap oleh logam yang telah dideposisikan didalam TiO_2 dan akan dialirkan menuju TCO *(Transparent Conductive Oxide).* Permasalahan dari penggunaan material TiO_2 adalah energi *gap* yang besar sekitar 3.2 eV [4, 5, 6]. Efek dari besarnya energi *gap* akan menyebabkan efisiensi dari sel surya menjadi kecil. Dengan masalah yang timbul maka dilakukan pendeposisian logam tertentu yang bertujuan agar transpor elektron hasil eksitasi TiO_2 menjadi lebih baik [2, 7 – 10].

Adapun cara pendeposisian logam pada sel surya TiO_2 adalah dengan menggunakan metode elektroplating, *sputtering, doctor blade dan* menggunakan metode *spin coating.* Pendeposisian partikel Cu pada penelitian sebelumnya dapat meningkatkan efisiensi sel surya TiO_2 [8 – 10]. Pada penelitian yang telah dilakukan, efisiensi yang mampu didapatkan dari sel surya berbahan TiO_2/Cu dengan elektroplating sebesar 0,045% [11] dan pulse plating TiO_2/CuO/Cu

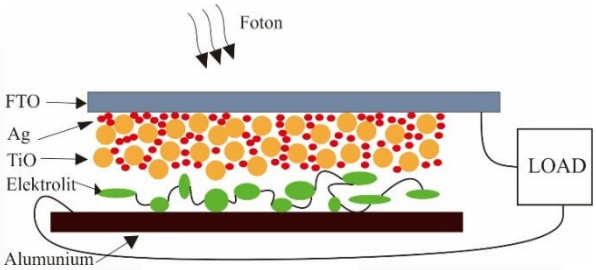
sebesar 2.21% [8]. Pendeposisian partikel Cu menggunakan metode elektroplating terdapat kendala yaitu susah mengontrol banyak dan ukuran partikel Cu yang terdeposisi [9]. Partikel Cu yang menempel pada lapisan TCO yang berlebihan dapat mengurangi proses absorpsi cahaya matahari [11]. Perlu dicoba pendeposisian menggunakan logam lain yang dapat memberikan kemudahan bagi elektron mencapai elektroda tanpa menutupi daya absorbansi TiO_2. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan penggantian pendeposisian parikel Cu dengan partikel Ag yang diharapkan efisiensi sel surya TiO_2 dapat dinaikkan karena konduktifitas partikel Ag lebih baik dari partikel Cu sehingga resistansi partikel Ag lebih kecil dari pada partikel Cu [12] dan harga serbuk Ag tidak terlalu mahal bila dibandingkan dengan harga serbuk Au.

2. Landasan Teori

2.1 Sel Surya TiO_2

TiO_2 merupakan bahan dasar pembuatan sel surya pada penelitian ini. Sel surya TiO_2 masuk kedalam sel surya generasi ketiga dan termasuk sel surya fotoelektrokimia. Susunan sel surya ini biasanya menggunakan TCO seperti ITO (*Indium tin oxide*) atau FTO *(florine-doped Tin Oxide)*. Perbedaan mendasar antara sel surya TiO_2 dan sel surya p–n *junction* adalah pada hasil penyerapan cahayanya. Pada sel surya TiO_2, lapisan penyerap cahaya (foton) terpisah dengan lapisan pembawa muatannya (elektron). Eksitasi elektron pada sel surya berbahan TiO_2 terjadi pada lapisan penyerap foton, selanjutnya diinjeksi pada lapisan pembawa elektron [13]. Hal penting yang harus dilihat dalam peningkatan efisiensi sel surya berdasarkan prinsip *photovoltaic* adalah proses penyerapan cahaya pada pembentukan keadaan tereksitasi pasangan elektron–*hole*, proses difusi elektron, proses pemisahan muatan eksiton dan proses *transport* elektron kekatoda maupun proses *transport hole* ke anoda.

Pada penelitan ini, sel surya yang akan dikembangkan adalah sel surya berbahan dasar TiO_2. Namun, TiO_2 memiliki *bandgap* sebesar 3,2eV [4, 5]. Selain itu, TiO_2 murni mempunyai efisiensi absorpsi yang kecil sekitar 5% [6, 14]. Besarnya *bandgap* dan kecilnya efisiensi absorpsi menyebabkan laju rekombinasi pada sel surya menjadi tinggi sehingga efisiensi dari sel surya kecil. Untuk memperbesar *transport* elektron dan memperkecil laju rekombinasi dapat dilakukan pendeposisian partikel Ag pada TiO_2 dengan metode elektroplating. Pendeposisian logam pada sel surya TiO_2 berfungsi sebagai jembatan elektron menuju elektrodanya [2, 7 – 10]. Dengan begitu proses rekombinasi elektron–*hole* dapat berkurang. Adapun struktur sel surya yang akan dibuat pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.1 Struktur sel surya.

Ketika foton yang diterima oleh sel surya cukup besar maka elektron TiO_2 akan tereksitasi. Elektron yang tereksitasi akan ditangkap oleh Ag yang telah dideposisi pada TiO_2 sehingga mengurangi rekombinasi pada saat elektron menuju elektroda. Saat elektron meninggalkan *hole*, *hole* tersebut akan ditangkap oleh polimer elektrolit dan akan menjadi ion. Saat *hole* menjadi ion akan terbentuk beda potensial, sehingga ion akan bergerak menuju *counter electrode* [15]. Setelah itu, elektron yang mengalir dari FTO akan diteruskan sampai *counter electrode* yang berbahan alumunium dan akan bertemu ion pada bagian elektrolit sehingga akan terjadi rekombinasi.

2.2 Doctor Blade

Pada penelitian ini digunakan metoda *doctor blade* dalam pelapisan TiO_2 pada TCO. Pelapisan TiO_2 pada TCO dengan *doctor blade* tergolong mudah dan cepat. Substrat TCO disiapkan pada cetakan lalu diberikan larutan TiO_2 pada salah satu sisi TCO. Setelah itu, menggunakan batang pengaduk yang rata untuk meratakan TiO_2 dengan arah horizontal atau vertikal. Ketika telah terdeposisi TiO_2 substrat FTO dipanaskan dengan *hot plate* atau kompor pemanas dengan tujuan supaya kadar air dalam TiO_2 menghilang.

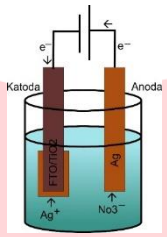
2.3 Elektroplating

Elektroplating merupakan salah satu metoda yang dapat digunakan dalam pelapisan logam pada substrat konduktif dengan proses elektrolisis menggunakan bantuan arus listrik dan senyawa kimia. Metode elektroplating merupakan cara pendeposisian logam yang mudah dilakukan namun susah dalam mengontrol jumlah dan ukuran logam yang tedeposisi [9]. Ketika akan melakukan elektroplating, logam atau substrat yang ingin dilapisi logam tertentu terletak pada bagian katoda. Untuk anoda pada proses elektroplating digunakan logam yang sama dengan logam yang terdapat pada senyawa kimia yang akan dielektroplating. Proses elektroplating akan mengubah sifat fisik dan mekanik suatu material. Perubahan fisik ketika material dilapis dengan Ag adalah bertambahnya daya tahan material tersebut terhadap korosi dan meningkatnya kapasitas konduktifitasnya. Sedangkan untuk sifat mekanik, perubahan kekuatan material sesudah terlapisi partikel Ag akan lebih baik dari pada sebelum terlapisi.

Adapun tujuan umum dari elektroplating adalah untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya, melindungi logam agar tidak mudah korosi dan memperindah logam itu sendiri. Proses elektroplating membutuhkan sumber tegangan DC untuk memecah suatu struktur kimia. Adapun persamaan untuk mengetahui berapa banyak massa yang dapat diendapkan dalam proses elektroplating dapat menggunakan persamaan:

$$m = \frac{I.t.Ar}{z.F} \quad (1)$$

Dimana:
m = Massa material yang endapkan (gram).
I = Arus yang mengalir (Ampere).
t = Waktu (second).
A_r = Massa atom relative logam pelapis (gram).
z = Elektron valensi logam pelapis.
F = Bilangan Faraday (96.500 Columb).
Untuk ilustrasi proses elektroplating perak dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.2 Ilustrasi proses elektroplating.

Pada bagian anoda diberikan logam perak dan pada bagian katoda diberikan FTO yang terlapisi TiO_2. Logam anoda dan katoda dicelupkan pada larutan $AgNO_3$ (Perak Nitrat). Adapun reaksi kimia yang terjadi ketika serbuk $AgNO_3$ dilarutkan dalam aquades sebagai berikut.

$AgNO_3(s) + H_2O(\ell) \leftrightharpoons Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$ (2)
Reaksi Oksidasi: $Ag \longrightarrow Ag^+ + e^-$ (3)
Reaksi Reduksi: $NO_3 + e^- \longrightarrow NO_3^-$ (4)

Selanjutnya elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan DC supaya terjadi perpindahan logam yang terdapat dalam larutan $AgNO_3$. Ketika $AgNO_3$ telah larut maka terbentuk Ag^+ dan akan mengalir pada katoda, sedangkan NO_3^- yang terbentuk akan menuju anoda.

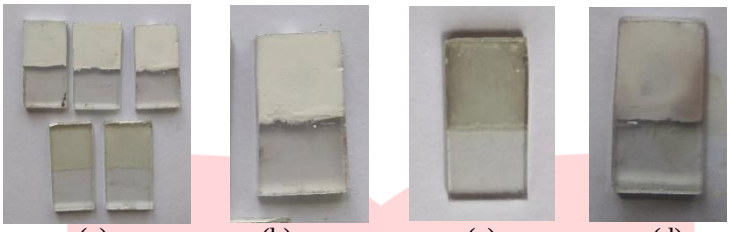
3. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini TiO_2 yang digunakan adalah *anatase (technical grade)* yang didapatkan dari Brataco Chemical, Bandung, Indonesia. Perak Nitrat ($AgNO_3$) didapatkan dari Hu – Tam Chemical, Bogor, Indonesia. Etanol 70%, aquades dari Sakura, Indonesia. Alumunium didapatkan dari aplikasi Bukalapak, Polyvinyl Alcohol (PVA), Lithium hidroksida (LiOH) dari Kanto Chemical Japan dan Fluorin Tin Oxide (FTO) dari Solaronix, Swiss. Pertama FTO dicuci dengan sabun dan dibilas dengan air yang bertujuan untuk menghilangkan partikel yang menempel pada FTO. Setelah itu, sonikator digunakan untuk mencuci FTO agar partikel – partikel kecil yang menempel pada substrat FTO yang sulit terlepas dapat lepas. Partikel – partikel kecil yang menempel pada substrat FTO perlu dihilangkan karena depat mengurangi atau mempengaruhi efisiensi sel surya yang dibuat. Alat ini bekerja dengan mengeluarkan frekuensi 30 kHz atau lebih sehingga dapat meluruhkan partikel yang menempel pada substrat. Pada penelitian ini, FTO direndam dalam aquades dan berikan sonikasi selama 30 menit. Setelah selesai, aquades diganti dengan etanol dengan konsentrasi 70% dan diberikan sonikasi selama 30 menit. Langkah selanjutnya ethanol diganti dengan aquades dan sonikasi kembali selama 30 menit. Setelah selesai, substrat FTO dikeringkan dan disimpan pada tempat yang tertutup dan bersih. Pendeposisian TiO_2 pada substrat FTO menggunakan metode doctor blade dengan melarutkan TiO_2 serbuk kedalam aquades dengan perbandingan 1:1 yaitu 10 gram TiO_2 dilarutkan kedalam 10 mililiter aquades . Setelah TiO_2 terdeposisi pada substrat FTO dengan metode *doctor blade* maka dilakukan pendeposisian partikel Ag dengan metode elektroplating. Larutan Ag didapatkan dari sebruk $AgNO_3$ yang dilarutkan kedalam aquades dengan perbandingan 3 gram $AgNO_3$ dilarutkan kedalam 100 ml aquades. Pada penelitian ini sebanyak 0,2 molar $AgNO_3$ digunakan dalam proses elektroplating. Larutan elektrolit dibuat dari campuran PVA dan LiOH dengan cara melarutkan terlebih dahulu PVA sebanyak 1,8 gram kedalam 20 ml aquades dengan suhu 70^0C dan melarutkan LiOH sebanyak 0,18 gram kedalam 10 ml aquades. Ketika PVA telah homogen, LiOH dicampurkan kedalam PVA dengan suhu yang sama 70^0C. Langkah selanjutnya adalah melumaskan elektrolit pada TiO_2 yang telah terdeposisi Ag dan menambah counter elektroda pada bagian bawah sel surya.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Elektroplating Sel Surya TiO_2/Ag

Pada sel surya berbahan dasar TiO_2, penambahan partikel Ag berfungsi sebagai jembatan untuk migrasi elektron sehingga rekombinasi dengan hole dapat ditekan karena elektron yang mengalir didalam partikel Ag akan diteruskan sampai elektroda. Metode yang dilakukan untuk pendeposisian partikel Ag pada lapisan sel surya adalah dengan elektroplating. Dalam penelitian ini, larutan $AgNO_3$ yang dibuat sebesar 0,2 molar. Pada saat elektroplating dilakukan pemberian tegangan yang berbeda – beda dengan nilai 0,5 volt, 1 volt, 1,5 volt, 2 volt, dan 2,5 volt dengan waktu yang sama yaitu 5 detik. Tidak hanya itu, untuk menambah atau mengetahui waktu yang terbaik saat elektroplating maka diambil satu data dari data yang telah ada dan mengulanginya lagi dengan memberikan waktu yang berbeda. Adapun waktu yang diberikan adalah 3, 5, 7 dan 9 detik dengan tegangan yang sama yaitu 1,5 volt. Untuk mengetahui TiO_2 sebelum pendeposisian Ag dapat dilihat pada gambar 4.1

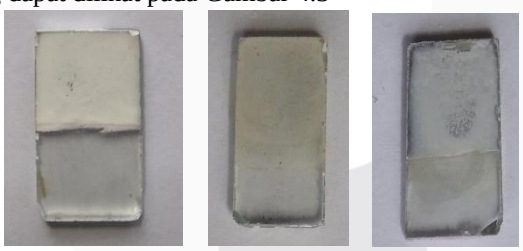


(a) (b) (c) (d)

Gambar 4.1 (a) FTO/Ag sebelum elektroplating (b) FTO/Ag setelah elektroplating dengan tegangan 0,5 volt dan waktu selama 5 detik (c) 1,5 volt dan waktu selama 5 detik (d) 2,5 volt dan waktu selama 5 detik.

Pada Gambar 4.1 (a) terlihat bahwa warna TiO_2 terlihat putih cerah. Ketika diberikan pendeposisian Ag seperti pada Gambar 4.1 (b – c) TiO_2 yang telah terdeposisi pada FTO menjadi sedikit kehitaman. Dengan demikian disimpulkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin banyak pula partikel Ag yang menempel pada FTO/TiO_2. Hal ini terjadi karena saat diberikan tegangan yang besar maka arus yang mengalir pada FTO/TiO_2 juga semakin besar. Ketika arus yang mengalir menjadi besar maka elektron yang mengalir berlawanan dengan arah arus akan semakin besar sehingga partikel Ag yang terlapisi pada FTO/TiO_2 akan semakin banyak.

Namun permasalahan yang timbul ketika partikel Ag terlalu banyak menempel pada bagian konduktif FTO akan mengakibatkan TiO_2 lepas dari FTO. Tidak hanya itu, jika terlalu banyak partikel Ag yang menempel pada FTO dapat membuat absorpsi sinar matahari pada TiO_2 akan terganggu sehingga efisiensi sel surya akan menurun. Dengan permasalahan tersebut dicari waktu optimal saat elektroplating. Pada percobaan kedua dilakukan pendeposisian Ag dengan perbedaan waktu yang dapat dilihat pada Gambar 4.3



(a) (b) (c)

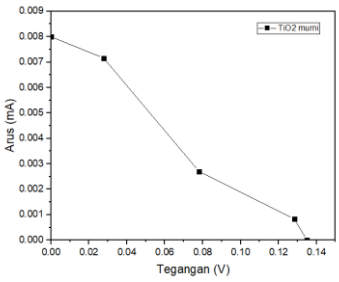
Gambar 4.2 FTO/Ag setelah elektroplating dengan lama waktu (a) 3 detik dengan tegangan sebesar 1,5 volt (b) 7 detik dengan tegangan sebesar 1,5 volt. (c) 9 detik dengan tegangan sebesar 1,5 volt.

Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu elektroplating yang diberikan akan mengakibatkan warna TiO_2 menjadi kusam. Kasus ini sama dengan yang terjadi ketika saat diberikan tegangan yang berbeda. Hal ini dapat terjadi karena semakin lama waktu yang diberikan akan mengakibatkan semakin banyak peluang Ag yang menyisip dalam bagian konduktif FTO.

4.2 Hasil Karakterisasi I – V Sel Surya TiO_2/Ag

4.2.1 TiO_2 Tanpa Pendeposisian Logam Ag

Untuk mengetahui karakteristik TiO_2 sebelum pendeposisian partikel Ag maka dilakukan pengujian I – V sehingga didapat grafik perbandingan arus dan tegangan yang mampu dihasilkan dari TiO_2 murni. Pada pengujian, diberikan radiasi oleh lampu halogen sebesar 120 W/m_2 dan dengan luas alas dari sel surya yang dibuat adalah 1 cm^2 maka didapatkan daya awal sebesar 12 mW. Adapun hasil dari pengujian I – V dari TiO_2 tanpa deposisi Ag dapat dilihat dari Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik I – V TiO_2 sebelum ditambah dengan Ag.

Setelah mengetahui respon kinerja sel surya TiO_2 tanpa pendeposisian partikel Ag, langkah selanjutnya adalah melihat korelasi grafik arus dengan tegangan pada Tabel 4.1

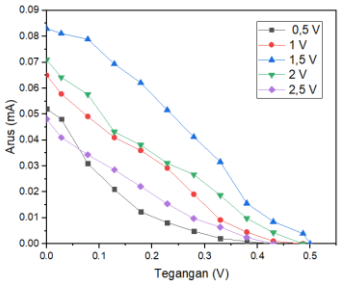
Tabel 4.1 Hasil uji coba I – V TiO_2 sebelum deposisi logam Ag.

Voc (V)	Isc (mA)	Pout Imax xVmax (mW)	Pin (mW)	FF	Efisiensi (%)
0,078	0,0027	0,000211	12	0,195	0,0175

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat nilai efisiensi terbaik dari sel surya TiO_2 sebelum dilakukan pendeposisian logam Ag pada penelitian ini sebesar 0,0175 % dengan nilai *Fill Factor* sebesar 0,195.

4.2.2 Pengaruh Perbedaan Tegangan Elektroplating Terhadap Kinerja Sel Surya

Setelah mengetahui hasil dari sel surya TiO_2 tanpa pendeposisian partikel Ag maka selanjutnya dilakukan pendeposisian partikel Ag pada sel surya. Diharapkan hasil efisiensi dari sel surya TiO_2 yang telah disisipi partikel Ag dapat meningkat. Untuk melihat pengaruh pendeposisian partikel Ag pada sel surya TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik I – V sel surya TiO_2 setelah dilakukan pendeposisian Ag dengan variasi tegangan.

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa setelah dilakukan pendeposisian prtikel Ag nilai Isc dan Voc sel surya meningkat secara pesat. Untuk mengetahui hasil efisiensi dan *fill factor* terbaik dari sel surya TiO_2 yang dideposisi partikel Ag dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil I – V sel surya TiO_2 setelah disisipi Ag dengan waktu selama 5 detik.

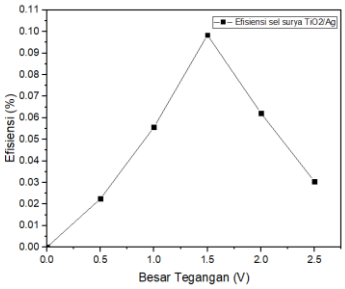
Tegangan (V)	Voc (V)	Isc (mA)	Vm (V)	Im (mA)	Pin (mW)	FF	Efisiensi (%)
0.5	0,43	0,052	0,1283	0,021		0,12054	0,02246
1	0,45	0,065	0,2289	0,0292		0,22851	0,05570
1.5	0,50	0,083	0,2289	0,0516	12	0,28461	0,09843
2	0,486	0,071	0,2791	0,0267		0,21590	0,06212
2.5	0,43	0,048	0,1786	0,0221		0,19086	0,03048

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa efisiensi sel surya tebesar adalah saat 1,5 volt. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa antara generasi dan migrasi elektron dan hole terbaik terjadi saat dilakukan elektroplating dengan tegangan 1,5 volt selama 5 detik. Untuk menghitung seberapa banyak masa partikel Ag yang terdeposisi dapat menggunakan rumus:

$$m = \frac{I.t.Ar}{z.F} \quad (5)$$

Dimana pada saat diberikan tegangan 1,5 volt dengan waktu 5 detik arus yang keluar berkisar 0.2 ampere. Nilai masa atom relatif dari Ag adalah 108 dengan elektron valensinya bernilai 1 dan bilangan faraday 96.500 Columb sehingga akan

didapatkan masa yang terdeposisi pada FTO/TiO_2 sebanyak 0.00111917 gram. Adapun peluang penggunaan tegangan diperkecil dan waktu dibuat lama akan memberikan efek yang sama ketika tegangan diperbesar dan waktu diperkecil. Ini dapat terjadi karena yang mempengaruhi jumlah massa partikel yang terdeposisi adalah besar arus yang mengalir dan lama waktu yang diberikan saat elektroplating. Sehingga jika waktu diperpanjang dan tegangan diperkecil akan mendapatkan hasil yang sama ketika waktu dipercepat dan tegangan diperbesar. Untuk melihat kenaikan dan penurunan efisiensi dari sel surya TiO_2 dapat dilihat dari Gambar 4.6

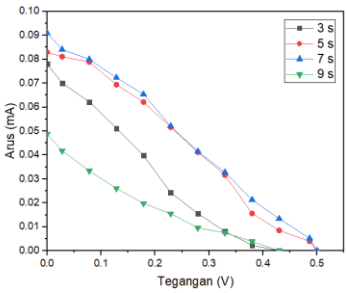


Gambar 4.5 Efisiensi sel surya TiO_2 setelah disisipi Ag selama 5 detik.

Dari grafik diatas terlihat bahwa saat TiO_2 diberikan pendeposisian partikel Ag, efisiensi yang dihasilkan naik dari 0,02246% menjadi 0.09843%. Setelah itu, efisiensi sel surya menurun kembali sampai 0,03048% karena untuk generasi elektron dan hole terhalang oleh partikel Ag yang menempel pada TCO.

4.2.3 Pengaruh Perbedaan Waktu Elektroplating Terhadap Kinerja Sel Surya

Setelah diketahui tegangan sebesar 1,5 volt dengan waktu pendeposisian 5 detik menghasilkan efisiensi yang terbaik selanjutnya dilakukan percobaan dengan memberikan perbedaan waktu dengan tegangan tetap. Adapun hasil dari percobaan kali ini dapat dilihat pada Gambar 4.6



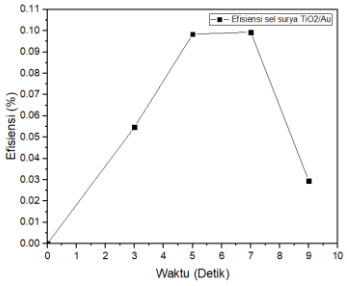
Gambar 4.6 Grafik I – V sel surya TiO_2 setelah dilakukan pendeposisian Ag dengan variasi waktu.

Dari Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa sel surya terbaik saat diberikan waktu 7 detik dan tegangan sebesar 1,5 volt. Adapun nilai efisiensi dan *fill factor* terbaik dari setiap percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil I – V sel surya TiO_2 setelah disisipi Ag dengan tegangan sebesar 1,5 volt.

Waktu (s)	Voc (V)	Isc (mA)	Vm (V)	Im (mA)	Pin (mW)	FF	Efisiensi (%)
3	0,43	0,0781	0,17863	0,0398	12	0,21169	0,05476
5	0,50	0,083	0,2289	0,0516		0,28461	0,09843
7	0,50	0,091	0,2289	0,521		0,2621	0,09938
9	0,43	0,0488	0,2289	0,0155		0,16908	0,02947

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa efisiensi sel surya tebesar adalah saat 7 detik. Dengan begitu dapat disimpulkan bahwa antara generasi dan migrasi elektron dan hole terbaik terjadi saat dilakukan elektroplating dengan tegangan 1,5 volt selama 7 detik. Banyak partikel Ag yang terdeposisi saat diberikan tegangan 1,5 volt selama 7 detik adalah 0,001566 gram. Untuk kenaikan dan penurunan efisiensi dari sel surya TiO_2 dapat dilihat dari Gambar 4.8



Gambar 4.7 Efisiensi sel surya TiO_2 setelah disisipi Ag dengan tegangan 1,5 volt.

Nilai efisiensi tertinggi yang didapatkan pada percobaan kedua adalah saat 7 detik. Ini menunjukkan bahwa rekombinasi elektron – *hole* yang terjadi lebih sedikit dari pada saat diberikan waktu elektroplating selama 5 detik.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Pengaruh perbedaan tegangan yang diberikan saat elektroplating dapat menaikkan efisiensi sel surya dari 0,00176% sebelum elektroplating menjadi 0,09843% setelah elektroplating dengan tegangan yang diberikan sebesar 1,5 v selama 5 s. Efisiensi kembali menurun menjadi 0,03048% saat diberikan tegangan 2,5 volt selama 5 s Ini menunjukkan bahwa massa maksimum partikel Ag yang terdeposisi sebanyak 0,00119 gram. Lebih dari itu proses generasi elektron akan terganggu karena absorpsi foton terhalang partikel Ag yang menempel pada substrat FTO.
2. Pengaruh perbedaan waktu yang diberikan saat elektroplating akan sama seperti saat diberikan perbedaan tegangan yaitu semakin lama waktu elektroplating semakin banyak pula partikel Ag yang terdeposisi. Untuk efisiensi terbaik adalah sebesar 0,09938% saat 1,5 volt selama 7 s dan banyaknya partikel Ag yang terdeposisi adalah 0,001566 gram.
3. Kinerja efisiensi sel surya akan naik dari 0,00176% menjadi 0,09938% dengan pendeposisian partikel Ag saat diberikan tegangan 1,5 v selama 7 s.

5.2. Saran

Adapun saran yang diberikan untuk memperbaiki dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Penggantian metode *doctor blade* menjadi *spraying*, *spin coating* karena dengan metode tersebut TiO2 yang terdeposisi pada substrat FTO akan lebih homogen.
2. Penambahan semikonduktor tipe – p sehingga efisiensi sel surya dapat dinaikkan.
3. Metode elektroplating mempunyai kekurangan jika tegangan yang diberikan terlalu besar dan waktu yang diberikan terlalu lama dapat mengakibatkan efisiensi sel surya menurun sehingga perlu diganti dengan metode lain seperti sputtering.

6. Daftar Pustaka

[1] Icare-indonesia. “Kajian Potensi Energi Surya di Indonesia”. [Online] Available at: https://icare-indonesia.org/kajian-potensi-energi-surya-di-indonesia-2/ [Accesed 6 April 2018]

[2] D. Y. Rahman, M. Rokhmat, E. Yuliza, E. Sustini, and M. Abdullah, “New design of potentially low-cost solar cells using TiO_2/graphite composite as photon absorber,” *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, **7** (2016) pp.289–296.

[3] G. Phani, G. Tulloch, D. Vittorio, and I. Skryabin, “Titania solar cells: new photovoltaic technology,” *Renew. Energy*, vol. 22, no. 1, pp. 303–309, 2001.

[4] A. Mills and S. Le Hunte, “An overview of semiconductor photocatalysis,” *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 108, no. 1, pp. 1–35, 1997.

[5] A. L. Linsebigler, G. Lu, and J. T. Yates, “Photocatalysis on TiO_2 Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results,” *Chem. Rev.*, vol. 95, no. 3, pp. 735–758, 1995.

[6] P. Rita, “Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011,” pp. 453–462, 2011.

[7] M. Rokhmat, E. Wibowo, Sutisna, E. Yuliza, Khairurrijal and M. Abdullah. "Enhancement of TiO_2 Particles Based-Solar Cells Efficiency by Addition of Copper(II) Nitrate and Post-Treatment with Sodium Hydroxide, *Advanced Materials Research*, 1112 (2015) pp.245-250.

[8] M. Rokhmat, Sutisna, E. Wibowo, Khairurrijal, and M. Abdullah, "Efficiency enhancement of TiO_2 (active material) solar cell by inserting copper particles grown with pulse voltage electroplating method," *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 100, pp. 92–100, 2017.

[9] M. Rokhmat, Sutisna, E. Wibowo, Khairurrijal, and M. Abdullah, "Performance Improvement of TiO_2/CuO Solar Cell by Growing Copper Particle Using Fix Current Electroplating Method". *Procedia Engineering*, *170*, 72–77. 2017

[10] M. Rokhmat, Sutisna, E. Wibowo, Khairurrijal, and M. Abdullah, "Development of a Low-Cost TiO_2/CuO/Cu Solar Cell by using Combined Spraying and Electroplating Method. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, *50*(1), 92–101. 2018

[11] R. P. Gumilar, M. Rokhmat, and E. Wibowo, "Pengaruh Penyisipan Tembaga Menggunakan Metode Pulse Plating Pada Sel Surya TiO_2". *1*(1), 511–515. 2014

[12] W. H. Hyat, and J. A. Buck "Engineering Electromagnetics 8th Edition ". 2012.

[15] D. Puspitasari, "Studi Pengembangan Sel Surya Cu/CuO/TiO_2 Menggunakan Metode Spray dan Electroplating". Bandung: Universitas Telkom.

[16] D. K. Panda, "Nanostructured organic solar cells". University of Wollongong p. 245, 2011.