

## PENGARUH PENYISIPAN TEMBAGA Cu MENGGUNAKAN METODE PULSE PLATING PADA SEL SURYA TiO<sub>2</sub>

Ramadan Pratama Gumilar<sup>1</sup>, Mamat Rokhmat, MSi<sup>2</sup>, Edy Wibowo, MSc<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>[Ramadanpratama1@gmail.com](mailto:Ramadanpratama1@gmail.com), <sup>2</sup>[mamat.rokhmat76@gmail.com](mailto:mamat.rokhmat76@gmail.com), <sup>3</sup>[edywibowo86@yahoo.com](mailto:edywibowo86@yahoo.com)

### Abstrak

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh penyisipan logam tembaga pada sel surya organik. Penyisipan logam Cu pada lapisan TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode pulse plating pada variasi tegangan dan duty cycle. Material TiO<sub>2</sub> yang dicampurkan dengan aquades lalu dideposisikan pada FTO menggunakan metode spray. Lapisan TiO<sub>2</sub> disisipi logam tembaga Cu dengan metode pulse plating sehingga membentuk lapisan kontak logam yang menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju elektroda (FTO). Polimer elektrolit digunakan sebagai transport hole yang tersusun atas campuran LiOH dan PVA. Struktur sel surya yang telah dibuat dikarakterisasi dengan menggunakan I-V meter Keithley 617 untuk mengetahui performansi sel surya. Karakteristik I-V menunjukkan terjadi peningkatan efisiensi sel surya TiO<sub>2</sub> disisipi logam Cu dengan pulse plating sebesar 0,147% dibandingkan dengan sel surya TiO<sub>2</sub> disisipi logam Cu dengan elektroplating sebesar 0,04%.

Kata kunci: TiO<sub>2</sub>, pulse plating, pulse reverse elektrodeposisi, metode spray

### Abstract

This research studied the effect of metallic copper inserted in organic solar cells. Insertion of Cu on TiO<sub>2</sub> layer using pulse plating method on duty cycle and voltage variations. TiO<sub>2</sub> material is mixed with distilled water and then deposited on FTO using a spray method. TiO<sub>2</sub> layer inserted metallic copper Cu with pulse plating method to form a metal contact layer for electrons to flow faster to the electrode (FTO). Polymer electrolyte was dedicated as a hole transport is composed of a mixture of LiOH and PVA. Structure of Solar cell has been characterization by using a Keithley 617 IV meter to determine the performance of solar cell. IV characteristics showed an increase in the efficiency of solar cells with TiO<sub>2</sub> inserted Cu using pulse plating at 0.147 % compared with TiO<sub>2</sub> solar cells inserted Cu using electroplating at 0.04 %.

Keywords: TiO<sub>2</sub>, pulse electrodeposition, pulse reverse electrodeposition, spray method.

### 1. Pendahuluan

Untuk memenuhi kebutuhan energi, diperlukan sumber energi yang terbarukan yang berlimpah dan ramah lingkungan. energi cahaya matahari merupakan sumber energi yang menghasilkan satu kilowatt(1KW) per meter persegi per jam [1]. Piranti yang mengubah energi cahaya menjadi listrik adalah sel surya, Dye Sensitized Solar Cell merupakan perkembangan generasi sel surya yang memiliki kelebihan pada harga produksi murah, dan ramah lingkungan. material yang umum digunakan pada DSSC adalah TiO<sub>2</sub>, namun material ini memiliki celah pita lebar (3,2 -3,8 eV) dan penyerapan yang kecil sebesar 5%.

Terdapat cara untuk meningkatkan kualitas DSSC dengan penyisipan logam melalui elektroplating [2]. Metode ini bertujuan membuat kontak logam sehingga meningkatkan transport elektron hasil eksitasi TiO<sub>2</sub>. Namun proses penyisipan logam ini memiliki kekurangan pada kontrol jumlah logam yang disisipkan sehingga mengurangi penyerapan foton. Pada penelitian ini dilakukan penyisipan logam pada DSSC melalui pulse plating yang diharapkan mampu mengontrol jumlah logam yang terdepositasi dan meningkatkan performansi sel surya.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Sel Surya Organik

Sel surya organik adalah sel surya yang tersusun dari material donor-acceptor organik seperti indium tin oxide (ITO) dan logam dengan work function rendah seperti Ca, Al, dan Mg. Hasil penyerapan sel surya organik berupa eksiton yaitu ikatan pasangan elektron-hole akibat penyerapan photon, hal ini terjadi karena semikonduktor organik memiliki energi ikat sekitar 10meV- 100meV[3].

Material yang umum dikembangkan pada sel surya adalah TiO<sub>2</sub>. Titania murni memiliki pita energi lebar sebesar 3,2 -3,8 eV dan hanya mampu menyerap 5% dari energi cahaya matahari pada daerah panjang gelombang ultraviolet. Besarnya pita energi ini mengakibatkan efisiensi sel surya bernilai rendah. Untuk mengurangi laju rekombinasi pada sel surya, dapat dilakukan dengan penyisipan logam[9]. Penyisipan logam pada sel surya TiO<sub>2</sub> bertujuan untuk menjembatani elektron sehingga meningkatkan transport elektron menuju sirkuit luar.

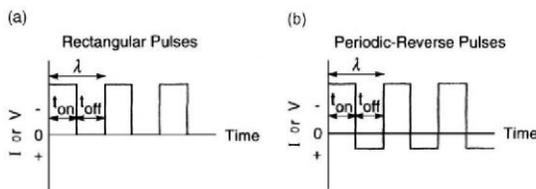
### 2.2 Elektroplating

Elektroplating adalah proses pelapisan logam pada substrat konduktif dengan proses elektrolisis. Proses ini menguraikan senyawa kimia dalam larutan elektrolit dengan mengalirkan arus searah (DC)[4]. Elektroplating dapat dijelaskan dengan hukum Faraday yaitu :

1. Massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus/ arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut.
2. Massa dari masing-masing zat yang diendapkan pada masing-masing elektroda (terbentuk pada masing-masing elektroda) oleh jumlah arus listrik yang sama sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat tersebut.

2.4 Pulse plating

Pulse plating merupakan salah satu metode dalam elektroplating, metode ini mengolah arus atau tegangan searah menjadi pulsa seperti pada Gambar 2. Metode pulse plating diharapkan dapat mengatur jumlah logam yang disisipkan pada sel surya TiO<sub>2</sub> dengan mengatur besar duty cycle dibandingkan dengan metode elektroplating DC yang memiliki kelemahan pada sisi pengendalian jumlah logam yang tidak terkontrol sehingga menghalangi penyerapan foton oleh Titania[5]. Penyisipan ini dilakukan dengan perangkat pulse plating dengan pengaturan nilai duty cycle.



Gambar 2 waveform pada pulse plating : (a) Rectangular pulses (b) Periodic reverse pulses [3].

3. PERANCANGAN SISTEM

3.1 Perancangan Perangkat Pulse plating

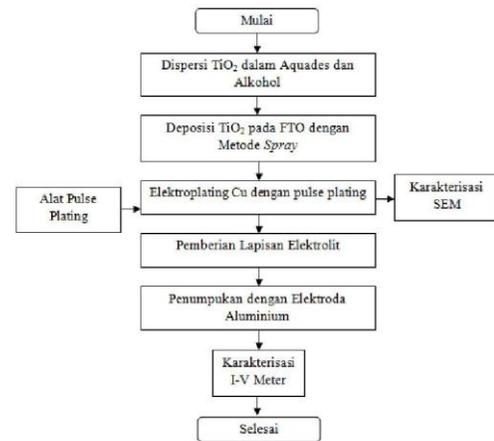
Perancangan perangkat dilakukan dengan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak yang kemudian dianalisis dan diuji hasil keluaran berdasarkan parameter beban, duty cycle, tegangan, dan frekuensi. Diagram blok perancangan perangkat diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Blok diagram prosedur perancangan perangkat.

3.2 Perancangan Sistem Sel Surya

Sel surya tersusun dari lapisan FTO, lapisan TiO<sub>2</sub> dengan metode spray dan disisipkan tembaga dengan metode pulse plating, lapisan polimer elektrolit, dan lapisan counter elektroda. Pengujian karakteristik I-V dilakukan pada piranti ini. Prosedur perancangan sel surya seperti pada gambar 3.2.

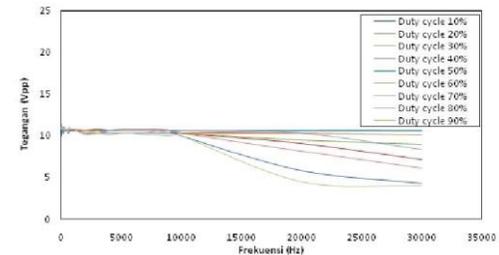


Gambar 4 Blok diagram prosedur perancangan sel surya.

4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Daerah Operasional Kerja Frekuensi

Gambar 5 menjelaskan hasil pengujian frekuensi keluaran perangkat pulse plating dengan variasi duty cycle 10%-90%, beban 100kΩ, dan tegangan sebesar 10,8V

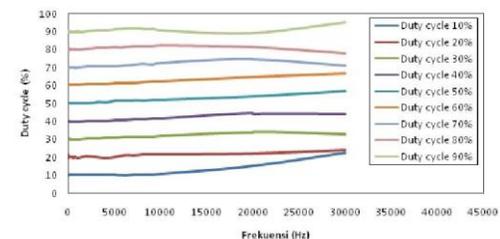


Gambar 5 Pengujian Tegangan Output terhadap Frekuensi.

Berdasarkan data yang didapatkan, frekuensi keluaran stabil pada rentang 100 Hz -1 kHz dan terjadi penyimpangan pada frekuensi diatas 1 kHz. Hal ini karena frekuensi diatas 1 kHz memiliki nilai resolusi kecil akibat keterbatasan spesifikasi alat.

4.2 Daerah Operasional Kerja Duty cycle

Gambar 6 menjelaskan hasil pengujian duty cycle keluaran perangkat pulse plating dengan variasi duty cycle 10%-90%, beban 100kΩ, dan tegangan sebesar 10,8V

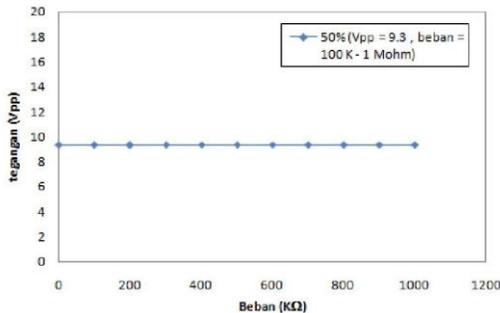


Gambar 6 Pengujian Output duty cycle terhadap Frekuensi.

Berdasarkan data yang didapatkan, duty cycle keluaran perangkat stabil pada rentang 100 Hz - 1 kHz dan terjadi penyimpangan pada frekuensi diatas 1 kHz. Hal ini karena frekuensi diatas 1 kHz memiliki nilai resolusi kecil akibat keterbatasan spesifikasi alat.

4.3 Pengaruh Pembebanan pada Performansi Perangkat

Gambar 7 menjelaskan hasil pengujian frekuensi keluaran perangkat pulse plating dengan variasi beban dari 0  $\Omega$  - 1M $\Omega$ , duty cycle 50%, frekuensi sebesar 5000 Hz, dan tegangan sebesar 9,3V.

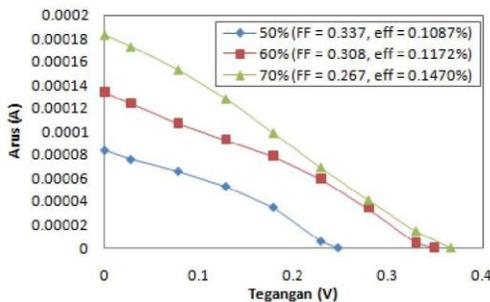


Gambar 7 Pengujian Pembebanan terhadap tegangan keluaran

Data yang diperoleh menunjukkan kinerja alat stabil dengan parameter nilai tegangan keluaran stabil pada 9.3 V pada saat pembebanan mulai dari 0  $\Omega$  - 1M $\Omega$ .

4.1 Pengaruh Besar duty cycle Pulse plating DC terhadap Performansi Sel Surya

Gambar 8 menjelaskan hasil karakteristik I-V deposisi logam melalui pulse plating DC dengan nilai duty 50%, 60%, dan 70% dan pulsa tegangan DC 5 V ( $V_{on} = 5V$ ,  $V_{off} = 0 V$ ) dengan waktu 30 detik.



Gambar 8 Karakteristik I-V sel surya dengan penyisipan logam melalui pulse plating DC.

Hasil eksperimen sel surya dengan pulse plating DC dapat dilihat pada Tabel 1:

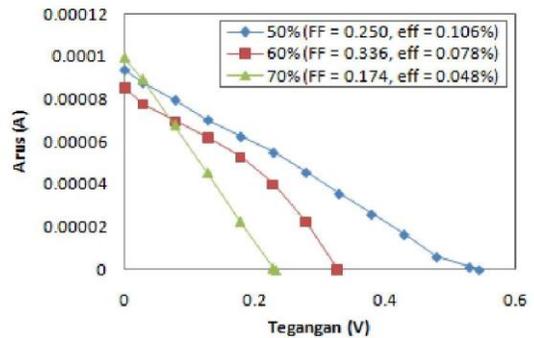
Tabel 1. Pengaruh kenaikan duty cycle pulse plating DC terhadap kinerja sel surya.

Duty cycle (%)	Isc (mA)	Voc (mV)	Daya maksimum (mW)	Fill Factor	Efisiensi (%)
50	0.0841	246.8	0.006815	0.328	0.1087
60	0.134	348.75	0.014076	0.301	0.1172
70	0.183	366.65	0.017648	0.263	0.1470

Berdasarkan analisis data yang diperoleh, peningkatan duty cycle pada saat pulse plating DC meningkatkan efisiensi sel surya dan mencapai efisiensi terbesar pada duty cycle 70% sebesar 0,147%. Peningkatan duty cycle meningkatkan jumlah logam yang terdeposisi pada sel surya mendekati jumlah logam yang terdeposisi menggunakan metode elektroplating. Hal ini dapat dilihat melalui peningkatan nilai Isc.

4.2 Pengaruh Besar Duty cycle Pulse plating AC terhadap Performansi Sel Surya

Gambar 9 menjelaskan hasil karakteristik I-V deposisi logam melalui pulse plating AC pada duty cycle 50%, 60%, 70% dan pulsa tegangan AC 2,5V dengan waktu 2 menit.



Gambar 9 Karakteristik I-V sel surya dengan penyisipan logam melalui pulse plating AC.

Hasil eksperimen sel surya dengan pulse plating AC dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Pengaruh kenaikan duty cycle pulse plating AC terhadap kinerja sel surya.

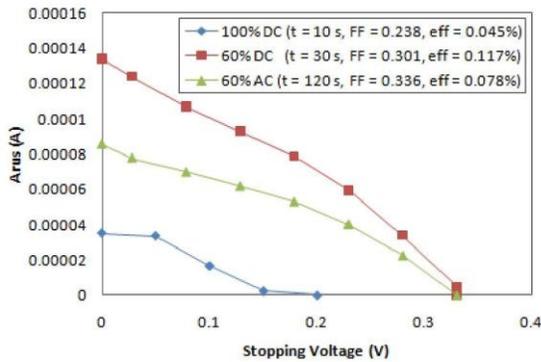
Duty cycle (%)	Isc (mA)	Voc (mV)	Daya maksimum (mW)	Fill Factor	Efisiensi (%)
50	0.0935	545.5	0.012730	0.250	0.1061
60	0.0855	328.5	0.009449	0.336	0.0787
70	0.0992	233.5	0.004037	0.174	0.0487

Berdasarkan pengolahan data yang diperoleh dapat disimpulkan nilai efisiensi tertinggi sel surya pulse plating AC pada duty cycle 50% sebesar 0,106%. Peningkatan duty cycle menunjukkan penurunan efisiensi. Hal ini diduga karena pada proses pulse plating AC, ion bergerak sesuai arah medan listrik, ion Cu bergerak menuju sel surya saat forward bias dan ion Cu bergerak menuju elektroda saat reverse bias dan kondisi deposisi Cu pada lapisan TiO<sub>2</sub> dengan duty cycle 50% berbentuk butiran kecil (tidak sempat beraglomerasi), sehingga kemampuan transport elektron yang terjadi pada solar cell menjadi lebih optimal.

4.3 Perbandingan Kinerja Sel Surya pulse plating terhadap Kinerja Sel Surya elektroplating DC

Gambar 10 menjelaskan tentang perbandingan kinerja sel surya hasil elektroplating DC dengan hasil

pulse plating DC dan AC. Elektroplating DC dilakukan selama 10 detik dan tegangan sebesar 5V dibandingkan dengan pulse plating AC dan DC pada duty cycle 60%.



Gambar 10 Karakteristik I-V sel surya hasil pulse plating AC, DC, dan elektroplating DC.

Hasil eksperimen sel surya dengan pulse plating AC dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Pengaruh kenaikan duty cycle pulse plating AC terhadap kinerja sel surya.

percobaan	Isc (mA)	Voc (mV)	Daya maksimum (mW)	Fill Factor	Efisiensi (%)
Elektroplating DC	0.035	422.1	0.001672	0.238	0.045
Pulse plating 60% DC	0.134	348.75	0.014076	0.301	0.117
Pulse plating 60% AC	0.085	328.5	0.009449	0.336	0.078

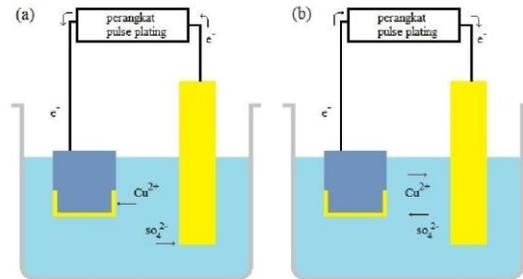
Berdasarkan analisis data yang dilakukan dapat disimpulkan terjadi peningkatan kinerja sel surya hasil pulse plating DC dan AC sebesar 0,147% dan 0,106% dibandingkan dengan hasil elektroplating DC sebesar 0,04%. Hal ini menunjukkan pengendalian pada jumlah logam Cu yang disisipkan pada sel surya TiO<sub>2</sub> menggunakan pulse plating sehingga bekerja optimal dalam transport elektron dibandingkan dengan jumlah logam Cu yang terdeposisi pada sel surya TiO<sub>2</sub> hasil elektroplating DC yang tidak terkendali yang sehingga menghalangi penyerapan foton.

4.7 Pengaruh duty cycle terhadap Penyisipan Tembaga pada Sel Surya TiO<sub>2</sub>

Berdasarkan data yang didapatkan pada penelitian ini, merujuk pada nilai efisiensi dapat disimpulkan peningkatan efisiensi sel surya dengan pendeposisian material konduktif pada pori-pori film TiO<sub>2</sub> baik menggunakan pulse plating AC dan DC. Pendeposisian material konduktif berkontribusi pada penurunan hambatan dalam dari divais sel surya sehingga menurunkan besar rekombinasi dengan adanya peristiwa trapping dan transport elektron secara cepat. Pada pulse plating DC, peningkatan nilai duty cycle mempengaruhi pada jumlah logam yang akan terdeposisi pada sel surya seperti pada Gambar 11 bagian a. Hal ini berkaitan dengan waktu on sehingga waktu yang saat percepatan penyisipan logam semakin lebar dibandingkan dengan waktu off.

Sementara pada pulse plating AC, Kinerja sel surya TiO<sub>2</sub> semakin menurun seiring dengan peningkatan nilai duty cycle pada pulse plating AC. Hal ini terjadi karena pada proses pulse plating AC memiliki dua kondisi yang menentukan arah gerak ion logam seperti pada Gambar 11. Kondisi forward bias, ion Cu bergerak menuju sel surya dan reverse bias, ion Cu bergerak menuju elektroda dan deposisi Cu pada lapisan TiO<sub>2</sub> dengan duty cycle 50% berbentuk butiran kecil (tidak sempat beraglomerasi), sehingga kemampuan transport elektron yang terjadi pada solar cell menjadi lebih optimal.

Disamping itu, pengendalian jumlah logam yang terdeposisi menggunakan metode pulse plating lebih terkendali dibandingkan dengan metode elektroplating arus searah DC.



Gambar 4.11 Ilustrasi Proses Pulse plating AC (a) pulse plating DC.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yakni sebagai berikut:

1. Telah berhasil dibuat perangkat pulse plating berbasis mikrokontroller 8-bit ATmega16L dengan range frekuensi stabil yang yang dapat dibangkitkan dari range 100 Hz - 10 kHz, duty cycle yang dapat dihasilkan 10% - 90% dengan kenaikan 10%, dan pembeban sebesar 0 Ω - 1MΩ.
2. Telah berhasil dilakukan penyisipan logam tembaga Cu pada sel surya TiO<sub>2</sub> menggunakan metode pulse plating DC dengan peningkatan nilai duty cycle. Efisiensi tertinggi yang dicapai sebesar 0.147% pada duty cycle sebesar 70% dan pulsa tegangan sebesar 5 V.
3. Telah berhasil penyisipan logam tembaga Cu pada sel surya TiO<sub>2</sub> menggunakan metode pulse plating AC dengan peningkatan nilai duty cycle. Efisiensi tertinggi yang diraih sebesar 0.106% pada duty cycle sebesar 50% dan besar pulsa tegangan sebesar 2,5 V.

5.2 Saran

Penelitian lebih lanjut diharapkan dapat memperbaiki kekurangan yang ada dan diharapkan dapat mengembangkan apa yang telah dilakukan pada penelitian ini. Untuk itu disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Perancangan perangkat pulse plating yang memiliki spesifikasi lebih canggih sehingga dalam pembangkitan sinyal dapat lebih stabil dan presisi. Hal ini juga berdampak pada deposisi material logam terhadap sel surya.
2. Penggunaan material logam lain selain tembaga yang memiliki sifat konduktivitas tinggi sehingga meningkatkan transport elektron dalam sel surya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang lamanya waktu elektroplating baik dengan pulse plating maupun reverse pulse plating.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Matsumura : Utilization of Solar Cell, Lecture Notes Research Center for Solar Energy Chemistry, Osaka University 2009.
- [2]. Kalyanasundaran, K : Dye Sensitized Solar Cells, CRC Press, 2010.
- [3]. Grätzel, Michael : Dye Sensitized Solar Cells, Journal of Photochemistry and Photobiology, 2013.
- [4]. Saehana, S., Yuliza, E., Khairurrijal, Abdullah, M : Studi pengembangan Sel Surya Berbasis TiO<sub>2</sub> dengan Metoda Elektroplating, ITB, 2012.
- [5]. Rahman, Dui Yanto : Studi Pengembangan Sel Surya Grafit/TiO<sub>2</sub> dengan Penyisipan Tembaga (Cu/GRAFIT/TiO<sub>2</sub>) Menggunakan Metoda Elektroplating, ITB, 2013.