

Pengaruh Variasi Ketebalan Titanium Dioksida (TiO₂) Terhadap Daya Keluaran Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Muhammad Aulia Rahman Sembiring¹, : Sholeh Hadi Pramono², Eka Maulana³

Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: marsembiring@gmail.com

Abstrak — Pada penelitian ini, fabrikasi Dye-Sensitized Solar cell (DSSC) dilakukan dengan metode deposisi doctor blade untuk pelapisan TiO₂. Substrat yang digunakan kaca konduktif atau TCO (Transparent Conductive Oxide) yang bisa mengalirkan muatan. Dengan metode doctor blade ketebalan lapisan TiO₂ diatur dengan cara mengatur lapisan masker. Nanopartikel TiO₂, dye organik, elektrolit, dan elektroda lawan disusun dan dikombinasi dengan struktur berlapis sebagai lapisan donor-aseptor. Pengujian sel pada ketebalan 292 mikrometer dengan menggunakan lampu LED 7 watt menghasilkan V_{oc} 321 mV dan I_{sc} 13.8 μ A. Sementara daya maksimal mencapai 4429.8×10^{-9} W.

Kata kunci : DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell), Ketebalan lapisan TiO₂, Doctor Blade, Daya Keluaran.

I. PENDAHULUAN

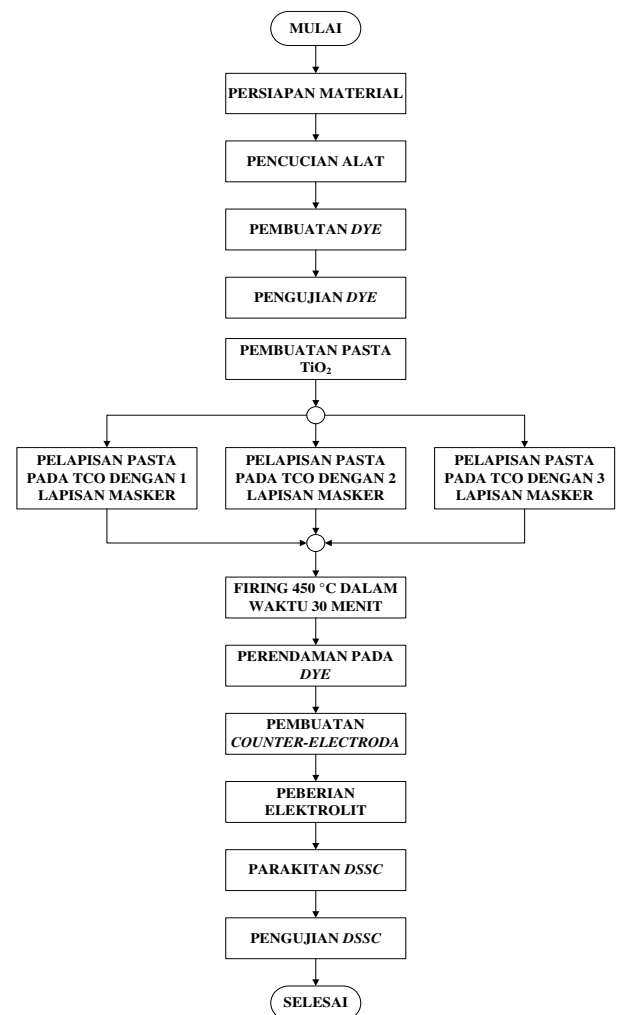
Kebutuhan energi di dunia, khususnya di Indonesia kian waktu kian meningkat. Menurut kajian Indonesia Energy Outlook, kebutuhan energi primer kembali meningkat sebesar 5% pada tahun 2010 dan memberikan dampak peningkatan emisi CO₂ menjadi lebih tinggi. Subsidi energi fosil meloncat lebih dari USD 400 juta seiring dengan peningkatan harga minyak dunia dan kecenderungan perilaku konsumsi yang tidak efisien[1]. Geografis Indonesia yang terletak pada garis katulistiwa menyebabkan Indonesia dapat menerima panas matahari yang lebih banyak daripada negara lain, yaitu 4800watt/m²/hari[2]. Selain itu penggunaannya juga tidak berdampak pada peningkatan emisi CO₂, berbeda halnya dengan penggunaan minyak bumi dan batu bara. Energi listrik yang dihasilkan oleh DSSC tidak mempunyai hasil samping berupa gas-gas berbahaya dan sampah-sampah nuklir[3]. DSSC merupakan salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengubah energi yang dihasilkan matahari menjadi energi listrik.

Peningkatan efisiensi DSSC terus dikembangkan dan hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan sekitar 11 %[4]. Parameter penting yang memengaruhi performansi DSSC seperti ketebalan ukuran partikel TiO₂. Namun masih sedikit studi yang mempelajari pengaruh ketebalan lapisan TiO₂[5]. Karakterisasi dibutuhkan untuk mengetahui kemampuan TiO₂ mengikat dye dan selanjutnya akan berpengaruh terhadap daya luaran yang dihasilkan. DSSC telah diteliti dan dirancang menggunakan dye klorofil daun pepaya dan daun jarak[6]. Tingkat absorpsi klorofil sangat bergantung pada konsentrasi klorofil yang dipengaruhi oleh jumlah daun yang digunakan,

konsentrasi pelarut dan lama waktu pelepasan klorofil. Desain DSSC dengan variasi konsentrasi klorofil dan konsentrasi pelarut telah dirancang[7]. Dalam penelitian ini dilakukan variasi ketebalan TiO₂ untuk mengetahui pengaruh terhadap daya keluaran DSSC.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan DSSC pada penelitian ini menggunakan struktur berlapis, yaitu dengan cara menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda. Kaca pertama (fotoelektroda), yaitu terdiri dari lapisan pasta TiO₂ (21 nm) yang telah direndam dengan larutan klorofil dan diberi larutan elektrolit, sedangkan kaca kedua terdiri dari lapisan karbon sebagai elektroda lawan (*counter-electrode*).



Gambar 1. Diagram Alir Metode Perancangan DSSC

A. Preparasi Material

Kaca TCO dengan resistivitas sebesar 15-25 Ω /sq dipotong dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm². Kaca kemudian ditempatkan di dalam wadah bersih dan direndam dalam ethanol selama 10 menit agar steril dan menghilangkan materi pengotor agar tidak ada penambahan nilai hambatan pada kaca TCO. Setelah pembersihan selesai substrat dikeluarkan dari wadah dan dibiarkan terlebih dahulu hingga ethanol yang menempel pada kaca menguap.

Pembuatan larutan elektrolit dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Campurkan 0,83 gram (0,5 M) KI (Potassium iodide) ke dalam 1 ml aquades kemudian ditambahkan 9 ml acetonitrile.
2. Tambahkan 0,127 gram (0,05 M) I₂ (Iodide) ke dalam larutan tersebut kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
3. Simpan larutan dalam botol gelap dan dibungkus dengan menggunakan aluminium foil.

B. Pembuatan Dye

Untuk pembuatan *dye*, digunakan prinsip ekstraksi klorofil dari daun papaya. Daun papaya terlebih dulu ditimbang sesuai dengan variasi perbandingan yang telah dirancang. Kemudian daun dicuci dengan menggunakan aquades lalu dikeringkan. Daun papaya yang telah bersih selanjutnya digerus dengan cawan porselin hingga halus lalu dimasukkan ke dalam pelarut 50 ml. Selanjutnya larutan di stirring selama waktu yang bervariasi.

C. Pembuatan Pasta TiO₂

Pada pembuatan pasta TiO₂, *Polyvinyl Alcohol* (PVA) 1.5 gram ditambahkan pada 13.5 ml aquades, selanjutnya campuran diaduk dengan *magnetic stirring* pada temperatur 80°C selama kurang lebih 30 menit hingga larutan mengental dan homogen. PVA berfungsi sebagai pengikat dalam pembuatan pasta TiO₂. Selanjutnya bubuk TiO₂ ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk TiO₂ dengan perbandingan 2 sendok spatula TiO₂ dicampur dengan 15 tetes atau 0.75 ml PVA.

D. Pelapisan Pasta TiO₂

Dibentuk area tempat pasta dideposisikan dengan bantuan *masker* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 2 x 2 cm². Masker berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO₂, dalam penelitian ini masker yang digunakan adalah: 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis masker. Area yang terbentuk pada kaca TCO ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Area Pada Kaca TCO yang Telah Dibuat

Pasta TiO₂ dideposisikan di atas area yang telah dibuat dengan metode *doctor blading* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta.

E. Proses Firing Pasta TiO₂

Pasta TiO₂ yang telah rata pada permukaan kaca kemudian di-*firing* dalam tungku listrik selama 30 menit pada temperatur 450°C agar terjadi kontak yang baik antara pasta dengan kaca TCO.

F. Perendaman TiO₂ Dalam Larutan Klorofil (*Dye*)

Lapisan TiO₂ kemudian direndam dalam larutan *dye* selama kurang lebih 30 menit, kemudian lapisan TiO₂ akan menjadi berwarna hijau daun.

G. Pembuatan Counter-Elektroda Karbon

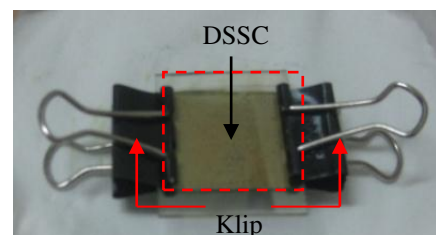
Pembuatan *counter-elektroda* dilakukan dengan cara memanaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 30 detik sampai karbon dengan rata menutupi sisi konduktif kaca TCO. Karbon yang menempel pada kaca TCO ditentukan dimensinya sesuai dengan dimensi kaca TCO yang dilapisi pasta TiO₂ yaitu 2 x 2 cm².

H. Pemberian Elektrolit

Pemberian elektrolit dengan cara diteteskan menggunakan pipet sebanyak 4 tetes atau sebanyak 0,25 ml. Larutan elektrolit digunakan sebagai transport elektron dari karbon ke *dye*.

I. Perakitan DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat dah telah siap, kemudian dilakukan proses perakitan untuk membentuk DSSC. Perakitan dilakukan dengan cara menempelkan kaca TCO fotoelektroda dan kaca TCO *counter-elektrode* dengan struktur berlapis dan kemudian dijepit dengan klip agar penempelan lebih rapat dan tidak bergeser. Hasil DSSC yang telah jadi ditunjukkan dalam Gambar 3.



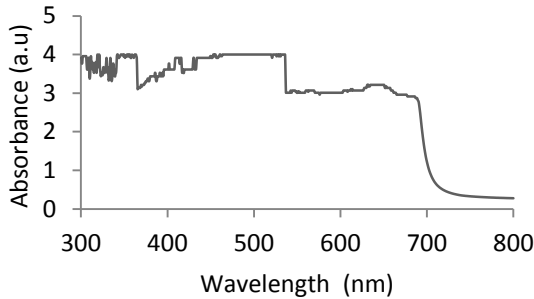
Gambar 3. Hasil Perakitan DSSC

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai perancangan. Pengujian ini meliputi pengujian absorpsi klorofil dari masing-masing variasi yang dirancang dan pengujian DSSC.

A. Pengujian Absorpsi Klorofil

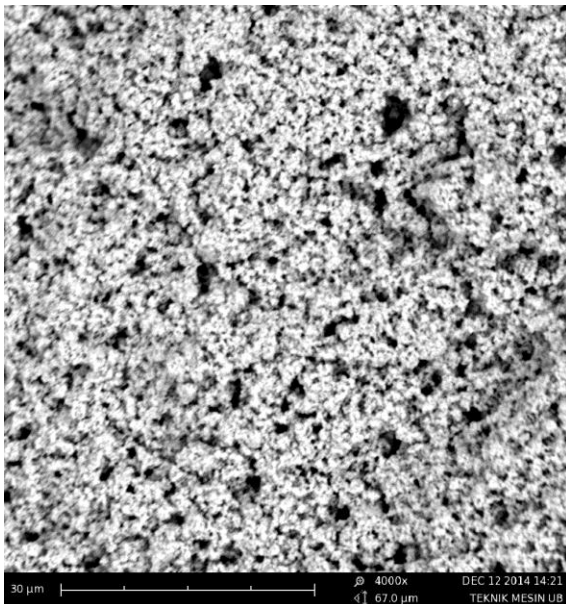
Pengujian absorpsi klorofil dilakukan dengan menggunakan *Spectrophotometer* Shimadzu UV-1601 pada panjang gelombang 300 - 800 nm dan perbandingan jumlah daun : volume pelarut adalah 30 gram : 50 ml. Berikut ini merupakan grafik hasil pengujian dalam gambar 4.



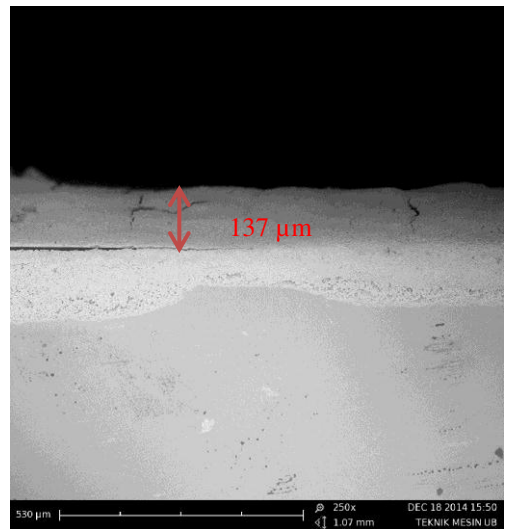
Gambar 4. Grafik Absorpsi Klorofil Daun Jarak

B. Pengujian Bentuk dan Ketebalan TiO₂

Pengujian bentuk dan ketebalan TiO₂ dilakukan dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada perbesaran 4000 kali untuk bentuk tampak atas dan 250 kali untuk ketebalan tampak samping dari salah satu sisi DSSC. Ada tiga variable ketebalan yaitu: 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis masker. Berikut ini adalah gambar hasil pengujian dari SEM ditunjukkan dalam gambar 10-13.



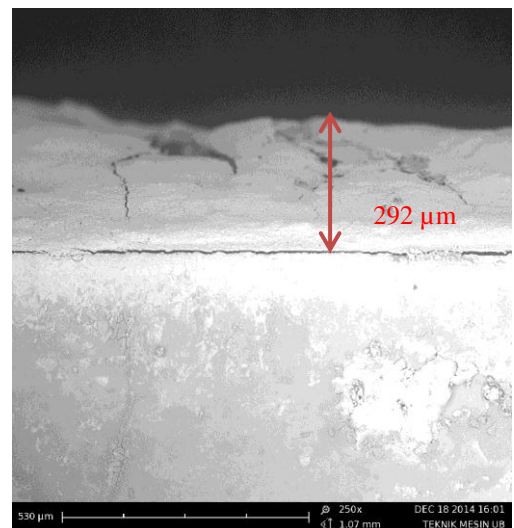
Gambar 4. Gambar Bentuk Tampak Atas TiO₂ dengan Perbesaran 4000 Kali



Gambar 5. Gambar Ketebalan 1 Lapis Masker TiO₂ dengan Perbesaran 250 Kali



Gambar 6. Gambar ketebalan 2 lapis masker TiO₂ dengan perbesaran 250 kali



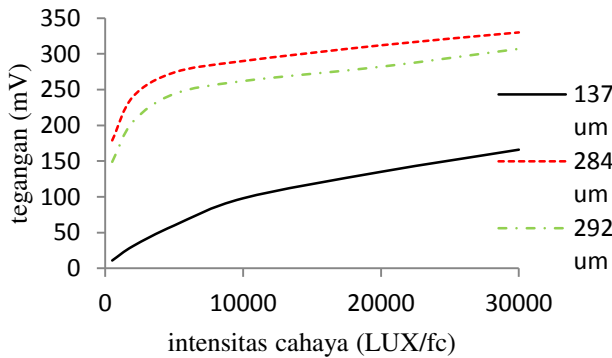
Gambar 7. Gambar ketebalan 3 lapis masker TiO₂ dengan perbesaran 250 kali

C. Pengujian Tegangan terhadap Intensitas Cahaya

Pengujian tegangan terhadap intensitas cahaya yang menggunakan lampu merkuri 250 W diuji menggunakan luxmeter dan voltmeter. Variasi intensitas cahaya yaitu: 500, 2.000, 5.000, 10.000, 20.000, 30.000 LUX/fc. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian tegangan terhadap Intensitas cahaya.

Tabel 1. Hasil Pengujian Tegangan Terhadap Intensitas Cahaya

Lux(LUX/fc)	V ₁₃₇ (mV)	V ₂₈₄ (mV)	V ₂₉₂ (mV)
500	11	179	149
2000	31	240	205
5000	60	274	244
10000	98	290	262
20000	135	312	282
30000	166	330	307



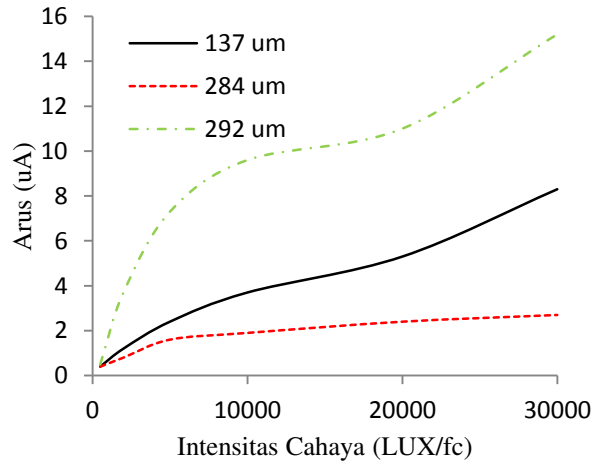
Gambar 8. Grafik perbandingan Tegangan terhadap Intensitas Cahaya

D. Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya

Pengujian arus terhadap intensitas cahaya yang menggunakan lampu merkuri 250 W diuji menggunakan luxmeter dan ampermeter. Variasi intensitas cahaya yaitu: 500, 2.000, 5.000, 10.000, 20.000, 30.000 LUX/fc. Berikut adalah tabel dan grafik pengujian tegangan terhadap Intensitas cahaya.

Tabel 2. Hasil Pengujian Arus terhadap Intensitas Cahaya

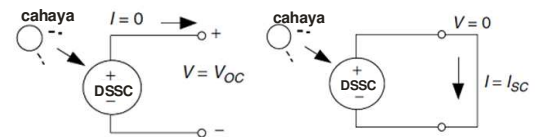
lux	I ₁₃₇ (uA)	I ₂₈₄ (uA)	I ₂₉₂ (uA)
500	0.4	0.4	0.5
2000	1.2	0.8	3.7
5000	2.4	1.6	7.3
10000	3.7	1.9	9.6
20000	5.3	2.4	11
30000	8.3	2.7	15.2



Gambar 9. Grafik perbandingan Arus terhadap Intensitas Cahaya

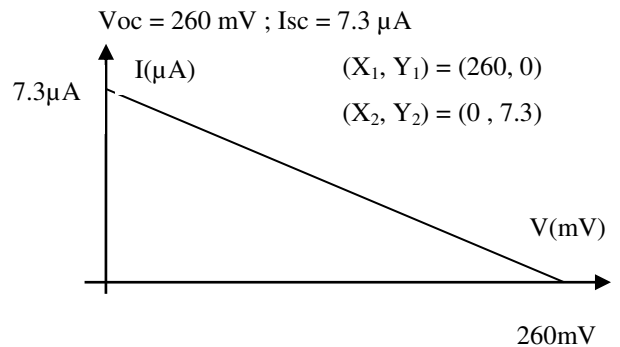
E. Pengujian Sel Variasi Ketebalan TiO₂

Metode pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan luminasi sebesar 5000 lux[8]. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan hubung terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc) menggunakan rangkaian uji.



Gambar 13. Rangkaian Pengukuran Voc (kiri) dan Rangkaian Pengukuran Isc (kanan)

Setelah Voc dan Isc didapatkan, kemudian dicari Vmax dan Imax untuk mendapatkan FF (fill factor) dan daya maksimum (Pmax).



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{7.3 - 0}{0 - 260} = -0,028$$

$$y = -0,028x + 7.3$$

Berikut hasil perhitungan Vmax dan Imax DSSC dengan ketebalan TiO₂ dalam tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC Ketebalan 137 μm

Tegangan (mV)	Arus (μA)	Daya Maksimal (nW)
0	7.3	0
25	6.57	164.25
50	5.84	292
75	5.11	383.25
100	4.38	438
125	3.65	456.25
150	2.92	438
175	2.19	383.25
200	1.46	292
225	0.73	164.25
250	0.01	2.5
260	0.001	0.26

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{125 \times 3.65}{260 \times 7.3} = \frac{456.25}{1898} = 0,240$$

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 1898 \times 0,240 = 456.25 \times 10^{-9} \text{ watt}$$

Pengukuran dan perhitungan DSSC menggunakan TiO₂ dengan ketebalan 284 μm dan 292 μm dilakukan dengan cara yang sama dengan pengukuran dan perhitungan DSSC yang menggunakan ketebalan 137 μm . Data hasil pengukuran dan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC Ketebalan 284 μm

Tegangan (mV)	Arus (μA)	Daya Maksimal (nW)
0	2.1	0
25	1.951	48.775
50	1.802	90.1
75	1.653	123.975
100	1.504	150.4
125	1.355	169.375
150	1.206	180.9
175	1.057	184.975
200	0.908	181.6
225	0.759	170.775
250	0.61	152.5
275	0.461	126.775
300	0.312	93.6
325	0.163	52.975
350	0.014	4.9
363	0.001	0.363

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{175 \times 1.057}{363 \times 2.1} = \frac{184.975}{762.3} = 0,243$$

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 762.3 \times 0,243 = 184.975 \times 10^{-9} \text{ watt}$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC Ketebalan 292 μm

Tegangan (mV)	Arus (μA)	Daya Maksimal (nW)
0	13.8	0
25	12.62	315.5
50	11.44	572
75	10.26	769.5
100	9.08	908
125	7.9	987.5
150	6.72	1008
175	5.54	969.5
200	4.36	872
225	3.18	715.5
250	2	500
275	0.82	225.5
300	0.02	6
321	0.001	0.321

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{150 \times 6,72}{321 \times 13,8} = \frac{1008}{4429,8} = 0,23$$

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 4429.8 \times 0,23 = 1008 \times 10^{-9} \text{ Watt}$$

Tabel 6. Hasil Pengujian DSSC Variasi Ketebalan TiO₂

Ketebalan (um)	Voc (mV)	Isc (μA)	Pmax (W)
137	260	7.3	456.25 x 10 ⁻⁹
284	363	2.1	184.975 x 10 ⁻⁹
292	321	13.8	1008 x 10 ⁻⁹

Hasil pengujian sel menunjukkan bahwa sel dengan ketebalan 292 mikrometer menghasilkan Isc dan Pmax yang paling baik yaitu 13.8 μA dan 1008 x 10⁻⁹ watt.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian Ketebalan TiO₂ dan pengujian DSSC yang telah dilaksanakan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. DSSC telah berhasil dirancang dan diuji dengan 3 variasi ketebalan lapisan masker. 1 lapisan masker menghasilkan 137 μm , 2 lapisan masker menghasilkan 284 μm dan 3 lapisan masker menghasilkan 292 μm .
2. Ketebalan 137 μm menghasilkan Voc 260 mV, Isc 7.3 μA dan daya maksimal 456.25 x 10⁻⁹ watt. Ketebalan 284 μm menghasilkan Voc 363 mV, Isc 2.1 μA dan daya maksimal 184.975 x 10⁻⁹ watt. Ketebalan 292 μm menghasilkan Voc 321 mV, Isc 13.8 μA dan daya maksimal 1008 x 10⁻⁹ watt.
3. Daya keluaran terbesar yaitu pada ketebalan 292 μm menghasilkan daya 1008 x 10⁻⁹ watt.

B. Saran

Saran-saran dalam pengimplementasian maupun peningkatan unjuk kerja sistem ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- DSSC yang telah dirancang dan diuji dapat dilakukan dengan variasi metode deposisi pada substrat.
- Penambahan daya DSSC dilakukan dengan menggabungkan DSSC dengan rangkaian seri atau paralel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. *Kajian Indonesia Energy Outlook*. Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. (1)
- [2] Manan, S. 2009. *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif yang Efisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia*, Program Diploma III Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang: tidak diterbitkan.
- [3] Cahen, David. 2004. Review Articles: *Physical Chemical Principles of Photovoltaic Conversion with Nanoparticulate, Mesoporous DSSC*. J. P. Chem. B, Vol.108.
- [4] O' Regan, M Gratzel. 1991. *A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂*. Folms Nature 353. (737 – 739).
- [5] Yum, Jun-Ho, dkk. 2005. *Electrophoretically deposited TiO₂photo-electrodes for use in flexible dye-sensitized solar cells*. *Journal of photochemistry and photobiology*. A: Chemistry 173.
- [6] Pramono, S., Maulana, E., Utomo T. 2013. *Organic Solar Cell based on Extraction of Papaya (Carica papaya) and Jatropha (Ricinus communis) leaves in DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)*. Proceeding of International Conf. on Edu. Tech and Science: 248-251.
- [7] Maulana, E., Pramono, S., Fanditya, D., Julius, M. 2014. *Effect of Chlorophyll Concentration Variations from Extract of Papaya Leaves on Dye-Sensitized Solar Cell*. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, Electrical Engineering. 2(10): 388.
- [8] Pramono, S., Maulana, E., Prayogo, A., Djatmika, R. 2014. *Characterization of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Based on Chlorophyll Dye*. International Journal of Applied Engineering Research. vol. 23 (3).