

PENGARUH VARIASI KONSENTRASI KLOORIFIL TERHADAP DAYA KELUARAN *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

Dody Fanditya Rakhman, Sholeh Hadi Pramono dan Eka Maulana.

Abstrak — *Dye-Sensitized Solar cell (DSSC)* merupakan sel surya organik yang dikembangkan oleh Prof. Gratzel (1991) dengan menggunakan dye (zat warna) sebagai penyerap foton. Dye berfungsi sebagai penyerap foton yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Sebuah kaca yang dilapisi lapisan yang bersifat konduktif atau TCO (*Transparent Conductive Oxide*), digunakan sebagai substrat mengalirnya muatan. Nanopartikel TiO_2 sebagai pengikat molekul dye, pasangan redoks iodide/triiodide sebagai elektrolit, dan karbon sebagai elektroda lawan pada DSSC. Nanopartikel TiO_2 , dye organik, elektrolit, dan elektroda lawan disusun dan dikombinasi dengan struktur berlapis sebagai lapisan donor-aseptor. Pengukuran absorpsi dye menggunakan spectrophotometer pada spektrum cahaya 300-800 nm menghasilkan jumlah klorofil total 80,076 mg/l. Pengujian sel pada cahaya lampu LED 7 watt dengan luminasi 5000 lux menghasilkan Voc sebesar 235,5 mV dan Isc mencapai 14 μA .

Kata kunci : DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*), Konsentrasi klorofil, Absorpsi klorofil, Daya Keluaran.

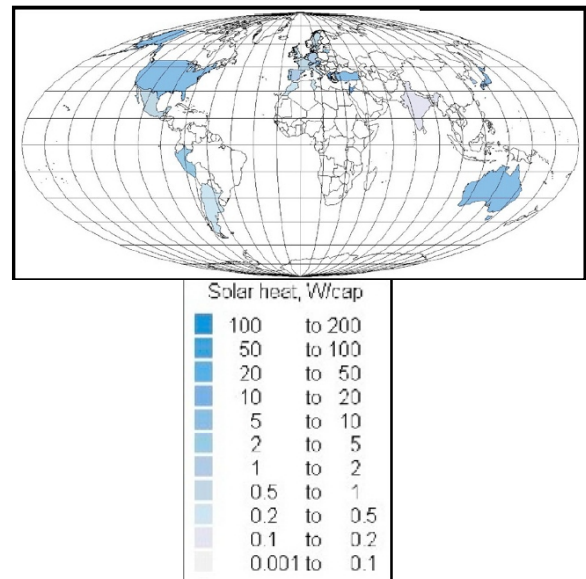
I. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan oleh manusia saat ini. Tidak seperti energi fosil dunia yang diperkirakan akan habis dalam 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara [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]. Berdasarkan fenomena ini, energi matahari di Indonesia merupakan energi yang paling potensial untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sepanjang waktu. Salah satu teknologi yang memanfaatkan energi matahari untuk dikonversi sebagai energi listrik adalah sel surya.

DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) telah dikembangkan sejak tahun 1991. Hal ini mulai dimunculkan sebagai sumber energi alternatif setelah ditemukan material sel surya baru dengan reaksi fotoelektrokimia oleh Gratzel [3].

- Dody Fanditya R adalah mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui email: dody.fanditya@yahoo.com).

- Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc. dan Eka Maulana, ST., MT., MEng. adalah staf pengajar program sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. (email : sholehpramono@ub.ac.id ; ekamaulana@ub.ac.id)



Gambar 1. Nilai rata-rata Energi Solar di Dunia Tahun 2000 Oleh IEA (2002) [4]

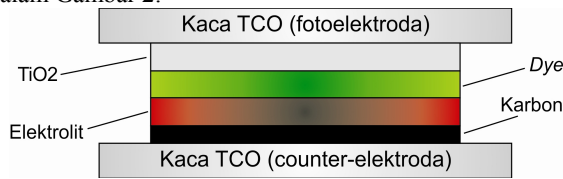
Dye digunakan untuk menggantikan material inorganik silikon pada sel surya. Proses fotosintesis yang mengubah energi cahaya menjadi energi kimia merupakan dasar pendekatan kimiawi untuk proses perubahan energi cahaya menjadi energi listrik pada DSSC. Dye yang umum digunakan adalah Ruthenium (Ru) Complex karena dye jenis ini hampir mendekati murni sehingga menghasilkan efisiensi sebesar 11% [5].

Karena dye Ruthenium sangat sulit didapatkan, maka dalam penelitian ini digunakan dye zat klorofil yang didapat dari daun pepaya. Dye pada DSSC berperan sebagai penangkap foton yang kemudian terjadi proses eksitasi elektron pada molekul dye sehingga menghasilkan energi listrik. Kemampuan dye menyerap foton merupakan sesuatu yang sangat penting, karena itu perlu adanya karakterisasi. Karakterisasi dibutuhkan untuk mengetahui kemampuan dye menyerap foton dan selanjutnya akan berpengaruh terhadap daya luaran yang dihasilkan. Tingkat absorpsi klorofil sangat bergantung pada konsentrasi klorofil yang dipengaruhi oleh jumlah daun yang digunakan, konsentrasi pelarut dan lama waktu pelepasan klorofil.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

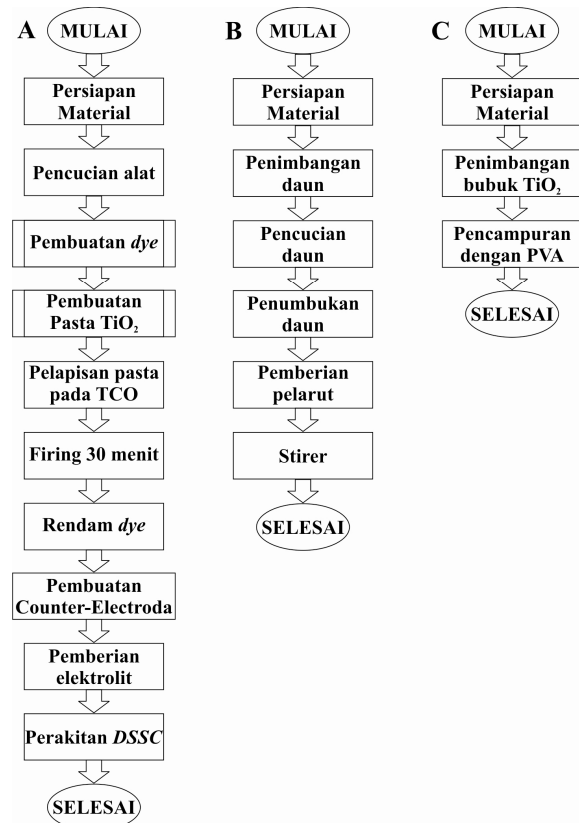
Perancangan DSSC pada penelitian ini menggunakan struktur berlapis, yaitu dengan cara menggabungkan dua kaca TCO dengan lapisan yang berbeda. Kaca pertama

(fotoelektroda), yaitu terdiri dari lapisan pasta TiO_2 (21 nm) yang telah direndam dengan larutan klorofil dan diberi larutan elektrolit, sedangkan kaca kedua terdiri dari lapisan karbon sebagai elektroda lawan (*counter-electrode*). Ilustrasi struktur fisik DSSC ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Berlapis DSSC

Secara umum alur tahapan pembuatan DSSC ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart a) langkah-langkah perancangan DSSC, b) langkah-langkah Pembuatan dye, c) langkah-langkah pembuatan pasta TiO_2

A. Persiapan Material

Kaca TCO dengan resistivitas sebesar 15-25 Ω /sq dipotong dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm^2 . 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 pepaya. Daun pepaya terlebih dulu ditimbang sesuai dengan variasi perbandingan yang telah dirancang. Kemudian daun dicuci dengan menggunakan aquades lalu dikeringkan. Daun pepaya 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. Daun pepaya yang telah halus ditunjukkan dalam Gambar 4.



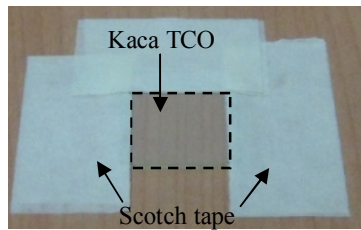
Gambar 4. Daun Pepaya yang Telah Ditumbuk

C. Pembuatan Pasta TiO_2

Pada pembuatan pasta TiO_2 , *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 TiO_2 . Selanjutnya bubuk TiO_2 ditimbang 0.5 gram, kemudian suspensi yang telah dibuat ditambahkan pada bubuk TiO_2 dengan perbandingan 2 sendok spatula TiO_2 dicampur dengan 15 tetes atau 0.75 ml PVA.

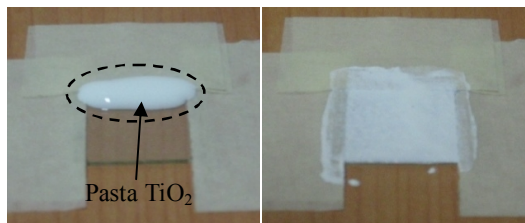
D. Pelapisan Pasta TiO_2

Dibentuk area tempat pasta dideposisikan dengan bantuan *scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 2 x 2 cm^2 . Scotch tape juga berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO_2 , jika ingin pasta semakin tebal pada permukaan kaca maka *scotch tape* dapat ditumpuk berlapis-lapis sesuai dengan kebutuhan. Area yang terbentuk pada kaca TCO ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Area Pada Kaca TCO yang Telah Dibuat

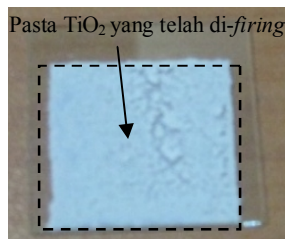
Pasta TiO_2 dideposisikan di atas area yang telah dibuat dengan metode *doctor blading* yaitu dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Proses deposisi pasta ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Pasta TiO_2 Sebelum (kiri) dan Sesudah (kanan) Dideposisi pada kaca

E. Proses *Firing* Pasta TiO_2

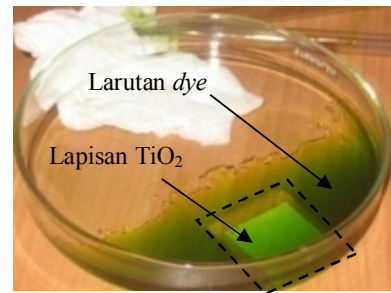
Pasta TiO_2 yang telah rata pada permukaan kaca kemudian di-*firing* dalam tungku listrik selama 30 menit pada temperatur 450°C agar terjadi kontak yang baik antara pasta dengan kaca TCO. Pasta yang telah melalui proses *firing* ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Pasta TiO_2 Setelah Proses *Firing*

F. Perendaman TiO_2 Dalam Larutan Klorofil (*Dye*)

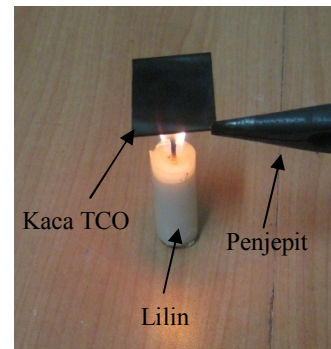
Lapisan TiO_2 kemudian direndam dalam larutan *dye* selama kurang lebih 30 menit, kemudian lapisan TiO_2 akan menjadi berwarna hijau daun. Proses perendaman lapisan TiO_2 dalam larutan *dye* ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Proses Perendaman fotoelektroda Dalam Klorofil (*dye*)

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 TiO_2 yaitu $2 \times 2 \text{ cm}^2$. Proses pembuatan *counter-elektroda* ditunjukkan dalam Gambar 10.



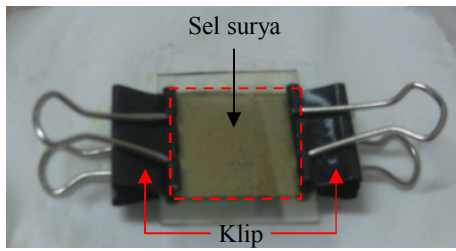
Gambar 10. Proses Pembuatan Lapisan Karbon

H. Pemberian Elektrolit

Pemberian elektrolit dengan cara ditetaskan 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 sel surya. Perakitan dilakukan dengan cara menempelkan kaca TCO fotoelektroda dan kaca TCO *counter-elektroda* dengan struktur berlapis dan kemudian dijepit dengan klip agar penempelan lebih rapat dan tidak bergeser. Hasil DSSC yang telah jadi ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. 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 sel surya.

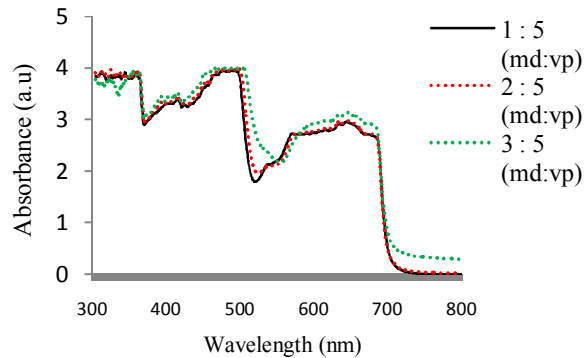
A. Pengujian Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Perbandingan Jumlah Daun dan Volum Pelarut

Pengujian absorpsi klorofil dilakukan dengan menggunakan *Spectrophotometer* Shimadzu UV-1601 pada panjang gelombang 300 - 800 nm. Kemudian dari hasil tersebut akan dihitung jumlah klorofil a, klorofil b dan klorofil total yang terkandung dalam *dye* dengan menggunakan rumus Wintermans & De Mots yaitu,

$$\text{Klorofil a} = 13,7 (\text{OD665}) - 5,76 (\text{OD649})$$

$$\text{Klorofil b} = 25,8 (\text{OD649}) - 7,60 (\text{OD665})$$

$$\text{Klorofil total} = 20,0 (\text{OD665}) + 6,10 (\text{OD665})$$



Gambar 12. Grafik Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Perbandingan Jumlah Daun dan Volum Pelarut

Perhitungan jumlah klorofil (Wintermans & De Mots)

- **1 : 5** (OD665 = 2,709 ; OD649 = 2,914)
Klorofil a
 $13,7 (\text{OD665}) - 5,76 (\text{OD649})$
 $= (13,7 \times 2,709) - (5,76 \times 2,914)$
 $= 37,113 - 16,784$
 $= 20,328 \text{ mg/l}$

Klorofil b
 $25,8 (\text{OD649}) - 7,60 (\text{OD665})$
 $= (25,8 \times 2,914) - (7,60 \times 2,709)$
 $= 75,181 - 20,588$
 $= 54,592 \text{ mg/l}$

Klorofil total
 $20,0 (\text{OD649}) + 6,10 (\text{OD665})$
 $= (20,0 \times 2,914) + (6,10 \times 2,709)$
 $= 58,28 + 16,524$
 $= 74,804 \text{ mg/l}$

Untuk perhitungan jumlah klorofil dengan perbandingan 2 : 5 dan 3 : 5, dilakukan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan jumlah klorofil dengan perbandingan 1 : 5. Hasil perhitungan jumlah klorofil ditunjukkan dalam Tabel 1.

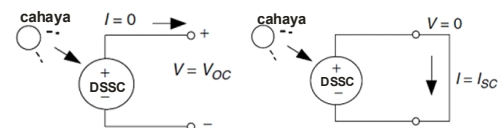
Tabel 1. Hasil Pengujian Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Perbandingan Jumlah Daun dan Volum Pelarut

Sampel	Klorofil a (mg/l)	Klorofil b (mg/l)	Klorofil Total (mg/l)
1 : 5	20,328	54,592	74,804
2 : 5	20,446	55,566	75,895
3 : 5	22,690	57,509	80,076

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada perbandingan 3 : 5 (jumlah daun : volum pelarut) memiliki jumlah klorofil paling besar. Hal ini disebabkan karena jumlah daun yang melepas klorofil dan kemudian terikat pada pelarut semakin banyak. Hasil ini mengindikasikan bahwa klorofil dengan perbandingan 3 : 5 akan menyerap cahaya lebih banyak daripada klorofil dengan perbandingan 1 : 5 dan 2 : 5 sehingga DSSC dengan klorofil perbandingan 3 : 5 akan menghasilkan daya paling besar.

B. Pengujian Sel Variasi Perbandingan Jumlah Daun dan Volum Pelarut

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan luminasi sebesar 5000 lux. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur tegangan hubung terbuka (V_{oc}) dan arus hubung singkat (I_{sc}) menggunakan rangkaian uji.

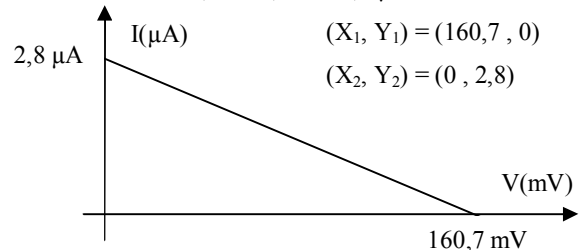


Gambar 13. Rangkaian Pengukuran V_{oc} (kiri) dan Rangkaian Pengukuran I_{sc} (kanan)

Setelah V_{oc} dan I_{sc} didapatkan, kemudian dicari V_{max} dan I_{max} untuk mendapatkan FF (*fill factor*) dan daya maksimum (P_{max}).

- **1 : 5**

$V_{oc} = 160,7 \text{ mV}$; $I_{sc} = 2,8 \text{ }\mu\text{A}$



$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{2,8 - 0}{0 - 160,7} = -0,0174$$

$$y = -0,0174x + 2,8$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC Klorofil Perbandingan 1 : 5

x(V)	y(I)	x.y
0	2.8	0
10	2.626	26.26
20	2.452	49.04
30	2.278	68.34
40	2.104	84.16
50	1.93	96.5
60	1.756	105.36
70	1.582	110.74
80	1.408	112.64
90	1.234	111.06
100	1.06	106
110	0.886	97.46
120	0.712	85.44
130	0.538	69.94
140	0.364	50.96
150	0.19	28.5
160	0.016	2.56
160.7	0.00382	0.613874

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{80 \times 1,4}{160,7 \times 2,8} = \frac{112,64}{449,96} = 0,250$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 449,96 \times 0,250 \\ &= 112,64 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pengukuran dan perhitungan sel surya menggunakan klorofil variasi perbandingan 2 : 5 dan 3 : 5 dilakukan dengan cara yang sama dengan pengukuran dan perhitungan sel surya yang menggunakan klorofil perbandingan 1 : 5. Data hasil pengukuran dan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC Klorofil Perbandingan 2 : 5

x(V)	y(I)	x.y
0	4	0
10	3.803	38.03
20	3.606	72.12
30	3.409	102.27
40	3.212	128.48
50	3.015	150.75
60	2.818	169.08
70	2.621	183.47
80	2.424	193.92
90	2.227	200.43
100	2.03	203
110	1.833	201.63
120	1.636	196.32
130	1.439	187.07
140	1.242	173.88
150	1.045	156.75
160	0.848	135.68

170	0.651	110.67
180	0.454	81.72
190	0.257	48.83
200	0.06	12
203	0.0009	0.1827

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{100 \times 2,03}{203 \times 4} = \frac{203}{812} = 0,25$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 812 \times 0,25 \\ &= 203 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Vmax dan Imax DSSC Klorofil Perbandingan 3 : 5

x(V)	y(I)	x.y
0	14	0
10	13.406	134.06
20	12.812	256.24
30	12.218	366.54
40	11.624	464.96
50	11.03	551.5
60	10.436	626.16
70	9.842	688.94
80	9.248	739.84
90	8.654	778.86
100	8.06	806
110	7.466	821.26
120	6.872	824.64
130	6.278	816.14
140	5.684	795.76
150	5.09	763.5
160	4.496	719.36
170	3.902	663.34
180	3.308	595.44
190	2.714	515.66
200	2.12	424
210	1.526	320.46
220	0.932	205.04
230	0.338	77.74
235.5	0.0113	2.66115

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{120 \times 6,872}{235,5 \times 14} = \frac{824,64}{3297} = 0,250$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 3297 \times 0,250 \\ &= 824,64 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

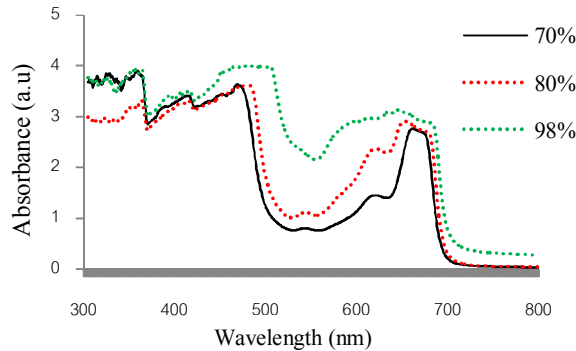
Tabel 5. Hasil Pengujian Dye dan Sel Surya Variasi Perbandingan Jumlah Daun dan Volum Pelarut

Sampel	Klorofil Total (mg/l)	Voc (mV)	Isc (µA)	Pmax (watt)
1 : 5	74,804	160,7	2,8	112,64 x 10 ⁻⁹
2 : 5	75,895	203	4	203 x 10 ⁻⁹
3 : 5	80,076	235,5	14	824,64 x 10 ⁻⁹

Hasil pengujian sel menunjukkan bahwa sel yang menggunakan dye dengan absorpsi paling tinggi (3:5), menghasilkan Voc, Isc dan Pmax yang paling baik yaitu 235,5 mV, 14 µA, dan 824,64 x 10⁻⁹ Watt.

C. Pengujian Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Konsentrasi Pelarut

Pengujian absorpsi klorofil dilakukan dengan menggunakan *Spectrophotometer* Shimadzu UV-1601 pada panjang gelombang 300 - 800 nm.



Gambar 14. Grafik Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Konsentrasi Pelarut

Perhitungan jumlah klorofil (Wintermans & De Mots) dengan konsentrasi pelarut 70%, 80% dan 98%, dilakukan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan jumlah klorofil dengan perbandingan jumlah daun dan volum pelarut. Hasil perhitungan jumlah klorofil ditunjukkan dalam Tabel 6.

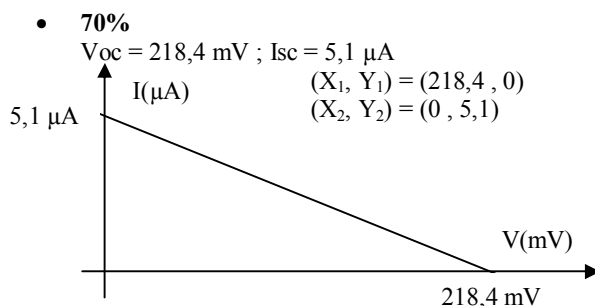
Tabel 6. Hasil Pengujian Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Konsentrasi Pelarut

Sampel (%)	Klorofil a (mg/l)	Klorofil b (mg/l)	Klorofil Total (mg/l)
70	24,502	37,402	61,815
80	20,917	54,265	75,067
98	22,690	57,509	80,076

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada konsentrasi 98% memiliki jumlah klorofil paling besar. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kadar konsentrasi pelarut maka semakin murni (polar) pula pelarut tersebut, sehingga dapat mengikat lebih banyak klorofil.

D. Pengujian Sel Variasi Konsentrasi Pelarut

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan lux sebesar 5000 lux.



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{5,1 - 0}{0 - 218,4} = -0,0233$$

$$y = -0,0233x + 5,1$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC Klorofil Konsentrasi Pelarut 70%

x (V)	y (I)	x.y
0	5.1	0
10	4.867	48.67
20	4.634	92.68
30	4.401	132.03
40	4.168	166.72
50	3.935	196.75
60	3.702	222.12
70	3.469	242.83
80	3.236	258.88
90	3.003	270.27
100	2.77	277
110	2.537	279.07
120	2.304	276.48
130	2.071	269.23
140	1.838	257.32
150	1.605	240.75
160	1.372	219.52
170	1.139	193.63
180	0.906	163.08
190	0.673	127.87
200	0.44	88
210	0.207	43.47
218.4	0.0128	2.463552

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{110 \times 2,537}{218,4 \times 5,1} = \frac{279,07}{1113,84} = 0,250$$

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF$$

$$= 1113,84 \times 0,250$$

$$= 279,07 \times 10^{-9} \text{ Watt}$$

Pengukuran dan perhitungan sel surya menggunakan klorofil variasi konsentrasi klorofil 80% dan 98% dilakukan dengan cara yang sama dengan pengukuran dan perhitungan sel surya yang menggunakan klorofil variasi konsentrasi pelarut 70%. Data hasil pengukuran dan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC Klorofil Konsentrasi Pelarut 80%

x(V)	y(I)	x.y
0	8	0
10	7.644	76.44
20	7.288	145.76
30	6.932	207.96
40	6.576	263.04
50	6.22	311
60	5.864	351.84
70	5.508	385.56
80	5.152	412.16
90	4.796	431.64
100	4.44	444
110	4.084	449.24
120	3.728	447.36

130	3.372	438.36
140	3.016	422.24
150	2.66	399
160	2.304	368.64
170	1.948	331.16
180	1.592	286.56
190	1.236	234.84
200	0.88	176
210	0.524	110.04
220	0.168	36.96
224.2	0.01848	4.143216

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{110 \times 4,084}{224,2 \times 8} = \frac{449,24}{1793,6} = 0,250$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 1793,6 \times 0,250 \\ &= 449,24 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 9. Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC Klorofil Konsentrasi Pelarut 98%

x(V)	y(I)	x.y
0	14	0
10	13.406	134.06
20	12.812	256.24
30	12.218	366.54
40	11.624	464.96
50	11.03	551.5
60	10.436	626.16
70	9.842	688.94
80	9.248	739.84
90	8.654	778.86
100	8.06	806
110	7.466	821.26
120	6.872	824.64
130	6.278	816.14
140	5.684	795.76
150	5.09	763.5
160	4.496	719.36
170	3.902	663.34
180	3.308	595.44
190	2.714	515.66
200	2.12	424
210	1.526	320.46
220	0.932	205.04
230	0.338	77.74
235.5	0.0113	2.66115

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{120 \times 6,872}{235,5 \times 14} = \frac{824,64}{3297} = 0,250$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 3297 \times 0,250 \\ &= 824,64 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

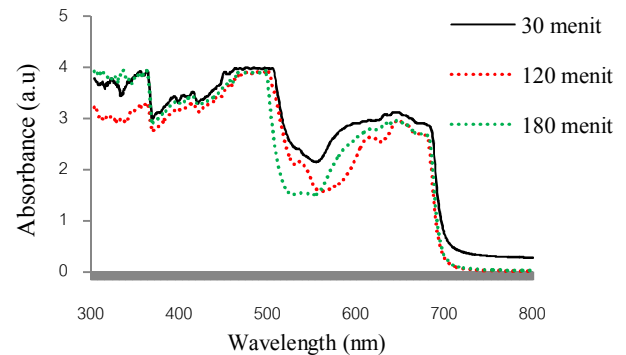
Tabel 10. Hasil Pengujian *Dye* dan Sel Surya Variasi Konsentrasi Pelarut

Sampel (%)	Klorofil Total (mg/l)	Voc (mV)	Isc (μA)	Pmax (watt)
70	61,815	218,4	5,1	279,07 x 10 ⁻⁹
80	75,067	224,2	8	449,24 x 10 ⁻⁹
98	80,076	235,5	14	824,64 x 10 ⁻⁹

Hasil pengujian sel menunjukkan bahwa sel yang menggunakan *dye* dengan absorpsi paling tinggi (98%), menghasilkan Voc, Isc dan Pmax yang paling baik yaitu 235,5 mV, 14 μA, dan 824,64 x 10⁻⁹ Watt.

E. Pengujian Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Waktu Stirring

Pengujian absorpsi klorofil dilakukan dengan menggunakan *Spectrophotometer* Shimadzu UV-1601 pada panjang gelombang 300 - 800 nm.



Gambar 15. Grafik Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Waktu Stirring

Perhitungan jumlah klorofil (Wintermans & De Mots) dengan waktu stirring 30 menit, 120 menit dan 180 menit dilakukan menggunakan cara yang sama dengan perhitungan jumlah klorofil dengan perbandingan jmlah daun dan volum pelarut. Hasil perhitungan jumlah klorofil ditunjukkan dalam Tabel 11.

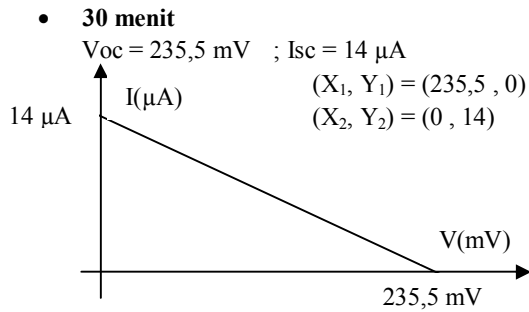
Tabel 11. Hasil Pengujian Absorpsi Klorofil Dengan Variasi Waktu Stirring

Sampel (menit)	Klorofil a (mg/l)	Klorofil b (mg/l)	Klorofil Total (mg/l)
30	22,690	57,509	80,076
120	20,328	54,592	74,804
180	20,446	55,566	75,895

Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu stirring yang menghasilkan jumlah klorofil yang paling baik adalah selama 30 menit.

F. Pengujian Sel Variasi Waktu Stirling

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lampu LED 7 watt dengan luminasi sebesar 5000 lux.



$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{14 - 0}{0 - 235,5} = -0,0594$$

$$y = -0,0594x + 14$$

Tabel 12. Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC Klorofil Variasi Waktu Stirling 30 menit

x(V)	y(I)	x.y
0	14	0
10	13.406	134.06
20	12.812	256.24
30	12.218	366.54
40	11.624	464.96
50	11.03	551.5
60	10.436	626.16
70	9.842	688.94
80	9.248	739.84
90	8.654	778.86
100	8.06	806
110	7.466	821.26
120	6.872	824.64
130	6.278	816.14
140	5.684	795.76
150	5.09	763.5
160	4.496	719.36
170	3.902	663.34
180	3.308	595.44
190	2.714	515.66
200	2.12	424
210	1.526	320.46
220	0.932	205.04
230	0.338	77.74
235.5	0.0113	2.66115

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{120 \times 6,872}{235,5 \times 14} = \frac{824,64}{3297} = 0,250$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 3297 \times 0,250 \\ &= 824,64 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Pengukuran dan perhitungan sel surya menggunakan klorofil variasi waktu stirring 120 dan 180 menit dilakukan dengan cara yang sama dengan pengukuran dan perhitungan sel surya yang menggunakan klorofil variasi waktu stirring 30 menit. Data hasil pengukuran

dan perhitungan ditunjukkan dalam Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 13. Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC Klorofil Variasi Waktu Stirling 120 menit

x(V)	y(I)	x.y
0	3.6	0
10	3.412	34.12
20	3.224	64.48
30	3.036	91.08
40	2.848	113.92
50	2.66	133
60	2.472	148.32
70	2.284	159.88
80	2.096	167.68
90	1.908	171.72
100	1.72	172
110	1.532	168.52
120	1.344	161.28
130	1.156	150.28
140	0.968	135.52
150	0.78	117
160	0.592	94.72
170	0.404	68.68
180	0.216	38.88
190	0.028	5.32
191	0.0092	1.7572

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{100 \times 1,72}{191 \times 3,6} = \frac{172}{687,6} = 0,250$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\ &= 687,6 \times 0,25 \\ &= 172 \times 10^{-9} \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tabel 14. Hasil Perhitungan V_{max} dan I_{max} DSSC Klorofil Variasi Waktu Stirling 180 menit

x(V)	y(I)	x.y
0	2.8	0
10	2.637	26.37
20	2.474	49.48
30	2.311	69.33
40	2.148	85.92
50	1.985	99.25
60	1.822	109.32
70	1.659	116.13
80	1.496	119.68
90	1.333	119.97
100	1.17	117
110	1.007	110.77
120	0.844	101.28
130	0.681	88.53
140	0.518	72.52
150	0.355	53.25
160	0.192	30.72
170	0.029	4.93
171	0.0127	2.1717

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{90 \times 1,333}{171 \times 2,8} = \frac{119,97}{478,8} = 0,250$$

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= V_{oc} \times I_{sc} \times FF \\
 &= 478,8 \times 0,250 \\
 &= 119,97 \times 10^{-9} \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Tabel 15. Hasil Pengujian *Dye* dan Sel Surya Variasi Waktu Stirring

Sampel (menit)	Klorofil Total (mg/l)	Voc (mV)	Isc (μ A)	Pmax (watt)
30	80,076	235.5	14	$824,64 \times 10^{-9}$
120	75,895	191	3,6	172×10^{-9}
180	75,895	171	2,8	$119,97 \times 10^{-9}$

Hasil pengujian sel menunjukkan bahwa sel yang menggunakan *dye* dengan absorpsi paling tinggi (30menit), menghasilkan Voc, Isc dan Pmax yang paling baik yaitu 235,5 mV, 14 μ A, dan $824,64 \times 10^{-9}$ Watt.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian absorpsi klorofil dan pengujian sel surya yang telah dilaksanakan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. DSSC telah berhasil dirancang dan diuji melalui langkah : pembuatan *dye*, pasta TiO₂, deposisi pasta pada kaca TCO, proses firing, perendaman kaca TCO dalam *dye*, pembuatan *counter-electrode*, perakitan DSSC. Komposisi pembuatan *dye* yang menghasilkan hasil terbaik adalah dengan menggunakan perbandingan (daun : pelarut) 3 : 5, menggunakan pelarut ethanol 98% dan waktu stirring selama 30 menit.
2. Variasi perbandingan daun dan pelarut untuk ekstraksi klorofil adalah 1 : 5, 2 : 5 dan 3 : 5. Diperoleh jumlah klorofil maksimum 80,076 mg/l dan *fill factor* DSSC sebesar 25% pada perbandingan 3 : 5. Pada variasi perbandingan 3 : 5 dihasilkan larutan klorofil yang pekat, sehingga mengandung lebih banyak klorofil dan dapat menyerap lebih banyak foton.
3. Variasi konsentrasi pelarut (ethanol) untuk ekstraksi klorofil adalah 70%, 80% dan 98%. Jumlah klorofil paling besar 80,076 mg/l dan daya keluaran sebesar $824,64 \times 10^{-9}$ Watt pada konsentrasi 98%. Konsentrasi pelarut yang lebih tinggi menyebabkan pelarut semakin bersifat polar, sehingga dapat menarik dan melarutkan lebih banyak klorofil.
4. Variasi waktu stirring untuk ekstraksi klorofil adalah 30, 120 dan 180 menit dengan kecepatan setengah putaran penuh. Jumlah klorofil paling besar 80,076 mg/l, Voc sebesar 235,5 mV dan Isc sebesar 14 μ A pada waktu 30 menit. Semakin lama klorofil mendapat perlakuan mekanis (*stirring*), maka klorofil akan mengalami degradasi pigmen yang menyebabkan berkurangnya molekul klorofil aktif yang menyerap foton.
5. Dari hasil pengujian absorpsi klorofil pada penelitian ini, didapatkan klorofil dengan absorpsi

tertinggi adalah klorofil dengan menggunakan perbandingan (daun : pelarut) 3 : 5 dan dengan menggunakan pelarut ethanol 98%.

B. Saran

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

- DSSC yang telah dirancang dan diuji dapat dilakukan variasi pada jenis daun yang digunakan sebagai sumber klorofil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anh, Quan Vo. 2006. *Degradation of the Solar Cell Dye Sensitizer N719 Preliminary Building of Dye-Sensitized Solar Cell. Thesis*. Denmark: Roskilde University. (1)
- [2] Manan, S. 2009. *Energi Matahari Sumber Energi Alternatif yang Effisien, handal dan ramah lingkungan di Indonesia*, Program Diploma III Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang: tidak diterbitkan. (1)
- [3] O' Regan, M Gratzel. 1991. *A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Folms*. Nature 353. (737 – 739).
- [4] B. Paul, B. SØrensen, Y. Shang-Tian, R. Sukanta. 2009. *Renewable Energy Focus Handbook*. Elsevier Inc. San Diego, CA. (39)
- [5] M. Syahid, et al. 2013. *Recent Advancement in Natural Dye Application: A Review*. Journal of Cleaner Production. (1 – 22).
- [6] S.Wilman, D. Fajarisandi, M. Aditia. 2007. *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik*. Penghargaan PT. Rekayasa Industri Penelitian Bidang Energi. Jakarta: tidak diterbitkan. (28).

Dody Fanditya Rakhman, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2014, **Pengaruh Variasi Konsentrasi Klorofil Terhadap Daya Keluaran Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)**.

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MSc. dan Eka Maulana, ST., MT., MEng.