

## BAB V

### PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas pengujian dan analisis hasil keluaran atau performansi DSSC yang telah dirancang. Pengujian dilakukan pada kondisi cahaya yang berbeda-beda. Perbedaan kondisi cahaya meliputi intensitas cahaya matahari yang berbeda-beda dari pagi hingga sore hari dan perbedaan spektrum cahaya yang berbeda-beda dengan beberapa lampu sebagai sumber cahaya. Sebelum melakukan pengujian hasil keluaran DSSC, dilakukan juga pengujian terhadap level penyerapan dari material *dye* yang digunakan.

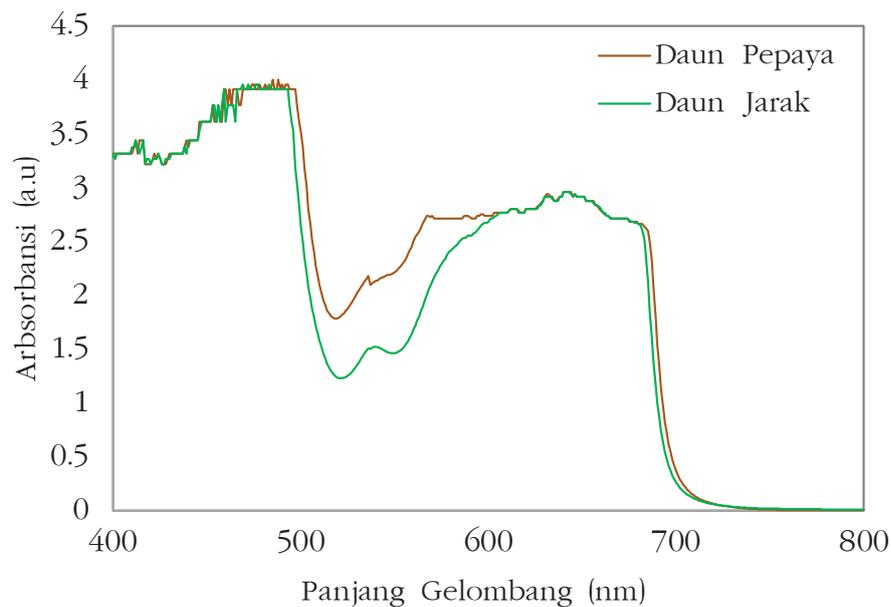
#### 5.1. Pengujian Tingkat Penyerapan *Dye*

*Dye* yang digunakan berasal dari larutan hasil ekstraksi daun pepaya dan hasil ekstraksi daun jarak. Pengujian tingkat penyerapan larutan dianalisis menggunakan *UV-VIS Spectrophotometer (Shimadzu)* tipe *UV – 1601* dan dilakukan Laboratorium Instrumentasi dan Pengujian Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat penyerapan klorofil daun pada panjang gelombang cahaya 300 nm - 700 nm dan selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil keluaran DSSC berdasarkan perbedaan spektrum sumber cahaya yang masuk.



Gambar 5.1. *UV-VIS Spectrophotometer (Shimadzu)* tipe *UV – 1601*

Setelah pengujian tingkat penyerapan *dye* dilakukan, angka absorbansi akan muncul pada setiap panjang gelombang cahaya. Selanjutnya angka-angka tersebut diolah dalam bentuk grafik seperti dalam gambar di bawah ini. Gambar 5.2 menampilkan tingkat penyerapan dari larutan hasil ekstraksi daun pepaya dan hasil ekstraksi daun jarak.



Gambar 5.2 Grafik Tingkat Penyerapan Cahaya pada Hasil Ekstraksi Klorofil Daun Pepaya dan Daun Jarak

Berdasarkan pengujian tingkat penyerapan *dye* yang telah dilakukan, klorofil daun pepaya maupun klorofil daun jarak memiliki karakteristik tingkat penyerapan yang hampir sama yaitu tingkat penyerapan sebesar 4 (a.u.) pada panjang gelombang cahaya 450-500 nm dan sebesar 3 (a.u.) pada panjang gelombang 650 nm. Perbedaan tingkat penyerapan terjadi pada panjang gelombang antara 500–600 nm di mana klorofil daun pepaya memiliki penyerapan lebih tinggi.

Grafik tingkat penyerapan yang ditampilkan Gambar 5.2 cenderung akan lebih menerima spektrum cahaya yang dimiliki oleh LED *Cool Daylight* daripada spektrum cahaya yang dimiliki oleh LED *Warm White* dan lampu *Compact Fluorescent*. Pembuktian hal ini dapat ditunjukkan pada penelitian selanjutnya yaitu uji performansi DSSC terhadap cahaya lampu, dan apakah keluaran DSSC akan lebih besar jika menggunakan cahaya LED *Cool Daylight*.

## 5.2. Pengujian Hasil Keluaran DSSC

Pengujian hasil keluaran DSSC dilakukan di bawah sinar matahari dan di bawah sinar lampu. Pengujian dilakukan di bawah matahari bertujuan untuk mengetahui hasil tegangan keluaran ( $V_{OC}$  &  $I_{SC}$ ) dan efisiensi DSSC pada saat sudut hadap matahari tertentu. Sedangkan pengujian dilakukan dibawah sinar lampu untuk mengetahui pengaruh perubahan spektrum panjang gelombang dan intensitas penerangan cahaya terhadap hasil keluaran DSSC.

### 5.2.1. Pengujian DSSC di bawah cahaya matahari

Hal yang dilakukan sebelum melakukan penelitian hasil tegangan hubung buka ( $V_{OC}$ ) dan arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ) yaitu menentukan waktu terjadinya sudut hadap matahari tertentu atau waktu terjadinya Air Mass 1.5. Kondisi cahaya matahari dalam pengujian kualitas atau performansi DSSC secara umum adalah ketika kondisi air mass (AM) 1.5 atau ketika sudut zenith matahari sebesar  $48^\circ$ . Salah satu metode dalam menentukan saat terjadinya AM 1.5 pada tempat tertentu adalah dengan cara mencari panjang bayangan benda tegak lurus terhadap permukaan tanah terlebih dahulu. Selanjutnya besar air mass pada suatu tempat ditentukan dengan rumus

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2}$$

Di mana AM adalah *air mass*, s adalah panjang bayangan (a.u.) dan h adalah panjang benda (a.u.).

Berdasarkan rumus tersebut maka dilakukan pengamatan panjang bayangan benda tegak lurus pada pukul 7.00 sampai dengan 13.00 waktu setempat. Pengamatan dalam menentukan *air mass* tersebut dilakukan pada tanggal 3 Februari 2014. Pengamatan dilakukan pada koordinat -7.956011, 112.615935. Tabel 5.1 menampilkan hasil pengamatan yang telah dilakukan.

Tabel 5.1: Data Hasil Pengamatan untuk Menentukan *Air Mass* pada Jam-jam Tertentu

Pukul	Panjang benda (cm)	Panjang Bayangan (cm)	AM
7.00	14.65	33.8	2.515
7.45	14.65	26	2.037
8.00	14.65	20.5	1.720
8.10	14.65	19.4	1.659
8.30	14.65	17.5	1.558
8.34	14.65	16.4	1.501
8.38	14.65	16	1.481
9.00	14.65	12.7	1.323
9.30	14.65	10.8	1.242
10.00	14.65	7.5	1.123
10.30	14.65	5.1	1.059
11.00	14.65	2.9	1.019
11.30	14.65	1.2	1.003
11.46	14.65	1.5	1.005
12.19	14.65	3.3	1.025
13.03	14.65	6.5	1.094

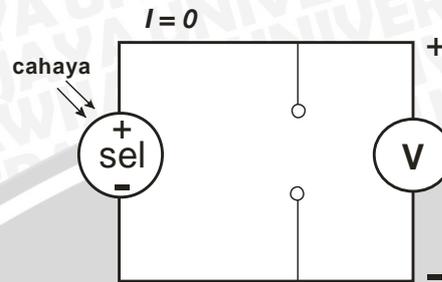
Dari data pengamatan di atas panjang bayangan akan semakin pendek ketika menjelang siang hari. Dengan acuan panjang benda adalah 14.65 cm, maka diketahui bahwa pada koordinat  $-7.956011, 112.615935$ , *air mass* (AM) 1.5 terjadi pada pukul 8.34 WIB.

Setelah mengetahui hal tersebut maka pengujian hasil keluaran DSSC bermaterial ekstraksi daun pepaya maupun DSSC bermaterial ekstraksi daun jarak dilakukan antara pukul 8.30 – 8.40 pada tanggal-tanggal tertentu. Pengujian dilakukan hanya pada saat kondisi matahari cerah atau besar intensitas penerangan cahaya di atas 50000 lux.

### 5.2.1.1 Pengukuran Tegangan Hubung Buka (Voc) DSSC

Alat ukur yang digunakan dalam proses pengukuran adalah multimeter digital *Sanwa® CD800a*. Pengukuran tegangan hubung buka dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif multimeter digital dengan substrat DSSC yang berperan sebagai katoda dan menghubungkan kutub negatif multimeter dengan

substrat anoda DSSC. Gambar 5.3 menampilkan bagaimana cara menguji tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ).



Gambar 5.3 Rangkaian Pengukuran Tegangan Hubung Buka ( $V_{oc}$ )

Proses pengukuran  $V_{oc}$  DSSC berbahan material klorofil daun pepaya dan DSSC berbahan material klorofil daun jarak dilakukan secara bergantian dengan rentang waktu sekitar 1 menit dengan asumsi kondisi matahari tetap cerah. Gambar 5.4 menampilkan hasil tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) DSSC berbahan material klorofil daun pepaya sebesar 393.8 mV pada saat intensitas penerangan 72500 lux.



Gambar 5.4 Salah Satu Proses Pengujian  $V_{oc}$  DSSC Berbahan *Dye* Daun Pepaya

Pengukuran tegangan hubung buka DSSC dilakukan sebanyak 5 kali yaitu pada hari atau tanggal yang berbeda-beda. Hal ini untuk mengetahui hasil tegangan rata-rata DSSC pada saat kondisi matahari cerah. Setelah dilakukan beberapa kali pengukuran didapatkan hasil tegangan hubung buka DSSC yang diperoleh dalam satuan millivolt. Tabel 5.2 menampilkan hasil uji tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) dari DSSC 1 (berbahan klorofil daun pepaya yang berperan sebagai *dye*). Sedangkan Tabel 5.3 menampilkan hasil dari DSSC 2 (*dye* berbahan klorofil daun jarak pagar). Intensitas penerangan/iluminasi cahaya (lux) yang diterima pada saat pengukuran berbeda-beda namun hampir sama yaitu berkisar antara 53000 – 72500 lux.

Tabel 5.2 : Hasil Uji Tegangan Hubung Buka ( $V_{oc}$ ) DSSC 1 Pada Saat AM 1.5

Pengukuran Ke-	Tanggal	Pukul	Illuminasi Cahaya (Lux)	Voc (mV)
1	28 Februari 2014	8.30 - 8.40	57000	391
2	02 Maret 2014	8.30 - 8.40	53900	369
3	03 Maret 2014	8.30 - 8.40	59600	375
4	05 Maret 2014	8.30 - 8.40	72500	393.8
5	16 April 2014	8.30 - 8.40	62800	397
6	19 April 2014	8.30 - 8.40	61400	397.6
Tegangan Rata-rata				<b>387.23</b>

Tabel 5.3 : Hasil Uji Tegangan Hubung Buka ( $V_{oc}$ ) DSSC 2 Pada Saat AM 1.5

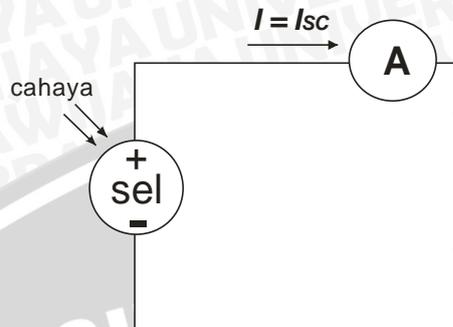
Pengukuran Ke-	Tanggal	Pukul	Illuminasi Cahaya (Lux)	Voc (mV)
1	28 Februari 2014	8.30 - 8.40	61200	329.4
2	02 Maret 2014	8.30 - 8.40	53900	347.8
3	03 Maret 2014	8.30 - 8.40	56100	345
4	05 Maret 2014	8.30 - 8.40	71800	349.5
5	16 April 2014	8.30 - 8.40	63500	367.3
6	19 April 2014	8.30 - 8.40	60400	331.6
Tegangan Rata-rata				<b>345.1</b>

Tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh DSSC berbahan klorofil daun pepaya pada kondisi sudut zenith matahari  $48^\circ$  atau ketika air mass (AM) 1.5 adalah 387,23 mV. Sedangkan pada saat yang hampir sama tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh DSSC berbahan klorofil daun jarak adalah 345,1 mV. Hal ini membuktikan bahwa tegangan hubung buka DSSC 1 lebih baik dari pada tegangan hubung buka DSSC 2. Selain itu, hasil ini sebanding dengan hasil uji tingkat penyerapan klorofil daun dimana tingkat penyerapan klorofil daun pepaya cenderung lebih baik dibandingkan tingkat penyerapan klorofil daun jarak pagar.

### 5.2.1.2 Pengukuran Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ ) DSSC

Alat ukur yang digunakan dalam proses pengukuran adalah multimeter analog *ABB MA3E*. Pengukuran arus hubung singkat dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif dan negatif multimeter dengan rangkaian rangkaian

hubung singkat DSSC. Gambar 5.5 menampilkan bagaimana cara menguji arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) DSSC.



Gambar 5.5 Rangkaian Pengukuran Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )

Proses pengukuran  $I_{sc}$  DSSC berbahan material klorofil daun pepaya dan DSSC berbahan material klorofil daun jarak pagar dilakukan secara bergantian dengan rentang waktu sekitar 1 menit dengan asumsi kondisi matahari tetap cerah. Gambar 5.6 menunjukkan salah satu proses dan hasil uji  $I_{sc}$  dssc bermaterial *dye* hasil ekstraksi klorofil daun jarak.



Gambar 5.6 Salah Satu Proses dan Hasil Uji  $I_{sc}$  DSSC Bermaterial *Dye* Hasil Ekstraksi Klorofil Daun Jarak

Pengukuran arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) DSSC dilakukan sebanyak 3 kali yaitu pada hari atau tanggal yang berbeda-beda. Hal ini untuk mengetahui hasil arus keluaran rata-rata DSSC pada saat kondisi matahari cerah. Setelah dilakukan pengukuran didapatkan hasil yang diperoleh  $I_{sc}$  dengan satuan millivolt. Tabel 5.4 menampilkan hasil uji arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) dari DSSC 1 (*dye* berbahan klorofil daun pepaya). Sedangkan Tabel 5.5 menampilkan hasil  $I_{sc}$  dari DSSC 2 (*dye* berbahan klorofil daun jarak). Intensitas penerangan/iluminasi cahaya (lux) yang

diterima pada saat pengukuran berbeda-beda namun hampir sama yaitu berkisar antara 53000 – 59600 lux.

Tabel 5.4 : Hasil Uji Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ ) DSSC 1 Pada Saat AM 1.5

Pengukuran Ke-	Tanggal	Pukul	Lux	Isc ( $\mu A$ )
1	28 Februari 2014	8.30 - 8.40	57000	48
2	02 Maret 2014	8.30 - 8.40	53900	45
3	03 Maret 2014	8.30 - 8.40	59600	54.4
Arus Rata-rata				<b>49.1</b>

Tabel 5.5 : Hasil Uji Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ ) DSSC 2 Pada Saat AM 1.5

Pengukuran Ke-	Tanggal	Pukul	Lux	Isc ( $\mu A$ )
1	28 Februari 2014	8.30 - 8.40	61200	49
2	02 Maret 2014	8.30 - 8.40	53900	46
3	03 Maret 2014	8.30 - 8.40	56100	42.5
Arus rata-rata				<b>45.83</b>

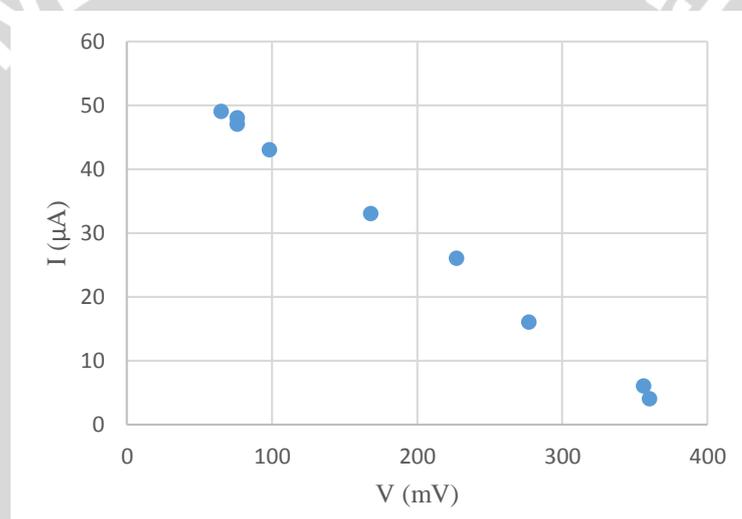
Arus rata-rata yang dihasilkan oleh DSSC berbahan klorofil daun pepaya pada kondisi sudut zenith matahari  $48^\circ$  atau ketika air mass (AM) 1.5 adalah 49.1  $\mu A$ . Sedangkan pada saat yang hampir sama tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh DSSC berbahan klorofil daun jarak adalah 45.83  $\mu A$ . Hasil ini sama dengan pengujian  $V_{OC}$ , dimana DSSC 1 lebih baik dibandingkan DSSC 2. Selain itu, arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) yang dihasilkan oleh 2 *prototype* DSSC yang telah dibuat pada penelitian ini masih dalam satuan mikro *ampere*. Hal ini menunjukkan efisiensi pengumpulan elektron rendah, sehingga difusi elektron berjalan lambat dan dengan demikian menurunkan efisiensi konversi foton.

### 5.2.1.3 Perhitungan Efisiensi DSSC

Kualitas suatu sel surya berbasis *dye-sensitized* dapat dinilai berdasarkan berapa nilai *fill factor* yang dimiliki dan besar efisiensi konversi foton cahaya berubah menjadi listrik. *Fill factor* merupakan rasio perbandingan antara daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh DSSC dengan perkalian antara  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ .

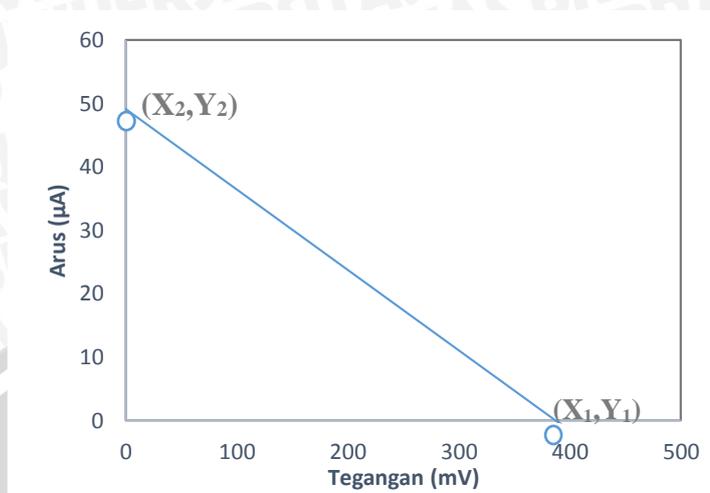
Sedangkan daya maksimum dapat ditentukan dengan menggunakan kurva karakteristik I-V *solar cell*.

Dari beberapa data hasil keluaran di atas, diambil rata-rata tegangan hubung buka ( $V_{OC}$ ) dan arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ) dari DSSC berbahan material klorofil daun pepaya. Rata-rata  $V_{OC}$  dan  $I_{SC}$  yang dihasilkan adalah sebesar 387.23 mV dan 49.1  $\mu A$ . Besar beban ( $R$ ) yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik kurva I-V pada DSSC tersebut di antaranya 47 $\Omega$ , 470 $\Omega$ , 4700 $\Omega$ , 10k $\Omega$ , 47k $\Omega$ , 100k $\Omega$ , dan 470k  $\Omega$ . Pergerakan kurva I-V yang dapat ditampilkan berdasarkan perubahan besar beban pada rangkaian uji performansi DSSC ditunjukkan dalam Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Kurva I-V DSSC Pada Beban-beban Tertentu

Sedangkan Gambar 5.8 merupakan hasil regresi kurva karakteristik I-V di atas (Gambar 5.7). Dari Gambar 5.8 tersebut dapat ditentukan besar daya maksimum berdasarkan luasan terbesar perkalian antara arus dan tegangan dengan persamaan  $y = -mx + 49.1$ . Nilai 49.1 merupakan nilai terbesar sumbu y.



Gambar 5.8 Kurva I-V DSSC Berbahan Material Klorofil Daun Pepaya

Keterangan :

$$(X_1, Y_1) = (387, 0)$$

$$(X_2, Y_2) = (0, 49)$$

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{49 - 0}{0 - 387.23} = -0,1265$$

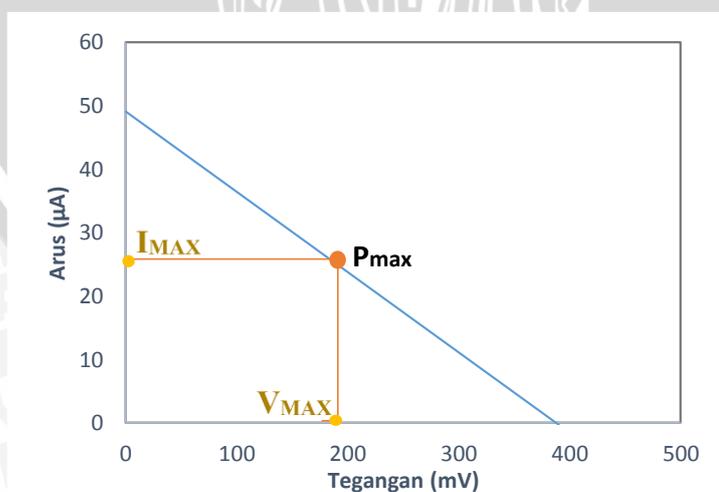
$$y = -0,1265x + 49$$

Jika  $(X_1, Y_1) = (387, 0)$  dan  $(X_2, Y_2) = (0, 49)$  maka didapatkan fungsi  $y = -0,1265x + 49$ . Jika  $x$  merupakan tegangan (V) maka  $y$  merupakan arus (I). Variasi nilai  $x$  dimulai dari 0 sampai dengan 387 sebagaimana nilai  $V_{OC}$ . Dari variasi nilai  $x$  tersebut maka ditemukan pula variasi nilai  $y$  seperti pada Tabel 5.6. Kolom ke-3 dari tabel tersebut merupakan hasil perkalian antara  $x$  dan  $y$  atau perkalian antara  $V$  dan  $I$ . Daya maksimum merupakan nilai terbesar dari kolom tersebut.

Tabel 5.6 : Hasil Perhitungan Dalam Menentukan Daya Maksimum DSSC

$x(V)$	$y(I)$	$xy(P)$
0	49.10	0.00
10	47.83	478.32
20	46.56	931.28
30	45.30	1358.88
40	44.03	1761.12
50	42.76	2138.00
60	41.49	2489.53
70	40.22	2815.69
80	38.96	3116.49

90	37.69	3391.94
100	36.42	3642.02
110	35.15	3866.74
120	33.88	4066.11
130	32.62	4240.11
140	31.35	4388.76
150	30.08	4512.04
160	28.81	4609.97
170	27.54	4682.54
180	26.28	4729.74
190	25.01	4751.59
200	23.74	4748.08
210	22.47	4719.21
220	21.20	4664.98
230	19.94	4585.38
240	18.67	4480.43
250	17.40	4350.12
260	16.13	4194.45
270	14.86	4013.42
280	13.60	3807.03
290	12.33	3575.29
300	11.06	3318.18
310	9.79	3958.05
320	8.52	3598.172
330	7.26	3207.821
340	5.99	2786.998
350	4.72	2335.703
360	3.45	1853.936
370	2.18	1341.696
387	0.92	798.9843



Gambar 5.9. DSSC Menghasilkan  $P_{max}$  dari Luasan Terbesar Kurva I-V

Dari tabel karakteristik di atas dapat diketahui daya (P) terbesar berasal dari tegangan (V) sebesar 190 mV dan arus (I) sebesar 25 uA atau digambarkan dalam Gambar 5.9. Berdasarkan kurva I-V tersebut maka besar Fill factor adalah

$$FF = \frac{V_m \times I_m}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{190 \times 25}{387 \times 49} = 25.09\%$$

Nilai fill factor tersebut berasal dari kurva I-V hasil regresi. Artinya nilai fill factor bisa lebih besar dari 25.09 %.

Sementara nilai efisiensi konversi adalah sebagai berikut

$$\eta = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{I_G \times A} = \frac{(387 \times 10^{-3}) \times (49 \times 10^{-6}) \times 25.09}{930.6 \times 0.0004} = 0.00128\%$$

Dari persamaan di atas tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) adalah 0.3938 volt, arus hubung singkat ( $I_{sc}$ ) sebesar 0.000049 A dan *fill factor* 25.09 %. Sedangkan intensitas global ( $I_G$ ) cahaya matahari saat air mass (AM) 1.5 menurut teori adalah 930.6 W/m<sup>2</sup>. Sementara itu nilai 0.0004 merupakan luas area aktif *prototype* DSSC yang telah dibuat yaitu 4 cm<sup>2</sup>. Efisiensi DSSC berbahan material klorofil daun pepaya yang dihasilkan adalah 0.00128%.

Perhitungan efisiensi DSSC berbahan material klorofil daun jarak juga telah dilakukan. Hasilnya tidak berbeda jauh dengan DSSC berbahan material daun pepaya yaitu sebesar 0.00104%. Berdasarkan performa yang dihasilkan maka penelitian proses pembuatan DSSC masih perlu dilakukan dengan mengontrol lapisan TiO<sub>2</sub>, dan memperhatikan kompatibilitas komponen penyusunnya, sehingga dapat memperbaiki karakteristik performa DSSC.

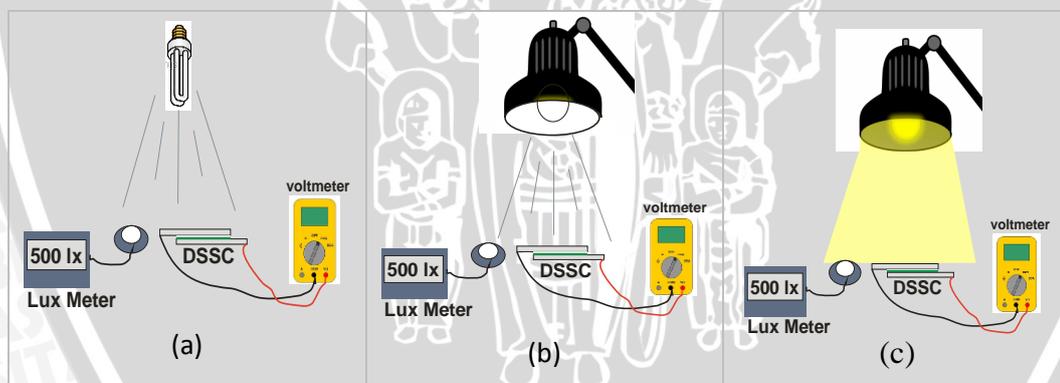
### 5.2.2. Pengujian Keluaran DSSC di Bawah Sinar Lampu

Pengujian hasil keluaran DSSC di bawah sinar lampu dilakukan untuk menganalisis 2 hal, yaitu analisis pengaruh perubahan spektrum panjang gelombang cahaya terhadap keluaran ( $V_{sc}$  &  $I_{sc}$ ) DSSC dan analisis pengaruh perubahan intensitas penerangan terhadap keluaran DSSC.

### 5.2.2.1 Pengujian Hasil Tegangan Hubung Buka ( $V_{oc}$ )

#### 5.2.2.1.1 Pengujian $V_{oc}$ Berdasarkan Perbedaan Karakteristik Spektrum Panjang Gelombang Cahaya

Jika melihat hasil dari pengujian tingkat penyerapan *dye* (klorofil) yang telah dilakukan, maka perlu untuk mengetahui hubungan level penyerapan cahaya klorofil dengan hasil tegangan hubung buka  $V_{oc}$  DSSC yang memakai bahan klorofil tersebut. Hal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan pengukuran keluaran DSSC menggunakan beberapa sumber cahaya yang memiliki karakter spektrum cahaya berbeda-beda. Sumber cahaya tersebut diantaranya lampu CFL, lampu LED *Cool Daylight*, LED Warm White. Lampu CFL memiliki *luminous flux* sebesar 620 lumen, sedangkan LED *Cool Daylight* dan LED Warm White memiliki *luminous flux* sebesar 600 lumen. Berdasarkan sumber teori yang didapat lampu CFL memiliki spektrum cahaya yang tinggi pada panjang gelombang 550 nm, LED *Cool Daylight* pada panjang gelombang 450 nm dan LED Warm White pada panjang gelombang 610 nm.



Gambar 5.10 Ilustrasi Proses Uji  $V_{oc}$  DSSC Menggunakan lampu CFL (a), LED *Cool Daylight* (b), dan LED Warm White (c) Pada Intensitas Penerangan 500 lux

Setelah pengujian dilakukan, hasil keluaran ( $V_{oc}$ ) DSSC 1 (berbahan klorofil daun pepaya) dan DSSC 2 (berbahan klorofil daun jarak) dengan 3 sumber cahaya berbeda-beda dibawah intensitas penerangan 500 lux ditampilkan dalam Tabel 5.7. Tabel tersebut menunjukkan bahwa DSSC 1 maupun DSSC 2 memberikan keluaran tegangan ( $V_{oc}$ ) paling tinggi jika menggunakan LED *Cool Daylight* sebagai sumber cahaya dibandingkan dengan CFL ataupun LED Warm

White. Gambar 5.11 merupakan hasil pengujian (pengukuran ke-2) tegangan ( $V_{oc}$ ) dari DSSC berbahan *dye* klorofil daun jarak.

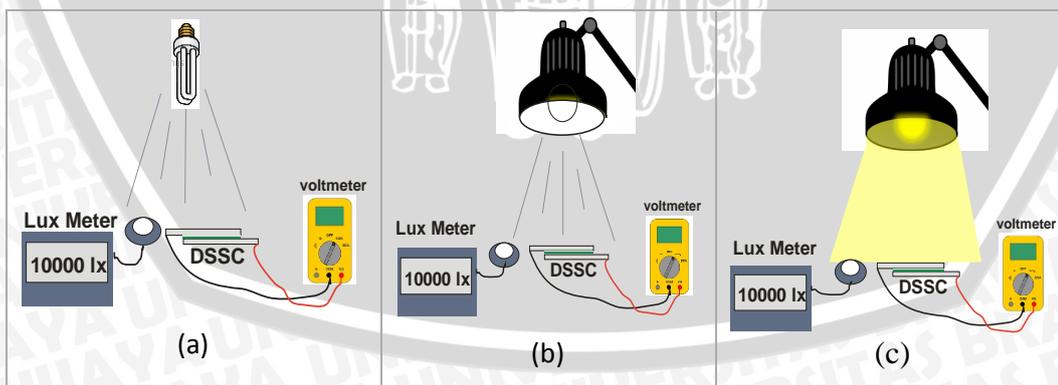
Tabel 5.7 : Hasil Pengukuran Voc DSSC 1 dan DSSC 2 Pada Iluminasi Cahaya 500 lux

Pengukuran	Voc (mV) DSSC 1			Voc (mV) DSSC 2		
	CFL	LED Cool Daylight	LED Warm White	CFL	LED Cool Daylight	LED Warm White
1	75	100	59.2	71	101	62
2	49.3	91	45.9	42.9	94.6	55.3
<b>Rata-rata</b>	<b>57.15</b>	<b>95.5</b>	<b>52.55</b>	<b>56.95</b>	<b>97.8</b>	<b>58.65</b>



Gambar 5.11 Hasil Uji Voc DSSC 2 Menggunakan Lampu CFL (a), LED *Cool Daylight* (b), LED *Warm White* (c)

Sedangkan pengujian  $V_{oc}$  DSSC 1 dan DSSC 2 pada intensitas penerangan tinggi yang dimaksud dalam penelitian ini adalah sebesar 10000 lux. Ilustrasi pengujiannya ditampilkan dalam Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Ilustrasi Proses Uji Voc DSSC Menggunakan lampu CFL (a), LED *Cool Daylight* (b), dan LED *Warm White* (c) Pada Intensitas Penerangan 10000 lux

Tabel 5.8 menampilkan hasil keluaran ( $V_{oc}$ ) DSSC 1 dan DSSC 2 dengan 3 sumber cahaya berbeda-beda dibawah intensitas penerangan 10000 lux. Hasil



yang ditunjukkan dalam tabel tersebut bahwa DSSC 1 maupun DSSC 2 memberikan keluaran tegangan  $V_{oc}$  paling tinggi jika menggunakan LED *Cool Daylight* sebagai sumber cahaya. Gambar 5.11 merupakan hasil pengujian (pengukuran ke-2) tegangan ( $V_{oc}$ ) dari DSSC berbahan *dye* klorofil daun pepaya.

Tabel 5.8 : Hasil Pengukuran  $V_{oc}$  DSSC Pada Iluminasi Cahaya 10000 lux

Pengukuran	Voc (mV) DSSC 1			Voc (mV) DSSC 2		
	CFL	LED <i>Cool Daylight</i>	LED Warm White	CFL	LED <i>Cool Daylight</i>	LED Warm White
1	195	249	196.4	190	239	203
2	190.2	235.7	190.5	187.4	222	199
<b>Rata-rata</b>	<b>192.55</b>	<b>242.35</b>	<b>193.45</b>	<b>188.7</b>	<b>230.5</b>	<b>201</b>



(a)



(b)



(c)

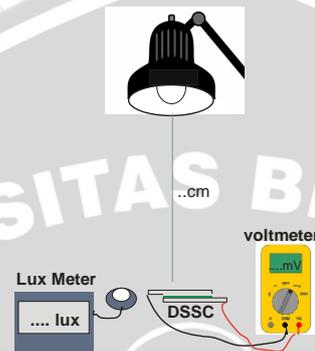
Gambar 5.13 Hasil Uji Voc DSSC 1 Menggunakan Lampu CFL (a), LED *Cool Daylight* (b), LED Warm White (c)

Dari hasil pengamatan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8, tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) DSSC 1 & DSSC 2 paling besar adalah ketika menggunakan sumber cahaya *LED Cool Daylight*. Karakteristik spektrum cahaya yang dominan pada panjang gelombang 450 nm lebih baik sebagai sumber cahaya DSSC dari pada spektrum cahaya yang dominan pada panjang gelombang 550 nm dan spektrum cahaya yang dominan pada panjang gelombang 610 nm.

#### 5.2.2.1.2 Pengujian $V_{oc}$ Berdasarkan Tingkat Intensitas Penerangan Cahaya

Setelah mengetahui pengaruh perbedaan karakteristik spektrum cahaya terhadap  $V_{oc}$  DSSC, penelitian selanjutnya adalah melakukan analisis pengaruh perubahan intensitas penerangan (*illuminance*) cahaya terhadap tegangan hubung buka DSSC. Lampu yang digunakan sebagai penelitian adalah lampu yang memiliki spektrum cahaya yang paling baik di antara lampu yang ada yaitu LED

*Cool Daylight* (memiliki *luminous flux* sebesar 600 lumen). Perubahan jarak posisi sumber cahaya lampu terhadap area aktif DSSC dilakukan untuk mengatur intensitas atau iluminasi cahaya. Posisi cahaya tegak lurus terhadap permukaan area aktif DSSC seperti ilustrasi dalam Gambar 5.14.



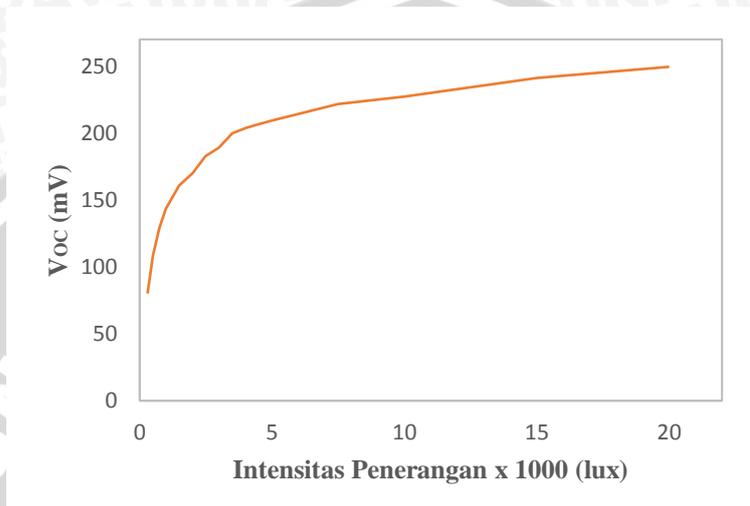
Gambar 5.14 Ilustrasi Pengujian keluaran Voc DSSC dibawah LED *Cool Daylight*

Tabel 5.9 menampilkan hasil pengukuran tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) keluaran DSSC 1 (berbahan *dye* klorofil daun pepaya) yang dilakukan berdasarkan perubahan intensitas penerangan cahaya dari 300 lux sampai dengan 20000 lux. Jarak antara pengukuran 1 dan pengukuran 2 adalah 48 jam.

Tabel 5.9 : Data Hasil Pengujian Tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) dari DSSC 1 (Daun Pepaya) Berdasarkan Tingkat Intensitas Penerangan Cahaya

Intensitas Penerangan (Lux)	Pengukuran Voc (mV) Ke-		Voc (mV) Rata-rata
	1	2	
300	93.3	67.2	80.25
500	123	94	108.5
750	140	118	129
1000	153.2	133.1	143.15
1500	170.5	151	160.75
2000	176.7	163	169.85
2500	190	175	182.5
3000	196.4	181.3	188.85
3500	202.2	197.6	199.9
4000	204	203.1	203.55
5000	213.4	205	209.2
7500	221.5	221.9	221.7
10000	226	228.7	227.35
15000	240	242	241
20000	247.8	250.8	249.3

Hasil tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) DSSC 1 rata-rata pada intensitas penerangan yang berbeda-beda seperti ditunjukkan dalam tabel di atas juga digambarkan dalam bentuk grafik (Gambar 5.15). Grafik perubahan  $V_{oc}$  terhadap perubahan intensitas penerangan cahaya ditampilkan dalam Gambar 5.15.



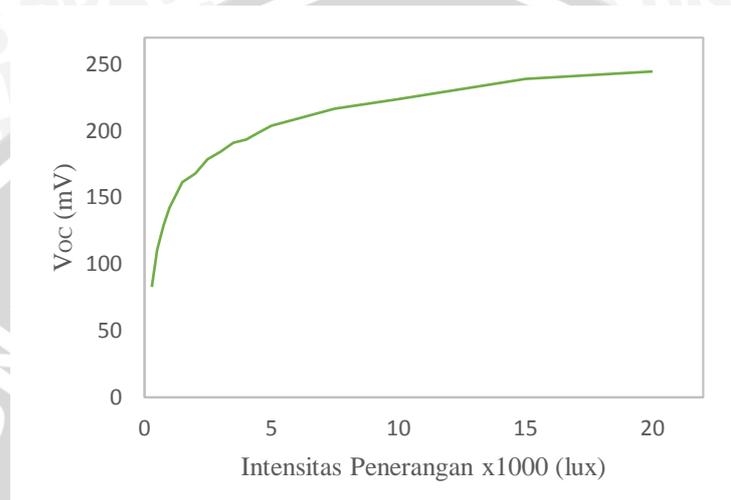
Gambar 5.15. Grafik Perubahan Voc DSSC 1 Berdasarkan Perubahan Intensitas Penerangan Cahaya

Sementara itu Tabel 5.10 menampilkan hasil pengukuran tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) keluaran DSSC 2 (berbahan *dye* klorofil daun jarak) yang dilakukan berdasarkan perubahan intensitas penerangan cahaya dari 300 lux sampai dengan 20000 lux. Grafik perubahannya ditampilkan dalam Gambar 5.16.

Tabel 5.10 : Data Hasil Pengujian Tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) dari DSSC 2 (Daun Jarak) Berdasarkan Beda Tingkat Intensitas Penerangan Cahaya

Intensitas Penerangan (Lux)	Pengukuran Voc (mV) ke-		Voc (mV) Rata-rata
	1	2	
300	90.7	74.5	82.6
500	119	102.8	110.9
750	134	124.2	129.1
1000	145.8	138.5	142.15
1500	164	159	161.5
2000	169.7	166	167.85
2500	181	176.4	178.7
3000	186.5	182	184.25
3500	192.7	189	190.85
4000	194	192.4	193.2
4500	199.9	197	198.45

5000	204.5	203	203.75
7500	214.5	218.7	216.6
10000	222	225.4	223.7
15000	238	239.5	238.75
20000	243.6	245.7	244.65



Gambar 5.16 Grafik Perubahan Voc DSSC 2 Berdasarkan Perubahan Intensitas Penerangan Cahaya

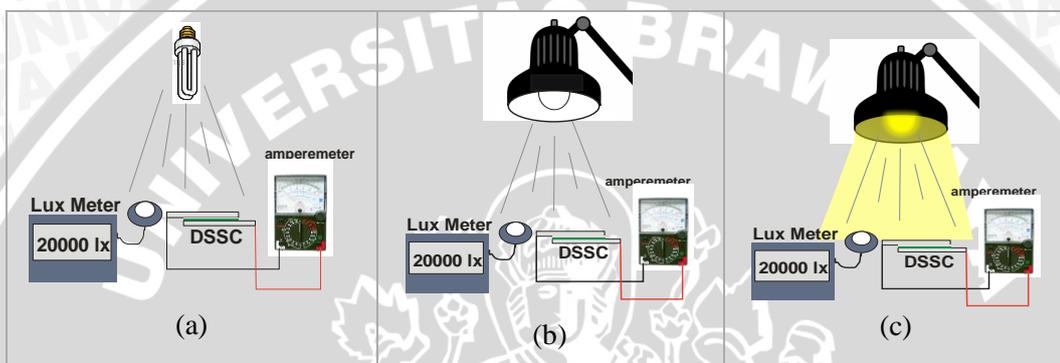
Berdasarkan 2 grafik dalam Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas penerangan cahaya maka semakin besar juga tegangan hubung buka ( $V_{oc}$ ) yang dihasilkan oleh DSSC. Karakteristik perubahan  $V_{oc}$  DSSC 1 dan DSSC 2 hampir sama yaitu terjadi kenaikan sekitar 100-120 mV pada perubahan intensitas antara 0-5000 lux dan kenaikan sekitar 40-50 mV pada perubahan intensitas antara 5000–20.000 lux.

### 5.2.2.2 Pengujian Hasil Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ )

#### 5.2.2.2.1 Pengujian $I_{sc}$ Berdasarkan Perbedaan Karakteristik Spektrum Panjang Gelombang Cahaya

Setelah melakukan pengujian terhadap tegangan hubung buka selanjutnya dilakukan juga uji arus hubung singkat pada spektrum lampu yang berbeda-beda. Sumber cahaya tersebut diantaranya lampu CFL, lampu LED *Cool Daylight*, LED *Warm White*. Lampu CFL memiliki *luminous flux* sebesar 620 lumen, sedangkan LED *Cool Daylight* dan LED *Warm White* memiliki *luminous flux* sebesar 600 lumen.

Pengujian dilakukan pada intensitas penerangan cahaya yang cukup tinggi yaitu sebesar 20000 lux. Hal ini dilakukan karena besar arus hubung singkat DSSC 1 dan DSSC 2 pada saat pengujian di bawah sinar matahari (60000 lux) maksimal hanya sebesar 40-60  $\mu\text{A}$ . Jika dilakukan pengujian di bawah intensitas penerangan yang rendah dimungkinkan hasil arus hubung singkat yang dihasilkan akan sangat kecil atau semakin sulit untuk mengetahui perbedaan hasil pengukurannya. Ilustrasi pengujian atau pengukuran  $I_{sc}$  DSSC 1/DSSC 2 ditampilkan dalam Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Ilustrasi Proses Uji  $I_{sc}$  DSSC Menggunakan lampu CFL (a), LED Cool Daylight (b), dan LED Warm White (c) Pada Intensitas Penerangan 20000 lux

Tabel 5.11 menampilkan hasil keluaran ( $I_{sc}$ ) DSSC 1 dan DSSC 2 dengan 3 sumber cahaya berbeda-beda dibawah intensitas penerangan cahaya 20000 lux. Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali pada masing-masing sumber cahaya lampu.

Tabel 5.11 Data Hasil Pengukuran  $I_{sc}$  DSSC dengan Intensitas Penerangan 20000 lux

Pengukuran	$I_{sc}$ ( $\mu\text{A}$ ) DSSC 1			$I_{sc}$ ( $\mu\text{A}$ ) DSSC 2		
	CFL	LED Cool Daylight	LED Warm White	CFL	LED Cool Daylight	LED Warm White
1	10	14	5.7	12	13.4	5.8
2	13	16	6.1	13.4	17	6.1
<b>Rata-rata</b>	<b>11.5</b>	<b>15</b>	<b>5.9</b>	<b>12.7</b>	<b>15.2</b>	<b>5.9</b>

Dari hasil pengujian di atas, keluaran  $I_{sc}$  DSSC menggunakan sumber cahaya LED Cool Daylight memiliki rata-rata keluaran paling tinggi. Spektrum cahaya yang dimiliki lampu LED Cool Daylight memiliki pengaruh paling tinggi terhadap arus keluaran DSSC.

### 5.2.2.2.2 Pengujian $I_{sc}$ Berdasarkan Pengaruh Tingkat Intensitas Cahaya

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tingkat intensitas cahaya terhadap arus keluaran DSSC. Sama seperti pengujian terhadap tegangan keluaran, pengujian ini menggunakan lampu *LED Cool Daylight* yang memiliki *luminous flux* sebesar 600 lumen. Perubahan intensitas penerangan dilakukan dengan cara merubah jarak atau radius cahaya dengan area aktif DSSC.

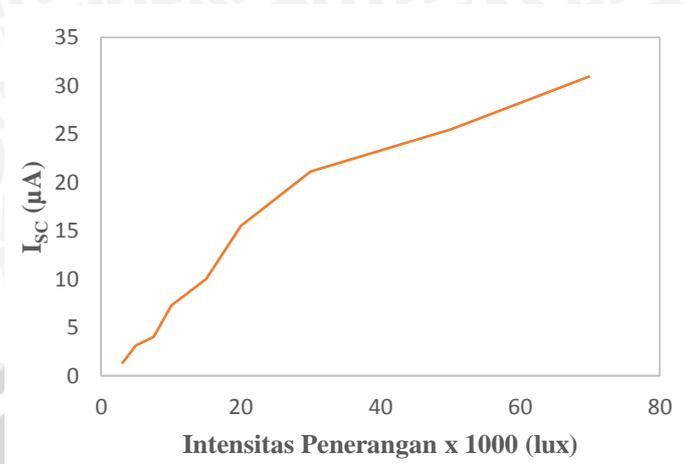


Gambar 5.18 Ilustrasi Pengujian Keluaran  $I_{sc}$  DSSC dibawah LED Cool Daylight

DSSC (berbahan *dye* daun pepaya) dilakukan pengukuran dengan perubahan intensitas penerangan dari 3000 lux hingga 70000 lux dan ditunjukkan pada Tabel 5.12. Sementara grafik perubahan  $I_{sc}$  ditampilkan dalam Gambar 5.20.

Tabel 5.12 : Data Hasil Pengukuran Arus Hubung Singkat DSSC 1 (*Dye* Daun Pepaya) Berdasarkan Tingkat Intensitas Penerangan (Illuminasi Cahaya)

Illuminasi Cahaya (Lux)	Isc (uA)		Isc (µA) Rata-rata
	1	2	
3000	1.3	1.2	1.25
5000	3.1	3.2	3.15
7500	3.9	4.2	4.05
10000	6	8.5	7.25
15000	9	11	10
20000	14	17	15.5
30000	20	22.3	21.15
50000	25	26	25.5
70000	30	32	31

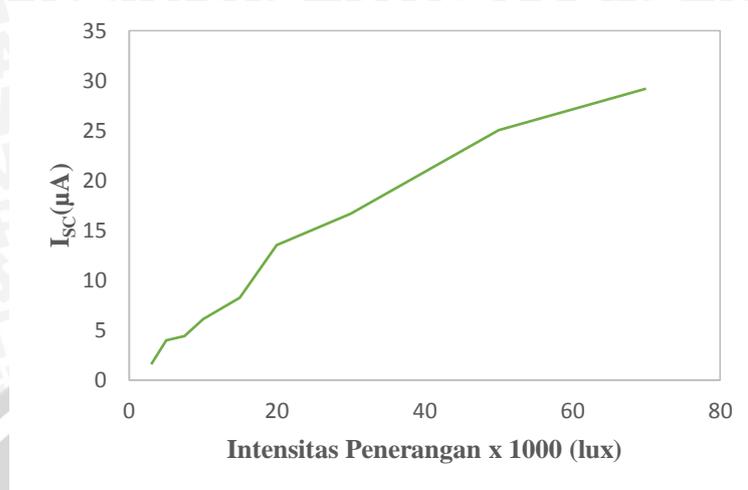


Gambar 5.19 Grafik Perubahan I<sub>sc</sub> DSSC 1 Berdasarkan Perubahan Intensitas Penerangan Cahaya

Hal yang sama dilakukan pada DSSC 2 (berbahan *dye* klorofil daun jarak) dilakukan pengukuran dengan perubahan intensitas penerangan dari 3000 lux hingga 70000 lux dan ditunjukkan pada Tabel 5.13. Sementara grafik perubahan I<sub>sc</sub> terhadap perubahan intensitas penerangan cahaya ditampilkan dalam Gambar 5.20.

Tabel 5.13 : Data Hasil Pengukuran Arus Hubung Singkat DSSC 2 (*Dye* Daun Jarak) Berdasarkan Tingkat Intensitas Penerangan Cahaya

Intensitas Penerangan (Lux)	I <sub>sc</sub> (uA)		I <sub>sc</sub> (μA) Rata-rata
	1	2	
3000	1.5	1.7	1.6
5000	3.8	4.2	4
7500	4.5	4.3	4.4
10000	6	6.2	6.1
15000	8	8.5	8.25
20000	13	14	13.5
30000	16	17.3	16.65
50000	25	25.1	25.05
70000	29	29.4	29.2



Gambar 5.20 Grafik Perubahan  $I_{sc}$  DSSC 2 Berdasarkan Perubahan Intensitas Penerangan Cahaya

Berdasarkan grafik yang ditampilkan dalam Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 di atas bahwa semakin besar intensitas penerangan maka semakin meningkat pula besar arus hubung singkat yang dihasilkan oleh DSSC yang telah dibuat. Karakteristik perubahan arus yang dimiliki DSSC 1 dan DSSC 2 juga hampir sama.

Berbeda dengan hasil keluaran saat pengujian di bawah sinar matahari yang mencapai  $50 \mu\text{A}$ , penggunaan LED *Cool Daylight* sebagai sumber cahaya DSSC hanya mampu menghasilkan arus sebesar  $29\text{-}30 \mu\text{A}$  pada intensitas penerangan  $70000 \text{ lux}$ .