

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja sesuai dengan teori dan perancangan yang telah dibuat. Pada penelitian ini pengujian yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Absorbansi Ekstrak *Dye*
2. Pengujian Struktur dan Ketebalan Pasta TiO₂
3. Pengujian Tegangan dan Arus terhadap Kuat Pencahayaan
4. Analisis Perhitungan Karakteristik DSSC

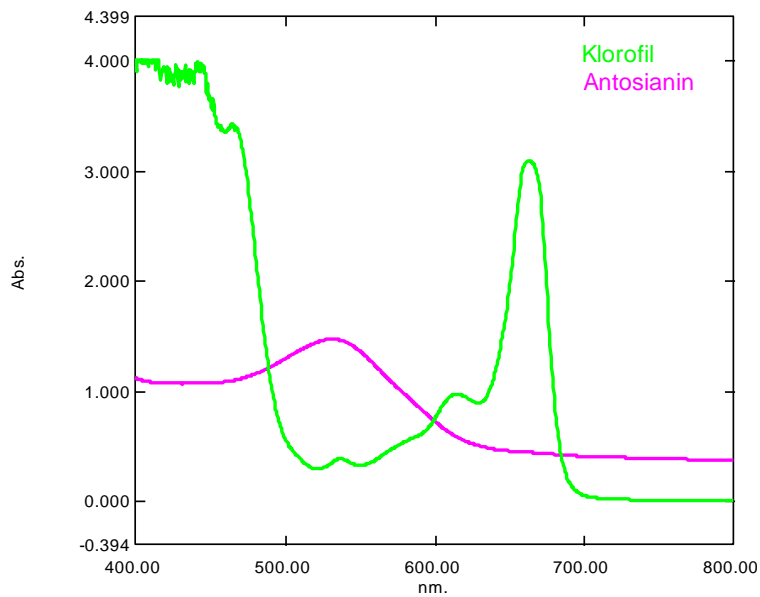
4.1 Pengujian Absorbansi Ekstrak *Dye*

Pengujian absorbansi ekstrak *dye* dilakukan untuk mengetahui kemampuan *dye* dalam menyerap sinar tampak dengan jangkauan panjang gelombang 400 nm hingga 800 nm. Pengujian absorbansi ini dilaksanakan di Laboratorium Farmasi, Fakultas Kedokteran, Universitas Brawijaya dengan menggunakan *Spectrophotometer UV-Vis* tipe UV-1800 dari Shimadzu.

Sebelum dilakukan pengujian absorbansi, seluruh sampel melalui proses pengenceran. Proses pengenceran ini dilakukan untuk menurunkan nilai absorbansi yang terlalu tinggi (diatas 4 *au*), sehingga didapatkan hasil absorbansi dengan nilai puncak yang berada dibawah 4 *au*. Nilai 4 *au* merupakan batas maksimal spektrofotometer dapat membaca hasil grafik. Pengenceran dilakukan dengan rasio hasil ekstraksi : pelarut sebesar 1 : 5.

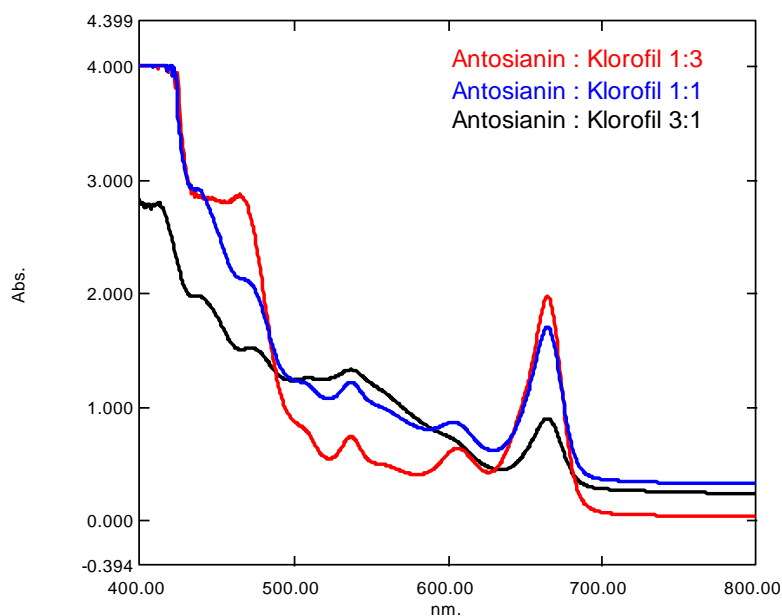
Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengujian absorbansi untuk ekstrak klorofil dan antosianin. Dapat dilihat pada gambar, grafik berwarna hijau menunjukkan absorbansi ekstrak klorofil, sedangkan warna ungu menunjukkan absorbansi ekstrak antosianin.

Pada grafik klorofil, nilai puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 400 nm dan 663 nm dengan nilai sebesar 4,0 *au* dan 3,087 *au*. Sedangkan pada panjang gelombang 522 nm, grafik absorbansi klorofil berada pada nilai minimum dengan nilai sebesar 0,291 *au*. Berbeda dengan grafik klorofil, pada grafik antosianin nilai puncak absorbansi berasa ketan hitam berada pada panjang gelombang 532 nm dengan nilai sebesar 1,470 *au*.



Gambar 4. 1 Grafik absorbansi *dye* klorofil dan antosianin

Jika dibandingkan dengan absorbansi pigmen tumbuhan yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, hasil data pengujian absorbansi ini menunjukkan bahwa daun singkong mengandung pigmen klorofil, sedangkan beras ketan hitam mengandung pigmen antosianin.



Gambar 4. 2 Grafik absorbansi variasi *dye* antosianin dan klorofil

Dapat dilihat pada Gambar 4.2, grafik berwarna merah, biru, dan hitam berturut-turut menunjukkan hasil pengujian absorbansi campuran ekstrak antosianin dan klorofil 1 : 3, 1 : 1, dan 3 : 1.

Pada grafik antosianin : klorofil 1 : 3, nilai puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 415,5 nm dan 665 nm dengan nilai sebesar 4,0 *au* dan 1,967 *au*. Sedangkan pada grafik antosianin : klorofil 1 : 1, nilai puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 414,5 nm dan 665 nm dengan nilai sebesar 4,0 *au* dan 1,697 *au*. Dan pada grafik antosianin : klorofil 3 : 1, nilai puncak absorbansi berada pada panjang gelombang 472,5 nm dan 537,5 nm dengan nilai sebesar 1,516 *au* dan 1,324 *au*.

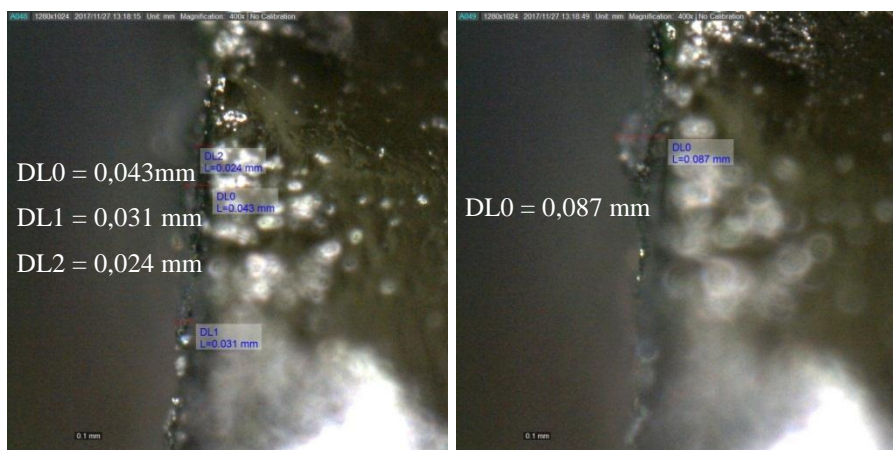
Pencampuran variasi *dye* ini dapat memperluas jangkauan absorbansi, namun pencampuran ekstrak klorofil dan antosianin ini juga mampu menurunkan nilai absorbansi. Hal ini disebabkan karena antosianin memiliki pH yang cukup rendah, sedangkan klorofil bekerja secara maksimal pada pH 7-8.

Dapat dilihat pada Gambar 4.1, pada panjang gelombang 665 nm, ekstrak klorofil memiliki daya absorbansi yang cukup besar yakni 3,072 *au*, namun ketika dicampur dengan antosianin, seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, nilai absorbansi ekstrak klorofil pada panjang gelombang 665 nm semakin kecil.

4.2 Pengujian Ketebalan dan Struktur Pasta TiO₂

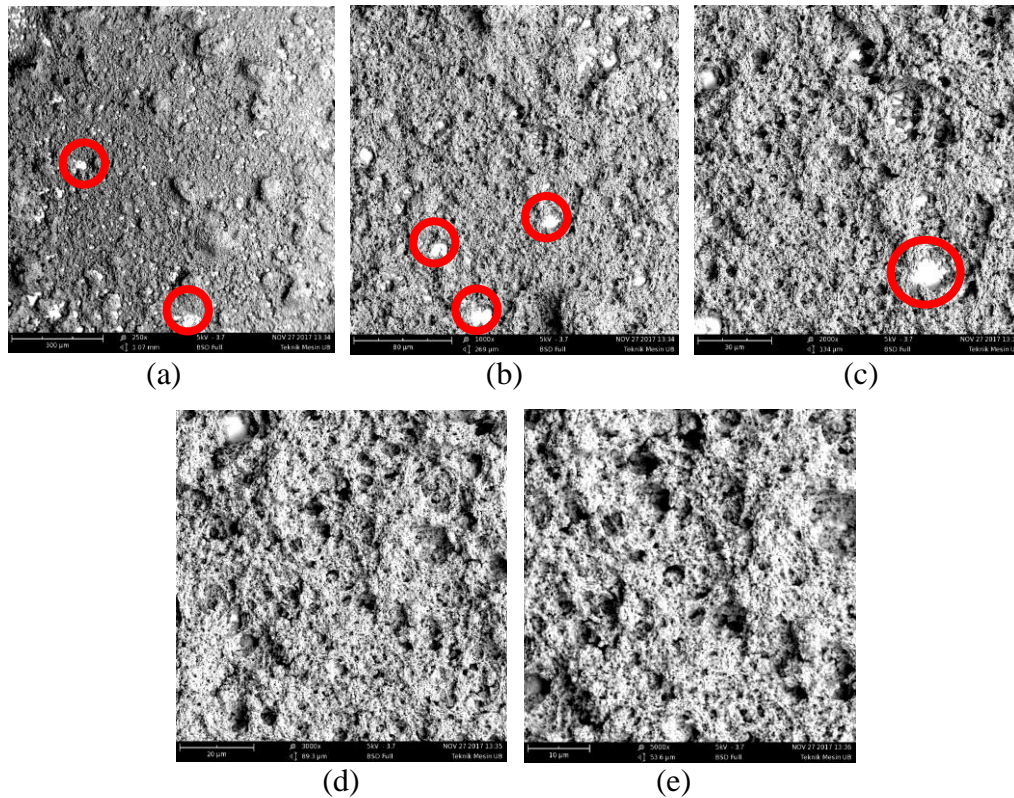
Pengujian struktur dan ketebalan pasta TiO₂ ini dilakukan pada DSSC dengan kecepatan putar deposisi *spin coating* sebesar 975 rpm dengan pelapisan yang dilakukan sebanyak 10 x 10 detik. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui struktur dan ketebalan pasta TiO₂ yang akan digunakan pada DSSC.

Alat yang digunakan untuk pengujian ketebalan TiO₂ adalah *digital microscope* merk Dino-lite AM4115 Series, sedangkan dalam pengujian struktur TiO₂ digunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) tipe Phenom G2 Pro. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Sentral Mesin, Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Hasil pengujian ketebalan pasta TiO₂ tampak samping dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Pengujian ketebalan TiO₂

Dari hasil pengujian ketebalan TiO_2 dengan perbesaran 400 kali, didapatkan nilai ketebalan yang bervariasi mulai dari 0,024 mm hingga 0,087 mm, dengan nilai rata-rata sebesar 0,046 mm. Perbedaan ketebalan yang cukup signifikan tersebut membuktikan bahwa persebaran TiO_2 saat proses *spin coating* belum merata. Ketidakrataan TiO_2 ini dapat disebabkan oleh waktu putar *spin coating* yang terlalu singkat.



Gambar 4. 4 Pengujian struktur TiO_2 dengan perbesaran (a) 250 kali (b) 1000 kali (c) 2000 kali (d) 3000 kali (e) 5000 kali

Pengujian struktur TiO_2 dengan menggunakan SEM dilakukan dengan perbesaran 250, 1000, 2000, 3000, dan 5000 kali. Gambar 4.4 menunjukkan permukaan pasta TiO_2 tampak depan. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 (a), (b), dan (c) masih ada beberapa bagian berwarna putih yang menunjukkan bahwa kaca TCO tidak terlapisi secara merata oleh pasta TiO_2 . Hal ini disebabkan karena pada saat melakukan deposisi *spin coating*, waktu putar terlalu singkat. Selain itu pengujian sampel tidak langsung dilakukan setelah proses *firing*, sehingga kemungkinan lapisan TiO_2 rapuh semakin tinggi.

4.3 Pengujian Tegangan dan Arus terhadap Kuat Pencahayaan

Pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan terdiri dari dua variasi sumber cahaya yang digunakan, yaitu matahari saat AM 1,5; dan lampu LED *Cool Daylight 7 Watt*. Pengujian tegangan dan arus terhadap kuat pencahayaan dilakukan sesuai

dengan rangkaian pengujian. Pengujian tegangan menggunakan *digital voltmeter* Hyelec MS8229, sedangkan pengujian arus menggunakan *digital multimeter* Sanwa CD771. Pengukuran kuat pencahayaan menggunakan luxmeter Krisbow KW06-288.

4.3.1 Hasil Pengujian dengan Menggunakan Matahari AM 1,5

Pengujian tegangan dan arus dengan menggunakan sumber cahaya berupa matahari dilakukan di halaman Gedung C Teknik Elektro Universitas Brawijaya pada 26 Desember 2017. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur panjang bayangan benda mulai pukul 07.30 hingga pukul 10.15 WIB. Dapat dilihat pada Tabel 4.1, AM 1,5 terjadi pada pukul 08.15 hingga 08.30, sedangkan hasil pengujian tegangan dan arus DSSC pada AM 1,5 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 1

Hasil perhitungan AM

Jam	Panjang Benda	Panjang Bayangan	AM
7:30	14,5 cm	24,5 cm	1,96
7:45	14,5 cm	22 cm	1,82
8:00	14,5 cm	20 cm	1,70
8:15	14,5 cm	17,7 cm	1,57
8:30	14,5 cm	15,8 cm	1,48
8:45	14,5 cm	13,3 cm	1,36
9:00	14,5 cm	11,5 cm	1,28
9:15	14,5 cm	11 cm	1,26
10:15	14,5 cm	7 cm	1,11

Tabel 4. 2

Hasil pengujian tegangan saat AM 1,5

Sampel	V_{oc} (mV)	I_{sc} (μ A)
Klorofil (K)	440	2,5
Antosianin (A)	460	2,4
A1 : K3	517	5,2
A1 : K1	507	5,3
A3 : K1	461	5,1

Data hasil pengujian menunjukkan bahwa saat DSSC diuji dengan menggunakan sinar matahari pada AM 1,5, tegangan terbesar mampu dihasilkan oleh variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 3 dengan nilai sebesar 517 mV. Sedangkan arus terbesar mampu dihasilkan oleh variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 1 dengan nilai sebesar 5,3 μ A.

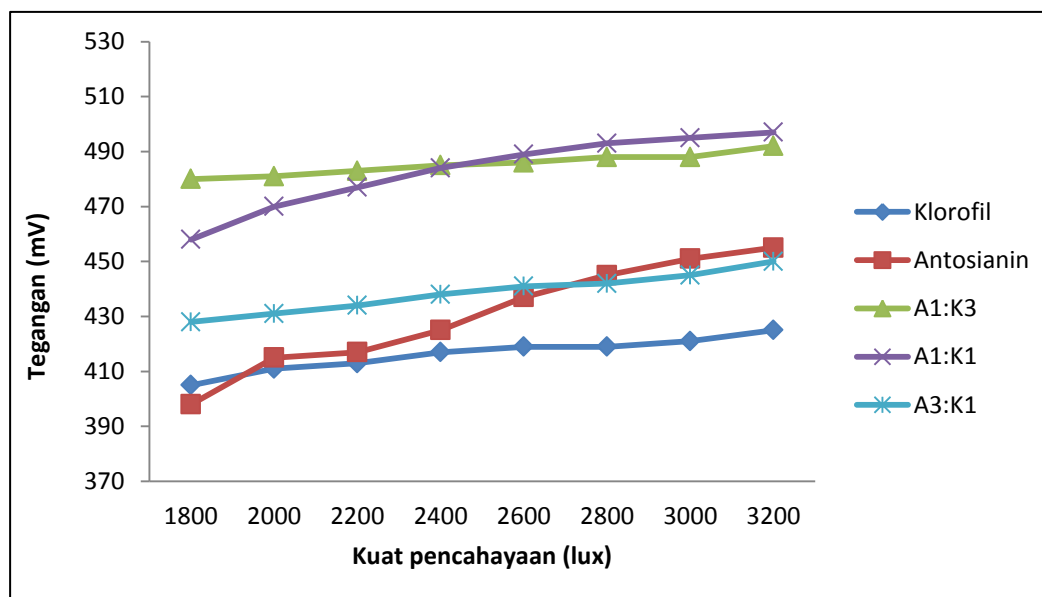
4.3.2 Hasil Pengujian dengan Menggunakan LED *Cool Daylight* 7 Watt

Pengujian dengan menggunakan LED *Cool Daylight* 7 Watt dilakukan dengan kuat pencahayaan sebesar 1800 hingga 3200 lux. Variasi yang diuji terdiri atas *dye* klorofil, antosianin, campuran variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 3, 1 : 1 dan 3 : 1. Pengujian tegangan dan arus dilakukan selama 3 hari, dan data yang digunakan merupakan data terbaik yang didapatkan pada hari ketiga. Hasil pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan LED pada variasi *dye* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.5. Sedangkan hasil pengujian arus terhadap kuat pencahayaan LED pada variasi *dye* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.6.

Tabel 4. 3

Hasil pengujian tegangan dengan LED *Cool Daylight* 7 Watt

Kuat Pencahayaan (lux)	V_{oc} (mV)				
	Klorofil (K)	Antosianin (A)	A1 : K3	A1 : K1	A3 : K1
1800	405	398	480	458	428
2000	411	415	481	470	431
2200	413	417	483	477	434
2400	417	425	485	484	438
2600	419	437	486	489	441
2800	419	445	488	493	442
3000	421	451	488	495	445
3200	425	455	492	497	450
Rata-rata	416,25	430,38	485,38	482,88	438,63



Gambar 4. 5 Grafik hasil pengujian tegangan dengan LED *Cool Daylight* 7 Watt

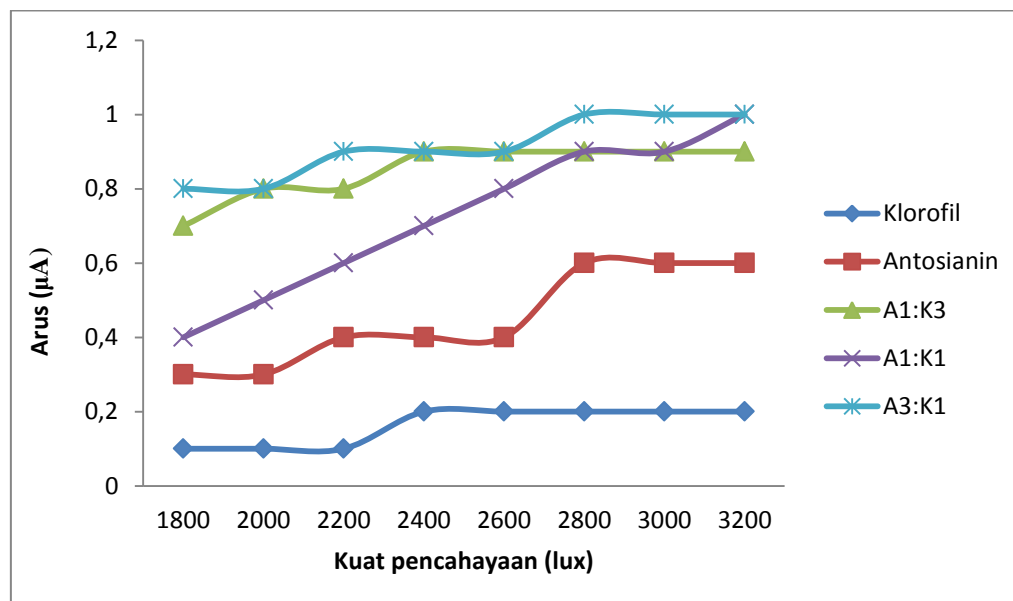
Berdasarkan hasil pengujian tegangan terhadap kuat pencahayaan yang ditunjukkan pada Tabel 4.3, didapatkan tegangan rata-rata *dye* klorofil sebesar 416,25 mV, *dye* antosianin sebesar 430,38 mV, variasi campuran *dye* antosianin : klorofil 1 : 3 sebesar 485,38 mV, *dye* antosianin : klorofil 1 : 1 sebesar 482,88 mV, dan *dye* antosianin : klorofil 3 : 1 sebesar 438,63 mV. Dari data tersebut, tegangan rata-rata terbesar mampu dihasilkan oleh *dye* antosianin : klorofil 1 : 3.

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa semua sampel memiliki pola yang sama, yakni semakin besar kuat pencahayaan yang diberikan pada area kerja DSSC, maka tegangan yang dihasilkan juga semakin besar.

Tabel 4. 4

Hasil pengujian arus dengan LED *Cool Daylight* 7 Watt

Kuat Pencahayaan (lux)	Arus (μA)				
	Klorofil (K)	Antosianin (A)	A1 : K3	A1 : K1	A3 : K1
1800	0,1	0,3	0,7	0,4	0,8
2000	0,1	0,3	0,8	0,5	0,8
2200	0,1	0,4	0,8	0,6	0,9
2400	0,2	0,4	0,9	0,7	0,9
2600	0,2	0,4	0,9	0,8	0,9
2800	0,2	0,6	0,9	0,9	1
3000	0,2	0,6	0,9	0,9	1
3200	0,2	0,6	0,9	1	1
Rata-rata	0,16	0,45	0,85	0,73	0,91

Gambar 4. 6 Grafik hasil pengujian arus dengan LED *Cool Daylight* 7 Watt

Berdasarkan hasil pengujian arus terhadap kuat pencahayaan yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, didapatkan arus rata-rata yang dihasilkan *dye* klorofil sebesar $0,16 \mu\text{A}$; *dye* antosianin sebesar $0,45 \mu\text{A}$; variasi campuran *dye* antosianin : klorofil 1 : 3 sebesar $0,85 \mu\text{A}$; *dye* antosianin : klorofil 1 : 1 sebesar $0,75 \mu\text{A}$; dan *dye* antosianin : klorofil 3 : 1 sebesar $0,91 \mu\text{A}$.

Berbeda dengan nilai tegangan yang mengalami peningkatan cukup besar bila ditambahkan kuat pencahayaan, peningkatan nilai arus yang dihasilkan oleh DSSC cukup kecil. Hal ini dikarenakan arus yang mampu dihasilkan oleh setiap sampel nilainya sangat kecil, sehingga perbedaan arus disetiap peningkatan kuat pencahayaan kurang terlihat, seperti yang terlihat pada Gambar 4.6.

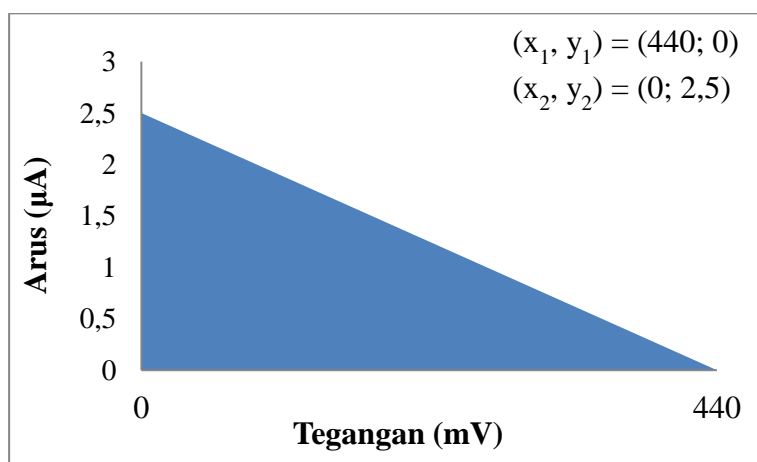
4.4 Analisis Perhitungan Karakteristik DSSC

Analisis perhitungan karakteristik DSSC dilakukan untuk mengetahui nilai *fill factor* (FF), daya maksimum (P_{MAX}) dan juga efisiensi (η) yang mampu dihasilkan oleh tiap sampel. Pada pengujian karakteristik DSSC, data tegangan dan arus yang digunakan merupakan data hasil pengujian dengan menggunakan sumber matahari pada AM 1,5 dan nilai rata-rata dari pengujian dengan menggunakan sumber LED *Cool Daylight 7 Watt*.

4.4.1 Perhitungan Karakteristik DSSC dengan Sinar Matahari AM 1,5

1. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* klorofil

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* klorofil, didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 440 mV dan I_{sc} sebesar $2,5 \mu\text{A}$. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* klorofil

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{2,5 - 0}{0 - 440} = -0,0057$$

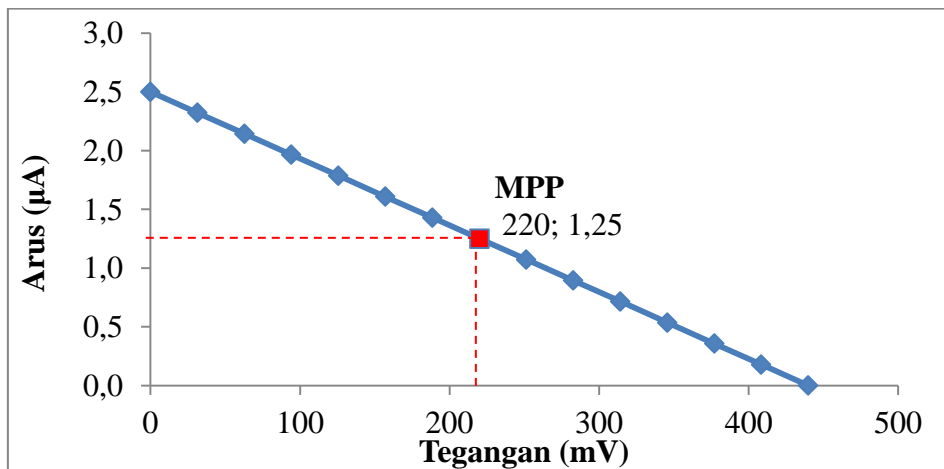
$$y = -0,0057x + 2,5$$

Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye klorofil ditunjukkan pada Tabel 4.5, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Tabel 4. 5
Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye klorofil

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	2,50	0,00
2	31,43	2,32	72,97
3	62,86	2,14	134,71
4	94,29	1,96	185,23
5	125,72	1,79	224,52
6	157,14	1,61	252,59
7	188,57	1,43	269,43
8	220,00	1,25	275,04

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
9	251,43	1,07	269,43
10	282,86	0,89	252,59
11	314,29	0,71	224,52
12	345,72	0,54	185,23
13	377,15	0,36	134,71
14	408,58	0,18	72,96
15	440,00	0,00	0,00



Gambar 4. 8 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi dye klorofil

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, didapatkan V_{MPP} sebesar 220 mV dan I_{MPP} sebesar 1,25 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

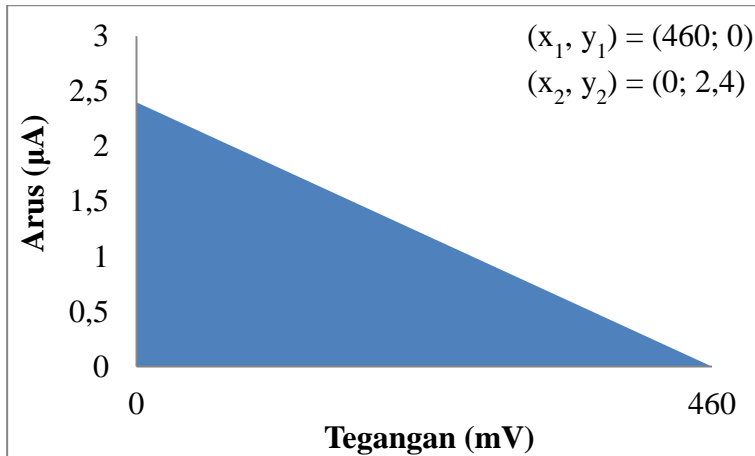
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{220 \times 1,25}{440 \times 2,5} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 440 \times 10^{-3} \times 2,5 \times 10^{-6} \times 0,25 = 2,75 \times 10^{-7} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{I_G \times A} \times 100\% = \frac{2,75 \times 10^{-7}}{930,6 \times 0,0004} \times 100\% = 7,39 \times 10^{-5}\%$$

2. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin, didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 460 mV dan I_{sc} sebesar 2,4 μ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{2,4 - 0}{0 - 460} = -0,0052$$

$$y = -0,0052x + 2,4$$

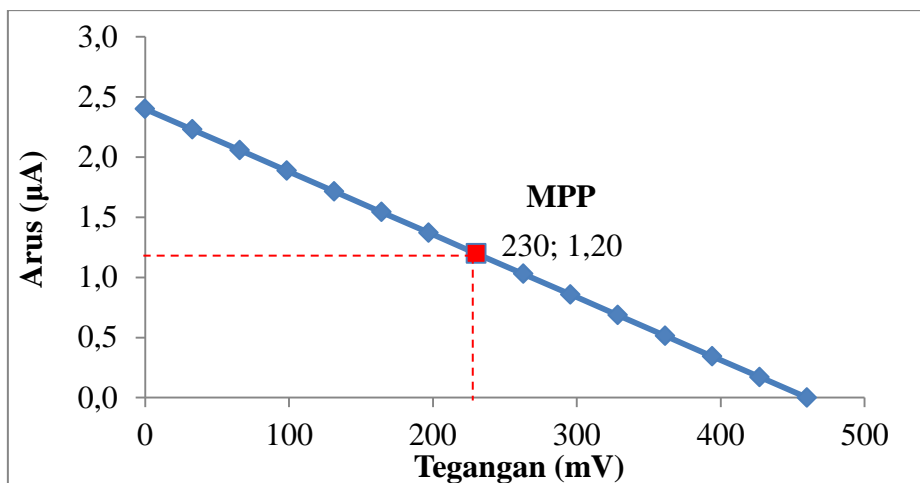
Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin ditunjukkan pada Tabel 4.6, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Tabel 4. 6

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	2,40	0,00
2	32,86	2,23	73,22
3	65,71	2,06	135,18
4	98,57	1,89	185,88
5	131,43	1,71	225,31
6	164,29	1,54	253,47
7	197,14	1,37	270,37
8	230,00	1,20	276,00

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
9	262,86	1,03	270,37
10	295,71	0,86	253,47
11	328,57	0,69	225,31
12	361,43	0,51	185,88
13	394,29	0,34	135,18
14	427,14	0,17	73,22
15	460,00	0,00	0,00



Gambar 4. 10 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.6, didapatkan V_{MPP} sebesar 230 mV dan I_{MPP} sebesar 1,2 μA . Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

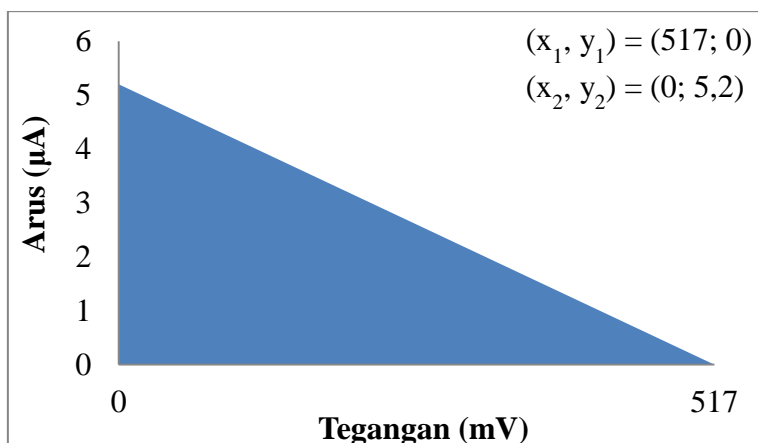
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{230 \times 1,2}{460 \times 1,2} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 460 \times 10^{-3} \times 1,2 \times 10^{-6} \times 0,25 = 2,76 \times 10^{-7} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{I_G \times A} \times 100\% = \frac{2,76 \times 10^{-7}}{930,6 \times 0,0004} \times 100\% = 7,42 \times 10^{-5}\%$$

3. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin : klorofil 1 : 3

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin : klorofil 1 : 3, didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 517 mV dan I_{sc} sebesar 5,2 μA . Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 3

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{5,2 - 0}{0 - 517} = -0,0101$$

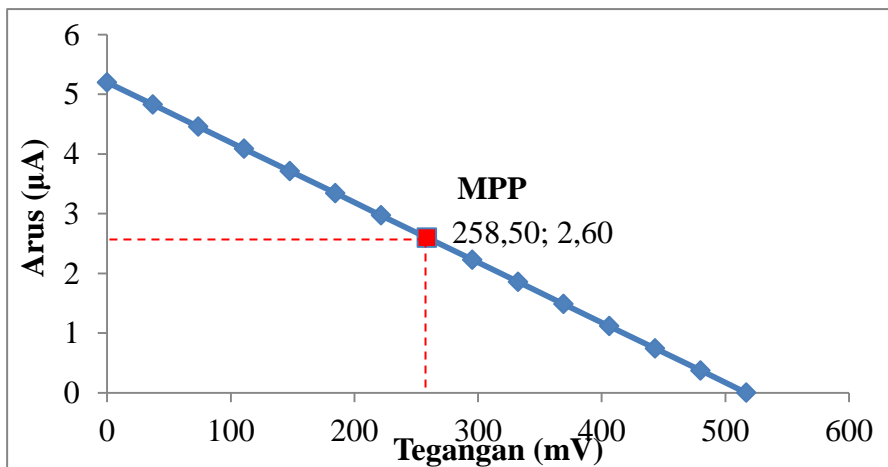
$$y = -0,0101x + 5,2$$

Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye antosianin : klorofil 1 : 3 ditunjukkan pada Tabel 4.7, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Tabel 4. 7

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye antosianin : klorofil 1 : 3

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y	No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	5,20	0,00	9	295,43	2,23	658,34
2	36,93	4,83	178,30	10	332,36	1,86	617,20
3	73,86	4,46	329,17	11	369,29	1,49	548,62
4	110,79	4,09	452,61	12	406,21	1,11	452,62
5	147,71	3,71	548,62	13	443,14	0,74	329,18
6	184,64	3,34	617,19	14	480,07	0,37	178,31
7	221,57	2,97	658,34	15	517,00	0,00	0,00
8	258,50	2,60	672,06				



Gambar 4. 12 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi dye antosianin : klorofil 1 : 3

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.7, didapatkan V_{MPP} sebesar 258,5 mV dan I_{MPP} sebesar 2,6 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

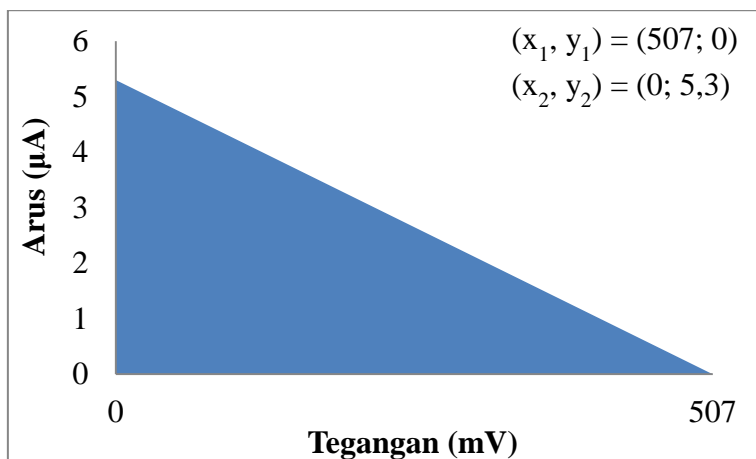
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{258,5 \times 2,6}{517 \times 5,2} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 517 \times 10^{-3} \times 5,2 \times 10^{-6} \times 0,25 = 6,72 \times 10^{-7} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{I_G \times A} \times 100\% = \frac{6,72 \times 10^{-7}}{930,6 \times 0,0004} \times 100\% = 1,81 \times 10^{-4}\%$$

4. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin : klorofil 1 : 1, didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 507 mV dan I_{sc} sebesar 5,3 μ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{5,3 - 0}{0 - 507} = -0,010$$

$$y = -0,010x + 5,3$$

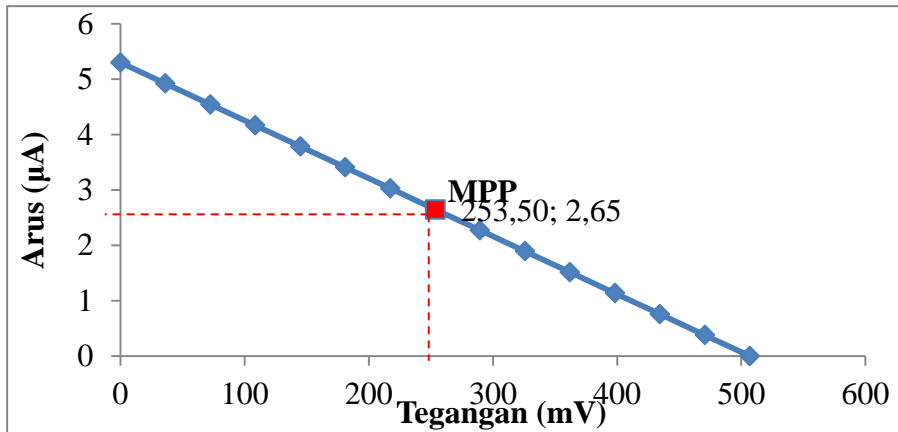
Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin : klorofil 1 : 1 ditunjukkan pada Tabel 4.8, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.14.

Tabel 4. 8

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	5,30	0,00
2	36,21	4,92	178,24
3	72,43	4,54	329,05
4	108,64	4,16	452,45
5	144,86	3,79	548,42
6	181,07	3,41	616,97
7	217,28	3,03	658,10
8	253,50	2,65	671,81

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
9	289,71	2,27	658,10
10	325,93	1,89	616,97
11	362,14	1,51	548,41
12	398,35	1,14	452,44
13	434,57	0,76	329,04
14	470,78	0,38	178,22
15	507,00	0,00	0,00



Gambar 4. 14 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, didapatkan V_{MPP} sebesar 253,5 mV dan I_{MPP} sebesar 2,65 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

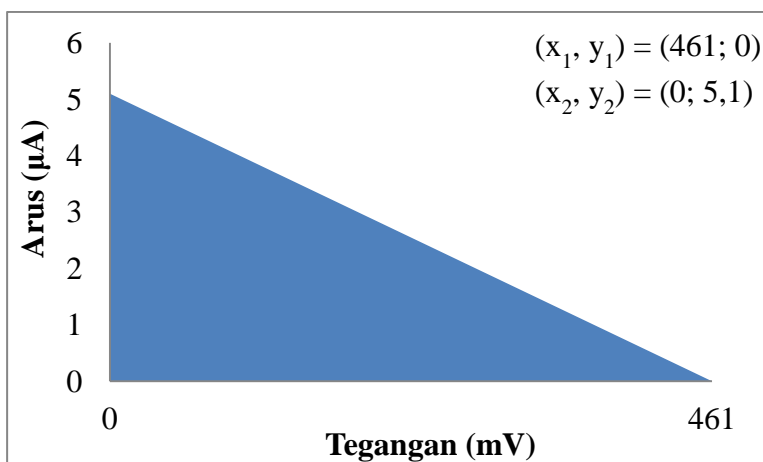
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{253,5 \times 2,65}{507 \times 5,3} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 507 \times 10^{-3} \times 5,3 \times 10^{-6} \times 0,25 = 6,718 \times 10^{-7} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{I_G \times A} \times 100\% = \frac{6,718 \times 10^{-7}}{930,6 \times 0,0004} \times 100\% = 1,805 \times 10^{-4}\%$$

5. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin : klorofil 3 : 1

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin : klorofil 3 : 1, didapatkan hasil pengukuran V_{oc} sebesar 461 mV dan I_{sc} sebesar 5,1 μ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 3 : 1

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{5,1 - 0}{0 - 461} = -0,0111$$

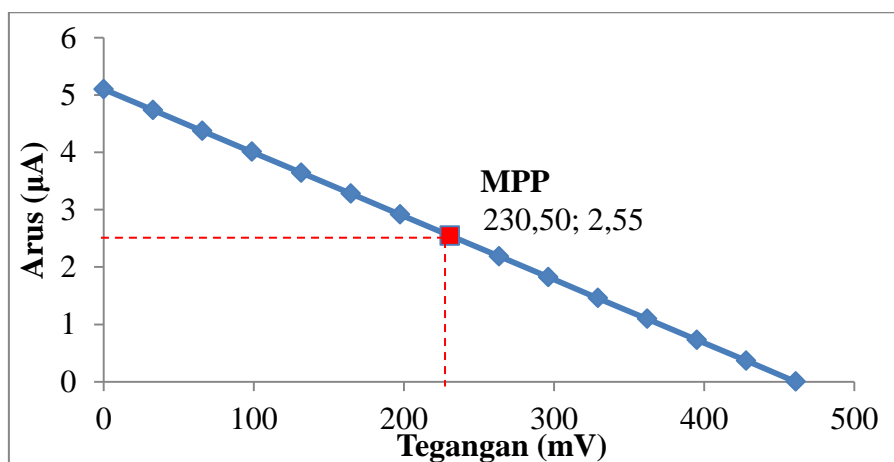
$$y = -0,0111x + 5,1$$

Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye antosianin : klorofil 3 : 1 ditunjukkan pada Tabel 4.9, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.16.

Tabel 4. 9

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye antosianin : klorofil 3 : 1

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y	No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	5,10	0,00	9	263,43	2,19	575,80
2	32,93	4,74	155,95	10	296,36	1,82	539,82
3	65,86	4,37	287,90	11	329,29	1,46	479,84
4	98,79	4,01	395,87	12	362,22	1,09	395,86
5	131,72	3,64	479,84	13	395,15	0,73	287,90
6	164,64	3,28	539,82	14	428,08	0,36	155,94
7	197,57	2,91	575,81	15	461,00	0,00	0,00
8	230,50	2,55	587,80				



Gambar 4. 16 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi dye antosianin : klorofil 3 : 1

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.9, didapatkan V_{MPP} sebesar 230,5 mV dan I_{MPP} sebesar 2,55 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{230,5 \times 2,55}{461 \times 5,1} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 461 \times 10^{-3} \times 5,1 \times 10^{-6} \times 0,25 = 5,88 \times 10^{-7} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{I_G \times A} \times 100\% = \frac{5,88 \times 10^{-7}}{930,6 \times 0,0004} \times 100\% = 1,58 \times 10^{-4}\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai *fill factor* (FF), daya maksimum (P_{MAX}) dan efisiensi (η) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10
Hasil perhitungan karakteristik DSSC

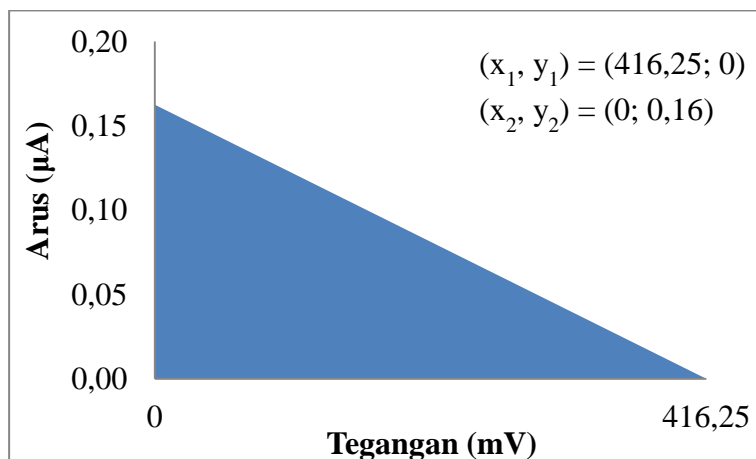
Sampel	V_{oc} (mV)	I_{sc} (μA)	FF	P_{MAX} (W)	η (%)
Klorofil	440	2,5	0,25	$2,75 \times 10^{-7}$	$7,39 \times 10^{-5}$
Antosianin	460	2,4	0,25	$2,76 \times 10^{-7}$	$7,41 \times 10^{-5}$
A1 : K3	517	5,2	0,25	$6,72 \times 10^{-7}$	$1,81 \times 10^{-4}$
A1 : K1	507	5,3	0,25	$6,718 \times 10^{-7}$	$1,805 \times 10^{-4}$
A3 : K1	461	5,1	0,25	$5,88 \times 10^{-7}$	$1,58 \times 10^{-4}$

Data hasil perhitungan dengan menggunakan sumber cahaya matahari AM 1,5 menunjukkan bahwa variasi campuran *dye* antosianin dan klorofil mampu meningkatkan daya keluaran dan efisiensi dari DSSC. Daya maksimum dan efisiensi tertinggi mampu dihasilkan oleh variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 3 yaitu sebesar $6,72 \times 10^{-7}$ W dan $1,81 \times 10^{-4}$ %.

4.4.2 Perhitungan Karakteristik DSSC dengan LED Cool Daylight 7 Watt

1. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* klorofil

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* klorofil, didapatkan hasil pengukuran rata-rata V_{oc} sebesar 416,25 mV dan I_{sc} sebesar 0,16 μA . Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* klorofil

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,16 - 0}{0 - 416,25} = -0,0004$$

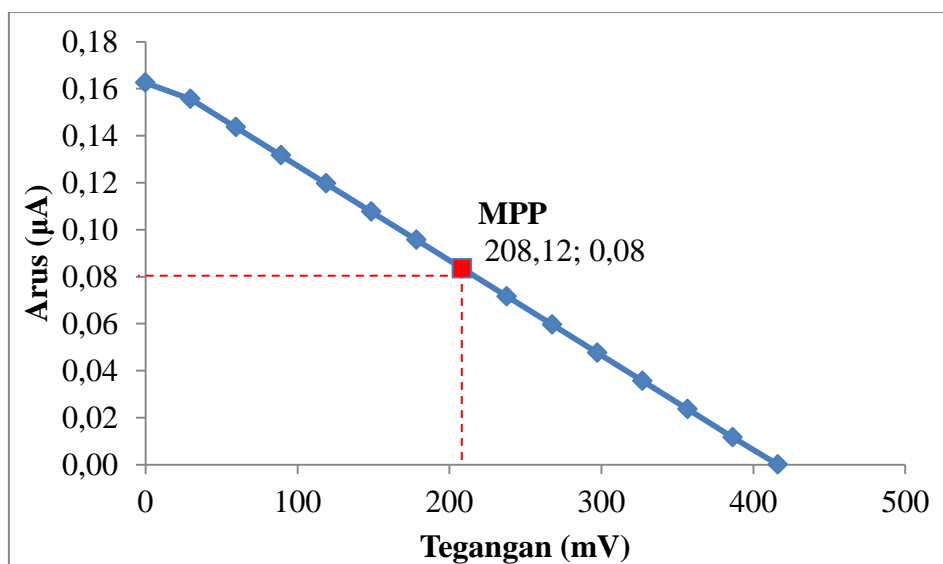
$$y = -0,0004x + 0,16$$

Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye klorofil ditunjukkan pada Tabel 4.11, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Tabel 4. 11
Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye klorofil

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	0,16	0,00
2	29,73	0,16	4,63
3	59,46	0,14	8,54
4	89,20	0,13	11,74
5	118,93	0,12	14,22
6	148,66	0,11	16,00
7	178,39	0,10	17,06
8	208,12	0,08	17,40

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
9	237,86	0,07	17,03
10	267,59	0,06	15,95
11	297,32	0,05	14,15
12	327,05	0,04	11,65
13	356,78	0,02	8,42
14	386,52	0,01	4,49
15	416,25	0,00	0,00



Gambar 4. 18 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi dye klorofil

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.11, didapatkan V_{MPP} sebesar 208,12 mV dan I_{MPP} sebesar 0,08 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

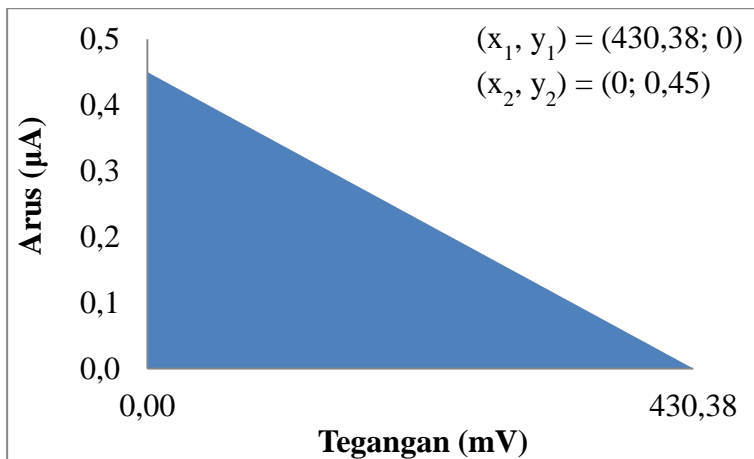
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{208,12 \times 0,08}{416,25 \times 0,16} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 416,25 \times 10^{-3} \times 0,16 \times 10^{-6} \times 0,25 = 1,74 \times 10^{-8} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{1,74 \times 10^{-8}}{7} \times 100\% = 2,49 \times 10^{-7}\%$$

2. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin, didapatkan hasil pengukuran rata-rata V_{oc} sebesar 430,38 mV dan I_{sc} sebesar 0,45 μ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,45 - 0}{0 - 430,38} = -0,0011$$

$$y = -0,0011x + 0,45$$

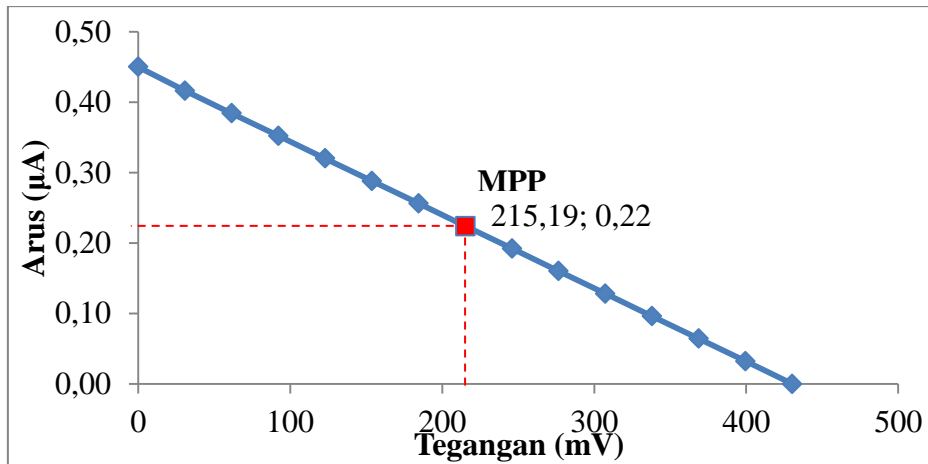
Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin ditunjukkan pada Tabel 4.12, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.20.

Tabel 4. 12

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
1	0,00	0,45	0,00
2	30,74	0,42	12,79
3	61,48	0,38	23,62
4	92,22	0,35	32,48
5	122,96	0,32	39,37
6	153,71	0,29	44,29
7	184,45	0,26	47,24
8	215,19	0,22	48,23

No.	x (mV)	y (μA)	x.y
9	245,93	0,19	47,25
10	276,67	0,16	44,31
11	307,41	0,13	39,39
12	338,15	0,10	32,51
13	368,89	0,06	23,66
14	399,63	0,03	12,85
15	430,38	0,00	0,00



Gambar 4. 20 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, didapatkan V_{MPP} sebesar 215,19 mV dan I_{MPP} sebesar 0,22 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

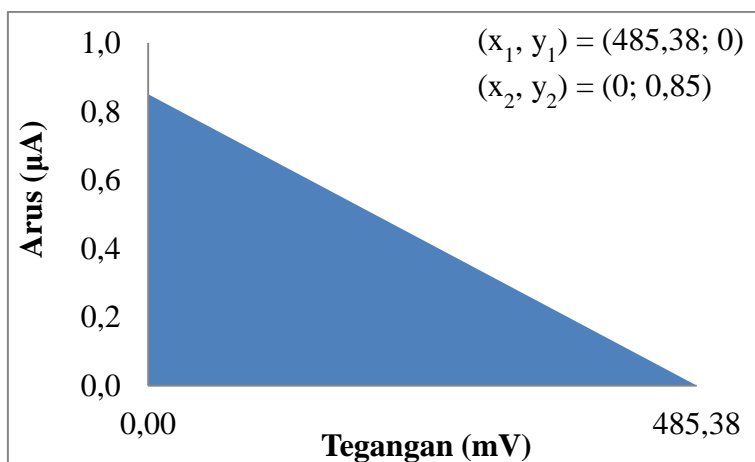
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{215,19 \times 0,22}{430,38 \times 0,45} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 430,38 \times 10^{-3} \times 0,45 \times 10^{-6} \times 0,25 = 4,82 \times 10^{-8} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{4,82 \times 10^{-8}}{7} \times 100\% = 6,89 \times 10^{-7}\%$$

3. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin : klorofil 1 : 3

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin:klorofil 1 : 3, didapatkan hasil pengukuran rata-rata V_{oc} sebesar 485,38 mV dan I_{sc} sebesar 0,85 μ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4. 21 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 3

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,85 - 0}{0 - 485,38} = -0,0018$$

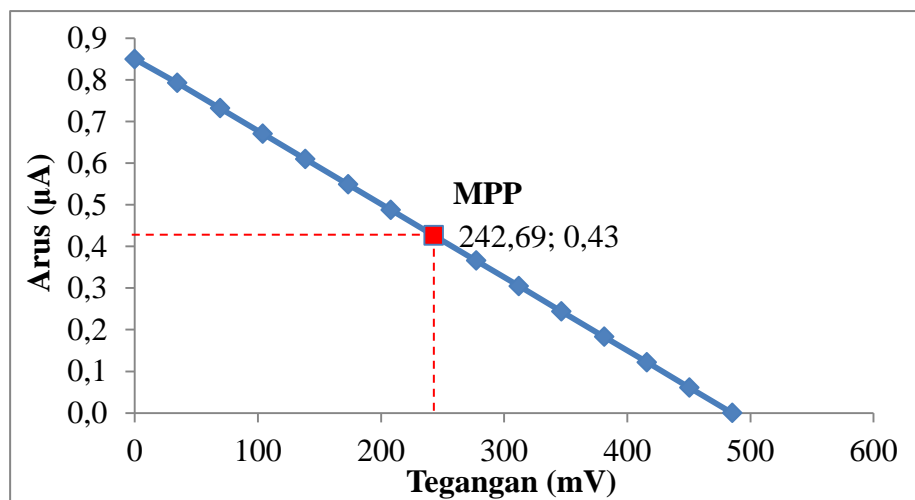
$$y = -0,0018x + 0,85$$

Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye antosianin : klorofil 1 : 3 ditunjukkan pada Tabel 4.13, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.22.

Tabel 4. 13

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} dye antosianin : klorofil 1 : 3

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y	No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	0,85	0,00	9	277,36	0,37	101,43
2	34,67	0,79	27,48	10	312,03	0,30	95,08
3	69,34	0,73	50,74	11	346,70	0,24	84,50
4	104,01	0,67	69,76	12	381,37	0,18	69,68
5	138,68	0,61	84,55	13	416,04	0,12	50,64
6	173,35	0,55	95,12	14	450,71	0,06	27,36
7	208,02	0,49	101,45	15	485,38	0,00	0,00
8	242,69	0,43	103,56				



Gambar 4. 22 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi dye antosianin : klorofil 1 : 3

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.13, didapatkan V_{MPP} sebesar 242,69 mV dan I_{MPP} sebesar 0,43 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

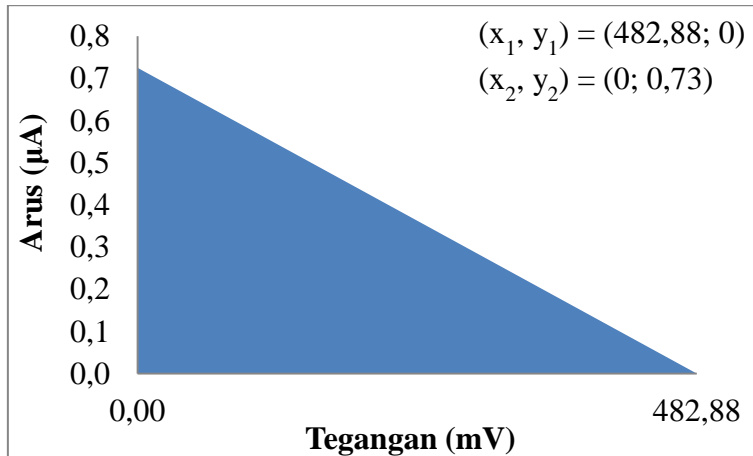
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{242,69 \times 0,43}{485,38 \times 0,85} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 485,38 \times 10^{-3} \times 0,85 \times 10^{-6} \times 0,25 = 1,04 \times 10^{-7} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{1,04 \times 10^{-7}}{7} \times 100\% = 1,48 \times 10^{-6}\%$$

4. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin : klorofil 1 : 1, didapatkan hasil pengukuran rata-rata V_{oc} sebesar 482,88 mV dan I_{sc} sebesar 0,73 μ A. Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,73 - 0}{0 - 482,88} = -0,0015$$

$$y = -0,0015x + 0,73$$

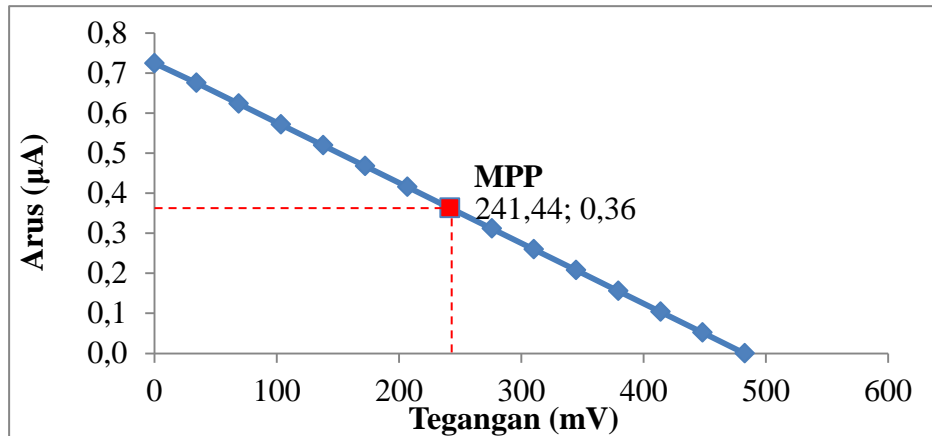
Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin : klorofil 1 : 1 ditunjukkan pada Tabel 4.14, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.24.

Tabel 4. 14

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
1	0,00	0,73	0,00
2	34,49	0,68	23,31
3	68,98	0,62	43,03
4	103,47	0,57	59,16
5	137,96	0,52	71,71
6	172,46	0,47	80,67
7	206,95	0,42	86,05
8	241,44	0,36	87,83

No.	x (mV)	y (μ A)	x.y
9	275,93	0,31	86,03
10	310,42	0,26	80,64
11	344,91	0,21	71,67
12	379,40	0,16	59,11
13	413,89	0,10	42,96
14	448,38	0,05	23,22
15	482,88	0,00	0,00



Gambar 4. 24 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 1

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.14, didapatkan V_{MPP} sebesar 241,44 mV dan I_{MPP} sebesar 0,36 μA . Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

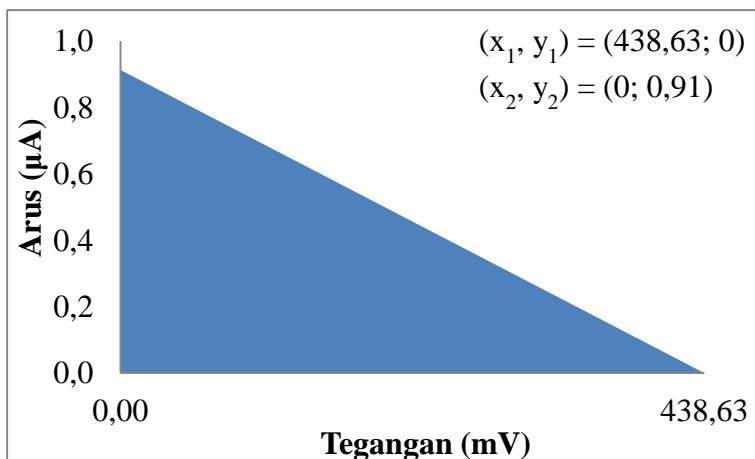
$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{241,44 \times 0,36}{482,88 \times 0,85} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 482,88 \times 10^{-3} \times 0,85 \times 10^{-6} \times 0,25 = 8,78 \times 10^{-8} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{8,78 \times 10^{-8}}{7} \times 100\% = 1,25 \times 10^{-6}\%$$

5. Hasil pengujian karakteristik DSSC dengan *dye* antosianin : klorofil 3 : 1

Pada pengujian DSSC dengan menggunakan *dye* antosianin : klorofil 3 : 1, didapatkan hasil pengukuran rata-rata V_{oc} sebesar 438,63 mV dan I_{sc} sebesar 0,91 μA . Kedua nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai m dan y dengan menggunakan bantuan grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 3 : 1

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{0,91 - 0}{0 - 438,63} = -0,0021$$

$$y = -0,0021x + 0,91$$

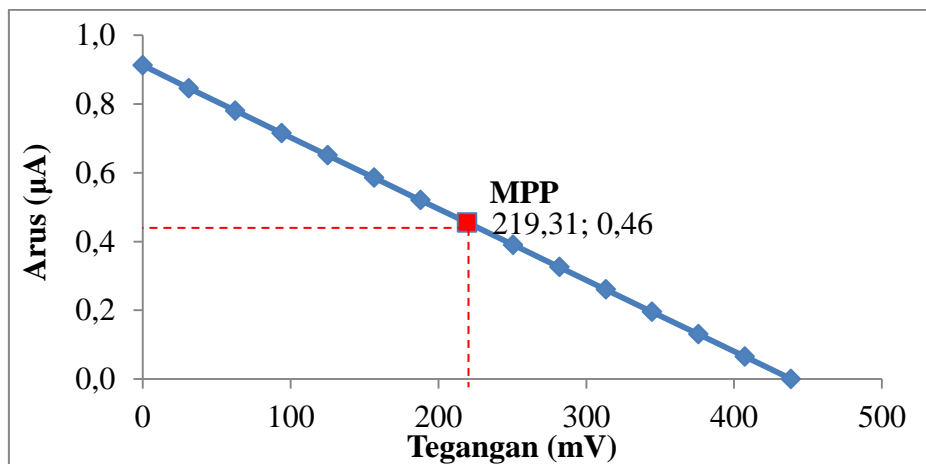
Persamaan y digunakan untuk menghitung luasan maksimum dari grafik karakteristik hubungan I-V. Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin : klorofil 3 : 1 ditunjukkan pada Tabel 4.15, dan grafik karakteristik hubungan I-V ditunjukkan pada Gambar 4.26.

Tabel 4. 15

Perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} *dye* antosianin : klorofil 3 : 1

No.	x (mV)	y (μ A)	x,y
1	0,00	0,91	0,00
2	31,33	0,85	26,48
3	62,66	0,78	48,89
4	93,99	0,72	67,22
5	125,32	0,65	81,48
6	156,65	0,59	91,67
7	187,98	0,52	97,78
8	219,31	0,46	99,83

No.	x (mV)	y (μ A)	x,y
9	250,64	0,39	97,79
10	281,97	0,33	91,69
11	313,30	0,26	81,51
12	344,63	0,20	67,26
13	375,96	0,13	48,94
14	407,29	0,07	26,55
15	438,63	0,00	0,00



Gambar 4. 26 Grafik karakteristik hubungan I-V berdasarkan hasil pengujian V_{oc} dan I_{sc} pada variasi *dye* antosianin : klorofil 3 : 1

Berdasarkan hasil perhitungan V_{MPP} dan I_{MPP} yang ditunjukkan pada Tabel 4.15, didapatkan V_{MPP} sebesar 219,31 mV dan I_{MPP} sebesar 0,46 μ A. Dari data tersebut, kemudian dicari *fill factor*, daya maksimum dan efisiensi dengan cara sebagai berikut:

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{219,31 \times 0,46}{438,63 \times 0,91} = 0,25$$

$$P_{MAX} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF = 438,63 \times 10^{-3} \times 0,91 \times 10^{-6} \times 0,25 = 9,98 \times 10^{-8} W$$

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{IN}} \times 100\% = \frac{9,98 \times 10^{-8}}{7} \times 100\% = 1,43 \times 10^{-6}\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai *fill factor* (FF), daya maksimum (P_{MAX}) dan efisiensi (η) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16
Hasil perhitungan karakteristik DSSC

Sampel	V_{oc} (mV)	I_{sc} (μA)	FF	P_{MAX} (W)	η (%)
Klorofil	416,25	0,16	0,26	$1,74 \times 10^{-8}$	$2,49 \times 10^{-7}$
Antosianin	430,38	0,45	0,25	$4,82 \times 10^{-8}$	$6,89 \times 10^{-7}$
A1 : K3	485,38	0,85	0,25	$1,04 \times 10^{-7}$	$1,48 \times 10^{-6}$
A1 : K1	482,88	0,73	0,25	$8,78 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-7}$
A3 : K1	438,63	0,91	0,25	$9,98 \times 10^{-8}$	$1,43 \times 10^{-7}$

Sama halnya dengan perhitungan menggunakan sumber cahaya matahari, data hasil perhitungan dengan menggunakan sumber cahaya LED *Cool Daylight 7 Watt* membuktikan bahwa variasi campuran *dye* antosianin dan klorofil mampu meningkatkan daya keluaran dan efisiensi dari DSSC. Daya maksimum dan efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh variasi *dye* antosianin : klorofil 1 : 3 dengan nilai sebesar $1,04 \times 10^{-7}$ W dan $1,48 \times 10^{-6}$ %.

