

**PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN PEWARNA ALAMI
KURKUMIN, KLOOROFIL, ANTOSIANIN SEBAGAI FOTOSENSITIZER
TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD HUSNI MUBAROK

NIM. 155060200111006

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN
**PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN PEWARNA ALAMI KURKUMIN,
KLOOROFIL, ANTOSIANIN SEBAGAI FOTOSENSITIZER TERHADAP
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD HUSNI MUBAROK
NIM. 155060200111006

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada tanggal 19 Juli 2019



Mengetahui,
Ketua Program Studi S1
Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

Dosen Pembimbing I

Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.
NIP 197501132000121001

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN PEWARNA ALAMI KURKUMIN, KLOOROFIL, ANTOSIANIN SEBAGAI FOTOSENSITIZER TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)

Nama Mahasiswa : Muhammad Husni Mubarak

NIM : 155060200111006

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

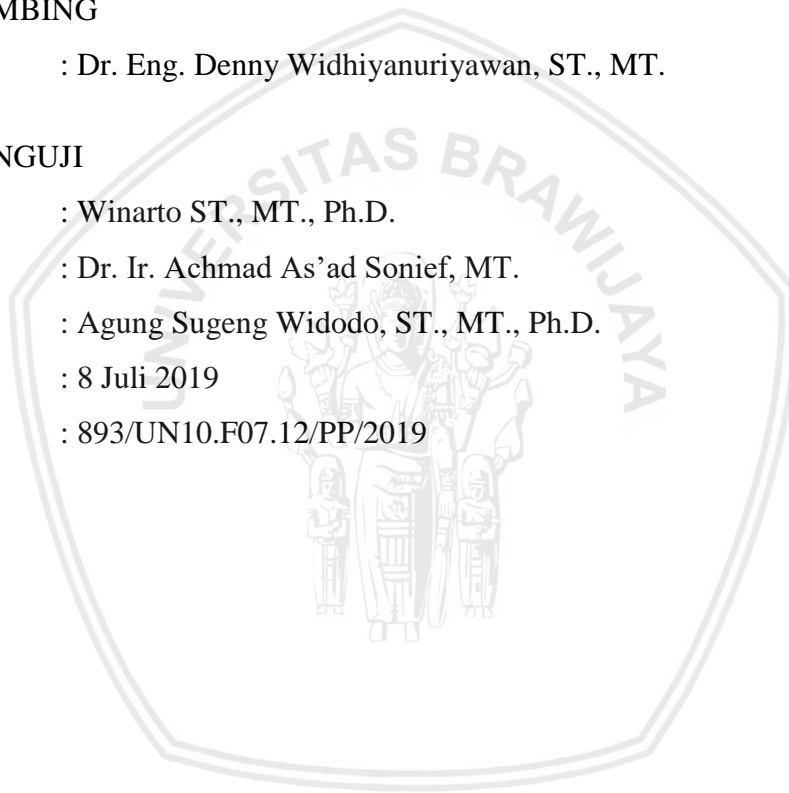
Dosen Penguji 1 : Winarto ST., MT., Ph.D.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.

Dosen Penguji 3 : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.

Tanggal Ujian : 8 Juli 2019

SK Penguji : 893/UN10.F07.12/PP/2019



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur – unsur jiplakan, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta proses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 19 Juli 2019

Mahasiswa,



Muhammad Husni Mubarak
Nim. 155060200111006

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



TURNITIN



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA**



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

060/UN10.F07.12.21/PP/2019

Nomor :

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUH. HUSNI MUBAROK

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN PEWARNA ALAMI
KURKUMIN, KLOROFIL, ANTOSIANIN SEBAGAI FOTSENSITIZER
TERHADAP EFISIENSI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi < 20 %, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **19 JUL 2019**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT
NIP. 19740930 200012 1 001



*Skripsi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua
yang tidak pernah lelah untuk selalu mendo'akan,
dan memberikan motivasi demi kelancaran,
dan kesuksesan anaknya*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayah-Nya serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Komposisi Campuran Pewarna Alami Kurkumin, Klorofil, Antosianin Sebagai Fotosensitizer Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)”. Skripsi ini dibuat untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, akan tetapi diharapkan segala usaha yang telah dilakukan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat.

Selama proses penulisan dan penyelesaian skripsi ini, penulis banyak memperoleh bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dan dukungan yang didapat tidak mungkin skripsi ini dapat terselesaikan. Untuk itu penulis dengan tulus hati ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Dr.Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan, bantuan, serta ilmu dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Zainal Arifin, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing di Laboratorium Nano Bio Energi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.
6. Staf dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah melancarkan proses dari skripsi ini.
7. Kedua orang tua Ibu Husnah dan Ayah Niamulloh serta adik Ravika yang selalu memberikan dukungan, bantuan, serta doa yang tak terhingga sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

8. Teman-teman angkatan 2015 yang namanya tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan bantuannya selama penyelesaian skripsi ini.
9. Teman-teman seperjuangan Fakhri, Pram, Arip, Janitra yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.
10. Rekan-rekan asisten Laboratorium Tenaga Surya dan Energi Alternatif FT-UB: Fakhrizal, Tari, Firman, Abu, Syauqi, Bella, Rafly, Rafi, Alfi yang telah memberikan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Rekan-rekan asisten Laboratorium Nano Bio Energi FT-UNS: Heru, Hasbi, Mas Catur, Zuhdi, Jamal, dan Ian yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Dita Annisa Wilujeng, yang telah membantu penyelesaian skripsi ini, dan selalu memberikan semangat serta motivasi kepada penulis.
13. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Akhir kata, semoga amal, bantuan, bimbingan serta doa yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat di harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Malang, 19 Juli 2018

Penulis

SUMMARY

Muhammad Husni Mubarak, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, June 2019, *The Effect Composition of Natural Dyes Curcumin, Chlorophyll, Anthocyanin as Photosensitizers to The Efficiency of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, Academic Supervisor: Denny Widhiyanuriyawan.

Dye Sensitized Solar cell (DSSC) is a photoelectrochemical based solar cell, with coloring as a place for electron excitation. Curcumin dyes from turmeric extraction have good absorbance at visible light wavelengths, $\pm 420-580$ nm. Chlorophyll coloring from extraction of spinach leaves can absorb light at blue wavelengths $\pm 400-450$ nm and red $\pm 625-700$ nm. Anthocyanin dyes from mangosteen peel extraction can absorb light at wavelengths from 480-580 nm.

This study aims to produce natural dyes as a result of mixing curcumin, chlorophyll, and anthocyanin which can expand the absorbance area at a wavelength of 400-750 nm. The wider the absorbance area, the greater efficiency of electricity produced. This study uses a variation of the volume ratio of curcumin / chlorophyll / anthocyanin mixture, 1/1/1, 2/1/1, 1/2/1, and 1/1/2. In this study, the characterization of absorbance of dyes was carried out using UV-Vis spectrophotometer, and current and voltage (I-V) DSSC characterization using a solar simulator tool.

The results of this study are to have the mixture of curcumin / chlorophyll / anthocyanin possess, absorbance of light, and efficiency that is better than a single dye. Absorbance DSSC using variations in the volume of natural dyes is anthocyanin 100% (415), chlorophyll 100% (477), curcumin 100% (478), 2/1/1 (640), 1/1/2 (642), 1/1/1 (652), 1/2/1 (730). While the efficiency of DSSC using variations in the volume of natural dyes is anthocyanin 100% (0.078), chlorophyll 100% (0.109%), curcumin 100% (0.126%), 2/1/1 (0.313%), 1/1/2 (0.339%), 1/1/1 (0.374%), 1/2/1 (0.512%)

Keywords: Efficiency of DSSC, Absorbance, Curcumin, Chlorophyll, Anthocyanin

RINGKASAN

Muhammad Husni Mubarak, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, 19 Juli 2019, *Pengaruh Komposisi Campuran Pewarna Alami Kurkumin, Klorofil, Antosianin Sebagai Fotosensitizer Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, Dosen Pembimbing: Denny Widhiyanuriawan.

Dye Sensitized Solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia, dengan pewarna sebagai tempat eksitasi elektron. Pewarna kurkumin dari ekstraksi kunyit memiliki absorbansi yang baik pada panjang gelombang cahaya tampak, yaitu $\pm 420-580$ nm. Pewarna klorofil dari ekstraksi daun bayam mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang tampak biru $\pm 400-450$ nm dan merah $\pm 625-700$ nm. Pewarna antosianin dari ekstraksi kulit manggis mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang dari 480-580 nm.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan pewarna alami hasil dari pencampuran kurkumin, klorofil, dan antosianin yang mampu memperluas daerah absorbansi pada panjang gelombang 400-750 nm. Semakin luas daerah absorbansi, maka efisiensi listrik yang dihasilkan juga meningkat. Penelitian ini menggunakan variasi perbandingan volume campuran kurkumin/klorofil/antosianin, yaitu 1/1/1, 2/1/1, 1/2/1, dan 1/1/2. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian karakterisasi absorbansi pewarna menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis, dan karakterisasi arus dan tegangan (I-V) DSSC menggunakan alat *solar simulator*.

Hasil penelitian ini adalah pada pencampuran kurkumin/klorofil/antosianin memiliki absorbansi cahaya, dan efisiensi yang lebih baik dari pada pewarna tunggal. Absorbansi pada DSSC menggunakan variasi volume pewarna alami adalah antosianin 100% (415), klorofil 100% (477), kurkumin 100% (478), 2/1/1 (640), 1/1/2 (642), 1/1/1 (652), 1/2/1 (730). Sedangkan untuk efisiensi DSSC menggunakan variasi volume pewarna alami adalah antosianin 100% (0,078), klorofil 100% (0,109%), kurkumin 100% (0,126%), 2/1/1 (0,313%), 1/1/2 (0,339%), 1/1/1 (0,374%), 1/2/1 (0,512%).

Kata Kunci: Efisiensi DSSC, Absorbansi, Kurkumin, Klorofil, Antosianin

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi Matahari	5
2.2 Sel surya	6
2.3 Pengertian Umum <i>Dye sensitized solar cell</i> (DSSC).....	8
2.4 Struktur <i>Dye sensitized solar cell</i> (DSSC)	9
2.4.1 <i>Transparant Conductive Oxide</i> (TCO)	9
2.4.2 Semikonduktor	10
2.4.3 Pewarna (<i>dye</i>)	11
2.4.4 Elektrolit	11
2.4.5 Elektroda Berlawanan (<i>Counter Electrode</i>)	12
2.5 Mekanisme Kerja DSSC	12
2.6 Zat Warna.....	14
2.6.1 Klorofil pada Bayam	14
2.6.2 Kurkumin pada Kunyit	15
2.6.3 Antosianin pada Kulit Manggis.....	16
2.7 Parameter kinerja DSSC	17
2.7.1 Karakterisasi Absorbansi Cahaya	17

2.7.2 Karakterisasi Arus-Tegangan (I-V)	18
2.8 Hipotesis.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.3 Variabel Penelitian	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.4.1 Alat	22
3.4.2 Bahan Penelitian.....	28
3.5 Instalansi Penelitian.....	28
3.6 Prosedur Penelitian	28
3.7 Diagram Alir Penelitian	30
3.7.1 Prosedur Penelitian.....	31
3.8 Metode Pengambilan Data.....	33
3.8.1 Pengujian Absorbansi Cahaya.....	33
3.8.2 Pengujian Karakterisasi Arus-Tegangan (I-V)	33
3.9 Variasi Pengujian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Karakterisasi Absorbansi Cahaya	35
4.3 Karakterisasi Arus dan Tegangan	37
BAB V PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

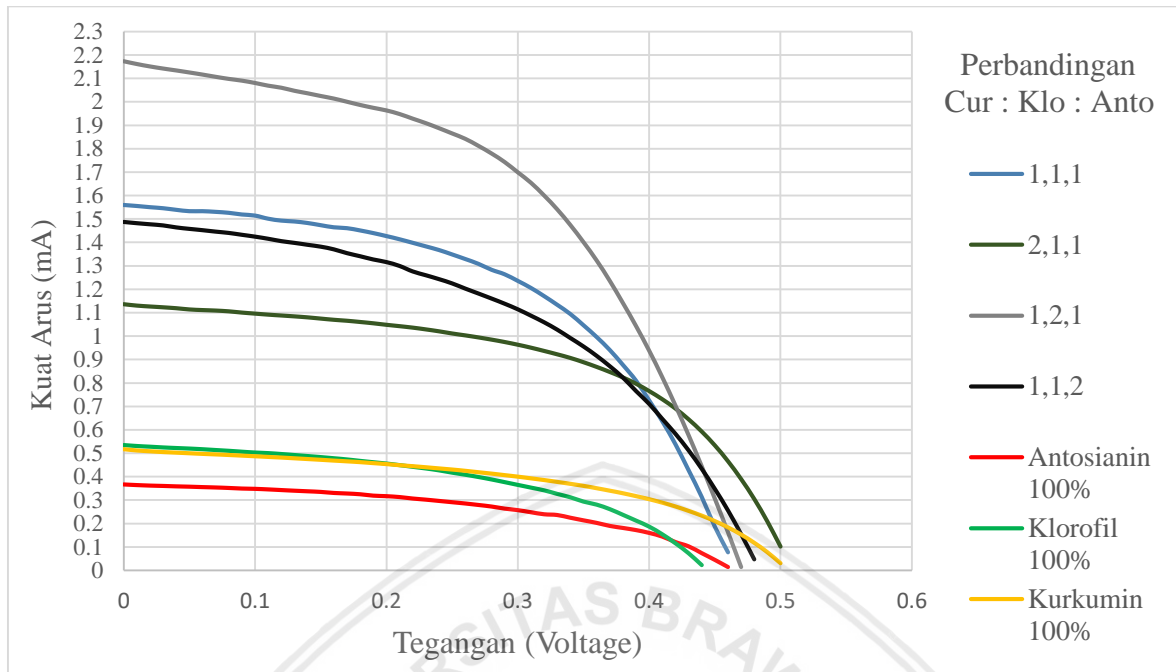
Tabel 2.1	Pembagian Spektrum Radiasi Matahari.....	6
Tabel 2.2	Taksonomi Kelompok Bayam	14
Tabel 2.3	Taksonomi Kelompok Kunyit.....	15
Tabel 2.4	Taksonomi kelompok Buah Manggis	17
Tabel 3.1	Pengujian Karakterisasi Absorbansi Cahaya	33
Tabel 3.2	Pengujian Karakterisasi Energi <i>Bandgap</i>	34
Tabel 3.3	Pengujian Karakterisasi Arus-Tegangan (I-V)	35
Tabel 4.1	Nilai Panjang Gelombang, Puncak dan Luas Daerah Absorbansi	37
Tabel 4.2	Parameter DSSC Dengan Variasi Campuran Warna	39



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema kerja sel surya silikon.....	7
Gambar 2.2	Struktur <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	9
Gambar 2.3	Mekanisme kerja <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	12
Gambar 2.4	Pengujian absorbansi bayam pelarut <i>ethanol</i> dan air suling	15
Gambar 2.5	Absorbansi gelombang cahaya kurkumin menggunakan pelarut	16
Gambar 2.6	Alir kerja spektrofotometer UV-Vis	18
Gambar 2.7	Kurva hubungan arus (I) dan tegangan (V)	19
Gambar 3.1	<i>Ultrasonic cleaner</i>	22
Gambar 3.2	<i>Magnetic stirrer</i>	23
Gambar 3.3	Spektrofotometri sinar tampak (UV-Vis)	24
Gambar 3.4	Neraca digital.....	25
Gambar 3.5	Multimeter.....	25
Gambar 3.6	<i>Solar simulator</i>	26
Gambar 3.7	<i>Rotary evaporator</i>	27
Gambar 3.8	<i>Furnace</i>	27
Gambar 3.9	Instalan alat penelitian	28
Gambar 3.10	Diagram alir penelitian	30
Gambar 4.1	Nilai absorbansi cahaya pada pewarna alami	35
Gambar 4.2	Nilai absorbansi cahaya pada variasi campuran pewarna alami.....	36
Gambar 4.3	Karakterisasi I-V pada campuran pewarna alami	38

Lampiran 1 Hasil Uji Karakteristik Sel Surya DSSC

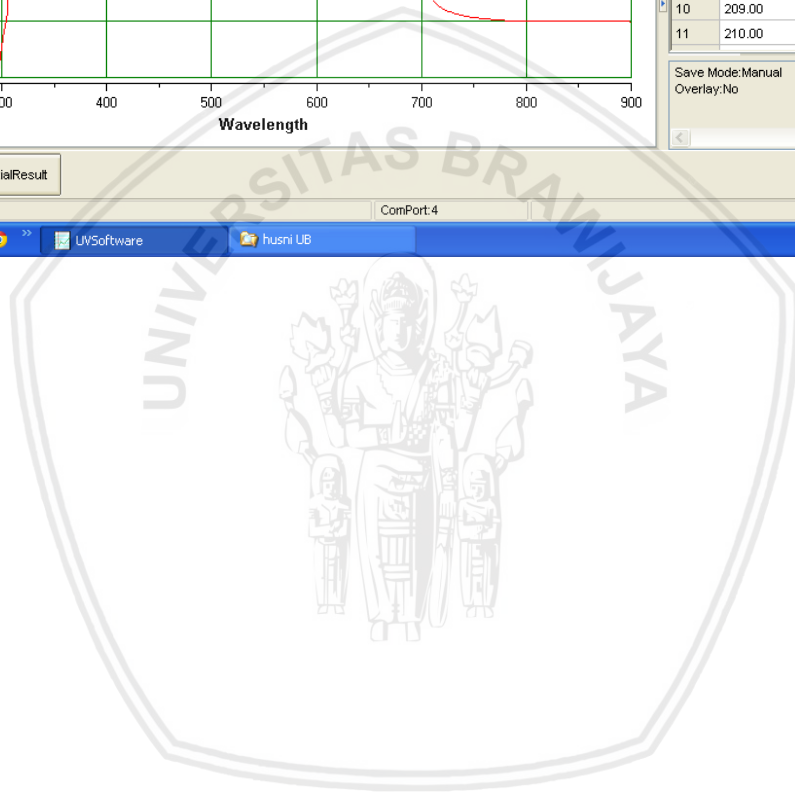
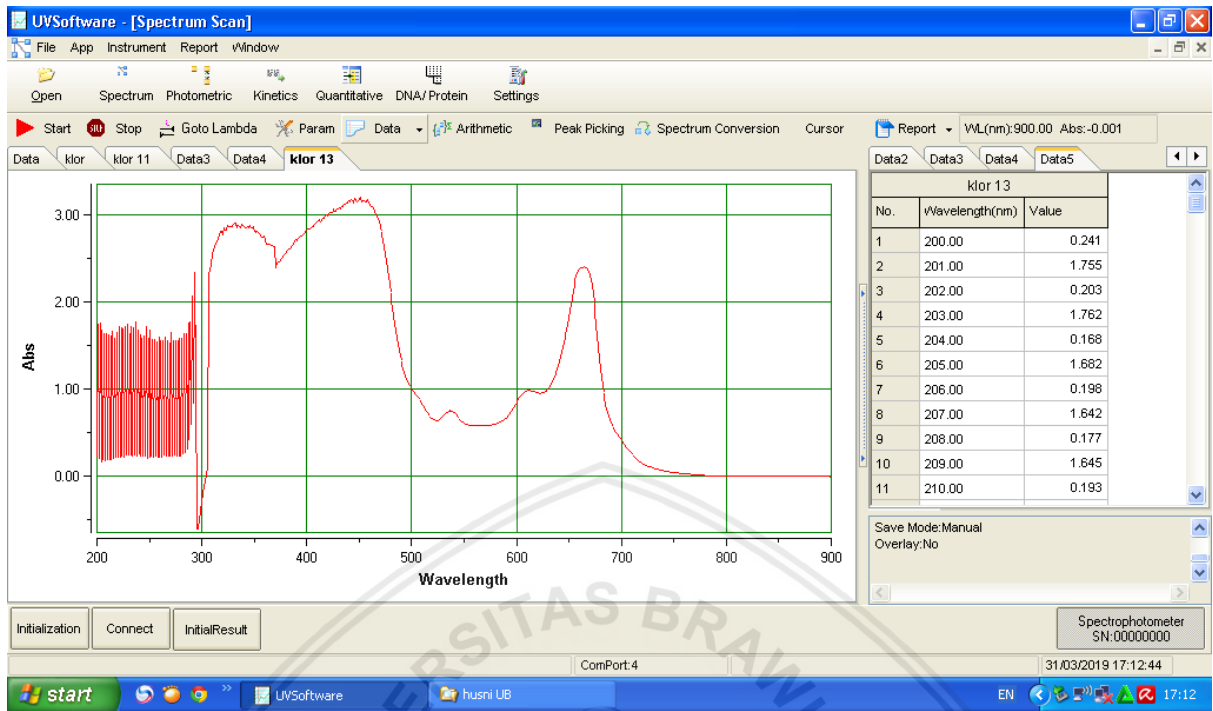


Gambar L.1 Karakterisasi I-V dari DSSC pada pewarna alami, dan pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin

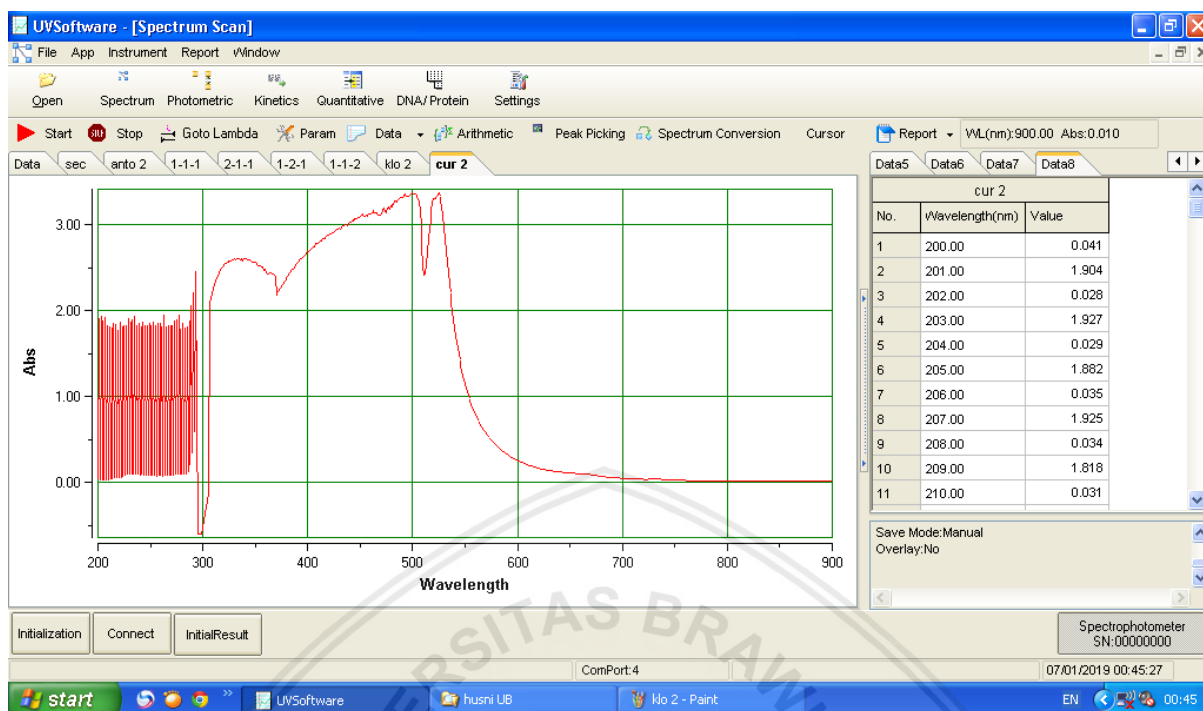
Perhitungan dari uji karakteristik DSSC variasi campuran pewarna alami Kurkumin 1 / Klorofil 2 / Antosianin 1:

1. $V_{oc} = 0.47 \text{ V}$
2. $I_{sc} = 2.173 \text{ mA}$
3. $V_{max} = 0.31 \text{ V}$
4. $I_{max} = 1.654 \text{ mA}$
5. $FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{0.31 \times 1.654}{0.47 \times 2.173} = 0.501$
6. $P_{max} = I_{sc} \times V_{oc} \times FF = 2.173 \times 0.47 \times 0.501 = 0.512$
7. $\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \times 100\% = \frac{0.512}{100} = 0.512\%$

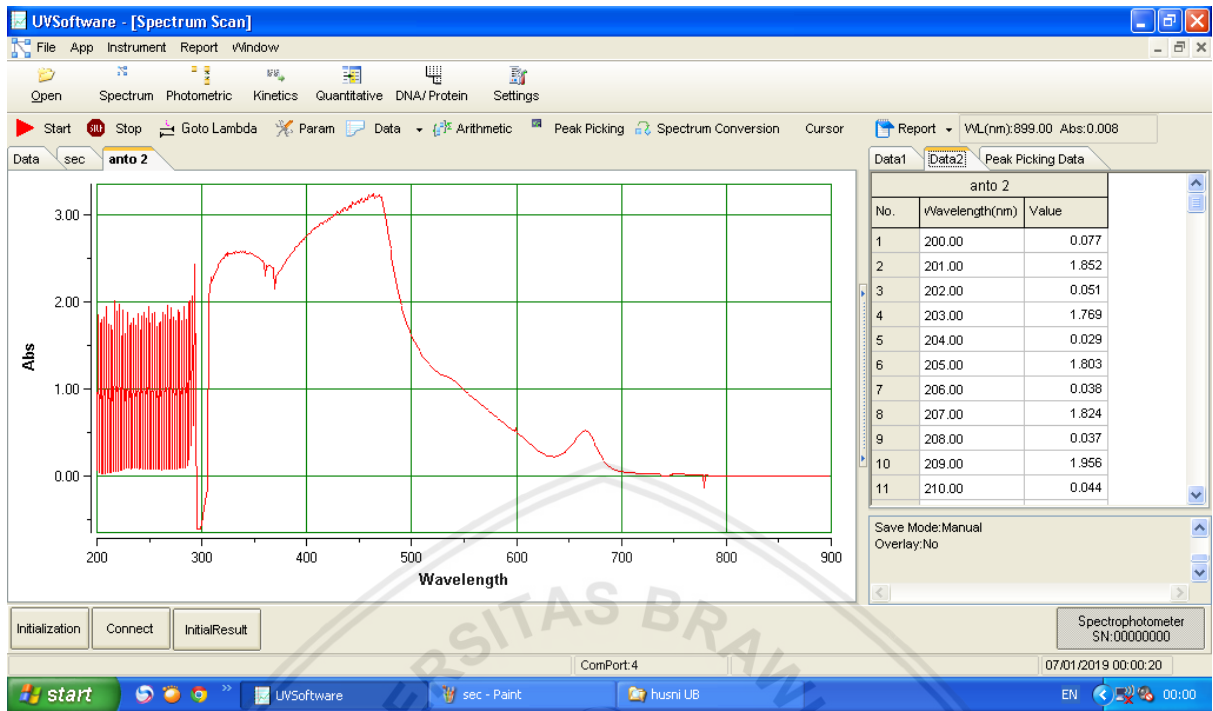
Lampiran 2 Absorbansi Pewarna Klorofil 100%



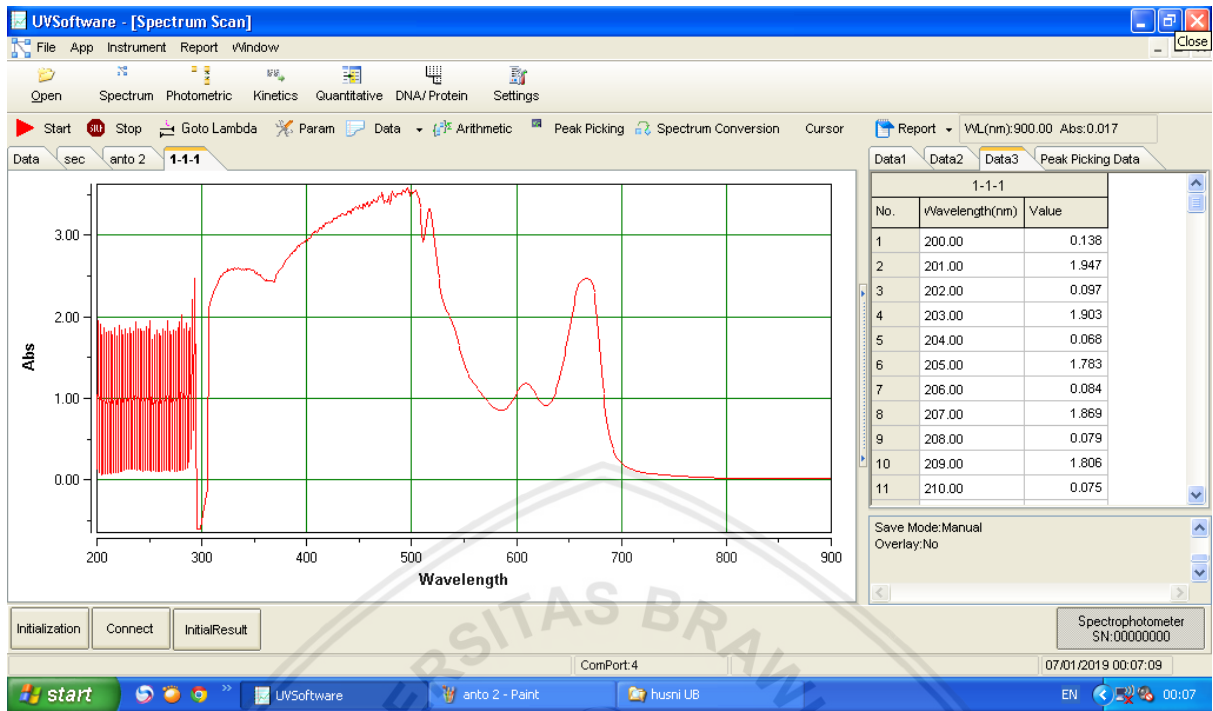
Lampiran 3 Absorbansi Pewarna Kurkumin 100%



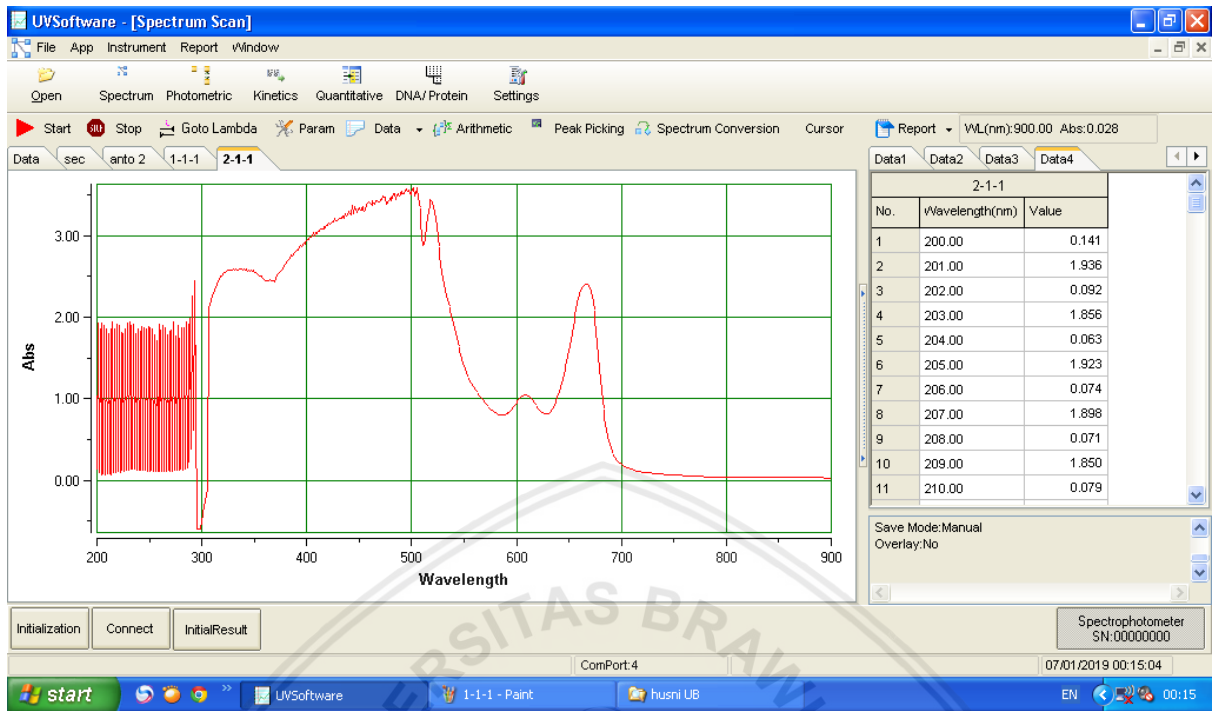
Lampiran 4 Absorbansi Pewarna Antosianin 100%



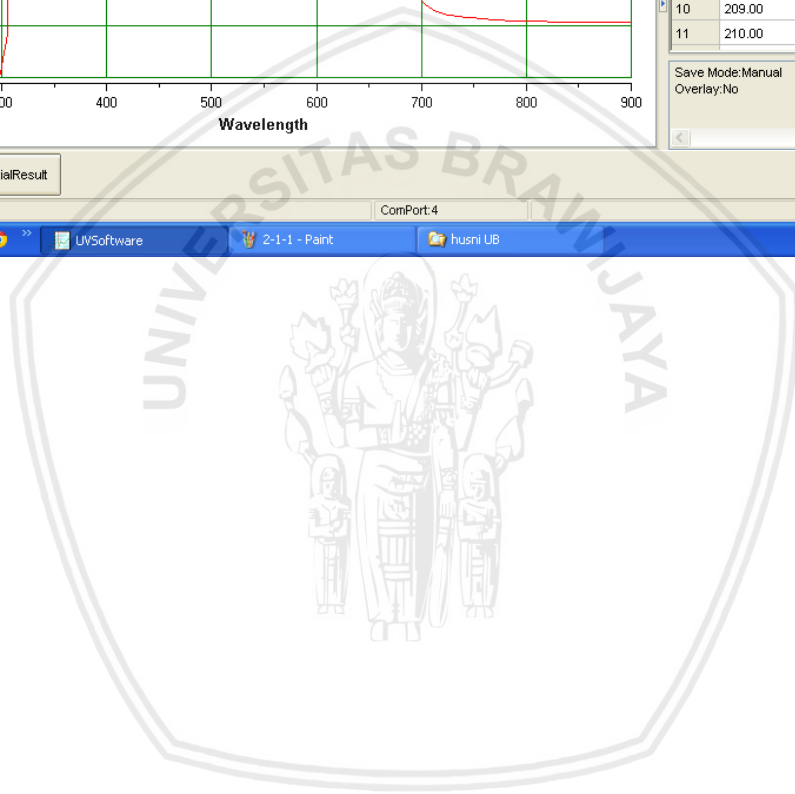
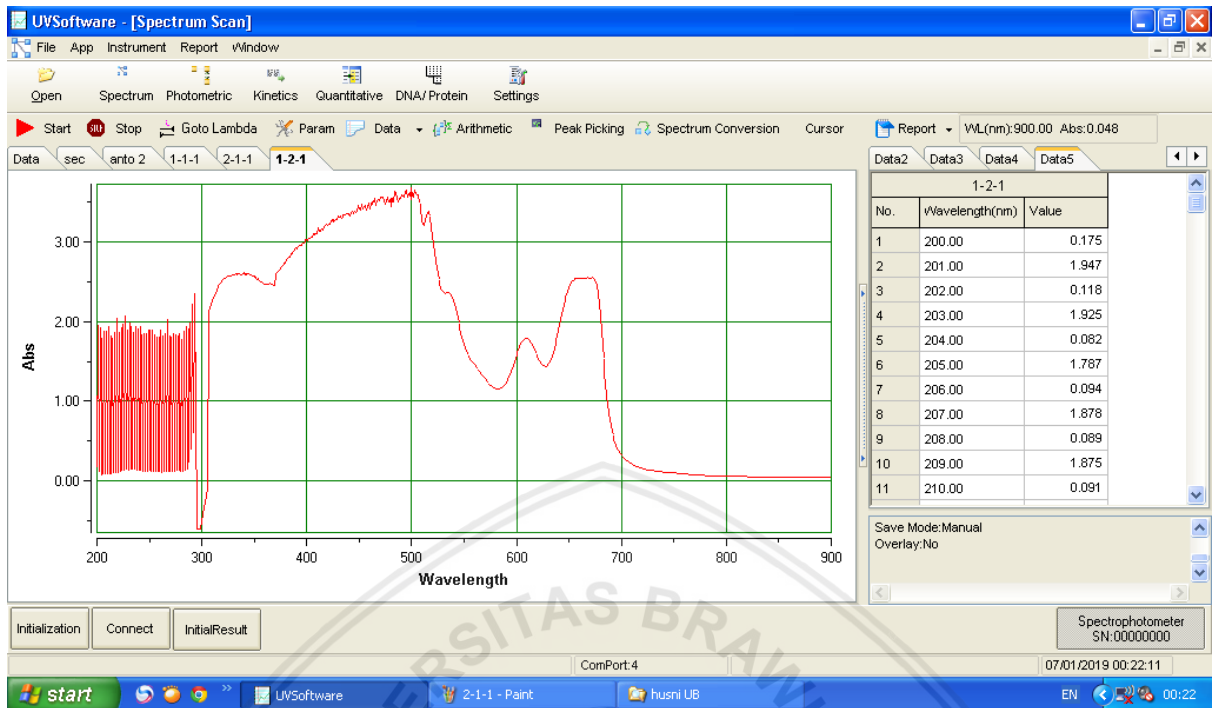
Lampiran 5 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 1



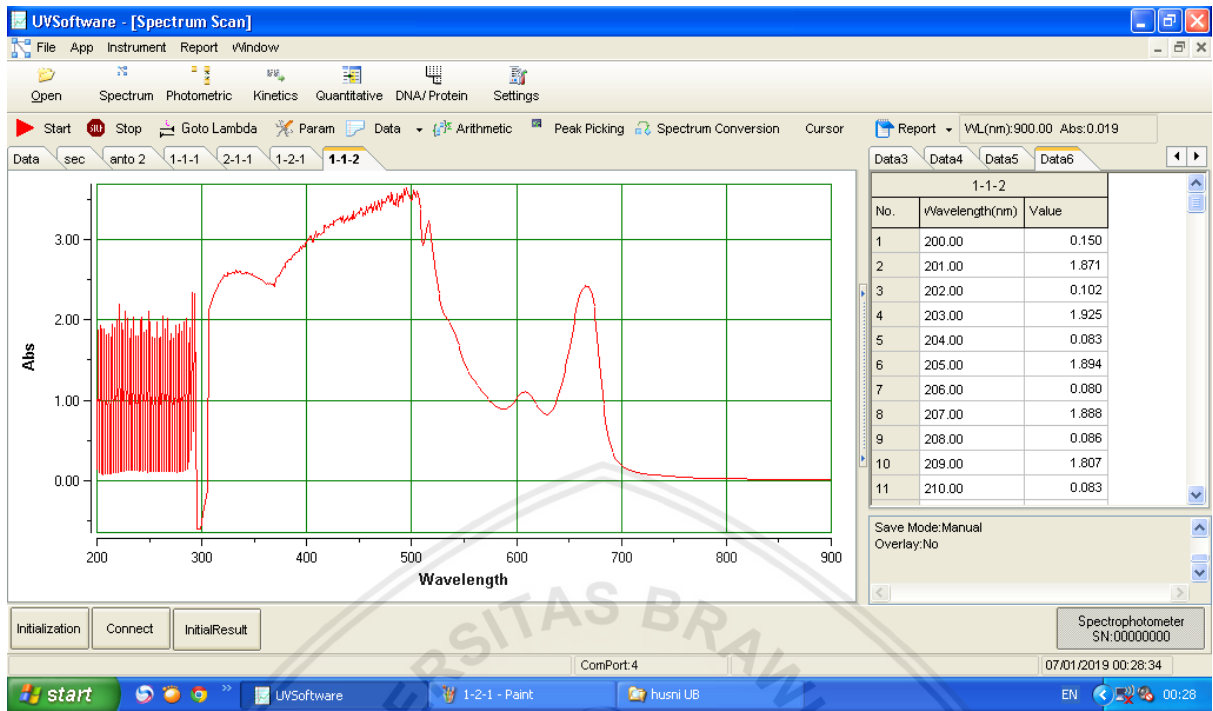
Lampiran 6 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 2/Klorofil 1/Antosianin 1



Lampiran 7 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 1/Klorofil 2/Antosianin 1



Lampiran 8 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 2



Lampiran 9 Data Excel Absorbansi Pewarna Kurkumin, Klorofil, dan Antosianin

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
400	2,681	400	2,825	400	2,762
401	2,686	401	2,842	401	2,77
402	2,7	402	2,844	402	2,789
403	2,717	403	2,84	403	2,793
404	2,731	404	2,862	404	2,797
405	2,745	405	2,876	405	2,824
406	2,74	406	2,873	406	2,838
407	2,766	407	2,897	407	2,839
408	2,783	408	2,904	408	2,86
409	2,783	409	2,911	409	2,856
410	2,781	410	2,93	410	2,869
411	2,796	411	2,945	411	2,865
412	2,812	412	2,948	412	2,887
413	2,812	413	2,923	413	2,907
414	2,836	414	2,938	414	2,907
415	2,833	415	2,967	415	2,895
416	2,844	416	2,976	416	2,922
417	2,855	417	2,966	417	2,927
418	2,86	418	2,99	418	2,937
419	2,876	419	3,002	419	2,93
420	2,884	420	2,999	420	2,945
421	2,889	421	3,003	421	2,961
422	2,897	422	3,033	422	2,953
423	2,909	423	3,037	423	2,973
424	2,908	424	3,027	424	2,975
425	2,915	425	3,044	425	2,999
426	2,925	426	3,07	426	3,008
427	2,93	427	3,045	427	3,011
428	2,944	428	3,048	428	3,008
429	2,952	429	3,07	429	3,041
430	2,965	430	3,072	430	3,031
431	2,953	431	3,081	431	3,026
432	2,962	432	3,079	432	3,036
433	2,982	433	3,096	433	3,065
434	2,985	434	3,1	434	3,052
435	2,983	435	3,096	435	3,064
436	3,006	436	3,123	436	3,087
437	3,006	437	3,13	437	3,082
438	2,994	438	3,14	438	3,064

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
439	3,003	439	3,139	439	3,061
440	3,034	440	3,172	440	3,107
441	3,027	441	3,148	441	3,12
442	3,04	442	3,182	442	3,09
443	3,048	443	3,163	443	3,154
444	3,086	444	3,188	444	3,157
445	3,06	445	3,145	445	3,14
446	3,076	446	3,201	446	3,128
447	3,074	447	3,185	447	3,131
448	3,082	448	3,155	448	3,15
449	3,087	449	3,165	449	3,17
450	3,094	450	3,177	450	3,144
451	3,105	451	3,204	451	3,188
452	3,119	452	3,157	452	3,196
453	3,103	453	3,182	453	3,172
454	3,093	454	3,172	454	3,161
455	3,105	455	3,169	455	3,15
456	3,107	456	3,159	456	3,199
457	3,101	457	3,151	457	3,175
458	3,123	458	3,175	458	3,184
459	3,125	459	3,15	459	3,232
460	3,128	460	3,118	460	3,209
461	3,137	461	3,107	461	3,224
462	3,14	462	3,106	462	3,225
463	3,162	463	3,098	463	3,219
464	3,135	464	3,09	464	3,253
465	3,136	465	3,053	465	3,2
466	3,134	466	3,017	466	3,224
467	3,114	467	2,997	467	3,207
468	3,112	468	2,948	468	3,217
469	3,117	469	2,933	469	3,231
470	3,127	470	2,867	470	3,211
471	3,16	471	2,818	471	3,223
472	3,183	472	2,772	472	3,182
473	3,194	473	2,713	473	3,137
474	3,154	474	2,639	474	3,054
475	3,139	475	2,556	475	2,987
476	3,19	476	2,477	476	2,926
477	3,208	477	2,389	477	2,834
478	3,184	478	2,3	478	2,752
479	3,216	479	2,207	479	2,686

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
480	3,213	480	2,119	480	2,613
481	3,241	481	2,025	481	2,523
482	3,235	482	1,934	482	2,45
483	3,271	483	1,846	483	2,384
484	3,28	484	1,76	484	2,314
485	3,266	485	1,676	485	2,25
486	3,288	486	1,597	486	2,185
487	3,305	487	1,524	487	2,129
488	3,315	488	1,456	488	2,071
489	3,319	489	1,392	489	2,017
490	3,325	490	1,335	490	1,971
491	3,312	491	1,283	491	1,925
492	3,331	492	1,236	492	1,881
493	3,362	493	1,194	493	1,839
494	3,337	494	1,157	494	1,802
495	3,328	495	1,124	495	1,767
496	3,336	496	1,095	496	1,733
497	3,339	497	1,07	497	1,703
498	3,357	498	1,047	498	1,673
499	3,368	499	1,026	499	1,646
500	3,367	500	1,007	500	1,619
501	3,361	501	0,99	501	1,595
502	3,352	502	0,974	502	1,572
503	3,363	503	0,959	503	1,549
504	3,338	504	0,945	504	1,527
505	3,292	505	0,93	505	1,506
506	3,271	506	0,915	506	1,485
507	3,152	507	0,898	507	1,463
508	2,998	508	0,881	508	1,44
509	2,775	509	0,861	509	1,413
510	2,526	510	0,84	510	1,392
511	2,411	511	0,819	511	1,375
512	2,43	512	0,797	512	1,362
513	2,535	513	0,775	513	1,348
514	2,688	514	0,754	514	1,333
515	2,835	515	0,734	515	1,318
516	2,955	516	0,716	516	1,303
517	3,064	517	0,699	517	1,288
518	3,166	518	0,685	518	1,274
519	3,264	519	0,672	519	1,26
520	3,298	520	0,662	520	1,247

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
521	3,301	521	0,655	521	1,235
522	3,301	522	0,649	522	1,224
523	3,325	523	0,646	523	1,214
524	3,34	524	0,646	524	1,204
525	3,373	525	0,648	525	1,195
526	3,331	526	0,652	526	1,188
527	3,265	527	0,659	527	1,18
528	3,215	528	0,668	528	1,174
529	3,108	529	0,678	529	1,168
530	2,958	530	0,691	530	1,163
531	2,834	531	0,704	531	1,159
532	2,698	532	0,717	532	1,155
533	2,565	533	0,729	533	1,151
534	2,436	534	0,74	534	1,146
535	2,318	535	0,749	535	1,141
536	2,203	536	0,754	536	1,136
537	2,095	537	0,756	537	1,13
538	1,989	538	0,755	538	1,123
539	1,891	539	0,75	539	1,116
540	1,8	540	0,741	540	1,107
541	1,714	541	0,73	541	1,097
542	1,634	542	0,717	542	1,087
543	1,559	543	0,702	543	1,076
544	1,489	544	0,687	544	1,064
545	1,423	545	0,672	545	1,053
546	1,361	546	0,658	546	1,041
547	1,304	547	0,645	547	1,029
548	1,249	548	0,633	548	1,018
549	1,198	549	0,623	549	1,006
550	1,149	550	0,614	550	0,994
551	1,103	551	0,607	551	0,983
552	1,06	552	0,601	552	0,972
553	1,019	553	0,597	553	0,961
554	0,98	554	0,594	554	0,95
555	0,944	555	0,591	555	0,94
556	0,909	556	0,59	556	0,93
557	0,877	557	0,589	557	0,92
558	0,846	558	0,588	558	0,91
559	0,817	559	0,589	559	0,9
560	0,789	560	0,589	560	0,89
561	0,763	561	0,589	561	0,881

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
562	0,738	562	0,589	562	0,871
563	0,714	563	0,59	563	0,861
564	0,69	564	0,59	564	0,851
565	0,668	565	0,59	565	0,841
566	0,647	566	0,59	566	0,831
567	0,627	567	0,59	567	0,821
568	0,607	568	0,59	568	0,811
569	0,589	569	0,589	569	0,801
570	0,571	570	0,589	570	0,792
571	0,554	571	0,589	571	0,782
572	0,537	572	0,589	572	0,771
573	0,522	573	0,589	573	0,761
574	0,506	574	0,59	574	0,751
575	0,491	575	0,591	575	0,741
576	0,478	576	0,593	576	0,731
577	0,464	577	0,595	577	0,72
578	0,451	578	0,597	578	0,71
579	0,438	579	0,6	579	0,698
580	0,426	580	0,604	580	0,689
581	0,415	581	0,608	581	0,683
582	0,404	582	0,613	582	0,673
583	0,393	583	0,618	583	0,661
584	0,382	584	0,624	584	0,651
585	0,372	585	0,63	585	0,641
586	0,363	586	0,637	586	0,631
587	0,353	587	0,645	587	0,621
588	0,344	588	0,653	588	0,612
589	0,336	589	0,663	589	0,602
590	0,327	590	0,673	590	0,593
591	0,319	591	0,685	591	0,583
592	0,311	592	0,698	592	0,574
593	0,303	593	0,712	593	0,565
594	0,296	594	0,728	594	0,556
595	0,288	595	0,745	595	0,548
596	0,282	596	0,764	596	0,539
597	0,275	597	0,784	597	0,531
598	0,268	598	0,805	598	0,522
599	0,262	599	0,825	599	0,564
600	0,255	600	0,848	600	0,503
601	0,25	601	0,869	601	0,495
602	0,244	602	0,888	602	0,486

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
603	0,238	603	0,907	603	0,477
604	0,233	604	0,924	604	0,468
605	0,228	605	0,939	605	0,459
606	0,222	606	0,952	606	0,449
607	0,218	607	0,963	607	0,439
608	0,213	608	0,972	608	0,429
609	0,208	609	0,979	609	0,419
610	0,203	610	0,983	610	0,408
611	0,199	611	0,986	611	0,397
612	0,195	612	0,987	612	0,387
613	0,191	613	0,986	613	0,376
614	0,187	614	0,984	614	0,365
615	0,183	615	0,981	615	0,354
616	0,179	616	0,977	616	0,343
617	0,175	617	0,973	617	0,332
618	0,172	618	0,968	618	0,322
619	0,168	619	0,965	619	0,312
620	0,165	620	0,962	620	0,303
621	0,162	621	0,959	621	0,294
622	0,159	622	0,958	622	0,285
623	0,156	623	0,958	623	0,277
624	0,153	624	0,96	624	0,27
625	0,15	625	0,963	625	0,263
626	0,148	626	0,968	626	0,257
627	0,145	627	0,975	627	0,251
628	0,143	628	0,983	628	0,246
629	0,141	629	0,994	629	0,242
630	0,138	630	1,007	630	0,238
631	0,136	631	1,022	631	0,235
632	0,134	632	1,04	632	0,233
633	0,132	633	1,06	633	0,231
634	0,13	634	1,082	634	0,229
635	0,128	635	1,108	635	0,229
636	0,126	636	1,136	636	0,229
637	0,125	637	1,168	637	0,23
638	0,123	638	1,201	638	0,232
639	0,123	639	1,236	639	0,236
640	0,121	640	1,276	640	0,24
641	0,12	641	1,321	641	0,244
642	0,118	642	1,37	642	0,25
643	0,117	643	1,423	643	0,256

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
644	0,116	644	1,476	644	0,264
645	0,115	645	1,529	645	0,273
646	0,114	646	1,581	646	0,282
647	0,114	647	1,633	647	0,293
648	0,113	648	1,686	648	0,305
649	0,112	649	1,75	649	0,316
650	0,11	650	1,822	650	0,327
651	0,108	651	1,897	651	0,34
652	0,107	652	1,974	652	0,353
653	0,105	653	2,052	653	0,367
654	0,104	654	2,13	654	0,382
655	0,103	655	2,193	655	0,398
656	0,103	656	2,248	656	0,415
657	0,102	657	2,299	657	0,431
658	0,101	658	2,333	658	0,448
659	0,101	659	2,363	659	0,465
660	0,1	660	2,378	660	0,481
661	0,1	661	2,397	661	0,495
662	0,099	662	2,403	662	0,508
663	0,098	663	2,403	663	0,518
664	0,098	664	2,412	664	0,525
665	0,097	665	2,41	665	0,529
666	0,096	666	2,404	666	0,529
667	0,095	667	2,392	667	0,525
668	0,094	668	2,379	668	0,516
669	0,092	669	2,353	669	0,504
670	0,09	670	2,312	670	0,488
671	0,089	671	2,263	671	0,468
672	0,087	672	2,195	672	0,447
673	0,084	673	2,107	673	0,423
674	0,083	674	2,002	674	0,399
675	0,081	675	1,881	675	0,374
676	0,078	676	1,75	676	0,35
677	0,076	677	1,617	677	0,325
678	0,074	678	1,487	678	0,301
679	0,072	679	1,363	679	0,277
680	0,07	680	1,247	680	0,253
681	0,069	681	1,142	681	0,229
682	0,067	682	1,049	682	0,208
683	0,065	683	0,966	683	0,188
684	0,064	684	0,894	684	0,17

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
685	0,062	685	0,831	685	0,154
686	0,061	686	0,777	686	0,14
687	0,06	687	0,731	687	0,128
688	0,059	688	0,69	688	0,117
689	0,057	689	0,656	689	0,108
690	0,056	690	0,625	690	0,1
691	0,055	691	0,598	691	0,093
692	0,054	692	0,573	692	0,087
693	0,053	693	0,551	693	0,082
694	0,052	694	0,531	694	0,077
695	0,051	695	0,511	695	0,073
696	0,051	696	0,493	696	0,07
697	0,05	697	0,475	697	0,067
698	0,049	698	0,457	698	0,064
699	0,048	699	0,44	699	0,061
700	0,047	700	0,422	700	0,059
701	0,047	701	0,405	701	0,057
702	0,046	702	0,387	702	0,055
703	0,045	703	0,37	703	0,053
704	0,044	704	0,352	704	0,051
705	0,044	705	0,335	705	0,05
706	0,043	706	0,319	706	0,048
707	0,042	707	0,303	707	0,047
708	0,042	708	0,287	708	0,046
709	0,041	709	0,272	709	0,045
710	0,041	710	0,257	710	0,043
711	0,04	711	0,243	711	0,042
712	0,039	712	0,23	712	0,041
713	0,039	713	0,217	713	0,04
714	0,038	714	0,205	714	0,039
715	0,038	715	0,194	715	0,038
716	0,037	716	0,184	716	0,037
717	0,037	717	0,174	717	0,036
718	0,036	718	0,165	718	0,036
719	0,036	719	0,157	719	0,035
720	0,036	720	0,149	720	0,034
721	0,035	721	0,142	721	0,034
722	0,035	722	0,136	722	0,033
723	0,035	723	0,13	723	0,033
724	0,036	724	0,125	724	0,033
725	0,036	725	0,119	725	0,033

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Abosrbansi (arb.units)
726	0,036	726	0,115	726	0,033
727	0,037	727	0,111	727	0,034
728	0,037	728	0,108	728	0,034
729	0,038	729	0,104	729	0,034
730	0,038	730	0,1	730	0,034
731	0,038	731	0,096	731	0,033
732	0,037	732	0,093	732	0,033
733	0,037	733	0,089	733	0,032
734	0,037	734	0,086	734	0,032
735	0,036	735	0,083	735	0,032
736	0,036	736	0,08	736	0,03
737	0,035	737	0,077	737	0,021
738	0,035	738	0,074	738	0,009
739	0,033	739	0,07	739	0,001
740	0,032	740	0,067	740	0,001
741	0,031	741	0,065	741	0,003
742	0,031	742	0,062	742	0,004
743	0,029	743	0,059	743	0,005
744	0,029	744	0,057	744	0,009
745	0,028	745	0,055	745	0,012
746	0,028	746	0,053	746	0,016
747	0,027	747	0,051	747	0,02
748	0,027	748	0,049	748	0,023
749	0,027	749	0,048	749	0,027
750	0,026	750	0,046	750	0,029

Lampiran 10 Data *Excel* Absorbansi Pewarna Campuran (Kurkumin/Klorofil/Antosianin)

1 / 1 / 1		2 / 1 / 1		1 / 2 / 1		1 / 1 / 2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.unit s)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.unit s)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.unit s)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.unit s)
400	2,943	400	2,934	400	3,026	400	2,951
401	2,936	401	2,947	401	3,015	401	2,994
402	2,964	402	2,952	402	3,038	402	3,002
403	2,957	403	2,99	403	3,041	403	3,042
404	2,982	404	2,988	404	3,058	404	3,043
405	3,023	405	2,994	405	3,059	405	2,964
406	3,028	406	3,037	406	3,093	406	2,975
407	3,038	407	3,019	407	3,108	407	3,055
408	3,047	408	3,003	408	3,09	408	3,032
409	3,05	409	3,035	409	3,099	409	3,097
410	3,037	410	3,029	410	3,104	410	3,032
411	3,052	411	3,062	411	3,171	411	3,075
412	3,085	412	3,06	412	3,121	412	3,068
413	3,084	413	3,081	413	3,124	413	3,057
414	3,078	414	3,082	414	3,164	414	3,074
415	3,119	415	3,078	415	3,142	415	3,09
416	3,107	416	3,082	416	3,181	416	3,084
417	3,101	417	3,119	417	3,169	417	3,168
418	3,142	418	3,101	418	3,196	418	3,167
419	3,149	419	3,129	419	3,22	419	3,141
420	3,147	420	3,13	420	3,205	420	3,158
421	3,159	421	3,156	421	3,22	421	3,147
422	3,151	422	3,146	422	3,222	422	3,182
423	3,159	423	3,155	423	3,264	423	3,192
424	3,167	424	3,175	424	3,271	424	3,19
425	3,186	425	3,179	425	3,25	425	3,177
426	3,207	426	3,174	426	3,272	426	3,228
427	3,212	427	3,216	427	3,258	427	3,219
428	3,207	428	3,184	428	3,268	428	3,236
429	3,213	429	3,19	429	3,269	429	3,253
430	3,229	430	3,205	430	3,326	430	3,245
431	3,23	431	3,209	431	3,299	431	3,256
432	3,233	432	3,208	432	3,321	432	3,278
433	3,266	433	3,217	433	3,294	433	3,221
434	3,264	434	3,254	434	3,308	434	3,302
435	3,269	435	3,242	435	3,34	435	3,288
436	3,247	436	3,208	436	3,336	436	3,211
437	3,253	437	3,266	437	3,329	437	3,249
438	3,254	438	3,248	438	3,355	438	3,247
439	3,291	439	3,253	439	3,352	439	3,285
440	3,294	440	3,298	440	3,347	440	3,233

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
441	3,299	441	3,274	441	3,322	441	3,251
442	3,264	442	3,253	442	3,343	442	3,279
443	3,32	443	3,371	443	3,379	443	3,247
444	3,342	444	3,293	444	3,373	444	3,363
445	3,313	445	3,269	445	3,349	445	3,258
446	3,331	446	3,354	446	3,379	446	3,268
447	3,35	447	3,335	447	3,367	447	3,284
448	3,34	448	3,282	448	3,384	448	3,322
449	3,323	449	3,312	449	3,451	449	3,332
450	3,367	450	3,337	450	3,409	450	3,319
451	3,343	451	3,319	451	3,394	451	3,387
452	3,33	452	3,322	452	3,462	452	3,384
453	3,323	453	3,368	453	3,411	453	3,356
454	3,379	454	3,333	454	3,426	454	3,296
455	3,375	455	3,296	455	3,431	455	3,32
456	3,354	456	3,317	456	3,452	456	3,306
457	3,38	457	3,395	457	3,399	457	3,403
458	3,414	458	3,396	458	3,437	458	3,339
459	3,348	459	3,409	459	3,478	459	3,395
460	3,369	460	3,405	460	3,412	460	3,395
461	3,411	461	3,386	461	3,482	461	3,431
462	3,414	462	3,376	462	3,467	462	3,34
463	3,388	463	3,431	463	3,5	463	3,387
464	3,432	464	3,398	464	3,489	464	3,37
465	3,428	465	3,387	465	3,54	465	3,467
466	3,403	466	3,43	466	3,457	466	3,383
467	3,414	467	3,437	467	3,507	467	3,368
468	3,456	468	3,424	468	3,525	468	3,484
469	3,474	469	3,413	469	3,507	469	3,434
470	3,467	470	3,432	470	3,542	470	3,359
471	3,483	471	3,459	471	3,567	471	3,422
472	3,519	472	3,449	472	3,553	472	3,501
473	3,485	473	3,482	473	3,549	473	3,455
474	3,387	474	3,475	474	3,509	474	3,474
475	3,424	475	3,469	475	3,471	475	3,452
476	3,406	476	3,39	476	3,515	476	3,479
477	3,405	477	3,398	477	3,559	477	3,538
478	3,475	478	3,435	478	3,495	478	3,537
479	3,377	479	3,439	479	3,495	479	3,461
480	3,442	480	3,489	480	3,55	480	3,482
481	3,502	481	3,431	481	3,436	481	3,583
482	3,533	482	3,463	482	3,544	482	3,533
483	3,491	483	3,511	483	3,492	483	3,44
484	3,487	484	3,519	484	3,621	484	3,45

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
485	3,461	485	3,444	485	3,61	485	3,422
486	3,513	486	3,499	486	3,538	486	3,566
487	3,502	487	3,514	487	3,494	487	3,404
488	3,509	488	3,49	488	3,541	488	3,544
489	3,505	489	3,502	489	3,537	489	3,514
490	3,503	490	3,567	490	3,579	490	3,576
491	3,495	491	3,512	491	3,583	491	3,563
492	3,554	492	3,521	492	3,576	492	3,465
493	3,541	493	3,517	493	3,552	493	3,629
494	3,518	494	3,542	494	3,619	494	3,558
495	3,545	495	3,574	495	3,636	495	3,642
496	3,581	496	3,552	496	3,549	496	3,591
497	3,55	497	3,567	497	3,6	497	3,534
498	3,473	498	3,536	498	3,617	498	3,541
499	3,568	499	3,497	499	3,518	499	3,488
500	3,552	500	3,53	500	3,673	500	3,499
501	3,511	501	3,569	501	3,572	501	3,497
502	3,524	502	3,59	502	3,556	502	3,61
503	3,532	503	3,485	503	3,646	503	3,575
504	3,552	504	3,519	504	3,596	504	3,519
505	3,513	505	3,583	505	3,587	505	3,602
506	3,464	506	3,467	506	3,58	506	3,559
507	3,453	507	3,399	507	3,499	507	3,477
508	3,342	508	3,35	508	3,48	508	3,373
509	3,222	509	3,168	509	3,41	509	3,246
510	3,039	510	2,98	510	3,275	510	3,002
511	2,921	511	2,878	511	3,218	511	2,925
512	2,942	512	2,9	512	3,196	512	2,959
513	3,028	513	2,975	513	3,258	513	3,024
514	3,153	514	3,119	514	3,326	514	3,126
515	3,23	515	3,224	515	3,366	515	3,16
516	3,326	516	3,284	516	3,38	516	3,229
517	3,317	517	3,374	517	3,312	517	3,21
518	3,324	518	3,452	518	3,292	518	3,133
519	3,26	519	3,433	519	3,185	519	3,036
520	3,152	520	3,41	520	3,069	520	2,889
521	3,045	521	3,361	521	2,961	521	2,791
522	2,909	522	3,293	522	2,863	522	2,695
523	2,806	523	3,217	523	2,752	523	2,579
524	2,689	524	3,12	524	2,678	524	2,5
525	2,577	525	2,984	525	2,591	525	2,407
526	2,477	526	2,872	526	2,518	526	2,326
527	2,397	527	2,75	527	2,469	527	2,261
528	2,319	528	2,657	528	2,424	528	2,2

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
529	2,255	529	2,557	529	2,39	529	2,154
530	2,197	530	2,472	530	2,369	530	2,11
531	2,153	531	2,4	531	2,36	531	2,077
532	2,114	532	2,333	532	2,354	532	2,052
533	2,083	533	2,273	533	2,357	533	2,031
534	2,057	534	2,221	534	2,361	534	2,011
535	2,035	535	2,172	535	2,362	535	1,993
536	2,012	536	2,124	536	2,362	536	1,975
537	1,988	537	2,076	537	2,353	537	1,954
538	1,961	538	2,03	538	2,335	538	1,932
539	1,927	539	1,978	539	2,302	539	1,907
540	1,89	540	1,924	540	2,266	540	1,874
541	1,849	541	1,871	541	2,221	541	1,841
542	1,803	542	1,814	542	2,165	542	1,802
543	1,756	543	1,757	543	2,105	543	1,762
544	1,707	544	1,7	544	2,045	544	1,72
545	1,656	545	1,644	545	1,982	545	1,676
546	1,606	546	1,59	546	1,921	546	1,634
547	1,559	547	1,539	547	1,863	547	1,591
548	1,513	548	1,49	548	1,809	548	1,552
549	1,47	549	1,444	549	1,758	549	1,513
550	1,429	550	1,402	550	1,712	550	1,478
551	1,392	551	1,364	551	1,672	551	1,444
552	1,359	552	1,328	552	1,637	552	1,415
553	1,328	553	1,296	553	1,605	553	1,386
554	1,3	554	1,267	554	1,578	554	1,36
555	1,275	555	1,24	555	1,553	555	1,337
556	1,252	556	1,215	556	1,531	556	1,315
557	1,231	557	1,193	557	1,512	557	1,295
558	1,211	558	1,172	558	1,494	558	1,276
559	1,192	559	1,151	559	1,477	559	1,257
560	1,174	560	1,131	560	1,461	560	1,241
561	1,157	561	1,112	561	1,444	561	1,223
562	1,139	562	1,094	562	1,426	562	1,205
563	1,122	563	1,075	563	1,41	563	1,189
564	1,104	564	1,057	564	1,392	564	1,171
565	1,086	565	1,039	565	1,373	565	1,154
566	1,069	566	1,021	566	1,355	566	1,136
567	1,052	567	1,003	567	1,337	567	1,118
568	1,034	568	0,986	568	1,318	568	1,101
569	1,017	569	0,969	569	1,3	569	1,083
570	1	570	0,952	570	1,282	570	1,066
571	0,984	571	0,936	571	1,264	571	1,05
572	0,968	572	0,92	572	1,248	572	1,033

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
573	0,952	573	0,906	573	1,232	573	1,017
574	0,938	574	0,891	574	1,217	574	1,002
575	0,924	575	0,878	575	1,204	575	0,987
576	0,912	576	0,866	576	1,192	576	0,974
577	0,9	577	0,854	577	1,181	577	0,961
578	0,89	578	0,844	578	1,172	578	0,949
579	0,88	579	0,834	579	1,166	579	0,938
580	0,872	580	0,826	580	1,161	580	0,928
581	0,866	581	0,82	581	1,158	581	0,92
582	0,861	582	0,814	582	1,157	582	0,912
583	0,857	583	0,809	583	1,158	583	0,906
584	0,854	584	0,805	584	1,161	584	0,9
585	0,853	585	0,803	585	1,166	585	0,896
586	0,854	586	0,802	586	1,174	586	0,894
587	0,857	587	0,802	587	1,184	587	0,893
588	0,86	588	0,804	588	1,197	588	0,893
589	0,866	589	0,808	589	1,213	589	0,895
590	0,874	590	0,813	590	1,231	590	0,898
591	0,883	591	0,819	591	1,252	591	0,903
592	0,896	592	0,828	592	1,277	592	0,91
593	0,91	593	0,838	593	1,306	593	0,918
594	0,926	594	0,85	594	1,337	594	0,929
595	0,945	595	0,864	595	1,372	595	0,941
596	0,966	596	0,879	596	1,411	596	0,956
597	0,988	597	0,896	597	1,453	597	0,971
598	1,012	598	0,915	598	1,497	598	0,988
599	1,036	599	0,935	599	1,542	599	1,006
600	1,055	600	0,949	600	1,565	600	1,019
601	1,079	601	0,968	601	1,605	601	1,036
602	1,102	602	0,985	602	1,644	602	1,052
603	1,123	603	1,001	603	1,681	603	1,068
604	1,142	604	1,016	604	1,711	604	1,081
605	1,158	605	1,028	605	1,74	605	1,092
606	1,171	606	1,037	606	1,761	606	1,099
607	1,18	607	1,044	607	1,776	607	1,104
608	1,184	608	1,047	608	1,786	608	1,106
609	1,186	609	1,047	609	1,791	609	1,104
610	1,183	610	1,043	610	1,789	610	1,099
611	1,177	611	1,037	611	1,782	611	1,091
612	1,167	612	1,028	612	1,771	612	1,08
613	1,155	613	1,017	613	1,753	613	1,066
614	1,139	614	1,003	614	1,732	614	1,051
615	1,121	615	0,987	615	1,71	615	1,033
616	1,101	616	0,97	616	1,683	616	1,013

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
617	1,081	617	0,952	617	1,654	617	0,993
618	1,058	618	0,933	618	1,624	618	0,971
619	1,036	619	0,914	619	1,593	619	0,95
620	1,014	620	0,896	620	1,564	620	0,928
621	0,994	621	0,879	621	1,536	621	0,909
622	0,975	622	0,862	622	1,51	622	0,89
623	0,957	623	0,848	623	1,488	623	0,873
624	0,942	624	0,835	624	1,468	624	0,858
625	0,929	625	0,825	625	1,453	625	0,846
626	0,92	626	0,817	626	1,442	626	0,835
627	0,914	627	0,812	627	1,436	627	0,828
628	0,911	628	0,81	628	1,436	628	0,825
629	0,912	629	0,81	629	1,44	629	0,824
630	0,917	630	0,815	630	1,452	630	0,827
631	0,926	631	0,823	631	1,471	631	0,834
632	0,939	632	0,834	632	1,495	632	0,844
633	0,957	633	0,849	633	1,525	633	0,858
634	0,979	634	0,867	634	1,562	634	0,876
635	1,005	635	0,889	635	1,604	635	0,898
636	1,036	636	0,915	636	1,653	636	0,924
637	1,071	637	0,944	637	1,707	637	0,953
638	1,109	638	0,977	638	1,764	638	0,986
639	1,152	639	1,013	639	1,824	639	1,022
640	1,198	640	1,053	640	1,887	640	1,062
641	1,248	641	1,095	641	1,954	641	1,104
642	1,302	642	1,14	642	2,02	642	1,15
643	1,358	643	1,188	643	2,089	643	1,198
644	1,418	644	1,239	644	2,151	644	1,25
645	1,478	645	1,291	645	2,206	645	1,303
646	1,539	646	1,344	646	2,259	646	1,357
647	1,601	647	1,399	647	2,299	647	1,413
648	1,664	648	1,457	648	2,334	648	1,473
649	1,73	649	1,517	649	2,371	649	1,534
650	1,801	650	1,583	650	2,415	650	1,599
651	1,874	651	1,652	651	2,448	651	1,667
652	1,949	652	1,724	652	2,48	652	1,74
653	2,026	653	1,799	653	2,506	653	1,816
654	2,101	654	1,879	654	2,514	654	1,893
655	2,169	655	1,957	655	2,526	655	1,971
656	2,23	656	2,034	656	2,54	656	2,045
657	2,292	657	2,108	657	2,54	657	2,115
658	2,338	658	2,175	658	2,538	658	2,183
659	2,378	659	2,233	659	2,542	659	2,239
660	2,41	660	2,281	660	2,54	660	2,296

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
661	2,429	661	2,327	661	2,54	661	2,328
662	2,443	662	2,354	662	2,535	662	2,366
663	2,453	663	2,378	663	2,534	663	2,384
664	2,461	664	2,398	664	2,531	664	2,403
665	2,466	665	2,405	665	2,54	665	2,415
666	2,471	666	2,409	666	2,54	666	2,423
667	2,473	667	2,407	667	2,538	667	2,419
668	2,47	668	2,402	668	2,55	668	2,421
669	2,462	669	2,385	669	2,542	669	2,41
670	2,457	670	2,356	670	2,545	670	2,385
671	2,44	671	2,318	671	2,544	671	2,359
672	2,413	672	2,262	672	2,55	672	2,313
673	2,368	673	2,185	673	2,545	673	2,241
674	2,305	674	2,088	674	2,543	674	2,16
675	2,215	675	1,967	675	2,529	675	2,049
676	2,099	676	1,829	676	2,497	676	1,923
677	1,962	677	1,683	677	2,443	677	1,781
678	1,809	678	1,531	678	2,354	678	1,631
679	1,651	679	1,383	679	2,232	679	1,483
680	1,49	680	1,24	680	2,071	680	1,336
681	1,337	681	1,108	681	1,894	681	1,196
682	1,192	682	0,985	682	1,709	682	1,066
683	1,06	683	0,874	683	1,531	683	0,949
684	0,941	684	0,776	684	1,364	684	0,842
685	0,833	685	0,689	685	1,212	685	0,746
686	0,738	686	0,612	686	1,078	686	0,662
687	0,657	687	0,546	687	0,962	687	0,59
688	0,585	688	0,489	688	0,859	688	0,525
689	0,522	689	0,439	689	0,772	689	0,47
690	0,468	690	0,397	690	0,696	690	0,422
691	0,422	691	0,361	691	0,63	691	0,381
692	0,382	692	0,33	692	0,575	692	0,346
693	0,348	693	0,303	693	0,527	693	0,316
694	0,319	694	0,28	694	0,486	694	0,29
695	0,294	695	0,261	695	0,45	695	0,267
696	0,272	696	0,244	696	0,42	696	0,248
697	0,253	697	0,229	697	0,394	697	0,232
698	0,237	698	0,216	698	0,37	698	0,217
699	0,223	699	0,205	699	0,35	699	0,204
700	0,21	700	0,195	700	0,331	700	0,193
701	0,199	701	0,186	701	0,315	701	0,183
702	0,189	702	0,178	702	0,3	702	0,174
703	0,179	703	0,17	703	0,286	703	0,166
704	0,171	704	0,163	704	0,273	704	0,158

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
705	0,163	705	0,157	705	0,262	705	0,152
706	0,156	706	0,151	706	0,251	706	0,145
707	0,149	707	0,145	707	0,241	707	0,139
708	0,143	708	0,14	708	0,232	708	0,134
709	0,137	709	0,135	709	0,223	709	0,129
710	0,132	710	0,131	710	0,215	710	0,124
711	0,126	711	0,126	711	0,207	711	0,119
712	0,122	712	0,122	712	0,2	712	0,115
713	0,117	713	0,118	713	0,194	713	0,111
714	0,113	714	0,115	714	0,187	714	0,107
715	0,109	715	0,112	715	0,182	715	0,104
716	0,105	716	0,108	716	0,176	716	0,1
717	0,102	717	0,105	717	0,171	717	0,097
718	0,098	718	0,103	718	0,166	718	0,094
719	0,096	719	0,1	719	0,162	719	0,092
720	0,093	720	0,098	720	0,158	720	0,089
721	0,09	721	0,096	721	0,154	721	0,087
722	0,088	722	0,094	722	0,15	722	0,085
723	0,086	723	0,092	723	0,147	723	0,083
724	0,084	724	0,091	724	0,145	724	0,082
725	0,083	725	0,09	725	0,142	725	0,08
726	0,082	726	0,089	726	0,14	726	0,079
727	0,081	727	0,088	727	0,138	727	0,079
728	0,08	728	0,088	728	0,137	728	0,078
729	0,079	729	0,087	729	0,135	729	0,077
730	0,078	730	0,086	730	0,133	730	0,076
731	0,076	731	0,085	731	0,131	731	0,075
732	0,075	732	0,084	732	0,129	732	0,073
733	0,073	733	0,083	733	0,127	733	0,072
734	0,072	734	0,082	734	0,125	734	0,071
735	0,071	735	0,08	735	0,123	735	0,07
736	0,069	736	0,079	736	0,122	736	0,068
737	0,068	737	0,078	737	0,121	737	0,067
738	0,067	738	0,077	738	0,119	738	0,066
739	0,065	739	0,075	739	0,117	739	0,064
740	0,063	740	0,074	740	0,115	740	0,062
741	0,062	741	0,072	741	0,113	741	0,061
742	0,061	742	0,071	742	0,112	742	0,06
743	0,059	743	0,07	743	0,11	743	0,059
744	0,059	744	0,069	744	0,109	744	0,058
745	0,058	745	0,068	745	0,108	745	0,057
746	0,057	746	0,067	746	0,107	746	0,056
747	0,056	747	0,067	747	0,106	747	0,055
748	0,055	748	0,066	748	0,106	748	0,054

1 / 1 / 1		2 / 1 / 1		1 / 2 / 1		1 / 1 / 2	
Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)	Panjang Gelombang (nm)	Arb (arb.units)
749	0,055	749	0,065	749	0,105	749	0,054
750	0,054	750	0,065	750	0,104	750	0,053



Lampiran 11 Karakterisasi (I-V) Pewarna Kurkumin, Klorofil, Antosianin

Kurkumin		Klorofil		Antosianin	
Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	0,517124	0	0,53558	0	0,367322
0,01	0,511856	0,01	0,531559	0,01	0,364603
0,02	0,508328	0,02	0,528576	0,02	0,362451
0,03	0,505084	0,03	0,525491	0,03	0,360888
0,04	0,502569	0,04	0,522921	0,04	0,359139
0,05	0,4999	0,05	0,520599	0,05	0,357683
0,06	0,497287	0,06	0,517799	0,06	0,355943
0,07	0,495053	0,07	0,514333	0,07	0,354344
0,08	0,492578	0,08	0,511082	0,08	0,352289
0,09	0,489783	0,09	0,507205	0,09	0,349783
0,1	0,487133	0,1	0,503652	0,1	0,348471
0,11	0,484278	0,11	0,501162	0,11	0,346135
0,12	0,481564	0,12	0,497336	0,12	0,343236
0,13	0,478416	0,13	0,49299	0,13	0,340475
0,14	0,475203	0,14	0,488654	0,14	0,338011
0,15	0,472026	0,15	0,484188	0,15	0,335325
0,16	0,468652	0,16	0,479315	0,16	0,330944
0,17	0,465469	0,17	0,474146	0,17	0,328579
0,18	0,461988	0,18	0,468039	0,18	0,325342
0,19	0,457784	0,19	0,462181	0,19	0,319421
0,2	0,453661	0,2	0,456585	0,2	0,317113
0,21	0,448885	0,21	0,449887	0,21	0,313311
0,22	0,4447	0,22	0,442662	0,22	0,307102
0,23	0,440172	0,23	0,435635	0,23	0,302322
0,24	0,435221	0,24	0,427555	0,24	0,296769
0,25	0,430457	0,25	0,417682	0,25	0,291341
0,26	0,425008	0,26	0,408876	0,26	0,28581
0,27	0,418962	0,27	0,399169	0,27	0,279603
0,28	0,413023	0,28	0,388663	0,28	0,272901
0,29	0,406528	0,29	0,377174	0,29	0,263913
0,3	0,400087	0,3	0,365426	0,3	0,257443
0,31	0,392882	0,31	0,35384	0,31	0,248448
0,32	0,385611	0,32	0,342156	0,32	0,239802
0,33	0,37767	0,33	0,326929	0,33	0,236619
0,34	0,369461	0,34	0,312452	0,34	0,224925
0,35	0,360749	0,35	0,294092	0,35	0,213744
0,36	0,350789	0,36	0,281086	0,36	0,202932
0,37	0,340205	0,37	0,261759	0,37	0,190033
0,38	0,329302	0,38	0,237484	0,38	0,181182
0,39	0,31691	0,39	0,212809	0,39	0,172089
0,4	0,303835	0,4	0,187057	0,4	0,159986
0,41	0,289017	0,41	0,154192	0,41	0,144281
0,42	0,272949	0,42	0,115843	0,42	0,1209
0,43	0,253963	0,43	0,073338	0,43	0,102595
0,44	0,233812	0,44	0,022677	0,44	0,073562

Lampiran 12 Karakterisasi (I-V) Pewarna Campuran

(Kurkumin/Klorofil/Antosianin)

1/1/1		2/1/1		1/2/1		1/1/2	
Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus
0	1,5601	0	1,1362	0	2,1735	0	1,4876
0,01	1,5558	0,01	1,1303	0,01	2,1616	0,01	1,4823
0,02	1,5507	0,02	1,1264	0,02	2,1513	0,02	1,4776
0,03	1,5462	0,03	1,1230	0,03	2,1423	0,03	1,4728
0,04	1,5394	0,04	1,1191	0,04	2,1342	0,04	1,4642
0,05	1,5336	0,05	1,1138	0,05	2,1255	0,05	1,4580
0,06	1,5335	0,06	1,1111	0,06	2,1166	0,06	1,4525
0,07	1,5307	0,07	1,1091	0,07	2,1070	0,07	1,4462
0,08	1,5266	0,08	1,1057	0,08	2,0981	0,08	1,4407
0,09	1,5194	0,09	1,1004	0,09	2,0906	0,09	1,4327
0,1	1,5147	0,1	1,0960	0,1	2,0806	0,1	1,4248
0,11	1,5014	0,11	1,0917	0,11	2,0692	0,11	1,4157
0,12	1,4933	0,12	1,0879	0,12	2,0604	0,12	1,4056
0,13	1,4895	0,13	1,0842	0,13	2,0473	0,13	1,3982
0,14	1,4830	0,14	1,0800	0,14	2,0366	0,14	1,3900
0,15	1,4738	0,15	1,0748	0,15	2,0250	0,15	1,3821
0,16	1,4647	0,16	1,0696	0,16	2,0141	0,16	1,3705
0,17	1,4610	0,17	1,0655	0,17	2,0005	0,17	1,3543
0,18	1,4513	0,18	1,0603	0,18	1,9869	0,18	1,3411
0,19	1,4400	0,19	1,0547	0,19	1,9746	0,19	1,3273
0,2	1,4273	0,2	1,0482	0,2	1,9634	0,2	1,3162
0,21	1,4136	0,21	1,0424	0,21	1,9481	0,21	1,2997
0,22	1,3985	0,22	1,0362	0,22	1,9284	0,22	1,2763
0,23	1,3833	0,23	1,0286	0,23	1,9091	0,23	1,2599
0,24	1,3677	0,24	1,0205	0,24	1,8877	0,24	1,2434
0,25	1,3488	0,25	1,0112	0,25	1,8652	0,25	1,2251
0,26	1,3293	0,26	1,0031	0,26	1,8423	0,26	1,2030
0,27	1,3087	0,27	0,9944	0,27	1,8123	0,27	1,1819
0,28	1,2834	0,28	0,9850	0,28	1,7797	0,28	1,1605
0,29	1,2640	0,29	0,9748	0,29	1,7430	0,29	1,1384
0,3	1,2358	0,3	0,9633	0,3	1,6993	0,3	1,1144
0,31	1,2057	0,31	0,9506	0,31	1,6546	0,31	1,0874
0,32	1,1709	0,32	0,9368	0,32	1,6006	0,32	1,0592
0,33	1,1338	0,33	0,9223	0,33	1,5411	0,33	1,0276
0,34	1,0943	0,34	0,9068	0,34	1,4743	0,34	0,9919
0,35	1,0465	0,35	0,8886	0,35	1,4011	0,35	0,9559
0,36	0,9962	0,36	0,8686	0,36	1,3231	0,36	0,9158
0,37	0,9409	0,37	0,8470	0,37	1,2359	0,37	0,8716
0,38	0,8770	0,38	0,8236	0,38	1,1414	0,38	0,8230
0,39	0,8096	0,39	0,7968	0,39	1,0428	0,39	0,7655
0,4	0,7252	0,4	0,7654	0,4	0,9377	0,4	0,7104
0,41	0,6361	0,41	0,7305	0,41	0,8242	0,41	0,6463
0,42	0,5379	0,42	0,6909	0,42	0,7036	0,42	0,5828
0,43	0,4273	0,43	0,6449	0,43	0,5769	0,43	0,5119

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan unsur yang mempunyai peranan sangat penting untuk keberlangsungan hidup manusia. Dalam kehidupan sehari-hari, manusia tidak bisa lepas dari kebutuhan akan penggunaan energi. Sumber energi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu energi terbarukan dan energi tak terbarukan. Pada saat ini penggunaan energi masih bergantung pada energi tak terbarukan seperti batu bara, minyak bumi, gas alam dll yang termasuk dalam energi tak terbarukan, padahal cadangan energi bahan bakar tak terbarukan akan semakin menipis dan habis jika dipakai terus-menerus. Hal ini diperkuat oleh pernyataan dari Dewan Energi Nasional (DEN), bahwa beberapa tahun terakhir terjadi penurunan cadangan energi potensial di negara Indonesia, yaitu minyak bumi (4,2%), gas bumi (4,6%), dan batubara (5,1%) pada setiap tahunnya. Sedangkan konsumsi energi di Indonesia meningkat mencapai 7% per tahun. Angka tersebut terbilang besar dikarenakan berada di atas pertumbuhan konsumsi energi dunia yaitu 2,6% per tahun. Oleh karena itu sebagai bentuk upaya untuk menjaga keberlangsungan hidup manusia yang tidak bisa terlepas dari kebutuhan akan energi, perlu adanya energi terbarukan yang bisa dimanfaatkan oleh manusia sebagai pengganti energi tak terbarukan. Dari beberapa sumber energi terbarukan seperti angin, biomassa dan air, penggunaan energi melalui sel surya (*solar cell*) merupakan alternatif yang cukup menjanjikan.

Sel surya merupakan teknologi yang berfungsi untuk mengkonversi energi cahaya (foton) sinar matahari menjadi muatan elektron yang mengalir antara lapisan *elektron-hole* sehingga dapat menghasilkan arus listrik. Perkembangan dari sel surya berdasarkan bahan pembuatannya dapat dibedakan menjadi tiga generasi. Generasi pertama, adalah sel surya yang terbuat dari silikon tunggal, dan silikon multi kristal. Sel surya generasi pertama ini merupakan sel surya yang banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang paling tinggi. Tetapi kelemahan sel surya generasi pertama ini adalah biaya yang digunakan tergolong mahal. Generasi kedua, adalah sel surya dari bahan semi konduktor seperti silikon, tetapi menggunakan lapisan kaca yang lebih tipis serta memerlukan biaya pembuatan yang lebih murah daripada generasi pertama. Generasi ketiga, adalah sistem sel surya dengan teknologi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC merupakan sel surya yang terbuat dari

semikonduktor nanopartikel dengan dilapisi pewarna sintetis atau alami sebagai fotosensitizer dalam mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Dalam mengkonversi energi, DSSC bekerja pada daerah sinar tampak. Sinar tampak merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang antara 390-770 nm (Halme, J., 2002). DSSC mempunyai beberapa keunggulan, yaitu biaya produksi yang murah, karena tidak membutuhkan teknologi yang tinggi dan rumit, bahan yang dipakai dapat diperoleh dengan mudah serta dapat difabrikasi ulang jika efisiensinya sudah menurun (Halme, J., 2002).

Pada umumnya *dye sensitizer* yang digunakan dalam sel surya jenis DSSC berupa pewarna sintetis *ruthenium complex* seperti N719, N3 dan *black dye*. Efisiensi tertinggi yang didapat dari DSSC dengan TiO₂ dan pewarna *ruthenium complex* sampai saat ini mencapai 10 – 11% (Gratzel M., 2003). Namun yang menjadi permasalahan adalah harga dari pewarna sintetis tersebut tergolong sangat mahal dan pabrik yang memproduksinya juga terbatas, salah satunya adalah pabrik *Dyesol*. Selain itu, pewarna sintetis tersebut juga mengandung unsur logam berat yang tidak diinginkan dari sudut pandang aspek lingkungan.

Alternatif yang bisa dipakai sebagai pengganti pewarna sintesis adalah pewarna alami (*natural dye*). Pewarna alami (*natural dye*) yang berasal dari buah, bunga, daun dan biji tumbuhan, pada umumnya berupa klorofil, antosianin, xantofil, karoten, indigo, dan flavonoid (Peng G., dkk., 2017). Keunggulan dari pewarna alami adalah mudah didapatkan, mudah diproses, lebih murah dan tentunya ramah lingkungan. Akan tetapi, kekurangan dari pewarna alami adalah efisiensi yang kurang baik, yaitu 0,1 - 1 % (Abu, 2013).

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam efisiensi DSSC adalah kemampuan pewarna dalam menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Diperlukan usaha untuk meningkatkan absorbansi cahaya, yaitu dengan cara merekayasa, mencampur, atau menambahkan gugus utama pewarna tersebut dengan pewarna sintetis atau pewarna alami lainnya. Pada penelitian ini, akan dilakukan pencampuran tiga jenis pewarna alami yaitu kurkumin, klorofil, dan antosianin sebagai fotosensitizer pada DSSC. Pewarna kurkumin yang didapat dari hasil ekstraksi kunyit (*curcuma longa linn*) memiliki absorbansi yang baik pada panjang gelombang cahaya tampak, yaitu \pm 400-580 nm (Kim dkk., 2013). Pewarna klorofil yang didapat dari hasil ekstraksi daun bayam memiliki absorbansi pada panjang gelombang tampak biru, yaitu \pm 400-500 nm dan tampak merah, yaitu \pm 600-700 nm. Klorofil sedikit menyerap pada panjang gelombang tampak hijau didaerah \pm 500-600

nm (Hartiwi, 2009). Pewarna antosianin dari ekstrak kulit manggis mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang dari 480-580 nm dengan panjang gelombang maksimum 532 nm (Kumara dan Gontjang, 2012). Pencampuran yang dilakukan pada ketiga pewarna alami dalam penelitian ini diharapkan mampu memperlebar daerah absorbansi pada panjang gelombang cahaya tampak, sehingga mampu meningkatkan nilai efisiensi dari *dye sensitized solar cell* (DSSC).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin terhadap daerah absorbansi pada panjang gelombang cahaya tampak?
2. Bagaimana pengaruh pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin terhadap efisiensi listrik DSSC?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah dengan tujuan agar pembahasan pada penelitian fokus dan tidak melebar, yaitu:

1. Kadar air selama proses pengeringan semua dianggap sama atau sekitar 14%.
2. Konsentrasi hasil pemisahan kurkumin, klorofil, dan antosianin dari pelarut dianggap sama.
3. Tebal semikonduktor yang digunakan saat perakitan DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dianggap sama, sebesar 35 μm .
4. Varietas kunyit, daun bayam, dan kulit manggis yang digunakan dianggap sama.
5. Hambatan listrik pada *counter electrode* yang menggunakan platina terdeposisikan pada substrat FTO dianggap seragam, sebesar $< 12 \Omega$.
6. Hambatan listrik dan transmitansi cahaya pada substrat kaca *Flourine-doped Tin Oxide* (FTO), sebesar $< 30 \Omega$ dan $> 75\%$.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin terhadap daerah absorbansi pada panjang gelombang cahaya tampak
2. Untuk mengetahui pengaruh pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin terhadap efisiensi listrik DSSC

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberi manfaat bagi khalayak umum dan secara khusus pada bidang teknologi yaitu:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin terhadap absorbansi cahaya.
2. Memberikan pengetahuan tentang pengaruh pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin terhadap efisiensi DSSC.
3. Memberikan pengetahuan tentang dasar – dasar pembuatan DSSC untuk teknologi masa depan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Matahari merupakan sumber energi utama dengan memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Energi surya atau matahari saat ini telah banyak dimanfaatkan di belahan dunia dan jika mampu dimanfaatkan dengan tepat, energi ini memiliki potensi yang mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi di dunia dalam waktu yang lebih lama. Matahari juga dapat digunakan untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan. Potensi yang besar dari energi surya di masa depan hanya dibatasi oleh kemampuan kita untuk menangkap kesempatan. Dalam pemanfaatannya, banyak cara yang bisa dilakukan untuk memanfaatkan energi dari matahari. Tumbuhan bisa mengubah sinar matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan proses fotosintesis. (Chiba, dkk., 2006)

Istilah dari tenaga surya mempunyai arti mengubah cahaya matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik. *Photovoltaic* tenaga matahari adalah pembangkit listrik yang bersumber dari cahaya. Inti dari proses ini adalah adanya penggunaan bahan semi konduktor yang dapat melepas elektron, partikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik. Bisa dikatakan juga bahwa sumber segala energy yang ada adalah energi matahari. Energi matahari juga dapat dimanfaatkan dengan berbagai cara salah satunya sel surya, yang menjanjikan masa depan cerah sebagai sumber energi listrik karena besarnya potensi yang tersedia (Green & Martin., 1982).

Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi akan beragam intensitasnya, tidak sama di setiap tempat dan di setiap saat. Hal ini disebabkan oleh pergerakan bumi mengelilingi matahari, maupun pergerakan matahari untuk berotasi yang menyebabkan perubahan jarak antara bumi dengan matahari, selain itu juga terjadinya penyusutan atmosferik, yaitu pengurangan energi matahari yang terjadi dalam perjalanan melalui atmosfer bumi. Radiasi dari matahari yang mampu sampai ke permukaan bumi adalah radiasi termal dengan panjang gelombang 300 – 2500 nm. Radiasi matahari mempunyai spektrum radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi, data dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
Pembagian Spektrum Radiasi Matahari

Spektrum	Panjang gelombang (nm)
Ultraviolet	0,0 – 400
Sinar Tampak	400 – 750
Infra Merah	>750

Sumber: Irawan (2015)

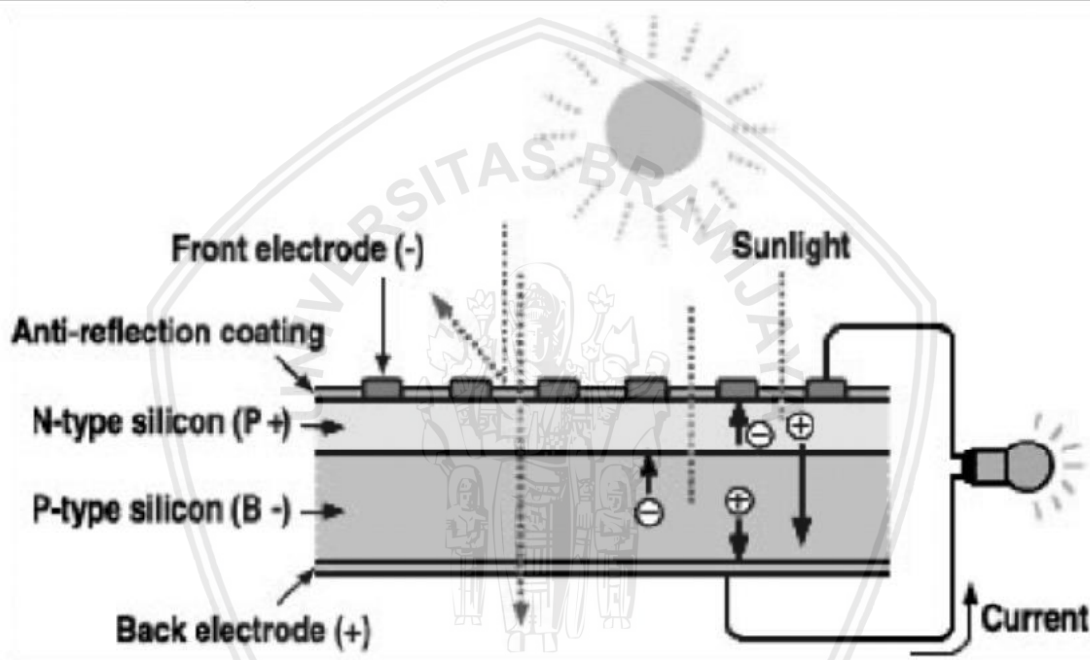
2.2 Sel Surya

Sel surya merupakan salah satu pilihan yang sangat bagus sebagai energi terbarukan, dikarenakan jumlah energi matahari yang ada di bumi begitu melimpah, sel surya sendiri adalah sebuah perangkat yang dapat mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik dengan melalui proses efek fotovoltaic, oleh karenanya dinamakan juga sebagai sel fotovoltaic (*Photovoltaic cell* – disingkat PV). Kata *photo* merujuk kepada cahaya dan *voltaic* merujuk kepada tegangan. Istilah ini yang digunakan untuk menjelaskan sel elektronik yang memproduksi energi listrik arus searah dari energi matahari. *Photovoltaic cell* dibuat dari material semikonduktor terutama silikon yang kemudian dilapisi oleh bahan tambahan khusus. Jika cahaya matahari mencapai cell maka elektron akan terlepas dari atom silikon kemudian mengalir membentuk sirkuit listrik sehingga energi listrik dapat dibangkitkan seperti pada gambar 2.1. Sel surya didesain untuk bisa mengubah energi cahaya menjadi energi listrik dan dapat digabung secara seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus yang diinginkan (Abdullah, 2013).

Hasil dari *photovoltaic cell* sangat tergantung kepada sinar matahari yang diterimanya. Selain itu kondisi iklim (misal awan, kabut, dan mendung) juga mempunyai efek yang signifikan terhadap jumlah energi matahari yang diterima sel sehingga akan mempengaruhi pula hasil unjuk kerjanya.

Penelitian sel surya *photovoltaic* ini ditemukan oleh Edmund Becquerel yang merupakan salah satu ilmuwan Prancis pada tahun 1839, dimana saat itu Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Kemudian pada tahun 1954 peneliti di *Bell Telephone* meneruskan penelitian Becquerel dan dapat menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis *p-n junction* dengan efisiensi sebesar 6%. Sekarang ini, sel surya silikon masih mendominasi pasar sel surya dikarenakan mempunyai efisiensi yang tinggi dengan pangsa pasar sekitar 82% dengan efisiensi lab dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15%, yang mempunyai efisiensi 3 kali lebih besar daripada penemuan sebelumnya (Septina dkk, 2007).

Penggunaan sel surya sekarang ini banyak memakai bahan dasar silikon yang merupakan hasil dari perkembangan teknologi semikonduktor anorganik yang memiliki efisiensi tinggi. Pada penggunaannya, satu modul sel surya menghasilkan energi listrik masih tergolong cukup kecil jika digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), maka dalam pemanfaatannya dibutuhkan beberapa modul yang kemudian digabungkan dengan cara seri maupun paralel yang disebut *array* (Flavin, 2013). Meskipun sel surya berbahan silikon yang ada saat ini sudah memiliki efisiensi cukup tinggi, namun untuk membuatnya dibutuhkan biaya yang mahal. Sehingga dibutuhkan inovasi teknologi sel surya dengan biaya yang rendah.



Gambar 2.1 Skema kerja sel surya silikon
Sumber: Halme, J. (2002)

Modul sel surya merupakan bentuk produk yang dikeluarkan oleh industri – industri pembuat sel surya. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu modul, pada aplikasinya masih tergolong kecil, maka dalam pemanfaatannya dibutuhkan beberapa modul sel surya yang kemudian digabungkan dan terbentuklah array. Sebagai contoh untuk menghasilkan listrik sebesar 3 kW dibutuhkan array seluas kira-kira 20-30 meter² (Ihsan, 2013).

Seiring dengan adanya perkembangan pesat tentang teknologi semikonduktor anorganik, maka terciptalah sel surya dengan bahan dasar silikon. Sel surya silikon merupakan sel surya yang banyak digunakan di kehidupan saat ini. Sehingga silikon menjadi salah satu material penyusun yang dibutuhkan dalam pembuatan sel surya, menjadikan bahan tersebut memiliki harga yang relatif lebih mahal dibandingkan sumber

energi fosil. Oleh karena itu diperlukan inovasi yang mampu menjadikan sel surya dengan harga yang lebih murah dengan kinerja sel tinggi, dan sel surya organik menjadi suatu solusi (Hardeli, 2011).

2.3 Pengertian Umum *Dye sensitized solar cell* (DSSC)

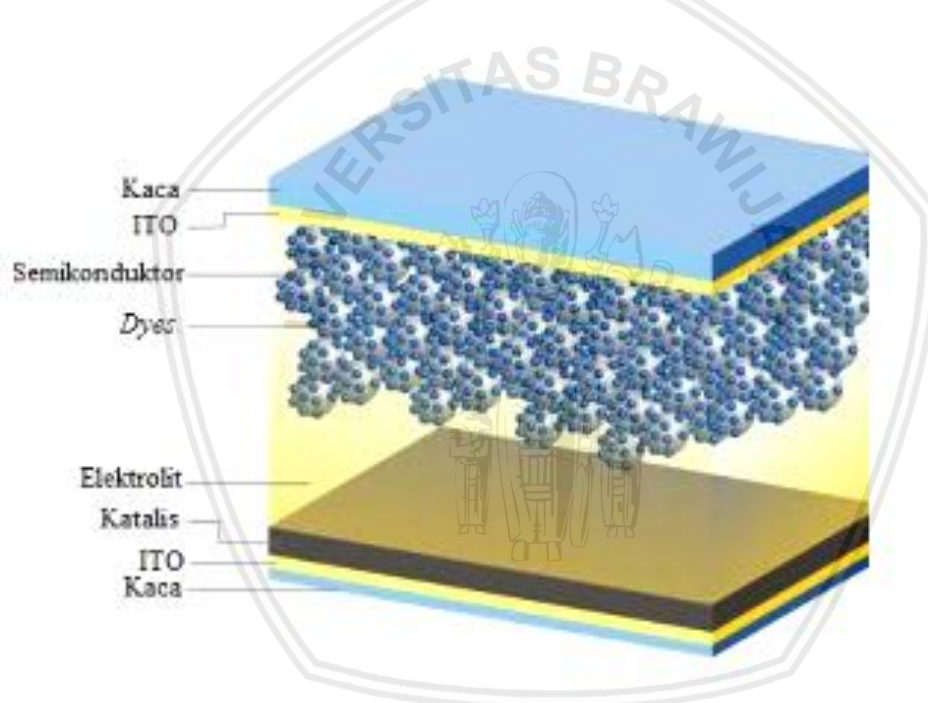
Dye sensitized solar cell adalah sel surya berbasis pewarna dengan elektroda terbuat dari semikonduktor yang dapat menyerap zat warna untuk meningkatkan efisiensi konversi dari sinar matahari. DSSC pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'regan di *École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Swiss* pada tahun 1991. DSSC merupakan penemuan di bidang energi terbarukan. DSSC adalah sel surya generasi ketiga yang berbasis nonsilikon, hal ini berbeda dengan generasi pertama dan kedua yang memanfaatkan silikon. DSSC merupakan susunan dari elektroda kerja, elektroda *counter* dan elektrolit. DSSC bekerja pada daerah sinar tampak sampai sedikit infra merah. Sinar tampak merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang 390-770 nm, sedangkan infra merah memiliki panjang gelombang sedikit lebih panjang (Halme, J., 2002).

Perbedaan mendasar sel surya silikon dengan DSSC terletak pada proses kerjanya. Pada sel surya yang menggunakan silikon seluruh proses penyerapan cahaya dan transfer muatan melibatkan material semikonduktor (silikon) saja. Pada sel surya silikon terbentuk tiga daerah berbeda, yaitu daerah tipe P, N dan P-N *junction*. Daerah tipe P mayoritas pembawa muatannya adalah *hole*, positif dan bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron. Sedangkan daerah tipe N mayoritas pembawa muatan adalah elektron bebas, negatif dan bertindak sebagai donor elektron. Pada Daerah P-N *junction* adalah daerah dari kedua sisi positif dan negatif yang bertindak mendorong elektron bebas dan *hole* untuk bergerak ke arah yang berlawanan, sehingga dapat menghasilkan energi listrik internal. Sedangkan pada *dye sensitized solar cell* proses penyerapan cahaya dan transfer muatan terjadi pada proses yang terpisah, dimana penyerapan (absorbansi) cahaya oleh pewarna dan transfer elektron dilakukan oleh semi konduktor. Absorbansi cahaya yang terjadi dilakukan oleh molekul pewarna (*dye*), kemudian perpindahan elektron dilakukan oleh semikonduktor (TiO₂ atau ZnO) yang memiliki ukuran nanopartikel. Pada semikonduktor memiliki karakteristik yaitu *band gap* lebar, hal ini mengakibatkan elektron akan berpindah dari pita konduksi ke pita valensi, yang membuat ruang reaksi fotokatalis sehingga terbentuk arus listrik. Keuntungan penggunaan DSSC dibanding dengan sel surya jenis lainnya, antara lain:

1. Proses fabrikasi lebih sederhana dan tanpa menggunakan peralatan yang rumit dan mahal sehingga biaya fabrikasinya lebih murah.
2. DSSC dapat bekerja dalam kondisi cahaya rendah seperti sinar matahari tidak langsung dan langit mendung.
3. DSSC merupakan teknologi solar generasi ketiga yang paling efisien, dengan material penyusun yang lebih aman terhadap lingkungan.

2.4 Struktur DSSC

DSSC terusun dari 5 komponen utama, yaitu *Transparent Conductive oxide* (TCO), lapisan semikonduktor (TiO_2 atau ZNO), *dye sensitizer*, elektrolit (*Iodide / Tri-Iodida*), Elektroda Berlawanan (karbon atau platinum) seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
Sumber: Setiawan (2015)

2.4.1 *Transparent Conductive Oxide* (TCO)

Salah satu komponen terpenting dalam struktur DSSC adalah kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*). Kaca TCO adalah substrat yang digunakan pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material yang sering digunakan dalam pembuatan DSSC adalah *indium tin oxide* (ITO), dan *flourine doped tin oxide* (FTO) hal ini dikarenakan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami efek pada jarak temperatur tersebut, karena dalam proses pelapisan material ZnO kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400-500°C. Material

substrat sendiri mempunyai fungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir (Wilman, 2007).

Istilah lain dari kaca TCO yaitu transparan dan konduktif. Disebut sebagai lapisan transparan karena substrat pada kaca sangat tipis, atau kurang lebih 150 - 250 nanometer, dan bersifat tembus pandang terhadap cahaya tampak, sehingga kemampuan kaca untuk meneruskan cahaya diatas 75%. Kaca TCO juga disebut konduktif karena material ini memiliki sifat seperti semikonduktor yang dapat menghantarkan listrik dalam besaran tertentu. Proses pelapisan substrat tipis pada kaca TCO yang berskala nanometer, yaitu dengan cara menguapkan atau mengevaporasi partikel-partikel atom dari material oksida pada permukaan sebuah kaca yang akan dijadikan kaca TCO, sehingga akan diperoleh suatu lapisan material TCO dengan ketebalan antara 100 hingga 250 nanometer. Penggunaan dari *Transparent conductive oxide* (TCO) yaitu liquid crystal displays (LCD), sensor gas, dan aspek alternatif energi seperti sel surya (Widiyastuti 2011).

2.4.2 Semikonduktor

Semikonduktor merupakan salah satu komponen penting dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Semikonduktor adalah tempat menempelnya pewarna yang akan tereksitasi saat dikenai cahaya. Selain menjadi tempat melekatnya bahan pewarna, pita konduksi dari semikonduktor berfungsi juga menjadi tempat perpindahan dari elektron yang tereksitasi dari bahan pewarna. Semikonduktor merupakan bahan yang mempunyai sifat setengah konduktor, karena celah energi yang dibentuk oleh struktur bahan ini lebih besar dari celah energi bahan konduktor tetapi lebih kecil dari bahan isolator, sehingga memungkinkan elektron dapat berpindah dari satu atom penyusun ke atom yang lain dengan diberikan perlakuan tertentu terhadap bahan tersebut (pemberian tegangan, perubahan suhu, dll) (Yelfianhar, 2014). Semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah TiO₂ dan ZNO karena kedua bahan tersebut mempunyai efisiensinya lebih tinggi dari semikonduktor yang lain. Film TiO₂ mempunyai memiliki transmisi optik yang baik dan band gap yang tinggi yaitu (>3eV). DSSC membutuhkan lebar pita energinya yang besar (>3eV), untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. TiO₂ merupakan bahan semikonduktor yang memiliki keunggulan yaitu bersifat stabil terhadap korosi oleh bahan kimia (Rahman, 2011).

2.4.3 Pewarna (*dye*)

Pewarna merupakan bagian yang berfungsi sebagai penyerap (absorpsi) cahaya matahari untuk menghasilkan elektron. Pewarna teradsorpsi pada permukaan TiO₂. Bahan pewarna dibedakan menjadi dua macam, yaitu *dye* dan *pigment*. *Dye* adalah bahan yang mempunyai daya tarik menarik dengan substrat yang akan mewarnai, sedangkan disebut *pigment* jika bahan tersebut tidak mempunyai daya tarik menarik dengan substrat yang akan diwarnai. *Dye* harus memiliki kekuatan mewarnai yang relatif tinggi terhadap material yang diwarnai. Warna pada *dye* terjadi karena bahan tersebut menyerap lebih banyak panjang gelombang cahaya daripada bahan yang lain. Selain itu, *dye* juga harus stabil untuk penggunaan dalam jangka waktu yang lama.

Pada umumnya *sensitizer* dalam sel surya DSSC dibagi menjadi dua jenis, yaitu pewarna sintetis *ruthenium* seperti N719, N3, dan *black dye*. Efisiensi tertinggi dari DSSC dengan TiO₂ dan pewarna *ruthenium complex* saat ini telah mencapai 11 % (Gratzel, M., 2003). Namun yang menjadi kendala adalah harga dari pewarna sintetis yang mahal dan disuplai hanya beberapa fabrikasi. Proses pembuatan dan sintesisnya pun tergolong rumit dan membutuhkan waktu lama. Selain itu, pewarna sintetis mengandung logam berat yang berdampak pada lingkungan. Pewarna alami bisa berupa buah buahan, daun daun atau biji bijian yang mengandung zat pewarna. Kelebihan dari *dye* alami adalah mudah didapatkan, mudah diproses, lebih murah, dan tentunya sangat ramah lingkungan. Namun, kekurangan dari pewarna alami adalah efisiensi yang lebih rendah dibandingkan pewarna sintetis yaitu dibawah 1 %. Selain itu pewarna alami memiliki kendala *life time* dan stabilitas.

DSSC mampu bekerja pada sinar tampak. Sinar tampak merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 400 – 750 nm. Sedangkan DSSC tidak dapat menyerap cahaya gelombang ultraviolet (< 400 nm) dan gelombang inframerah (>750 nm).

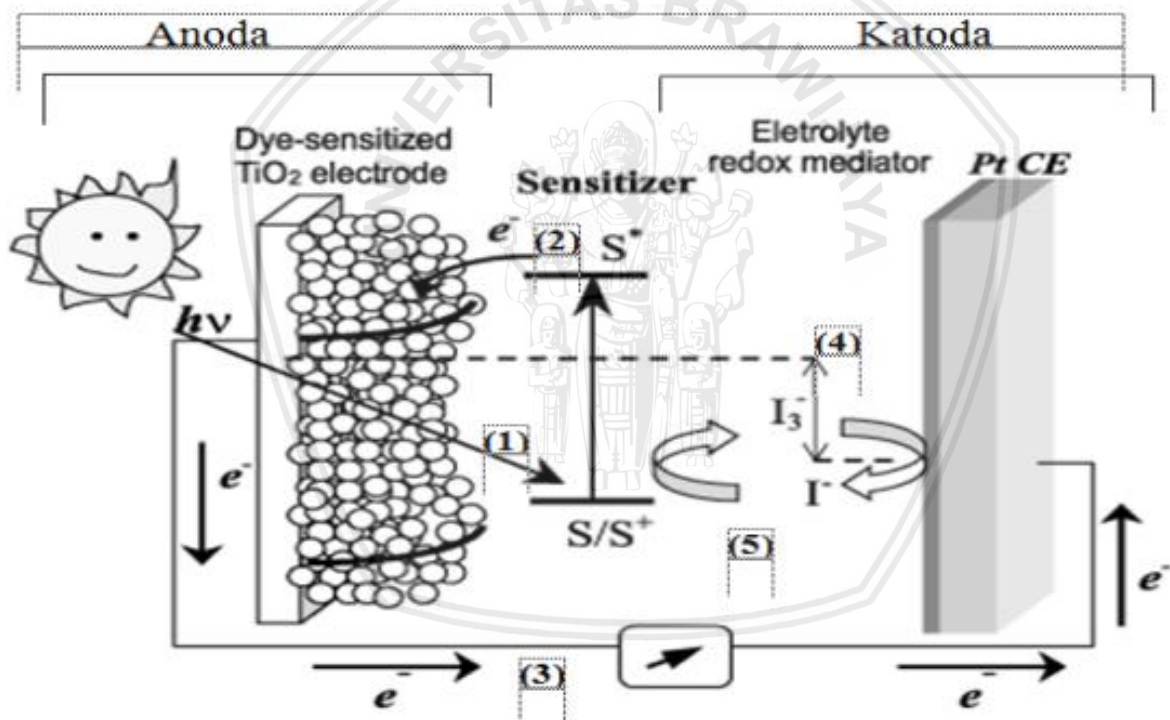
2.4.4 Elektrolit

Elektrolit adalah sebuah larutan redoks iodine I-/I₃ (Dyesol HSE) yang berfungsi sebagai mediator elektron di dalam DSSC sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Akan tetapi kelemahan yang dimiliki elektrolit cair adalah bersifat lebih mudah menguap dengan titik didih 82°C, temperatur tersebut merupakan temperatur yang dapat dicapai sel surya pada kondisi terkena radiasi sinar matahari secara penuh (Hastuti & Ningsih, 2013).

2.4.5 Elektroda Berlawanan (*Counter Electrode*)

Elektroda berlawanan yang sering digunakan dalam DSSC adalah platina dan karbon. Platina merupakan elektroda berlawanan yang mempunyai kemampuan sifat katalitik yang tinggi, namun memiliki kekurangan yaitu harganya mahal. Kay dan Gratzel pada tahun 1996 mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan counter elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Katalis bertindak untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi *triiodide* pada kaca FTO. Luas permukaannya yang tinggi, menyebabkan counter-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi *triiodide* yang menyerupai elektroda platina (Hastuti & Ningsih, 2013).

2.5 Mekanisme Kerja DSSC

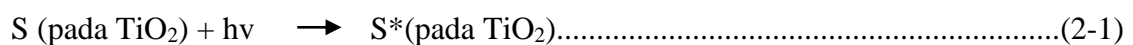


Gambar 2.3 Mekanisme kerja *Dye sensitized solar cell* (DSSC)

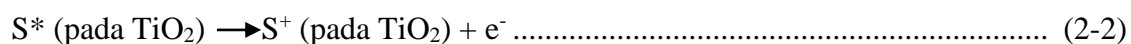
Sumber : Longo dkk. (2003)

Pada Gambar 2.3 menunjukkan mekanisme kerja dan proses yang terjadi dalam sistem *dye sensitized solar cell* (DSSC) dijelaskan sebagai berikut.

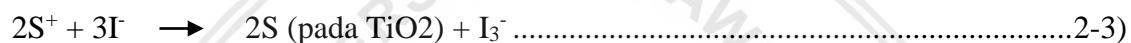
1. Terjadinya penyerapan foton dari cahaya matahari oleh pewarna, sehingga terjadi eksitasi elektron pada molekul pewarna. Elektron tereksitasi dari *ground state* (S) ke *excited state* (S*).



2. Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *Electrone Conduction Band* (ECB) sehingga molekul *dye* teroksidasi (S^+). Ketika *dye* sensitizer menyerap cahaya matahari (energi $h\nu$), elektron didalam molekul *dye* tereksitasi dari level HOMO ke LUMO, kemudian elektron dari LUMO terinjeksi ke counter band (CB) di TiO_2 . Setelah itu, elektron terinjeksi berpindah melalui hubungan molekul nanopartikel TiO_2 sampai mencapai layar TCO, kemudian dari *working electrode* elektron berpindah melalui *external circuit* sampai ke *counter electrode*, sehingga memiliki muatan listrik.



3. Dengan adanya oksidasi pada elektron dari *working electrode* hingga mencapai pada *counter electrode*, terjadi donor elektron (I^-) oleh semikonduktor, maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan menghasilkan I_3^- . Proses ini disebut juga *dye regeneration* atau proses *re-reduction*



4. Adanya elektrolit pada *Counter Electrode*, elektron mengalami *diffusion* sehingga terjadi donor elektron membentuk *iodide* (I^-).



5. *Iodide* ini yang kemudian digunakan untuk mendonor elektron kepada pewarna yang telah teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan adanya siklus ini maka terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. Hal ini dikarenakan elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan bereaksi dengan elektrolit menuju pewarna teroksidasi, maka molekul pewarna kembali ke keadaan awalnya (*ground state*). Sehingga pewarna kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi:



6. Arus yang dihasilkan dari *dye sensitized solar cell* (DSSC) ini berasal dari jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja pewarna yang digunakan. Sedangkan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya ini berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I^-/I_3^-) (Kumara, 2012)

2.6 Zat Warna

2.6.1 Klorofil pada Bayam

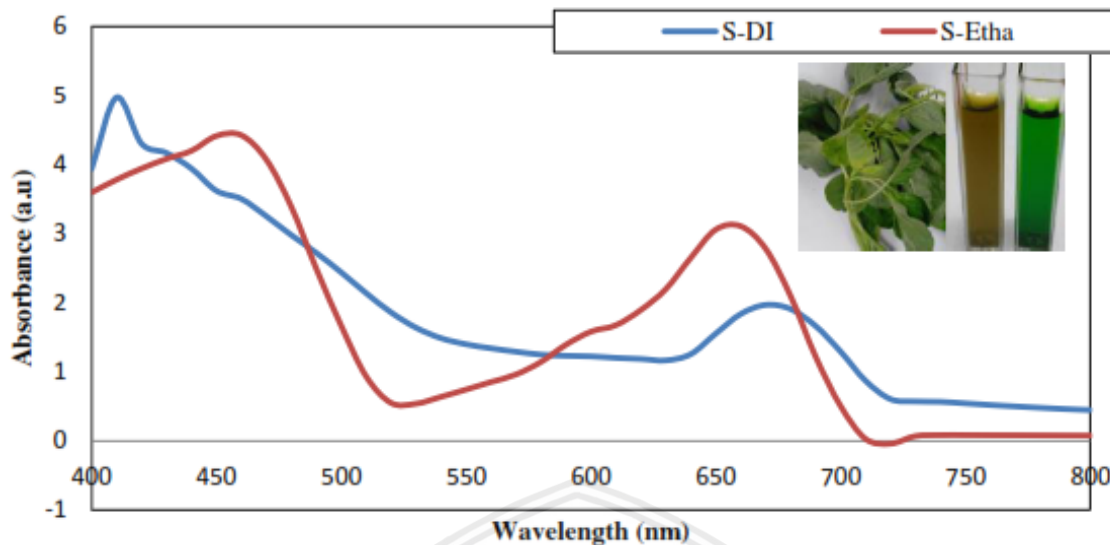
Salah satu pembentuk pigmen hijau pada tanaman ialah karena adanya kandungan klorofil. Hampir setiap tanaman tinggi memiliki kandungan klorofil yang memiliki fungsi sebagai penarik elektron dari cahaya matahari sehingga berlangsungnya fotosintesis. Pada pigmen klorofil menyerap cahaya visible dengan serapan maksimum didaerah biru (\pm 400-450 nm) dan merah (\pm 625-700 nm). Klorofil sangat sedikit menyerap cahaya didaerah 500-600 nm. Cahaya tersebut adalah cahaya didaerah hijau yang jika direfleksikan ke mata manusia akan menimbulkan sensasi warna hijau. Dengan kata lain, ketika klorofil daun disinari cahaya putih polikromatik, cahaya hijau tersebut ditransmisikan dan direfleksikan sehingga klorofil tampak sebagai warna hijau. (Arrohmah, 2007)

Bayam (*Amaranthus spp.*) adalah tumbuhan yang biasa ditanam untuk dikonsumsi daunnya sebagai sayuran hijau. Bayam relatif tahan terhadap pencahayaan langsung karena merupakan tanaman C4. Tanaman C4 adalah tanaman yang adaptif yang meskipun tumbuh didaerah panas dan kering. Disebut tanaman C4 karena hasil awal fotosintesis dengan 4 atom C, yaitu asam oksaloasetat (AOA) yang berfungsi sebagai pengikat CO₂. Klorofil pada daun bayam tergolong tinggi, sehingga dapat menghasilkan hasil fotosintesis yang tinggi. Taksonomi bayam dikelompokkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2
Taksonomi Kelompok Bayam

Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Sub divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Magnoliopsida</i>
Ordo	<i>Caryophyllales</i>
Famili	<i>Amaranthaceae</i>
Genus	<i>Amaranthoideae</i>
Spesies	<i>Amaranthus Spp.</i>

Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa nilai efisiensi klorofil yang didapat bermacam – macam tergantung konsentrasi, pelarut dan jenis daun itu sendiri. Nilai absorbansi yang baik dari pewarna klorofil didapat saat menggunakan pelarut *ethanol*, *methanol* dan air (Faiz, dkk 2017). Klorofil hasil dari ekstrak daun bayam dengan menggunakan berbagai pelarut memiliki nilai efisiensi berkisar 0,1-0,6%. Pada penelitian dengan menggunakan pelarut *ethanol* dihasilkan efisiensi, Voc, Jsc dan *fill factor* (FF) berturut-turut adalah 0,131% ; 0,550V ; 0,467 mA/cm² ; 0,52 (Syafinar, 2015). Gambar 2.3 menunjukkan daerah absorbansi klorofil menggunakan pelarut *ethanol* dan air suling.



Gambar 2.4 Pengujian absorbansi bayam pelarut *ethanol* (merah) dan air suling (biru)
Sumber: Syafinar dkk. (2015)

2.6.2 Kurkumin pada Kunyit

Kunyit merupakan salah satu jenis rempah-rempah yang banyak digunakan sebagai bumbu dalam masakan. Kandungan dari kunyit terdiri atas kurkuminoid sekitar 10%, kurkumin 1-5%, dan sisanya terdiri dari demektosi kurkumin serta bisdemetoksi-kurkumin. Zat warna kurkumin merupakan kristal berwarna kuning orange, tidak larut dalam ether, larut dalam minyak, dalam alkali berwarna merah kecoklatan, sedangkan dalam asam berwarna kuning muda (Kim, H-J. dkk., 2013).

Pewarna kurkumin yang didapat dari hasil ekstraksi kunyit (*curcuma longa linn*) memiliki absorbansi yang baik pada panjang gelombang cahaya tampak, yaitu $\pm 400-580$ nm (Kim, H-J. dkk., 2013). Taksonomi kunyit dikelompokkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3

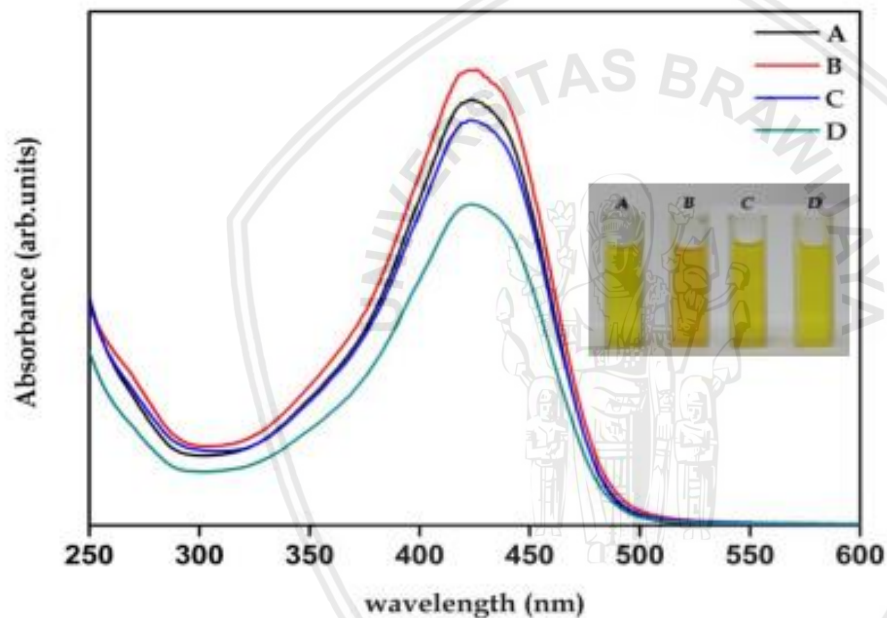
Taksonomi kelompok Kunyit

Kingdom	Plantae
Divisio	Spermatophyta
Sub divisio	Angiospermae
Class	Monocotyledonae
Ordo	Zingiberales
Family	Zingiberaceae
Genus	Curcuma
Species	Curcuma Longa linn

Kurkumin adalah pigmen berwarna kuning yang terdapat dalam tanaman jenis *rizhome* seperti temulawak dan kunyit. Pada semua jenis akar-akaran, sebagian besar terdapat kurkumin dan pigmen lain. Kurkumin memiliki warna kuning karena memiliki absorbansi cahaya pada gelombang cahaya tampak $\pm 420 - 580$ nm seperti pada gambar 2.4.

Kurkumin memiliki rumus empiris $C_{21}H_{20}O_6$. Pigmen tersebut merupakan suatu gabungan dari berbagai unsur membentuk ikatan *benzene* dimana warna kuning berasal dari ikatan rangkap.

Kurkumin memiliki daya tahan yang baik terhadap temperatur dan reaksi kimia. Kurkumin termasuk bahan yang ramah lingkungan dengan ongkos produksi rendah apabila dimanfaatkan sebagai pewarna alam pada DSSC. Dalam penelitian sebelumnya, kurkumin diekstrak tanpa pemurnian untuk melihat kinerja zat warna dengan prosedur ekstraksi kimia yaitu menggunakan pelarut *ethanol* dengan konsentrasi 1,5-2% dari beratnya. Penelitian tersebut dapat menghasilkan efisiensi, Voc, Jsc dan *fill factor* (FF) berturut-turut adalah 0,36% ; 0,56V dan 1,00 mA/cm² (Kim, H.-J. dkk., 2013)



Gambar 2.5 Absorbansi gelombang cahaya tampak pigmen kurkumin menggunakan pelarut a) *ethanol*, b) *hydrochloric acid*, c) *nitric acid*, dan d) *acetic acid*
Sumber: Kim, H.-J dkk. (2013)

2.6.3 Antosianin pada Kulit Manggis

Manggis (*Garcinia mangostana*. L) adalah salah satu buah yang mengandung antosianin paling banyak pada bagian kulitnya, sehingga kandungan antosianin tersebut bisa dimanfaatkan sebagai pewarna pada sel surya jenis DSSC (Rahman dan Gontjang, 2013) Menurut supiyanti dkk dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa dalam 100 gr kulit buah manggis mengandung 59,3 mg antosianin (Supiyanti dkk. 2010).

Pewarna antosianin dari ekstrak kulit manggis mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang dari 480-580 nm dengan panjang gelombang maksimum 532 nm (Kumara dan Gontjang, 2012). Taksonomi buah manggis dikelompokkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4
Taksonomi Kelompok Buah Manggis

Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Spermatophyta</i>
Sub divisi	<i>Angiospermae</i>
Kelas	<i>Dicotyledoneae</i>
Ordo	<i>Guttiferales</i>
Famili	<i>Guttiferae</i>
Genus	<i>Garcinia</i>
Spesies	<i>Garcinia mangostana L.</i>

Sumber: Bahri (2012)

2.7 Parameter kinerja DSSC

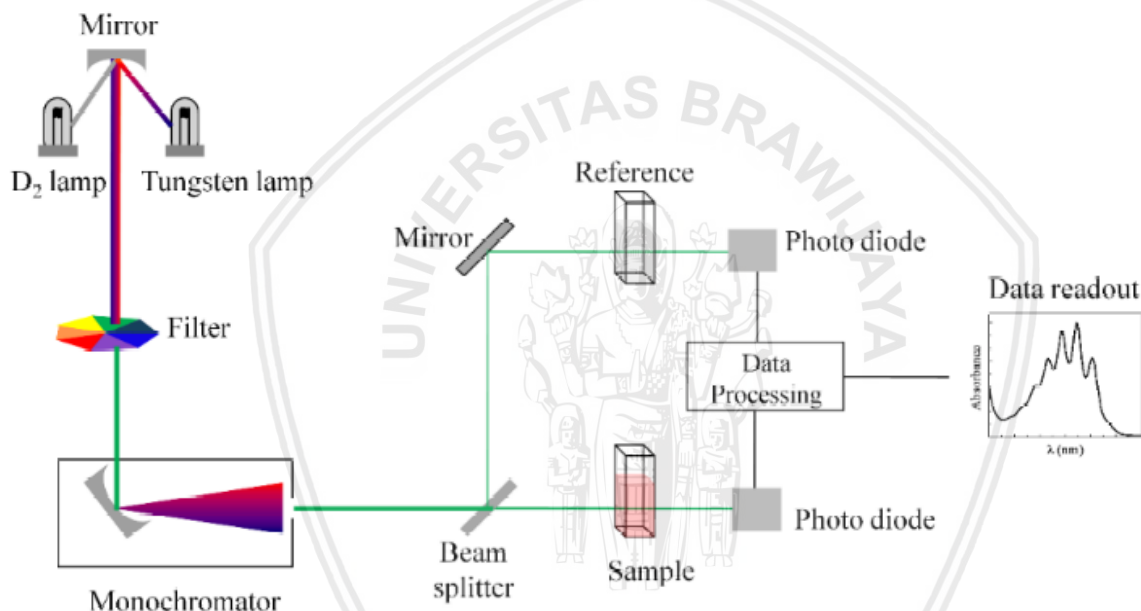
2.7.1 Karakterisasi Absorbansi Cahaya

UV-Vis Spektrofotometer merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengukur transmitansi dan absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Dalam penggunaannya dibidang material, spektrofotometer sering digunakan untuk menentukan struktur elektron material, yaitu menentukan tingkat-tingkat energi elektron dalam material tersebut (Mikrajuddin, 2010).

Absorbansi cahaya merupakan besarnya intensitas dari suatu cahaya yang tidak dapat menembus larutan karena cahaya terserap oleh sampel. Sedangkan perbandingan antara intensitas cahaya sebelum melewati larutan dengan intensitas sesudah melewati larutan disebut sebagai transmitansi cahaya, yaitu besarnya intensitas cahaya yang dapat melewati sampel. Absorbansi juga menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisa performansi dari suatu DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) (Afandi, 2018).

Sederhananya instrumen spektrofotometer terdiri dari: sumber cahaya, monokromator, sel sampel, *detector* dan *read out* (pembaca). Spektrofotometri visible disebut juga spektrofotometri sinar tampak. Spektrum yang diabsorpsi oleh suatu senyawa adalah sejumlah sinar yang diabsorpsi oleh satu senyawa pada panjang gelombang tertentu. Untuk senyawa yang berwarna akan memiliki satu atau lebih absorpsi spektrum yang tertinggi di daerah spektrum tampak pada panjang gelombang 400-750 nm. Spektrum yang terabsorpsi pada ultra violet pada panjang gelombang 200-400 nm dan inframerah pada panjang gelombang >750, daerah tampak terjadi karena adanya perubahan energi elektron terluar dari molekul yang disebabkan adanya ikatan atau bukan ikatan. Dasar pemikiran metode spektrometri ultraviolet-visible (UV-Vis) cukup sederhana. Jika material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka foton akan diserap oleh elektron dalam material. Setelah menyerap foton, elektron akan berusaha meloncat dari tingkat energi dasar yang tereksitasi ke tingkat energi lebih tinggi (Mikrajuddin, 2010).

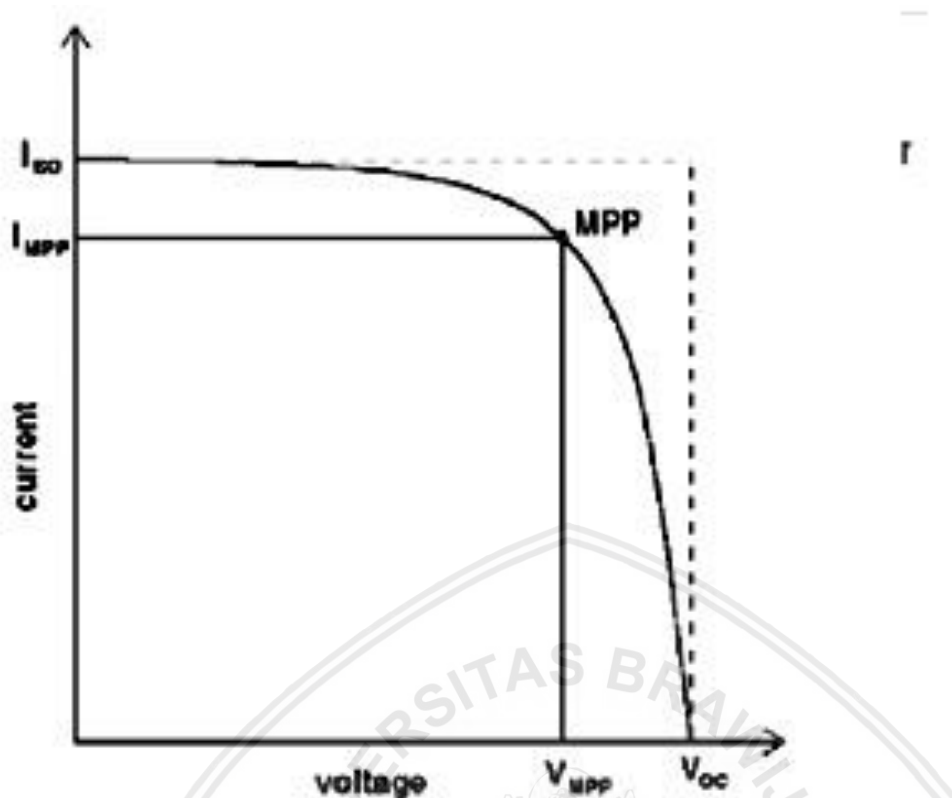
Gambar 2.6 merupakan rangkaian dari alat Uv-Vis spektrofotometer. Seberkas cahaya dari sumber cahaya ultra violet (UV) dan cahaya tampak (*visible*) dipisahkan menjadi komponen panjang gelombang dengan kisi difraksi. Setiap monokromatik dibagi menjadi dua berkas intensitas yang sama dengan perangkat half mirror. Satu berkas sinar melewati kuvet yang berisi larutan sampel. Sinar lain, referensi (standar) melewati sebuah kuvet identik yang hanya berisi pelarut. Intensitas dari berkas cahaya tersebut kemudian diukur dengan detektor elektronik dan dibandingkan. Intensitas berkas acuan, absorsi cahaya sedikit atau tidak ada, disebut sebagai I_0 . Intensitas berkas yang melewati larutan sample disebut I . Semua komponen panjang gelombang yang akan di inginkan akan secara otomatis dipindai oleh spektrofotometer.



Gambar 2.6 Alir kerja spektrofotometer UV-Vis
Sumber: Sukma (2012)

2.7.2 Karakterisasi arus-tegangan (I-V)

Daya listrik yang dihasilkan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) ketika mendapat cahaya didapat dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini dipresentasikan dalam bentuk kurva arus-tegangan (I-V). Gambar 2.6 Ketika sel dalam kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangan nya maksimum, disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}), sedangkan pada kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus short circuit (I_{sc}) dihasilkan. Titik daya maksimum MPP (*Maximum Power Point*) pada kurva I-V dihasilkan pada arus dan tegangan maksimum (Setiawan dkk, 2015).



Gambar 2.7 Kurva hubungan arus (I) dan tegangan (V)

Sumber: Setiawan dkk (2015)

1. *Fill factor* (FF)

Fill factor adalah perbandingan dari daya keluaran maksimal, hasil dari tegangan maksimum (V_m) dan arus maksimum (I_m) terhadap daya teoritis, hasil dari tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc}). Nilai FF dari sel dinyatakan :

$$FF = V_{mpp} \cdot I_{mpp} / V_{oc} \cdot I_{sc} \dots\dots\dots (2-9)$$

2. Efisiensi

Efisiensi sel surya adalah daya yang dihasilkan dari sel (P_{max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}). Nilai Efisiensi dari sel dinyatakan :

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\eta = P_{max} / P_{cahaya} = FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc} / P_{cahaya} \dots\dots\dots (2-11)$$

Nilai efisiensi ini yang akan menjadi ukuran global dalam penentuan kualitas performansi suatu sel surya (Setiawan dkk, 2015).

2.8 Hipotesis

Pewarna klorofil dari ekstrak daun bayam mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang tampak biru \pm 400-450 nm dan merah \pm 625-700 nm tetapi sangat sedikit menyerap cahaya hijau di daerah \pm 500-600 nm (Hartiwi, 2009), kurkumin dari ekstrak



kunyit mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang $\pm 420\text{-}580\text{ nm}$ (Hee-Je Kim, dkk., 1991), dan antosianin dari ekstrak kulit manggis mampu menyerap cahaya pada panjang gelombang dari $480\text{-}580\text{ nm}$ dengan panjang gelombang maksimum 532 nm (Kumara dan Gontjang, 2012). Dengan pencampuran ini akan menghasilkan pewarna yang memiliki daerah penyerapan gelombang cahaya yang lebih lebar daripada satu warna. Ketika daerah penyerapan semakin lebar, maka penyerapan jumlah foton juga akan meningkat. Sehingga efisiensi DSSC akan meningkat.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*True Experimental Research*), yaitu melakukan pengamatan secara langsung terhadap sebab akibat dari suatu proses. Tujuan dari metode penelitian experimental adalah untuk meneliti nilai absorbansi cahaya, dan efisiensi listrik pada perbandingan volume campuran kurkumin-klorofil-antosianin.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada waktu dan tempat penelitian dimulai pada 22 April – 29 April 2019. Adapun tempat penelitiannya di Laboratorium Nano Bioenergy, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS) Surakarta.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan untuk penelitian kali ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang tidak dapat dipengaruhi oleh nilai dari variabel lain dan variabel ini nilainya sudah ditentukan oleh peneliti terlebih dahulu sebelum penelitian dilakukan. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah perbandingan volume menggunakan pewarna kurkumin, klorofil dan antosianin dengan perbandingan volume kurkumin/klorofil/antosianin yaitu 1/1/1 ; 2/1/1 ; 1/2/1 dan 1/1/2.

2. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah suatu variabel yang nilainya dianggap konstan atau besarnya tetap selama penelitian berlangsung. Berikut variabel terikat yang ditentukan pada penelitian ini:

- a. Kaca FTO dengan nilai resistansi dan transmitansi $< 30 \Omega$ dan $> 75 \%$.
- b. Semi konduktor memakai bahan TiO_2 .
- c. Elektrolit menggunakan bahan *iodine*.
- d. *Counter electrode* dengan memakai karbon.

3. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilai dan besarnya bergantung pada variabel bebas yang sudah ditentukan dan didapat setelah melakukan pengujian penelitian.

Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah :

- a. Absorbansi atau panjang gelombang cahaya pada pewarna alami.
- b. Tegangan listrik *open circuit* (V_{oc}) yang terdapat pada DSSC.
- c. Arus listrik *short circuit* (I_{sc}) yang terdapat pada DSSC.
- d. Efisiensi listrik yang terdapat pada DSSC.

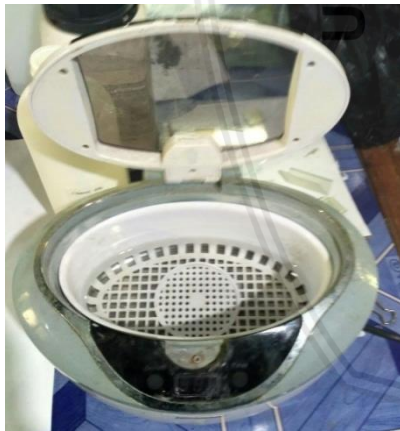
3.4 Alat Dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

Berikut adalah alat yang digunakan pada penelitian:

1. *Ultrasonic Cleaner*

Ultrasonic cleaner pada Gambar 3.1 merupakan alat pembersih yang menggunakan gelombang ultrasonik (biasanya 20 – 200 kHz) dan cairan pembersih menggunakan *ethanol* atau aquades. Alat digunakan sebagai pembersih kaca TCO.



Gambar 3.1 *Ultrasonic cleaner*

Spesifikasi alat:

<i>Type</i>	: CD-3800
<i>Power</i>	: 220-240 Volt AC
<i>Max Capacity</i>	: 600 ml
<i>Frequency</i>	: 42000 Hz
<i>Dimension</i>	: 21 x 15 x 14 cm
<i>Weight</i>	: 1,04 kg

2. *Magnetic Stirrer*

Magnetic Stirrer adalah alat pengaduk yang menggunakan kekuatan putaran magnet pada tempat gelas untuk menghasilkan larutan yang homogen, dan tanpa adanya sumbu putar seperti pada blender atau *mixer*.



Gambar 3.2 *Magnetic stirrer*

Spesifikasi alat:

<i>Hotplate/Stirrer</i>	: MS-H280-Pro
<i>Temp range</i>	: 25 - 280°C
<i>Speed range</i>	: 200-1500 rpm (10rpm increments)
<i>Temp increments</i>	: 1°C
<i>Temp control accuracy with PT1000</i>	: ±0.5°C
<i>Heating rate (1 liter water)</i>	: 6 K/min
<i>Speed/Heat display</i>	: LED
<i>Motor type</i>	: DC Brushless Motor
<i>Heat Output</i>	: 500 W
<i>Stirring capacity</i>	: 3 L
<i>Plate diameter</i>	: 5.3"
<i>Plate material</i>	: Ceramic "W x 3.2"H
<i>Weight</i>	: 5 lbs
<i>Voltage</i>	: 110 Volts 60 Hz, 515 W

3. Spektrofotometri Sinar Tampak (UV-Vis)

Spektrofotometri Sinar Tampak (UV-Vis) pada Gambar 3.3 adalah alat yang digunakan untuk mengukur energi cahaya oleh suatu sistem kimia pada panjang gelombang tertentu. Pada alat spektrofotometri UV-Vis prinsip kerjanya menggunakan hukum *Lambert-Beer*.



Gambar 3.3 Spektrofotometri sinar tampak (UV-Vis)

Spesifikasi Alat:

Rentang panjang gelombang	: 190-1100nm
Spektral <i>Bandwidth</i>	: 2nm (5nm, 4nm, 1nm opsional)
Panjang gelombang Akurasi	: ± 3 nm
Panjang gelombang <i>Reproducibility</i>	: ≤ 15 nm
Sistem optik	: balok ganda, Auto scan, ganda detektor
fotometri Akurasi	: $\pm 3\%$ T (0 ~ 100% T), ± 0.002 A (0 ~ 1A)
<i>Reproducibility</i> fotometri	: $\leq 15\%$ T
Mode kerja	: T, A, C, E
<i>Reproducibility</i> fotometri	: -0.3 ~ 3.5A
Cahaya liar	: $\leq 1\%$ T (NaI, 220nm, NaNO ₂ 340nm)
Kerataan dasar	: ± 0.002 A
Stabilitas	: ≤ 0.01 A/h (pada 500nm, setelah pemanasan)
Kebisingan	: ± 0.01 A (pada 500nm, setelah pemanasan)
Tampilan	: 6 inches tinggi cahaya biru LCD
Detector	: silikon foto-diode
Power	: AC 220 V/50Hz, 110 V/60Hz, 180 W
Dimensi	: 630 × 470 × 210mm
Berat	: 26 kg

4. Neraca digital

Neraca digital adalah alat yang digunakan untuk menimbang massa bahan yang akan digunakan pada penelitian.



Gambar 3.4 Neraca digital

Spesifikasi alat:

<i>Merk</i>	: CHQ
<i>Type</i>	: JZC-TSE
<i>Kapasitas</i>	: 3 kg x 0,1 gr/6 kg x 0.2 gr : 15 kg x 1 gr/ 0.5 gr : 30 kg x 1 gr
<i>Power</i>	: Batre rechargeable
<i>Display</i>	: LED (Double Display)
<i>Pan size</i>	: 21 cm x 25 cm

5. Multimeter

Multimeter pada Gambar 3.5 adalah alat pengukur listrik yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), dan arus (amperemeter). Pada penelitian ini multimeter berfungsi untuk mengetahui hambatan pada kaca TCO.



Gambar 3.5 Multimeter

Spesifikasi Alat:

<i>DCV</i>	: 200 mV – 2000 mV – 20 V – 200 V – 1000 V $\pm 0,5\%$
<i>ACV</i>	: 200-750V $\pm 1,2\%$
<i>DCA</i>	: 200 uA - 2000 uA - 20 mA -200 mA-10A $\pm 1,0\%$
<i>Resistance</i>	: 200 -2 K – 20 K – 200 K – 2000 K ohm $\pm 1,0\%$
<i>Input impedance</i>	: 10M ohm
<i>Switching rate</i>	: 3times/s
<i>Diode test</i>	: \checkmark
<i>Triode test</i>	: \checkmark
<i>AC frequency response</i>	: 40-400Hz
<i>Operating mode</i>	: Manual
<i>Color</i>	: Black
<i>Power supply</i>	: 9V battery
<i>Product size</i>	: 125*70*25mm
<i>Product weight</i>	: 150g (without battery)
<i>Standard accessories</i>	: Test pen, battery

6. Solar Simulator

Solar simulator pada Gambar 3.6 adalah perangkat yang digunakan untuk mengetahui efisiensi listrik yang dihasilkan oleh DSSC pada saat disinari cahaya seperti matahari.



Gambar 3.6 Solar simulator

7. Rotary evaporator

Rotary evaporator pada Gambar 3.7 adalah alat yang digunakan dalam melakukan ekstraksi pada bahan pewarna alami.



Gambar 3.7 Rotary evaporator

8. Furnace

Furnace adalah alat yang digunakan untuk memberikan perlakuan panas kaca FTO setelah diberikan semikonduktor.



Gambar 3.8 Furnace

Spesifikasi Alat:

<i>Inside Chamber Size</i>	: 200 x 200 x 200 mm (8"x8"x8", 8 Liter)
<i>Standard Working Temperature</i>	: 1600°C (<i>continuous</i>)
<i>Maximum Working Temperature</i>	: 1700°C (< 3 hrs)
<i>Temperature Control</i>	: 30 steps programmable and PID automatic control
<i>Heating Rate</i>	: 0~10°C / min (<i>suggestion: < 10°C</i>)
<i>Temperature Accuracy</i>	: +/- 1°C
<i>Heating Element</i>	: MoSi2 heating elements
<i>Working Voltage</i>	: AC 220V Single Phase 60/50 Hz (<i>or according to your requirement</i>)
<i>Max. Power</i>	: 8KW
<i>Outside Size</i>	: 550 x 540 x 820 mm
<i>Net Weight</i>	: 170 Kg

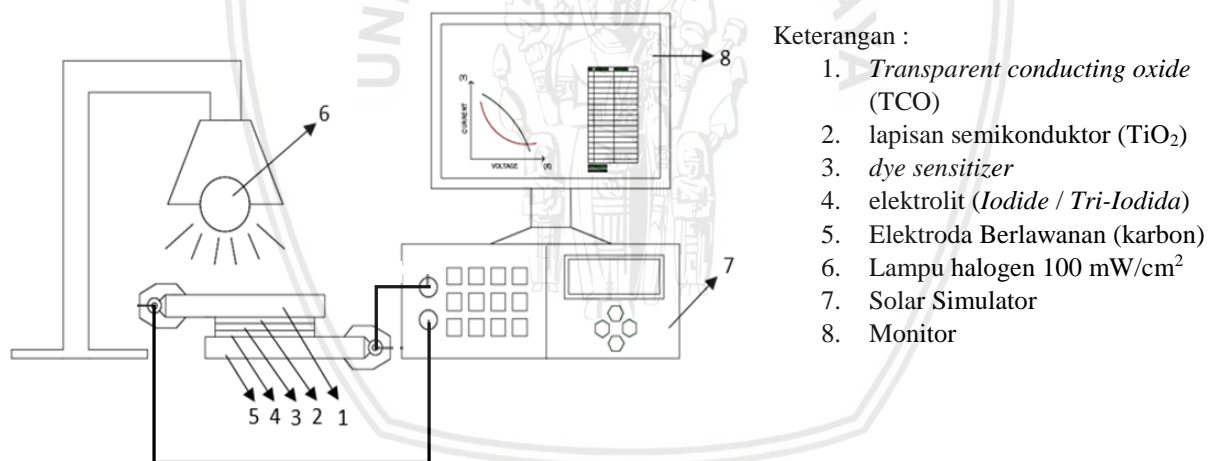
3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kulit manggis, kunyit, dan daun bayam yang diekstrak untuk mendapatkan zat warna antosianin, kurkumin, dan klorofil. Kemudian digunakan sebagai bahan pewarna alami DSSC.
2. Elektrolit *Iodine* (99,95% murni)
3. TiO_2 (nanopowder, 21 nm *Sigma-Aldrich*)
4. Kaca FTO
5. *Ethanol* 96%

3.5 Instalasi Penelitian

Pada penelitian ini DSSC tersusun atas lapisan *Transparent Conductive oxide* (TCO), lapisan semikonduktor (TiO_2), *dye sensitizer*, elektrolit (*Iodide/Tri-Iodida*), Elektroda Berlawanan (karbon), dan dengan menggunakan lampu halogen $100\text{mW}/\text{cm}^2$ sebagai sumber cahaya. Skema instalansi dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Instalasi alat penelitian

3.6 Prosedur Penelitian

1. Studi literatur

Studi literatur adalah kegiatan untuk mempelajari kajian pustaka atau referensi seperti buku, jurnal, atau teori-teori yang memperkuat dan memperjelas hasil dari penelitian.

2. Observasi lapangan

Observasi lapangan adalah kegiatan diluar area penelitian yang bertujuan untuk mencari alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan penelitian, misalnya Kaca TCO , kulit manggis, kunyit, klorofil, *ethanol* dan lain-lain.

3. Perancangan dan pembuatan alat

Perancangan dan pembuatan alat adalah suatu kegiatan sebelum penelitian yang dilakukan untuk membuat komponen *Dye Sensitized Solar Cell*. Adapun komponen DSSC meliputi pembuatan bagian-bagian yang menyusun DSSC antara lain pembuatan kaca FTO, pembuatan larutan elektrolit, ekstraksi pewarna, pembuatan pasta semikonduktor, dan pembuatan *counter electrode*.

4. Perakitan alat

Proses perakitan komponen DSSC dapat dilakukan dengan cara manual. DSSC terbentuk dari susunan-susunan komponen. Material penyusunannya terdiri dari kaca FTO, semikonduktor, *dye*, elektrolit, dan *counter electrode*. Susunan ini biasa disebut juga dengan susunan *sandwich*.

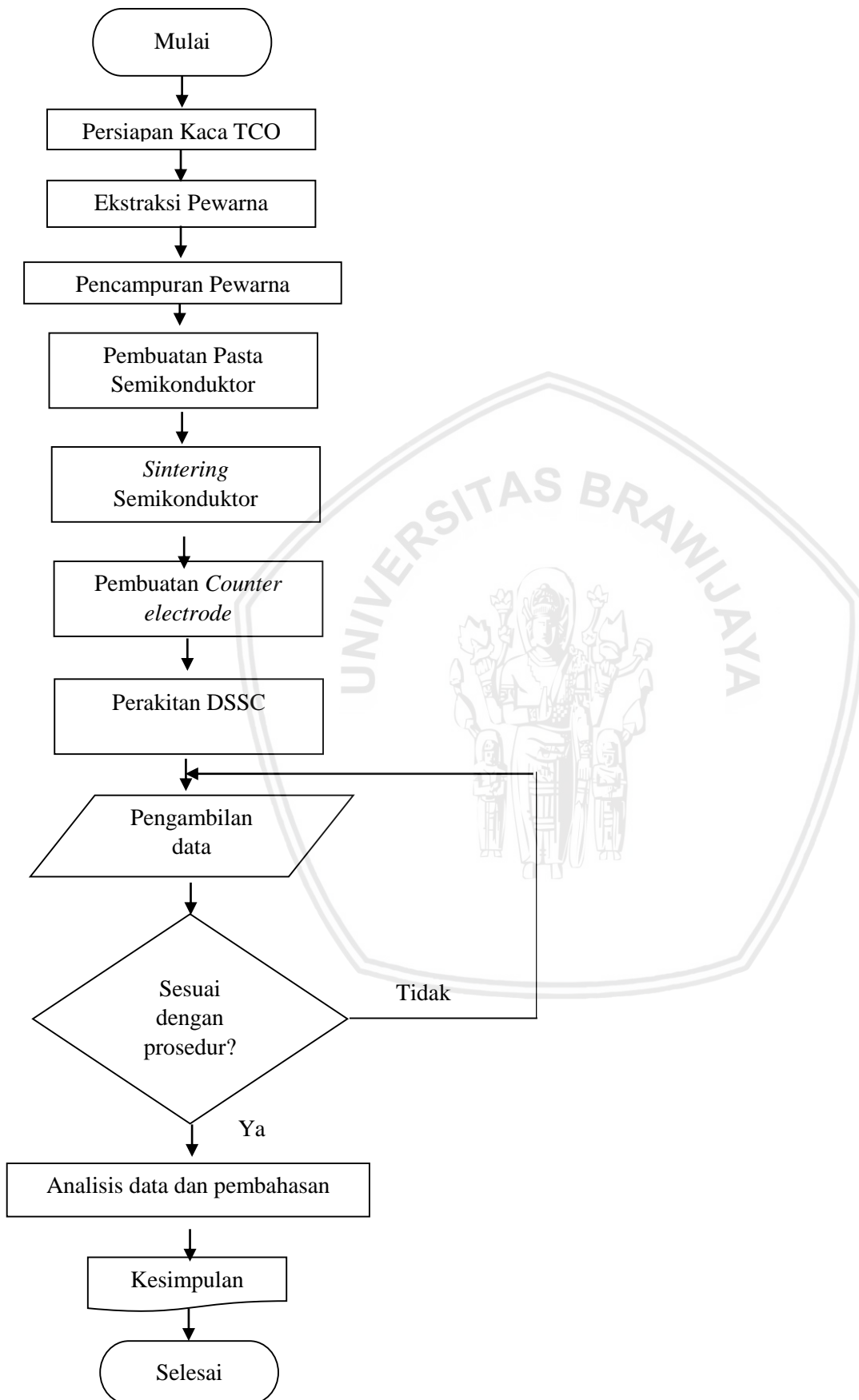
5. Pengujian

Pengujian dilakukan pada instalansi *dye sensitized solar cell* (DSSC) yang berfungsi untuk mengetahui absorptansi cahaya, dan efisiensi DSSC sebelum perlakuan dan efisiensi DSSC setelah diberi perlakuan. Pengujian ini menggunakan alat spektrofotometri UV-Vis, dan solar simulator.

6. Analisis dan pembahasan

Pembahasan dilakukan dengan menganalisis data-data dan grafik hasil dari pengujian yang ditampilkan pada alat pengujian.

3.7 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

3.7.1 Prosedur Penelitian:

1. Persiapan kaca *Transparent Conductive Oxide* (TCO).

Siapkan kaca *Transparent Conductive Oxide* (TCO) dengan ukuran 2x2 cm dan tebal 0,3 cm. Kaca TCO yang digunakan memiliki nilai hambatan $< 30 \Omega$ dan transmitansi $> 75\%$ (fabrikasi pabrik *dyesol*). Kaca TCO dibersihkan untuk menghilangkan kotoran dan lemak menggunakan *ultrasonic cleaner* dengan proses pembersihan dua kali. Pada pembersihan pertama menggunakan aquades, kemudian pada pembersihan kedua menggunakan *ethanol*.

2. Pembuatan ekstraksi pewarna klorofil dari daun bayam.

Daun bayam dibersihkan menggunakan air sehingga kotoran pada daun hilang. Daun bayam dipotong berukuran kecil. Hasil potongan di keringkan dibawah sinar matahari untuk menguapkan kandungan air didalamnya. Bayam di tumbuk/digerus sampai halus sehingga menjadi serbuk. 35 gram serbuk daun bayam dilarutkan kedalam 350 ml *ethanol* 96% perbandingan 1g/10 ml. Proses ekstraksi dengan metode maserasi dilakukan selama $\pm 2-3$ jam dengan temperatur pemanasan sekitar 70°C (Zainal dkk, 2015). Selanjutnya dilakukan dua kali penyaringan untuk memisahkan cairan dari ampas daun bayam. Penyaringan pertama menggunakan kertas saring kimia dan penyaringan kedua menggunakan kertas saring *white man*. Cairan hasil penyaringan di proses kedalam mesin *rotary evaporator* pada suhu titik didih *ethanol* (80°C) selama 1 jam, sehingga menghasilkan cairan klorofil. Kemudian klorofil dicampur dengan *ethanol* kadar 96% dengan konsentrasi 8 g/100 ml.

3. Pembuatan ekstraksi pewarna kurkumin dari kunyit.

Kunyit dibersihkan menggunakan air sehingga kotoran tanah pada kunyit hilang. Kunyit dipotong melintang tipis. Hasil potongan tersebut di jemur hingga kering. Kunyit yang kering dhaluskan dengan cara digerus atau diblender sehingga menjadi serbuk. Serbuk di campur dengan *ethanol* 96% dengan perbandingan 1 g/7 ml. Dilakukan maserasi atau dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 70°C selama 7 jam (Yudha, 2016). Selanjutnya dilakukan dua kali penyaringan untuk memisahkan cairan dari ampas kunyit. Penyaringan pertama menggunakan kertas saring kimia dan penyaringan kedua menggunakan kertas saring *white man*. Cairan hasil penyaringan di proses kedalam mesin *rotary evaporator* pada suhu titik didih *ethanol* (80°C) selama 1 jam, sehingga menghasilkan cairan kurkumin. Kemudian kurkumin dicampur dengan *ethanol* kadar 96% dengan konsentrasi 8 g/100 ml.

4. Pembuatan ekstraksi pewarna antosianin dari kulit manggis

Kulit manggis dikeringkan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari, kemudian ditumbuk hingga menjadi bubuk, selanjutnya sebanyak 40 gram bubuk kulit manggis dicampur dengan pelarut 100 ml ethanol 96% kemudian diaduk selama 60 menit menggunakan alat *magnetic stirrer* dengan kecepatan putar 300 rpm dalam suhu 60°C. Setelah bahan sudah terlarut didiamkan selama 24 jam dan disaring dengan kertas saring no. 42. Hasil ekstraksi disimpan dalam wadah tertutup dan terlindung dari sinar matahari.

5. Pencampuran pewarna alami

Pencampuran pewarna dilakukan dengan menggunakan perbandingan volume kurkumin/klorofil/antosianin yaitu 1/1/1 ; 2/1/1 ; 1/2/1 dan 1/1/2.

6. Pembuatan pasta semikonduktor

Timbang 0,5 gram TiO_2 didalam kaca vial dengan neraca digital. Tambahkan 4 ml *ethanol* 96%. Aduk dengan *magnetic stirrer* hingga 5 jam. Hasilnya diperoleh larutan semikonduktor yang kental berbentuk pasta. Kemudian, Kaca TCO yang telah bersih, tutupi permukaan permukaannya dengan selotip sehingga tersisa bagian dengan luasan $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Proses pendeposisian pasta dapat dilakukan dengan metode *doctor blade*. Pasta dioleskan diatas FTO dan selanjutnya diratakan dengan batang penganduk dari kaca.

7. Proses *sintering* semikonduktor

Kaca FTO dan semikonduktor dimasukkan kedalam *furnace* untuk dilakukan proses *sintering*. Proses *sintering* dilakukan pada temperature 450 °C dengan waktu penahan (*holding time*) 2,5 jam. Proses pendinginan material dilakukan secara lambat didalam *furnace* hingga suhu 50 °C. Setelah itu, dilakukan proses peredaman kaca TCO hasil *sintering* kedalam larutan pewarna hingga menutupi seluruh permukaan semikonduktor. Proses peredaman dilakukan selama 24 jam.

8. Pembuatan *counter electrode*

Siapkan kaca *Transparent Conductive Oxide* (TCO). Panaskan sisi konduktif kaca TCO pada nyala api lilin selama kurang lebih 5 menit 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 $1 \times 1 \text{ cm}^2$.

9. Perakitan DSSC

Proses perakitan DSSC dapat dilakukan dengan cara manual. DSSC terbentuk dengan susunan *sandwich* dari material penyusunannya yaitu substrat FTO, semikonduktor, *dye*, elektrolit, dan *counter electrode*. Susunan di jepit dengan binder. Kemudian disuntikkan larutan elektrolit pada sisi tengah. Setelah semua prosedur dilaksanakan, maka DSSC siap di ujikan.

3.8 Metode Pengambilan Data

3.8.1 Pengujian Absorbansi Cahaya

Pengujian absorpsi cahaya klorofil, kurkumin antosianin dan campuran kurkumin-klorofil-antosianin dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometri Shimadzu UV-Vis 1601 pada panjang gelombang 400 - 750 nm. Pengujian ini akan menghasilkan grafik gelombang dengan 4 variasi volume. Nilai yang dapat diambil adalah puncak absorbansi dan luas daerah serapan cahaya pada panjang gelombang tertentu.

3.8.2 Pengujian Karakterisasi Arus-Tegangan (I-V)

Lapisan DSSC yang sudah terbentuk diuji sifat listriknya berupa tegangan dan arus dengan menggunakan solar simulator. Lampu hologen dengan daya 100 W/m^2 sebagai sumber cahaya diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel surya. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk menghitung besar efisiensi.

3.9 Variasi Pengujian

Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan tabel pengujian karakterisasi absorbansi cahaya dan karakterisasi arus-tegangan.

Tabel 3.1
Pengujian Karakterisasi Absorbansi Cahaya

No	Komposisi Warna	Spektrofotometer UV-Vis		
		λ_{peak} (nm)	Nilai Puncak Absorbansi	Luas Daerah Absorbansi
1.	1 (klorofil) : 1 (kurkumin) : 1 (Antosianin)			
2.	2 (klorofil) : 1 (kurkumin) : 1 (Antosianin)			
3.	1 (klorofil) : 2 (kurkumin) : 1 (Antosianin)			
4.	1 (klorofil) : 1 (kurkumin) : 2 (Antosianin)			

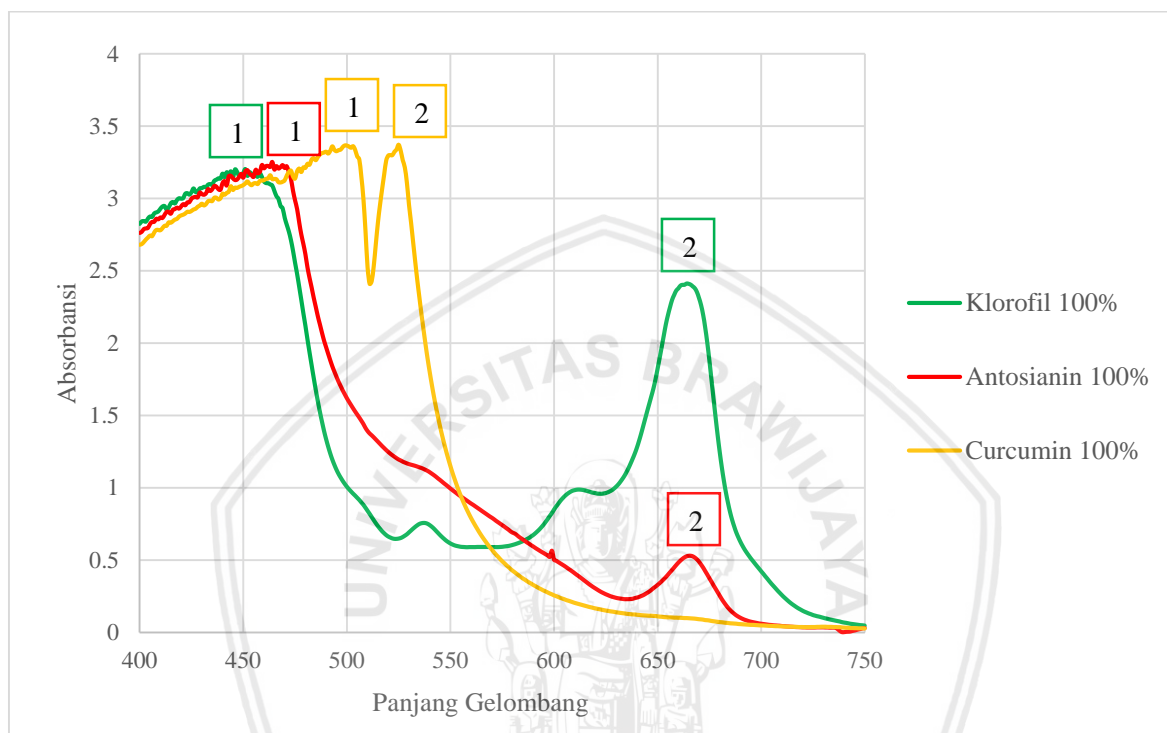
Tabel 3.2
Pengujian Karakterisasi Arus-Tegangan (I-V)

No	Komposisi Warna	Karakterisasi I-V					FF	η (%)
		Isc (mA)	Voc (V)	Imax (mA)	Vmax (V)	Pmax (mW)		
1.	1 (klorofil) : 1							
	(kurkumin) : 1							
	(Antosianin)							
2.	2 (klorofil) : 1							
	(kurkumin) : 1							
	(Antosianin)							
3.	1 (klorofil) : 2							
	(kurkumin) : 1							
	(Antosianin)							
4.	1 (klorofil) : 1							
	(kurkumin) : 2							
	(Antosianin)							



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Absorbansi Cahaya



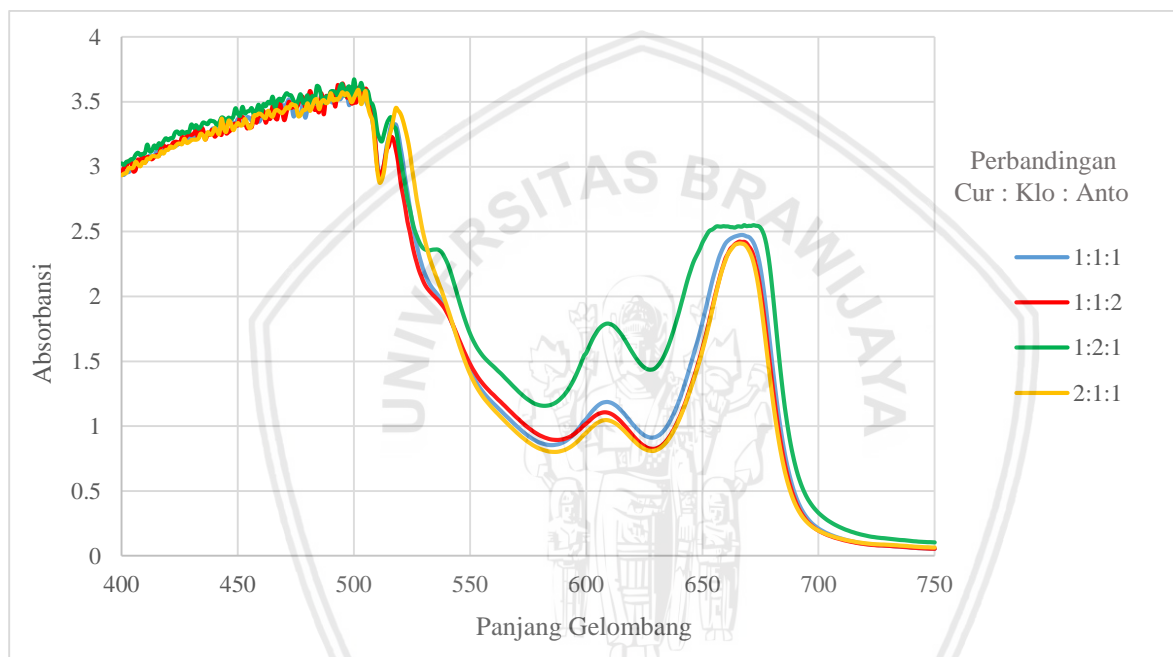
Gambar 4.1 Nilai absorbansi cahaya pada pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin

Gambar 4.1 merupakan hasil pengujian UV-Vis *Spectrophotometry* yang menjelaskan tingkat absorbansi pada ekstraksi kunyit (kurkumin), daun bayam (klorofil), dan kulit manggis (antosianin) pada daerah cahaya tampak yaitu gelombang 400 sampai 750 nm. Pada gambar diketahui bahwa ekstraksi kunyit (kurkumin) mempunyai 2 puncak serapan yang baik yaitu pada panjang gelombang 500 nm dan 525 nm sebesar 3,367 dan 3,373. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Ganesh, T., dkk., 2009), dimana senyawa kurkumin merupakan pigmen yang mempunyai daerah penyerapan baik pada daerah \pm 420 – 580 nm.

Hasil pengujian ekstraksi daun bayam (klorofil) diatas memiliki 2 puncak absorbansi yang baik, puncak pertama pada panjang gelombang 451 nm dengan nilai absorbansi 3,204 dan puncak kedua pada panjang gelombang 664 nm dengan nilai absorbansi 2,412. Hal ini dikarenakan sifat klorofil yang mampu menyerap maksimum pada daerah panjang gelombang tersebut, sesuai dengan penelitian sebelumnya (Hartiwi, 2009). Kemudian, pada panjang gelombang 500 – 600 nm nilai absorbansi dari klorofil rendah dengan rata-

rata 0,692. Hal ini sesuai dengan sifat klorofil yang lemah menyerap cahaya pada daerah panjang gelombang $\pm 500 - 600$ nm. Lemahnya klorofil menyerap cahaya menandakan bahwa ketika cahaya putih polikromatik menyinari klorofil daun akan merefleksikan pigmen berwarna hijau.

Hasil dari pengujian ekstraksi kulit manggis (antosianin) yang baik menyerap cahaya pada rentang panjang gelombang 480 – 580 nm dengan rata-rata nilai absorbansi 1,28. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Kumara dan Gontjang, 2012) dimana senyawa antosianin memiliki daerah penyerapan yang baik pada rentang panjang gelombang tersebut.



Gambar 4.2 Nilai absorbansi cahaya pewarna alami variasi campuran kurkumin-klorofil-antosianin

Gambar 4.2 menjelaskan hasil pengujian UV-Vis *Spectrophotometry* pada variasi pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin. Pada proses pencampuran pewarna alami ini dilakukan dengan perbandingan volume (kurkumin/klorofil/antosianin) 1/1/1 ; 2/1/1 ; 1/2/1 ; 1/1/2. Hasil pengujian yang diperoleh dari pencampuran pewarna alami ini jika dibandingkan dengan pewarna tunggal kurkumin 100%, klorofil 100%, dan antosianin 100%, maka variasi campuran pewarna ketiganya memiliki daerah absorbansi yang lebih tinggi dan lebih lebar. Hal ini disebabkan karena masing-masing pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin, saling memberikan sumbangan panjang gelombang, nilai absorbansi, dan puncak serapan pada pewarna campuran.

Penambahan pewarna kurkumin bisa memperbesar nilai absorbansi pada panjang gelombang 420 – 550 nm. Penambahan pewarna klorofil mampu meninggikan daerah serapan cahaya pada daerah 580 – 700 nm. Sedangkan penambahan pewarna antosianin

dapat memperbesar nilai absorbansi pada panjang gelombang 480 – 580 nm. Sehingga apabila ketiga pewarna (kurkumin, klorofil, dan antosianin) dicampur akan membuat daerah absorbansi pewarna campuran menjadi tinggi dan lebar.

Kemampuan absorbansi dari pewarna campuran maupun pewarna kurkumin, klorofil, dan antosianin, bisa dibandingkan menggunakan luas daerah masing-masing pewarna. Luas daerah dapat diketahui dengan analisa menggunakan *software* origin. Luas daerah dari yang tertinggi ke terendah adalah (kurkumin/klorofil/antosianin) 1/2/1 sebesar 730, 1/1/1 sebesar 652, 1/1/2 sebesar 642, 2/1/1 sebesar 640, Kurkumin 100% sebesar 478, Klorofil 100% sebesar 477, dan Antosianin 100% sebesar 415.

Tabel 4.1

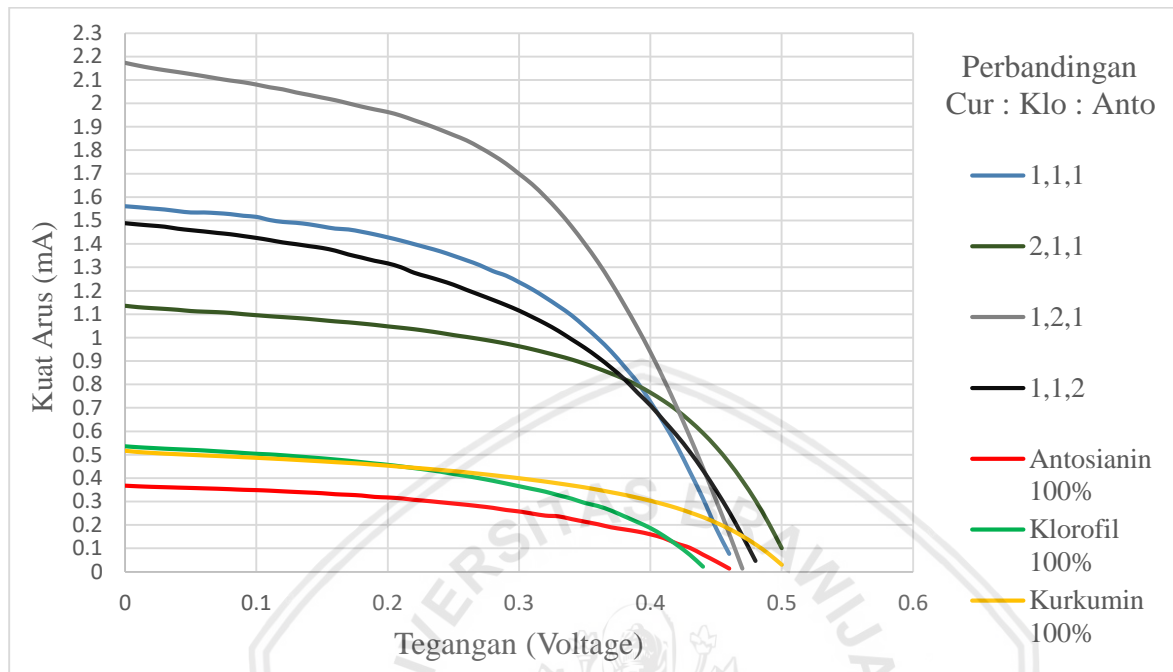
Nilai panjang gelombang, puncak dan luas daerah absorbansi

No	Komposisi Pewarna	Nilai Puncak Panjang Gelombang (nm)	Nilai Puncak Absorbansi (arb.units)	Luas Daerah (satu-satuan luas)
1	Kurkumin 1 / Klorofil 2 / Antosianin 1	516	3,38	730
		609	1,791	
		672	2,55	
2	Kurkumin 1 / Klorofil 1 / Antosianin 1	516	3,326	652
		609	1,186	
		667	2,473	
3	Kurkumin 1 / Klorofil 1 / Antosianin 2	516	3,229	642
		608	1,106	
		666	2,423	
4	Kurkumin 2 / Klorofil 1 / Antosianin 1	518	3,452	640
		608	1,047	
		666	2,409	
5	Kurkumin 100%	500	3,367	478
		525	3,373	
6	Klorofil 100%	451	3,204	477
		664	2,412	
7	Antosianin 100%	469	3,231	415
		665	0,529	

4.2 Karakteristik Arus dan Tegangan

Faktor yang dapat mempengaruhi karakteristik sel surya adalah luas absorbansi yang dimiliki masing – masing pewarna (kurkumin, klorofil, antosianin), tiap – tiap pewarna memiliki daerah absorbansi yang berbeda. Hal ini yang mempengaruhi luas absorbansi pada pewarna campuran. Semakin meningkatnya jumlah klorofil dalam pewarna campuran (kurkumin, klorofil, antosianin) maka efisiensi DSSC juga akan meningkat. Hal ini disebabkan karena klorofil memiliki daerah absorbansi yang lebih luas pada daerah 580-700 nm. Semakin luas daerah absorbansi pada DSSC, maka energi foton yang diserap dari matahari juga semakin besar. Dengan meningkatnya foton yang diserap DSSC maka

jumlah elektron yang terseksitasi menjadi lebih banyak, sehingga arus yang dihasilkan akan semakin besar. Dapat dilihat bahwa daerah absorpsi pewarna campuran (kurkumin/klorofil/antosianin) 1/2/1 lebih luas daripada campuran 1/1/1, 1/1/2, 2/1/1.



Gambar 4.3 Karakterisasi I-V pada pewarna alami, dan pencampuran pewarna alami kurkumin, klorofil, dan antosianin

Gambar 4.3 merupakan hasil pengujian dari solar simulator terhadap pewarna alami (kurkumin, klorofil, antosianin) dan variasi pencampurannya pada penyinaran 100 W/m^2 . Dari grafik tersebut dapat ditentukan nilai V_{oc} , I_{sc} dan efisiensi dari sebuah *solar cell*.

V_{oc} adalah tegangan pada saat open circuit atau bisa juga disebut hambatan tak terhingga. Nilai V_{oc} pada (kurkumin/klorofil/antosianin) 1/2/1, 1/1/1, 1/1/2, 2/1/1, Kurkumin 100%, Klorofil 100%, dan Antosianin 100% adalah 0,47 mV, 0,466 mV, 0,483 mV, 0,466 mV, 0,506 mV, 0,443 mV, dan 0,464 mV.

I_{sc} adalah arus yang terbaca sebelum muncul tegangan atau arus yang mengalir pada *short current*. Nilai I_{sc} yang dihasilkan oleh DSSC pada variasi pewarna (kurkumin/klorofil/antosianin) 1/2/1, 1/1/1, 1/1/2, 2/1/1, Kurkumin 100%, Klorofil 100%, dan Antosianin 100% adalah 2,173 mA, 1,56 mA, 1,487 mA, 1,136 mA, 0,517 mA, 0,535 mA, 0,367 mA.

Tabel 4.2 menunjukkan efisiensi DSSC tertinggi didapatkan pada saat menggunakan campuran pewarna kurkumin 1/klorofil 2/antosianin 1 yaitu sebesar 0,512%. Efisiensi DSSC merupakan rasio energi yang dihasilkan terhadap energi yang digunakan. Faktor yang menyebabkan efisiensi *solar cell* yang tinggi adalah V_{oc} , I_{sc} , I_{max} , P_{max} , dan FF yang dihasilkan.

Tabel 4.2

Parameter-Parameter DSSC dengan Variasi Perbandingan Kurkumin, Klorofil, Dan Antosianin Dalam Campuran *Dye*

Curcumin: Klorofil: Antosianin	I_{sc} (mA)	V_{oc} (V)	I_{max} (mA)	V_{max} (V)	P_{max} (mW)	FF	η (%)
1 ; 2 ; 1	2,173	0,47	1,654	0,31	0,512	0,501	0,512
1 ; 1 ; 1	1,56	0,466	1,17	0,32	0,374	0,515	0,374
1 ; 1 ; 2	1,487	0,483	1,027	0,33	0,339	0,471	0,339
2 ; 1 ; 1	1,136	0,466	0,847	0,37	0,313	0,542	0,313
1 ; 0 ; 0	0,517	0,506	0,35	0,36	0,126	0,482	0,126
0 ; 1 ; 0	0,535	0,443	0,353	0,31	0,109	0,461	0,109
0 ; 0 ; 1	0,367	0,464	0,236	0,33	0,078	0,457	0,078





Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Diperoleh beberapa kesimpulan hasil dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian ini, yaitu:

1. Pencampuran variasi pewarna alami berhasil dibuat dan digunakan sebagai fotosensitizer pada *dye sensitized solar cell* (DSSC), dengan menggunakan kurkumin dari ekstrak kunyit, klorofil dari ekstrak daun bayam, dan antosianin dari ekstrak kulit manggis.
2. Pengujian karakterisasi absorbansi cahaya menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis dihasilkan bahwa pewarna dengan daerah absorbansi tertinggi ke terendah, yaitu Kurkumin 1/Klorofil 2/Antosianin 1 (730), Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 1 (652), Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 2 (642), Kurkumin 2/Klorofil 1/Antosianin 1 (640), Kurkumin 100% (478), Klorofil 100% (477), dan Antosianin 100% (415).
3. Efisiensi yang dihasilkan dari perakitan *dye sensitized solar cell* (DSSC) menggunakan variasi pewarna alami diurutkan dari tinggi ke rendah, yaitu Kurkumin 1/Klorofil 2/Antosianin 1 sebesar 0,512%, Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 1 sebesar 0,374%, Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 2 sebesar 0,339%, Kurkumin 2 / Klorofil 1/Antosianin 1 sebesar 0,313%, Kurkumin 100% sebesar 0,126%, Klorofil 100% sebesar 0,109%, dan Antosianin 100% sebesar 0,078%.

5.2 Saran

1. Sebaiknya pada penelitian selanjutnya dilakukan pengujian dengan menggunakan cahaya matahari langsung, agar lebih menyerupai kondisi nyata.
2. Pada penelitian selanjutnya agar dapat menguji tingkat daya tahan dari dssc menggunakan variasi tiga pewarna alami.
3. Penelitian selanjutnya dapat menguji lama perendaman dengan variasi tiga pewarna, agar mendapatkan efisiensi terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, Riski. (2018). *Spekrotometer Cahaya Tampak Sederhana Untuk Menentukan Panjang Gelombang Serapan Maksimum Larutan Fe(SCN)₃ DAN CuSO₄*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta
- Arrohmah. (2007). *Studi Karakteristik Klorofil Pada Daun Sebagai Material Photodetector Organik*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Bahri, S. (2012). *Ekstrak Etanol Kulit Buah Manggis (Garcinia Mangostina L) Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah*. *Journal of Pharmaceutics and Pharmacology*. 1 (1) : 1-8.
- Bakar, Abu M., Norasikin A., Mahmoud A., & Amir H. (2013). *Review on development of natural dye photosensitizer for dye sensitized solar cells*. *Review Renewable and Sustainable Energy Elsevier*. Vol 31. Pp 386-396.
- Chiba, A, I., Y, W., R, K., Koide, & Han. (2006). *Dye Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11,1 %*. *Jpn. J. Appl. Phys* 45, 636-640.
- Efendi, Abdullah. (2013). *Assesment Kinerja Prototipe Solar Cell Jenis Copper Oxide Berbahan Tembaga (Cu) Bergeometri Lingkaran Dan Persegi Yang Dirangkai Seri*. Semarang.
- Faiz, R., Widhiyanuriyawan, D., Siswanto, E., dan Wardana, I. (2017). *Theoreticl Study on the Effect of Solvent in Chlorophyll Solution fir Dye Sensitized Solar Cell*. *Intenational Conference on Chemistry and Material (IC2MS)*. Vol. 10 pp. 119-229.
- Flavin, Cristopher. (2013). *Gelombang Revolusi Energi*. Jakarta : IKAPI.
- Ganesh, T., Kim, J.H., Yoon, S.J., Lee, S., Lee, W., Mane, R.S., et al., (2009), *Dye Anchored Zno Nanoparticles: The Positive and Negative Photoluminescence Quenching Effects*, *Journal of Applied Physics*, Vol. 106.
- Gratzel, M. (2003). *Photovoltaic Performance and Long-Term Stability and Efficiency of Dye Sensitized Solar Cell*. Vol. 9 pp 578-583.
- Green, & Martin. (1982). *Solar Cells Operating Principles Technology and System Application*. Prentice Hall.
- Gu, Peng., Yang Dingyu, Zhu, Xianghua, Sun, H., & Li, Jitao (2017). *Fabrication and characterization of dye-sensitized solar cells based on natural plants*. *Journal Chemical Physic Elsevier*. Vol. 2 (2017), pp. 16-22.

- Halme, J., (2002). *Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells: Technical Review and Preliminary Tests*, Helsinki University of Technology, Helsinki.
- Hardeli. (2011). *Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Ubi Jalar Ungu, Wortel dan Kunyit sebagai Sumber Zat Warna*. Padang: UNP.
- Hartiwi Etti dan Trihandaru Suryasatriya (2009). *Pengukuran Spektrum Klorofil Daun Suji Menggunakan Spektrofotometer Sederhana*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains IV, No.3:992-631.
- Hastuti, & Ningsih, R. (2013). *Karakterisasi ekstrak teh hitam dan tinta cumi-cumi sebagai fotosensitizer pada sel surya*. Skripsi. Tidak dipublish. Malang: UIN Malang.
- Ihsan. (2013). *Peningkatan Suhu Modul dan Daya Keluaran Panel Surya dengan Menggunakan reflektor*. Jurnal Teknosains, volume 7 nomer 2, hlm: 275-283.
- Irawan, Sudra. (2015). *Pengaruh Intensitas Cahaya dan Spektrum Cahaya Tampak Terhadap Pertumbuhan dari Hubungan Panjang*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kim, H.-J., Kim, D.-J., Karthick, S.N., Hemalatha K.V., Justin, C., Sunseong, O., & Youngson C. (2013). *Curcumin Dye Extracted from Curcuma Longa L. Used as Sensitizers for Efficient Dye Sensitized Solar Cells*. *Internasional Journal Electrochemical and Science*. Vol. 8 (2013) pp. 320 - 328
- Kumara, Maya Sukma Widya, Drs. Gontjang Prajitno, M.Si. (2012). *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC*. Surabaya: Digilib ITS.
- Longo, Claudia and Macro-A De Paoli. (2003). *Dye-Sensitized Solar Cells: A Successful Combination of Materials*. J. Braz. Chem. Soc., Vol. 14, No. 6, 889-901
- Mikrajuddin, A. (2010). *Karakterisasi Nanomaterial*. Fisika elektronika Material - FMIPA, ITB.
- Rahman, A. (2011). *Fabrikasi dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO untuk aplikasi Dye Sensitized-Solar Cell* (Tesis). Universitas Indonesia.
- Rahman dan Gontjang. (2013). *Pengaruh Pemberian Space (Bantalan) untuk Mendapatkan Kestabilan Arus dan Tegangan Prototipe DSSC dengan Ekstraksi Kulit Buah Manggis (Garcinia Mangostana L) sebagai Dye Sensitizer*. Jurnal Sains dan Seni POMITS Vol. 1, No.2. FMIPA ITS.

- Septina, Wilman. (2007). *Pembuatan Solar Cell Murah dengan Bahan Organik dan Inorganik (Dye Sensitized Solar Cell)*. Laporan Akhir Penelitian Bidang Energi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Setiawan dkk. (2015). *Sel Surya Berbasis Pewarna Alami Dan Potensi Pengembangannya Di Indonesia Sebagai Sumber Energi Alternatif Yang Ramah Lingkungan*. Jurnal Teknik Elektro. Bali : Universitas Udayana.
- Supiyanti W dan Kusmita. (2010). *Uji aktivitas Antioksidan dan Penentuan Kandungan Antosianin Total Kulit Buah Manggis (Garcinia Mangostana L)*. Majalah Obat Tradisional, 15(2), 64 – 70, 2010.
- Syafinar, R., Gomesh, M. Irwanto dan Fareq M. (2015). *Chlorophyll Pigments as Nature Based Dye For Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Jurnal Internasional Elsevier (2015). Vol 79 pp. 896-902.
- Virgantara, Yudha. (2016). *Uji stabilitas Curcumin sebagai Natural Dye untuk Photosensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Widiyastuti (2011). *Sintesis ZNO:AL sebagai kaca TCO dengan Metode spray Pyrolysis*. Skripsi. Surabaya : Institut Teknologi Sebelas Maret.
- Wilman, Septina; Dimas, Fajarisandi and Mega, Aditia. (2007). *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye Sensitized Solar Cells)*. Bandung : Research Gate.
- Yelfianhar, Ichwan. (2014). *Semikonduktor*. Batam: Iwan.

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil Uji Karakteristik Sel Surya
- Lampiran 2 Absorbansi Pewarna Klorofil 100%
- Lampiran 3 Absorbansi Pewarna Kurkumin 100%
- Lampiran 4 Absorbansi pewarna antosianin 100%
- Lampiran 5 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 1
- Lampiran 6 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 2/Klorofil 1/Antosianin 1
- Lampiran 7 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 1/Klorofil 2/Antosianin 1
- Lampiran 8 Absorbansi Pewarna Campuran Kurkumin 1/Klorofil 1/Antosianin 2
- Lampiran 9 Data *Excel* Absorbansi Pewarna Kurkumin, Klorofil, dan Antosianin
- Lampiran 10 Data *Excel* Absorbansi Pewarna Campuran (Kurkumin/Klorofil/Antosianin)
- Lampiran 11 Karakterisasi (I-V) Pewarna Kurkumin, Klorofil, Antosianin
- Lampiran 12 Karakterisasi (I-V) Pewarna Campuran (Kurkumin/Klorofil/Antosianin)

