

**PREPARASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) MENGGUNAKAN
ANTOSIANIN HASIL ISOLASI BUAH SENDUDUK (*Melastoma
Malabathricum L*) YANG DIKOPIGMENTASI DENGAN ASAM
SALISILAT SEBAGAI ZAT WARNA (*SENSITIZER*)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana (S1) pada
jurusan kimia*



**ADEK INDRA
NIM. 1301789/2013**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2017**

PERSETUJUAN SKRIPSI

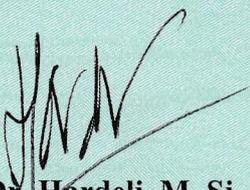
**PREPARASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) MENGGUNAKAN
ANTOSIANIN HASIL ISOLASI BUAH SENDUDUK (*MELASTOMA
MALABATHRICUM L*) YANG DIKOPIGMENTASI DENGAN ASAM
SALISILAT SEBAGAI ZAT WARNA (*SENSITIZER*)**

Nama : Adek Indra
NIM : 1301789
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

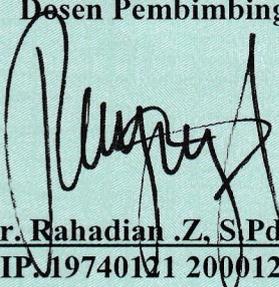
Padang, Agustus 2017

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I


Dr. Hardeli, M. Si
NIP. 19640113 199103 1 001

Dosen Pembimbing II


Dr. Rahadian .Z, S.Pd, M.Si
NIP. 19740121 200012 1 001

HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

*Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang*

Judul : Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
Menggunakan Antosianin Hasil Isolasi Buah
Senduduk (*Melastoma Malabathricum L*) yang
Dikopigmentasi dengan Asam Salisilat Sebagai Zat
Warna (*Sensitizer*)

Nama : Adek Indra

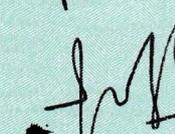
TM / NIM : 2013/1301789

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2017

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
1. Ketua	: Dr. Hardeli, M. Si	
2. Sekretaris	: Dr. Rahadian .Z, S.Pd, M.Si	
3. Anggota	: Edi Nasra, S.Si.,M.Si	
4. Anggota	: Sherly Kasuma Warda Ningsih,S.Si.,M.Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

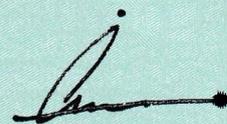
Nama : Adek Indra
TM / NIM : 2013/ 1301789
Tempat/Tanggal lahir : Kumun Mudik, 16 Januari 1995
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : RT 009, Desa Kumun Mudik, Kec. Kumun Debai, Kot. Sungai Penuh, Jambi
No. Hp/ Telpon : 082282791155
Judul Skripsi : Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Antosianin Hasil Isolasi Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum L*) yang Dikopigmentasi dengan Asam Salisilat Sebagai Zat Warna (*Sensitizer*)

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang , Agustus 2017
Yang Membuat Pernyataan



Adek Indra
NIM : 1301789

ABSTRAK

Adek Indra (2017): Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Antosianin Hasil Isolasi Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum L*) yang Dikopigmentasi Dengan Asam Salisilat sebagai Zat Warna (*Sensitizer*).

DSSC adalah salah satu sel surya yang merupakan kandidat potensial penghasil energi listrik alternatif. Absorpsi foton oleh zat warna pada DSSC mendorong terjadinya reaksi redoks yang menghasilkan energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan absorpsi foton dan efisiensi konversi cahaya ke listrik dari zat warna alami yang diekstrak dari buah senduduk. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengkopigmentasi zat warna dari ekstrak senduduk dengan penambahan asam salisilat sebagai kopigmen sehingga terbentuk senyawa antosianin yang lebih kompleks. Senyawa yang lebih kompleks ini akan meningkatkan kemampuan absorpsi foton dari zat warna antosianin ekstrak senduduk karena jumlah ikatan rangkap π yang akan lebih banyak. Hasil dari karakterisasi UV-Vis dan FTIR terhadap molekul antosianin dengan penambahan asam salisilat didapat lebar spektrum absorpsi 400-630 nm dengan panjang gelombang maksimum (λ_{max}) 590 nm dan adanya puncak vibrasi di $735,14 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya substitusi orto para dari asam salisilat pada molekul antosianin. Hasil karakterisasi XRD dan UV-DRS terhadap lapisan tipis TiO_2 *photocathode* didapat puncak difraksi yang tinggi dengan ukuran kristal berkisar antara 27,377-64,738 nm dengan struktur anatase dan lebar spektrum absorpsi 200-950 nm. Hasil Konversi energi listrik diperoleh efisiensi tertinggi pada perbandingan antosianin dan kopigmen asam salisilat pada 1:2 yaitu 1,32 %, kuat arus 0,1057 A, tegangan 467 mV dan daya maksimum $394,9 \text{ Watt/m}^2$ dengan luas area $1,25 \text{ cm}^2$.

Kata Kunci: Antosianin, Asam Salisilat, Buah Senduduk, Efisiensi, Kopigmentasi, Sel Surya DSSC, Titanium Dioksida.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis Ucapkan Atas Kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Antosianin Hasil Isolasi Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum L*) yang Dikopigmentasi dengan Asam Salisilat Sebagai Zat Warna (*Sensitizer*)**. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir 2 pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada :

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si sebagai Pembimbing I dan Penasihat Akademik.
2. Bapak Dr. Rahadian Z, M.Si. sebagai Pembimbing II.
3. Bapak Dr.rer.nat. Jon Efendi, M.Si, Bapak Edi Nasra, M.Si dan Ibu Sherly Kasuma Warda Ningsih, M.Si sebagai Dosen Pembahas.
4. Bapak Dr. H. Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia.
5. Bapak Edi Nasra, S.Si., M.Si sebagai Sekretaris Jurusan Kimia.
6. Bapak Hary Sanjaya, S.Si.,M.Si sebagai Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP.
7. Seluruh Staf Pengajar dan tenaga Administrasi di Jurusan Kimia FMIPA UNP.
8. Pranata Labor Pendidikan (PLP) Kimia FMIPA, yang telah memberikan bantuan dalam pembuatan skripsi.

9. Semua pihak lain dan teman-teman kimia tahun 2013 yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini.

10. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal 'Alamin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum lengkap dan sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan masukan dan saran dari para pembaca semoga skripsi ini bermanfaat.

Padang, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	5
D. Perumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
A. Buah Senduduk (<i>Melastoma malabthricum L</i>).....	8
B. Asam Salisilat	8
C. Antosianin.....	9
D. Kopigmentasi	10
E. Sel Surya DSSC.....	14
1. Pengertian DSSC.....	14
2. Penyusunan Dan Struktur DSSC.....	15
Struktur DSSC dapat dilihat pada Gambar 5.	15
3. Cara Kerja DSSC	18
F. Instrument Yang Digunakan.....	19
1. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	19
2. <i>Ultraviolet Visible</i> (UV-VIS) dan UV-DRS	20
3. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	20
4. Multimeter	21
G. Performansi Dari DSSC.....	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	23
A. Jenis Penelitian, Waktu Dan Tempat Penelitian.....	23
B. Objek Penelitian.....	23

C. Variabel Penelitian.....	23
D. Alat Dan Bahan.....	24
1. Alat	24
2. Bahan.....	24
E. Prosedur Kerja	24
1. Ekstraksi Buah Seduduk (<i>Melastoma Malabthricum L</i>)	24
2. Penentuan Jumlah Kopigmen.....	25
3. Kopigmentasi Antosianin.....	26
4. Persiapan Substrat ITO.....	26
5. Preparasi Pasta TiO ₂	26
6. Persiapan Elektrolit Semi Padat	27
7. Preparasi <i>Counter</i> Elektroda Karbon	27
8. Perakitan DSSC.....	27
9. Pengujian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Preparasi DSSC	30
B. Karakterisasi Zat Warna Pada DSSC	31
1. Karakterisasi zat warna dengan spektrofotometer UV–VIS	31
2. Karakterisasi dengan FTIR.....	34
C. Karakterisasi Lapisan Tipis TiO ₂	35
1. Analisa XRD struktur dan ukuran kristal lapisan tipis TiO ₂	35
3. Pengukuran UV-DRS absorpsi lapisan tipis <i>photocathode</i> TiO ₂ /Dye	38
D. Perhitungan Efisiensi	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
A. Kesimpulan	45
B. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Tanaman Senduduk.....	8
2. Struktur Antosianin.....	9
3. Keseimbangan Antosianin Pada Berbagai pH.....	12
4. Reaksi Kopigmentasi Antosianin.....	13
5. Struktur Dari DSSC.....	14
6. Struktur Alotropik TiO ₂	15
7. Skema Kerja Dari DSSC.....	17
8. Spektra UV–Vis Dari Sampel Zat Warna.....	32
9. Spektrum FTIR Ekstrak Antosianin.....	34
10. Pola XRD TiO ₂ Degusa P-25.....	36
11. Spektrum Absorpsi UV-DRS Photocathode TiO ₂ / <i>dye</i>	39
12. Pengaruh Waktu dan Lama Penyimpanan Terhadap Tegangan.....	41
13. Pengaruh Waktu dan Lama Penyimpanan Terhadap Kuat Arus.....	42
14. Pengaruh Waktu dan Lama Penyimpanan Terhadap Efisiensi.....	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Substitusi Gugus Fungsi Pada Molekul Antosianin.....	9
2. Disain Penelitian	23
3. Jumlah Kopigmen yang ditambahkan Pada Kopigmentasi.....	30
4. Hasil Karakterisasi FTIR.....	33
5. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Kopigmentasi Terhadap Tegangan.....	39
6. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Kopigmentasi Terhadap Kuat Arus	38
7. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Kopigmentasi Terhadap Efisiensi	38

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Diagram Alir Prosedur Kerja Secara Keseluruhan	47
2. Ekstraksi Antosianin Buah Senduduk	48
3. Penentuan Jumlah Kopigmen Pada Kopigmentasi	49
4. Kopigmentasi Antosianin	50
5. Preparasi Kaca ITO	51
6. Preparasi Pasta TiO ₂	52
7. Persiapan Elektrolit Semi Padat	53
8. Preparasi <i>Counter</i> Elektroda	54
9. Preparasi DSSC	55
10. Perhitungan Jumlah Kopigmen Yang Ditambahkan	56
11. Data Hasil Pengukuran XRD Dan Perhitungan Ukuran Kristal	58
12. Data hasil karakterisasi UV-DRS	61
13. Data Hasil Pengujian DSSC	70

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi umat manusia. Penggunaan energi fosil pada saat ini sangat tinggi dan akibatnya semakin lama bahan bakar fosil akan semakin menipis ketersediaannya. Permintaan global untuk energi serta permasalahan lingkungan yang dihadapi beberapa tahun terakhir juga telah menuntut para peneliti untuk mengembangkan energi yang mempunyai prospek yang baik dan ramah lingkungan.

Energi matahari adalah alternatif yang paling potensial untuk dikembangkan khususnya di wilayah Indonesia. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* merupakan sel surya pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik generasi III yang dikembangkan pertama kali oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991 (Gratzel, 1991). DSSC banyak dikembangkan karena sifatnya yang mudah diperbaharui, tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi, biaya produksi rendah, relatif stabil serta proses produksi yang ramah lingkungan (Hara dan Arakawa, 2003).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) memiliki beberapa komponen penting yang secara intensif diteliti dan dikembangkan yaitu lapisan tipis dari semikonduktor titanium dioksida dan zat warna (*dye*) (Sutrisno, 2010). Lapisan tipis semikonduktor titanium dioksida dalam penelitian ini dilakukan pelapisan pada kaca *Indium Thin Oxide (ITO)*. Pelapisan dilakukan dengan metode *spin coating* dengan kecepatan 2500 rpm selama 60 detik dengan kalsinasi sampai temperatur 450⁰C (Arista *et al.*, 2016). Metode *spin coating* dipilih karena

menurut penelitian Arista *et al* (2016) hasil yang didapat lebih baik karena homogenitas TiO₂ fase anatase terkalsinasi dengan baik pada substrat.

Zat warna (*dye*) akan menjadi fokus dalam penelitian kali ini. Zat warna pada DSSC merupakan komponen yang sangat penting dikarenakan lapisan tipis semikonduktor TiO₂ hanya mampu menyerap 5% spektrum cahaya matahari. Spektrum cahaya matahari, 5 % merupakan spektrum UV, 45 % spektrum cahaya tampak dan 50 % merupakan spektrum IR. Zat warna yang digunakan pada DSSC harus mempunyai serapan yang baik di daerah sinar tampak agar diperoleh konversi energi matahari yang optimal dari sel surya DSSC (Sutrisno, 2010).

Zat warna sintetis yang digunakan seperti *Ruthenium-complex* masih belum ideal pada DSSC walaupun efisiensi yang didapat lebih dari 10 % karena kemampuannya menyerap di daerah tampak dekat IR (Ito, 2011). Zat warna *Ruthenium-complex* memerlukan biaya yang tinggi dalam sintesisnya dan juga perlunya uji toksisitas sebelum bisa digunakan sehingga kurang ramah lingkungan jika digunakan (Ito, 2011).

Zat warna yang akan menjadi fokus penelitian ini adalah zat warna alami. Zat warna alami merupakan zat warna relatif terjangkau, mudah didapat dan ramah lingkungan walaupun efisiensi yang didapat masih kecil (Ito, 2011). Antosianin merupakan salah satu zat warna alami yang banyak digunakan. DSSC menggunakan zat warna alami seperti antosianin telah banyak dikembangkan seperti zat warna dari ubi jalar ungu efisiensi 0,11%, buah naga efisiensi 0,240 %, bunga rosella dengan efisiensi 0,30%, daun bayam dengan efisiensi 0,304 %, beras ketan hitam dengan efisiensi 0,405% (Hardeli *et al.*, 2013) dan lain-lain.

Antosianin merupakan salah satu zat warna alami yang telah menarik perhatian untuk dikembangkan sebagai fotosensitizer pada DSSC. Antosianin telah diketahui dapat membentuk suatu senyawa yang lebih kompleks ketika berinteraksi dengan senyawa organik lain melalui reaksi kopigmentasi. Kopigmentasi antosianin merupakan interaksi antosianin dalam bentuk kation flavilium dengan suatu kopigmen yang dapat berupa logam atau senyawa organik (Lestario dan Andini, 2015). Kopigmentasi antosianin dapat diketahui dari adanya efek batokromik yaitu terjadinya pergeseran absorpsi panjang gelombang maksimum ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang (Lestario dan Andini, 2015). Penelitian ini menggunakan ekstrak antosianin dari buah seduduk (*Melastoma malabthricum L*) sebagai zat warna (*dye*) yang digunakan dalam DSSC. Buah seduduk (*Melastoma malabthricum L*) digunakan sebagai *dye* karena buah seduduk selain mengandung antosianin tinggi juga cukup mudah diperoleh di daerah–daerah tropis seperti sumatra barat.

Buah seduduk yang akan digunakan dalam penelitian ini akan diekstraksi dengan *ultrasonic bath* dan miserasi selanjutnya dikopigmentasi dengan penambahan asam fenolik sebagai kopigmen. Asam fenolik seperti asam salisilat merupakan salah satu asam fenolik yang dapat digunakan sebagai kopigmen pada ekstrakantosianin (Darias *et al.*, 2001). Interaksi antosianin dengan asam fenolik termasuk *intramolecular copigmentation* dimana kopigmen menjadi bagian dari molekul antosianin atau pigmen yang dikopigmentasi. Ikatan yang terjadi antara pigmen dan kopigmen terjadi secara ikatan asilasi kovalen akibatnya bersifat lebih kuat daripada kopigmentasi intermolekular (Safitri, 2009). Struktur yang lebih

kompleks dan stabil yang terbentuk antara antosianin dengan kopigmen diharapkan mampu meningkatkan kemampuan absorpsi fotonnya.

Kopigmentasi akan lebih efisien pada pH rendah, karena dominasi utama kation flavium ($\text{pH} < 2$) namun, reaksi kopigmentasi kurang efektif dibandingkan pada pH 2-5, yaitu ketikaterjadi kesetimbangan dengan bentuk quinoidalnya (Williams dan Hrazdina, 1979). Bimplas *et al* (2016) telah melakukan penelitian tentang kopigmentasi dari antosianin pada anggur merah dengan penambahan ekstrak *origanum vulgare* dan *satureja thymbra*. Hasil pengamatan menunjukkan adanya peningkatan dari antosianin terkopigmentasi yang mencapai 30 % selama penyimpanan.

Penelitian penggunaan antosianin hasil kopigmentasi sebagai *fotosensitizer* pada DSSC juga pernah dilakukan oleh Wahyuningsih *et al* (2016) yaitu antosianin dari ekstrak kulit mangis (*Garcinia mangostana* L.). Efisiensi sel surya DSSC yang didapat dari penelitian itu adalah antosianin murni, dengan penambahan asam askorbat dan asam malat 0,1996%, 0,2922% dan 0,3029%. Efisiensi yang didapatkan masih kecil dibandingkan dengan zat warna sintetis, namun telah menunjukkan adanya pengaruh kopigmentasi terhadap efisiensi yang didapatkan.

Asam salisilat termasuk golongan asam fenolik yang dapat digunakan sebagai kopigmen. Asam salisilat dipilih karena merupakan asam fenolik memiliki struktur yang lebih kompleks dengan adanya cincin piran. Struktur kopigmen yang lebih kompleks tersebut memungkinkan terbentuknya antosianin

terkopigmentasi yang memiliki kemampuan absorpsi cahaya yang baik jika digunakan sebagai zat warna pada DSSC.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis tertarik untuk meneliti tentang penggunaan asam salisilat sebagai kopigmen pada kopigmentasi dari ekstrak pekat antosianin dari buah senduduk. Ekstrak pekat dari antosianin digunakan agar didapatkan hasil kopigmentasi yang lebih optimal. Kopigmentasi antosianin dalam penelitian kali ini akan ditentukan kondisi optimum dari reaksi kopigmentasi. Kondisi optimum yang ditentukan yaitu jumlah optimum kopigmen yang ditambahkan serta waktu optimum agar didapat efisiensi DSSC yang optimal.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang penelitian ini dapat diidentifikasi adanya permasalahan sebagai berikut :

1. Efisiensi konversi cahaya zat warna alami yang digunakan pada DSSC masih rendah.
2. Zat warna sintetis yang digunakan saat ini masih memerlukan biaya yang tinggi dalam sintesisnya serta tidak ramah lingkungan.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini lebih terfokus pada peningkatan kemampuan absorpsi foton zat warna alami yang digunakan pada DSSC.

2. Zat warna yang digunakan pada DSSC adalah antosianin dari ekstrak senduduk (*Melastoma malabathricum L.*).
3. Kopigmentasi dilakukan dengan penambahan asam salisilat sebagai kopigmen.
4. Perbandingan konsentrasi antosianin dengan asam salisilat yang digunakan adalah 1:0, 1:1, 1:2 dan 1:3.
5. Sel surya DSSC menggunakan lapisan tipis TiO₂ nanopartikel yang dilapisi dengan metode *spin coating* dengan kalsinasi sampai temperatur 450⁰C.
6. Karakterisasi menggunakan XRD, FTIR, UV-Vis dan UV-DRS.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang penelitian ini, maka penulis dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kopigmentasi dari antosianin dengan penambahan asam salisilat mempengaruhi efisiensi dari sel surya DSSC ?
2. Bagaimana hubungan jumlah asam salisilat yang ditambahkan terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan ?
3. Bagaimana lama penyimpanan campuran ekstrak antosianin yang dikopigmentasi dengan asam salisilat terhadap peningkatan efisiensi DSSC yang dihasilkan ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan efisiensi dari DSSC melalui kopigmentasi dari antosianin yang digunakan sebagai fotosensitizer.

2. Mencari kondisi optimum dari kopigmentasi antosianin yang menghasilkan efisiensi DSSC optimal.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mendapatkan zat warna alami yang mampu menghasilkan efisiensi lebih baik jika digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC.
2. Mengetahui kondisi optimum dari kopigmentasi antosianin yang menghasilkan efisiensi DSSC optimal.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II **TINJAUAN PUSTAKA**

A. Buah Senduduk (*Melastoma malabthricum L*)

Tumbuhan senduduk merupakan tanaman perdu yang tersebar di hutan Indonesia (LIPI, 2007). Tumbuhan senduduk (*Melastoma malabathricum L*) tumbuh liar pada tempat-tempat yang mendapat cukup sinar matahari, seperti di lereng gunung, semak belukar, lapangan yang tidak terlalu gersang, atau di daerah objek wisata sebagai tanaman hias.

Buah senduduk mengandung antosianin yang tinggi dan merupakan bahan yang banyak menghasilkan antioksidan, jenis antosianin yang terdapat pada buah senduduk adalah delphinidin Selain itu tumbuhan senduduk mengandung senyawa flavonoida, saponin, tanin, glikosida, steroida/triterpenoida yang berperan sebagai penyembuh luka. (Wibiani, 2012). Buah dari tanaman senduduk dapat dilihat pada Gambar 1.



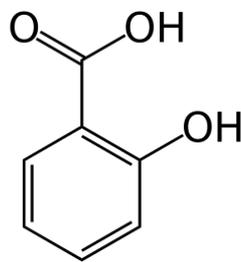
Gambar 1. Buah Seduduk (Pranama, 2013).

B. Asam Salisilat

Asam salisilat (asam ortohidroksibenzoat) merupakan asam yang bersifat iritan lokal, yang dapat digunakan secara topikal. Terdapat berbagai turunan yang

digunakan sebagai obat luar, yang terbagi atas 2 kelas, ester dari asam salisilat dan ester salisilat dari asam organik. Di samping itu digunakan pula garam salisilat. Turunannya yang paling dikenal adalah asam asetilsalisilat.

Asam salisilat merupakan jenis asam fenolik dengan bentuk padat, serbuk kristal tidak berwarna atau berwarna putih tetapi jika dibuat dari metil salisilat alami, berwarna kuning atau merah muda, tidak berbau atau sedikit berbau mint, berasa manis.



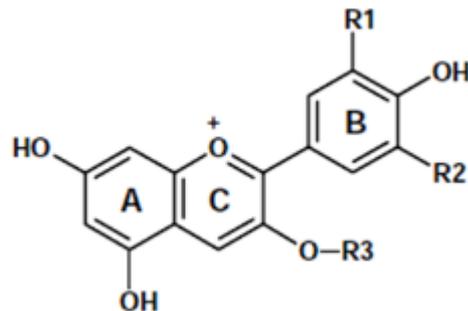
Gambar 2. Struktur asam salisilat (Siting, M., 1991).

Berat molekul 138,1 gram/mol, rumus molekul $C_7H_6O_3$, Titik sublimasi $76^{\circ}C$, Titik lebur $159^{\circ}C$ dan Kelarutan dalam air 0,2 g/100 mL pada $20^{\circ}C$, Kerapatan relatif 1,4 Kg/L (Siting, M., 1991).

C. Antosianin

Antosianin merupakan zat pewarna alami yang tergolong ke dalam golongan benzopiran. Struktur utama turunan benzopiran ditandai dengan adanya dua cincin aromatik benzena (C_6H_6) yang dihubungkan dengan tiga atom karbon yang membentuk cincin. Antosianin adalah senyawa flavonoid dan merupakan glikosida dari antosianidin yang terdiri dari *2-phenyl benzopyrilium (Flavium)* tersubstitusi, memiliki sejumlah gugus hidroksil bebas dan gugus hidroksil termetilasi yang berada pada posisi atom karbon yang berbeda.

Struktur antosianin dapat dilihat pada Gambar 2. Substitusi gugus fungsi pada molekul antosianin dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Struktur Antosianin (Duan *et al.*, 2012).

Tabel. 1 Substitusi Gugus Fungsi Pada Molekul Antosianin (Francis, F., 2002).

Antosianin	R ₁	R ₂
Definidin	OH	OH
Petunidin	OH	OCH ₃
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃
Sianidin	OH	H
Peonidin	OCH ₃	H
Pelargonidin	H	H

Substitusi beberapa gugus kimia pada rangka antosianin dapat mempengaruhi warna yang diekspresikan antosianin dan kestabilannya. Penambahan gugus glikosida atau peningkatan gugus hidroksi pada cincin A dapat dilihat pada Gambar 2, menyebabkan warna cenderung menjadi bewarna biru dan relatif tidak stabil. Sebaliknya, penambahan gugus metoksi atau metilasi akan menyebabkan warna menjadi merah dan relatif stabil (Francis, F., 2002).

D. Kopigmentasi

Kopigmentasi adalah antosianin pengabungan antosianin dengan molekul lain, yang dapat mempengaruhi stabilitas warnanya. Ada dua macam

kopigmentasi yaitu kopigmentasi intramolekuler dan kopigmentasi intermolekuler. Kopigmentasi intramolekuler adalah pengabungan antosianin dengan asam organik seperti asam sinamat yang menghasilkan antosianin terasilasi sedangkan kopigmentasi intermolekuler adalah pengabungan antosianin dengan senyawa flavonoid (Lestario dan Andini, 2015).

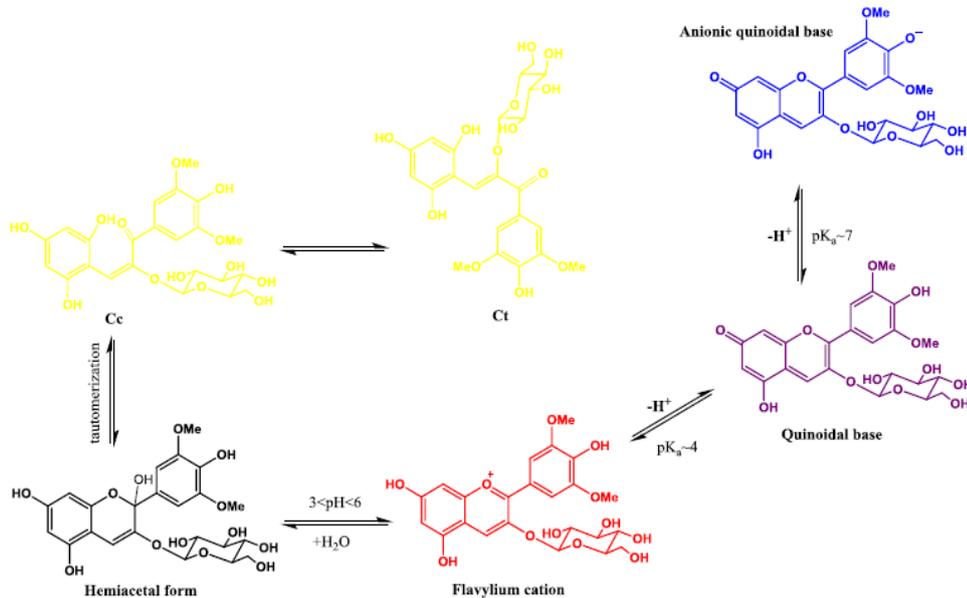
Kopigmentasi Terjadi diketahui melalui adanya efek batokromik yaitu pergeseran absorbansi maksimum ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi (visible) (Lestario dan Andini, 2015). Stabilitas warna antosianin dapat dipertahankan atau ditingkatkan dengan reaksi kopigmentasi. Kopigmentasi telah diamati pada pigmen dari buah anggur, malvidin 3-glukosida dengan penambahan tanin dan asam salisilat. Kopigmentasi adalah interaksi antara struktur antosianin dengan molekul lain seperti logam (Al^{3+} , Fe^{3+} , Sn^{3+} , Cu^{3+}) dan molekul organik lain seperti organik lain seperti senyawa flavanoid lain (flavon, flavanon dan flavonol), senyawa alkaloid (kafein), dan sebagainya. Kopigmentasi dengan logam dan molekul organik lain cenderung meningkatkan stabilitas warna antosianin.

Kopigmentasi secara alami dapat memperbaiki warna antosianin pada produk pangan, dimana stabilitas dan kekuatan warna antosianin dapat ditingkatkan dengan penambahan ekstrak dari tanaman yang berbeda yang kaya akan kopigmen. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa pengaruh kopigmentasi memperkuat dan lebih menstabilkan warna jus berry dari pada warna jus berry tanpa perlakuan kopigmentasi. Fenomena kopigmentasi ditunjukkan sebagai efek batokromik yaitu pergeseran absorpsi panjang

gelombang maksimumnya dalam jarak visibel peningkatan panjang gelombang dimana juga disebut sebagai *bluing effect*, seperti warna antosianin berubah dari merah menjadi merah kebiruan karena kopigmentasi atau efek hiperkromik dimana dalam hal ini intensitas warna antosianin diperkuat dengan kopigmentasi (Jackman, R.L dan Smith, J.L., 1996).

Stabilitas antosianin dapat diperbaiki dengan kopigmentasi baik secara intramolekular dan intermolekular. Interaksi intramolekuler dapat terjadi bila terdapatnya asam organik (gugus asil aromatik) atau flavanoid atau kombinasi keduanya yang berikatan secara kovalen dengan antosianin. Interaksi intermolekular senyawa flavonoid, asam amino, dan beberapa senyawa fenolik berikatan lemah secara hidrofobik dengan antosianin ataupun mentransferkan elektron kepada inti flavilium antosianin yang miskin akan elektron. Berdasarkan penyusunannya interaksi secara intramolekular terbagi atas 2 yaitu mono-asilasi pigmen dan di-asilasi pigmen, sedangkan interaksi secara intermolekular terbagi atas 2 yaitu kopigmentasi dan *self association* (Santoso dan Estiasih, 2014).

Kesetimbangan antosianin pada berbagai nilai pH dapat dilihat pada Gambar 3.

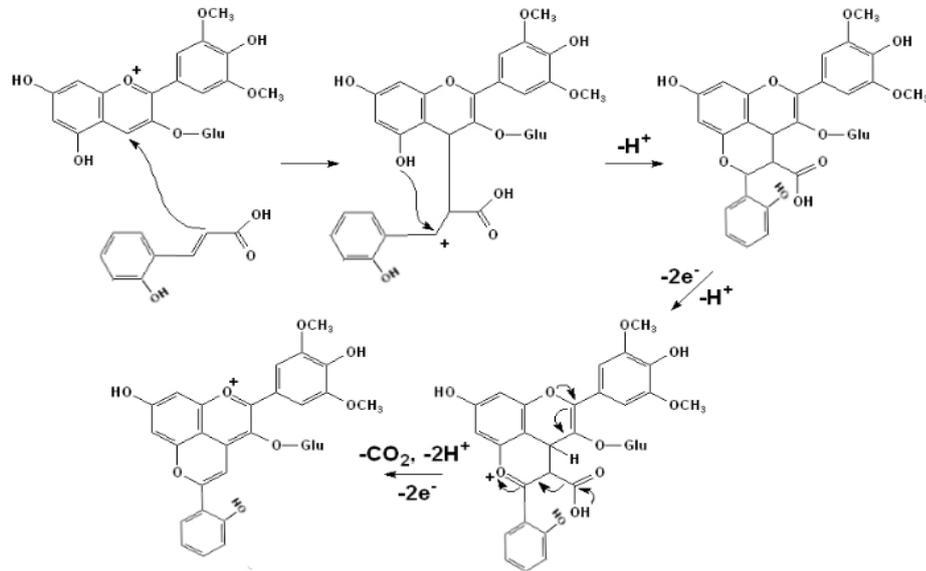


Gambar 3. Kesetimbangan antosianin pada berbagai pH (Oliviera *et al.*, 2014).

Senyawa yang digunakan untuk proses kopigmentasi disebut dengan kopigmen. Kopigmen adalah suatu senyawa yang tidak berwarna yang biasanya terdapat secara alami dalam sel tanaman. Kebanyakan studi menyatakan kopigmen yang paling sering dipakai adalah golongan flavanoids termasuk didalamnya adalah flavon, flavono dan flavanol, selain itu asam fenolik dan asam amino juga dapat dipakai sebagai kopigmen. Kopigmen merupakan sebuah senyawa dimana senyawa tersebut memperbaiki koordinasi antara pigmen satu dengan pigmen yang lain sehingga menguatkan pigmen tersebut sehingga kestabilan lebih terjaga.

Kopigmentasi langsung antosianin dengan asam fenolik yang membentuk interaksi intramolekuler. Gambar 4 merupakan salah satu contoh reaksi antosianin dengan suatu kopigmen yaitu antara antosianin dengan kopigmen.

Reaksi kopigmentasi antosianin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Reaksi kopigmentasi antosianin (Duan *et al.*, 2012).

E. Sel Surya DSSC

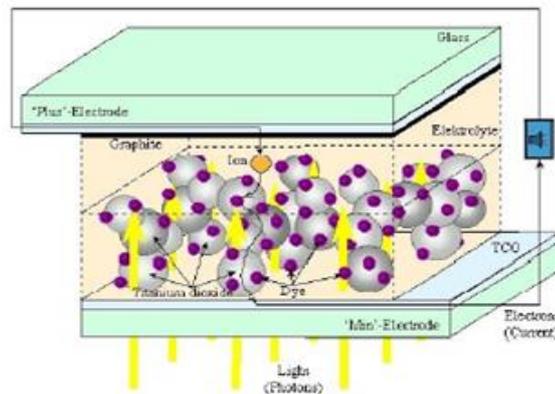
1. Pengertian DSSC

Sel fotovoltaik generasi ke-II yang menggunakan semikonduktor TiO_2 atau ZnO sebagai komponen semikonduktor yaitu sel fotovoltaik berbasis zat pewarna (*Dye Sensitized Solar Cells/ DSSC*) atau sel Grätzel.

Sifat fisis dan kimia dari TiO_2 bergantung pada ukuran, morfologi dan struktur kristalnya. TiO_2 memiliki tiga bentuk kristal yaitu anatase, rutile, dan brookite. Kristal TiO_2 fase anatase memiliki kemampuan yang lebih aktif daripada rutile. Anatase dianggap sebagai fase yang paling menguntungkan untuk fotokatalisis dan konversi solar energi. TiO_2 hanya mampu menyerap sinar ultraviolet 350-380 nm. Peningkat kanserapan spektra TiO_2 di daerah tampak membutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai *sensitizer* (Ekasari, V. dan Yudoyono, G., 2013).

2. Penyusunan Dan Struktur DSSC

Penyusunan struktur DSSC biasanya membentuk sandwich. Material penyusun *Dye Sensitized Solar cell* (DSSC) antara lain elektroda kerja yang terdiri dari substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO), *Titanium Dioxide* (TiO_2), *dye* alami dan elektroda pembanding (elektroda karbon) yang terdiri dari substrat dan karbon/grafit, dan elektrolit diantara kedua elektroda (Kumara, M.S.W dan Prajito., W, 2012). Struktur DSSC dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur dari DSSC (Ekasari dan Yudoyono, 2013).

Berikut bagian bagian dari DSSC :

a. Substrat

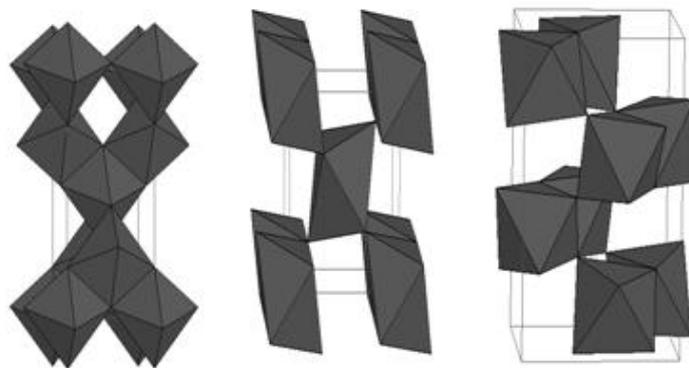
Material substrat yang terbuat dari kaca tembus cahaya berfungsi sebagai badan dari DSSC sedangkan bagian konduktifnya berfungsi sebagai tempat terjadinya aliran elektron yang menimbulkan perbedaan potensial akibatnya timbul arus listrik dari arah berlawanan sehingga dapat disebut kaca konduktif (Septina *et al.*, 2007:14). Material yang digunakan sebagai kaca konduktif diantaranya adalah *indium tin oxide* (ITO) dan *fluorinated tin oxide* (FTO). Penelitian ini menggunakan *indium tin oxide* (ITO) sebagai kaca

konduktif yang memiliki lebar celah pita (3,5-4,3 eV), karena memiliki sifat tembus cahaya, penghantar listrik yang baik, memiliki daya lekat dengan substrat yang baik, kekerasan yang baik serta bersifat inert (An, 2004).

b. Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) juga bisa disebut sebagai titania atau titanium (IV)oksida yang merupakan bentuk oksida dari titanium. Secara kimia, dapat dituliskan sebagai TiO_2 . Titanium dioksida adalah material berpori yang mempunyai luas permukaan yang besar dengan struktur permukaan yang terkontrol, sehingga mampu meningkatkan reaksi permukaan dan memiliki kemampuan transpor elektron yang tinggi. Titanium dioksida fasa anatas dimanfaatkan secara luas sebagai pigmen, UV absorber, coating, fotokatalis dan elektroda dalam sel surya. Partikel TiO_2 murni merupakan padatan berwarna putih dan memiliki titik lebur $1855\text{ }^\circ\text{C}$, bersifat asam, tidak larut dalam air, asam klorida, asam sulfat encer dan alkohol, tapi larut dalam asam sulfat pekat dan asam fluorida (Beltran *et al.*, 2006).

Struktur alotropik TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur alotropik TiO_2 (Beltran *et al.*, 2006).

Kemampuan fotoaktivitas dari semikonduktor titania dipengaruhi oleh morfologi, luas permukaan, kristalinitas dan ukuran partikel. Fasa anatase diketahui lebih fotoaktif daripada fasa rutil. Hal ini disebabkan karena energi celah pita (E_g) anatase lebih tinggi (3,2 eV) dari pada E_g rutil (3,0 eV) (Beltran *et al.*, 2006).

c. Zat Warna

Zat warna yang sering digunakan adalah *ruthenium complex* yang telah teruji memberikan efisiensi yang tinggi terhadap sel surya DSSC namun agak sulit untuk disintesa dan umumnya memerlukan biaya yang tinggi, sedangkan penggunaan zat warna alami yang memiliki biaya yang rendah masih memberikan efisiensi yang rendah misalnya antosianin (Maddu *et al.*, 2007).

d. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan untuk DSSC umumnya menggunakan elektrolit cair dan elektrolit semi padat yang biasanya terdiri atas pasangan redoks I^- dan I_3^- perbedaannya adalah elektrolit semi padat menggunakan polimer polietilen glikol (PEG). Polietilen glikol (PEG) merupakan polimer sintetik dari etilen oksida untuk mengatasi kekurangan elektrolit cair yang mudah bocor.

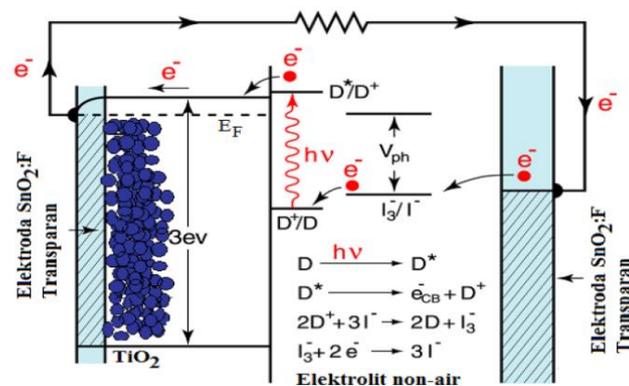
e. *Counter* Elektroda

Counter elektroda berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. *Counter* elektroda yang biasa digunakan adalah platina karena memiliki kemampuan katalitik yang tinggi. Platina membutuhkan biaya yang tinggi dan fabrikasi yang sulit, untuk

itu telah dikembangkan Kay dan Gratzel DSSC counter elektroda dari karbon. *Counter* elektroda dari karbon memiliki sifat mirip dengan platina dan memiliki kemampuan katalitik yang baik (Septina, 2007).

3. Cara Kerja DSSC

Proses pertama yaitu terjadinya eksitasi elektron pada molekul dye akibat absorpsi foton. Elektron dari keadaan tereksitasi akan terinjeksi menuju pita konduksi titania sehingga molekul *dye* teroksidasi. Elektrolit (I^-) memberikan elektron pada molekul *dye* sehingga kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi (Sutrisno, H., 2010). Skema kerja dari DSSC dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema kerja dari DSSC (Sutrisno, H., 2010).

Elektron yang tereksitasi pada DSSC akan bergerak mencapai elektroda TCO, kemudian mengalir menuju *counter* elektroda melalui rangkaian eksternal. Karena pada counter-elektroda terdapat katalis, maka elektron diterima oleh elektrolit. Elektron selanjutnya tersebut akan berekombinasi dengan *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻) akibat donor elektron pada proses sebelumnya membentuk iodide (I⁻). Iodide ini digunakan sebagai donor elektron bagi *dye* yang

teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Siklus ini memungkinkan terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Prasetyowati, R., 2012).

F. Instrument Yang Digunakan

1. X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar X (*X-Ray diffraction*) atau yang sering dikenal XRD merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta ukuran partikel (Purbo *et al.*, 2009) semakin kecil ukuran partikel maka semakin bagus hasil yang didapatkan untuk efisiensi dari DSSC diakibatkan banyaknya molekul zat warna yang teradsorpsi pada permukaan.

Difraksi sinar X berguna untuk mengetahui fasa kristal dari TiO₂ apakah anatase, rutil atau brookite karena fasa kristal akan mempengaruhi fotoaktif dari DSSC. Selain itu juga untuk mengetahui derajat kristalinitas yang baik, maka proses difusi elektron di TiO₂ akan lebih cepat yang implikasinya proses transfer elektron untuk DSSC secara keseluruhan akan lebih tinggi sehingga akan meningkatkan efisiensi sel surya.

2. Ultraviolet Visible (UV-VIS)

Teknik spektroskopi pada daerah ultraviolet atau sinar tampak biasa disebut spektroskopi UV-VIS. Analisis spektroskopi ini menggunakan radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dari sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Dari spektrum absorpsi dapat diketahui panjang gelombang dengan absorpsi maksimum dari suatu unsur atau senyawa. Konsentrasi suatu unsur atau senyawa juga dengan mudah dapat diketahui. Absorpsi cahaya UV-VIS mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi.

Daerah UV yang paling banyak penggunaannya secara analitik mempunyai panjang gelombang 200–380 nm dan disebut sebagai UV pendek (dekat). Sedangkan panjang gelombang daerah tampak (*visible*) berkisar antara 380-780 nm. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-VIS akan menghasilkan spektrum berupa panjang gelombang lawan absorbansi. Energi celah pita dihitung menggunakan panjang gelombang maksimum. Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semikonduktor dengan energi celah pita (E_g) 3,0-3,2 eV dan transparan di daerah sinar tampak. Kristalinitas memiliki E_g 3,2 eV lebih besar dibandingkan kristal rutil ($E_g = 3,0$ eV).

3. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Spektroskopi inframerah adalah ilmu yang mempelajari interaksi sinar inframerah dan materi. Hampir setiap senyawa yang memiliki ikatan kovalen, apakah senyawa organik atau anorganik akan menyerap berbagai frekuensi radiasi elektromagnetik dalam wilayah spektrum inframerah. Spektrum inframerah

adalah alat yang sensitif terhadap kehadiran gugus fungsi kimia dalam suatu sampel, seperti gugus C=O, CH₃, C=C, dan lain lain. Penggunaan spektrum inframerah untuk penentuan struktur senyawa organik biasanya antara 650-4000 cm⁻¹ (15,4 – 2,5 μm) (Irma, M dan Isniyetti, 2012).

Penggunaan spektroskopi FTIR banyak digunakan untuk identifikasi suatu senyawa. Hal ini disebabkan spektrum FTIR bersifat khas, artinya senyawa yang berbeda akan memiliki spektrum yang berbeda pula. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki senyawa tersebut. Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada pada *pyranomalvidin-3-O-glucoside-phenol* dari yang diekstraksi zat warna anggur yang difermentasi sebelumnya.

4. Multimeter

Multimeter adalah alat ukur dalam bidang elektronika yang penggunaannya adalah untuk mengukur tegangan DC, mengukur tegangan AC, mengukur arus DC, mengukur tahanan (ohm), mengukur nilai kapasitansi kapasitor (Farad) dan memeriksa keadaan suatu komponen masih atau tidak dan digunakan pada trouble shooting suatu peralatan elektronik (Prawiroedjo, 2006 : 68).

G. Performansi Dari DSSC

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan dan arus. Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik pada DSSC merupakan daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC, selain itu dari proses

produksi yang simpel serta bahan produksi yang murah dan bersifat komersial. Konversi energi matahari menjadi energi listrik menghasilkan arus listrik dan tegangan. Nilai arus listrik dan tegangan ini dapat diukur dengan menggunakan suatu alat yang disebut multimeter digital. Sedangkan besarnya efisiensi DSSC yang dihasilkan dapat dihitung menurut hubungan :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100 \%$$

P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh DSSC dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. Daya maksimum diberikan oleh hubungan :

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max}$$

V_{max} adalah voltase maksimum yang dihasilkan oleh DSSC dan I_{max} adalah arus maksimum yang dihasilkan (Maddu *et al.*, 2007).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kuat arus, tegangan, daya dan efisiensi tertinggi diperoleh pada perbandingan konsentrasi antosianin dan asam salisilat 1:2 dengan lama penyimpanan ekstrak 24 jam yaitu 0,1057 mA, 467 mV, 395,2 Watt/m² dan 1,32 %.
2. Konsentrasi dan waktu optimum kopigmentasi antosianin untuk aplikasi sebagai fotosensitizer diperoleh pada perbandingan konsentrasi 1:2 dan lama penyimpanan 24 jam.

B. Saran

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disarankan untuk :

1. Lebih dikaji penggunaan kopigmen lain seperti ion logam dan flavonoid yang juga dapat digunakan sebagai kopigmen.
2. Perlu dikaji dengan suatu instrumen tertentu untuk melihat bagaimana interaksi molekul zat warna dengan TiO₂.
3. Perlunya dikaji lebih lanjut pada zat warna alami lain yang juga dapat mengalami reaksi kopigmentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardianto, R., Nugroho, W.A dan Sutan, S.M. 2015. *Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil Nannochloropsis Sp. Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO₂*. Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem.
- Arista, A. 2016. *Sintesis Lapisan TiO₂ Pada Substrat ITO Menggunakan Metode Elektrodeposisi dan Spin Coating*. Jurnal Ilmu Fisika (Jif).
- Asen, S., Stewart, R.N., and Norris, K.H. 1972. *Copigmentation of Anthocyanins in Plant Tissues and its Effect on Color*. Helsinki University. Helsinki.
- Beltran. 2006. *Nanostructure Hybrid Solar Cells Based on Self-assembled Mesoporous Titania Thin Films*. Journal Chemistry of Material.
- Bimplas A dan Oreopaulou V. 2016. *Anthocyanin Copigmentation and Color of Wine: The Effect of Naturally Obtained Hydroxycinnamic Acids as Cofactors*. Food Chemistry.
- Boulton, R. 2001. *The Copigmentation of Anthocyanins and its Role in The Color of Red Wine*. American Journal of Enology and Viticulture.
- Charley, H. 1970. *Food Science*. New York: John Willey and Sons Inc.
- Coates, J. 2014. *Interpretation of Infrared Spectra*. Newtown, USA : John Wiley & Sons.
- Darias-Martin, J., Carrillo, M., Diaz, E., & Boulton, R. B. 2001. *Enhancement of Red Wine Colour by pre-fermentation Addition of Copigments*. Food Chemistry.
- Duan, Q.C., He,.F., Liang,.N., and Wang, J. 2012. *Anthocyanins and Their Variation in Red Wines I. Monomeric Anthocyanins and their Color Expression*. Molecules.
- Ekasari, V., Yudoyono, G. 2013. *Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating*. Jurnal Sains dan Seni Pomits.
- FAO. Global Forest Resources Assessment. 2005. *Progress Towards Saustainable Forest Management. 147 of FAO Forestry Paper*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.