

**ELEKTRODEPOSISI Cu PADA TiO₂ DAN APLIKASINYA
UNTUK *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
BERBASIS *DYE* DARI BUAH SENDUDUK
(*Melastoma malabathricum* L.)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh
Sarjana Sains*



Oleh :

RAHMANETA LULI

NIM. 15036055 / 2015

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

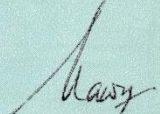
PERSETUJUAN SKRIPSI

ELEKTRODEPOSISI Cu PADA TiO_2 DAN APLIKASINYA UNTUK *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) BERBASIS *DYE* DARI BUAH SENDUDUK (*Melastoma Malabathricum. L*)

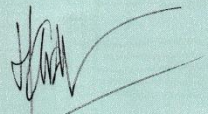
Nama : Rahmaneta Luli
NIM : 15036055
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2019

Mengetahui :
Ketua Jurusan Kimia


Dr. Mawardi, M.Si
NIP. 196111231989031002

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing


Dr. Hardeli, M.Si
NIP. 196401131991031001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Rahmaneta Luli
NIM : 15036055
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ELEKTRODEPOSISI Cu PADA TiO₂ DAN APLIKASINYA UNTUK DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBASIS DYE DARI BUAH SENDUDUK (*Melastoma Malabathricum. L*)

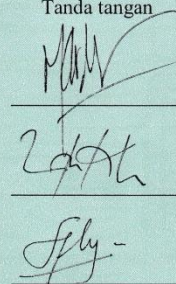
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dr. Hardeli, M.Si
Anggota	: Umar Kalmar Nizar, M.Si, Ph.D
Anggota	: Dra. Sri Benti Etika, M.Si

Tanda tangan



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rahmaneta Luli
NIM/BP : 15036055/2015
Tempat/Tanggal Lahir : Tarantang / 9 September 1996
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Pasar Balai Limau Purut

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Elektrodeposisi Cu pada TiO_2 dan Aplikasinya untuk Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis Dye dari Buah Senduduk (*Melastoma Malabathricum* L.)**" adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim. Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum negara yang berlaku, baik di Universitas Negeri Padang maupun masyarakat dan negara. Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, Agustus 2019

Yang membuat pernyataan



Rahmaneta Luli
NIM. 15036055

**Elektrodeposisi Cu pada TiO₂ dan Aplikasinya untuk *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbasis *Dye* dari Buah Senduduk
(*Melastoma Malabathricum* L.)**

Rahmaneta Luli

ABSTRAK

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya organik yang telah banyak dikembangkan. Penggunaan *dye* dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat pada DSSC mampu meningkatkan efisiensi DSSC, namun efisiensi yang dihasilkan belum cukup tinggi untuk dikembangkan lebih lanjut menjadi sumber energi alternatif. Untuk itu perlu dilakukan upaya lain untuk menghasilkan DSSC dengan efisiensi yang cukup tinggi yaitu dengan memodifikasi lapisan semikonduktor TiO₂. Modifikasi dilakukan dengan cara elektrodeposisi Cu pada lapisan TiO₂. Elektrodeposisi Cu mengakibatkan terbentuknya kontak logam pada lapisan TiO₂. Kontak logam pada lapisan TiO₂ dapat mengurangi proses rekombinasi dan mempercepat aliran elektron, sehingga modifikasi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi DSSC.

Penelitian ini diawali dengan preparasi zat warna buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat. Dilanjutkan dengan preparasi lapisan TiO₂ menggunakan metode *doctor blade* dan elektrodeposisi Cu pada lapisan TiO₂ (TiO₂-Cu). Lapisan TiO₂-Cu direndam dalam zat warna, kemudian dilakukan perakitan DSSC dengan membentuk struktur *sandwich* yang saling berhadapan antara elektroda kerja dan *counter* elektroda karbon. Kedua elektroda pada area *off set* dijepit dengan *binder clip* dan pada celah antara kedua elektroda tersebut di teteskan elektrolit. DSSC siap untuk di uji. Karakterisasi lapisan dilakukan menggunakan XRD dan karakterisasi zat warna dilakukan menggunakan FTIR UV-Vis.

Hasil karakterisasi lapisan menggunakan XRD menampilkan pola-pola difraksi yang menunjukkan terbentuknya kristal TiO₂ berfase anatase pada lapisan TiO₂ dan TiO₂-Cu. Ukuran kristal TiO₂ yang lebih kecil terlihat pada lapisan TiO₂-Cu. Karakterisasi zat warna menggunakan FTIR menunjukkan adanya gugus spesifik dari antosianin dan menggunakan UV-Vis memperlihatkan adanya pengeruh kopigmentasi terhadap daerah serapan zat warna. Variasi waktu dan tegangan elektrodeposisi mempengaruhi efisiensi DSSC. Efisiensi tertinggi dihasilkan pada tegangan 1 volt dan waktu 10 detik yaitu sebesar 4.43%.

Kata Kunci : DSSC, TiO₂, Cu, elektrodeposisi

**Electrodeposition Cu on TiO₂ and Its Application for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Based on Dye from Senduduk Fruits
(*Melastoma malabathricum* L.)**

Rahmaneta Luli

ABSTRACT

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) is a highly developed organic solar cell. The use of dye from senduduk fruit copigmented of salisilyc acid in DSSC is able to increase the efficiency of DSSC, but the resulting efficiency is not high enough to be developed further into an alternative energy source. For this reason, other efforts need to be made to produce DSSC with quite high efficiency by modifying the TiO₂ semiconductor layer. Modifications were carried out by electrodeposition of Cu in the TiO₂ layer. Cu electrodeposition results in the formation of metal contacts in the TiO₂ layer. Metal contacts in the TiO₂ layer can reduce the recombination process and accelerate the flow of electrons, so this modification is expected to be able to improve the efficiency of DSSC.

The research was begun with the preparation of dye from senduduk fruit copigmented of salisilyc acid. Followed by the preparation of the TiO₂ layer using the doctor blade method and Cu electrodeposition in the TiO₂ (TiO₂-Cu) layer. TiO₂-Cu layer is immersed in a dye, then DSSC assembly is done by forming a sandwich structure that faces each other between the working electrode and the carbon electrode counter. The two electrodes in the off set area are clamped with the binder clips and the gap between the two electrodes is electroplated. DSSC is ready to be used. Layer characterization was carried out using XRD and dye characterization was carried out using UV-Vis and FTIR.

The results of the characterization of layers using XRD display diffraction patterns that show the formation of anatase TiO₂ crystals in the TiO₂ and TiO₂-Cu layers. The smaller size of TiO₂ crystals is seen in the TiO₂-Cu layer. The characterization of dyes using FTIR showed the presence of a specific group of antosiain and using UV-Vis showed the presence of copigmentation influences on the area of absorption of the dye. Electrodeposition time and voltage variations affect DSSC efficiency. The highest efficiency is produced at 1 volt voltage and 10 second which is 4.43%.

Keywords: *DSSC, TiO₂, Cu, electrodeposition*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Elektrodeposisi Cu pada TiO₂ dan Aplikasinya untuk Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis Dye dari Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum* L.)**. Skripsi ini diajukan guna memperoleh Sarjana Sains 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 dan Penasehat Akademik.
2. Ibu Dra. Sri Benti Etika, M.Si sebagai Dosen Pembahas 1.
3. Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si., Ph.D sebagai Dosen Pembahas 2.
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 UNP
9. Semua pihak lain dan teman-teman kimia tahun 2015 yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini.
10. Kedua Orangtua 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 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
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. Sel Surya	8
B. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	9
1. DSSC Secara Umum	9
2. Penyusunan dan Struktur DSSC.....	9
3. Cara Kerja DSSC.....	14
4. Efisiensi DSSC	15
C. Kopigmentasi Antosianin Buah Senduduk.....	16
D. Elektrodeposisi Cu pada TiO ₂	19
E. Instrument yang Digunakan.....	22
1. XRD.....	22
2. UV-Vis	23
3. Forier Transform Infrared (FTIR)	23
4. Multimeter	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
A. Jenis Penelitian, Waktu dan Tempat Penelitian	26
B. Variabel Penelitian.....	26

C. Alat dan Bahan.....	27
1. Alat	27
2. Bahan.....	27
D. Prosedur Kerja.....	27
1. Persiapan Substrat ITO.....	27
2. Preparasi Pasta TiO ₂	28
3. Pelapisan TiO ₂	28
4. Elektrodeposisi Cu pada TiO ₂	28
5. Karakterisasi Lapisan dengan X-Ray Diffraction (XRD)	29
6. Ekstraksi Buah Seduduk Akar (<i>Melastoma malabthricum</i> L.) ...	29
7. Kopigmentasi Antosianin	30
8. Pengujian Zat Warna	30
9. Preparasi Elektrolit Semi Padat	31
10. Preparasi <i>Counter</i> Elektroda Karbon	31
11. Perakitan DSSC	32
12. Pengujian Arus Listrik Sel Surya	32
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
A. Preparasi DSSC.....	33
B. Karakterisasi Zat Warna pada DSSC.....	35
1. Karakterisasi Zat Warna dengan UV-Vis.....	35
2. Karakterisasi Zat Warna dengan FTIR.....	37
C. Karakterisasi Lapisan Menggunakan XRD.....	38
D. Perhitungan Efisiensi DSSC	41
BAB V PENUTUP.....	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur dari DSSC	9
2. Struktur alotropik TiO ₂	11
3. Keseimbangan antara flavylum dan quinonoidal dari sianidin 3-glukosida dan interaksinya dengan TiO ₂	12
4. Skema kerja dari DSSC.....	14
5. Struktur antosianidin umum.....	16
6. Buah Senduduk (<i>Melastoma malabathricum</i> L.)	18
7. Kopigmentasi antosianin dengan asam salisilat	19
8. Diagram celah (Cu:DSSC).....	22
9. Skema elektrodposisi Cu pada TiO ₂	29
10. Rangkaian DSSC.....	34
11. Spektrum UV-Vis ekstrak buah senduduk sebelum dan sesudah dikopigmentasi asam salisilat	36
12. Spektrum bilangan gelombang ekstrak buah senduduk murni	37
13. Difractogram hasil analisa XRD untuk lapisan (a) TiO ₂ -Cu dan	39
14. Pengaruh variasi tegangan elektrodposisi terhadap efisiensi DSSC	42
15. Pengaruh waktu elektrodposisi terhadap efisiensi DSSC.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Karakteristik dari fasa-fasa TiO_2	11
2. Struktur antosianidin dan antosianin	17
3. Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan.....	24
4. Variasi tegangan dan waktu elektrodeposisi	26
5. Interpretasi spektra FTIR antosianin	37
6. Hasil interpretasi data XRD untuk lapisan TiO_2	40
7. Hasil interpretasi data XRD untuk lapisan TiO_2 -Cu	40
8. Efisiensi DSSC TiO_2 dan DSSC TiO_2 -Cu	41
9. Efisiensi DSSC TiO_2 -Cu pada variasi tegangan elektrodeposisi	43
10. Efisiensi DSSC TiO_2 -Cu pada variasi tegangan elektrodeposisi	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Prosedur Kerja Secara Keseluruhan	52
2. Persiapan Substrat ITO	53
3. Preparasi Pasta TiO_2	54
4. Pelapisan Pasta TiO_2	55
5. Elektrodeposisi Cu pada TiO_2	56
6. Ekstraksi Antosianin Buah Senduduk (<i>Melastoma malabathricum</i> . L)	57
7. Kopigmentasi Antosianin.....	58
8. Preparasi Elektrolit Semi Padat.....	59
9. Preparasi Counter Elektroda	60
10. Perakitan DSSC.....	61
11. Penentuan Jumlah Kopigmen.....	62
12. Hasil Uji UV-Vis Ekstrak Buah Senduduk Murni	63
13. Hasil Uji UV-Vis Ekstrak Buah Senduduk setelah dikopigmentasi Asam Salisilat.....	64
14. Hasil Uji XRD Lapisan TiO_2 tanpa Elektrodeposisi Cu dan Perhitungan Ukuran Kristal	65
15. Hasil Uji XRD Lapisan TiO_2 dengan Elektrodeposisi Cu dan Perhitungan Ukuran Kristal	68
16. Perhitungan Efisiensi DSSC	71
17. Data Hasil Pengujian DSSC.....	75

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Aktivitas manusia semakin berkembang dari masa kemasa, sehingga kebutuhan terhadap energi khususnya energi listrik semakin meningkat. Terjadinya peningkatan kebutuhan akan energi listrik mengakibatkan semakin menipisnya sumber energi fosil yang menjadi suplai bahan bakar pembangkit energi listrik. Kondisi ini memaksa negara-negara di dunia untuk terus menggali sumber energi baru terbarukan yang bersifat polutif, berlimpah dan tidak pernah habis sebagai pengganti energi tersebut (Imam, 2015). Salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan cahaya matahari menjadi enenrgi listrik menggunakan *phovoltaic cell* atau yang lebih dikenal dengan sel surya(Napitupulu, Simanjuntak, & Pandiangan, 2016).

Sel surya yang banyak digunakan sekarang adalah sel surya berbahan dasar *silicon*. Penggunaan *silicon* sebagai bahan dasar membutuhkan biaya produksi yang mahal, menggunakan teknologi canggih dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu, dikembangkanlah sel surya organik dengan biaya produksi yang murah dan menggunakan teknik yang sederhana. DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang dikembangkan oleh Profesor Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 merupakan sel surya yang menggunakan zat warna (*dye*) yang merangkap sebagai *sensitizer* (Haq Arinil, Amun Amri, 2016)

Antosianin merupakan salah satu *dye* alami yang dapat digunakan pada DSSC sebagai penyerap foton. Antosianin digunakan karena memiliki spektrum

cahaya dalam rentang yang cukup lebar yaitu dari merah sampai biru (Nugrahawati, 2012). Sel surya yang menggunakan *dye* alami seperti antosianin telah banyak dikembangkan seperti *dye* dari ubi jalar ungu dengan efisiensi 0,11%, buah naga dengan efisiensi 0,240 %, bunga rosella dengan efisiensi 0,30%, daun bayam dengan efisiensi 0,304 %, beras ketan dengan efisiensi 0,405% (Hardeli, 2013) dan kulit buah manggis dengan efisiensi 0,592 % (Maulina, Hardeli, & Bahrizal, 2014).

Pada penelitian ini, sumber antosianin yang digunakan sebagai *dye* berasal dari buah senduduk (*Melastoma malabathricum L.*). Penggunaan buah senduduk sebagai sumber antosianin dikarenakan tanaman senduduk merupakan tanaman yang tidak berkompetitif dengan kegunaan dibidang lainnya serta masih dianggap gulma bagi masyarakat luas (Fitria, Amri, & Fadli, 2016). Selain itu, kandungan antosianin yang terdapat pada buah senduduk cukup tinggi yakni mencapai 38,38 mg/100 gram (Kristiana, 2012).

Buah senduduk sebagai sumber antosinin pada DSSC telah digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya, namun efisiensi yang dihasilkan masih rendah. Amrullah & Darwis (2017), dalam penelitiannya menggunakan buah senduduk menghasilkan efisisensi sel surya sebesar 0,4 %. Rendahnya efisiensi yang dihasilkan, disebabkan oleh rendahnya penyerapan foton oleh zat warna sehingga semakin sedikit elektron yang tereksitasi untuk dikonversikan oleh sel surya menjadi energi listrik. Pergeseran absorbansi panjang gelombang maksimum ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang dapat meningkatkan serapan foton. Hal ini dapat dilakukan dengan cara kopigmentasi.

Kopigmentasi merupakan interaksi antara struktur antosianin dengan molekul lain yang disebut dengan senyawa kopigmen. Senyawa kopigmen dapat berupa flavonoid (flavon dan flavonol) dan polifenol lain (asam fenolik), alkaloid (kafein), asam amino, asam organik, nukleotida, polisakarida, logam, dan bahkan antosianin itu sendiri (Munawaroh *et al.*, 2015). Kopigmentasi menggunakan senyawa kopigmen jenis senyawa fenolik berupa asam salisilat, digunakan pada penelitian ini. Asam salisilat merupakan senyawa fenolik yang memiliki struktur lebih kompleks dengan adanya cincin piran. Oleh karena itu, memungkinkan terbentuknya antosianin terkopigmentasi yang memiliki absorpsi cahaya yang baik.

Indra (2017), telah melakukan penelitian menggunakan asam salisilat sebagai senyawa kopigmen dan terbukti mampu meningkatkan efisiensi sel surya dari 0,62 % menjadi 1,32 %. Efisiensi yang diperoleh tersebut, nyatanya masih termasuk rendah, sehingga sel surya yang diharapkan mampu dijadikan sebagai sumber energi alternatif tidak tercapai. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi pada semikonduktor TiO_2 dan diaplikasikan pada DSSC berbasis zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat, dengan harapan bisa meningkatkan efisiensi DSSC.

TiO_2 merupakan semikonduktor yang sering digunakan dan lebih banyak disukai pada pengembangan DSSC. TiO_2 dipilih karena memiliki harga yang relatif murah serta tidak menimbulkan efek yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan (Hidayat, Rokhmat & Qurthobi, 2014). Senyawa TiO_2 relatif inert dibanding dengan senyawa-senyawa oksida lainnya dan merupakan semikonduktor yang berfungsi sebagai fotokatalis yang memiliki fotoaktivitas dan

stabilitas tinggi. Efektivitas fotokatalitik semikonduktor TiO_2 dapat berkurang karena adanya rekombinasi elektron dengan *hole* yang merupakan lubang positif yang ditinggalkan oleh elektron yang tereksitasi. Jika foton dengan energi sesuai atau lebih besar dari energi gap TiO_2 yaitu 3,2 eV maka elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi dan menghasilkan *hole* pada pita valensi. Adanya kemungkinan rekombinasi *electron-hole* menyebabkan efektivitas fotokatalitik semikonduktor menurun. Upaya pengurangan rekombinasi dapat dilakukan salah satunya dengan cara memodifikasi lapisan semikonduktor TiO_2 .

Modifikasi lapisan TiO_2 dapat dilakukan melalui elektrodeposisi logam. Elektrodeposisi adalah suatu metode pengendapan spesies kimia pada substrat atau logam lain secara elektrolisis. Pengendapan logam pada permukaan semikonduktor efektif mengantisipasi kemungkinan rekombinasi *electron-hole*, karena logam dapat bertindak sebagai penjebak elektron sehingga dapat meningkatkan efektivitas fotokatalitik TiO_2 (Rahmawati, Sayekti dan Nurani, 2008). Metode elektrodeposisi lebih mudah dilakukan, tingkat keseragaman lapisan yang dihasilkan lebih baik dan rata-rata kemungkinan terdeposisinya tinggi serta adhesi yang bagus. Kelebihan lain dari metode elektrodeposisi yaitu substrat dapat terdeposisi pada area yang lebih luas (Karuppuachamy, Andou & Endo, 2013).

Pada penelitian ini dilakukan elektrodeposisi pada TiO_2 menggunakan logam tembaga (Cu). Logam Cu dipilih sebagai logam yang dideposisikan pada permukaan TiO_2 karna Cu tidak mudah teroksidasi dan mempunyai potensial reduksi yang cukup tinggi yaitu 0.340 volt, sehingga diperkirakan logam Cu dapat bertindak sebagai penjebak elektron dan dapat mencegah terjadinya rekombinasi

electron-hole (Rahmawati, Sayekti dan Nurani 2008). Obina *et al* (2017) telah melaporkan adanya pengaruh penyisipan Cu pada lapisan nanopartikel TiO_2 menggunakan metode elektroplating dalam DSSC berbasis zat warna dari *Moringa oleifera*. Penyisipan Cu menggunakan metode elektroplating dapat meningkatkan efisiensi dari DSSC. Pada penelitian dilaporkan pengaruh waktu pada tegangan tetap elektroplating terhadap efisiensi dari DSSC. Penambahan jumlah waktu pada saat elektroplating menurunkan efisiensi dari DSSC. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan elektrodposisi Cu pada TiO_2 dengan berbagai variasi waktu dan tegangan untuk mencari kondisi optimum elektrodposisi yang mampu menghasilkan efisiensi DSSC tertinggi dengan menggunakan larutan elektrolit $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

B. Identifikasi Masalah

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

1. Efisiensi dari DSSC yang menggunakan zat warna terkopigmentasi asam salisilat sebagai *sensitizer* masih rendah.
2. Variasi waktu elektrodposisi Cu pada TiO_2 mempengaruhi efisiensi DSSC yang dihasilkan.
3. Variasi tegangan elektrodposisi Cu pada TiO_2 mempengaruhi efisiensi DSSC yang dihasilkan.

C. Batasan Masalah

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

1. Zat warna yang digunakan adalah antosianin yang diekstrak dari buah senduduk yang dikopigmentasi dengan asam salisilat.
2. Elektrodeposisi Cu pada TiO_2 dilakukan menggunakan larutan elektrolit $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,1 M.
3. Variasi tegangan elektrodeposisi Cu pada TiO_2 adalah 0.5 volt, 1 volt, 2 volt dan 3 volt.
4. Variasi waktu elektrodeposisi Cu pada TiO_2 adalah 5 detik, 10 detik, 20 detik, 30 detik, 40 detik dan 50 detik.

D. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi Cu pada TiO_2 menggunakan zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu elektrodeposisi Cu pada TiO_2 menggunakan zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi Cu pada TiO_2 menggunakan zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan.

2. Menentukan pengaruh variasi waktu elektrodeposisi Cu pada TiO_2 menggunakan zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi Cu pada TiO_2 menggunakan zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu elektrodeposisi Cu pada TiO_2 menggunakan zat warna dari buah senduduk terkopigmentasi asam salisilat terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sel Surya

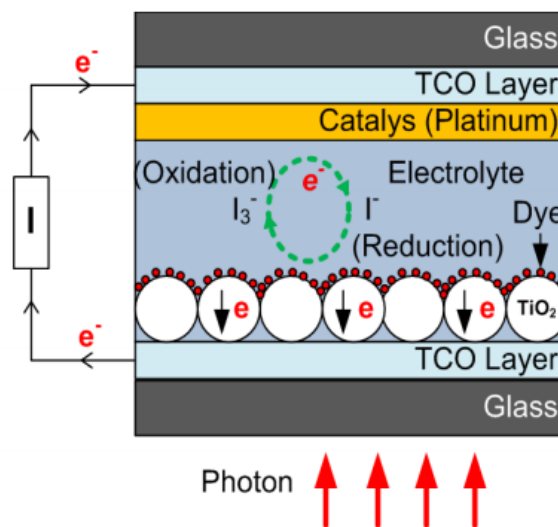
Sel surya atau bisa juga disebut fotovoltaik adalah suatu perangkat yang mengubah radiasi sinar matahari menjadi energy listrik (Septina, 2007). Efek fotovoltaik (PV) ditemukan pertama kali pada tahun 1839 oleh Edmond Becquerel, yang mendeteksi adanya tegangan ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Berdasarkan perkembangan teknologi saat ini, sel surya telah mengalami perubahan yang sangat signifikan dan diklasifikasikan dalam generasi yang berbeda-beda, yaitu sel surya inorganic efisiensi tinggi namun berbiaya mahal (generasi pertama), efisiensi rendah dan biaya murah (generasi kedua) dan efisiensi tinggi berbiaya murah (generasi ketiga). Sel surya kristal tebal dari material inorganic seperti silicon merupakan salah satu contoh generasi pertama, sedangkan sel-sel surya generasi kedua menggunakan film tipis material inorganic seperti silikon polikristal, silicon amorf, CIGS dan CdTe. Sel-sel surya generasi ketiga menggunakan film nanokristal seperti *quantum dots*, tandem semikonduktor III-V (GaAs/Ge/GaInP₂ dll) yang merupakan pengembangan generasi kedua untuk meningkatkan efisiensi konversi dan sel surya dengan dye sensitizer dari bahan organik atau lebih dikenal dengan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) (Bahtiar, 2016 ; Ekasari & Gatut, 2013).

B. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*

1. DSSC Secara Umum

Dye-sensitized solar cell (DSSC) pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991 di Swiss (Septiana, 2007). DSSC adalah perangkat semikonduktor yang secara langsung mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi arus listrik (Gong, Jing & Sumanthy, 2012). DSSC merupakan sel surya organik dengan dye sensitizer dari bahan organik yang dapat dikembangkan dengan biaya murah serta fabrikasi mudah (Ekasari & Gatut, 2013)

2. Penyusunan dan Struktur DSSC



Gambar 1. Struktur dari DSSC (Saehana *et al.*, 2013)

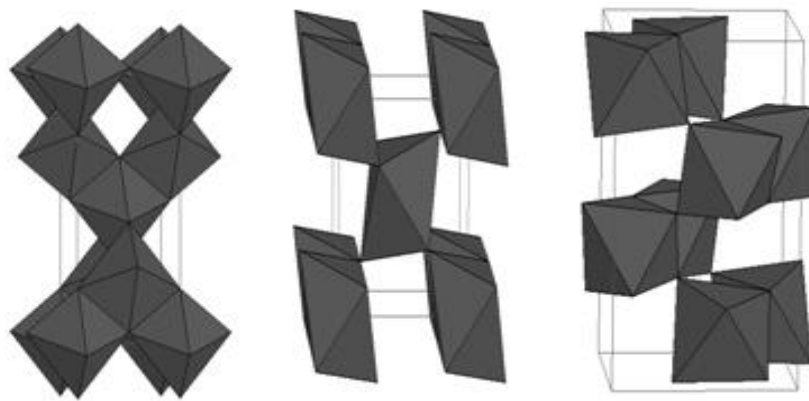
Material penyusun *Dye Sensitized Solar cell* (DSSC) antara lain elektroda kerja yang terdiri dari substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO), *Titanium Dioxide* (TiO₂), dye alami dan elektroda pembanding (elektroda karbon) yang terdiri dari substrat dan karbon / grafit, dan elektrolit diantara kedua elektroda. 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, 2007). Material yang digunakan sebagai kaca konduktif diantaranya adalah ITO) dan *fluorinated tin oxide* (FTO). Penelitian ini menggunakan 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.

b. Titanium Dioksida (TiO₂)

TiO₂ merupakan material semikonduktor pada DSSC yang menyerap dan mengumpulkan cahaya serta berfungsi sebagai penerima elektron dari zat warna yang tereksitasi (Suhaimi *et al.*, 2016). Rentang absorpsi TiO₂ berada pada panjang gelombang 190 -820 nm, sehingga mampu menyerap energi foton yang diberikan dari daerah ultraviolet sampai cahaya tampak (Prasetyowati *et al.*, 2011). TiO₂ pada umumnya mempunyai tiga fasa yaitu *rutile* (tetragonal), *anatase* (tetragonal), dan *brookite* (orthorombik) dengan karakteristik yang berbeda seperti pada Gambar 2 dan Tabel 1 berikut ini:



Gambar 2. Struktur alotropik TiO_2 (Beltran et al, 2006)

Kemampuan fotoaktivitas dari semikonduktor TiO_2 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).

Tabel 1. Karakteristik dari fasa-fasa TiO_2

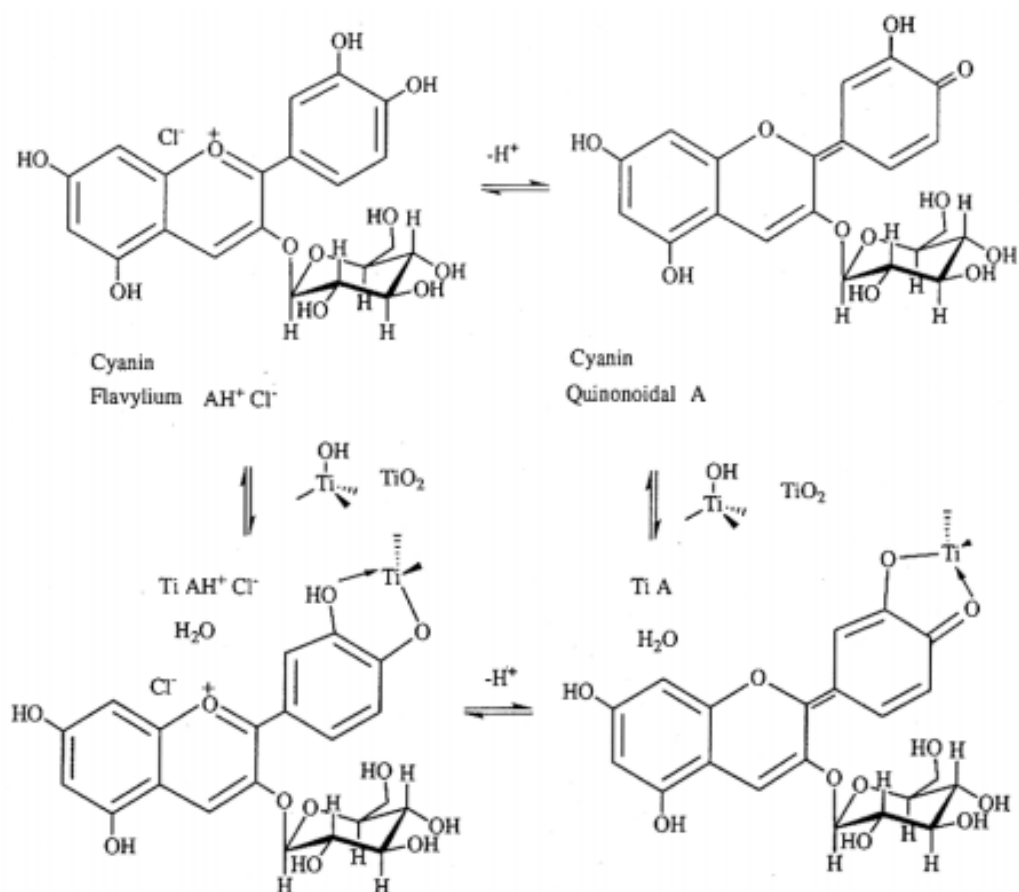
Karakteristik	Rutile	Anatase	Brookite
Bentuk Kristal	Tetragonal	Tetragonal	Orthogonal
Massa jenis (g/cm^3)	4,27	3,90	4,13
Indeks bias	2,72	2,52	2,63
Band gap (eV)	3,05	3,26	-
Konstanta kisi c/a (nm)	0,644	2,51	0,944
Titik leleh (^0C)	1825	Transformasi ke rutil	Transformasi ke rutil

Sumber : (Septina, 2007)

c. Zat Warna (*dye*)

Zat warna (*dye*) merupakan material yang memberikan pengaruh sensitasi semikonduktor terhadap cahaya. *Dye* berfungsi sebagai pompa fotoelektrokimia dan lapisan penyerap foton yang selanjutnya tereksitasi menjadi eksiton (*fotosensitizer*). *Dye* yang umum digunakan berupa

sensitizer sintesis jenis *ruthenium complex* yang telah teruji memberikan efisiensi yang tinggi terhadap DSSC akan tetapi, efek toksisitas tinggi, sulit disintesa dan umumnya memerlukan biaya yang tinggi (Richhariya, *et al.*, 2017). Dye dapat pula berasal dari bahan-bahan alami (organik), terutama berasal dari keluarga *flavonoid* (Prasetyowati, 2012). Penggunaan dye alami sebagai sensitiser akan melibatkan langkah pembuatan dan pemurnian zat warna yang semakin mudah dan cepat sehingga bisa menurunkan biaya produksi, mengurangi resiko toksisitas sel surya serta melibatkan proses pembuatan yang ramah lingkungan.



Gambar 3. Keseimbangan antara flavylium dan quinonoidal dari sianidin 3-glukosida dan interaksinya dengan TiO_2 (Cherepy *et al.*, 1997)

Molekul *dye* seperti antosianin memiliki kelompok karbonil dan hidroksil yang terikat pada permukaan semikonduktor TiO_2 , yang berperan dalam eksitasi dan transfer elektron dari molekul antosianin ke pita konduksi lapisan semikonduktor TiO_2 . Saat molekul antosianin ini berinteraksi dengan TiO_2 terjadi adsorpsi sianidin ke permukaan TiO_2 , menggantikan OH^- dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup sianidin (Hardeli *et al.*, 2013).

d. Elektrolit

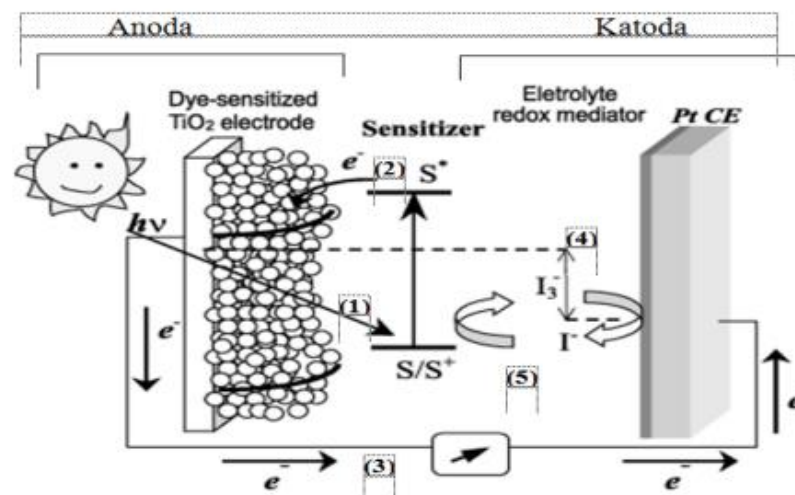
Elektrolit yang digunakan untuk DSSC umumnya menggunakan elektrolit cair dan elektrolit semi padat yang biasanya terdiri atas pasangan redoks I^- dan I_3^- perbedaannya adalah elektrolit semi padat menggunakan polimer polietilen glikol (PEG). Pasangan redoks I^-/I_3^- berperan sebagai *carrier* dan transport muatan sehingga memungkinkan siklus elektron dan regenerasi *dye* dalam DSSC. Polietilen glikol (PEG) merupakan polimer sintetik dari etilen oksida untuk mengatasi kekurangan elektrolit cair yang mudah bocor dan regenerasi molekul *dye* berlangsung dengan baik (Mustaqim, Haris, & Gunawan, 2017).

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



Gambar 4. Skema kerja dari DSSC (Hardeli *et al.*, 2013)

Prinsip kerja dari DSSC adalah reaksi dari transfer elektron. 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, 2010).

Elektron yang tereksitasi tersebut 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 (I_3^-) 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, 2012)

4. Efisiensi DSSC

Konversi energi matahari menjadi energi listrik menghasilkan arus listrik dan tegangan. Nilai arus listrik dan tegangan ini dapat diukur dengan menggunakan multimeter digital, sedangkan besarnya efisiensi DSSC yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

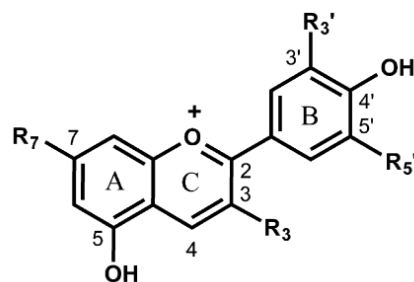
dimana P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan DSSC dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan. Daya maksimum diberikan oleh hubungan :

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \dots\dots\dots(2)$$

dengan V_{max} adalah tegangan maksimum yang dihasilkan DSSC dibagi luas permukaan daerah substrat dan I_{max} merupakan arus maksimum yang dihasilkan DSSC dibagi dengan luas permukaan daerah substrat. P_{in} dapat bersumber dari matahari dengan intensitas sekitar $1000W/m^2$ atau $0.1W/cm^2$ dan lampu UV. P_{in} dapat juga ditentukan dengan alat Lux meter yang digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya (Mayanti, Hardeli & Hary, 2015).

C. Kopigmentasi Antosianin Buah Senduduk

Antosianin merupakan pigmen alami yang banyak ditemui pada tanaman yang berwarna merah dan ungu. Pigmen antosianin memberikan warna merah yang kuat dan tajam serta banyak diaplikasikan dalam berbagai industri seperti pewarna makanan maupun minuman bahkan hingga pewarna di dalam DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) (Munawaroh *et al.*, 2015).



Gambar 5. Struktur antosianidin umum

Antosianin termasuk dalam golongan flavonoid, dimana inti dasar dari flavonoid ialah inti flavan, yang terdiri atas dua cincin aromatic yang dihubungkan oleh tiga karbon (Lestario, 2017). Struktur dasar dari antosianin adalah suatu antosianidin. Antosianidin (aglikon) mengandung sebuah cincin aromatic (A) yang terikat pada sebuah cincin heterosiklik (C) yang mengandung oksigen dan juga terikat melalui ikatan atom karbon-karbon dengan cincin aromatic ketiga (B) (Konczak & Zhang, 2004). Substitusi beberapa gugus kimia pada rangka antosianin dapat mempengaruhi warna yang diekspresikan antosianin, jika gugus yang tersubstitusi lebih banyak gugus hidroksil, maka warnanya menuju ke arah yang lebih kebiruan dan jika

gugus yang tersubstitusi lebih banyak kelompok methoxyl, maka kemerahan meningkat (Delgado-Vargas, 2003).

Tabel 2. Struktur antosianidin dan antosianin

	Compound	R ₃	R _{3'}	R _{5'}	R ₇
Anthocyanidins	cyanidin	OH	OH	H	OH
	delphinidin	OH	OH	OH	OH
	malvidin	OH	OCH ₃	OCH ₃	OH
	pelargonidin	OH	H	H	OH
	peonidin	OH	OCH ₃	H	OH
	petunidin	OH	OCH ₃	OH	OH
Anthocyanins	kuromanin	<i>O</i> -Glucose	OH	H	OH
	myrtillin	<i>O</i> -Glucose	OH	OH	OH
	oenin	<i>O</i> -Glucose	OCH ₃	OCH ₃	OH
	callistephin	<i>O</i> -Glucose	H	H	OH
	peonin	<i>O</i> -Glucose	OCH ₃	H	OH
	petunin	<i>O</i> -Glucose	OCH ₃	OH	OH
	3',4'-dihydroxy- 7- <i>O</i> - β -D- glucopyranosyloxyflavylium	H	OH	H	<i>O</i> - β -D- glucopyrano syloxy

Sumber : (Trouillas *et al.*, 2016)

Spektrum serapan antosianin bernilai maksimum pada rentang panjang gelombang 450 nm-570 nm. Panjang gelombang tersebut termasuk daerah cahaya tampak, sehingga antosianin dapat digunakan sebagai dye pada DSSC karena bersifat menyerap cahaya tampak (Pratiwi, Risa & Fahru, 2016). Pada penelitian ini, antosianin yang digunakan bersumber dari buah senduduk. Penggunaan buah senduduk sebagai zat warna pada DSSC yang mengandung antosianin sebelumnya juga telah dilakukan. Hasil penelitian yang dilakukan Amri, *et al* (2016), Haq, *et al* (2016), Zakyah, *et al* (2016) dan Fitria, *et al* (2016) melaporkan bahwa spektrum serapan tertinggi dari ekstrak buah senduduk adalah pada panjang gelombang ($\lambda_{\max}$) 515 nm.

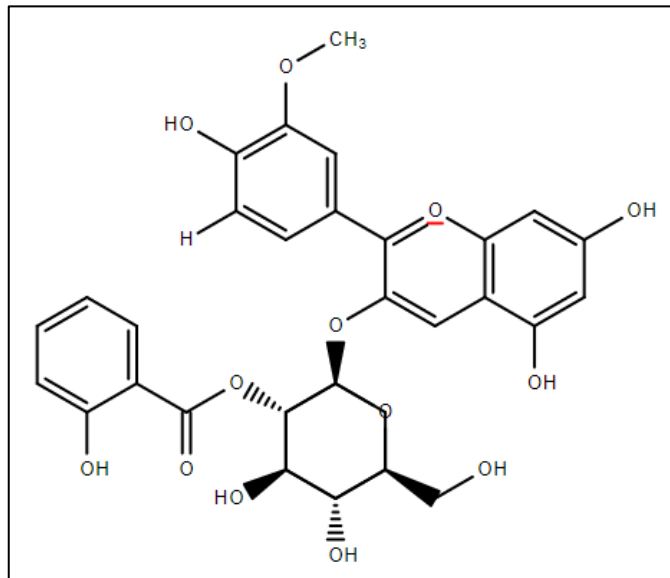


Gambar 6. Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum* L.)

Buah senduduk mengandung antosianin sebanyak 38,38 mg/100 gram dan merupakan bahan yang banyak menghasilkan antioksidan (Kristiana, 2012). Adapun jenis senyawa antosianin utama yang terdapat pada buah senduduk adalah cyanidin-3-glucoside dan cyanidin-3,5-diglucoside. Senyawa inilah yang akan berikatan dengan molekul TiO_2 dan berperan dalam menyerap foton serta mengeksitasi elektron pada permukaan (Singh *et al.*, 2014).

Antosianin mampu menyerap foton pada rentang daerah sinar tampak dan dapat ditingkatkan daerah serapannya melalui kopigmentasi. Kopigmentasi merupakan interaksi antara struktur antosianin dengan molekul lain seperti flavonoid (flavon dan flavonol) dan polifenol lain (asam fenolik), alkaloid (kafein), asam amino, asam organik, nukleotida, polisakarida, logam (Al^{3+} , Fe^{3+} , Sn^{2+} , Cu^{2+}), dan sebagainya yang membentuk asosiasi molekuler atau kompleks. Kopigmentasi menyebabkan terjadinya efek batokromik yaitu pergeseran absorbansi maksimum ke arah panjang gelombang yang lebih panjang (*visible*) (Lestario & Andini, 2016), dengan kata lain, kopigmentasi meningkatkan absorbansi dan memperluas panjang gelombang maksimum

pigmen. Terjadinya efek batokromik karena adanya penambahan ikatan rangkap dalam anthocyanin sehingga dapat menyerap foton dalam DSSC (Hardeli, Zainul & Isara, 2019).



Gambar 7. Kopigmentasi antosianin dengan asam salisilat

Kopigmentasi menggunakan senyawa kopigmen jenis senyawa fenolik berupa asam salisilat, digunakan pada penelitian ini. Asam salisilat merupakan senyawa fenolik yang memiliki struktur lebih kompleks dengan adanya cincin piran. Oleh karena itu, memungkinkan terbentuknya antosianin terkopigmentasi yang memiliki absorbasnsi cahaya yang baik.

D. Elektrodeposisi Cu pada TiO_2

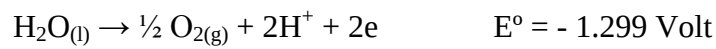
Elektrodeposisi adalah suatu metode pengendapan spesies kimia pada substrat atau logam lain secara elektrolisis. Reaksi yang terjadi selama proses elektrolisis adalah sebagai berikut :

Katoda :



Tembaga diendapkan pada katoda

Anoda :



Oksigen dilepaskan pada anoda

Pengendapan logam secara elektrodposisi pada permukaan semikonduktor TiO_2 dapat dilakukan untuk memodifikasi permukaan TiO_2 . Metode ini sangat memungkinkan untuk dilakukan karena TiO_2 tertempel pada substrat yang konduktif dan bentuk substrat yang sangat memungkinkan untuk ditempatkan sebagai katoda dalam sel elektrolisis. Pengendapan logam pada permukaan TiO_2 terbukti efektif mengantisipasi terjadinya rekombinasi *electron-hole*, karena logam dapat bertindak sebagai penjebak elektron sehingga dapat meningkatkan efektivitas fotokatalitik TiO_2 (Rahmawati, Sayekti & Nurani, 2008).

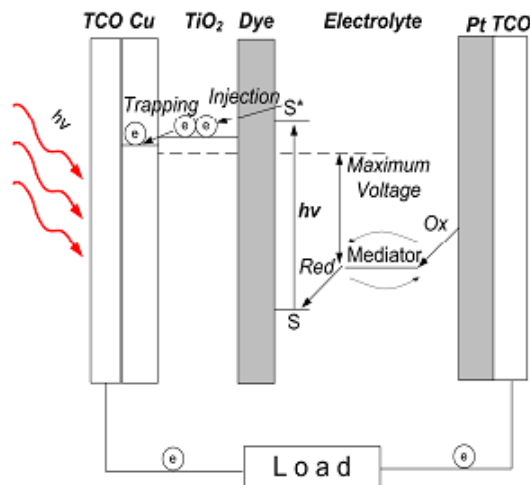
Pada penelitian ini digunakan logam Cu sebagai logam yang dideposisikan pada permukaan TiO_2 . Logam Cu dipilih karena Cu tidak mudah teroksidasi dan mempunyai potensial reduksi yang cukup tinggi yaitu 0.340 volt sehingga diperkirakan logam Cu dapat bertindak sebagai penjebak elektron dan dapat mengantisipasi terjadinya rekombinasi *electron-hole* (Rahmawati, Sayekti & Nurani, 2008). Tembaga memiliki fungsi kerja yang tinggi dan menampilkan efek curah yang lebih kuat daripada bahan seperti Au, Ag, dan Pt. Ukuran partikel logam besar menurunkan kinerja sel. Afinitas elektron tembaga adalah 119,24 kJ/mol dan fungsi kerjanya 4,65 eV. Kemampuan logam untuk menerima elektron dari semikonduktor terkait dengan afinitas elektron, dengan logam afinitas yang

lebih tinggi lebih mudah menerima elektron. Sebaliknya, fungsi kerja menggambarkan fasilitas migrasi elektron dari interior ke permukaan logam, dengan nilai yang lebih kecil menunjukkan migrasi yang lebih mudah. Pertukaran sinergis antara kedua nilai ini menentukan kinerja sel surya jenis ini. Namun tembaga adalah logam yang relatif murah, dan modifikasi permukaan dengan Cu masih meningkatkan kinerja film tipis TiO_2 (Saehana *et al.*, 2011).

Elektrodeposisi dilakukan dengan menggunakan larutan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan memvariasikan tegangan dan waktu. Tegangan dan waktu pada saat proses elektrodeposisi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan. Penelitian yang dilakukan Rahmawati, Sayekti & Nurani (2008) menjelaskan bahwa besarnya arus mempengaruhi pertumbuhan partikel Cu yang terbentuk pada lapisan TiO_2 . Pada arus kecil, reduksi ion-ion logam berlangsung lambat (mempunyai kecepatan rendah) sehingga pertumbuhan partikel Cu berlangsung lambat pula dan endapan yang terbentuk lebih halus dan lebih merata di permukaan TiO_2 . Kenaikan arus akan mempercepat reduksi ion-ion logam dan pertumbuhan partikel Cu berjalan lebih cepat. Hal ini mengakibatkan kristal yang terbentuk semakin besar dan kasar, sehingga mudah rontok.

Logam Cu yang terendap pada lapisan TiO_2 merupakan material konduktif yang berperan sebagai kontak logam yang menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO (Prasetyowati, 2013). Pengendapan logam Cu ke dalam lapisan TiO_2 dapat menyebabkan peningkatan efisiensi DSSC. Kandungan tembaga yang terlalu tinggi, menyebabkan kemampuan menangkap film TiO_2 berkurang, dengan kata lain, terlalu banyak partikel tembaga akan melindungi film TiO_2 dari menangkap cahaya, dan generasi pasangan elektron-

hole akan berkurang (Rokhmat *et al.*, 2016). Penurunan nilai resistansi lapisan dan penyempitan energy gap. Penyempitan energy gap ini disebabkan oleh munculnya level energi baru diantara level valensi dan level konduksi yang dibentuk oleh tembaga.



Gambar 8. Diagram celah (Cu:DSSC) (Saehana *et al.*, 2013)

Logam Cu dapat disisipkan kedalam lapisan TiO_2 melalui beberapa cara. Sel surya dengan lapisan titania yang disisipi logam dengan metode pulse plating dapat mencapai efisiensi 0,14% (Gumilar *et al.*, 2014), dengan metode spin coating (Efelina, 2017), dan dengan metode elektroplating dapat mencapai efisiensi 0,83% (Rokhmat *et al.*, 2016).

E. Instrument yang Digunakan

1. XRD

XRD (*X-Ray Diffractometer*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material untuk menentukan fase, parameter kisi dan ukuran kristal. Data difraktogram XRD dari masing-masing fasa dapat digunakan untuk menentukan diameter kristalit dengan menggunakan persamaan Scherrer.

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\delta W \cdot \cos \theta} \dots\dots\dots(3)$$

dengan D adalah diameter kristalit (nm), k adalah konstanta bernilai ~1 (0.94), λ adalah panjang gelombang logam target yang digunakan (nm), δW adalah lebar total pada setengah puncak maksimum atau Full Width Half Maximum (FWHM) (dinyatakan dalam radian) dan θ adalah sudut Bragg (deg). Pada penelitian ini, XRD digunakan untuk menentukan fase kristal dan ukuran kristal lapisan TiO₂ sebelum dan sesudah dielektrodeposisi dengan Cu.

2. UV-Vis

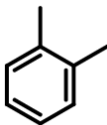
Merupakan salah satu instrument yang dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul suatu senyawa organik berdasarkan interaksinya dengan sinar UV dan Visible. Prinsip kerja dari VU-Vis adalah, ketika sinar UV dan visible yang dipancarkan melalui suatu senyawa, maka sebagian sinar akan diserap, dipantulkan dan dipancarkan kembali. Sinar yang diserapa, akan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi. Eksitasi ini yang akan direkam dalam bentuk spektrum yang menggambarkan absorbansi terhadap panjang gelombang (Suhartati, 2017). Pada penenlitan ini UV-Vis digunakan untuk uji absorbansi antosianin sebagai zat warna sebelum dan setelah dikopigmentasi.

3. Forier Transform Infrared (FTIR)

FTIR digunakan untuk karakterisasi zat warna antosianin buah senduduk hasil ekstraksi. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui kehadiran gugus fungsi dan jenis ikatan yang terdapat pada antosianin. Pengujian spektrum

bilangan gelombang dilakukan dengan menggunakan bilangan gelombang 4000-600 cm^{-1} . Energi yang dihasilkan oleh radiasi ini akan menyebabkan vibrasi atau getaran pada molekul. Pita absorpsi inframerah sangat khas dan spesifik untuk setiap tipe ikatan kimia atau gugus fungsi. Metoda ini sangat berguna untuk mengidentifikasi senyawa organik dan organometalik.

Tabel 3. Daftar bilangan gelombang dari berbagai jenis ikatan (Coates, 2000)

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Gugus fungsi / Jenis ikatan
3570-3200	O-H (alkohol)
3300-2500	O-H (asam karboksilat)
1900-1650	C=O (asam, anhidrida)
1680-1620	C=C alkena
1475-1300	C-H dari $-\text{CH}_3$ (metil)
1225-950	C-H dari $>\text{CH}-$ (alkana)
900-670	C-H (aromatis)
860-800	

Prinsip kerja FTIR adalah, jika suatu frekuensi tertentu dari radiasi inframerah dilewatkan pada sampel suatu senyawa organik maka akan terjadi penyerapan frekuensi oleh senyawa tersebut. Banyaknya frekuensi yang melewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmittan. Persen transmittan 100 berarti tidak ada frekuensi IR yang diserap oleh senyawa. Pada kenyataannya, hal ini tidak pernah terjadi. Selalu ada sedikit dari frekuensi ini yang diserap dan memberikan suatu transmittan

sebanyak 95%. Transmittan 5% berarti bahwa hampir seluruh frekuensi yang dilewatkan diserap oleh senyawa. Serapan yang sangat tinggi ini akan memberikan informasi penting tentang ikatan dalam senyawa ini (Dachriyanus, 2004).

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.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

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

1. Adanya tegangan maksimum elektrodeposisi Cu pada TiO_2 yang menghasilkan efisiensi DSSC tertinggi, yaitu pada tegangan 1 volt sebesar 4.34%.
2. Adanya waktu maksimum elektrodeposisi Cu pada TiO_2 yang menghasilkan efisiensi DSSC tertinggi, yaitu pada waktu 10 detik sebesar 4.43%.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, disarankan untuk :

1. Melakukan pengujian lapisan TiO_2 menggunakan TGA.
2. Melakukan preparasi pasta TiO_2 berdasarkan metode pelapisannya supaya jangan terlalu encer atau terlalu kental.
3. Menghindari pemanasan yang terlalu tinggi pada kaca ITO karena dapat memperbesar hambatan kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, A., Arinil, H., Ahmad, F., & Indra, Y. 2016. Preparasai Koating TiO₂ pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbasis *Melastoma malabathricum*. *Jurnal sains dan Teknologi*, 16(1), 7-12.
- Amrullah, S., & Darwis, D. 2017. Dye Sensitized Solar Cell Nanokristal TiO₂ M Using Pigment Antosianin from *Melastoma malabathricum* L, 6(3), 321–331.
- Bahtiar, Ayi. 2016. Sel-Surya Generasi Keempat; Status Terkini dan Tantangan ke Depan. Departemen Fisika Universitas Padjajaran.
- Beltran et al. 2006. Nanostructure Hybrid Solar Cells Based on Self-assembled Mesoporous Titania Thin Films. *Journal Chemistry of Material*, 18, 6152–6156.
- Boulton, R. 2001. The Copigmentation of Anthocyanins and Its Role In The Color Of Red Wine: A Critical Review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(2).
- Cherepy, N. J., Smestad, G. P., Grätzel, M., & Zhang, J. Z. 2002. Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode . *The Journal of Physical Chemistry B*, 101(45), 9342–9351.
- Coates, J. 2000. *Interpretation of Infrared Spectra, A Practical Approach*. USA : John Wiley & Sons.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Padang : Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK).
- Damayanti, R., Hardeli & Hary, S. 2015. Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas* L.). *Jurnal Saintek*, 6 (April): 148-157.
- Dangles, Olive, Norio, S., & Raymond B. 1993. Anthocyanin Intramolecular Copigment Effect. *Phytochemistry*. 34(1) : 119-124.
- Delgado-Vargas, Fransisco dan Oktavio Paredes-Lopez. 2003. Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses. Florida : CRC Press.
- Efelina, V. 2017. Preparasi Dan Penentuan Energi Gap Film Tipis TiO₂ : Cu Yang Ditumbuhkan Menggunakan Spin Coating. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (JPFK)*, 3(1).
- Ekasari, V., & Gatut, Y. 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*, 2(1).
- Fitria, A., Amri, A., & Fadli, A. 2016. Pembuatan Prototip Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Dye Ekstrak Buah Senduduk (*Melastoma malabathricum* L) dengan Variasi Fraksi. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–9.
- Gong, J., Jing, L., & K. Sumanthy. Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) : Fundamental Concepts and Novel Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5848–5860.
- Gumilar, Ramadan Pratama., Mamat Rokhmah dan Edy Wibowo. 2014. Pengaruh Penyisipan Tembaga Cu Menggunakan Metode Pulse Plating pada