

**ELEKTRODEPOSISI Fe PADA TiO₂ DENGAN EKSTRAK
KULIT BUAH MANGGIS TERKOPIGMENTASI ASAM
SALISILAT SEBAGAI SENSITIZER PADA DSSC
(*DYE SENSITIZED SOLAR CELL*)**

SKRIPSI

*Sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
LASMI YUNITA
15036039/2015**

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

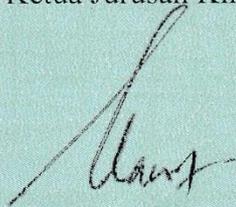
PERSETUJUAN SKRIPSI

ELEKTRODEPOSISI Fe PADA TiO₂ DENGAN EKSTRAK KULIT BUAH MANGGIS TERKOPIGMENTASI ASAM SALISILAT SEBAGAI SENSITIZER PADA DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL)

Nama : Lasmi Yunita
NIM : 15036039
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

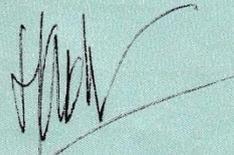
Padang, Agustus 2019

Mengetahui :
Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mawardi, M.Si
NIP. 196111231989031002

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing



Dr. Hardeli, M.Si
NIP. 196401131991031001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

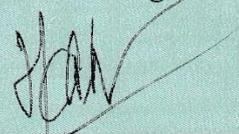
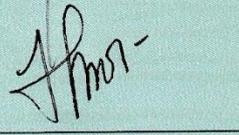
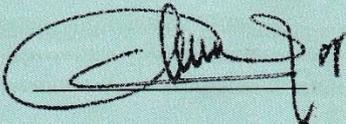
Nama : Lasmi Yunita
NIM : 15036039
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ELEKTRODEPOSISI Fe PADA TiO₂ DENGAN EKSTRAK KULIT BUAH MANGGIS TERKOPIGMENTASI ASAM SALISILAT SEBAGAI SENSITIZER PADA DSSC (DYE SENSITIZED SOLAR CELL)

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	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Hardeli, M.Si	
Anggota	: Hary Sanjaya, M.Si	
Anggota	: Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

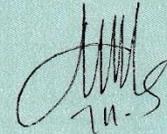
Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lasmi Yunita
NIM/BP : 15036039/2015
Tempat/Tanggal Lahir : Sirumbuk/ 27 Juni 1997
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Jalan Gajah 2 No.8, Air Tawar Barat

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Elektrodeposisi Fe pada TiO_2 dengan Ekstrak Kulit Buah Manggis Terkopigmentasi Asam Salisilat sebagai *Sensitizer* pada *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)***" 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, 16 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan



Lasmi Yunita
NIM. 15036039

Elektrodeposisi Fe pada TiO₂ dengan Ekstrak Kulit Buah Manggis Terkopigmentasi Asam Salisilat sebagai Sensitizer pada DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)

Lasmi Yunita

Abstrak

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu jenis sel surya yang dikembangkan sebagai alternatif energi terbarukan, dimana absorpsi foton akan menyebabkan terjadinya konversi energi cahaya menjadi energi listrik. DSSC berbasis titania yang menggunakan zat warna alami sebagai sensitizer memiliki efisiensi yang rendah, karena terjadi rekombinasi elektron dengan elektrolit karena perbedaan celah pita yang kecil. Elektrodeposisi Fe bertujuan untuk membentuk kontak logam dengan TiO₂ sehingga absorpsi foton meningkat dan rekombinasi elektron dapat dikurangi. Jumlah Fe yang terdeposisi pada lapisan TiO₂ dipengaruhi oleh tegangan dan waktu elektrodeposisi, untuk itu dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh waktu dan tegangan elektrodeposisi Fe pada TiO₂ terhadap Performansi DSSC yang menggunakan ekstrak kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat sebagai sensitizer.

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan komponen-komponen DSSC yaitu: zat warna dari ekstrak antosianin pada kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat yang dikarakterisasi dengan UV-Vis dan FTIR; lapisan TiO₂ yang dideposisi Fe pada berbagai variasi tegangan dan waktu pada suatu sel elektrokimia dengan prekursor Fe(NO₃)₃ dan elektroda Fe yang dikarakterisasi dengan XRD; elektroda counter yaitu karbon black; dan elektrolit semipadat. Komponen-komponen DSSC dirakit dengan struktur sandwich dan uji dengan reaktor UV daya 24 watt/m² dan diukur menggunakan multimeter digital.

Hasil karakterisasi UV-Vis dan FTIR terhadap ekstrak kulit buah manggis menjelaskan jenis zat warna yang terkandung merupakan antosianin dengan panjang gelombang maksimum 515 nm dan meningkatnya absorpsi dengan penambahan asam salisilat dari 0,3749 menjadi 0,445. Hasil karakterisasi XRD terhadap lapisan TiO₂ didapatkan bahwa tidak terjadi perubahan ukuran kristal yang signifikan antara TiO₂ sebelum dan setelah dideposisi Fe, ukuran kristal sebelum dan setelah dideposisi Fe berturut-turut adalah 61,8439 nm dan 61,8317 nm. Hasil konversi energi listrik didapatkan efisiensi tertinggi pada sel dengan lapisan TiO₂ dideposisi Fe pada 9 V dengan waktu 20 detik yaitu 4,2335 % dengan luas area 1 cm².

Kata kunci: *DSSC, elektrodeposisi, Fe, kulit buah manggis, titanium dioksida*

**Elektrodeposisi Fe pada TiO₂ dengan Ekstrak Kulit Buah Manggis
Terkopigmentasi sebagai Sensitizer pada
DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)**

Lasmi Yunita

Abstract

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a type of solar cell that was developed as an alternative to renewable energy, where the absorption of photons will cause the conversion of light energy into electrical energy. A titania-based DSSC that uses natural dyes as a sensitizer has a low efficiency, due to the recombination of electrons with electrolytes due to small band gap differences. The electrodeposition of Fe aims to form metal contact with TiO₂ so that photon absorbance increases and electron recombination can be reduced. The amount of Fe deposited in the TiO₂ layer is affected by the electrodeposition voltage and time. For this reason, a study was conducted to see the effect of the electrodeposition time and stress of Fe on TiO₂ on DSSC performance using mangosteen rind extracted with salicylic acid as a sensitizer.

The study began by preparing the components of DSSC, namely: dyes from anthocyanin extracts on mangosteen pericarp co-pigmented salicylic acid which were characterized by UV-Vis and FTIR; TiO₂ layers deposited on Fe at various voltage and time variations in an electrochemical cell with a precursor Fe(NO₃)₃ and Fe electrodes characterized by XRD; counter electrodes namely carbon black; and semisolid electrolytes. DSSC components are assembled with a sandwich structure and tested with a 24 watt/m² UV power reactor and measured using a digital multimeter.

The results of UV-Vis and FTIR characterization of mangosteen pericarp extract explained the type of dyes contained was anthocyanin with a maximum wavelength of 515 nm and increased absorbance with the addition of salicylic acid from 0.3749 to 0.445. The results of XRD characterization of the TiO₂ layer showed that there was no significant change in crystal size between TiO₂ before and after Fe deposition, the crystallite size before and after Fe deposition were 61.8439 nm and 61.8317 nm, respectively. The results of the conversion of electrical energy obtained the highest efficiency in cells with TiO₂ layer deposited Fe at 9 V with a time of 20 seconds which is 4.2335% with an area of 1 cm².

Keywords: *DSSC, electrodeposition, Fe, mangosteen pericarp, titanium dioxide*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis Ucapkan Kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **Elektrodeposisi Fe pada TiO₂ dengan Ekstrak Kulit Buah Manggis Terkopigmentasi Asam Salisilat sebagai Sensitizer pada DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains di 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 sekaligus Penasihat Akademik yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan hingga selesainya skripsi ini.
2. Bapak Hary Sanjaya, S.Si, M.Si sebagai penguji 1 dan Ketua Program Studi Kimia FMIPA UNP yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
3. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Dr.Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia FMIPA UNP yang telah memberikan dorongan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
5. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat moril dan materil serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Semua pihak yang telah memberikan masukan dan 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 mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan dari skripsi ini. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
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	6
D. Perumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
A Buah Manggis	8
B. Antosianin	9
C. Kopigmentasi	10
D. Sel surya DSSC	12
E. Prinsip Kerja DSSC	17
F. Elektrodeposisi logam Fe pada TiO ₂	19
G. Performansi DSSC	20
H. Instrumen yang digunakan	20
BAB III. METODE PENELITIAN	23
A. Jenis Penelitian, Waktu dan Tempat Penelitian	23
B. Variabel Penelitian	23
C. Desain Penelitian	23
D. Alat dan Bahan	24
E. Prosedur Kerja	24

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Preparasi Kaca ITO	30
B. Preparasi Elektroda Counter dan Lapisan TiO ₂	30
C. Elektrodeposisi Fe pada TiO ₂	31
D. Analisa Data XRD	32
E. Karakterisasi Zat Warna pada Ekstrak Kulit Buah Manggis.....	35
F. Kopigmentasi Zat Warna	37
G. Perakitan DSSC.....	38
H. Perhitungan Efisiensi DSSC	39
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
A. Kesimpulan	43
B. Saran.....	43
KEPUSTAKAAN	44
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Buah Manggis	8
2. Struktur antosianin secara umum	9
3. Kopigmentasi antosianin dengan asam fenolic (kopigmentasi intramolekular) 12	
4. Struktur Dye sensitized solar cell.....	13
5. Struktur fasa TiO ₂	14
6. Adsorpsi Senyawa Aromatic Dihidroxy ke TiO ₂	16
7. Skema kerja DSSC	18
8. Rangkaian elektrodeposisi Fe pada TiO ₂	25
9. Difractogram hasil analisa XRD untuk TiO ₂ (a) sebelum dan (b) sesudah elektrodeposisi logam Fe.....	33
10. Serapan ekstrak kulit buah manggis.....	35
11. Spektra FTIR ekstrak kulit buah manggis.....	36
12. Serapan Ekstrak Kulit Buah Manggis Sebelum dan Sesudah Kopigmentasi .	38
13. Piranti DSSC menggunakan Lapisan TiO ₂ Terdeposisi Fe	38
14. Pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi Fe pada TiO ₂ terhadap efisiensi sel pada waktu 10 detik	39
15. Pengaruh variasi waktu elektrodeposisi Fe pada TiO ₂ terhadap efisiensi sel pada tegangan 9 V	41

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Struktur antosianidin secara umum.....	10
2. Karakteristik dari fasa-fasa TiO ₂	14
3. Desain penelitian.....	23
4. Interpretasi Lapisan TiO ₂	33
5. Interpretasi Lapisan TiO ₂ terdeposisi Fe.....	33
6. Interpretasi data hasil FTIR (Coates, 2000).	36
7. Penentuan voltase optimum.....	71
8. Penentuan waktu optimum.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Prosedur Kerja Secara Keseluruhan	47
2. Preparasi Kaca ITO	48
3. Preparasi Lapisan TiO ₂	49
4. Elektrodeposisi Logam Fe pada TiO ₂	50
5. Persiapan Elektrolit Semi Padat	51
6. Preparasi Counter Elektroda	52
7. Ekstraksi Antosianin Buah Manggis	53
8. Penentuan jumlah kopigmen	54
9. Preparasi DSSC	55
10. Data Hasil Pengukuran XRD dan Perhitungan Ukuran Kristal TiO ₂	56
11. Data Hasil Pengukuran UV-Vis Antosianin Sebelum Kopigmentasi	62
12. Data Hasil Pengukuran UV-Vis Antosianin Setelah Kopigmentasi	64
13. Data Hasil Pengukuran FTIR Antosianin	66
14. Penentuan Jumlah Kopigmen yang Ditambahkan	67
15. Hasil Pengamatan	68
16. Data Hasil Pengujian DSSC	69
17. Perhitungan Efisiensi DSSC	71

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu tantangan yang kita hadapi pada saat sekarang ini. Secara umum, terjadinya peningkatan kebutuhan energi mempunyai keterkaitan erat dengan kian berkembang kegiatan ekonomi dan kian bertambah jumlah penduduk (Asy'ari, Jatmiko, & Angga, 2012). Di Indonesia, dengan jumlah penduduk yang meningkat dari tahun ke tahun dan pertumbuhan ekonomi terus berlangsung maka peningkatan kebutuhan energi adalah suatu hal yang tak bisa dihindari.

Energi yang biasa digunakan bersumber dari energi fosil, dengan keadaan semakin menipisnya sumber energi fosil terjadi pergeseran dari penggunaan sumber energi tak terbahurui menuju sumber energi yang terbahurui. Sumber energi terbahurui meliputi *solar cell* / sel surya, angin, biomass dan *hydro power* (Septina, Fajarisandi, & Aditia, 2007). Di Indonesia, penggunaan energi melalui *solar cell* / sel surya merupakan alternatif yang paling potensial dari sekian banyak sumber energi terbahurui lainnya karena berada dalam wilayah khatulistiwa yang cenderung menerima radiasi tegak lurus dibanding wilayah lain dipermukaan bumi.

Perkembangan sel surya terus menerus dilakukan, dari sel surya generasi pertama, kedua dan ketiga. Sel surya generasi pertama adalah sel surya berbasis silikon kristal tunggal dan sel surya silikon polikristal. Sel surya generasi kedua adalah sel surya tipe lapis tipis anorganik yang terbuat dari lapis tipis material

semikonduktor seperti silikon amorf (a-Si), cadmium telluride (CdTe), copper indium gallium diselenide (CIGS), dan silikon kristalin lapis tipis (Ma'ruf, 2007). Sel surya generasi pertama dan kedua memiliki efisiensi yang baik yaitu mencapai 20%, akan tetapi dalam produksinya memerlukan teknologi tinggi, biaya yang sangat mahal dan penggunaan bahan kimia berbahaya pada proses fabrikasinya (Suryadi, Gunawan, & Haris, 2010). Sel surya generasi ketiga yaitu sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia yang dalam proses produksinya relatif lebih mudah dan murah (Prasetyowati, Katriani, & Ningtias, 2016). Kelemahan dari sel surya generasi ketiga ini ialah efisiensi yang rendah dan umur pakai yang singkat. Penelitian tentang sel surya generasi ketiga terus dikembangkan untuk mendapatkan sel surya dengan efisiensi dan umur pakai yang lebih baik.

DSSC (sel surya berbasis *dye*) merupakan salah satu sel surya generasi ketiga yang dijadikan topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti seluruh dunia adalah sel surya berbasis *dye* (Suryadi, Gunawan, & Haris, 2010). Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Pada DSSC, cahaya diserap oleh molekul pewarna dan pemisahan muatan oleh semikonduktor anorganik kristal nano yang memiliki celah pita besar. Berbeda dengan sel surya berbasis silikon semua proses baik penyerapan cahaya maupun pemisahan muatan melibatkan silikon itu sendiri.

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan salah satu semikonduktor yang sering digunakan pada DSSC. TiO_2 merupakan semikonduktor tipe-n dan memiliki *band gap* yang cukup besar yaitu sekitar 3,2 eV. Level terbawah pita konduksi TiO_2

juga berada di bawah level *Low Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO) , sehingga elektron yang tereksitasi pada level LUMO mudah tertransfer ke pita konduksi TiO₂ (Hidayat, Rokhmat, & Qurthobi, 2014). Harga TiO₂ juga relatif murah dan tidak menimbulkan efek yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan, akan tetapi absorbansinya terhadap cahaya matahari masih rendah.

Lapisan tipis semikonduktor TiO₂ hanya mampu menyerap 5% spektrum cahaya matahari dari seluruh spektrum cahaya matahari pada spektrum UV (200 nm – 400 nm) untuk itu penggunaan zat warna sangat penting. 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). Antosianin merupakan salah satu zat warna alami yang telah menarik perhatian untuk dikembangkan sebagai *sensitizer* pada DSSC. Penggunaan antosianin sebagai zat warna dapat memperluas daerah penyerapan sehingga berpengaruh terhadap efisiensi. Antosianin merupakan zat warna alami yang mudah teroksidasi/rusak.

Salah satu cara untuk meningkatkan stabilitas dari antosianin yaitu dengan kopigmentasi. Kopigmentasi antosianin merupakan interaksi antosianin dalam bentuk kation flavilium dengan suatu kopigmen yang dapat berupa logam atau senyawa organik (Lestario & Andini, 2016). Antosianin dapat membentuk suatu senyawa yang lebih kompleks ketika berinteraksi dengan senyawa organik lain melalui reaksi kopigmentasi. Kopigmentasi antosianin menyebabkan efek batokromik yaitu terjadinya pergeseran absorpsi panjang gelombang maksimum

ke daerah panjang gelombang yang lebih panjang dengan kata lain memperluas daerah penyerapan.

Manggis (*Garcinia mangostana*. L) merupakan salah satu buah yang mengandung antosianin paling banyak pada bagian kulitnya, sehingga bisa dimanfaatkan sebagai zat warna pada sel surya jenis DSSC (Suryadi, Gunawan, & Haris, 2010). Antosianin merupakan kelompok pigmen yang berwarna merah sampai biru yang tergolong kedalam kelompok flavonoid. Kulit manggis mengandung kadar antosianin sebesar 593 ppm.

Maulina, *et al* (2014) telah berhasil membuat prototype DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) dengan menggunakan variasi komposisi elektrolit semi padat dan metoda fraksinasi ekstraksi antosianin kulit buah manggis (*Garcinia Mangostana L*). Efisiensi yang dihasilkan oleh DSSC adalah 0,592 %. Penggunaan antosianin dari kulit buah manggis sebagai zat warna jika dikopigmentasi dapat meningkatkan efisiensi dari DSSC. Penggunaan asam sebagai kopigmen dapat mencegah degradasi dari antosianin kulit buah manggis/*dye*.

Nilai efisiensi dari DSSC yang berbasis TiO_2 dengan antosianin kulit manggis terkopigmentasi sebagai *dye* masih rendah maka perlu dilakukan modifikasi terhadap lapisan TiO_2 . Salah satunya yaitu elektrodposisi logam pada lapisan TiO_2 . Elektrodposisi logam pada lapisan TiO_2 dapat dilakukan menggunakan metode elektrodposisi. Kelebihan dari metode elektrodposisi yaitu mudah dan murah. Elektrodposisi logam Fe pada TiO_2 akan membentuk suatu lapisan kontak logam yang menjadi lintasan aliran elektron. Semakin

banyak logam Fe yang terdeposisi pada struktur TiO_2 maka kontak logam yang terjadi akan semakin banyak dan aliran elektron akan semakin cepat (Prasetyowati, *et al.*, 2011). Peningkatan waktu dan tegangan akan meningkatkan jumlah logam yang terdoping pada TiO_2 , sehingga dilakukan deposisi Fe dengan variasi waktu dan tegangan elektroplating untuk menentukan kondisi optimum doping Fe yang meningkatkan efisiensi DSSC yang dihasilkan.

Berdasarkan dari latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini akan dipreparasi suatu sel DSSC berbasis TiO_2 yang dideposisikan ion logam Fe dengan prekursor garam $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ menggunakan antosianin kulit buah manggis yang dikopigmentasi dengan asam salisilat sebagai zat warna untuk mendapatkan efisiensi DSSC yang lebih baik sehingga dapat diaplikasikan sebagai sumber energi pengganti dari energi fosil.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Efisiensi dari DSSC yang menggunakan zat warna alami terkopigmentasi sebagai *sensitizer* masih rendah.
2. Variasi waktu elektrodeposisi Fe pada TiO_2 mempengaruhi efisiensi DSSC yang dihasilkan.
3. Variasi tegangan elektrodeposisi Fe 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 dari kulit buah manggis yang dikopigmentasi asam salisilat.
2. Elektrodeposisi Fe pada TiO_2 dilakukan menggunakan prekursor $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$.
3. Waktu elektrodeposisi Fe pada TiO_2 divariasikan 5 detik, 10 detik, 15 detik, 20 detik, 25 detik, dan 30 detik.
4. Tegangan elektrodeposisi Fe pada TiO_2 divariasikan 9 V, 12 V, dan 15 V.

D. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu elektrodeposisi logam Fe terhadap efisiensi DSSC menggunakan antosianin kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat ?
2. Bagaimana pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi logam Fe terhadap efisiensi DSSC menggunakan antosianin kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah:

1. Menentukan pengaruh variasi waktu elektrodeposisi logam Fe terhadap efisiensi DSSC menggunakan antosianin kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat.
2. Menentukan pengaruh variasi tegangan elektrodeposisi logam Fe terhadap efisiensi DSSC menggunakan antosianin kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pengaruh variasi waktu elektrodeposisi Fe pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan antosianin kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu electroplating Fe pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan antosianin kulit buah manggis terkopigmentasi asam salisilat.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan dan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Buah Manggis

Tanaman manggis (*Garcinia mangostana* L) memiliki taksonomi yang bermula dari Divisio *Spermatopyta* dengan Sub Divisi *Angiospermae*, Kelas *Dicotyledonae*, Ordo *Guttiferanales*, Famili *Guttirerae/Clusiaceae*, dan Genus *Garcinia* (Utami, 2016). Tanaman manggis (*Garcinia mangostana* L) merupakan salah satu buah asli negara tropika yang mempunyai prospek cerah untuk dikembangkan di berbagai daerah dengan ekologi yang cocok untuk pertumbuhan manggis. Buah manggis merupakan buah yang mempunyai banyak manfaat bagi kesehatan dibandingkan buah lainnya. Bagian kulit buah manggis dapat dimanfaatkan sebagai penghasil zat warna alami yang dapat digunakan sebagai pewarna makanan, juga dimanfaatkan sebagai antioksidan.



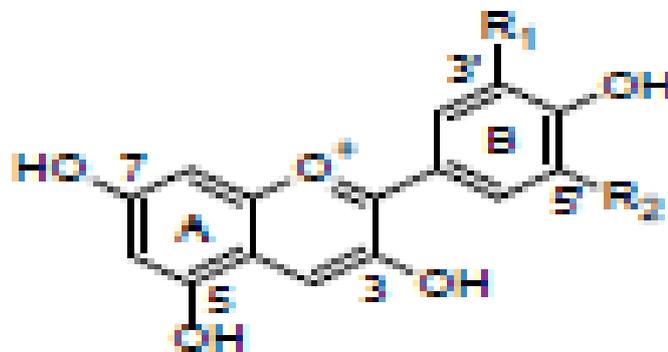
Gambar 1. Buah Manggis
(Maulina, Hardeli, & Bahrizal, 2014).

Kulit buah manggis mengandung kadar antosianin sebesar 593 ppm. Senyawa antosianin dari kulit buah manggis dapat digunakan sebagai pewarna peka cahaya (dye sensitizer) alternatif pada rangkaian DSSC (Suryadi, Gunawan,

& Haris, 2010). Kulit buah manggis dapat dijadikan bahan baku untuk pewarna alami karena kulit buahnya mengandung dua senyawa alkaloid, serta lateks kering buah manggis mengandung sejumlah pigmen yang berasal dari dua metabolit, yaitu α -mangosteen dan β -mangosteen yang jika diekstraksi dapat menghasilkan bahan pewarna alami berupa antosianin yang menghasilkan warna merah, ungu, dan biru.

B. Antosianin

Antosianin merupakan flavonoid yang berwarna merah sampai biru dan pada umumnya larut dalam air. Antosianin sangat melimpah dan dapat mengabsorpsi foton pada panjang gelombang yang lebar. Stabilitas dari antosianin dipengaruhi oleh pH, agregasi dan temperature (Divya, Janarthanan, & Chandrasekaran, 2017). Antosianin disusun dari sebuah aglikon (antosianidin) yang teresterifikasi dengan satu atau lebih gugus gula (glikon). Kebanyakan antosianin ditemukan dalam enam bentuk antosianidin, yaitu pelargonidin, sianidin, peonidin, delphinidin, petunidin, dan malvidin. Struktur antosianin secara umum ditunjukkan oleh Gambar. 2.dan Tabel 1.



Gambar 2. Struktur antosianin secara umum (Miguel, 2011).

Tabel 1. Struktur antosianidin secara umum

Antosianidin	R ₁	R ₂	Warna
Pelargonidin	H	H	Orange
Sianidin	OH	H	Orange-red
Delfinidin	OH	OH	Bluish-red
Peonidin	OCH ₃	H	Orange-red
Petunidin	OCH ₃	OH	Bluish-red
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃	Bluish-red

Sumber: (Miguel, 2011)

Antosianin pada limbah kulit buah manggis mengalami penurunan stabilitas yang dipengaruhi pH, suhu, dan waktu pemanasan. Peningkatan pH menyebabkan nilai absorbansi ekstrak semakin kecil, sedangkan dalam larutan asam senyawa antosianin membentuk ion oksonium dan menghasilkan konjugasi ikatan rangkap yang melalui tiga gugus aglikon yang membantu menyerap foton pada spektrum tampak (Suryadi, Gunawan, & Haris, 2010). Semakin tinggi suhu dan waktu pemanasan menyebabkan penurunan retensi warna yang semakin besar (Rita & Nisa, 2015).

C. Kopigmentasi

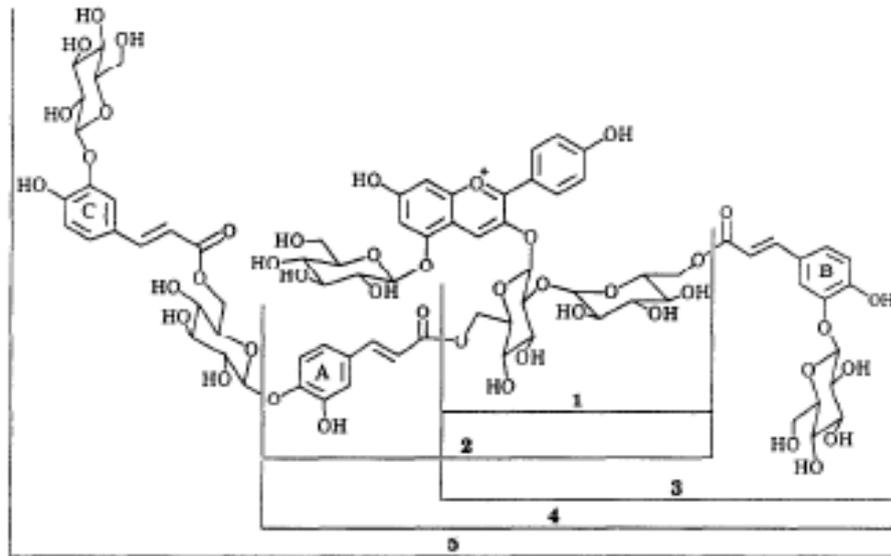
Kopigmentasi adalah pengabungan antosianin dengan molekul lain, yang dapat mempengaruhi stabilitas antosianin. Kopigmentasi menyebabkan terjadinya efek batokromik yaitu pergeseran absorbansi maksimum ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi (*visible*) (Lestario & Andini, 2016). Dengan kata lain kopigmentasi meningkatkan absorbansi dan memperluas panjang gelombang maksimum pigmen.

Kopigmentasi merupakan solusi untuk komponen organik berpigmen maupun tidak berpigmen dengan membentuk suatu kompleks (Boulton, 2001).

Secara umum 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.

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.

Antosianin memiliki sistem phi-terkonjugasi sehingga dapat menyerap sinar tampak dan dapat membentuk supramolekul dengan pigmen lain dan kofaktor termasuk asam fenolik dan flavonoid (Trouillas, *et al.*, 2016), seperti pada Gambar.3.

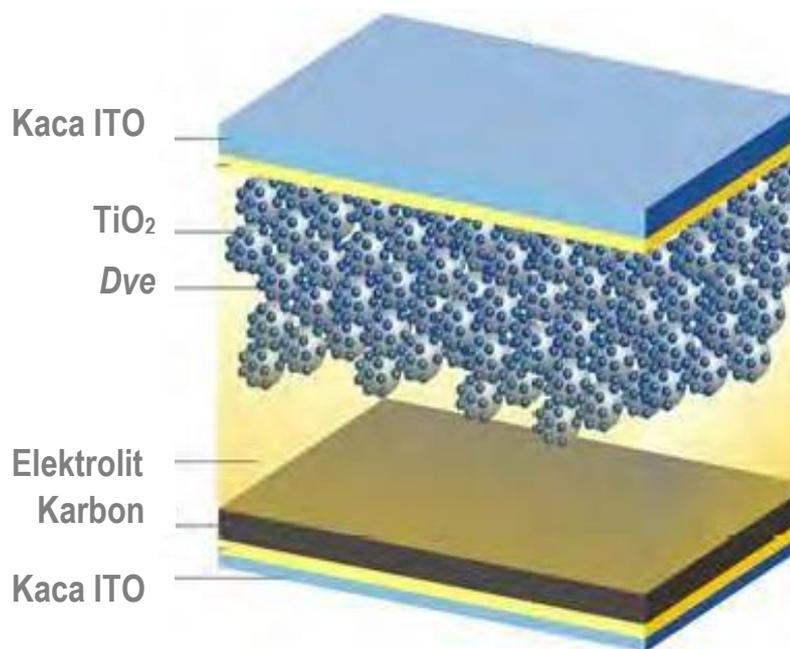


Gambar 3. Kopigmentasi antosianin dengan asam fenolic (kopigmentasi intramolekular)
(Dangles, Saito, & Brouillard, 1993).

D. Sel surya DSSC

DSSC atau sel surya tersensitasi zat warna merupakan salah satu jenis sel surya berbasis semikonduktor yang menggunakan fenomena fotoelektrokimia sebagai prinsip dasar untuk menghasilkan energi listrik. DSSC merupakan generasi ketiga dari sel surya yang pertamakali ditemukan oleh Mikael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 di *Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*, Swiss.

Secara umum struktur DSSC terdiri dari susunan dua kaca transparan konduktif sebagai elektroda (Tyas, *et al.*, 2016). Elektroda kerja dilapisi dengan titanium dioksida (TiO_2) yang diberi dye sebagai foto-elektroda, sementara elektroda lawan dilapisi dengan platina (atau katalis lainnya). Lapisan elektrolit redoks (I^-/I_3^-) berada diantara dua elektroda setelah dijepit bersama-sama.



Gambar 4. Struktur Dye sensitized solar cell
(Kumara & Prajitno, 2012).

Berikut beberapa bagian-bagian dari DSSC:

1. Substrat

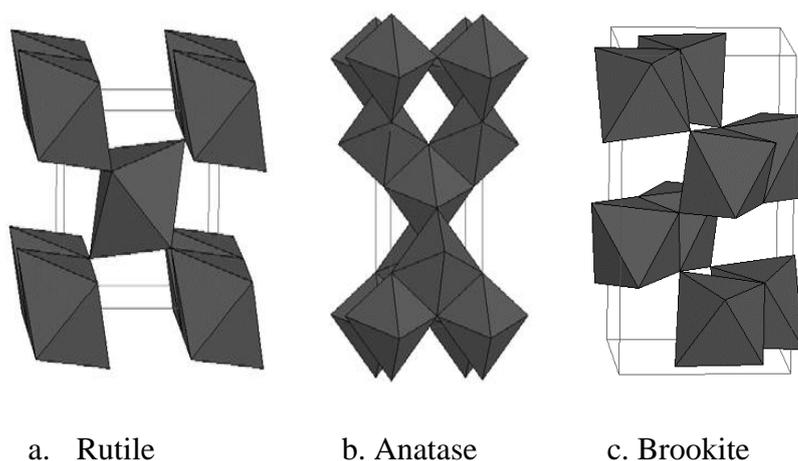
Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (Transparent Conductive Oxide) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umum digunakan yaitu *fluorine-doped tin oxide* ($\text{SnO}_2:\text{F}$ atau FTO) dan *indium tin oxide* ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ atau ITO) (Kumara & Prajitno, 2012).

2. Titanium Dioksida (TiO_2)

Titania merupakan semikonduktor yang digunakan sebagai lapisan aktif pada sel surya. Rentang absorpsi TiO_2 berada pada panjang gelombang 190 -820 nm (Prasetyowati, *et al.*, 2011). Sifat fotokatalis TiO_2

yang tinggi dan memiliki energi gap yang cukup besar (Arista, Dahlan, & Syukri, 2016) sehingga pada DSSC berperan sebagai fotokatalis. Hal ini dikarenakan TiO_2 mampu menyerap energi foton yang diberikan dari daerah ultraviolet sampai cahaya tampak.

TiO_2 pada umumnya mempunyai tiga fasa yaitu *rutile* (tetragonal), *anatase* (tetragonal), dan *brookite* (orthorombik) (Susanti, *et al.*, 2014) dengan karakteristik yang berbeda seperti pada Gambar 5. dan Tabel 2. berikut ini:



Gambar 5. Struktur fasa TiO_2
(Septina, Fajarisandi, & Aditia, 2007).

Tabel 2. 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 ($^{\circ}\text{C}$)	1825	Transformasi ke rutile	Transformasi ke rutile

Sumber : (Septina, Fajarisandi, & Aditia, 2007).

Kristal anatase TiO_2 paling efektif digunakan dalam pembuatan lapis tipis pada DSSC karena luas permukaannya mampu menghasilkan daya adsorpsi yang efektif terhadap molekul pewarna dan fase kristalnya stabil pada suhu rendah (Suryadi, Gunawan, & Haris, 2010).

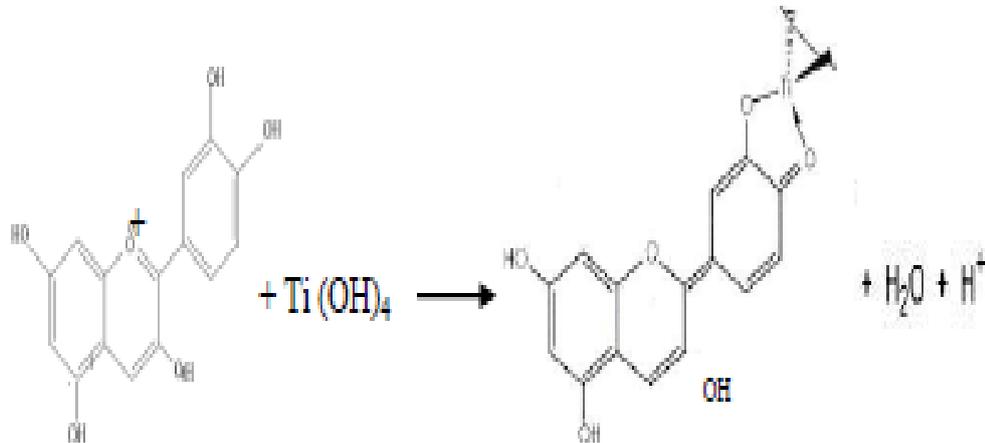
3. Zat Warna

Zat pewarna (dye) merupakan material yang memberikan pengaruh sensitasi semikonduktor terhadap cahaya. Dye dapat berasal dari bahan-bahan alami (organik), terutama berasal dari keluarga flavonoid (Prasetyowati, 2012). Dye berfungsi sebagai pompa fotoelektrokimia dan lapisan penyerap foton yang selanjutnya tereksitasi menjadi eksiton (fotosensitizer).

Dalam aplikasi DSSC, sensitizer yang umum digunakan berupa sensitizer alami dan sintesis (Richhariya, *et al.*, 2017). Sensitizer sintesis yang memiliki efisiensi dan stabilitas yang tinggi, akan tetapi harga dan efek toksisitas tinggi. Penggunaan zat warna 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.

Plat tipis semikonduktor direndam didalam zat warna agar terjadi adsorpsi antosianin ke permukaan TiO_2 . Dalam penelitian semikonduktor TiO_2 akan berkombinasi dengan antosianin dari kulit buah manggis. Struktur

Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup antosianin dengan menggantikan gugus menggantikan –OH.



Gambar 6. Adsorpsi Senyawa Aromatic Dihidroxy ke TiO₂
(Septina, Fajarisandi, & Aditia, 2007)

4. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan untuk DSSC umumnya menggunakan elektrolit cair dan elektrolit semi padat yang biasanya terdiri atas pasangan redoks I⁻ dan I₃⁻ perbedaannya adalah elektrolit semi padat menggunakan polimer polietilen glikol (PEG). PEG berperan sebagai medium pasangan redoks I⁻/I₃⁻ karena PEG mampu menjerat anion I⁻/I₃⁻. Dimana I₃⁻ terbentuk melalui reaksi antara I⁻ dan I₂ sebagai berikut:



Pasangan redoks I⁻/I₃⁻ berperan sebagai *carrier* dan transport muatan sehingga memungkinkan siklus elektron dan regenerasi dye dalam DSSC yang ditunjukkan oleh reaksi diatas. Penggunaan PEG dapat mencegah

penguapan pasangan redoks I/I_3^- dan siklus elektron serta regenerasi molekul dye berlangsung dengan baik (Mustaqim, Haris, & Gunawan, 2017).

5. *Counter Elektroda*

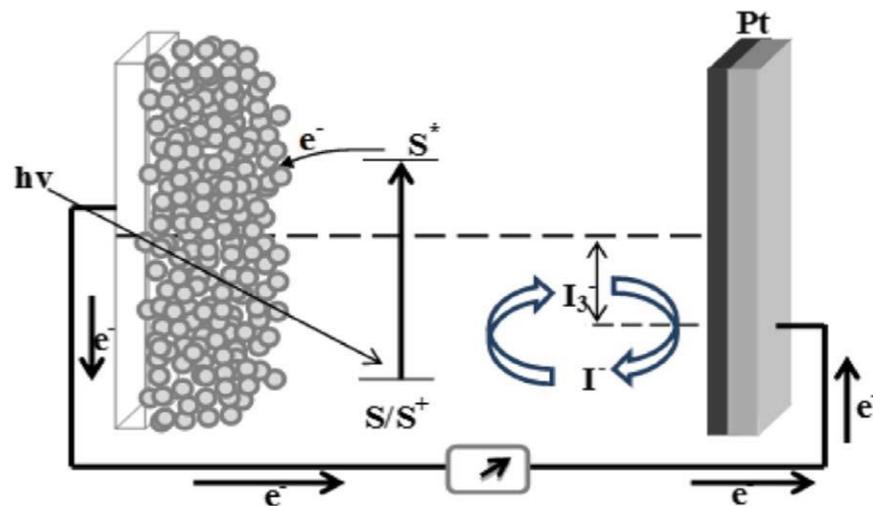
Counter elektroda berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. Iodide yang teroksidasi akan berdifusi menuju *counter electrode* sehingga proses reduksi berlangsung (Andualem & Demiss, 2018). Counter elektroda yang biasa digunakan adalah platina karena memiliki kemampuan katalitik yang tinggi. Platina membutuhkan biaya yang tinggi dan fabrikasi yang sulit, untuk itu telah dikembangkan Kay dan Gratzel (1996) DSSC counter elektroda dari karbon. Counter elektroda dari karbon memiliki sifat mirip dengan platina dan memiliki kemampuan katalitik yang baik (Kay & Gratzel, 1996).

E. Prinsip Kerja DSSC

Prinsip kerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah saat terjadi proses transfer elektron pada rangkaian luar DSSC menuju elektroda lawan, aliran listrik akan dihasilkan. Pada sisi elektroda lawan akan mempunyai potensial positif. Sedangkan pada sisi substrat yang terlapis atau elektroda kerja akan mempunyai potensial negatif. Beda potensial antara kedua elektroda tersebut menimbulkan terjadinya aliran listrik ketika kedua elektroda tersebut diberi beban.

Semikonduktor TiO_2 tidak menyerap cahaya tampak, namun mengabsorpsi cahaya UV. Penggunaan bahan pewarna (sensitizer) merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat semikonduktor dengan meningkatkan absorbansi pada panjang gelombang cahaya tampak dari semikonduktor TiO_2 (Bashir, *et al.*,

2016). Besarnya konsentrasi dye mempengaruhi ketebalan lapisan dye di atas TiO_2 yang sangat berpengaruh terhadap proses penyerapan cahaya oleh lapisan dye dan dapat meningkatkan konduktivitas listrik dalam lapisan tersebut.



Gambar 7. Skema kerja DSSC
(Richhariya, *et al.*, 2017)

Secara skematis, prinsip kerja sel surya adalah sebagai berikut :

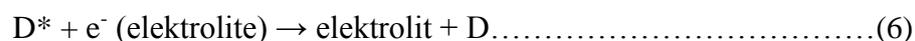
1. Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh larutan dye yang melekat pada permukaan partikel TiO_2 . Sehingga elektron dari dye mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi (D^*).



2. Elektron yang tereksitasi dari molekul dye tersebut akan diinjeksikan ke pita konduksi TiO_2 dimana TiO_2 bertindak sebagai akseptor / kolektor elektron. Molekul dye yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi (D^*).



3. Selanjutnya elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda pembanding (elektroda karbon).
4. Elektrolit redoks biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis.
5. Elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan bereaksi dengan elektrolit menuju dye teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul dye teroksidasi. Sehingga dye kembali ke keadaan awal.



(Wulandari & Prajitno, 2012).

F. Elektrodeposisi logam Fe pada TiO₂

Aktifitas fotokatalitik dari titanium dioksida tidak hanya tergantung pada sifat dari TiO₂ itu sendiri tapi juga tergantung pada modifikasi dari TiO₂ dengan suatu logam atau oksida logam (Sangchay, 2014). Logam besi merupakan salah satu logam yang sering digunakan untuk doping TiO₂. Fe bertindak sebagai pengotor pada bidang Ti pada fasa anatase (Thu, *et al.*, 2016). Jumlah Fe yang terdeposisi pada TiO₂ tergantung pada peningkatan waktu dan tegangan pada proses elektroplating (Prasetyowati, *et al.*, 2011). Logam besi adalah logam yang berasal dari bijih besi yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari. dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi

juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Besi dialam terdapat dalam bentuk senyawa, misalnya pada mineral hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_2O_4), pirit (Fe_2S), siderit (FeCO_3), dan limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

G. Performansi DSSC

Kinerja sel surya dapat dilihat berdasarkan efisiensi konversi energi cahaya ke listrik (Wulandari & Prajitno, 2012). Performansi sel surya dapat dilihat dari nilai efisiensi dari sel. Nilai efisiensi dari sebuah sel surya dapat dihitung berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel yang diukur menggunakan multimeter digital. Nilai efisiensi dari sel dapat dihitung menggunakan formula:

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

(1)

(Richhariya, *et al.*, 2017).

P_{max} adalah daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh sel surya dan P_{light} merupakan daya dari sumber cahaya yang digunakan. Daya maksimum dapat diperoleh dari:

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

V_{max} merupakan voltase maksimum yang dapat dihasilkan oleh sel dan I_{max} merupakan arus maksimum dari sel.

H. Instrumen yang digunakan

1. XRD (*X-ray Diffraction*)

XRD merupakan salah satu metoda karakterisasi material untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Teknik ini digunakan

untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik yang memberikan interferensi yang konstruktif (Hastuti, 2011). Keuntungan utama penggunaan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi yang tinggi akibat panjang gelombangnya yang pendek. Pada penelitian ini karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari serbuk katalis TiO_2 dengan mengetahui puncak-puncak sampel dan membandingkan dengan puncak-puncak standar serta untuk menentukan ukuran kristal.

2. UV-Vis

Merupakan salah satu instrument yang dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul suatu senyawa organik berdasarkan interaksinya dengan sinar UV dan Visible. Ketika sinar UV dan visible mengenai elektron-elektron senyawa organik, maka elektron-elektron tersebut akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Eksitasi ini yang akan direkam dalam bentuk spektrum yang menggambarkan absorbansi terhadap panjang gelombang (Suhartati, 2017). Pada penelitian ini UV-Vis digunakan untuk uji absorbansi antosianin sebagai zat warna sebelum dan setelah dikopigmentasi.

3. FTIR (*Fourier Transform InfraRed*)

FTIR digunakan untuk karakterisasi zat warna antosianin kulit buah manggis hasil ekstraksi. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui kehadiran gugus fungsi yang terdapat pada antosianin. Pengujian spektrum bilangan gelombang dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang 4000-600 cm^{-1} . Spektrofotometer FTIR yang digunakan yaitu merk PerkinElmer.

4. Multimeter

Multimeter sering disebut AVOMeter atau multimeter, alat ini biasa dipakai untuk mengukur harga resistansi (tahanan), tegangan AC (*Alternating Current*), tegangan DC (*Direct Current*), dan arus. Pada penelitian ini multimeter akan digunakan untuk mengukur tegangan dan kuat arus DSSC yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan tegangan elektrodeposisi menyebabkan penurunan nilai efisiensi, tegangan optimum elektrodeposisi adalah 9 V dengan efisiensi 2,7307%.
2. Peningkatan waktu elektrodeposisi menyebabkan kenaikan efisiensi hingga waktu optimum dan penurunan efisiensi setelah waktu optimum, waktu optimum elektrodeposisi adalah 20 detik dengan efisiensi 4,2335%.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Menghindari pemanasan tinggi pada kaca ITO karena dapat merusak kaca dan meningkatkan hambatan sel.
2. Pemanasan lapisan TiO_2 yang telah dideposisi Fe pada suhu rendah untuk menghindari keretakan lapisan.
3. Melakukan modifikasi TiO_2 menggunakan metode selain elektrodeposisi untuk mendapatkan nilai efisiensi yang lebih tinggi.

KEPUSTAKAAN

- Andualem, A., & Demiss, S. (2018). Review on Dye Sensitized Solar Cell (DSSCs). *Edelweiss Applied Science and Technology*, 2(1), 145-150.
- Arista, A., Dahlan, D., & Syukri. (2016). Sintesis Lapisan TiO₂ pada Substrat ITO menggunakan Metode Elektrodeposisi dan Spin Coating. *Jurnal Ilmu Fisika*, 8(1), 17-27.
- Asy'ari, H., Jatmiko, & Angga. (2012). Intensitas Cahaya Matahari terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS* (pp. 52-57). Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Bashir, F. A., Febri, A., Hidayah, A. T., Nuraini, N. R., & Wulandari, N. (2016). Ekstrak Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana* L.) sebagai Dye Sensitiser Alami pada Dye Sensitized Solar Cell. *Seminar Nasional Pendidikan dan Saintek* (pp. 249-254). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- 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), 67-87.
- Coates, J. (2000). *Interpretation of Infrared Spectra , A Practical Approach* (R. . Meyers, ed.). Chicester.
- Damayanti, R., Hardeli, & Sanjaya, H. (2014). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L.). *Jurnal Saintek*, VI, 148-157.
- Dangles, O., Saito, N., & Brouillard, R. (1993). Anthocyanin Intramolecular Copigment Effect. *Phytochemistry*, 34, 119-124.
- Divya, C., Janarthanan, B., & Chandrasekaran, J. (2017). Review on Recent Advances in Titanium Dye Oxyde Nanoparticles for Dye Sensitized Solar Cell Application. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, 6(2), 126-135.
- Hardeli, Suwardani, Riky, T, F., Maulidis, & Ridwan, S. (2013). Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung* (pp. 155-161). Lampung: FMIPA UNILA.
- Hastuti, E. (2011). Analisa Difraksi Sinar-X TiO₂ dalam Penyiapan Bahan Sel Surya Tersensitasi Pewarna. *Jurnal Neutrino*, 4(1), 93-100.