

**ELEKTRODEPOSISI Zn PADA TITANIUM DIOKSIDA
UNTUK APLIKASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*
(DSSC) DENGAN EKSTRAK KULIT JENGKOL
SEBAGAI ZAT WARNA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

Sains



OLEH :

NURUL FADHILLAH AGDISTI

15036072/2015

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

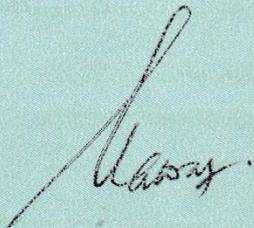
PERSETUJUAN SKRIPSI

**ELEKTRODEPOSISI Zn PADA TITANIUM DIOKSIDA UNTUK
APLIKASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) DENGAN
EKSTRAK KULIT JENGKOL SEBAGAI ZAT WARNA**

Nama : Nurul Fadhillah Agdisti
NIM : 15036072
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2019

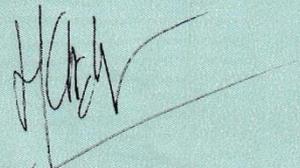
Mengetahui :
Ketua Jurusan Kimia



Dr. Mawardi, M.Si

NIP. 196111231989031002

Disetujui oleh :
Dosen Pembimbing



Dr. Hardeli, M.Si

NIP. 196401131991031001

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

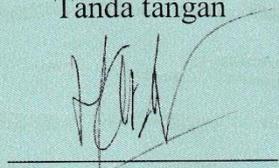
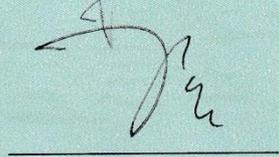
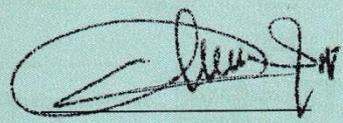
Nama : Nurul Fadhillah Agdisti
NIM : 15036072
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ELEKTRODEPOSISI Zn PADA TITANIUM DIOKSIDA UNTUK APLIKASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) DENGAN EKSTRAK KULIT JENGKOL SEBAGAI ZAT WARNA

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	: Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D	
Anggota	: Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nurul Fadhillah Agdisti
NIM/BP : 15036072/2015
Tempat/Tanggal Lahir : Desa Pasar Baru/ 03 Agustus 1997
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Jalan Parkit 2 No.1, Air Tawar Barat

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "**Elektrodeposisi Zn pada Titanium Dioksida untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Ekstrak Kulit Jengkol sebagai Zat Warna**" 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



Nurul Fadhillah Agdisti
NIM. 15036072

Elektrodeposisi Zn pada Titanium Dioksida untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan Ekstrak Kulit Jengkol Sebagai Zat Warna

Nurul Fadhillah Agdisti

ABSTRAK

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah sel surya yang menggunakan zat warna sebagai penyerap foton dari cahaya matahari. DSSC berbasis titanium dioksida menggunakan zat warna alami masih memiliki efisiensi yang rendah meskipun ramah lingkungan dan murah. Efisiensi DSSC yang rendah karena terjadi rekombinasi elektron yang terinjeksi dengan elektrolit disebabkan perbedaan celah pita yang kecil. Elektrodeposisi Zn berperan dalam membentuk lapisan penghalang dan memodifikasi TiO_2 untuk mengurangi rekombinasi elektron dan meningkatkan efisiensi DSSC. Tegangan dan waktu elektrodeposisi Zn mempengaruhi efisiensi DSSC sehingga dilakukan variasi tegangan dan waktu untuk menentukan kondisi optimum yang menghasilkan DSSC dengan efisiensi yang tinggi.

Penelitian ini dimulai dengan preparasi kaca ITO untuk membersihkan kaca ITO dari kotoran. Kaca ITO yang telah bersih diberi *scotch tape* dan dilapisi dengan pasta TiO_2 . Lapisan TiO_2 kemudian di keringkan dalam oven untuk membentuk lapisan yang melekat pada kaca. Lapisan TiO_2 dielektrodeposisi Zn menggunakan larutan ZnSO_4 dengan variasi tegangan dan variasi waktu. Lapisan Zn- TiO_2 yang terbentuk direndam dalam zat warna yang telah dikopigmentasi kemudian dirakit menjadi DSSC menggunakan komponen lain DSSC yang telah dipreparasi dan diuji menggunakan multimeter. Zat warna dari kulit jengkol dikarakterisasi menggunakan UV-Vis dan FTIR. Lapisan Zn- TiO_2 dikarakterisasi menggunakan XRD untuk menentukan ukuran kristal, struktur kristal dan pengaruh elektrodeposisi Zn terhadap TiO_2 .

Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa terjadi penurunan ukuran kristal TiO_2 dan masih terdapat ZnSO_4 pada TiO_2 . Penurunan ukuran kristal akan menyebabkan kenaikan luas permukaan pada TiO_2 sehingga meningkatkan efisiensi DSSC. Efisiensi DSSC yang menggunakan elektrodeposisi Zn pada TiO_2 (Zn- TiO_2) mengalami kenaikan dibandingkan DSSC menggunakan TiO_2 murni yaitu dari 0,8% menjadi 4,14% pada tegangan elektrodeposisi 1 V. Kenaikan ini terjadi karena terbentuk lapisan penghalang proses rekombinasi elektron dengan elektrolit dan terjadi kenaikan luas permukaan TiO_2 . Tegangan dan waktu optimum elektrodeposisi Zn pada TiO_2 yaitu 1V dan 15 detik dengan efisiensi DSSC yang dihasilkan yaitu 6,00%.

Kata kunci : DSSC, elektrodeposisi Zn, Titanium dioksida, kulit jengkol, kopigmentasi

Electrodeposition of Zn on Titanium Dioxide for Application Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using Jengkol Pericarp Extract As Dye

Nurul Fadhillah Agdisti

ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a solar cell that uses dyes to absorb photons from sunlight. DSSC-based titanium dioxide using natural dyes still has low efficiency even though it is environmentally friendly and inexpensive. Low DSSC efficiency due to recombination of electrons injected with electrolytes due to small band gap differences. Electrodeposition of Zn plays a role in forming barrier layers and modifying TiO₂ to reduce electron recombination and improve DSSC efficiency. Voltage and time of electrodeposition process affect the efficiency of DSSC so that the voltage and time variations are carried out to determine the optimum conditions that produce DSSC with high efficiency.

The research began with the preparation of ITO glass to clean ITO glass from impurities. ITO glass was given a scotch tape and coated with TiO₂ paste. The TiO₂ layer is then dried in an oven to form a layer attached to the glass. The TiO₂ layer was extracted by Zn using ZnSO₄ solution with stress variations and time variations. The formed Zn-TiO₂ layer is immersed in a copigmented dye which is then assembled into DSSC using other DSSC components that have been prepared and after that tested using a multimeter. Dye from jengkol skin were characterized using UV-Vis and FTIR. The Zn-TiO₂ layer was characterized using XRD to determine crystal size, crystal structure and the effect of Zn electrodeposition on TiO₂.

The results of XRD analysis showed that there was a decrease in the size of TiO₂ crystals and that Zn was present on TiO₂. The decrease in crystal size will cause an increase in the surface area of TiO₂ thereby increasing DSSC efficiency. The efficiency of DSSC using Zn electrodeposition on TiO₂ (Zn-TiO₂) has increased compared to DSSC using pure TiO₂, from 0.8% to 4.14% at 1 V electrodeposition voltage. This increase occurs because a barrier layer reduction recombination of injected electrons with electrolytes and an increase in the surface area of TiO₂. The optimum voltage and time of electrodeposition of Zn on TiO₂ are 1V and 15 seconds with the resulting DSSC efficiency of 6.00%.

Keywords : DSSC, Zn electrodeposition, Titanium dioxide, jengkol pericarp, copigmentation

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Penulis Ucapkan Atas Kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **Elektrodeposisi Zn pada Titanium Dioksida untuk Aplikasi pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan Zat Warna dari Kulit Jengkol Terkopigmentasi**. Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan dalam rangka untuk memperoleh gelar Sarjana S1 pada program studi Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada :

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si sebagai dosen pembimbing.
2. Bapak Ananda Putra, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai dosen penguji 1
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai dosen penguji 2
4. Bapak Dr. H. Mawardi, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia, FMIPA UNP.
5. Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si. sebagai Ketua Program Studi Kimia Jurusan Kimia FMIPA UNP
6. Semua pihak lain dan teman-teman kimia tahun 2015 yang telah membantu dalam pembuatan proposal ini.
7. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal ini
8. Seluruh Staf Pengajar dan tenaga Administrasi di Jurusan Kimia FMIPA UNP.

Untuk kesempurnaan skripsi ini, maka penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR LAMPIRAN.....	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Perumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Titanium dioksida (TiO ₂)	7
B. Elektrodeposisi Zn pada TiO ₂	8
C. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).....	11
1. Pengertian Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	11
2. Susunan dan komponen dari DSSC.....	12
3. Prinsip Kerja DSSC	15
4. Kinerja DSSC	16
D. Antosianidin kulit jengkol.....	16
E. Kopigmentasi	19
F. Instrumen yang digunakan	21
1. Spektrofotometer UV-Vis	21
2. FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	21
3. XRD.....	22
4. Multimeter	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
A. Jenis Penelitian, Waktu, dan Tempat	23
B. Variabel Penelitian	23
C. Alat dan Bahan.....	23
1. Alat	23
2. Bahan.....	24

D. Prosedur Kerja.....	24
1. Elektrodeposisi Zn pada TiO ₂	24
2. Karakterisasi Lapisan TiO ₂ dan Zn-TiO ₂ di Permukaan Kaca.....	25
3. Preparasi Zat Warna	26
4. Persiapan Elektrolit Semi Padat	27
5. Persiapan elektroda <i>counter</i>	27
6. Fabrikasi Sel Surya.....	28
7. Pengujian Arus Listrik Sel Surya	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
A. Preparasi DSSC menggunakan Titanium Dioksida dielektrodeposisi Zn..	29
B. Karakterisasi Lapisan Elektrodeposisi Zn pada TiO ₂ (Zn-TiO ₂)	31
C. Preparasi Zat Warna dari Ekstrak Kulit Jengkol Terkopigmentasi Asam Salisilat	35
D. Karakterisasi zat warna	36
E. Perhitungan Efisiensi	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
A. Kesimpulan	42
B. Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur kristal titanium dioksida.....	7
2. Pembentukan lapisan penghalang menggunakan material.....	10
4. Skema susunan dari <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	12
5. Skema dari prinsip kerja dari DSSC secara singkat.....	15
6. Struktur umum antosianidin.....	17
7. Buah Jengkol (<i>Pithecellobium jiringa</i>)	18
8. Interaksi antara antosianin dan TiO ₂	19
9. DSSC yang telah dirakit.....	31
10. Difraktogram hasil analisa XRD untuk TiO ₂ tanpa elektrodeposisi.....	32
11. Hasil uji UV-Vis dari zat warna sebelum (a) dan setelah kopigmentasi (b). 36	
12. Grafik pengaruh variasi tegangan terhadap efisiensi DSSC	39
13. Grafik pengaruh variasi waktu terhadap efisiensi DSSC.....	40

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Struktur antosianidin yang paling umum dalam tumbuhan	17
2. Desain Penelitian.....	23
3. Hasil Interpretasi Data XRD TiO ₂	32
4. Kartu interpretasi data TiO ₂ dengan fasa anatase	32
5. Hasil Interpretasi Data XRD TiO ₂ dengan elektrodeposisi Zn	33
6. Kartu Interpretasi Data XRD Zn	33
7. Interpretasi Data FTIR untuk Zat Warna	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Diagram Alir Prosedur Kerja secara Keseluruhan	46
2. Preparasi Elektrodeposisi Zn pada TiO ₂	47
3. Preparasi Zat Warna	49
4. Persiapan Elektrolit Semi Padat	51
5. Preparasi Elektroda <i>Counter</i>	52
6. Fabrikasi Sel Surya	53
7. Hasil Pengamatan	54
8. Data Hasil Pengukuran XRD dan perhitungan ukuran kristal	57
9. Data Hasil Pengukuran XRD dan perhitungan ukuran kristal untuk TiO ₂ dengan elektrodeposisi Zn.....	59
10. Penentuan jumlah kopigmen yang ditambahkan.....	61
11. Data Hasil Pengujian UV-Vis untuk zat warna tanpa.....	62
12. Data Hasil Pengujian UV-Vis untuk zat warna.....	63
13. Data Hasil Pengujian FTIR pada zat warna tanpa	64
14. Data Hasil Pengujian DSSC.....	65
15. Efisiensi DSSC sesuai dengan Variasi Tegangan dan Waktu.....	67
16. Perhitungan Efisiensi DSSC	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Sumber energi yang paling banyak digunakan saat ini adalah energi fosil yang jumlahnya terbatas dan mengakibatkan dampak buruk bagi lingkungan yaitu menimbulkan emisi karbondioksida yang dapat menyebabkan pemanasan global (Patel, 2014). Energi terbarukan yang dapat dipakai untuk menggantikan energi fosil yaitu energi matahari. Energi matahari dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui suatu perangkat yang disebut sel surya (Gong, Sumathy, Qiao, & Zhou, 2017). Sel surya yang menjadi objek penelitian ini adalah *Dye Sensitize Solar Cell* (DSSC) yaitu sel surya generasi ketiga yang menggunakan zat warna sebagai penyerap foton.

DSSC menggunakan semikonduktor sebagai bahan penyerap zat warna dan penerima elektron dari zat warna yang tereksitasi. Titanium dioksida (TiO_2) merupakan bahan semikonduktor yang banyak digunakan dalam aplikasi DSSC karena toksisitas rendah, harga murah, tahan korosi dan stabilitas kimia yang baik. Titanium dioksida memiliki celah pita yang lebar yaitu 3,0 -3,2 eV yang menyebabkan aktivitas fotokatalitik titanium dioksida akan aktif saat menyerap sinar UV dari matahari (Abdullah, Khan, Ong, & Yaakob, 2017). DSSC menggunakan zat warna alami yang teradsorpsi pada titanium dioksida sebagai semikonduktor memiliki efisiensi yang rendah meskipun ramah lingkungan dan biaya yang murah. Penelitian DSSC yang menggunakan zat warna alami menghasilkan efisiensi beras ketan hitam 0,405%, daun bayam 0,304%, bunga

rosella 0,30%, buah naga 0,24% dan ubi jalar ungu 0,11% (Hardeli, Suwardani, Fernando, Maulidis, & Ridwan, 2013). Efisiensi yang rendah pada DSSC menggunakan zat warna alami disebabkan karena terjadi rekombinasi elektron yang terinjeksi dan pasangan redoks pada elektrolit (Mozaffari, Ranjbar, Kouhestanian, Salar Amoli, & Armanmehr, 2015). Pada penelitian ini dilakukan elektrodeposisi logam untuk mengurangi proses rekombinasi elektron dan meningkatkan performansi DSSC menggunakan zat warna alami.

Elektrodeposisi logam merupakan cara untuk membentuk lapisan penghalang antara elektrolit dan TiO_2 sehingga mengurangi proses rekombinasi elektron karena perbedaan celah pita antara TiO_2 dan elektrolit yang kecil (Kang, Kim, Kim, Kim, & Sung, 2007). Pada penelitian yang dilakukan oleh Prasetyowati (2012) dilakukan penyisipan logam besi ke titanium dioksida menggunakan metode elektroplating dan diamati pengaruhnya pada DSSC, diketahui meningkatnya efisiensi DSSC dari 0,001% menjadi 0,2% setelah menggunakan TiO_2 dengan penyisipan logam besi. Penelitian ini menunjukkan bahwa penyisipan logam memiliki pengaruh besar terhadap performansi DSSC yang dihasilkan. Elektrodeposisi logam Zn pada TiO_2 telah dilakukan pada penelitian oleh John K *et al* (2016) yaitu elektrodeposisi Zn pada nanotube TiO_2 untuk meningkatkan efisiensi DSSC. Berdasarkan penelitian John K *et al* (2016) yang telah dilakukan proses elektrodeposisi dan menghasilkan efisiensi DSSC 2 kali lebih besar dibandingkan dengan DSSC tanpa elektrodeposisi logam.

Pada penelitian ini akan dilakukan elektrodeposisi logam Zn pada TiO_2 dengan variasi tegangan dan waktu elektrodeposisi. Waktu dan tegangan elektrodeposisi akan mempengaruhi efisiensi DSSC yang dihasilkan (Nurfithri *et*

al., 2016; Prasetyowati, 2012). Peningkatan waktu dan tegangan akan meningkatkan jumlah Zn pada permukaan TiO₂, sehingga dilakukan elektrodeposisi Zn dengan variasi waktu dan tegangan untuk menentukan kondisi optimum elektrodeposisi Zn yang meningkatkan efisiensi DSSC yang dihasilkan.

Penerapan elektrodeposisi Zn pada TiO₂ terhadap DSSC hanya dilakukan pada DSSC tanpa melibatkan zat warna. Pada penelitian ini dilakukan dengan mengamati pengaruh elektrodeposisi Zn terhadap performansi DSSC dengan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat. Menurut Lee et al (1992) dalam kulit jengkol terdapat senyawa proantosianidin atau tanin terkondensasi yang dapat membentuk zat warna merah pada keadaan asam dan pemanasan yang merupakan antosianidin dan katekin. Kopigmentasi merupakan proses penggabungan molekul zat warna dengan molekul senyawa organik atau ion logam untuk menghasilkan suatu perubahan dan peningkatan intensitas warna (Boulton, 2001). Proses kopigmentasi kulit jengkol menggunakan asam salisilat dilakukan untuk meningkatkan intensitas zat warna dan penyerapan cahaya matahari oleh zat warna pada DSSC yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis melakukan penelitian tentang elektrodeposisi Zn pada TiO₂ untuk aplikasi pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan ekstrak zat warna kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat. Proses elektrodeposisi Zn pada TiO₂ dilakukan untuk membentuk lapisan penghalang antar TiO₂ dan elektroli, meningkatkan transfer elektron pada TiO₂ ke sirkuit luar sel, dan meningkatkan performansi DSSC yang dihasilkan. Kopigmentasi asam salisilat terhadap ekstrak zat warna kulit jengkol dilakukan untuk meningkatkan intensitas dan penyerapan cahaya matahari pada DSSC.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Efisiensi DSSC berbasis TiO_2 dengan zat warna alami masih rendah.
2. Variasi tegangan proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 mempengaruhi efisiensi DSSC yang dihasilkan.
3. Variasi waktu proses elektrodeposisi Zn 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 zat warna dari ekstrak pekat kulit jengkol yang dikopigmentasi dengan asam salisilat dengan perbandingan 1:1 (w/w%).
2. Proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 dilakukan menggunakan prekursor ZnSO_4 0,1 M.
3. Variasi tegangan proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 adalah 0,5 V, 1V, 2V, dan 3V.
4. Variasi waktu proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 adalah 5 detik, 10 detik, 15 detik, 20 detik, dan 25 detik.

D. Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh elektrodeposisi Zn terhadap struktur dan ukuran kristal TiO_2 ?
2. Bagaimana pengaruh variasi tegangan proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat ?
3. Bagaimana pengaruh variasi waktu proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini adalah :

1. Menentukan pengaruh elektrodeposisi Zn terhadap struktur dan ukuran kristal TiO_2 .
2. Menentukan pengaruh variasi tegangan proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat.
4. Menentukan pengaruh variasi waktu proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk:

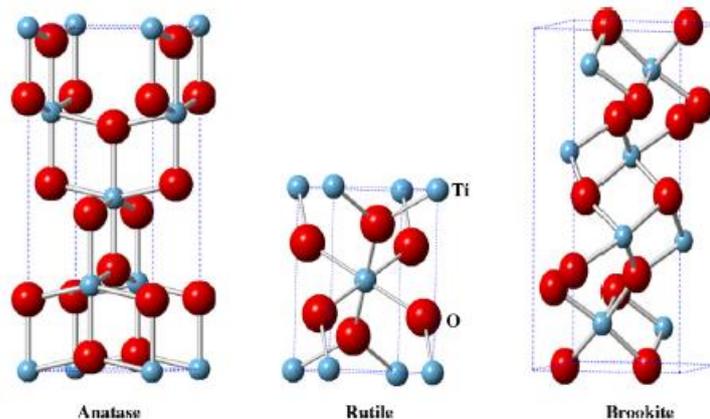
1. Mengetahui pengaruh elektrodeposisi Zn terhadap struktur dan ukuran kristal TiO_2 .
2. Mengetahui pengaruh variasi tegangan proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat.
3. Mengetahui pengaruh variasi waktu proses elektrodeposisi Zn pada TiO_2 terhadap efisiensi DSSC menggunakan zat warna dari kulit jengkol terkopigmentasi asam salisilat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Titanium dioksida (TiO_2)

Titanium dioksida (TiO_2) adalah material semikonduktor yang memiliki aktivitas fotokatalis yang aktif dibawah sinar UV. Titanium dioksida banyak digunakan dalam aplikasi energi terbarukan seperti sel surya dan *water splitting*, material *self-cleaning*, degradasi senyawa polutan, inaktivasi bakteri, dan penjernihan air. Aktivitas fotokatalis TiO_2 dipengaruhi oleh lebar celah pita dari Titanium dioksida yaitu 3,0-3,2 eV pada titanium dioksida dengan fasa anatase, rutile, dan brookite dengan struktur yang berbeda-beda seperti Gambar 9 (Magalhães, Andrade, Nunes, & Mendes, 2017).



Gambar 1. Struktur kristal titanium dioksida (Etacheri, Di, Schneider, Bahnemann, & Pillai, 2015).

Titanium dioksida mempunyai tiga struktur kristal atau fasa kristal yaitu anatase (tetragonal), rutile (tetragonal), dan brookite (orthorombik) seperti pada Gambar 1. Titanium dioksida dengan fasa anatase diketahui memiliki aktivitas

fotokatalitik yang paling baik diantara ketiga fasa titanium dioksida karena mobilitas pasangan elektron-hole yang superior pada fasa anatase (Etacheri et al., 2015). Pada penelitian ini digunakan titanium dioksida degussa P-25 dengan campuran titanium dioksida fasa anatase dan rutil dengan perbandingan 80:20. Campuran fasa anatase dan rutil dengan lebar celah pita yang berbeda menyebabkan penangkapan pembawa muatan dan mendorong proses rekombinasi, sehingga dengan sejumlah kecil rutil dapat menguntungkan karena pada proses preparasi titanium dioksida sebagian kristal rutil dari titanium dioksida dapat terbentuk (Roose, Pathak, & Steiner, 2015).

Penggunaan TiO_2 sebagai material semikonduktor dalam DSSC dengan fasa anatase menghasilkan DSSC dengan transport elektron lebih baik dari fasa lain tetapi tidak menghasilkan efisiensi yang tinggi karena penyerapan TiO_2 dibawah sinar UV dan memiliki kecepatan rekombinasi elektron-hole yang tinggi. Modifikasi TiO_2 diperlukan untuk meningkatkan jumlah foton yang terserap pada TiO_2 dan mereduksi rekombinasi elektron pada titanium dioksida (Etacheri et al., 2015). Modifikasi titanium dioksida dapat dilakukan dengan melakukan elektrodeposisi logam pada titanium dioksida.

B. Elektrodeposisi Zn pada TiO_2

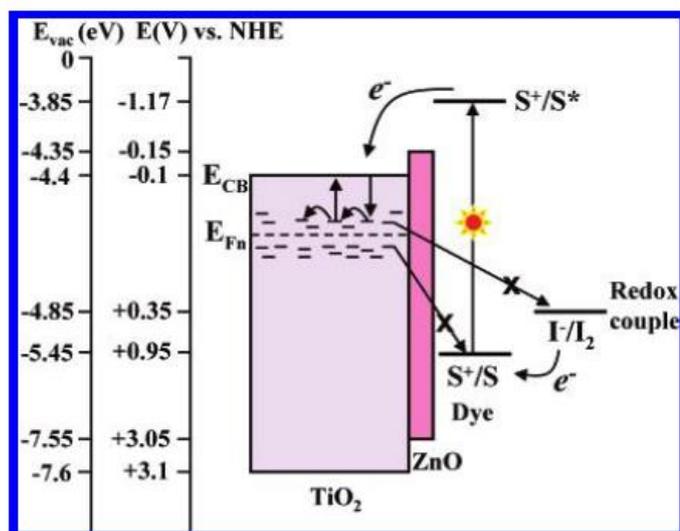
Elektrodeposisi logam adalah proses modifikasi permukaan titanium dioksida. Proses elektrodeposisi logam pada titanium dioksida akan mempengaruhi performansi DSSC yang menggunakan titanium dioksida tersebut. Pada penelitian yang dilakukan oleh Prasetyowati (2012) dilakukan elektrodeposisi penyisipan logam besi ke titanium dioksida dan diamati

pengaruhnya pada DSSC, diketahui terjadi peningkatan efisiensi DSSC dari 0,001% menjadi 0,2% setelah menggunakan TiO_2 dengan logam besi. Peningkatan yang dihasilkan pada penelitian Prasetyowati (2012) sebesar 200 kali pada DSSC yang menggunakan penyisipan logam besi. Pada penelitian oleh John K *et al* (2016) telah dilakukan elektrodeposisi logam Zn pada nanotube TiO_2 untuk meningkatkan efisiensi DSSC menunjukkan bahwa nanotube TiO_2 dengan Zn menghasilkan DSSC dengan efisiensi dua kali lebih besar dibandingkan DSSC menggunakan nanotube TiO_2 murni. Elektrodeposisi logam pada titanium dioksida akan menyebabkan kenaikan performansi DSSC yang dihasilkan. Elektrodeposisi logam pada titanium dioksida dapat membentuk spesi yang berperan sebagai perangkap elektron tambahan sehingga proses rekombinasi elektron akan menurun dan meningkatkan proses transfer elektron pada DSSC yang dihasilkan (Mozaffari *et al.*, 2015). Pada penelitian ini dilakukan elektrodeposisi Zn pada TiO_2 dan diamati pengaruh logam Zn pada TiO_2 terhadap performansi DSSC.

Elektrodeposisi Zn pada TiO_2 telah dilakukan pada penelitian Mozaffari *et al* (2015) yang menunjukkan terbentuknya spesi ZnO pada permukaan TiO_2 setelah dilakukan proses elektrodeposisi. Kristal ZnO yang terbentuk pada permukaan TiO_2 memiliki celah pita lebar yaitu 3,37 eV, sehingga dapat berperan sebagai lapisan penghalang antara fotoelektroda (TiO_2) dan elektrolit pada DSSC. Elektrodeposisi Zn pada TiO_2 dapat menekan atau menurunkan rekombinasi pada antarpermukaan TiO_2 , zat warna, dan elektrolit.

Penelitian yang dilakukan Kang *et al* (2007) menjelaskan bahwa ZnO hasil elektrodeposisi Zn dapat meningkatkan pemisahan antara elektron yang terinjeksi

dan elektrolit sehingga rekombinasi dapat dicegah. Elektron yang terinjeksi dalam DSSC bisa berekombinasi dengan kation-kation yang terbentuk dalam elektrolit. Zat warna pada DSSC menyerap energi matahari dan mengalirkan elektron ke TiO_2 . Elektron yang berasal dari zat warna tidak hanya mengalir ke pita konduksi TiO_2 , tetapi juga melewati perangkap elektron pada permukaan TiO_2 . Elektron akan terperangkap dan terlepas pada permukaan TiO_2 sebelum elektron sampai ke kaca TCO. Elektron yang terperangkap pada permukaan TiO_2 akan mudah mengalami rekombinasi dengan elektrolit karena perbedaan celah pita yang kecil dengan perangkap elektron yang terdapat pada permukaan TiO_2 sehingga elektron harus cepat terlepas dan bergerak cepat ke permukaan kaca TCO untuk menghindari rekombinasi. Kecepatan terperangkapnya elektron lebih cepat dari kecepatan terlepasnya elektron sehingga diperlukan penghalang untuk mengurangi terjadinya rekombinasi elektron dan meningkatkan proses transfer elektron seperti Gambar 2. Proses terperangkap dan terlepas elektron terjadi pada daerah E_{fn} pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembentukan lapisan penghalang menggunakan material dengan celah pita lebar (ZnO) (Kang et al., 2007).

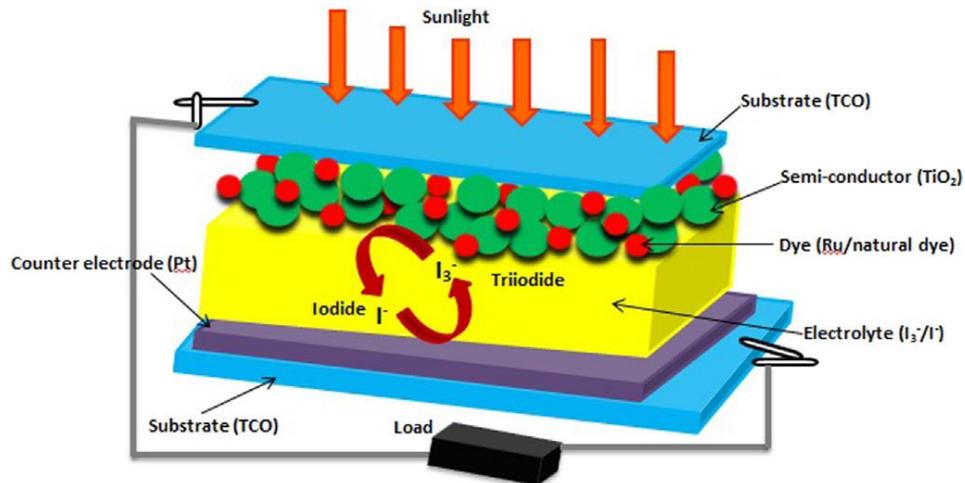
Pada penelitian ini dilakukan variasi tegangan dan waktu elektrodeposisi karena tegangan dan waktu akan mempengaruhi jumlah logam yang terelektrodeposisi sesuai dengan hukum Faraday. Jumlah logam yang terelektrodeposisi akan mempengaruhi efisiensi DSSC yang dihasilkan (Prasetyowati, 2014). Elektrodeposisi Zn pada TiO_2 memberikan dampak positif terhadap proses transfer elektron, tetapi karena pengurangan area permukaan TiO_2 terjadi penurunan performansi sel sehingga diperlukan jumlah elektrodeposisi Zn yang optimum untuk menghasilkan efisiensi DSSC yang tinggi (Mozaffari et al., 2015).

C. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

1. Pengertian Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan perangkat elektrokimia yang menggunakan molekul zat warna penyerap cahaya yang teradsorpsi pada nanopartikel semikonduktor untuk menghasilkan listrik dari cahaya matahari (Roslan et al., 2018). DSSC disusun oleh semikonduktor, contohnya Titanium dioksida (TiO_2) dan pewarna atau *sensitizer* yang bisa diekstrak dari beberapa sumber alami dengan biaya minimum. Material karbon bisa digunakan sebagai pengganti katalis platina (Pt) yang mengurangi biaya material. DSSC mudah untuk difabrikasi selama tidak mengandung bahan yang membahayakan lingkungan. DSSC pertama kali difabrikasi oleh O'Regan dan Michael Gratzel pada tahun 1991 dan telah berkembang dengan cepat menghasilkan DSSC dengan efisiensi 7,1% (1991) menjadi 13% pada tahun 2014.

2. Susunan dan komponen dari DSSC



Gambar 3. Skema susunan dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
(Roslan et al., 2018)

Pada Gambar 4 dapat diketahui bahwa DSSC terdiri dari beberapa komponen utama yaitu substrat, material semikonduktor, zat warna, elektrolit, dan elektroda *counter*.

a. Substrat

Substrat adalah badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya sebagai tempat muatan mengalir (Kumara & Prajitno, 2012). Substrat yang secara umum digunakan dalam DSSC adalah *Transparent Conductive Oxide* (TCO) karena memiliki efisiensi yang tinggi dan lebih dari 80% transparan. Kaca TCO yang digunakan dalam DSSC ada dua jenis yaitu *Fluorine Tin Oxide* ($\text{SnO}_2 : \text{F}$, FTO) dan *Indium Tin Oxide* ($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Sn}$, ITO) (Gong et al., 2017).

b. Semikonduktor

Semikonduktor adalah Bagian utama dari perangkat DSSC yang menyediakan daerah permukaan yang luas untuk molekul yang menyerap dan mengumpulkan cahaya dan berfungsi sebagai penerima elektron dari zat warna

yang tereksitasi (Suhaimi, Shahimin, Alahmed, Chyský, & Reshak, 2015). Material semikonduktor yang digunakan dalam sel surya harus memiliki celah pita yang sesuai dengan energi matahari yang diserap oleh zat warna sehingga menghasilkan sel surya dengan efisiensi tinggi. Material semikonduktor yang banyak digunakan dalam DSSC yaitu titanium dioksida (TiO_2) karena TiO_2 merupakan fotoelektroda yang stabil dalam kondisi ekstrim, mudah disintesis dan aman untuk lingkungan (Roslan et al., 2018).

c. Zat warna

Zat warna atau *Dye* berfungsi sebagai *Sensitizer* untuk menyerap cahaya matahari pada DSSC. Sifat yang harus dimiliki oleh zat warna yang ideal untuk DSSC yaitu, menyerap kuat pada cahaya tampak (400 nm – 700 nm), menyerap kuat pada permukaan semikonduktor, stabil dalam bentuk teroksidasi dan dapat tereduksi oleh elektrolit (Andualem & Demiss, 2018). Zat warna kompleks logam yang banyak digunakan dalam DSSC yaitu kompleks ruthenium. Kompleks ruthenium memiliki beberapa keunggulan yaitu penyerapan cahaya yang baik, berumur panjang, dan menghasilkan DSSC dengan efisiensi yang tinggi, tetapi kompleks ruthenium tersusun dari logam yang langka dan mahal serta tidak ramah lingkungan (Ito, 2011). Zat warna yang digunakan pada penelitian ini adalah zat warna alami dari kulit jengkol untuk mengurangi penggunaan ruthenium kompleks yang tidak ramah lingkungan.

d. Elektrolit

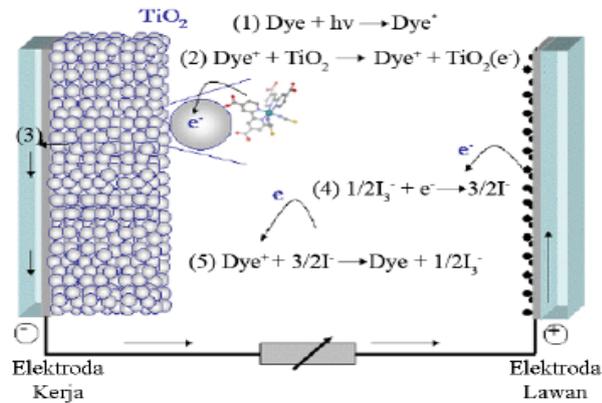
Elektrolit memiliki peran yang sangat penting dalam DSSC yaitu untuk memperbarui kembali sel surya dengan mereduksi kembali zat warna dan sebagai media untuk mengalirnya muatan positif ke elektroda *counter*. Efisiensi dari

DSSC dan stabilitas serta penggunaan jangka panjang dipengaruhi oleh elektrolit (Roslan et al., 2018). Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu, potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari dye untuk tegangan sel yang maksimal, memiliki kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi dan teroksidasi dan inert terhadap komponen lain pada DSSC (Kumara & Prajitno, 2012).

e. Elektroda *counter*

Elektroda *counter* berfungsi untuk transpor elektron dari sirkuit luar perangkat DSSC kembali ke elektrolit dan berfungsi membawa arus sesuai lebar setiap sel surya. Elektroda *counter* harus memiliki aktivitas katalitik dan konduktivitas yang tinggi. Platina (Pt) banyak dipilih sebagai elektroda *counter*, karena Pt adalah katalis unggul untuk reduksi triiodida (I_3^-), namun Platina merupakan logam dengan biaya mahal. Karbon dipakai sebagai elektroda *counter* alternatif dari Pt yang murah, memiliki konduktivitas yang memadai dan tahan terhadap panas pada DSSC (Roslan et al., 2018).

3. Prinsip Kerja DSSC



Gambar 4. Skema dari prinsip kerja dari DSSC secara singkat (Damayanti, Hardeli, & Sanjaya, 2015)

Prinsip kerja DSSC sesuai dengan Gambar 5 yaitu zat warna atau *Dye* menyerap foton yaitu energi cahaya ($h\nu$). *Dye* akan mengalami eksitasi elektron menjadi Dye^* (zat warna yang tereksitasi). Elektron dari zat warna ini akan diinjeksikan ke pita konduksi dari TiO_2 dan Dye^* akan mengalami oksidasi menjadi Dye^+ . Elektron ini akan dialirkan ke elektroda kerja dan dialirkan ke elektroda lawan melalui rangkaian luar dari DSSC. Elektroda lawan terhubung dengan elektrolit berupa I^-/I_3^- dan mereduksi I_3^- menjadi I^- . *Dye* yang teroksidasi (Dye^+) akan direduksi oleh elektron dari I^- menjadi zat warna atau *Dye* kembali (Susmiyanto, Wibowo, & Sutresno, 2013). Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I^-/I_3^-) sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *Dye* yang digunakan (Kumara & Prajitno, 2012).

4. Kinerja DSSC

Suatu sel surya dapat diukur kinerjanya berdasarkan hasil konversi energi listrik dari energi cahaya matahari. Kinerja sel surya dapat dihitung dengan persamaan :

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

dimana η adalah efisiensi sel surya, P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya dan P_{in} adalah daya dari cahaya yang diserap. Daya maksimum dapat ditentukan dengan persamaan :

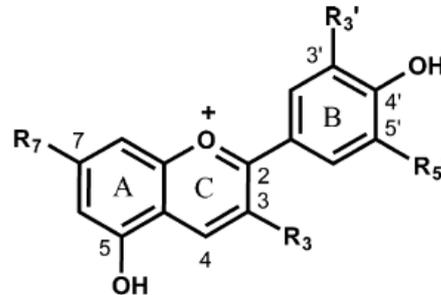
$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} (2)$$

P_{in} dapat bersumber dari matahari dengan intensitas sekitar 1000 W/m^2 atau $0,1 \text{ W/cm}^2$. P_{in} dapat ditentukan juga menggunakan lux meter untuk mengetahui intensitas cahaya. Tegangan maksimum (V_{max}) adalah tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya dibagi dengan luas permukaan daerah substrat dan Arus maksimum (I_{max}) merupakan arus maksimum yang dihasilkan dibagi dengan luas permukaan daerah substrat (Maddu, Zuhri, & ., 2007).

D. Antosianidin kulit jengkol

Antosianidin merupakan senyawa dari aromatik cincin [A] terikat pada cincin heterosiklik [C] yang mengandung oksigen, yang juga terikat oleh ikatan karbon-karbon ke aromatik ketiga cincin [B] sesuai dengan Gambar 6. Ketika antosianidin berada dalam bentuk glikosida atau terikat pada gula, maka dikenal sebagai antosianin. Terdapat banyak jenis antosianidin yang tersebar di alam. Perbedaan utama antar antosianidin ini yaitu, jumlah gugus OH yang tersubstitusi,

struktur dan jumlah gula yang terikat, dan karboksilat alifatik dan aromatis yang terikat pada gula dan lokasi terjadi ikatannya (Castañeda-Ovando et al, 2009).



Gambar 5. Struktur umum antosianidin

Tabel 1. Struktur antosianidin yang paling umum dalam tumbuhan

	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

Sumber : (Trouillas et al., 2016)

Jenis antosianidin pada Tabel 1. adalah jenis antosianidin yang umum dan memiliki gugus yang sama pada R₁, R₂, R₃, dan R₄ yaitu OH, OH, H, dan OH secara berturut-turut (Castañeda-Ovando et al., 2009). Senyawa antosianin yang memiliki struktur dasar antosianidin dalam tumbuhan telah banyak digunakan sebagai zat warna pada DSSC seperti antosianin beras ketan hitam dengan efisiensi 0,405%, daun bayam 0,304%, bunga rosella 0,30%, buah naga 0,240%, dan ubi jalar ungu 0,11% (Hardeli et al., 2013). Zat warna yang digunakan pada penelitian ini yaitu zat warna dari kulit jengkol.



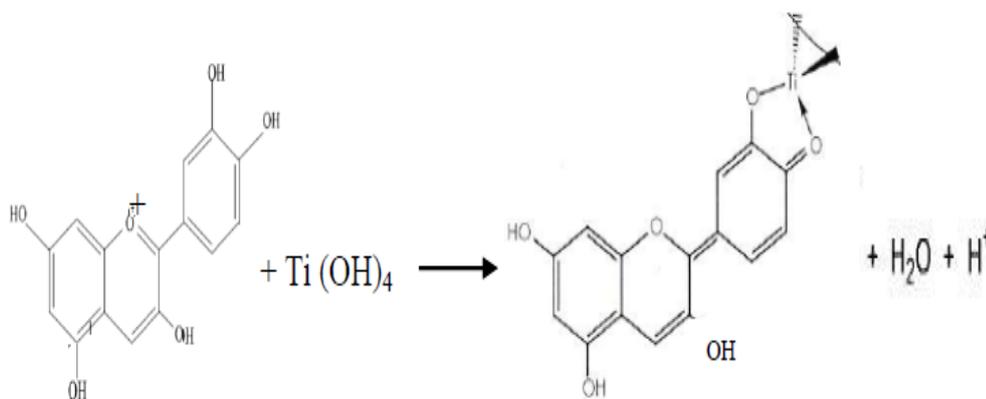
Gambar 6. Buah Jengkol (*Pithecellobium jiringa*)
(Irawan *et al*, 2017)

Klasifikasi Ilmiah Jengkol adalah sebagai berikut:

Kingdom	: Plantae
Subkingdom	: Tracheobionta
Divisi	: Magnoliophyta (berbunga)
Kelas	: Magnoliopsida (dikotil)
Ordo	: Fabales
Famili	: Mimosaceae (polong-polongan)
Genus	: <i>Pithecellobium</i>
Spesies	: <i>Pithecellobium lobatum</i> (Benth.)(Hutauruk, 2010)

Hasil skrinning fitokimia dari ekstrak kulit jengkol dengan pelarut metanol menunjukkan bahwa kulit jengkol mengandung senyawa alkanoid, flavonoid, tanin, fenol, dan terpenoid (Irawan, F, H, Sulistiawaty, & Sukiman, 2017). Berdasarkan hasil penelitian oleh Lee *et al* (1992) diketahui bahwa terdapat kandungan *prodelphinidin* B1 (50 mg), *procyanidin* B4 (60 mg) dan *procyanidin* B3 (65 mg) dalam ekstrak kulit jengkol. Ketiga senyawa tersebut termasuk dalam senyawa *proanthocyanidin* atau tanin terkondensasi. Senyawa *proanthocyanidin* merupakan polimerasi dari sub unit molekul flavon-3-ol. Senyawa

proanthocyanidin dapat membentuk zat warna warna merah dalam keadaan asam atau dengan pemanasan yang merupakan senyawa antosianidin dan katekol atau gallokatekol. Zat warna alami mengalami interaksi dengan semikonduktor. Antosianin akan terserap pada semikonduktor yang digunakan yaitu TiO_2 menggantikan OH^- dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup sianidin. Interaksi ini dapat diamati pada Gambar 8 (Hardeli et al., 2013).



Gambar 7. Interaksi antara antosianin dan TiO_2
(Hardeli et al., 2013)

E. Kopigmentasi

Kopigmentasi memiliki berbagai pengertian yaitu pertama sebagai proses alami pembentukan kompleks pada zat warna dan kedua sebagai proses stabilisasi zat warna. Zat warna yang terlibat dengan kopigmentasi secara umum adalah antosianin sebagai kelas besar dari turunan fenolik yang menyebar ke seluruh tumbuhan. Sistem elektron π terkonjugasi pada struktur antosianin menyebabkan antosianin dapat menyerap cahaya tampak dan dapat membentuk supramolekul dengan molekul pigmen dan kofaktor lain yang disebut kopigmen yang utamanya asam fenolik dan flavonoid (Trouillas et al., 2016). Kopigmentasi mengakibatkan beberapa pengaruh pada pigmen atau zat warna. Kopigmentasi dapat

meningkatkan intensitas zat warna yang digunakan. Kopigmentasi juga dapat memberikan efek batokromik pada suatu zat warna. Efek batokromik adalah pergeseran serapan zat warna ke cahaya tampak. Hasil penelitian dari Nusantara *et al* (2017) pada antosianin pada murbei hitam yaitu terjadi pergeseran λ_{maks} dari 512 nm menjadi 514 nm setelah dikopigmentasi oleh asam galat. Kopigmentasi ini juga meningkatkan aktivitas termal dari antosianin yang memperlambat proses degradasi antosianin pada suhu tinggi.

Pada penelitian ini digunakan zat warna dari kulit jengkol. Kulit jengkol diketahui mengandung beberapa metabolit sekunder dan salah satunya adalah senyawa *proanthocyanidin* yang dapat menghasilkan zat warna berwarna merah dalam suasana asam yang merupakan campuran antosianidin dan katekin. Proses kopigmentasi pada zat warna dapat meningkatkan intensitas warna dan penyerapan terhadap cahaya matahari karena terjadi efek batokromik pada zat warna yang terkopigmentasi (Trouillas *et al.*, 2016) Proses kopigmentasi dengan asam fenolik pada kulit jengkol dilakukan untuk meningkatkan kestabilan dari kulit jengkol. Asam fenolik akan menambah jumlah elektron π pada zat warna dan melindungi zat warna dari proses degradasi akibat terjadinya hidrasi dari antosianidin (Qian, Liu, Zhao, Cai, & Jing, 2017). Interaksi yang terjadi antara asam galat yang merupakan asam fenolik dengan zat warna adalah interaksi intermolekular dengan molekul zat warna (Castaneda-Ovando *et al.*, 2009).

F. Instrumen yang digunakan

1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu instrumen yang dapat mengukur absorbansi suatu spesi kimia pada panjang gelombang UV sampai cahaya tampak. Pada penelitian ini spektrometer UV-Vis digunakan untuk mengkarakterisasi antosianin yang diperoleh dan menganalisa hasil kopigmentasi antosianin. Analisa spektrometer UV-Vis digunakan secara luas untuk mengamati hasil kopigmentasi suatu zat warna karena Efek kopigmentasi dapat menyebabkan efek hiperkromik dan batokromik yaitu pergeseran absorbansi ke panjang gelombang lebih tinggi yang dapat diamati (Trouillas et al., 2016). Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran celah pita dari TiO₂ dan hasil doping Zn pada TiO₂ menggunakan UV-DRS yang dapat mengukur absorbansi pada zat padat. Doping Zn dapat mempengaruhi besar energi celah pita dari TiO₂ dan mempengaruhi transfer elektron yang terjadi sehingga mempengaruhi efisiensi dari DSSC (Zaleska, 2008).

2. FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Analisa FTIR dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa dan mengidentifikasi struktur dari ekstrak antosianidin yang diperoleh. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diketahui beberapa gugus fungsi yang diidentifikasi dari puncak dari spektrum FTIR yaitu gugus O-H pada panjang gelombang 3300-3600 cm⁻¹ dengan puncak lebar, gugus C-O pada 1048 cm⁻¹, gugus C=O dan gugus C-C. Untuk cincin aromatik pada antosianidin muncul beberapa puncak yaitu gugus C-H pada panjang gelombang 3042 cm⁻¹, gugus

C=C dan gugus C-O-C (Nuryanti, Matsjeh, Anwar, & Raharjo, 2012; Syafinar, Gomesh, Irwanto, Fareq, & Irwan, 2015).

3. XRD

Spektroskopi difraksi sinar-X (X-ray diffraction/XRD) merupakan alat untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Hastuti, 2010). Hasil dari analisa XRD dapat diolah untuk menentukan ukuran kristal dari zat yang dianalisa menggunakan rumus scherrer sesuai persamaan 3.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3)$$

Dimana D adalah ukuran kristal, λ adalah panjang gelombang dari sinar X yang dipancarkan, θ adalah sudut difraksi, β (dalam radian) adalah nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM), dan K adalah konstanta Scherrer (Patterson, 1939).

4. Multimeter

Multimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) jika dihubungkan langsung dengan DSSC. Multimeter juga dapat digunakan untuk mencari sisi konduktif pada substrat (Mamidi, Mandha, & Mishra, 2012). Pada DSSC yang telah dirangkai dilakukan pengujian tegangan dan arus yang terukur dengan menggunakan multimeter digital merk Sanwa. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung (pengujian dilakukan siang hari) (Maulina, 2014).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Elektrodeposisi Zn dapat memperkecil ukuran kristal TiO_2 dan tidak mempengaruhi struktur kristal TiO_2 .
2. Tegangan optimum dalam elektrodeposisi Zn adalah 1 V dengan efisiensi DSSC yaitu 4,14%.
3. Waktu optimum dalam elektrodeposisi Zn adalah 15 detik dengan efisiensi DSSC yaitu 6 %.

B. Saran

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

1. Penggunaan kaca ITO pada suhu rendah untuk menghindari terjadinya kenaikan hambatan kaca yang akan berpengaruh terhadap efisiensi DSSC.
2. Kekentalan pasta TiO_2 disesuaikan dengan metode pelapisan yang dilakukan seperti pada metode *doctor blade* diperlukan pasta dengan kekentalan lebih tinggi dibandingkan dengan metode *spin coating*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, H., Khan, M. M. R., Ong, H. R., & Yaakob, Z. 2017. Modified TiO₂ photocatalyst for CO₂ photocatalytic reduction: An overview. *Journal of CO₂ Utilization*, 22, 15–32.
- Andualem, A., & Demiss, S. 2018. Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *Edelweiss Applied Science and Technology*, 2(1), 145–150.
- 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.
- Castaneda-Ovando, A., Paez-Hernandez, E., Rodriguez, J. A., & Galan-Vidal, C. A. 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871.
- Chadajah, S., Dahlan, D., & Harmadi, H. 2018. Pembuatan Counter Electrode Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Ilmu Fisika / Universitas Andalas*, 8(2), 78–86.
- Damayanti, R., Hardeli, & Sanjaya, H. 2015. Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Using Anthocyanin Extract From Purple Sweet. *Jurnal Saintek*, 6(April), 148–157.
- Etacheri, V., Di, C., Schneider, J., Bahnemann, D., & Pillai, S. C. 2015. Journal of Photochemistry and Photobiology C : Photochemistry Reviews Visible-light activation of TiO₂ photocatalysts : Advances in theory and experiments. *Journal of Reproductive Immunology*, 25, 1–29.
- Gong, J., Sumathy, K., Qiao, Q., & Zhou, Z. 2017. Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 234–246. Elsevier. Retrieved from
- Hardeli, Suwardani, Fernando, T., Maulidis, & Ridwan, S. 2013. Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 155–162.
- Hardeli, Zainul, R., & Isara, L. P. 2019. Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using anthocyanin color dyes from jengkol shell (*Pithecellobium lobatum* Benth.) by the gallate acid copigmentation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1185(1).
- Hastuti, E. 2010. Analisa Difraksi Sinar X TiO₂ dalam penyiapan Bahan Sel Surya Tersensitisasi Pewarna. *jurnal neutrino*, 4(1), 93–100.
- Irawan, C., F, F., H, H., Sulistiawaty, L., & Sukiman, M. 2017. Volatile Compound Analysis using GC-MS, Phytochemical Screening and Antioxidant Activities of the Husk of “Julang-Jaling” (*Archidendron bubalinum* (Jack) I.C Nielsen) from Lampung, Indonesia. *Pharmacognosy Journal*, 10(1), 92–98.
- Ito, S. 2011. Investigation of Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells: Ruthenium-Complex Dyes, Metal-Free Dyes, Metal-Complex Porphyrin Dyes and Natural Dyes. *InTech*, 20–48.