

**PREPARASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)* MENGGUNAKAN
EKSTRAK ANTOSIANIN UBI JALAR UNGU
(*Ipomoea batatas L*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh

**RETNO DAMAYANTI
18469/2010**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2014**

PERSETUJUAN SKRIPSI

Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*)

Nama : Retno Damayanti
NIM/BP : 18469/2010
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2014

Disetujui Oleh

Pembimbing I



Dr. Hardeli, M.Si

NIP. 19640113 199103 1 001

Pembimbing II



Hary Sanjaya, M.Si

NIP. 19830428 200912 1 007

PENGESAHAN

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

Judul : **Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*
Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu
(*Ipomoea batatas L*)**

Nama : Retno Damayanti

TM/NIM : 2010/18469

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2014

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Hardeli, M.Si	1. 
2. Sekretaris	: Hary Sanjaya, M.Si	2. 
3. Anggota	: Dra. Yustini Ma'aruf, M.Si	3. 
4. Anggota	: Drs. Bahrizal, M.Si	4. 
5. Anggota	: Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si	5. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Padang, Agustus 2014

Yang menyatakan

Retno Damayanti

ABSTRAK

Damayanti, Retno (2014). **Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*)**

DSSC merupakan seperangkat sel surya berbasis fotoelektrokimia yang dapat merubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada penelitian ini telah dilakukan preparasi *dye sensitized solar cell (DSSC)* dengan menggunakan ekstrak antosianin ubi jalar ungu sebagai sumber zat warna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi elektrolit semi padat/gel polimer dan mengetahui pengaruh teknik penyerapan zat warna pada pasta TiO_2 terhadap efisiensi yang dihasilkan *DSSC*. Hasil karakterisasi TiO_2 dengan XRD diperoleh fasa kristal TiO_2 yaitu anatase dan rutil dengan ukuran kristal 30.27 nm. Dari pengujian absorpsi cahaya ekstrak zat warna ubi jalar ungu diketahui bahwa zat warna dapat menyerap spektrum cahaya pada panjang gelombang maksimum 533 nm. Hasil konversi cahaya matahari menjadi energi listrik diperoleh nilai tertinggi berada pada konsentrasi PEG paling tinggi yaitu pada 0.1 M sebesar 0.38% untuk pasta TiO_2 yang dicampur langsung dengan zat warna dan 0.23% untuk pasta TiO_2 yang dilakukan perendaman pada zat warna selama 24 jam dengan menggunakan elektrolit semi padat/gel polimer dengan luas area sebesar 1 cm^2 .

Kata kunci : *Antosianin, DSSC, elektrolit semi padat, FTIR, UV-Vis, XRD.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*)".

Penyelesaian tugas akhir ini tentunya tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si sebagai pembimbing I sekaligus Penasehat Akademis
2. Bapak Hary Sanjaya, M.Si sebagai pembimbing II
3. Bapak Budhi Oktavia, M.Si., Ph.D sebagai Ketua Prodi Kimia
4. Ibu Dra. Andromeda, M.Si sebagai Ketua Jurusan Kimia
5. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si sebagai Sekretaris Jurusan Kimia
6. Ibu Dra. Yustini Ma'aruf M.Si, Bapak Drs. Bahrizal, M.Si dan Ibu Desy Kurniawati, S.Pd., M.Si sebagai dosen penguji
7. Bapak/Ibu Staf Pengajar Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang
8. Keluarga yang selalu memberi dukungan moril dan materil
9. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA UNP serta semua pihak yang telah ikut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin, tetapi penulis tetap mengharapkan kritik dan saran yang

membangun dari para pembaca untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya bagi mahasiswa Jurusan Kimia.

Padang, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Perumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	6
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Ubi Jalar Ungu (<i>Ipomoea batatas</i> L)	7
B. <i>Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	9
1. Beberapa bagian-bagian dari <i>DSSC</i>	11
2. Cara Kerja <i>DSSC</i>	15
C. Karakterisasi.....	17

D. Performansi <i>DSSC</i>	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Jenis Penelitian, Waktu dan Tempat.....	23
B. Variabel dan Desain Penelitian.....	23
C. Alat dan Bahan.....	24
D. Prosedur Penelitian.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakterisasi zat warna.....	31
B. Preparasi Pelapisan TiO ₂	35
C. Perhitungan Efisiensi <i>DSSC</i>	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	44
B. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
1. Desain Penelitian	23
2. Interpretasi Spektra FTIR Antosianin.....	34
3. Hasil pengukuran tegangan, kuat arus, hambatan dan efisiensi <i>DSSC</i> terhadap cara penyerapan zat warna pada pasta TiO ₂ dan variasi konsentrasi PEG.....	39

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Struktur Kimia Antosianin.....	8
2. Struktur <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i>	10
3. Adsorpsi senyawa aromatik dihidroksi ke TiO_2	13
4. Skema Kerja <i>DSSC</i>	17
5. Spektrum Absorbansi Ubi Jalar Ungu.....	31
6. Profil absorbansi Ruthenium N719.....	32
7. Spektrum bilangan gelombang ekstrak antosianin.....	33
8. Rangkaian <i>DSSC</i>	35
9. Pola XRD Sampel TiO_2	36
10. Kurva efisiensi <i>DSSC</i> yang dihasilkan untuk pasta TiO_2 yang di rendam dalam zat warna selama 24 jam.....	40
11. Kurva efisiensi <i>DSSC</i> yang dihasilkan untuk pasta TiO_2 yang di campur dengan zat warna.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. Preparasi Pasta TiO ₂	49
2. Preparasi Larutan Zat Warna	50
3. Preparasi Elektrolit Semi Padat (Gel Polimer).....	51
4. Preparasi <i>Counter</i> Elektroda Karbon.....	54
5. Perakitan <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	55
6. Alur Tahapan Pembuatan <i>DSSC</i>	57
7. Pola Difraksi Sampel TiO ₂	59
8. Data hasil pengukuran XRD dan perhitungan ukuran kristal TiO ₂ ...	60
9. Kartu interpretasi data d-spacing/d(A).....	61
10. Pengujian <i>DSSC</i>	63
11. Perhitungan Nilai Efisiensi Tertinggi Konversi Cahaya Matahari menjadi Energi Listrik.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kelangsungan dan kualitas hidup manusia sangat bergantung pada ketersediaan sumber energi. Ketergantungan tinggi terhadap sumber energi fosil yang tidak terbarukan menempatkan krisis energi sebagai masalah teratas yang akan dihadapi manusia sedikitnya lima puluh tahun mendatang. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil juga menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan.

Adanya penemuan teknologi sumber energi alternatif yang dapat diperbarui merupakan hal penting untuk kelangsungan dan perspektif kebutuhan energi yang berkelanjutan. Salah satu solusi yang memungkinkan untuk tantangan energi tersebut adalah pemanfaatan energi matahari yang melimpah, kontinyu, bersih dan terbarukan dengan efisien (Kusumawardani, 2009: 1). Dilihat dari hal-hal tersebut maka sumber energi matahari merupakan sumber energi yang dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif yang cukup menjanjikan.

Sinar matahari dapat dirubah menjadi energi listrik menggunakan sel surya dengan cara mengkonversi secara langsung radiasi matahari menjadi energi listrik. Namun hambatan yang muncul yaitu masih mahalnya harga sel surya silikon yang mendominasi penjualan sel surya sekarang akibat tingginya biaya produksi dan material.

Seiring dengan perkembangan nanoteknologi, dominasi tersebut bertahap mulai tergantikan dengan hadirnya sel surya generasi terbaru, yaitu *dye sensitized*

solar cell (DSSC). Sel surya ini dikembangkan oleh Gratzel dan sering juga disebut dengan sel Gratzel (Subodro dan Ramelan, 2012: 34). *DSSC* merupakan salah satu kandidat potensial sel surya generasi mendatang, hal ini dikarenakan tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya yang relatif rendah.

Pada *DSSC*, absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul zat warna dan separasi muatan dilakukan oleh semikonduktor anorganik nanokristal yang mempunyai bandgap lebar. Salah satu semikonduktor yang sering digunakan adalah TiO_2 . Hal ini dikarenakan TiO_2 relatif murah, banyak dijumpai, inert dan juga tidak beracun (Septina, 2007: 2) sehingga penggunaan semikonduktor TiO_2 yang tidak beracun menjadikannya aman untuk digunakan dalam aplikasi *DSSC*.

Karakteristik lain yang juga dibutuhkan adalah penggunaan bahan zat warna yang mampu menyerap spektrum cahaya dan cocok dengan pita energi TiO_2 , yaitu 3,2 eV (Septina, 2007: 2). Sumber zat warna alami yang telah digunakan dalam *DSSC* biasanya adalah yang mengandung antosianin.

Beberapa penelitian terdahulu yang telah menggunakan zat warna yang mengandung antosianin diantaranya adalah dari kol merah oleh Maddu (2007: 83) yang mengandung kadar antosianin 51,64 mg/100 g dengan efisiensi 0,055%, kulit manggis oleh Pratiwi (2010: 2) yang mengandung kadar antosianin 59,3 mg/100 g kulit buah manggis dengan efisiensi 0,091% dan kulit buah naga merah oleh Nadeak (2012: 81) yang mengandung kadar antosianin 21,23 mg/100 g dengan efisiensi 0,089%. Salah satu sumber antosianin yang murah dan banyak terdapat di

Indonesia adalah ubi jalar ungu. Tanaman ubi jalar ungu memiliki kadar antosianin yaitu 31,16 mg/100 g umbi (Susmiyanto, dkk, 2013: 6). Oleh karena itu, untuk sumber zat warna dalam penelitian ini digunakan ubi jalar ungu (*Ipomea Batatas L*).

Berdasarkan penelitian Ridwan, Silvia (2010: 37) yang pernah memanfaatkan tanaman ubi jalar ungu sebagai sumber zat warna dengan menggunakan elektrolit cair dihasilkan efisiensi arus listrik sebesar 0,11% dengan waktu perendaman optimum TiO_2 kedalam zat warna selama 24 jam. Pada penelitian ini untuk meningkatkan kadar antosianin dilakukan metoda ekstraksi yang dilanjutkan dengan fraksinasi terhadap ubi jalar ungu tersebut.

Faktor lain yang berpengaruh dalam efisiensi *DSSC* selain zat warna adalah elektrolit. Elektrolit yang umum digunakan adalah pelarut anorganik berbentuk cair yang mengandung sistem redoks, yaitu pasangan I^-/I_3^- . Hasil penelitian Riky (2011: 42) menggunakan elektrolit cair dengan zat warna dari bunga rosella mampu menghasilkan efisiensi sebesar 0,43%, sedangkan menggunakan elektrolit semi padat menghasilkan efisiensi sebesar 0,21%.

Elektrolit cair dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding elektrolit semi padat, akan tetapi penggunaan elektrolit cair ternyata menjadi salah satu faktor pembatas yang kritis dalam hal stabilitas jangka panjang dari sistem *DSSC*. Untuk mengatasi hal tersebut maka akan digunakan elektrolit semi padat yang mempunyai keunggulan tidak mudah menguap, memiliki konduktivitas ion

tinggi pada temperatur konstan dan mempunyai stabilitas jangka panjang (Pancaningtyas & Akhlus, 2010: 2).

Untuk dapat meningkatkan efisiensi yang dihasilkan maka dilakukanlah modifikasi dengan memvariasikan komposisi bahan pembuatan elektrolit semi padat serta teknik dalam penyerapan zat warna terhadap pasta TiO_2 . Dengan hal ini diharapkan nantinya didapat efisiensi arus listrik yang lebih tinggi dengan elektrolit yang juga mempunyai stabilitas jangka panjang.

Ekasari dan Yudoyono (2013: 19) telah melaporkan bahwa efisiensi *DSSC* dengan teknik TiO_2 yang di campur dengan zat warna ekstrak jahe merah mempunyai efisiensi sebesar 0,78%, sedangkan TiO_2 yang direndam ke dalam zat warna ekstrak jahe merah hanya mempunyai efisiensi 0,002%. Oleh karena itu pada penelitian dibandingkan efisiensi *DSSC* dengan teknik TiO_2 yang dicampur dengan zat warna ekstrak ubi jalar ungu dengan TiO_2 yang direndam dalam zat warna ekstrak ubi jalar ungu. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian dengan judul “**Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*)**”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. Elektrolit cair dapat menghasilkan efisiensi *DSSC* yang lebih tinggi dibanding elektrolit semi padat, akan tetapi elektrolit cair mudah menguap.

2. Elektrolit semi padat tidak mudah menguap tetapi menghasilkan efisiensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan elektrolit cair sehingga dilakukan modifikasi terhadap elektrolit semi padat.
3. Pengaruh variasi komposisi bahan pembuatan elektrolit semi padat, yaitu variasi konsentrasi PEG terhadap efisiensi *DSSC*.
4. Pengaruh teknik penyerapan zat warna terhadap pasta TiO_2 dalam meningkatkan efisiensi *DSSC*.

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang diangkat dibatasi pada aspek-aspek yaitu:

1. Jenis elektrolit yang digunakan adalah elektrolit semi padat berupa gel polimer, dengan variasi konsentrasi PEG yang digunakan adalah 0.025 M, 0.5 M dan 0.1 M.
2. Teknik penyerapan zat warna terhadap pasta TiO_2 yang dilakukan adalah pasta TiO_2 yang direndam dalam zat warna selama 24 jam dan pasta TiO_2 yang dicampur dengan zat warna, dengan jenis TiO_2 yang digunakan adalah Titanium (II) Oksida Degusa P-25.
3. Metoda ekstraksi antosianin dari ubi jalar ungu yang digunakan adalah metoda maserasi dan dilanjutkan dengan fraksinasi.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana efisiensi yang dihasilkan *DSSC* yang menggunakan ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas L*) sebagai sumber zat warna dengan elektrolit semi padat?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi elektrolit semi padat terhadap efisiensi *DSSC*?
3. Bagaimana pengaruh teknik penyerapan zat warna pada TiO_2 terhadap efisiensi *DSSC*?

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi PEG pada elektrolit semi padat terhadap efisiensi *DSSC*.
2. Mengetahui pengaruh teknik penyerapan zat warna pada TiO_2 terhadap efisiensi *DSSC*.
3. Mengetahui efisiensi yang dihasilkan *DSSC* yang menggunakan ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas L*) sebagai sumber zat warna dengan elektrolit semi padat.

F. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi sumbangan bagi ilmu pengetahuan terutama dalam bidang *DSSC* dalam memanfaatkan bahan-bahan organik sebagai sumber zat warna yang mudah diperoleh dari lingkungan, dapat memanfaatkan elektrolit dalam bentuk semi padat guna meningkatkan stabilitas dan supaya dapat lebih memasyarakatkan penggunaan *Dye Sensitized Solar Cell* (*DSSC*) sebagai sumber energi alternatif baru yang cukup murah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

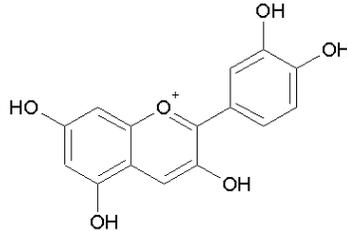
A. Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*)

Ubi jalar ungu adalah salah satu bahan makanan pokok di Indonesia. Selain harganya yang relatif murah, bahan makanan ini sangat mudah didapatkan di pasaran dan mudah untuk di tanam. Ubi jalar ungu mengandung vitamin dan mineral yang dibutuhkan oleh tubuh manusia seperti, vitamin A, vitamin C, kalsium dan zat besi. Sumber energi yang terkandung dalam ubi jalar ungu yaitu dalam bentuk gula dan karbohidrat. Selain itu, ubi jalar ungu memiliki kandungan zat warna yang disebut antosianin (Kristijarti dan Arlene, 2012: 6). Pigmen antosianin pada ubi jalar lebih tinggi konsentrasinya dan lebih stabil bila dibandingkan antosianin dari sumber lain, seperti kubis, *blueberries* dan jagung merah (Rozi dan Krisdiana, 2005: 39). Adapun klasifikasi tanaman ubi jalar ungu adalah :

Kingdom : *Plantae*
Divisio : *Spermatophyta*
Sub divisio : *Angiospermae*
Kelas : *Dicotyledonae*
Ordo : *Convovulales*
Famili : *Convovulaceae*
Genus : *Ipomoea*
Spesies : *Ipomoea batatas L*

(Rukmana, 1997: 6)

Antosianin adalah zat penyebab warna merah, orange, ungu dan biru dan banyak terdapat pada bunga dan buah-buahan. Gambar 1. Menunjukkan struktur antosianin dengan ikatan rangkap terkonyugasi.



Gambar 1. Struktur kimia antosianin (Septina, dkk, 2007: 16)

Pada gambar struktur antosianin di atas terdapat ikatan π terkonyugasi sehingga antosianin dapat digunakan sebagai sumber zat warna. Dengan adanya ikatan π terkonyugasi menyebabkan terjadinya penyerapan energi sehingga mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi, dimana molekul-molekul yang memerlukan lebih banyak energi untuk promosi elektron akan menyerap pada panjang gelombang yang lebih pendek. Molekul yang memerlukan energi lebih sedikit akan menyerap pada panjang gelombang yang lebih panjang (Fessenden dan Fessenden, 1986: 437).

Untuk mengekstraksi antosianin pada ubi jalar ungu dilakukan pada suasana asam karena asam berfungsi mendenaturasi membran sel tanaman, kemudian melarutkan pigmen antosianin sehingga dapat keluar dari sel, selain itu antosianin juga bersifat stabil dalam kondisi asam. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan dari antosianin ini adalah pH, suhu, cahaya dan tipe pelarut (Hardiyanti,

dkk, 2013: 44). Antosianin adalah pigmen yang bersifat polar dan akan larut dengan baik dalam pelarut-pelarut polar.

B. Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

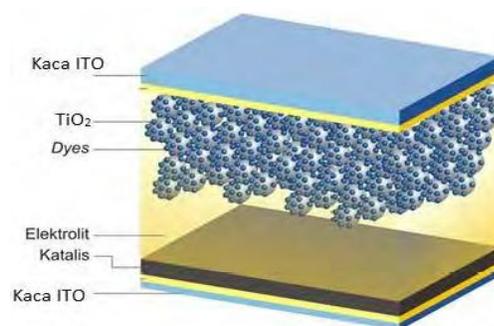
Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) atau sering juga disebut dengan sel Gratzel, pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, selain fabrikasinya mudah, biaya produksi yang diperlukan juga relatif rendah. *Dye sensitized solar cell* (sel surya tersensitasi zat warna) disingkat *DSSC* adalah jenis sel surya yang tersusun dari 3 komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*), dan larutan elektrolit (O'Regan dan Gratzel, 1991 dalam Nuryadi, 2011: 35). Elektroda kerja umumnya terbuat dari lapisan tipis TiO_2 yang ditumbuhkan pada substrat kaca *transparent conductive oxide* (TCO).

Dalam lapisan TiO_2 ditanam sensitizer/zat warna yang berfungsi untuk menyerap energi cahaya. Energi cahaya yang diterima oleh zat warna mengakibatkan tereksitasinya elektron dari pita *high occupied molecular orbital* (HOMO) pada zat warna ke pita *low unoccupied molecular orbital* (LUMO). Karena adanya perbedaan tingkat energi dari pita konduksi semikonduktor TiO_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan pita LUMO pada zat warna, maka akan menyebabkan terjadinya perpindahan elektron dari pita LUMO zat warna ke pita konduksi dari TiO_2 dan selanjutnya menuju ke kaca transparan TCO.

Terjadinya eksitasi elektron dari orbital HOMO ke orbital LUMO, menyebabkan terjadinya hole pada orbital HOMO. Hole ini kemudian diregenerasi

kembali oleh pemberian elektron dari larutan elektrolit. Akibatnya, pada sisi *counter electrode* akan lebih bermuatan positif dan mempunyai potensial positif. Sedangkan pada posisi TCO yang berlapis TiO_2 akan mempunyai potensial negatif. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan beda potensial antara kedua elektroda tersebut, sehingga menimbulkan terjadinya aliran listrik jika antara kedua elektroda tersebut diberi beban (Gratzel, 2001 dalam Nuryadi, 2011: 35).

Struktur sel surya berbentuk struktur sandwich, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO_2 tersensitasi zat warna dan *electrode counter* mengapit elektrolit. Berbeda dengan sel surya silikon, pada sel surya tersensitasi zat warna, foton diserap oleh zat warna yang melekat pada permukaan partikel TiO_2 . Dalam hal ini zat warna bertindak sebagai donor elektron yang dibangkitkan ketika menyerap cahaya, mirip fungsi klorofil pada proses fotosintesis. Sedangkan lapisan TiO_2 bertindak sebagai akseptor elektron yang ditransfer dari zat warna teroksidasi. Elektrolit redoks berupa pasangan iodide/triiodide (I^-/I_3^-) bertindak sebagai mediator redoks sehingga menghasilkan proses siklus didalam sel (Smestad & Gratzel, 1998: 752)



Gambar 2. Struktur *Dye-Sensitized Solar Cell* (Kumara, 2012: 2)

1. Beberapa bagian-bagian dari DSSC :

a. Substrat

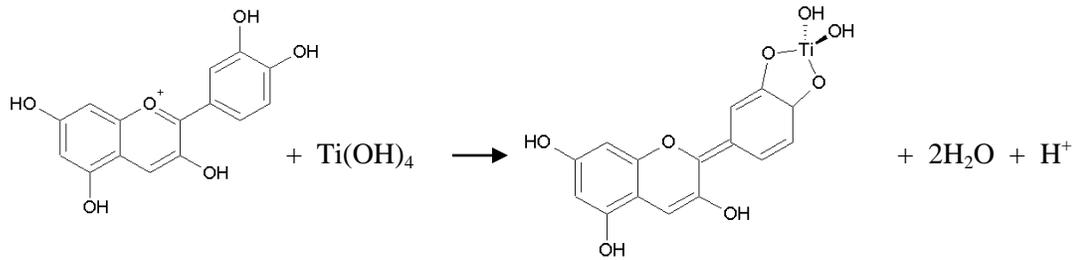
Substrat yang digunakan dalam *DSSC* yaitu jenis kaca *transparent conductive oxide (TCO)* yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat berfungsi sebagai badan dari *DSSC* dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu fluorine-doped tin oxide ($\text{SnO}_2:\text{F}$ atau FTO) dan indium tin oxide ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ atau ITO). Hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material TiO_2 pada substrat, diperlukan proses *sintering* pada temperatur $400\text{-}500^\circ\text{C}$ dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami *defect* pada range temperatur tersebut (Septina, dkk, 2007: 14). Di antara komponen-komponen dalam devais *DSSC*, gelas transparan konduktif merupakan komponen terpenting yaitu sebagai substrat bagi elektroda aktif dan elektroda pembalik.

Material yang digunakan sebagai gelas transparan konduktif di antaranya adalah *indium tin oxide (ITO)* dan *fluorinated-tin oxide (FTO)*. Film *ITO* merupakan semikonduktor dengan celah pita lebar (3,5 – 4,3 eV), memiliki sifat-sifat sangat penting, seperti transparan terhadap cahaya, daya hantar listrik tinggi, melekat dengan substrat yang baik, kekerasan yang baik, inert secara kimia (An, 2004: 1629).

b. Titanium Dioksida (TiO₂)

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. Selain itu lebar pita energinya yang besar ($>3\text{eV}$) dibutuhkan dalam *DSSC* untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Selain semikonduktor TiO₂, semikonduktor lain yang dapat digunakan yaitu ZnO, CdSe, CdS, WO₃, Fe₂O₃, SnO₂, Nb₂O₅, dan Ta₂O₅, namun TiO₂ masih menjadi material yang sering digunakan karena efisiensi *DSSC* menggunakan TiO₂ masih belum tertandingi (Septina, dkk, 2007: 15). TiO₂ adalah material fotokatalis yang memiliki daya oksidasi yang kuat, photostabilitas yang tinggi dan selektivitas redoks. Syarat penting untuk meningkatkan aktivitas katalis dari TiO₂ adalah meningkatkan luas permukaan dari TiO₂ yang bergantung pada ukuran kristalnya.

Sifat fisis dan kimia dari TiO₂ bergantung pada ukuran, morfologi dan struktur kristalnya. TiO₂ memiliki tiga bentuk kristal yaitu anatase, rutil dan brookite. Kristal TiO₂ fase anatase memiliki kemampuan yang lebih aktif daripada rutil. Anatase dianggap sebagai fase yang paling menguntungkan untuk fotokatalisis dan konversi solar energi. TiO₂ hanya mampu menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra TiO₂ di daerah tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna tersebut berfungsi sebagai *sensitizer* (Ekasari & Yudoyono, 2013: 16).



Gambar 3. Adsorpsi senyawa aromatik dihidroksi ke TiO_2

Dalam hal ini terjadi adsorpsi cyanin ke permukaan TiO_2 menggantikan OH dari struktur Ti(IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup cyanin (Septina, dkk, 2007: 28).

c. Zat warna

Penyerapan cahaya dilakukan oleh molekul zat warna yang terserap pada permukaan TiO_2 . Zat warna yang umum digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis ruthenium complex. Walaupun *DSSC* menggunakan ruthenium complex telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun zat warna jenis ini cukup sulit untuk disintesa dan ruthenium complex komersil berharga mahal (Maddu, dkk, 2007: 79). Alternatif lain yaitu penggunaan zat warna alami. Zat warna alami telah terbukti mampu memberikan efek photovoltaic walaupun efisiensi yang dihasilkan masih jauh lebih kecil dibandingkan zat warna sintetis. Meskipun demikian, zat warna organik sangat kompetitif untuk dijadikan *sensitizer* karena biaya produksinya yang murah dan proses isolasinya juga lebih mudah. Dalam penelitian ini zat warna yang digunakan adalah ekstrak dari ubi jalar ungu.

d. Elektrolit

1) Elektrolit cair

Elektrolit yang umum digunakan pada *DSSC* adalah elektrolit cair, terdiri dari pasangan redoks dalam pelarut yaitu I^- dengan I_3^- karena *inert* terhadap komponen *DSSC*. Dalam sistem sel surya pewarna tersensitasi ini, pasangan redoks I/I_3^- dalam larutan elektrolit berperan sebagai media dalam proses regenerasi elektron agar siklus bisa terus berlangsung.

2) Elektrolit semi padat

Penggunaan elektrolit semi padat adalah untuk mengatasi elektrolit cair yang mudah bocor dan menguap. Elektrolit semi padat yang digunakan adalah elektrolit berbasis gel polimer polietilen glikol (PEG) yang mengandung kopel redoks (I/I_3^-) sebagai pengganti elektrolit cair.

Polietilen glikol (PEG) merupakan polimer sintetik dari etilen oksida dengan rumus struktur $H(OCH_2CH_2)_nOH$, dimana n adalah jumlah rata-rata gugus etilen oksida. PEG umumnya memiliki bobot molekul antara 200-300000. Penamaan PEG umumnya ditentukan dengan bilangan yang menunjukkan bobot molekul rata-rata. Konsistensinya sangat dipengaruhi oleh bobot molekul. PEG dengan bobot molekul 200-600 (PEG 200-600) berbentuk cair, PEG 1500 semi padat, dan PEG 3000-20000 atau lebih berupa padatan semi kristalin, dan PEG dengan bobot molekul lebih besar dari 100000 berbentuk seperti resin pada suhu kamar.

Umumnya PEG dengan bobot molekul 1500-20000 yang digunakan untuk pembuatan dispersi padat. Polimer ini mudah larut dalam berbagai pelarut, titik leleh dan toksisitasnya rendah, tidak higroskopis (Leuner dan Dressman, 2000 dalam Alatas, 2006: 58).

e. Counter Elektroda

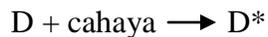
Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodida pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada *DSSC*. Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay dan Gratzel mengembangkan desain *DSSC* dengan menggunakan *counter*-elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter* elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodida yang menyerupai elektroda platina (Septina, 2007: 17).

2. Cara Kerja *DSSC*

Pada dasarnya prinsip kerja *DSSC* mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular dalam bentuk reaksi dari transfer elektron. Prinsip kerja *DSSC* secara skematik ditunjukkan pada gambar 4, sedangkan proses yang terjadi dalam *DSSC* dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada *DSSC*, energi foton tersebut diserap oleh larutan *dye* yang melekat pada permukaan partikel

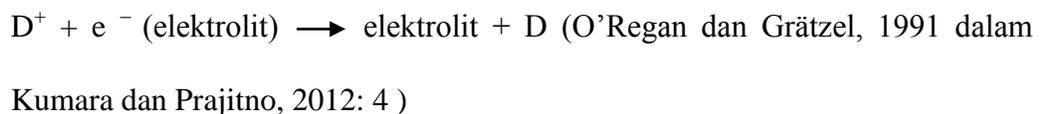
TiO₂. Sehingga elektron dari *dye* mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi (D*)



- b. Elektron yang tereksitasi dari molekul *dye* tersebut akan diinjeksikan ke pita konduksi TiO₂ dimana TiO₂ bertindak sebagai akseptor/kolektor elektron. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi (D⁺)

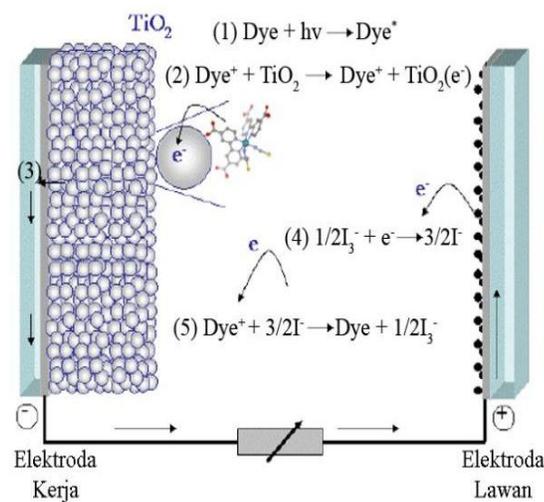


- c. Selanjutnya elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda pembanding (elektroda karbon)
- d. Elektrolit redoks biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I/I₃⁻) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis.
- e. Elektron yang tereksitasi kembali masuk kedalam sel dan bereaksi dengan elektrolit menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi. Sehingga *dye* kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi :



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitasi zat warna berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO₂

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 zat warna yang digunakan (Li B, dkk, 2006 dalam Wulandari & Prajitno, 2012)



Gambar 4. Skema kerja DSSC (Susmiyanto, dkk, 2013: 2)

C. Karakterisasi

1. Difraksi Sinar-X (XRD)

Difraksi sinar X (*X-Ray Diffractometer*) atau yang sering dikenal XRD merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Dengan kata lain, teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter

struktur kisi serta mendapatkan ukuran partikel (A, Purbo, dkk. 2009: 1). Semakin kecil ukuran partikel maka semakin bagus hasil yang didapatkan untuk efisiensi *DSSC* dikarenakan banyaknya molekul zat warna yang teradsorpsi pada permukaan.

Difraksi sinar-X berguna untuk mengetahui TiO_2 mempunyai fasa kristal anatase, rutil atau brookite karena fasa kristal akan mempengaruhi fotoaktif pada *DSSC*. Selain itu juga untuk mengetahui derajat kristalinitas dengan mengetahui intensitas pola difraksi sampel. Apabila pola difraksi sampel cukup tinggi menandakan TiO_2 mempunyai derajat kristalinitas yang baik, maka proses difusi elektron di TiO_2 akan lebih cepat yang implikasinya proses transfer elektron untuk *DSSC* secara keseluruhan akan lebih tinggi sehingga akan meningkatkan efisiensi sel surya.

2. Spektroskopi UV-Vis

Teknik spektroskopi pada daerah ultra violet dan sinar tampak biasa disebut spektroskopi UV-VIS. Analisis spektroskopi ini memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer. Dari spektrum absorpsi dapat diketahui panjang gelombang dengan absorbansi maksimum dari suatu unsur atau senyawa. Konsentrasi suatu unsur atau senyawa juga dengan mudah dapat dihitung dari kurva standar yang diukur pada panjang gelombang dengan absorbansi maksimum tersebut.

Absorpsi cahaya UV-Vis mengakibatkan transisi elektronik, yaitu promosi elektron-elektron dari orbital keadaan dasar yang berenergi rendah ke orbital keadaan tereksitasi berenergi lebih tinggi. Absorpsi cahaya tampak dan radiasi ultraviolet meningkatkan energi elektronik sebuah molekul, artinya energi yang disumbangkan oleh foton-foton memungkinkan elektron-elektron itu mengatasi kekangan inti dan pindah keluar ke orbital baru yang lebih tinggi energinya. Semua molekul dapat menyerap radiasi dalam daerah UV-tampak karena mereka mengandung elektron, baik sekutu maupun menyendiri, yang dapat dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Panjang gelombang dimana terjadi eksitasi elektronik yang memberikan absorpsi maksimum disebut sebagai panjang gelombang maksimum (λ_{maks}). Molekul-molekul yang memerlukan lebih banyak energi untuk promosi elektron akan menyerap cahaya pada panjang gelombang yang lebih pendek. Molekul yang menyerap energi lebih sedikit akan menyerap cahaya pada panjang gelombang yang lebih panjang. Pada analisis kualitatif dengan metode spektrofotometri UV-Vis yang dapat ditentukan ada 2 yaitu :

1. Pemeriksaan kemurnian spektrum UV-Vis.
2. Penentuan panjang gelombang maximum (Fernandez, 2011: 13)

Pada *DSSC* analisis menggunakan spektrometer UV-Vis untuk mengetahui absorpsi cahaya oleh pigmen antosianin dari ubi jalar ungu. Apabila hasil spektrum menunjukkan zat warna antosianin dari ubi jalar ungu dapat menyerap spektrum cahaya lebih lebar maka dalam hal performansinya akan lebih baik.

3. Spektroskopi Infra Merah (FT-IR)

Spektroskopi inframerah adalah ilmu yang mempelajari interaksi sinar inframerah dengan materi. Hampir setiap senyawa yang memiliki ikatan kovalen, apakah senyawa organik atau anorganik akan menyerap berbagai frekuensi radiasi elektromagnetik dalam daerah spektrum inframerah. Spektrometer inframerah adalah alat yang sensitif terhadap kehadiran gugus fungsi kimia dalam suatu sampel, seperti gugus C=O, CH₃, C=C dan lain-lain. Penggunaan spektrum inframerah untuk penentuan struktur senyawa organik biasanya antara 650-4000 cm⁻¹ (15,4 – 2,5 μm) (Mon, Irma dan Isnietti, 2012: 1).

Penggunaan spektroskopi FTIR banyak digunakan untuk identifikasi suatu senyawa. Hal ini disebabkan spektrum FTIR bersifat khas, artinya senyawa yang berbeda akan mempunyai spektrum yang berbeda pula. Analisis dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk mengidentifikasi kehadiran gugus-gugus fungsi yang terdapat pada senyawa antosianin dari zat warna ubi jalar ungu yang telah di ekstraksi sebelumnya.

4. Multimeter

Multimeter adalah alat ukur dalam bidang elektronika yang penggunaannya untuk mengukur tegangan DC, mengukur tegangan AC, mengukur arus DC, mengukur tahanan (Ohm), mengukur nilai kapasitansi kapasitor (Farad) dan

memeriksa keadaan suatu komponen masih baik atau tidak dan digunakan pada trouble shooting suatu peralatan elektronik (Prawiroredjo, 2006: 68).

D. Performansi *DSSC*

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan dan arus. Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik pada *DSSC* merupakan daya tarik berkembangnya riset mengenai *DSSC*, selain dari proses produksi yang simpel dan biaya produksi yang murah. Konversi energi matahari menjadi energi listrik menghasilkan arus listrik dan tegangan. Nilai arus listrik dan tegangan ini dapat diukur dengan menggunakan suatu alat yang disebut multimeter digital. Sedangkan besarnya efisiensi *DSSC* yang dihasilkan dapat dihitung menurut hubungan :

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

P_{max} adalah daya maksimum yang dihasilkan oleh *DSSC* dan P_{in} adalah daya sumber cahaya yang digunakan.

Daya maksimum diberikan oleh hubungan :

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

V_{max} adalah tegangan maksimum yang dihasilkan dan I_{max} adalah arus maksimum yang dihasilkan (Maddu, 2007: 82)

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi sel surya. Efisiensi dari sel surya tergantung pada temperatur dari sel

dan yang lebih penting lagi adalah kualitas iluminasi. Misalnya total intensitas cahaya dan intensitas spektrum yang terdistribusi. Oleh karena itu, standar kondisi pengukuran harus dikembangkan sejalan dengan pengujian sel surya di laboratorium. Kondisi standar yang telah digunakan untuk menguji solar sel dengan intensitas cahaya 1000 W/m^2 (Kumara, 2012: 4).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

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

1. Konsentrasi PEG pada elektrolit semi padat mempunyai pengaruh terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan, dimana efisiensi tertinggi berada pada konsentrasi PEG 0.1 M yaitu 0.38 % untuk pasta TiO₂ yang dicampur dengan zat warna dan 0.23% untuk pasta TiO₂ yang direndam dalam zat warna selama 24 jam.
2. Teknik penyerapan zat warna terhadap TiO₂ mampu meningkatkan efisiensi DSSC, dimana pasta TiO₂ yang dicampur langsung dengan zat warna menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding pasta TiO₂ yang direndam dalam zat warna selama 24 jam.

B. Saran

Dari penelitian yang dilakukan, disarankan untuk :

1. Perlu dikaji penggunaan variasi konsentrasi PEG lebih lanjut untuk mengetahui konsentrasi optimum PEG yang menghasilkan efisiensi tertinggi.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pembuatan pasta TiO₂ berukuran nanometer sehingga dapat menambah jumlah zat warna yang terserap dan implikasinya akan meningkatkan arus yang dihasilkan.

3. Perlunya pemurnian larutan zat warna agar memperoleh antosianin yang murni.

DAFTAR PUSTAKA

- A, Purbo, dkk. 2009. *X-Ray Difraktometer (XRD)*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Alatas, Fikri, dkk. 2006. *Pengaruh Konsentrasi PEG 4000 terhadap Laju Disolusi Ketoprofen dalam Sistem Dispersi Padat Ketoprofen-PEG 4000*. Bandung : ITB
- An, Soo Jing., et.al. 2004. *Influence of Annealing on the Optical and the Electrical Properties of ITO Thin Film Prepared by Using a Sol-Gel Spin Method*. Journal of the Korean Physical Society. Vol. 45. No.6
- Ekasari, Vitriany & Yudoyono, Gatut. 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 Vol. 2, No.1
- Fernandez, Benny Rio. 2011. *Spektroskopi Infra Merah (FT-IR) dan Sinar Tampak (UV-Vis)*. Padang : Pascasarjana Unand
- Fessenden dan Fessenden. 1986. *Kimia Organik Jilid 2*. Jakarta : Erlangga
- Hardiyanti, Yuniar., Darwis, Djaswir dan Santoni A. 2013. *Ekstraksi dan Uji Antioksidan Senyawa Antosianin dari Daun Miana (Coleus scutellarioides L (Benth)) serta Aplikasi pada Minuman*. Jurnal Kimia Unand (ISSN No. 2303-3401), Volume 2 Nomor 2
- Hidalgo M.C, Colon G & Navio J.A. 2002. *Modification of the Physicochemical Properties of Commercial TiO₂ Samples by Soft Mechanical Activation*. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 148
- Jian Zhan, dkk. 2006. *An investigation of the performance of dye-sensitized nanocrystalline solar cell with anthocyanin dye and ruthenium dye as the sensitizers*. Roskilde University
- Kristijarti, A Prima dan Arlene, Ariestya. 2012. *Isolasi Zat Warna Ungu pada Ipomoea batatas Poir dengan Pelarut Air*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat : Universitas Katolik Prahayangan
- Kumara, Maya Sukma W dan Prajitno, Gontjang. 2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam*