FABRIKASI DSSC *(DYE-SENSITIZED SOLAR CELL)* BERBASIS EKSTRAK JANTUNG PISANG DENGAN METODE *SPIN COATING* UNTUK STUDI STABILITAS DAN SIFAT OPTIK DSSC

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Rieza Dwi Ayu Wulandari

NIM.5301414020

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Rieza Dwi Ayu Wulandari
NIM	: 5301414020
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro
Judul	: Fabrikasi DSSC *(Dye-Sensitized Solar Cell)* Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode *Spin Coating* untuk Studi Stabilitas dan Sifat Optik DSSC

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang Panitia Ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 09 Januari 2019

Pembimbing,

Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.

NIP. 197411201999031003

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Fabrikasi DSSC *(Dye-Sensitized Solar Cell)* Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode *Spin Coating* untuk Studi Stabilitas dan Sifat Optik DSSC telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 6 bulan 2 tahun 2019

Oleh

Nama	: Rieza Dwi Ayu Wulandari
NIM	: 5301414020
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro

Panitia :

Ketua

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T
NIP. 197805312005011002

Sekretaris

Drs. Agus Suryanto, M.T
NIP. 196708181992031004

Penguji 1

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T
NIP. 197805312005011002

Penguji 2

Dra. Dwi Purwanti, Aht, M.S
NIP. 195910201990022001

Penguji 3/Pembimbing

Prof. Dr. Sutikno, S.T, M.T
NIP.197411201999031003

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196611301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mmendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasi orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 15 Januari 2019

Yang Membuat Pernyataan,

Rieza Dwi Ayu Wulandari

NIM. 5301414020

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka keadaan yang ada pada diri mereka sendiri (Q.S Ar Ra'd : 11).
2. Maka sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan, dan sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan (Q.S Al Insyirah 5-6).
3. Satu-satunya sumber pengetahuan adalah pengalaman (Albert Einstein).

PERSEMBAHAN

1. Untuk Bapak Ibu Tercinta, Herru Tri Yuniarto dan Jatinem sosok yang sangat menginspirasi, yang tak pernah lelah berdoa, berkorban, bersabar dan selalu memberi dukungan. Semoga Allah SWT memberikan perlindungan kepada Bapak dan Ibu.
2. Kakak dan seluruh anggota keluarga yang selalu memberikan motivasi, inspirasi, semangat dan doa.
3. Prof. Dr. Sutikno, S.T, M.T, selaku pembimbing yang telah membimbing, memotivasi dan mengarahkan saya.
4. Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T, selaku ketua jurusan Teknik Elektro dan membimbing saya.
5. Sahabat dan teman-teman seperjuangan PTE 2014 yang telah mendukung dan membantu saya.
6. Almamater UNNES.

RINGKASAN

Wulandari, Rieza Dwi Ayu. 2019. *Fabrikasi DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell) Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode Spin Coating untuk Studi Stabilitas dan Sifat Optik DSSC*. Skripsi. Prof. Dr. Sutikno, S.T, M.T. Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) telah menarik perhatian karena kemampuan piranti ini dalam mengkonversi cahaya secara efisien dan memiliki kinerja tinggi dengan biaya yang relatif rendah namun di sisi lain efisiensi konversi tertinggi baru mencapai 4%. Upaya untuk meningkatkan efisiensi konversi dengan menggunakan poly (3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate (PEDOT:PSS), ekstrak jantung pisang dan metode *spin coating* untuk deposisi. Dalam Penelitian ini, DSSC difabrikasi berdasarkan pigmen alami yang diambil dari ekstrak antosianin jantung pisang (*Musa acuminata bracts*) yang divariasi dengan fraksi massa 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5. Hasil pengujian absorbansi menggunakan alat Vis-Nir memperlihatkan bahwa pada fraksi 0,3 menghasilkan nilai absorbansi yang relatif tinggi dan stabil karena memiliki pigmen berwarna merah pada panjang gelombang 491 - 570 nm. Struktur sel surya organik yang digunakan yaitu ITO/ZnO/Antosianin/PEG/PEDOT:PSS/Karbon aktif/ITO. Karakterisasi efisiensi konversi menggunakan alat Nachriebe 101 menunjukkan efisiensi tertinggi didapatkan pada DSSC yang difabikasi dengan penambahan pigmen 0,05 ml dan kecepatan *spin coating* 3000 rpm yaitu sebesar 0,099%.

Kata Kunci: *Dye-Sensitized Solar Cell*, Pigmen Alami, Photosensitizer, Ekstrak Jantung Pisang

PRAKATA

Segala puji dan syukur di ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga dapat diselesaikan skripsi yang berjudul "Fabrikasi DSSC *(Dye-Sensitized Solar Cell)* Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode *Spin Coating* untuk Studi Stabilitas dan Sifat Optik DSSC". Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammdad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat dari Beliau di *yaumil akhir* nanti, Amin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini disampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Sutikno, S.T, M.T selaku Pembimbing yang penuh perhatian telah mencurahkan bimbingan, arahan, motivasi, serta dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.
2. Bapak Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T selaku penguji I dan pembimbing yang telah memberi masukan, motivasi, saran dan arahan yang berguna untuk meningkatkan bobot dan kualitas karya tulis ini.
3. Ibu Dra. Dwi Purwanti, Aht, M.S selaku penguji II yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar dan tanggapan.

4. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
5. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Dr. –Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Penguji I sekaligus Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
6. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesemptan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
7. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan untuk karya tulis ini yang belum dapat penulis sebutkan satu persatu.

Peneliti berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 15 Januari 2019
Peneliti

DAFTAR ISI

JUDUL i

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING ii

LEMBAR PENGESAHAN KELULUSAN iii

MOTTO DAN PERSEMBAHAN v

RINGKASAN vi

PRAKATA vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xii

DAFTAR GAMBAR xiii

DAFTAR LAMPIRAN xv

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang Masalah 1

1.2 Identifikasi Masalah 5

1.3 Pembatasan Masalah 6

1.4 Rumusan Masalah 6

1.5 Tujuan Penelitian 6

1.6 Manfaat Penelitian 7

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 8

2.1 Sel Surya 8

2.2 Klasifikasi Sel Surya 10

2.2.1 Sel Surya Konvensional 10

2.2.2 Sel Surya Non Konvensional 10

2.3 *Dye-Sensitized Solar Cell* 11
2.4 Bahan DSSC 14
2.4.1 Bahan Anoda.....14
2.4.2 Bahan Lapisan Aktif 15
2.4.3 Bahan Larutan Elektrolit.....16
2.4.4 Bahan Katoda.....17
2.5 Prinsip Kerja DSSC 17
2.6 Struktur dan Desain DSSC 18
2.7 Teknologi Fabrikasi DSSC 21
2.8 *Spin Coating* 23
2.9 Karakterisasi Pengukuran Sifat dan Kinerja DSSC 25
BAB 3 METODE PENELITIAN.....28
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan 28
3.2 Desain Penelitian 28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....29
3.3.1 Peralatan Penelitian.....29
3.3.2 Bahan Penelitian yang Digunakan 32
3.4 Skema Pengukuran 34
3.5 Parameter Penelitian 36
3.5.1 Sintesis Bahan Antosianin Jantung Pisang 36
3.5.2 Deposisi Lapisan Tipis ZnO 37
3.5.3 Deposisi Elektroda Pembanding 38
3.5.4 Karakterisasi 38

3.6 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data.....41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....42
4.1 Analisis Pigmen Alami Jantung Pisang 42
4.2 Analisis Film Tipis Bahan Semikonduktor ZnO.....48
4.3 Analisis Elektroda Pembanding 50
4.4 Karakterisasi DSSC.....50
4.4.1 Karakterisasi Sifat Optik Pigmen Alami Jantung Pisang.....50
4.4.2 Karakterisasi Morfologi Bubuk ZnO 52
4.4.3 Karakterisasi Sifat Listrik Arus dan Tegangan DSSC 53
BAB 5 PENUTUP 57
5.1 Simpulan 57
5.2 Saran.....58
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN.....65

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Peralatan Fabrikasi DSSC 30

Tabel 3.2 Peralatan Karakterisasi DSSC 32

Tabel 3.3 Bahan Fabrikasi DSSC 33

Tabel 3.4 Parameter Sintesis Bahan.....37

Tabel 3.5 Parameter Penyiapan Film Tipis.....38

Tabel 4.1 Data Sebelum Proses Distilasi Pigmen Jantung Pisang.....45

Tabel 4.2 Data Sesudah Proses Distilasi Pigmen Jantung Pisang.....46

Tabel 4.3 Data Proses Pemisahan Antosianin Pigmen Jantung Pisang dengan Pelarut menggunakan Pengaduk Panas Magnetik 47

Tabel 4.4 Warna Spektrum Tampak 52

Tabel 4.5 Parameter Fotolistrik DSSC.....55

Tabel 4.6 Parameter Fotolistrik DSSC dengan Variasi Volume Pigmen.....56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur dan desain DSSC Berdasarkan Penelitian Shalini 19

Gambar 2.2 Struktur dan Desain DSSC Berdasarkan Penelitian Gong 20

Gambar 2.3 Struktur dan Desain DSSC Berdasarkan Penelitian Bella 21

Gambar 3.1 Struktur DSSC dengan Pigmen Alami Ekstrak Jantung Pisang.....29

Gambar 3.2 Diagram Alir Fabrikasi dan Karakterisasi DSSC.....35

Gambar 3.3 Ocean Optic Vis-Nir USB4000 spectrophotometer.....39

Gambar 3.4 Phenom ProX Desktop SEM.....40

Gambar 3.5 IV-meter Nachriebe 101.....41

Gambar 4.1 Pigmen Alami Jantung Pisang Sebelum Proses Distilasi.....43

Gambar 4.2 Alat Distilasi Sederhana.....44

Gambar 4.3 Proses Pemisahan Antosianin dengan Larutan Sisa menggunakan Pengaduk Panas Magnetik.....44

Gambar 4.4 Pemotongan Kaca ITO ukuran 1 x 1 cm.....48

Gambar 4.5 Proses *Spin Coating* Film Tipis Bahan Semikonduktor ZnO 48

Gambar 4.6 Proses Pemanasan Film Tipis ZnO 49

Gambar 4.7 Lapisan Film Tipis ZnO.....49

Gambar 4.8 Lapisan Karbon Aktif.....50

Gambar 4.9 Spektrum Absorbansi *dye* ekstrak jantung pisang (*Musa acuminata bracts*) 51

Gambar 4.10 Morfologi Permukaan Lapisan Tipis ZnO 53

Gambar 4.11 Kurva Karakteristik J-V dengan Variasi Kecepatan *Spin Coater* 54

Gambar 4.12 Kurva Karakteristik J-V dengan Variasi Volume Pigmen 55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Runcard* Proses Penelitian DSSC 65

Lampiran 2. Hasil Karakterisasi Sifat Optik Transmisi Pigmen Jantung Pisang menggunakan *Ocean Optic* Vis-Nir USB4000.....75

Lampiran 3. Mikrostruktur Permukaan Film Tipis ZnO menggunakan Phenom ProX Desktop SEM di Titik yang Berbeda 80

Lampiran 4. Hasil Karakterisasi Sifat Listrik DSSC dalam Kondisi Gelap dan Terang Menggunakan Nachriebe 101 I-V Meter.....81

Lampiran 5. Foto Fabrikasi DSSC 85

Lampiran 6. Surat Keputusan Penetepan Dosen Pembimbing.....89

Lampiran 7. Surat Penelitian di Lab. Biologi Universitas Negeri Semarang 90

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) telah menarik perhatian karena kemampuan piranti ini dalam mengkonversi cahaya secara efisien dan memiliki kinerja tinggi dengan biaya yang relatif rendah (O'Regan and Gratzel 1991). DSSC sangat potensial dikembangkan setelah pengembangan sel surya konvensional. DSSC disukai karena sifatnya yang ringan, fleksibel, transparan, beragam warna dan termasuk induktor superior (Asim et al., 2014).

Komponen utama DSSC adalah pigmen yang digunakan sebagai pengindera yang menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik, pigmen yang digunakan bisa berupa senyawa organik dan anorganik (Aziz & Utami 2015). DSSC pewarna anorganik berbasis ruthenium memiliki stabilitas yang luar biasa dan efisiensi yang relatif tinggi yaitu mencapai 11% namun pewarna berbasis ruthenium sangat mahal dan ketersediaannya terbatas (Jain et al., 2013). Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan pewarna organik namun disisi lain efisiensi tertinggi yang dicapai sel surya organik masih rendah yaitu 4% (Khan et al., 2017).

Pigmen aktif organik dapat ditemukan pada bagian tanaman yang meliputi bunga, daun, buah-buahan, kulit buah dan akar (Sutikno, Yulianti, and Saputra 2017). Pigmen alami tanaman di klasifikasi berdasarkan klorofil, anthocyanin, betalanin dan cartenoid. Klorofil menyerap cahaya merah dan biru dari sinar matahari dan karenanya tampak hijau (Ramanarayanan et al., 2017). Antosianin

merupakan pigmen warna golongan flavonoid yang dapat digunakan sebagai *sensitizer*. Kandungan antosisanin mempengaruhi warna pada akar, batang, daun, bunga dan buah menjadi berwarna merah, orange, ungu atau biru (Zahrok & Prajitno 2015). Senyawa antosianin memiliki gugus karbonil dan hidroksil pada struktur molekulnya, sehingga mampu berikatan kimia dengan bahan semikonduktor. Antosianin memiliki spektrum cahaya yang cukup lebar maka antosianin berpotensi sebagai *photosensitizer*. Sedangkan pada klorofil terdapat gugus alkil pada struktur molekulnya yang tidak bisa berikatan kimia dengan bahan semikonduktor yang mengakibatkan klorofil tidak maksimal terserap oleh lapisan bahan semikonduktor (Hao et al., 2006).

Jantung pisang banyak ditemukan di negara-negara asia tenggara dan sekitarnya. Di indonesia pemanfaatan jantung pisang belum optimal sebatas untuk masakan tradisional. Oleh karena itu, pemilihan ekstrak jantung pisang sebagai pigmen alami DSSC adalah salah satu cara pengoptimalan pemanfaatan jantung pisang. Pada penelitian sebelumnya, ekstrak jantung pisang dapat digunakan sebagai alternatif bahan aktif untuk pengembangan sel surya organik dan terdapat kandungan antosianin dalam jumlah tertentu pada ekstrak jantung pisang. Alasan lain penggunaan ekstrak jantung pisang yaitu harganya murah, ramah lingkungan, tidak menimbulkan polusi dan mudah didapatkan (Sutikno, Dharmaputera, & Rahayu 2014).

DSSC membutuhkan substrat konduktif untuk lapisan tipis bahan semikonduktor celah pita lebar. Sampai saat ini, kaca transparan berkonduktivitas seperti ITO (tin-doped indium oxide) dan FTO (fluorine-doped tin oxide) dengan

ketebalan sekitar 2 mm merupakan substrat yang paling ideal dan memberikan efisiensi sel surya relatif konstan dan realibel (Purwanto & Prajitno 2013).

DSSC memerlukan lapisan bahan semikonduktor dengan energi celah pita lebar (*band gap energy*) seperti seng oksida (ZnO) yang bersifat mesopori dengan tingkat kekasaran tertentu. Lapisan semikonduktor nantinya akan disensitisasi pigmen alami (*dye*). Energi celah pita ZnO tergolong lebar yaitu 3.3 eV serta energi ikatan eksiton yang tinggi yaitu 60 meV dan ZnO memiliki mobilitas elektron yang tinggi dimana dapat dengan mudah mentransfer elektron (Rahman, 2011). Dan untuk meningkatkan efisiensi sel surya maka bahan semikonduktor yang digunakan harus memiliki permukaan yang luas agar cahaya yang terserap lebih banyak. Untuk mendapatkan dimensi permukaan yang luas dapat dilakukan dengan cara membentuk bahan dalam bentuk lapisan tipis (Dahlan, 2009).

Salah satu metode pembuatan lapisan tipis semikonduktor yaitu menggunakan metode *spin coating*. Fabrikasi dengan *spin coating* menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode *doctor blade* setelah perendaman *dye* selama 1 hari (Nasori, 2012). *Spin coating* merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis di atas substrat (Purwanto & Prajitno 2013).

DSSC terdiri atas komponen elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*counter electrode*) dan larutan elektrolit (Aziz & Utami 2015). Bahan

semikonduktor sebagai elektroda kerja memiliki sifat fotoaktif tetapi hanya dapat mengabsorbsi cahaya pada panjang gelombang 360-380 nm (Zahrok & Prajitno 2015). Sedangkan elektrode pembading berupa substrat kaca yang dilapisi karbon aktif karena karbon aktif lebih unggul dari platina (Pt) karena tegangan open-circuit meningkat sekitar 60mV menggunakan elektroda pembanding berbahan karbon aktif. Hal tersebut terjadi karena pergeseran muatan positif dari larutan redoks. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I^-/I^3 seperti Potasium Iodida (KI) yang memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektrolit NaI dan TEAI (Prasetyo, Wahyuningsih, & Suryana 2014). Regenerasi *sensitizer* oleh iodide terjadi dengan proses pendonoran electron pada pita valensi dari *dye* yang teroksidasi. Iodide diregenerasi kembali dengan reduksi triiodida pada counter elektroda dengan memanfaatkan elektron yang berasal dari external sirkuit (Grätzel, 2003).

Untuk efisiensi konversi daya menggunakan DSSC pigmen alami yang diekstraksi dari kacang polong biru, rosella dan campuran keduanya dilaporkan 0,37%, 0,05% dan 0,15% (Wongcharee, Meeyoo, & Chavadej 2007). DSSC dibuat dengan pewarna yang diekstraksi dari buah labu ivy dan bunga kamboja merah dilaporkan mencapai efisiensi 0,08% dan 0,30% (Shanmugam et al., 2013). Kinerja terbaik DSSC diperoleh *Ziziphus jujuba*, dimana efisiensinya mencapai 1,077% (Taya et al., 2015). Efisiensi konversi photoelektrik terhadap pigmen alami kubis ungu, murbei, kulit anggur ungu, kentang dan wortel secara berurutan yaitu 0.162%, 0.051%, 0.051%, 0.012% dan 0.011% (Gu et al., 2018).

Namun, dalam fabrikasi DSSC penggunaan elektrolit cair menyebabkan masalah yaitu memiliki tingkat kestabilan yang rendah dalam jangka panjang yang disebabkan oleh evaporasi dan pelepasan pelarut organik, daya larut garam anorganik terbatas seperti NaI, KI dan LiI dalam pelarut organik dan kesulitan dalam menyegel perangkat (Huang et al., 2007). Usaha untuk meningkatkan efisiensi sel juga masih terhambat oleh rendahnya mobilitas elektron (Kim et al., 2008). Maka peneliti memilih larutan PEDOT:PSS dan menggunakan *dye* ekstrak jantung pisang sebagai solusi dari masalah tersebut.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari latar belakang di atas adalah :

1. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) telah menarik perhatian karena konversi cahaya efisien dan performa tinggi dengan biaya yang rendah**.**
2. DSSC merupakan trend yang akan banyak diteliti karena fabrikasi yang murah dan bahan baku yang mudah ditemukan.
3. Efisiensi konversi energi DSCC menggunakan pigmen alami yang masih rendah, efisiensi konversi tertinggi sebesar 4%.
4. Pelapisan semikonduktor yang efisien menggunakan *spin coating* karena menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode *doctor blade*.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini penulis akan membatasi ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas, antara lain :

1. Studi stabilitas DSSC
2. Mekanisme degradasi DSSC
3. Karakterisasi arus dan tegangan (IV)
4. Sifat optik DSSC (serapan)
5. Karakterisasi peralatan DSSC

1.4 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengendalian parameter fabrikasi DSSC sehingga cairan yang digunakan tidak mudah menguap?
2. Bagaimana struktur DSSC yang optimum agar dapat membangkitkan energi yang efisien?
3. Bagaimana karakteristik arus dan tegangan DSSC yang telah di fabrikasi?
4. Bagaimana pengaruh metode *spin coating* terhadap efisiensi DSSC?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Untuk menentukan parameter fabrikasi yang optimum dari ekstrak jantung pisang.
2. Untuk menentukan struktur DSSC yang optimum dari ekstrak jantung pisang.
3. Untuk menentukan karakteristik arus dan tegangan DSCC.
4. Untuk mengetahui pengaruh metode *spin coating* terhadap efisiensi DSSC.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengkaji fabrikasi DSSC dengan *dye-sensitizer* ekstrak jantung pisang.
2. Menghasilkan sumber energi terbarukan dari bahan-bahan organik yang mudah didapat di lingkungan sekitar.
3. Meningkatkan efisiensi konversi energi yang dihasilkan DSSC.
4. Sebagai refrensi penelitian DSSC selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Efek fotovoltaik (PV) pertama kali diamati oleh Alexandre-Edmond Becquerel pada tahun 1839. Selanjutnya, tahun 1946 sel surya modern pertama yang terbuat dari silikon ditemukan oleh Russel Ohl. Sel surya fotovoltaik adalah silikon tipis yang mengubah energi sinar matahari menjadi tenaga listrik. Teknologi modern fotovoltaik berbasis pada prinsip penciptaan lubang elektron di setiap sel yang terdiri atas dua lapisan yang berbeda (tipe-p dan bahan tipe-n) dari bahan semikonduktor. Dalam susunan struktur ini, ketika energi foton yang cukup menimpa sambungan tipe-p dan tipe-n, sebuah elektron dikeluarkan dengan memperoleh energi dari foton dan bergerak dari satu lapisan ke lapisan lainnya. Ini menciptakan elektron dan lubang diproses dan dengan proses ini tenaga listrik dihasilkan. Berbagai jenis bahan yang digunakan untuk sel surya fotovoltaik terutama dalam bentuk silikon (kristal tunggal, silikon multi-kristal, amorf), cadmium telluride, tembaga indium gallium selenide dan tembaga indium gallium sulfide (Sharma, Jain, & Sharma 2015).

Photovoltaik (PV) adalah salah satu teknologi terbarukan yang penting secara global dalam satu dekade terakhir. Badan Energi Internasional (IEA) memperkirakan daya terpasang dari PV sekitar 136,5 GW pada akhir 2015 dan teknologi PV kristal-silikon masih mendominasi 85-90% di pasaran. Eropa

memiliki kapasitas PV terbesar yaitu 70% dari total kapasitas PV dunia. Setiap tahun instalasi PV di Eropa meningkat dari 58MW / tahun pada tahun 2000 hingga 10,975MW / tahun pada 2013. Pada tahun 2012, listrik yang dihasilkan dari teknologi PV menyumbang 2,2% dari total pembangkit listrik di Uni Eropa (UE). Peningkatan pesat ini telah terjadi sebagian besar didorong oleh kebijakan dan peraturan Eropa. Sebagai contoh, strategi Uni Eropa (UE) untuk iklim dan energi itu memberlakukan negara anggota untuk mencapai target 27% dari bagian energi terbarukan untuk dikonsumsi di Uni Eropa pada 2030 (Latunussa et al., 2016).

Berdasarkan bahan yang digunakan untuk menangkap cahaya matahari sel surya dibedakan menjadi dua yaitu bahan anorganik dan organik (Grätzel, 2003). Sel Surya anorganik adalah sel surya yang menggunakan bahan-bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon sebagai material yang menangkap energi foton yang dipancarkan oleh matahari. Sel surya organik menggunakan material organik atau dye untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yangdigunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (dye) yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (dye) secara berlapis masih terbatas.

Pada sel surya organik umumnya memiliki katoda transparan untuk meneruskan cahaya yang masuk dan kemudian diserap oleh lapisan aktif. Biasanya perangkat lapisan aktif sel surya polimer tersusun dari campuran film terkonjungsi sebagai donor elektron dan akseptor molekular kecil (Hou & Guo 2013).

2.2 Klasifikasi Sel Surya

2.2.1 Sel Surya Konvensional

Penelitian terkini tentang sel surya konvensional silikon telah mencapai kemajuan yang signifikan, sel surya film tipis menggunakan kelompok elemen III-V. Sel surya berbasis silikon umumnya memiliki efisiensi konversi energi lebih dari 20%. Bahan yang dapat digunakan sebagai sel surya konvensional yaitu silikon (kristal, large-kristal, multi-kristal, polikristalin, amorphous, mikrokristalin), GaAs, CdTe, CIGS (Green et al., 2015). Namun, ada beberapa kekurangan yaitu proses manufaktur yang sulit serta biaya keseluruhan yang tinggi (Rho et al., 2018).

2.2.2 Sel Surya Non Konvensional

DSSC yang dikembangkan oleh O'Regan dan Grätzel, DSSC menggunakan pewarna berbasis rutenium (Ru) dan film tipis TiO_2 nanopartikel 10-μm yang memiliki efisiensi konversi energi sebesar 7% yang merupakan sel surya berbasis pewarna berbahan logam, yang mana cukup tinggi untuk memotivasi penelitian selanjutnya dalam mengeksplorasi lainnya sel dengan struktur serupa (Rho et al., 2018). Dan bahan lain yaitu DSSC menggunakan osmium kompleks yang sangat efisien. Sifat fotovoltaik dari osmium (II) penting untuk aplikasi potensial solar sel karena terjadinya eksploitasi "pemanenan cahaya" kompleks melalui energi dan proses transfer elektron. Os kompleks telah ditunjukkan dengan spektrum penyerapan yang luas, cocok untuk keadaan tereksitasi, daya tahan yang relatif lama, dan stabilitas termal dan kimia yang bagus (Swetha, Reddy, & Singh 2015).

Sel surya anorganik dapat difabrikasi menggunakan porfirin, phthalocyanines, sel polimer atau sel surya yang peka terhadap zat warna. Laporan

baru-baru ini tentang pewarna porfirin yang menghasilkan konversi daya 11% hal tersebut menunjukkan bahwa porfirin dapat menyamai keberhasilan pewarna terbaik (Ru) (Walter, Rudine, & Wamser 2010). Dan DSSC organik menggunakan pigmen alami mungkin dianggap sebagai bagian dari sel generasi ketiga yang memiliki efisiensi konversi energi tertinggi dari bayam yaitu sebesar 4% (Khan et al., 2017). Sel fotovoltaik organik terdiri atas kaca film konduktif yang dilapisi bahan organik aktif yang terhimpit di antara elektroda kerja dan elektroda pembanding (Hou & Guo, 2013).

2.3 *Dye-Sensitized Solar Cell*

DSSC adalah perangkat fotoelektrokimia yang secara efektif mengubah sinar matahari menjadi listrik. Umumnya, DSSC terdiri atas fluorine-doped SnO_2 (FTO), sebuah nanocrystalline wide band-gap metal oxide elektroda berpori semikonduktor, pewarna, elektrolit, dan elektroda counter (Taya et al., 2015).

DSSC adalah teknologi konversi energi matahari yang atraktif dan memiliki kelebihan mudah dalam fabrikasi dan fitur estetika yang dapat dimodifikasi, seperti warna dan transparansi (Mathew et al., 2014). Selain itu DSSC memiliki keunggulan lain yaitu aplikasinya yang unik, sebagai pilihan meningkatan efisiensi, sumber bersih dan terjangkau untuk menjadi energi terbarukan (Gu et al., 2018). Dibandingkan dengan solar sel konvensional berbasis silikon, DSSC memiliki beberapa keunggulan seperti memiliki tampilan transparan, portabilitas yang sangat baik, mudah tersedia, bahan ramah lingkungan, mudah diekstraksi, tidak perlu pemurnian lebih lanjut, hijau, keragaman warna, energi masukan rendah, efisiensi tinggi, serapan stabil, biaya produksi murah termasuk pengolahan biaya nonvacuum

pada suhu kamar, bermassa ringan, dan akses baru untuk pasar penjualan sel surya. Untuk merancang sensitizer yang sangat efisien, diperlukan tiga kondisi sebagai berikut: kisaran lebar spektrum *photosensitizer* memiliki kesamaan dengan spektrum emisi matahari, elektron memungkinkan menyuntikkan secara cepat ke dalam pita konduksi semikonduktor dan elektron yang disuntikkan bergabung kembali secara perlahan dengan kation pewarna pigmen. Ada empat kelompok utama pigmen tumbuhan yaitu antosianin, betalain, karoten dan klorofil. Warna spektrum untuk warna orange ke biru dihasilkan dari eksosit antosianin, sedangkan spektrum kuning ke merah dihasilkan oleh karotenoid dan spektrum hijau dihasilkan oleh betalain secara progresif. Antosianin untuk *photosensitizer* diperoleh dari ektrak bunga, daun dan buah (Sutikno et al., 2016).

Flavonoid adalah istilah yang menggambarkan banyak koleksi alam pewarna yang mencakup kerangka karbon C_6-C_3-C_6 atau lebih khusus fungsi fenilbenzopiran. Lebih 5000 flavonoid alami telah diekstraksi dari berbagai tanaman, dan dibagi menurut struktur kimianya sebagai berikut: flavonol, flavon, flavanon, isoflavon, katekin, antosianin, dan chalcones. Pigmen alami sering dianggap berasal dari antosianin. Kelompok antosianin alami akan memberikan warna pada bunga, buah, dan daun tanaman dan juga pada beberapa bagian yang berwarna dalam rentang ungu ke merah. Antosianin juga dapat ditemukan di organ tanaman lainnya seperti umbi, akar dan batang.

Karoten adalah pigmen organik yang secara alami terjadi di tanaman dan mikroorganisme. Karotenoid, flavonoid, dan antosianin sering ditemukan di organ yang sama. Pigmen karotenoid memasok bunga dan buah dengan warna merah, kuning, oranye dan biasanya warna tersebut terletak pada kelopak kuning ke oranye. Karoten adalah pigmen pemanenan cahaya dan memiliki peran penting dalam perlindungan fotosintesis. Pigmen karoten melengkapi klorofil melalui reaksi redoks. Pewarna alami mentah lebih baik daripada pewarna murni atau analog komersial karena adanya ekstrak alami seperti alkohol dan asam organik yang membantu adsorpsi pewarna mencegah rekombinasi elektrolit dan mengurangi akumulasi zat warna.

Klorofil adalah pigmen hijau yang ditemukan di daun tanaman hijau, alga, dan cyanobacteria. Ada enam jenis pigmen klorofil berbeda dan jenis yang paling sering terjadi adalah klorofil α. Struktur molekul termasuk cincin klorin dengan pusat Mg, bersama dengan rantai samping yang berbeda dan jejak hidrokarbon, tergantung pada jenis klorofil. Klorofil menyerap cahaya dari merah, biru, dan panjang gelombang violet dan memperoleh warnanya dengan memantulkan warna hijau (Ludin et al., 2014).

2.4 Bahan DSSC

2.4.1 Bahan Anoda

Anoda (transparan) lapisan konduktif seperti fluorine doped-tin oxide (FTO) dan indium tin oxide (ITO) terbuat dari kaca yang dilapisi bahan mesopori oksida biasanya yaitu Titanium dioksida (TiO_2) atau Zinc Oxide (ZnO) berguna untuk mengaktifkan konduksi elektronik (Khan et al., 2017).

Bahan anoda yang banyak diteliti untuk meningkatkan kinerja DSSC yaitu seperti TiO_2, ZnO, SnO_2, Nb_2O_5 dll. Sementara TiO_2 mendominasi untuk penelitian tersebut. Baru-baru ini, ZnO yang memiliki celah pita yang sama dengan TiO_2 tampaknya menjadi bahan alternatif untuk pembuatan DSSC untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi. ZnO memiliki stabilitas lingkungan yang tinggi, mobilitas elektron yang tinggi dan menyediakan jalur konduksi langsung untuk pengumpulan elektron pada substrat photoanode. Namun, efisiensi konversi daya sel surya berdasarkan ZnO lebih rendah daripada TiO_2, ZnO masih dianggap sebagai pesaing terkemuka karena kemudahan sintesis dan fleksibilitas pada morfologi struktur nano. Sebagai tambahan, mobilitas elektron ZnO lebih tinggi daripada TiO_2, biaya tingkat rekombinasi ZnO lebih rendah daripada TiO_2, dan umur elektron ZnO lebih panjang daripada TiO_2. Karakteristik tersebut bermanfaat untuk pengaplikasian sel surya. Keterbatasan efisiensi yang masih rendah dari DSSC dianggap sebagai tantangan besar untuk menjadi komersial aplikasi secara luas. Berbagai strategi digunakan untuk mengatasi keterbatasan intrinsik seperti itu (Alwan & Ali, 2017).

Oksida logam yang berbeda mempengaruhi fotolistrik konversi fotoanoda TiO_2 dengan beragam. Sejauh ini, masih belum ada perbandingan tentang efek

oksida logam yang berbeda pada elektroda TiO_2. Dalam penelitian Xuhui, TiO_2 dilapisi dengan Al_2O_3, CaO, ZnO, MgO, Fe_2O_3 atau Bi_2O_3 secara terpisah dengan metode deposisi fase cair. Hasilnya menunjukkan bahwa sel-sel dengan TiO2 / Al_2O_3, TiO_2 / ZnO, TiO_2 / CaO, atau TiO_2 / MgO film komposit sebagai fotoanode memiliki lebih tinggi efisiensi konversi dibandingkan dengan film TiO_2 tanpa lapisan. TiO_2 / Al_2O_3 menunjukkan efisiensi tertinggi dan TiO_2 / CaO menduduki peringkat kedua. Sebaliknya, sel dengan film komposit TiO_2 / Bi_2O_3 atau TiO_2 / Fe_2O_3 sebagai fotoanode memiliki efisiensi konversi yang lebih rendah dibandingkan dengan film TiO_2 yang tidak dilapisi. Mekanisme perubahan efisiensi sel juga dianalisis untuk mendapatkan efisiensi konversi yang lebih tinggi, kecocokan energi tingkat oksida logam dengan TiO_2 adalah prasyarat pertama, dan kemudian optimal Ketebalan lapisan juga merupakan kondisi yang diperlukan (Xuhui et al., 2014).

2.4.2 Bahan Lapisan Aktif

Pewarna alami terutama sianin, klorofil, antosianin, karoten dan flavonoid telah dipelajari secara ekstensif sebagai *sensitizer* dalam DSSC yang dapat ditemui di akar, batang, daun, bunga dan buah. Hal ini memiliki fakta bahwa elektronik struktur pigmen tumbuhan memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan sinar matahari dan mengubahnya menjadi arus listrik dengan mengubah panjang gelombang (Siddick, Lai, & Juan, 2018).

Beberapa macam bunga yang telah diekstrak dan dijadikan sebagai pigmen alami yaitu: Begonia, Rhododendron, Marigold, Marigold, Perilla, China loropetal, Yellow rose, Flowery knotweed, Petunia, Violet, Chinese rose, Rose, Lily, Hibiscus

sabdariffa L., Clitoria ternatea, Erythrina variegate, Rosa xanthine, Hibiscus surattensis, Nerium olender, Hibiscus rosasinesis, Sesbania grandiflora, Ixora macrothyrsa, Red Bougainvilleaglabra, Violet Bougainvilleaglabra, Red Bougainvilleaspectabilis, dan Violet Bougainvilleaspectabilis (Ludin et al., 2014).

Beberapa macam buah yang sudah dijadikan *dye* DSSC yaitu: Tangerine peel, Fructus lycii, Mangosteen pericarp, Raspberries, Grapes, Citrus sinensis (Red Sicilian), Solanum melongena (Eggplant), Cheries, Capsicum, Kopsia flavida, Berberies buxifolia Lam (Calafate), Myrtus cauliflora Mart (Jaboticaba), Hylocereuspolyrhizus (Dragonfruit), Wild Sicilian Prickly Pear, Chaste treefruit TiO_2, dan Ivy gourd fruits (Ludin et al., 2014).

Beberapa macam daun yang pernah disintesis yaitu: Herba artemisiae scopariae, Vernoniaamygdalin (Bitter Leaf), spinach, Ipomoea, Festuca ovina, Brassicaolercea (Redcabbage), Allium cepa (Redonion), Punica granatum (Pomegranate), Shiso , Jathophacurcas Linn (Botuje), Lawsonia inermis (Henna), Ficus reusa, Rhoeo spathacea, Garciniasubelliptica, Anethum graveolens, Parsley (Petroselinum crispum), dan Arugula (Ludin et al., 2014).

Beberapa bijih tanaman yang telah digunakan sebagai *photosensitizer* yaitu: Coffee, Oryza sativa L. indica (Black Rice) dan Bixa arellana L. (achiote). Bahan yang diambil dari bagian lain tanaman antara lain: Green algae dan Kelp (Ludin et al., 2014).

2.4.3 Bahan Larutan Elektrolit

Saat ini, larutan elektrolit yang sering digunakan untuk DSSC yaitu elektrolit pasangan redoks triiodida/ iodida, yang sangat korosif dan menyerap kuat

di daerah spektrum kerja DSSC. Penelitian yang dilakukan oleh Wang telah mampu menghasilkan peningkatan efisiensi yang signifikan dalam DSSC menggunakan pasangan redoks sulfida / tiolat baru dikembangkannya melalui fungsionalisasi substrat mesopori dengan muatan positif (Wang et al., 2010).

2.4.4 Bahan Katoda

Katoda di DSSC terdiri atas lembaran kaca dilapisi dengan katalis seperti platinum (Khan et al., 2017). Penelitian imoto melaporkan bahwa elektroda karbon baru yang disiapkan dengan karbon aktif lebih unggul dari elektroda Platinum sebagai elektroda pembanding dari sel surya yang peka terhadap sinar matahari. Namun elektroda pembanding karbon memiliki listrik yang jauh lebih tinggi jadi memungkinkan resistansi yang dimilikinyapun cukup tinggi (Imoto, Takahashi, & Yamaguchi, 2003)

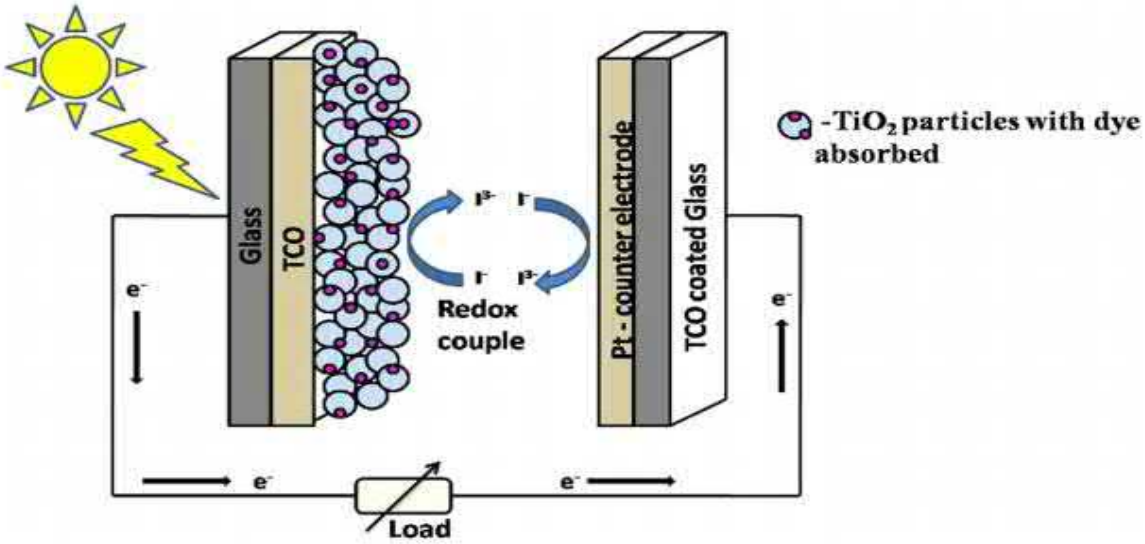
2.5 Prinsip Kerja DSSC

Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Proses kedua terjadi pada elektroda negatif (anoda) yaitu pada lapisan TiO_2 dimana elektron tereksitasi kemudian terinjeksi menuju pita konduksi TiO_2 sehingga *dye* teroksidasi. Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi. Pada proses ketiga, setelah mencapai elektroda ITO, elektron mengalir menuju counter-elektrode yang berperan sebagai elektroda positif (katoda) melalui rangkaian ekster-nal. Proses selanjutnya, dengan adanya katalis pada counter-elektrode, elektron diterima oleh

elektrolit sehingga hole yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodida (I^-). Proses terakhir, iodida ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Andari, 2017).

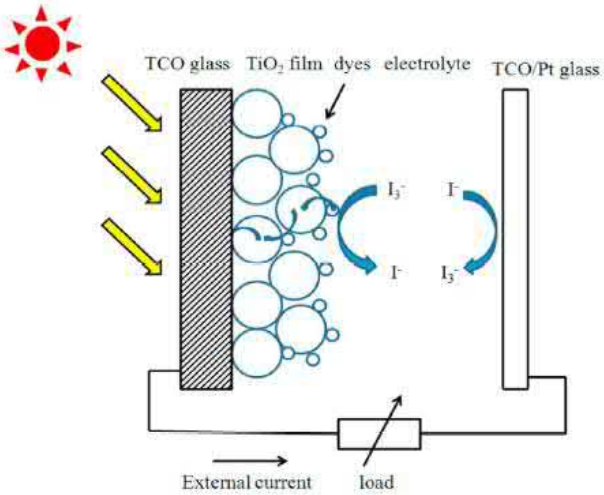
2.6 Struktur dan Desain DSSC

Dalam DSSC, molekul pewarna yang teradsorpsi pada permukaan lapisan TiO_2 mesopori menyerap foton yang ada. Molekul pewarna yang ada ini menyuntikkan elektron ke pita konduksi jaringan photoanode mesopori dan molekul zat warna yang melepaskan elektron kemudian terjadi oksidasi. Elektron yang disuntikkan melakukan perjalanan melalui lapisan TiO_2 ke beban eksternal untuk mencapai elektrode counter (CE). Elektron ini kemudian dipindahkan ke elektrolit dimana pewarna teroksidasi menerima elektron dari ion untuk menggantikan elektron yang hilang bersamaan, molekul iodida dioksidasi menjadi ion tri iodida (I_3^-). Akhirnya, regenerasi ion berlangsung di CE (katoda), dan migrasi elektron melalui muatan eksternal melengkapi sirkuit (Shalini et al., 2015).



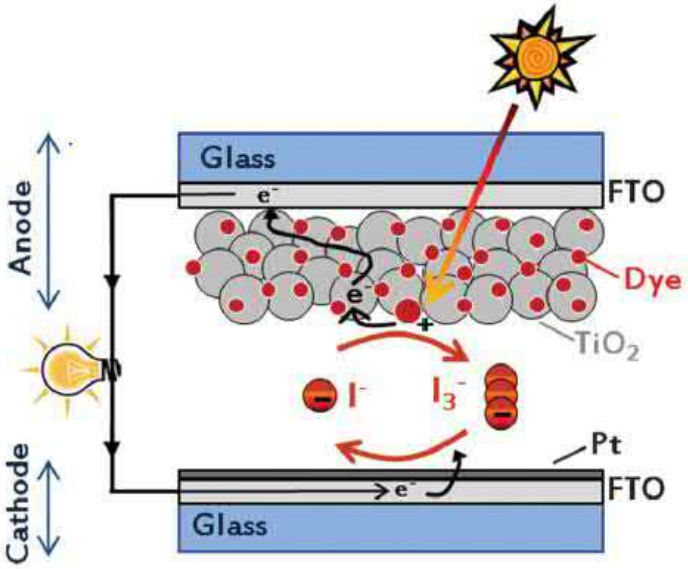
Gambar 2.1 Struktur dan desain DSSC Berdasarkan Penelitian Shalini (Sumber: Shalini et al., 2015)

Menurut Gong sistem DSSC terdiri atas empat komponen utama yaitu pertama, photoanode yang terbuat dari lapisan oksida mesopori (biasanya, TiO_2) diendapkan pada substrat kaca konduktif transparan. Kedua, monolayer sensitizer pewarna yang berikatan kovalen dengan permukaan lapisan TiO_2 untuk memanen cahaya dan menghasilkan foton-foton elektron. Ketiga, elektrolit yang mengandung pasangan redoks (biasanya, I^- / I_3^-) dalam sebuah pelarut organik untuk mengumpulkan elektron pada elektroda counter dan mempengaruhi pewarna regenerasi dan yang keempat yaitu counter elektroda yang terbuat dari kaca konduktif yang dilapisi platinum (Gong et al., 2017).



Gambar 2.2 Struktur dan Desain DSSC Berdasarkan Penelitian Gong (Sumber: Gong et al., 2017)

Penjelasan terperinci tentang cara kerja DSSC menurut Bella DSSC terdiri atas lima bagian, yaitu foto-anoda transparan, lapisan semikonduktor mesopori, transfer biaya monolayer sensitizer pewarna, elektrolit dan katoda yang dilapisi katalis. Nano berpori lapisan semikonduktor yang bertanggung jawab untuk adsorpsi zat warna dan transpor elektron adalah inti dari DSSC. Hal tersebut sangat penting bahwa lapisan semikonduktor yang tersimpan dengan baik dan menawarkan resistansi rendah terhadap aliran elektron yang dihasilkan sebagai hasil eksitasi molekul pewarna. Jadi, optimasi berbagai parameter termasuk ketebalan, kristalinitas dan porositas sangat dianjurkan untuk meningkatkan daya efisiensi konversi (Bella et al., 2015).



Gambar 2.3 Struktur dan Desain DSSC Berdasarkan Penelitian Bella (Sumber: Bella et al., 2015)

2.7 Teknologi Fabrikasi DSSC

Metode deposisi film yang digunakan memiliki pengaruh besar terhadap kinerja utama dan parameter ekonomis dengan demikian metode yang digunakan perlu dipilih dengan cermat. Pada penelitian terdahulu, berbagai metode telah digunakan untuk pembuatan lapisan semikonduktor TiO2 pada foto-anoda terlapis oksida transparan (TCO) termasuk lapisan pisau, sablon, hidrolisis termal, deposisi laser pulsa, rendaman kimia, pelapisan semprot, *Chemical Vapour Deposition* (CVD), *Physical Vapour Deposition* (PVD) dan *ElectroPhoretic deposition* (EPD). Pada penelitian pawar et al., menunjukkan metode untuk menumbuhkan film tipis TiO2 dengan *nano-stars* di atas morfologi *nano-rods* pada substrat FTO. Dalam beberapa waktu terakhir, proses EPD (yang bergantung pada gerakan partikel bermuatan di bawah pengaruh medan listrik) telah menarik banyak perhatian karena

biaya yang lebih rendah, suhu yang stabil, waktu fabrikasi yang pendek dan kemampuan untuk secara efektif mengontrol ketebalan lapisan semikonduktor. Teknik pengendapan dan proses pasca pelapisan seperti sintering juga merupakan kunci penting dan memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi DSSC dengan menciptakan vital interkoneksi antara partikel nano semikonduktor. Mengoptimalkan deposisi EPD dan proses sintering dapat meningkatan yang signifikan dalam hal efisiensi dan karenanya dapat memainkan peran penting dalam komersialisasi DSSC teknologi (Shikoh et al., 2017).

Beberapa teknik fabrikasi DSSC yaitu *Slip Casting, Spincoating, Doctor blading, Screen printing, Spray Coating, Physical Vapour Deposition* (PVD) *dan Chemical Vapour Deposition* (CVD). *Slip Casting* adalah teknik pembuatan film paling sederhana, prosedur pembuatannya dengan menuang larutan ke substrat diikuti dengan pengeringan. Alat yang dibutuhkan yaitu spatula untuk meratakan TiO2 yang sudah dideposisikan di atas TCO. Teknik ini memiliki ketebalan bergantung pada selotip yang diberikan *Spincoating* adalah teknik pelapisan dengan menuangkan larutan ke atas substrat dengan memanfaatkan gaya semu sentrifugal dengan menggunakan laju putar spin tertentu. Teknik ini memungkinkan menghasilkan film yang homogen. *Doctor blading* adalah teknik pelapisan dengan menempatkan pisau tajam pada jarak tetap dari permukaan substrat yang akan dilapisi (biasanya 10-500mm). Larutan pelapisnya kemudian diletakkan di depan mata pisau yaitu kemudian bergerak secara linear melintasi substrat yang menghasilkan film basah yang tipis. *Screen printing* adalah pencetakan yang sangat serbaguna, teknik ini memungkinkan untuk membuat pola

2 dimensi, teknik ini sangat hemat dan pada dasarnya tidak ada kerugian larutan pelapis saat mencetak (Krebs, 2009). Teknik *spray coating* menggunakan alat *airbrush* yang tersusun dari jarum, pipa kecil, dan pompa udara. Caranya dengan memasukkan larutan ke dalam tabung *airbrush*, kemudian disemprotkan (*spray*) ke atas substrat TCO dengan tekanan yang cukup tinggi berasal dari kompresor (Yulika, Kusumandari, & Suryana 2014). *Physical Vapour Deposition* (PVD) merupakan teknologi *vacuum coating* menggunakan ruang hampa tinggi dengan bahan material berbentuk padat (Asim et al., 2014). *Chemical Vapour Deposition* (CVD) adalah teknik pelapisan material berbentuk gas dan cair dengan cara pemanasan dengan suhu tinggi (Asim et al., 2014).

2.8 *Spin Coating*

Banyak teknik canggih untuk pembuatan film tipis yaitu evaporasi, epitaksi balok molekul, sputtering, thermal evaporation, physical vapour deposition, chemical vapour deposition , sol-gel deposisi. Spin coating adalah metode deposisi lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan ke atas substrat terlebih dahulu kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis di atas substrat. Metode spin coating memiliki keunggulan yaitu hemat biaya, cepat dan sederhana untuk menyimpan film tipis dan cara menyiapkan film tipis seragam dan homogen (Fardousi et al., 2013).

Prinsip kerja pembuatan lapisan tipis dengan metode spin coating yaitu dengan menuangkan larutan di atas substrat yang diletakkan di atas alat spin coater. Proses spin coating dilakukan dengan memutar alat coater dengan kecepatan tinggi

(rpm) dalam waktu tertentu. Semakin cepat putaran, akan diperoleh lapisan tipis yang semakin homogen dan tipis. Dengan spin coating dimungkinkan dapat diperoleh kualitas lapisan tipis yang semakin sempurna. Metode spin coating ini memuat tahapan dasar:

2.8.1 Tahap penetesan cairan (dispense)

Pada bagian ini cairan dideposisikan di atas permukaan substrat, kemudian diputar dengan kecepatan tinggi. Kemudian lapisan yang telah dibuat akan dikeringkan sampai pelarut pada lapisan tersebut benar-benar menguap. Proses ini dibagi menjadi dua macam, yaitu: Static dispense: proses disposisi sederhana yang dilakukan pada larutan di atas pusat substrat dan Dynamic dispense: proses deposisi dengan kecepatan putar yang kecil kira-kira 1000 rpm.

2.8.2 Tahap percepatan spin coating

Setelah tahap penetesan cairan, larutan dipercepat dengan kecepatan yang relatif tinggi. Kecepatan yang digunakan pada substrat ini akan mengakibatkan adanya gaya sentrifugal dan turbulensi cairan. Kecepatan yang digunakan antara 1500-6000 rpm dan tergantung pada sifat cairan terhadap substrat yang digunakan.

2.8.3 Tahap pengeringan

Pada tahap ini terbentuk lapisan tipis murni dengan suatu ketebalan tetentu. Tingkat ketebalan lapisan yang terbentuk bergantung pada tingkat kelembaban dasar substrat. Adanya kelembaban yang kecil menyebabkan ketebalan lapisan murni yang terbentuk akan menjadi semakin besar (Purwanto & Prajitno, 2013).

2.9 Karakterisasi Pengukuran Sifat dan Kinerja DSSC

2.9.1 Karakterisasi Sifat Optik

Spektrofotometer adalah berdasarkan hukum Lambert-Beer, yaitu seberkas sinar dilewatkan suatu larutan pada panjang gelombang tertentu, sehingga sinar tersebut sebagian ada yang diteruskan dan sebagian lainnya diserap oleh larutan. Spektrofotometer terdiri dari 2 jenis yaitu metode UV-Vis dan Vis-Nir. Pada spektrofotometer UV-Vis, zat diukur dalam bentuk larutan. Analit yang dapat diukur dengan spektrofotometer sinar tampak adalah analit berwarna atau yang dapat dibuat berwarna. Analit berwarna adalah analit yang memiliki sifat menyerap cahaya secara alami. Analit yang dibuat berwarna adalah analit yang tidak berwarna sehingga harus direaksikan dengan zat tertentu untuk membentuk senyawa yang menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Pembentukan warna untuk zat atau senyawa yang tidak berwarna dapat dilakukan dengan pembentukan kompleks atau dengan cara oksidasi sehingga analit menjadi berwarna (Warono & Syamsudin, 2013). Spektrofotometer merupakan metode alternatif yang diharapkan lebih simpel dan relatif akurat jika dibandingkan dengan metode manual menggunakan mikroskop. Lebih simpel karena tidak memerlukan metode preparasi yang kompleks, dan lebih akurat karena menyertakan proses kalibrasi dan standardisasi hasil perhitungan sehingga mampu mengurangi efek bias. Walaupun penggunaan spektofotometer telah dilakukan secara spesifik untuk perhitungan carotenoid (Zamani dan Muhaemin, 2016).

2.9.2 Struktur Permukaan

Miskrospik adalah alat karakterisasi yang digunakan untuk melihat mikrostruktur permukaan objek. Miskropsik terdiri dari beberapa jenis yaitu CCD, SEM dan TEM. Setiap mikroskop elektron memiliki senapan elektron yaitu sumber filamen yang dipercepat oleh suatu pelat anoda yang memancarkan berkas elektron untuk mengiluminasi lembaran cuplikan. Lensa magnetik silinder dibuat untuk mengfokuskan elektron sehingga diperoleh citra obyek pada sistem penyimpan atau penampil. Pada TEM, berkas elektron dipancarkan langsung melalui obyek yang akan diperbesar, sebagian diserap dan sebagian lainnya dilewatkan. Obyek tersebut harus dipotong sangat tipis agar dapat dilihat dengan TEM yaitu tebalnya harus lebih kecil dari beberapa ribu angstrom. Biasanya pelat fotografi atau layar flouresensi ditempatkan dibelakang cuplikan untuk menangkap citra dan perbesaran yang dihasilkan bisa mencapai satu juta kali. Sedangkan pada SEM, berkas elektron difokuskan tajam dan digerakkan sepanjang cuplikan. Berkas elektron tersebut dihamburkan langsung oleh cuplikan membentuk elektron pantulan balik (*backscattered*) atau menghasilkan pancaran elektron sekunder. Pancaran elektron sekunder dan *backscattered* ini dihimpun dan dicacah oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter* yang diletakkan dekat cuplikan, kemudian diubah menjadi tegangan dan dikuatkan oleh rangkaian penguat. Formasi citra pada SEM tidak secara langsung jika dibandingkan dengan TEM. Sapuan pada cuplikan membetuk elemen gambar (pixel) pada monitor televisi. Jumlah cacah akan memberikan keterangan dari pixel. Citra permukaan cuplikan sebagai hasil sapuan elektron terlihat diperbesar pada layar tabung televisi. Sifat yang menarik

pada SEM adalah memberikan tingkat perbesaran yang tinggi dan kedalaman fokus yang besar. Tidak seperti pada TEM, SEM dapat memperlihatkan rincian dari permukaan obyek dalam kualitas tiga dimensi (Ardisasmita, 2000).

2.9.3 Karakterisasi Sifat Listrik

Karakterisasi efisiensi dan daya output sel surya organik dapat diukur menggunakan perangkat I-V meter. Daya listrik yang dihasilkan oleh sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya ini untuk menghasilkan tegangan saat diberi beban dan arus melalui beban pada saat bersamaan. Ketika sel dalam kondisi hubung singkat, arus maksimum atau arus hubung singkat (Jsc) dihasilkan, sedangkan dalam kondisi sirkuit terbuka tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangan maksimum disebut tegangan sirkuit terbuka (Voc). Titik pada kurva IV yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (Pmax) dan efisiensi konversi surya keseluruhan (Al-alwani et al., 2017). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu fill factor (FF) dan daapat dihitung menggunakan persamaan,

$$FF = \frac{Vmax \times Jmax}{Voc \times Jsc} \quad (1)$$

Efisiensi konversi mencerminkan kemampuan sel surya dalam menghasilkan energi. Persamaan efisiensi konversi merupakan rasio energi keluaran sel surya terhadap energi matahari di atasnya. Efisiensi tergantung pada intensitas cahaya dan dapat dihitung sebagai berikut,

$$\eta = \frac{Jsc \times Voc \times FF}{Pin} \quad (2)$$

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

1. Pengendalian parameter fabrikasi DSSC dilakukan dengan penambahan PEG dan pigmen alami ekstrak jantung pisang (*Musa acuminata bracts*) menggunakan fraksi massa 0,3 pada panjang gelombang 491 - 570 nm karena memiliki warna pigmen merah.

2. Struktur optimum DSSC didapat dari susunan sandwich ITO/ZnO/Pigmen/PEG/PEDOT:PSS/Karbon Aktif/ITO.

3. Hasil karakterisasi I-V menggunakan alat Nachriebe 101 pada variasi kecepatan *spin coating* menunjukkan bahwa arus dan tegangan DSSC sebesar 1E-3 mA/cm^2 dan 37 mV untuk sampel 1000 rpm, 3E-3 mA/cm^2 dan 119mV untuk sampel 2000 rpm, 4E-3 mA/cm^2 dan 73 mV untuk sampel 3000 rpm, 3E-3 mA/cm^2 dan 69 mV untuk sampel 4000 rpm. Sedangkan pada variasi volume pigmen menunjukkan arus dan tegangan DSSC sebesar 1,4E-2 mA/cm^2 dan 97 mV untuk penambahan 0,05 ml pigmen, 8E-3 mA/cm^2 dan 50 mV untuk penambahan 0,1 ml pigmen, 8,3E-3 mA/cm^2 dan 18 mV untuk penambahan 0,15 ml pigmen.

4. Nilai efisiensi DSSC menggunakan metode *spin coating* pada putaran 1000 rpm sebesar 0,019%, pada putaran 2000 rpm sebesar 0,081%, pada putaran 3000 rpm sebesar 0,099% dan pada putaran 4000 rpm sebesar 0,006 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecepatan putar sangat mempengaruhi kinerja

DSSC. Saat putaran rendah dan putaran tinggi terjadi penurunan nilai efisiensi yang dipengaruhi oleh pergeseran celah pita lebar.

5.2 Saran

Fabrikasi DSSC dengan bahan photosensitizer organik jantung pisang (*Musa acuminata bract*) perlu dikembangkan kembali dengan melakukan karakterisasi absorbansi lapisan semikonduktor dan karakterisasi ikatan yang terbentuk dalam proses deposisi bahan semikonduktor. Diharapkan penelitian ini dapat memicu perkembangan penelitian DSSC di Indonesia dengan bahan photosensitizer organik lainnya, penelitian mengenai jangka waktu (*life time*) dari DSSC dan menggunakan metode deposisi terbarukan seperti thermal evaporator guna meningkatkan efisiensi DSSC.

DAFTAR PUSTAKA

Al-alwani, Mahmoud A M et al. 2018. "Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy Application of Dyes Extracted from Alternanthera Dentata Leaves and Musa Acuminata Bracts as Natural Sensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 192, 487–98

Alwan, Dheyaa B, and Falah H Ali. 2017. "Hybrid TiO 2 / ZnO Nanopowder for Several Dyes- Sensitized Solar Cell." 6(8), 1609–15

Andari, Rafika. 2017. "Sintesis Dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Dengan Sensitizer Antosianin Dari Bunga Rosella." 13(2), 88–95

Ardisasmita, M. Syamsa. 2000. "Pengolahan Citra Digital Dan Analisis Kuantitatif Dalam Karakterisasi Citra Mikroskopik." *J. Mikroskopi dan Mikroanalisis* 3(1), 25–29

Asim, N. et al. 2014. "Research and Development Aspects on Chemical Preparation Techniques of Photoanodes for Dye Sensitized Solar Cells." *International Journal of Photoenergy* 2014, 1-21.

Aziz, Hermansyah, and Atika Putri Utami. 2015a. "Dye-Sensitized Solar Cells Using Dye Extracted from Male Flower of Cured Banana (Musa x Paradisiaca L .)." *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 7(7), 292–99

Bella, Federico, Claudio Gerbaldi, Claudia Barolo, and Michael Grätzel. 2015. "Aqueous Dye-Sensitized Solar Cells." *Chemical Society Reviews* 44(11), 3431–73

Dahlan, Dahyunir. 2009. "Electrodeposition Of Cu2O Particles By Using Electrolyte Solution Containing Glupone As Surfactant." 1(2), 18–20

Fardousi, Mohua, M F Hossain, M S Islam, and Sharik Rahat. 2013. "Cost-Effective Home-Made Spin Coater for Depositing Thin Films." 1(1), 126–34

Gong, Jiawei, K. Sumathy, Qiquan Qiao, and Zhengping Zhou. 2017. "Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs): Advanced Techniques and Research Trends." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68, 234–46

Grätzel, Michael. 2003. "Dye-Sensitized Solar Cells." *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4(2), 145–53

Green, Martin A. et al. 2015. "Solar Cell Efficiency Tables (Version 46)." *Progress In Photovoltaics: Research And Applications* 23, 805–812

Gu, Peng et al. 2018. "Fabrication and Characterization of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Natural Plants." *Chemical Physics Letters* 693, 16–22.

Hao, Sancun, Jihuai Wu, Yunfang Huang, and Jianming Lin. 2006. "Natural Dyes as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cell." *Solar Energy* 80, 209–14

Hou, Jianhui, and Xia Guo. 2013. "Organic Solar Cells: Materials and Device Physics." *Green Energy and Technology* 128, 17–42

Huang, Miaoliang et al. 2007. "Preparation of a Novel Polymer Gel Electrolyte Based on N-Methyl-Quinoline Iodide and Its Application in Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell." *Journal of Sol-Gel Science and Technology* 42(1), 65–70

Imoto, Kiyoaki, Kohshin Takahashi, and Takahiro Yamaguchi. 2003. "High-Performance Carbon Counter Electrode for Dye-Sensitized Solar Cells." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 79, 459–69

Jain, Avani et al. 2013. "Improved Efficiency of Organic Dye Sensitized Solar Cells through Acid Treatment." *AIP Conference Proceedings* 774, 774–75

Khan, M. Z.H., M. R. Al-Mamun, P. K. Halder, and M. A. Aziz. 2017. "Performance Improvement of Modified Dye-Sensitized Solar Cells." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 71, 602–17

Kim, Cham, Ki-Soo Kim, Ho Young Kim, and Yoon Soo Han. 2008. "Modification of a TiO2 Photoanode by Using Cr-Doped TiO2 with an Influence on the

Photovoltaic Efficiency of a Dye-Sensitized Solar Cell." *Journal of Materials Chemistry* 18(47), 5809–14

Krebs, Frederik C. 2009. "Fabrication and Processing of Polymer Solar Cells: A Review of Printing and Coating Techniques." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 93(4), 394–412

Latunussa, Cynthia E.L., Fulvio Ardente, Gian Andrea Blengini, and Lucia Mancini. 2016. "Life Cycle Assessment of an Innovative Recycling Process for Crystalline Silicon Photovoltaic Panels." *Solar Energy Materials and Solar Cells* 156, 101–11

Ludin, Norasikin A. et al. 2014. "Review on the Development of Natural Dye Photosensitizer for Dye-Sensitized Solar Cells." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, 386–96

Mathew, Simon et al. 2014. "Dye-Sensitized Solar Cells with 13% Efficiency Achieved through the Molecular Engineering of Porphyrin Sensitizers." *Nature Chemistry* 6(3), 242–47

Nasori. 2012. "Development And Fabrication Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Based On Ginger Officiale Var. Sunti With Spin Coating And Doctor Blade Method." *Institut Teknologi Surabaya* (Thesis)

O'Regan, B, and Michael Gratzel. 1991. "A Low-Cost, High-Efficiency Solar-Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO_2 Films." *Nature* 353(6346), 737–40

Prasetyo, Yoga Hari, Sayekti Wahyuningsih, and Risa Suryana. 2014. "Studi Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)." 18(53), 47–49

Purwanto, Romli, and Gontjang Prajitno. 2013. "Variasi Kecepatan Putar Dan Waktu Pemutaran Spin Coating Dalam Pelapisan TiO2 Untuk Pembuatan Dan Karakterisasi." *Jurnal Sains dan Seni Pomits* 2(1), 1–7

Rahman, Arif. 2011. "Fabrikasi Dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Untuk

Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell." *Universitas Indonesia* (Thesis)

Ramanarayanan, Rajita, P. Nijisha, C. V. Niveditha, and S. Sindhu. 2017. "Natural Dyes from Red Amaranth Leaves as Light-Harvesting Pigments for Dye-Sensitized Solar Cells." *Materials Research Bulletin* 90, 156–61

Rho, Won Yeop et al. 2018. "Recent Advances in Plasmonic Dye-Sensitized Solar Cells." *Journal of Solid State Chemistry* 258, 271–82

Shalini, S. et al. 2015. "Review on Natural Dye Sensitized Solar Cells: Operation, Materials and Methods." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51, 1306–25

Shanmugam, Vinoth, Subbaiah Manoharan, Sambandam Anandan, and Ramaswamy Murugan. 2013. "Performance of Dye-Sensitized Solar Cells Fabricated with Extracts from Fruits of Ivy Gourd and Flowers of Red Frangipani as Sensitizers." *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 104, 35–40

Sharma, Shruti, Kamlesh Kumar Jain, and Ashutosh Sharma. 2015. "Solar Cells: In Research and Applications—A Review." *Materials Sciences and Applications* 6(12), 1145–55

Shikoh, Ali Sephar et al. 2017. "Optimization of ITO Glass/TiO2 Based DSSC Photo-Anodes through Electrophoretic Deposition and Sintering Techniques." *Ceramics International* 43(13), 10540–45

Siddick, Siti Zubaidah, Chin Wei Lai, and Joon Ching Juan. 2018. "An Investigation of the Dye-Sensitized Solar Cell Performance Using Graphene-Titania (TrGO) Photoanode with Conventional Dye and Natural Green Chlorophyll Dye." *Materials Science in Semiconductor Processing* 74, 267–76

Sutikno, Noverdi Afrian, Supriadi, and Ngurah Putra. 2016. "Synthesis and Characterization of Allium Cepa L . as Photosensitizer of Dye-Sensitized Solar Cell." 1725, 1–7

Sutikno, Sutikno, Ngurah Made Dharmaputera, and Sri Rahayu. 2014. “Fabrication and Characterization of Banana Flower Extract Anthocyanin-Based Organic Solar Cell.” *Journal of Advanced Agricultural Technologies* 1(2), 89–93

Sutikno, Ian Yulianti, and Dany Sigit Saputra. 2017. “An Investigation of PH Effects on the Properties of the Fabricated Banana Flower Extracts-Based Organic Solar Cell.” *Oriental Journal of Chemistry* 33(1), 318–23

Swetha, T., K. Raveendranath Reddy, and Surya Prakash Singh. 2015. “Osmium Polypyridyl Complexes and Their Applications to Dye-Sensitized Solar Cells.” *Chemical Record* 15(2), 457–74

Taya, Sofyan A., Taher M. El-Agez, Kamal S. Elrefi, and Monzir S. Abdel-Latif. 2015. “Dye-Sensitized Solar Cells Based on Dyes Extracted from Dried Plant Leaves.” *Turkish Journal of Physics* 39(1), 24–30

Walter, Michael G., Alexander B. Rudine, and Carl C. Wamser. 2010. “Porphyrins and Phthalocyanines in Solar Photovoltaic Cells.” *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines* 14(9), 759–92

Wang, Mingkui et al. 2010. “An Organic Redox Electrolyte to Rival Triiodide/Iodide in Dye-Sensitized Solar Cells.” *Nature Chemistry* 2(5), 385–89

Warono, Dwi, and Syamsudin. 2013. “Unjuk Kerja Spektrometer Untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen.” *Konversi* 2(2), 57–65

Wongcharee, Khwanchit, Vissanu Meeyoo, and Sumaeth Chavadej. 2007. “Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted from Rosella and Blue Pea Flowers.” *Solar Energy Materials and Solar Cells* 91(7), 566–71

Xuhui, Sun et al. 2014. “Performance Comparison of Dye-Sensitized Solar Cells by Using Different Metal Oxide- Coated TiO2 as the Photoanode.” *AIP Advances* 4(3), 1–7

Yulika, Deni, Kusumandari, and Risa Suryana. 2014. “Pelapisan TiO 2 Di Atas

FTO Dengan Teknik Slip Casting Dan Spin Coating Untuk Aplikasi DSSC." *Jurnal Fisika Indonesia* 18(53), 66–69

Zahrok, Zid Latifataz, and Gontjang Prajitno. 2015. "Ekstrak Buah Murbei (Morus) Sebagai Sensitizer Alami Dye-Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Substrat Kaca Ito Dengan Teknik Pelapisan Spin Coating." *Jurnal Sains dan Seni* 4(1), 26–31

Zamani, Neviaty P, and Moh. Muhaemin. 2016. "Penggunaan Spektrofotometer Sebagai Pendeteksi Kepadatan Sel Mikroalga Laut." *Maspari Journal* 8(1), 39–48