



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

Skripsi

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

Oleh

Syaikhul Hadi

NIM.5301414066

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Syaikhul Hadi
NIM : 5301414066
Judul : Fabrikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode Elektrokimia 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, 14 Februari 2019

Dosen Pembimbing,



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

NIP.197411201999031003

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi dengan judul *Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode Elektrokimia untuk Studi Stabilitas dan Sifat Optik DSSC* telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 27 bulan Februari tahun 2019.

Oleh

Nama : Syaikhul Hadi
NIM : 5301414066
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro


Panitia:

Ketua



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

Sekretaris



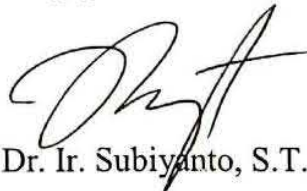
Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP.196708181992031004

Penguji 1



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

Penguji 2



Dr. Ir. Subiyanto, S.T., M.T.
NIP.197411232005011001

Penguji 3/Pembimbing



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

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T.

NIP.196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan 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 dipublikasikan 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, 14 Februari 2019

Yang membuat pernyataan,



Syaikhul Hadi

NIM.5301414066

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

1. Jalani hidup ini dengan penuh kegembiraan, jangan memperbandingkan hidup kita dengan orang lain. Sebab hidup adalah perjalanan, bukan pertandingan (Lilik, Pedalangan).
2. Kemenangan terbesar dalam hidup bukanlah tak pernah kalah, tetapi bisa bangkit kembali saat kita terpuruk (Confucius).
3. Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain (HR Ahmad, Thabrani, Daruqutni).
4. Jika kalian berbuat baik, sesungguhnya kalian berbuat baik bagi diri kalian sendiri (Q.S. Al-Isra': 7).
5. Cinta kepada dunia tidak lepas dari tiga hal: kesedihan yang terus-menerus, kelelahan yang terus-menerus, dan kerugian yang tidak ada habisnya (Ibnul Qoyyim Rahimahullah).
6. Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya (Q.S. Al-Baqarah: 286).
7. Barangsiapa yang suka melambat-lambatkan pekerjaannya maka tidak akan dipercepat hartanya (HR Muslim).
8. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar (Q.S. Al-Anfaal: 46).
9. Ilmu tanpa agama pincang, agama tanpa ilmu buta (Albert Eintein).

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

1. Bapak Mustakim dan Ibu Wahyuni, kedua orang tua penulis.
2. Sania Himatul Aliyah, adik perempuan penghilang kepenatan dalam penyusunan skripsi ini.

3. Kakek dan nenek penulis, H. Sanwani dan Satijah.
4. Avella Itsna Fatimatuz Zahroh, penyemangat hidup penulis.
5. Keluarga besar penulis di RW VII Ngrembel, yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

RINGKASAN

Syaikhul Hadi. 2019. Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode Elektrokimia Untuk Studi Stabilitas dan Sifat Optik DSSC. Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T. dan Dr. –Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.

Penelitian mengenai studi stabilitas dan sifat optik *dye-sensitized solar cell* (DSSC) berbasis ekstrak jantung pisang telah dilakukan. DSSC memiliki biaya produksi rendah, namun masih memiliki efisiensi yang sangat kecil sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi DSSC. Jantung pisang dapat digunakan sebagai bahan DSSC yang mana kurang dimanfaatkan di Indonesia. Elektroda pembanding pada umumnya menggunakan platinum namun harganya mahal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter fabrikasi DSSC yang optimum agar dapat membangkitkan energi yang dapat dimanfaatkan dengan struktur DSSC yang difabrikasi dapat bekerja dengan efisiensi yang tinggi menggunakan sifat optik dari pigmen antosianin ekstrak jantung pisang. Penelitian ini memfokuskan untuk optimasi lapisan semi konduktor, pigmen alami, dan elektroda pembanding (*counter electrode*). Pada pelapisan ZnO digunakan metode penyemprotan (*spray coating method*). Antosianin jantung pisang diperoleh dari proses ekstraksi potongan jantung pisang dengan etanol, asam asetat, dan aquadest. Pelapisan antosianin dan pelapisan *polyethylene glycol* (PEG) dilakukan dengan metode tetes cairan (*droplet method*). Pembuatan elektroda pembanding berlapis tembaga dilakukan menggunakan metode elektrokimia. PEDOT:PSS sebagai elektrolit dilapiskan pada proses terakhir setelah kedua elektroda digabungkan yakni dengan menyisipkan diantara kedua elektroda yang menempel. Struktur lapisan yang difabrikasi yakni ITO/ZnO/Antosianin Jantung Pisang/PEG/PEDOT:PSS/Tembaga/ITO. Efisiensi DSSC tertinggi yang difabrikasi mencapai $6,24 \times 10^{-2}\%$ menggunakan penyemprotan ZnO sebanyak 10 kali yakni 1,2 ml, konsentrasi jantung pisang 0,3 dengan volume 0,2 ml, lapisan tembaga pada ITO menggunakan metode elektrokimia selama 20 detik.

Kata Kunci: *antosianin, jantung pisang, droplet method, spray coating method, metode elektrokimia.*

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Fabrikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) Berbasis Ekstrak Jantung Pisang dengan Metode Elektrokimia 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 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

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

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T., Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T., Pembimbing I yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu

disertai kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan karya ini.

4. Dr. Subiyanto, S.T., M.T., Penguji yang telah memberi masukan yang sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan, menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
5. Semua dosen Jurusan Teknik Elektro F.T. UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
6. Bapak Arlinto dan Bapak Lambang Laboran Jurusan Teknik Elektro yang senantiasa membantu dan memberikan semangat.
7. Bapak Wasi, Bapak Muttaqin, dan Ibu Nathalia Laboran Jurusan Fisika yang telah banyak memberi masukan.
8. Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro 2014, yang telah bersama-sama dalam suka dan duka menjalani pendidikan di Teknik Elektro.
9. Rieza, Anis, Andi, dan Puji teman-teman satu tim penelitian DSSC yang telah bersama-sama berjuang dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Teman-teman Karang Taruna Bina Remaja RW VII Ngrembel yang senantiasa memberi dukungan.
11. Seluruh keluarga besar RW VII Ngrembel yang telah mendoakan yang terbaik untuk penulis.
12. Bapak Mustakim dan Ibu Wahyuni yang telah mendoakan dan memberi semangat.
13. Avella Itsna Fatimatuz Zahroh yang senantiasa mendampingi dalam proses penelitian dan selalu memberi semangat.

14. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi/TA ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran di SMK.

Semarang, 14 Februari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN KELULUSAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
RINGKASAN	vii
PRAKATA.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	5
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Dye-Sensitized Solar Cells.....	7
2.1.1 Sejarah DSSC.....	7
2.1.2 Klasifikasi DSSC	8
2.2 Bahan-bahan DSSC.....	10

2.3 Prinsip Kerja DSSC	11
2.4 Struktur dan Desain DSSC.....	13
2.5 Teknologi Fabrikasi DSSC	14
2.6 Karakterisasi dan Pengukuran Sifat dan Kinerja DSSC	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Pelaksanaan Penelitian	17
3.2 Struktur dan Desain.....	17
3.3 Skema Penelitian.....	19
3.4 Alat dan Bahan.....	19
3.4.1 Ekstraksi.....	19
3.4.2 Deposisi Elektroda Kerja	21
3.4.3 Deposisi Elektroda Pembanding	21
3.4.4 Elektrolit.....	22
3.5 Prosedur Penelitian.....	22
3.5.1 Antosianin Jantung Pisang	22
3.5.2 Optimasi Lapisan Semikonduktor.....	23
3.5.3 Optimasi Lapisan Antosianin.....	24
3.5.4 Optimasi Lapisan Elektroda Pembanding.....	25
3.6 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27

4.1 Ekstraksi Jantung Pisang.....	27
4.2 Lapisan Semikonduktor	30
4.3 Optimasi Lapisan	33
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Ekstraksi	20
Tabel 3.2 Alat dan Bahan Elektrodeposisi	21
Tabel 3.3 Alat dan Bahan Deposisi Elektroda Pembanding	22
Tabel 4.1 Serapan Maksimum Antosianin Jantung Pisang terhadap paparan UV	29
Tabel 4. 2 Perbandingan hubungan Arus dan Tegangan Sampel B.....	34
Tabel 4.3 Perbandingan hubungan Arus dan Tegangan Sampel A3.....	36
Tabel 4.4 Perbandingan hubungan Arus dan Tegangan Sampel C.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja DSSC (Gratzel, 2003)	12
Gambar 2.3 Struktur DSSC berbasis semikonduktor TiO ₂ (Quan, 2006)	14
Gambar 3.1 Struktur dan desain DSSC yang telah difabrikasi	17
Gambar 3.2 Tipe Konduktivitas dari Beberapa Material.	18
Gambar 4.1 Proses Destilasi Jantung Pisang	28
Gambar 4.2 Grafik Nilai Absorbansi	30
Gambar 4.3 Kaca ITO yang sudah dipotong.....	31
Gambar 4.4 Proses Pelapisan ZnO.....	32
Gambar 4.5 Citra SEM permukaan film tipis ZnO perbesaran 10.000x (a) sampel B1 (1,2 ml ZnO) (b) sampel B2 (2,4 ml ZnO) (c) sampel B3 (3,6 ml ZnO)....	32
Gambar 4. 6 Citra SEM permukaan film tipis ZnO perbesaran 15.000x (a) sampel B1 (1,2 ml ZnO) (b) sampel B2 (2,4 ml ZnO) (c) sampel B3 (3,6 ml ZnO)....	33
Gambar 4.7 Hubungan arus dan tegangan sampel B1, B2, dan B3.	35
Gambar 4.8 Hubungan arus dan tegangan sampel A31, A32, dan A33.....	36
Gambar 4.9 Hubungan arus dan tegangan sampel C1, C2, dan C3.	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Eksperimen Ekstraksi Jantung Pisang.....	45
Lampiran 2 Data Eksperimen <i>Spray Coating</i>	49
Lampiran 3 Data Eksperimen Elektroplating.....	50
Lampiran 4 Data Hasil Uji Vis-Nir.....	51
Lampiran 5 Grafik Hasil Uji Vis-Nir.....	56
Lampiran 6 Runcard DSSC.....	61
Lampiran 7 Struktur dan Desain DSSC Kajian Pustaka	66
Lampiran 8 Dokumentasi Kegiatan	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu teknologi sel surya nonkonvensional yang berkembang sejalan dengan perkembangan nanoteknologi. DSSC menggunakan pigmen sebagai *sensitizer* penangkap cahaya yang datang. DSSC banyak dikembangkan karena memiliki beberapa kelebihan dan keuntungan antara lain biaya produksi rendah, kemudahan fabrikasi dan fitur modifikasi seperti warna dan transparansi (Mathew et al., 2014). Selain itu juga diuntungkan dengan potensi efisiensi konversi energi yang dicapai tinggi (Grätzel, 2003), mudah digunakan, tidak beracun, ramah lingkungan, dan mudah didegradasi oleh alam (Sutikno et al., 2017).

Terdapat tiga komponen utama penyusun DSSC, yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*counter electrode*), dan larutan elektrolit (Kyaw et al., 2012). Elektroda kerja terdiri dari kaca konduktif transparan, seperti *Flour Doped Tin Oxide* (FTO), lapisan semi konduktor titanium dioksida (TiO_2) atau seng oksida (ZnO) dan lapisan aktif *dye* (Fahyuan et al., 2015). Selain kedua senyawa sebagai bahan semi konduktor tersebut, dapat digunakan pula tin oksida (SnO_2), indium oksida (In_2O_3) dan neobinium oksida (Nb_2O_5) (Kumavat et al., 2017). Lapisan pembanding (*counter electrode*) terdiri dari kaca konduktif transparan (FTO) yang dilapisi karbon (Buraidah et al., 2011). Sedangkan elektrolit yang digunakan adalah elektrolit iodine triiodida dengan

pasangan redoks (I^-/I^{3-}) (Fahyuan et al., 2015) yang memiliki efisiensi paling tinggi (Kumavat et al., 2017).

Seng oksida sebagai lapisan semi konduktor memiliki mobilitas elektron yang tinggi yakni $115-155 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ dibandingkan dengan TiO_2 . Berbagai penelitian telah dikembangkan khususnya untuk mengoptimalkan kinerja ZnO. Beberapa metode yang sudah digunakan untuk melapiskan ZnO seperti *sol-gel*, *electrodeposition*, *chemical vapor deposition*, *spray pyrolysis*, *pulsed laser deposition*, *magnetron sputtering* dan *hydrothermal* (Kumavat et al., 2017). Pada penerapannya, ZnO yang terbentuk membutuhkan suhu yang tinggi dan waktu yang cukup lama untuk menempel pada substrat. Penggunaan teknik perendaman untuk melapiskan antosianin di atas ZnO yang tidak menempel sempurna pada substrat menyebabkan lapisan ZnO pudar sehingga diperlukan teknik lain untuk pelapisannya. Pada sisi lain, elektroda pembanding yang digunakan sebagai katalis dengan efisiensi tertinggi sampai saat ini menggunakan platinum. Namun mahalnya platinum membuat fabrikasi DSSC masih perlu dikembangkan. Perlu alternatif bahan lain yang dapat digunakan sebagai elektroda pembanding seperti tembaga.

Platinum (Pt) merupakan material yang lebih dipilih sebagai elektroda pembanding sejak menjadi katalis yang luar biasa untuk mereduksi I^{3-} . Namun demikian, Pt merupakan logam yang langka dan memiliki harga yang mahal. Oleh karena itu, bahan lain sedang diteliti seperti karbon, grafit, dan polimer konduktif sebagai alternatif bahan Pt (Kumara et al., 2017). Bahan logam yang merupakan bahan konduktif dapat digunakan sebagai katalis, salah satunya yaitu tembaga

(Cu). Pelapisan logam pada logam lain lebih mudah menggunakan metode deposisi elektrokimia. Berdasarkan beberapa metode yang sudah dilakukan, DSSC dengan menggunakan metode deposisi elektrokimia untuk *platinum counter electrode* menunjukkan efisiensi perubahan energi yang lebih baik yakni 7,6% dibandingkan dengan rata-rata 6,4% sel surya dengan metode *thermal decomposition* dan *sputter deposition* (Yang et al., 2011). Deposisi elektrokimia (*electrodeposition/electro chemical deposition/electroplating*) adalah metode untuk mendapatkan suatu lapisan yang diinginkan dengan mengurangi ion atau kompleks logam secara kimiawi ke substrat dengan cara yang terkendali (Rao dan Trivedi, 2005). Karena pertumbuhan film terjadi dimana elektron mengalir dalam proses elektrodeposisi, sifat konduktif dari film dijamin tanpa dilakukan pemanasan (Karuppuchamy et al., 2002).

Berbagai macam bahan telah digunakan sebagai lapisan pigmen seperti bahan sintetis dan alami dengan beragam efisiensi. Kinerja fotovoltaiik terbaik dari segi hasil konversi dan stabilitas jangka panjang sejauh ini telah dicapai dengan menggunakan polypyridyl kompleks, ruthenium dan osmium (Grätzel, 2003). Efisiensi tertinggi saat ini untuk DSSC berbasis pigmen ruthenium (II) mencapai 11,18% untuk N719 dan 11,1% untuk N749 (Kumara et al., 2017), untuk DSSC berbasis porphyrin mencapai efisiensi 13% (Mathew et al., 2014), sedangkan DSSC berbasis pigmen alami tertinggi saat ini menggunakan pigmen alami klorofil bayam baru mencapai 4,2% (Wang et al., 2006). Namun mahalnnya penggunaan ekstrak ruthenium kompleks dan keterbatasan sumber daya alam yang ada, memberikan ruang yang cukup untuk para peneliti bereksperimen

dengan pigmen alami sebagai *dye sensitized* untuk konversi energi matahari menjadi energi listrik (Ramanarayanan et al., 2017).

Pigmen alami dapat didapatkan dari ekstrak bunga, buah, batang, daun, dan akar dari tumbuhan (Richhariya et al., 2017). Pigmen tanaman adalah jenis zat kimia berwarna yang diproduksi oleh tanaman saat penyerapan radiasi antara 380-780 nm. Beberapa jenis pigmen tanaman yang telah digunakan sebagai *sensitizer* DSSC adalah klorofil, karotenoid, antosianin, flavonoid, sianin, tanin (Ludin et al., 2014) dan juga betalain (Kumara et al., 2017).

Pada penelitian ini telah digunakan antosianin dari ekstrak jantung pisang sebagai pigmen alami lapisan fotovoltaiik. Jantung pisang digunakan karena pohon pisang banyak tumbuh di Indonesia, dengan nama latin *Musa Acuminata*, jantung pisang merupakan tumbuhan yang subur pada habitat beriklim tropis panas dan lembab, terutama di Indonesia, sehingga jantung pisang mudah ditemukan. Pemanfaatan jantung pisang pada saat ini baru sebagai bahan makanan. Pada sisi lain, jantung pisang sendiri memiliki rentang absorbansi panjang gelombang yang luas, dari spektrum ungu ke spektrum merah yakni antara 350-700 nm (Sutikno et al., 2014) yang dapat dimanfaatkan untuk lapisan DSSC.

1.2 Identifikasi Masalah

Bedasarkan uraian latar belakang di atas dapat diidentifikasi beberapa permasalahan penelitian antara lain:

1. DSSC memiliki biaya produksi rendah.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi DSSC.

3. Jantung pisang kurang dimanfaatkan di Indonesia, hanya sebagai bahan makanan.
4. Platinum sebagai elektroda pembanding harganya mahal.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini akan berfokus pada optimalisasi lapisan elektroda kerja yang meliputi lapisan semikonduktor (ZnO), pigmen alami (antosianin jantung pisang), dan juga lapisan pada elektroda pembanding (tembaga). Beberapa parameter yang diuji meliputi karakteristik IV meter dan sifat optik dari DSSC sehingga akan didapatkan DSSC yang optimum untuk membangkitkan energi khususnya menggunakan antosianin jantung pisang.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana parameter fabrikasi DSSC yang optimum agar dapat membangkitkan energi yang dapat dimanfaatkan?
2. Bagaimana struktur DSSC yang difabrikasi dapat bekerja dengan efisiensi yang tinggi?
3. Bagaimana sifat optik dari pigmen antosianin ekstrak jantung pisang?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui parameter fabrikasi DSSC yang optimum agar dapat membangkitkan energi yang dapat dimanfaatkan.

2. Menentukan struktur DSSC yang difabrikasi dapat bekerja dengan efisiensi yang tinggi.
3. Mengetahui sifat optik dari pigmen ekstrak jantung pisang.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dilaksanakan penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat melaksanakan penelitian yang baik dan benar sesuai dengan kualitas internasional.
2. Mengembangkan teknologi pemanfaatan energi baru dan terbarukan.
3. Ikut serta dalam penemuan hasil-hasil penelitian berupa komposisi bahan, metode sistesis bahan mentah, dan teknologi fabrikasi DSSC.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Dye-Sensitized Solar Cells

2.1.1 Sejarah DSSC

DSSC dianggap sebagai generasi ketiga sel surya. Efisiensi sel surya ini lebih besar dari *thin film solar cells* meskipun tidak lebih besar dibandingkan dengan *monocrystalline silicon solar cell*. Struktur DSSC terdiri dari *photo anode electrode* berlapis titanium dioksida (semikonduktor), *counter electrode* yang digunakan sebagai katoda, *sensitizer* dan elektrolit (Richhariya et al., 2017).

Selama tiga dekade terakhir, banyak perhatian telah dilakukan untuk perkembangan perangkat photovoltaik biaya rendah sebagai upaya pengembangan generasi ketiga sel surya. DSSC merupakan bagian dari perangkat ini, dan banyak hal telah ditunjukkan untuk meningkatkan efisiensi DSSC dengan berbagai intervensi. Gagasan DSSC pertama kali diusulkan oleh Vogel et al. tahun 1870. Vogel menunjukkan bahwa perak halida tidak bisa menunjukkan aktivitas apapun terhadap cahaya tampak, namun, perak halida dalam gelatin medium reaktif terhadap paparan cahaya tampak (Kumara et al., 2017). Pada tahun 1887, Dr. Moser di Universitas Wina melaporkan efek fotolistrik *dye sensitized* pertama. Pada tahun 1960, percobaan pertama dilakukan dengan menggunakan elektroda semikonduktor kristal tunggal yang direndam ke dalam larutan *dye*. Perangkat ini menunjukkan efisiensi konversi kurang dari 0,5% dan stabilitas jangka panjang yang buruk untuk aplikasi dalam sistem pemisahan air. Pada tahun 1976, sebuah

terobosan dalam efisiensi konversi dilaporkan oleh Tshubomura et al. menggunakan pigmen dengan porositas tinggi multi-kristal ZnO sel dengan konversi energi 1,5%. Mereka juga menemukan bahwa sistem antar-jemput iodide/triiodide redox sangat unggul untuk mendapatkan efisiensi konversi yang tinggi (Quan, 2006). Pada tahun 1977, ZnO digantikan dengan TiO₂ oleh Spitler dan Calvin, dan mereka mampu menelaah bahwa rapat arus dari sel-sel secara langsung berhubungan dengan dua faktor pewarna, yaitu; jumlah pewarna adsorbed pada permukaan TiO₂ dan pH dari larutan yang digunakan untuk proses adsorpsi pewarna (Kumara et al., 2017).

Sejak pertengahan 1980an, kelompok Gratzel di EPFL (Swiss) telah menjadi motor penggerak utama pengembangan DSSC. Pada tahun 1991, mereka menemukan sel dengan efisiensi konversi lebih dari 7,1% berdasarkan TiO₂ nanoporous berbiaya rendah yang disimpan pada kaca konduktif (O'Regan dan Gratzel, 1991).

2.1.2 Klasifikasi DSSC

Pengelompokan DSSC berdasarkan *sensitizer*-nya yakni sebagai berikut:

Banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan efisiensi DSSC. Salah satu cara yang paling utama untuk meningkatkan efisiensi DSSC adalah dengan menggunakan *sensitizer* yang optimal. Kinerja fotovoltaiik terbaik dari segi hasil konversi dan stabilitas jangka panjang sejauh ini telah dicapai dengan menggunakan polypyridyl kompleks ruthenium dan osmium (Grätzel, 2003). Kedua unsur tersebut merupakan unsur logam. Jenis inilah merupakan kelompok DSSC berbasis logam. Penggunaan *sensitizer* berbasis ruthenium (II) bersamaan

dengan elektrolit berbasis iodida mencapai efisiensi konversi energi sebesar 11,9% di bawah sinar matahari penuh (AM 1.5G, 1.000 Wm^{-2}) (Mathew et al., 2014). Walaupun menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi, *dye/sensitizer* dari bahan ini ketersediaannya di alam sangat terbatas yang menyebabkan harganya mahal dan tidak mudah disintesis (Li dan Diao, 2013; Fahyuan et al., 2015).

Selanjutnya adalah DSSC bebas logam. Pada proses fotosintesis bakteri dan tanaman, energi surya yang dikumpulkan di *chromophores* berbasis porphyrin; radiasi energi yang tertangkap dikonversi dengan efisien menjadi energi kimia. Terinspirasi oleh transfer energi yang efisien ini secara alami terjadi reaksi fotosintetik, telah banyak porphyrin dirancang dan disintesis untuk aplikasi DSSC. Keuntungan intrinsik pigmen berbasis porphyrin adalah struktur molekul mereka kaku dengan koefisien penyerapan besar di daerah tampak dan banyak berreaksi, yaitu, empat meso dan delapan β posisi, tersedia untuk fungsionalisasi: *fine tuning* sifat optik, fisik, elektrokimia, dan fotovoltaiik porphyrin (Li dan Diao, 2013).

Pada perkembangannya, para ilmuwan menggunakan klorofil buatan - phorpyrins - sebagai titik efisien untuk memanen cahaya bagi DSSC. Hal ini terinspirasi oleh klorofil pada tanaman yang digunakan sebagai antena untuk memanen cahaya dan mengonversi energi matahari dalam proses fotosintesis yang rumit. DSSC menggunakan *sensitizer* phorpyrins telah menarik minat peneliti karena memiliki fungsi pemanenan cahaya yang sangat bagus dalam meniru terjadinya fotosintesis (Li dan Diao, 2013). Penggunaan DSSC dengan phorpyrins

mencapai rekor 13.0% efisiensi konversi energi pada penyinaran matahari penuh tanpa membutuhkan *co-sensitizer* (Mathew et al., 2014).

Jenis terakhir pada perkembangannya yakni DSSC pigmen alami. Sel surya organik dibuat menggunakan pigmen dari bahan alam. Pigmen alami dapat didapatkan dari ekstrak buah, daun, bunga, dan akar dari tumbuhan. Sel DSSC banyak dikembangkan karena memiliki biaya produksi rendah, kemudahan fabrikasi dan fitur modifikasi seperti warna dan transparansi (Mathew et al., 2014). Sel surya jenis inilah yang akan difabrikasi dan diteliti dengan *sensitizer* menggunakan ekstrak antosianin dari jantung pisang.

2.2 Bahan-bahan DSSC

Bahan fotoaktif (*photosensitizer*) organik yang banyak disintesis dari tanaman dan bagian-bagiannya merupakan bagian terpenting dari DSSC. Pigmen alami yang sudah digunakan terdiri atas klorofil, karotenoid, antosianin, flavonoid, sianin, tanin (Ludin et al., 2014) dan betalanin (Sandquist dan McHale, 2011). Bahan fotoaktif dapat diambil dari bunga, buah-buahan, daun, bijih dan yang lainnya.

Bunga-bunga yang sudah dicoba untuk membuat sensitizer DSSC antara lain: *Begonia*, *Rhododendron*, *Marigold*, *Marigold*, *Perilla*, *China loropetal*, *Yellow rose*, *Flowery knotweed*, *Petunia*, *Violet*, *Chinese rose*, *Rose*, *Lily*, *Hibiscus sabdariffa L.*, *Clitoria ternatea*, *Erythrina variegata*, *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).

Buah-buahan yang sudah disintesis antara lain: *Tangerine peel*, *Fructus lycii*, *Mangosteen pericarp*, *Raspberries*, *Grapes*, *Citrus sinensis (RedSicilian)*, *Solanum melongena (Eggplant)*, *Cheries*, *Capsicum*, *Kopsia flavida*, *Berberies buxifolia Lam (Calafate)*, *Myrtus cauliflora Mart (Jaboticaba)*, *Hylocereuspolyrhizus (Dragonfruit)*, *Wild Sicilian Prickly Pear*, *Chaste treefruit TiO₂*, dan *Ivy gourd fruits* (Ludin et al., 2014).

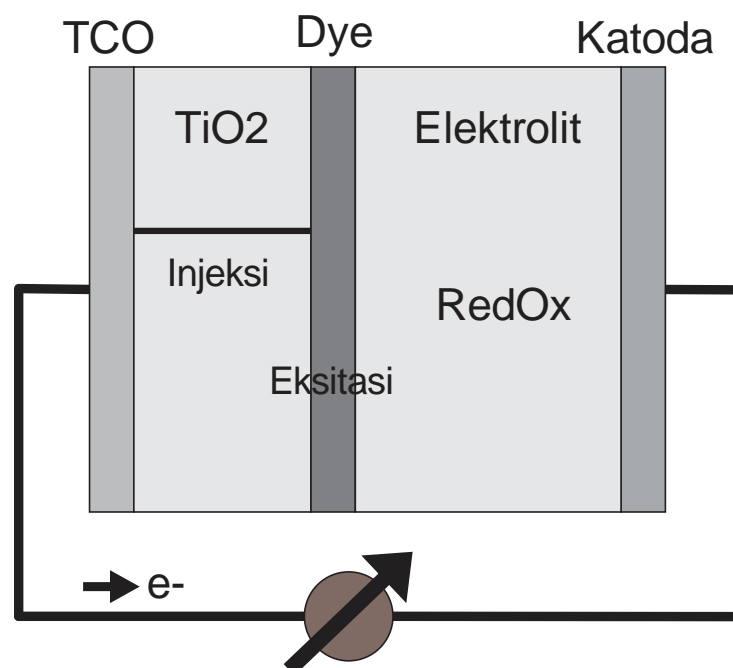
Daun-daun tanaman yang telah disintesis yaitu: *Herba artemisiae scopariae*, *Vernoniaamygdalin (Bitter Leaf)*, *spinach*, *Ipomoea*, *Festuca ovina*, *Brassicaolercea (Redcabbage)*, *Allium cepa (Redonion)*, *Punica granatum (Pomegranate)*, *Shiso*, *Jathopha curcas Linn (Botuje)*, *Lawsonia inermis (Henna)*, *Ficus reusa*, *Rhoeo spathacea*, *Garcinia subelliptica*, *Anethum graveolens*, *Parsley (Petroselinum crispum)*, dan *Arugula* (Ludin et al., 2014).

Beberapa bijih tanaman yang telah disintesis 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).

2.3 Prinsip Kerja DSSC

Skema presentasi dari prinsip operasi DSSC diberikan pada Gambar 2.1. Sistem intinya yakni suatu lapisan oksida tersusun dari partikel berukuran nanometer yang telah disinter bersama untuk memungkinkan konduksi elektron berlangsung. Pada permukaan film nanokristalin telah dilapiskan monolayer dari

muatan pigmen. Photo eksitasi yang terakhir menghasilkan suntikan elektron ke dalam konduksi band oksida. Keadaan asli pewarna selanjutnya dipulihkan oleh sumbangan elektron dari elektrolit, biasanya pelarut organik yang mengandung sistem redoks, semacamnya sebagai pasangan iodida / triiodida. Regenerasi *sensitizer* oleh iodida memotong kembali konduksi band elektron dengan pewarna teroksidasi. Iodida diregenerasi pada gilirannya dengan pengurangan triiodida di *counterelectrode* sirkuit yang diselesaikan melalui migrasi elektron melalui beban eksternal. Tegangan yang dihasilkan di bawah iluminasi sesuai dengan perbedaan antara tingkat Fermi elektron dalam padatan dan potensi redoks elektrolit. Secara keseluruhan perangkat ini menghasilkan tenaga listrik dari cahaya tanpa menderita transformasi kimia permanen (Grätzel, 2003).



Gambar 2.1 Prinsip Kerja DSSC (Gratzel, 2003)

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 eksternal. Proses selanjutnya, dengan adanya katalis pada counterelektrode, 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 (Sastrawan, 2006).

2.4 Struktur dan Desain DSSC

Struktur dasar dari DSSC dibuat berlapis yang disebut dengan lapisan sandwich. Terdapat tiga komponen utama penyusun DSSC, yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda pembanding (*counter electrode*), dan larutan elektrolit (Kyaw et al., 2012). Struktur dasar DSSC dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Pada gambar, sel dibangun dalam konfigurasi sandwich (Gambar 2.2). Elektroda kerja adalah TiO_2 nanopori yang ditempatkan pada kaca konduktif dan hanya dipisahkan oleh lapisan tipis larutan elektrolit (asetonitril) dari elektroda konter. Pewarna dilembabkan ke permukaan TiO_2 . Elektroda konter juga dibuat dari kaca konduktif dengan platinum transparan tipis yang dilapisi di atasnya untuk mengkatalisis proses regenerasi mediator (Quan, 2006).



Gambar 2.2 Struktur DSSC berbasis semikonduktor TiO_2 (Quan, 2006)

2.5 Teknologi Fabrikasi DSSC

Beberapa metode yang digunakan dalam fabrikasi DSSC meliputi: metode pisau dokter (*doctor blade method*), metode pencetakan layar (*screen printing method*), metode pelapisan pisau konvensional (*conventional blade coating method*), spincoating, teknik semprot (*spray coating*), deposisi elektrokimia (*electro-chemical deposition*), sputter deposisi (*sputter deposition*), dan deposisi termal (*thermal deposition*) (Yang et al., 2011).

Pada deposisi elektrokimia (*electro-chemical deposition*) ketebalan film dapat dikendalikan dengan mengubah durasi deposisi atau elektrodposisi

berulang kali dengan substrat ZnO / TCO sebagai elektroda kerja (Chen et al., 2006) sehingga didapatkan lapisan sesuai yang diinginkan.

2.6 Karakterisasi dan Pengukuran Sifat dan Kinerja DSSC

Stabilitas DSSC dipengaruhi oleh empat komponen utama yakni: kaca film konduktif TiO₂, *sensitizer*, elektrolit, konter elektroda dan pelapisnya (Gratzel, 2003).

Stabilitas absorbansi dari antosianin jantung pisang didapatkan dari transmisi sinar yang datang padanya. Transmisi selanjutnya dihitung menggunakan rumus:

Transmitansi:

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (2.1)$$

Absorbansi:

$$A = \log \frac{P}{P_0} \quad (2.2)$$

Dengan P adalah intensitas akhir. Po adalah intensitas awal.

Dari analisa IV meter beberapa parameter penting *photovoltaic* dari DSSC dapat diperoleh sebagai berikut: (1) *the open-circuit voltage*, Voc; (2) *the short circuit photocurrent density*, Jsc; (3) faktor pengisian (FF); dan (4) efisiensi konversi energi keseluruhan sel (h) (Yang et al., 2011).

Fill Factor sel dapat diketahui dari rumus:

$$FF = \frac{V_{\max} J_{\max}}{V_{oc} J_{sc}} \quad (2.3)$$

Dimana V_{max} dan J_{max} adalah tegangan dan kerapatan arus, masing-masing, untuk output daya maksimum.

Power Conversion Efficiency (PCE) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{global} = \frac{i_{ph} \times V_{oc} \times ff}{I_s} \quad (2.4)$$

Dengan i_{ph} adalah integral photocurrent, V_{oc} adalah *open circuit* photovoltage, ff untuk *fill factor* sel, dan $I_s=1000 \text{ W/m}^2$ adalah intensitas penerimaan cahaya persatuan luas.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dye-sensitized solar cells (DSSC) berbasis antosianin ekstrak jantung pisang telah difabrikasi dan dikarakterisasi.

1. Berdasarkan penelitian-penelitian DSSC sebelumnya yang berkaitan dengan jantung pisang yaitu penelitian Sutikno tahun 2014 menghasilkan efisiensi DSSC $1,03 \times 10^{-4}$. Pada penelitian 2016 efisiensi DSSC yang dihasilkan yakni $3,045 \times 10^{-4}$. Pada penelitian tahun 2017, penelitian Sutikno mengatakan bahwa pengaturan asam membuat spektrum pigmen absorpsi melebar dan efisiensi meningkat, sesuai dengan penelitian ini menunjukkan pH 3.6. Pada penelitian ini menghasilkan efisiensi sebesar $6,24 \times 10^{-2}$, lebih tinggi dari penelitian DSSC nonplatinum sebelumnya, namun tidak lebih tinggi dari penelitian DSSC platinum yakni $3,1 \times 10^{-1}$. Parameter fabrikasi DSSC yang telah dilakukan meliputi: pH 3.6 untuk antosianin jantung pisang dengan massa jenis 1,05 gram/ml dengan proses destilasi 2 jam 1 menit. Pelapisan ZnO menggunakan metode penyemprotan terbaik dilakukan 10 kali penyemprotan. Antosianin jantung pisang dan PEG dilapiskan menggunakan metode tetes cairan sebanyak 0,2 ml. Katoda dibuat dengan melapiskan tembaga pada ITO menggunakan metode elektrokimia selama 20 detik.

2. Struktur lapisan yang telah difabrikasi yakni ITO/ZnO/Antosianin Jantung Pisang/PEG/PEDOT:PSS/Tembaga/ITO. Hasil uji arus-tegangan DSSC menunjukkan nilai V_{oc} sebesar 1×10^2 mV. Rapat arus (J_{sc}) pada luas aktif DSSC 1 cm^2 yang didapatkan sebesar $2,66 \times 10^{-1} \text{ mA/cm}^2$. Nilai *fill factor* (FF) yakni $2,93 \times 10^{-1}$. Efisiensi tertinggi yang dapat dicapai sebesar $6,24 \times 10^{-2}\%$. Daya tertinggi (P_{max}) yang dapat dicapai $7,8 \text{ mW/cm}^2$.
3. Nilai absorbansi antosianin ekstrak jantung pisang tampak pada panjang gelombang 350 nm hingga 600 nm. Fraksi terbaik dari ekstraksi jantung pisang yakni pada fraksi 0,3.

Antosianin jantung pisang menggunakan metode tetes cairan terbukti dapat menyerap cahaya datang dan menghasilkan energi listrik.

5.2 Saran

Penelitian pada skripsi ini tidak lepas dari kekurangan, beberapa saran penulis untuk keberlanjutan dari penelitian ini sbb.:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk perbedaan absorbansi antosianin jantung pisang berdasarkan jenis pohon pisang yang digunakan.
2. Keterbatasan alat membuat parameter pelapisan kurang maksimal, perlu penyediaan alat penunjang penelitian.
3. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan platinum karena untuk bahan tembaga sendiri masih menghasilkan efisiensi yang tidak lebih besar dibandingkan dengan DSSC yang menggunakan platinum.

4. Pengembangan DSSC selanjutnya masih ada harapan dengan menggunakan platinum dan dengan membandingkan absorbansi dari pigmen alami terlebih dahulu, ataupun dengan meriview langsung bahan-bahan yang sudah digunakan berdasarkan absorbansinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Buraidah, M. H., L. P. Teo, S. N.F. Yusuf, M. M. Noor, M. Z. Kufian, M. A. Careem, S. R. Majid, R. M. Taha, and A. K. Arof. 2011. "TiO₂/Chitosan-NH₄I(+I₂)-BMII-Based Dye-Sensitized Solar Cells with Anthocyanin Dyes Extracted from Black Rice and Red Cabbage." *International Journal of Photoenergy* 2011.
- Chen, Zhigang, Yiwen Tang, Lisha Zhang, and Lijuan Luo. 2006. "Electrodeposited Nanoporous ZnO Films Exhibiting Enhanced Performance in Dye-Sensitized Solar Cells." *Electrochimica Acta* 51 (26): 5870–75.
- Dwi Fahyuan, Helga, Faizar Farid, and dan Sarina Pakpahan. 2015. "Disain Prototipe Sel Surya Dssc (Dye Sensitized Solar Cell) Lapisan Grafit/Tio 2 Berbasis Dye Alami. A Research on Solar Cells Pr." *JoP* 1 (November): 5–11.
- Grätzel, Michael. 2003. "Dye-Sensitized Solar Cells." *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4 (2): 145–53.
- Karuppuchamy, S., K. Nonomura, T. Yoshida, T. Sugiura, and H. Minoura. 2002. "Cathodic Electrodeposition of Oxide Semiconductor Thin Films and Their Application to Dye-Sensitized Solar Cells." *Solid State Ionics* 151 (1–4): 19–27.
- Kumara, N. T.R.N., Andery Lim, Chee Ming Lim, Mohamad Iskandar Petra, and Piyasiri Ekanayake. 2017. "Recent Progress and Utilization of Natural Pigments in Dye Sensitized Solar Cells: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (July 2016): 301–17.
- Kumavat, Priyanka P., Prashant Sonar, and Dipak S. Dalal. 2017. "An Overview on Basics of Organic and Dye Sensitized Solar Cells, Their Mechanism and Recent Improvements." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (July 2016): 1262–87.
- Kyaw, Aung Ko Ko, Hosea Tantang, Tao Wu, Lin Ke, Jun Wei, Hilmi Volkan Demir, Qichun Zhang, and Xiao Wei Sun. 2012. "Dye-Sensitized Solar Cell with a Pair of Carbon-Based Electrodes." *Journal of Physics D: Applied Physics* 45 (16): 165103.
- Li, Lu Lin, and Eric Wei Guang Diao. 2013. "Porphyrin-Sensitized Solar Cells." *Chemical Society Reviews* 42 (1): 291–304.
- Ludin, Norasikin A., A. M. Al-Alwani Mahmoud, Abu Bakar Mohamad, Abd Amir H. Kadhum, Kamaruzzaman Sopian, and Nor Shazlinah Abdul Karim. 2014. "Review on the Development of Natural Dye Photosensitizer for Dye-

Sensitized Solar Cells.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31: 386.

- Mathew, Simon, Aswani Yella, Peng Gao, Robin Humphry-Baker, Basile F.E. Curchod, Negar Ashari-Astani, Ivano Tavernelli, Ursula Rothlisberger, Md Khaja Nazeeruddin, and Michael Grätzel. 2014. "Dye-Sensitized Solar Cells with 13% Efficiency Achieved through the Molecular Engineering of Porphyrin Sensitizers." *Nature Chemistry* 6 (3): 242–47.
- O'Regan, B, and Michael Gratzel. 1991. "A Low-Cost, High-Efficiency Solar-Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films." *Nature* 353 (6346): 737–40.
- Quan, Vo Anh. 2006. "Preliminary Building of Dye-Sensitized Solar Cell." Department of Life Sciences and Chemistry Roskilde University.
- 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.
- Rao, Chepuri R.K., and D. C. Trivedi. 2005. "Chemical and Electrochemical Depositions of Platinum Group Metals and Their Applications." *Coordination Chemistry Reviews* 249 (5–6): 613–31.
- Richhariya, Geetam, Anil Kumar, Perapong Tekasakul, and Bhupendra Gupta. 2017. "Natural Dyes for Dye Sensitized Solar Cell: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69 (April 2015): 705–18.
- Sutikno, Noverdi Afrian, Supriadi, and Ngurah Made Dharma Putra. 2016. "Synthesis and Characterization of Allium Cepa L. as Photosensitizer of Dye-Sensitized Solar Cell" 020040 (2016): 020040.
- 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.
- Wang, Xiao Feng, Arihiro Matsuda, Yasushi Koyama, Hiroyoshi Nagae, Shin ichi Sasaki, Hitoshi Tamiaki, and Yuji Wada. 2006. "Effects of Plant Carotenoid Spacers on the Performance of a Dye-Sensitized Solar Cell Using a Chlorophyll Derivative: Enhancement of Photocurrent Determined by One Electron-Oxidation Potential of Each Carotenoid." *Chemical Physics Letters* 423 (4–6): 470–75.
- Yang, Chun Chen, Huan Qing Zhang, and Yu Rong Zheng. 2011. "DSSC with a Novel Pt Counter Electrodes Using Pulsed Electroplating Techniques." *Current Applied Physics* 11 (1 SUPPL.): S147–53