

DISERTASI

**KOAKSI VEGETASI RAWA SEBAGAI PEMEKA
CAHAYA PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL***

***COACTION OF SWAMP VEGETATIONS AS
PHOTOSENSITIZERS IN DYE SENSITIZED
SOLAR CELL***



**HAISEN HOWER
05013681722005**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU-ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

SUMMARY

HAISEN HOWER. Coaction of swamp vegetations as photosensitizers in dye sensitized solar cell (Supervised by TAMRIN, FILLI PRATAMA, and HERSYAMSI).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a device that can convert sunlight energy into electrical energy, using dye as a photosensitizer. Dye can be derived from the dye complex of metals, dye synthesis and natural dye. The use of natural dye photosensitizer has received great attention by researchers because the technology is simple, easy to assemble, safe, inexpensive and has no negative impact on the environment and the raw materials are abundant. Natural dye photosensitizer source which is widely used comes from vegetation in the form of leaves, flowers, fruit, stems, roots and bark. South Sumatra, which covers more than 70% of the area consisting of swamps, is rich in vegetation diversity that has the potential to be used as a source of natural dye. Therefore, this study exploits the potential of vegetation diversity, both those that have been utilized or have not been used directly by us in our daily life, such as leaves (DN-EG) and flowers (BG-EG) of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), leaves (DN-SD), fruit (BH-SD), and flowers (BG-SD) of malabar malestome (*Melastoma malabathricum* Linn), leaves (DN-NP), flowers (BG-NP), and fruit (BH-NP) of nipa (*Nypa fruticans* Wurmb), leaves (DN-KR), and flowers (BG-KR) of primrose willow (*Ludwigia peruviana*).

This study aims to see the performance of DSSC using a single natural dye photosensitizer, two-coaction and three-coaction natural dye derived from one, two and three different vegetations, as well as to see the pattern of changes in the electrical characteristics of the DSSC during the period of use or storage. Also carried out characterization of TiO₂ powder using Scanning Electron Microscope (SEM) and X-Ray Diffraction (XRD) and characterization of natural dye with Fourier Transform Infra Red (FTIR) and UV-Vis spectrophotometry. This study was divided into 4 stages, namely 1) determining the performance of the DSSC from a single natural dye photosensitizer produced by each part of the vegetation, 2) determining the performance of a coaxial DSSC of two natural dye photosensitizer from one and two vegetations, 3) determining the performance Three coaxial DSSC of natural dye photosensitizer from two and three vegetation, and 4) determine the pattern of changes in the electrical

characteristics of the DSSC during the period of use or storage. Phase 1 to Phase 3 of the research carried out the preparation of the photosensitizer, photoelectrode preparation, working electrode, reference electrode, assembling the DSSC structure, and finally measuring the electrical characteristics of the DSSC. The fourth stage is measuring the electrical characteristics of the DSSC for 23 days. The data and parameters observed in this study were light intensity, current density, voltage, output power, fill factor, efficiency, bandgap energy and absorption coefficient.

Results of analysis of XRD showed that the crystalline TiO₂ are in the anatase phase with average crystal size of 36.696 nm. Based on the top and side views, SEM TiO₂ photos with magnification of 25,000x show gaps or pores between TiO₂ particles ranging from 140.91 nm to 329.91 nm. The results of the FTIR analysis of the natural dye extracts of leaves, flowers, and fruit of the vegetation used contained functional groups of chlorophyll pigments, anthocyanins and carotenoids. The results of UV-Vis analysis of the natural dye extract coaction showed that the wavelength range of peak absorption was wider and the absorbance value increased compared to single natural dye. The highest efficiency of single natural dye DSSC is found in BH-SD, coaction 2 of 1 vegetation is found in coaction DN-SD+BD-SD, coaction 2 of 2 vegetation is found in coaction BH-SD+DN-NP, coaction 3 of 2 vegetation is found in the DN-SD+BH-SD+BG-NP coaction and 3 of the 3 vegetations in the DN-EG+BH-SD+BH-NP coaction with values of 0,083%, 0,126%, 0,184%, 0,07% and 0,211% sequentially. The electrical characteristics of the DSSC for 23 days of observation changed following a polynomial regression pattern of order 3 with an average R² > 0.80 as much as 95% for single natural dye DSSC, 82.5% for two natural dye coaxial DSSC and 85.7% for three natural dye coaxial DSSC.

RINGKASAN

HAISEN HOWER. Koaksi Vegetasi Rawa sebagai Pemeka Cahaya pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (Dibimbing oleh TAMRIN, FILLI PRATAMA, dan HERSYAMSI).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu piranti yang dapat mengkonversi energi sinar matahari menjadi energi listrik, dengan menggunakan *dye* sebagai pemeka cahaya. *Dye* yang digunakan dapat berasal dari *dye* kompleks logam, *dye* sintesis dan *dye* alami (*natural dye*). Penggunaan pemeka cahaya *natural dye* mendapat perhatian besar oleh peneliti karena teknologinya sederhana, mudah dalam perakitan, aman, murah dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan serta bahan bakunya melimpah. Sumber pemeka cahaya *natural dye* yang banyak digunakan berasal dari vegetasi yang berupa daun, bunga, buah, batang, akar dan kulit. Sumatera Selatan yang hamparan wilayahnya lebih dari 70% terdiri atas rawa, kaya dengan keanekaragaman vegetasi yang potensial untuk dijadikan sebagai sumber *natural dye*. Oleh karena itu penelitian ini memanfaatkan potensi keanekaragaman vegetasi baik yang sudah dimanfaatkan ataupun belum dimanfaatkan secara langsung oleh kita dalam kehidupan sehari-hari, seperti daun (DN-EG) dan bunga (BG-EG) eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), daun (DN-SD) dan bunga (BG-SD) serta buah (BH-SD) senduduk (*Melastoma malabathricum* Linn), daun (DN-NP) dan bunga (BG-NP) serta buah (BH-NP) nipa (*Nypa fruticans* Wurmb), daun (DN-KR) dan bunga (BG-KR) kuning rawa (*Ludwigia peruviana*).

Penelitian ini bertujuan untuk melihat performa DSSC yang menggunakan pemeka cahaya *natural dye* tunggal, koaksi dua dan koaksi tiga *natural dye* yang berasal dari satu, dua dan tiga vegetasi yang berbeda, serta melihat pola perubahan karakteristik kelistrikan DSSC selama masa pemakaian atau penyimpanan. Karakterisasi bubuk TiO₂ juga dilakukan dengan metode *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan karakterisasi *natural dye* dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan spektrofotometri UV-Vis. Penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap yaitu 1) mendeterminasi performa DSSC dari pemeka cahaya *natural dye* tunggal yang dihasilkan oleh masing-

masing bagian vegetasi, 2) mendeterminasi performa *DSSC* koaksi dua pemeka cahaya *natural dye* yang berasal dari satu dan dua vegetasi, 3) mendeterminasi performa *DSSC* koaksi tiga dari pemeka cahaya *natural dye* yang berasal dua dan tiga vegetasi, dan 4) menentukan pola perubahan karakteristik kelistrikan *DSSC* selama masa pemakaian atau penyimpanan. Tahap 1 sampai Tahap 3 penelitian melakukan preparasi pemeka cahaya, preparasi fotoelektroda, elektroda kerja, elektroda pembanding, melakukan perakitan struktur *DSSC*, dan terakhir pengukuran karakteristik kelistrikan *DSSC*. Tahap empat melakukan pengukuran karakteristik kelistrikan *DSSC* selama 23 hari. Data dan parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah intensitas cahaya, rapat arus, tegangan, daya keluaran, fill faktor, efisiensi, energi *bandgap* dan koefisien absorpsi.

Hasil analisa XRD menunjukkan bahwa kristal TiO_2 berada pada fasa anatase dengan rerata ukuran kristal 36,696 nm. Berdasarkan tampak atas dan samping foto SEM TiO_2 pembesaran 25.000 kali menunjukkan celah atau pori-pori antar partikel TiO_2 yang berkisar antara 140,91 nm sampai 329,91 nm. Hasil analisis FTIR terhadap ekstrak *natural dye* daun, bunga, buah vegetasi yang digunakan terdapat gugus fungsional pigmen klorofil, antosianin dan karotenoid. Hasil analisis UV-Vis terhadap koaksi ekstrak *natural dye* didapatkan rentang panjang gelombang serapan puncak lebih lebar dan nilai absorbansi meningkat dibandingkan dengan *natural dye* tunggal. Efisiensi tertinggi *DSSC natural dye* tunggal terdapat pada BH-SD, koaksi 2 dari 1 vegetasi terdapat pada koaksi DN-SD+BD-SD, koaksi 2 dari 2 vegetasi terdapat pada koaksi BH-SD+DN-NP, koaksi 3 dari 2 vegetasi terdapat pada koaksi DN-SD+BH-SD+BG-NP dan koaksi 3 dari 3 vegetasi terdapat pada koaksi DN-EG+BH-SD+BH-NP dengan nilai masing-masing 0,083%, 0,126%, 0,184%, 0,07% dan 0,211% secara berurutan. Karakteristik kelistrikan *DSSC* selama 23 hari pengamatan mengalami perubahan mengikuti pola regresi polynomial berorde 3 dengan rerata $R^2 > 0,80$ sebanyak 95% untuk *DSSC natural dye* tunggal, 82,5% untuk *DSSC* koaksi dua *natural dye* dan 85,7% untuk *DSSC* koaksi tiga *natural dye*.

DISERTASI

**KOAKSI VEGETASI RAWA SEBAGAI PEMEKA
CAHAYA PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL***

***COACTION OF SWAMP VEGETATIONS AS
PHOTOSENSITIZERS IN DYE SENSITIZED
SOLAR CELL***

sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor



**HAISEN HOWER
05013681722005**

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU-ILMU PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**KOAKSI VEGETASI RAWA SEBAGAI PEMEKA CAHAYA
DYE-SENSITIZED SOLAR CELL**

DISERTASI

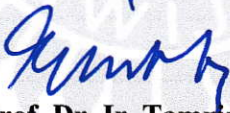
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Doktor dalam Bidang
Kajian Utama Teknologi Pertanian pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya

Oleh:

HAISEN HOWER
05013681722005


Telah disetujui
Palembang,


Promotor,


Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si
NIP. 196309181990031004

Co-Promotor I,

Co-Promotor II,


Prof. Ir. Filli Pratama, M.Sc (Hons), Ph.D.
NIP. 196606301992032002


Dr. Ir. Hersyamsi, M.Agr.
NIP. 196008021987031004

Mengetahui:

**Koordinator Program Studi
Doktor Ilmu Pertanian,**


Prof. Dr. Ir. Dedik Budianta, M.S.
NIP.196306141989031003

**Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Sriwijaya,**


Dr. Ir. A. Muslim, M. Agr.
NIP. 1964122919900110011



Disertasi dengan judul “Koaksi Vegetasi Rawa Sebagai Pemeka Cahaya Pada *Dye-Sensitized Solar Cell*” oleh **Haisen Hower** telah dipertahankan dihadapkan Komisi Penguji Disertasi Program Doktor Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada tanggal 20 November 2021 dan telah diperbaiki sesuai saran dan masukkan dari tim penguji.

Komisi Penguji

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si.
NIP. 196309181990031004


()

Anggota :

1. Prof. Ir. Filli Pratama, M. Sc (Hons), Ph.D.
NIP. 196606301992032002

()

2. Dr. Ir. Hersyamsi, M.Agr.
NIP. 196008021987031004

()

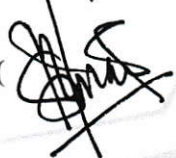
3. Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, MP.
NIP. 196101141990011001

()

4. Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si.
NIP. 197010191995122001

()

5. Dr. Ida Usman, S.Si., M.Si.
NIP. 197204181999031002

()

Palembang,

Mengetahui:

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Sriwijaya,

Koordinator Program Studi
Doktor Ilmu Pertanian,



Dr. Ir. A. Muslim, M.Agr.
NIP. 196412291990011001



Prof. Dr. Ir. Dedik Budianta, M.S.
NIP. 196306141989031003

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Haisen Hower
NIM : 05013681722005
Judul : Koaksi Vegetasi Rawa Sebagai Pemeka Cahaya Pada
Dye-sensitized Solar Cell

Menyatakan bahwa semua data dan informasi yang dimuat di dalam disertasi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri di bawah supervisi tim promotor, kecuali yang disebutkan dengan jelas sumbernya, dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila dikemudian hari ditemukan adanya unsur plagiasi dalam disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak mendapat paksaan dari pihak manapun.



Palembang, Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

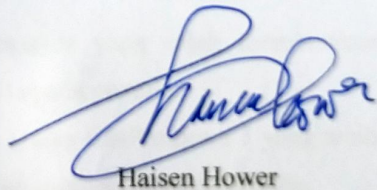
Nama : Haisen Hower
NIM : 05013681722005
Judul : Koaksi Vegetasi Rawa sebagai Pemeka Cahaya Pada
Dye-Sensitized Solar Cell

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik, apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak dipublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak mendapat paksaan dari pihak manapun.

Palembang, Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



Haisen Hower

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur Penulis panjatkan kepada Allah SWT karena disertasi yang berjudul “Koaksi Vegetasi Rawa Sebagai Pemeka Cahaya *Dye-Sensitized Solar Cell*” dapat diselesaikan. Penulisan disertasi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu-ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.

Selama menempuh pendidikan doktor ini, penelitian, dan penulisan disertasi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, masukan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rektor Universitas Sriwijaya atas izin yang diberikan kepada penulis untuk melanjutkan studi ke jenjang Strata 3.
2. Direktur Program Pascasarjana Universitas Sriwijaya.
3. Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya beserta wakil Dekan.
4. Ketua Program Studi Doktor Ilmu-ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
5. Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
6. Ketua Program Studi Teknik Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
7. Prof. Dr. Ir. Tamrin, M.Si. selaku Promotor yang telah memberikan bimbingan, arahan , masukan dan motivasi kepada penulis.
8. Prof. Ir. Filli Pratama, M.Sc (Hons), Ph.D. selaku Co-Promotor 1 yang telah memberikan bimbingan, arahan masukan dan motivasi kepada penulis.
9. Dr. Ir. Hersyamsi, M.Si. selaku Co-Promotor 2 yang telah memberikan bimbingan, arahan masukan dan motivasi kepada penulis.
10. Dr. Ida Usman selaku penguji tamu atas kesediaannya sebagai penguji dan atas arahan serta masukan yang diberikan.

11. Prof. Dr. Ir. Amin Rejo, M.P. selaku penguji pada seminar proposal penelitian , seminar kemajuan penelitian, seminar hasil penelitian dan ujian tertutup atas masukan dan arahan yang diberikan
12. Dr. Fitri Suryani Arsyad, S.Si., M.Si., selaku penguji proposal penelitian, seminar kemajuan penelitian, seminar hasil penelitian dan ujian tertutup atas masukan dan arahan yang diberikan.
13. Prof. H. Fachrurrozie Sjarkowi, M.Sc., Ph.D., selaku penguji UKKD dan seminar proposal penelitian atas masukan dan arahan yang diberikan.
14. Dr. Ir. Gatot Priyanto, M.S. selaku penguji UKKD, seminar proposal penelitian dan semainar kamajuan penelitian atas masukan dan arahan yang diberikan.
15. Prof. Dr. Ir. Hasbi, M.Si. (alm), Dr. Ir. Edward Saleh, MS., Dr. Ir. Tri Tunggal, M.Agr. dan Dr. Rizky Tirta Adiguna, S.TP., M.Si., selaku penguji pada seminar proposal penelitian dan seminar kemajuan penelitian atas masukan dan arahan yang diberikan.
16. Seluruh staf pengajar Program Studi Doktor Ilmu-ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya atas ilmu yang telah diberikan.
17. Sahabat-sahabatku, dan teman-teman seperjuangan Program Doktor Ilmu-ilmu Pertanian Angkatan 2017 yang selalu memberikan motivasi dan inspirasi selama menempuh studi doctor, Arjuna Neni Triana, Erni, Henny dan Dr. Tilli. Terima kasih untuk kebersamaan selama ini.
18. Kakak dan adik tingkat di Program Studi Doktor Ilmu-ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Unsri.
19. Rekan-rekan di Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Unsri, Prof. Ir. Daniel Saputra, M.S.A.Eng., Ph.D., Ir. Rahmad Hari Purnomo, M.Si. Farry A. Haskari, S.TP., M.Si., Puspitahati, S.TP., M.P., Ir. K.H. Iskandar, M.Si., Ir. Endo Argo Kuncoro, M.Agr., Hermanto, S.TP., M.Si., Dr. Ir. Parwiyanti, M.P. serta semua bapak dan ibu staf pengajar di Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Unsri.
20. Staf administrasi di Program Doktor dan Magister FP Unsri (Lies), staf administrasi di Jurusan Teknologi Pertanian FP Unsri (Jhon Heri dan Desi Inndiarti), serta teknisi laboratorium di Jurusan Teknologi Pertanian FP

Unsri (Hapsah, S.T., M.Sc., Lismawati, Elsa dan Tika) atas bantuannya selama penulis menempuh studi doktor.

21. Ratna Widia Ningsih yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan disertasi dan anak bimbingan Sari, Gusniar, April, Della, Rapi dan Fachrul yang telah membantu pelaksanaan penulisan dan penyusunan laporan, serta semua mahasiswa Jurusan Teknologi Pertanian FP Unsri.
22. Kedua orangtuaku, Ayahanda Zainal Abindin (Alm) dan Ibunda Jakya, atas doa yang tak henti-hentinya untuk ananda, semangat, dan nasehat serta didikannya selama ini.
23. Istriku tercinta, sahabat di kala suka dan duka, Irma Suryani, S.Sos., terima kasih untuk doa, cinta, motivasi dan semua yang telah diberikan selama ini.
24. Putraku Muhammad Akrim Fajri dan putriku Annisa Kahmiliani, atas cinta, canda dan keceriaan yang kalian berikan.
25. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, atas semua doa, dukungan dan bantuannya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan disertasi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak yang sifatnya membangun akan penulis terima dengan senang hati untuk penulisan yang lebih baik di masa akan datang. Atas izin Allah SWT, penulis berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat sebagai langkah awal memanfaatkan vegetasi rawa sebagai sumber *natural dye* pada sistem *DSSC* dalam mentransfer sinar matahari menjadi energi listrik, yang merupakan salah satu bagian dari diversifikasi energi, serta bagi kemajuan ilmu pengetahuan. Aamiin ya rabbal alamin.

Palembang, Januari 2022
Penulis

Haisen Hower

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 09 Desember 1966, merupakan anak ke-empat dari sebelas bersaudara. Orangtua bernama Bapak Zainal Abidin (Alm) dan Ibu Jakya. Penulis menyelesaikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Tulung Selapan OKI pada tahun 1980. Penulis menyelesaikan Sekolah Menengah Pertama di SMP FKIP (Sri Jaya Negara) Palembang pada tahun 1983 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 10 Palembang pada tahun 1986. Penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 (S1) di Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya melalui jalur Penelusuran Minat dan Kemampuan (PMDK) tahun 1986, dan pada tahun 1988 masuk Jurusan Teknologi Program Studi Mekanisasi Pertanian dan memperoleh gelar Insinyur (Ir) pada bulan Agustus 1992. Tahun 1997 penulis melanjutkan pendidikan Strata 2 (S2) di Program Studi Mekanisasi Pertanian Pascasarjana Universitas Gajah Mada (UGM) dengan beasiswa BPPS dan memperoleh gelar Magister Pertanian (M.P) pada bulan Mei tahun 2000. Tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Doktor Ilmu-ilmu Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya dengan biaya sendiri.

Penulis diangkat sebagai Calon Pegawai Negeri Sipil (CPNS) pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya pada bulan Maret 1994, dan sejak bulan April 1995 penulis diangkat sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) pada Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya. Sampai saat ini penulis adalah dosen aktif di Program Studi Teknik Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya.

Penulis menikah dengan Irma Surynai, S.Sos. pada Maret 1996 dan kini telah dikaruniai satu orang putra yaitu Muhammad Akrim Fajri dan seorang putri yaitu Annisa Kahmiliani.

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xx
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	4
1.3. Hipotesis.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Energi	6
2.2. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i>	7
2.2.1. Elektrolit Redoks.....	11
2.2.2. Fotosensitizer.....	12
2.2.3. Elektrode Nanopartikel TiO ₂	14
2.2.4. Karakteristik Sel Surya.....	16
2.3. <i>Natural Dye Sensitizer SSC</i>	18
2.3.1. Antosianin.....	19
2.3.2. Karotenoid.....	21
2.3.3. Klorofil.....	22
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1. Waktu dan Tempat.....	24
3.2. Alat dan Bahan.....	24
3.2.1. Alat.....	24
3.2.2. Bahan.....	24
3.3. Metode Penelitian.....	25
3.3.1. Preparasi Fotosensitizer DSSC.....	26
3.3.2. Preparasi Fotoelektrode, Elektrode Kerja dan Elektroda Pembanding.....	27

	Halaman
3.3.3. Perakitan DSSC.....	28
3.3.4. Karakterisasi TiO ₂ Nanopartikel.....	29
3.3.4.1. Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	29
3.3.4.2. Karakterisasi <i>X Ray Diffraction</i> (XRD).....	29
3.3.5. Karakterisasi <i>Natural Dye</i>	29
3.3.5.1. Karaterisasi Spektroskopi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)...	29
3.3.5.2. Karakterisasi Spektrofotometri UV-Vis	30
3.3.6. Karakterisasi DSSC	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Analisis Fotoelektrode TiO ₂ Nanopartikel	32
4.1.1. Analisis <i>X Ray Diffraction</i> (XRD)	32
4.1.2. Analisa <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	33
4.2. Identifikasi Jenis <i>Natural Dye</i> Hasil Ekstraksi	34
4.2.1 Analisis FTIR <i>Natural Dye</i>	34
4.2.2. Karakterisasi <i>Natural Dye</i> dengan Spektrofotometer UV-Vis.....	36
4.2.2.1. Absorbansi ekstrak <i>dye</i> tunggal	36
4.2.2.2. Grafik absorbansi koaksi dua ekstrak <i>dye</i>	39
4.2.2.3. Grafik absorbansi koaksi tiga ekstrak <i>dye</i>	43
4.3. Analisa Energi <i>bandgap</i> dan koefisien absorpsi <i>natural dye</i>	45
4.4. Karakterisasi Performan DSSC	47
4.4.1. DSSC <i>Natural Dye</i> Tunggal	47
4.4.2. DSSC Koaksi Dua dan Tiga <i>Natural Dye</i>	49
4.4. Analisa Koaksi <i>Natural Dye</i> Berdasarkan Jenis Vegetasi	53
4.5. Analisa Karakteristik Kelistrikan DSSC terhadap Waktu.....	56
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan	62
5.2. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Spektrum sinar matahari dan cahaya tampak.....	7
Gambar 2.2. Skema diagram DSSC.....	8
Gambar 2.3. Skema dari dye sensitized solar cell dan urutan proses terjadinya.....	9
Gambar 2.4. Struktur DSSC dan diagram superposisi pita energi.....	10
Gambar 2.5. Karakteristik DSSC dalam kurva tegangan-rapat arus.....	16
Gambar 2.6. Struktur kimia antosianin dan ikatan antosianin pada permukaan TiO ₂	19
Gambar 2.7. Buah senduduk (<i>Malastoma malabathricum</i> Linn).....	20
Gambar 2.8. Struktur kimia β , β -karotein dan ikatannya pada permukaan TiO ₂	21
Gambar 2.9. a) Bunga nipah, b) bunga kurawa, c) buah nipa, d) bunga eceng gondok dan e) bunga senduduk.....	22
Gambar 2.10. Struktur klorofil <i>a</i> dan <i>b</i>	23
Gambar 2.11. a) daun eceng gondok, b) daun senduduk, c) daun nipah dan d) daun kuning rawa.....	23
Gambar 3.1. Luas lapisan TiO ₂ dan karbon pada elektroda kerja dan elektroda pembanding.....	28
Gambar 3.2. Pemasangan DSSC tampak dari samping (a), tampak dari atas (b).....	29
Gambar 4.1. Gambar 4.1. Hasil analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) kristal TiO ₂	32
Gambar 4.2. Foto SEM TiO ₂ nanopartikel setelah dikalsinasi pada suhu 450°C selama 1 jam dengan pembesaran 25kx: a) tampak atas dan b) tampak samping.....	33
Gambar 4.3. Sprektrum <i>FTIR naturl dye</i> klorofil dauneceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>).....	34

	Halaman
Gambar 4.4. Spektrum <i>FTIR natural dye</i> antosianin pada buah senduduk (<i>Melastomamalabathricum</i> Linn).....	35
Gambar 4.5. Spektrum <i>FTIR natural dye</i> karoten pada buah nipa (<i>Nypa Fruticans</i> Wurmb).....	36
Gambar 4.6. Absorbansi ekstrak <i>dye</i> DN-EG (), DN-SD (), DN-KR (), dan DN-NP ().....	37
Gambar 4.7. Absorbansi ekstrak <i>dye</i> BH-SD ().....	38
Gambar 4.8. Absorbansi ekstrak <i>dye</i> BG-EG (), BG-SD (), BG-KR (), BG-NP (), BH-NP ().....	39
Gambar 4.9. Grafik absorbansi koaksi dua ekstrak <i>dye</i> yang mengandung pigmen klorofil dan pigmen antosianin dari satu jenis vegetasi: a) BH-SD+DN-SD, b) DN-EG+BH-SD, dan c) BH-SD+DN-NP.....	40
Gambar 4.10. Grafik absorbansi koaksi dua ekstrak <i>dye</i> yang mengandung pigmen kloforil dan pigmen karotenoid dari satu jenis vegetasi: a) DN-NP+BH-NP, b) DN-NP+BG-NP	41
Gambar 4.11. Grafik absorbansi koaksi dua ekstrak <i>dye</i> yang mengandung pigmen antosianin dan pigmen karotenoid dari dua jenis vegetasi: a) BG-EG+BH-SD, b) BH-SD+BH-NP.....	41
Gambar 4.12. Grafik absorbansi koaksi dua ekstrak <i>dye</i> yang mengandung pigmen karotenoid dari dua jenis vegetasi, yaitu BG-EG+BH-NP.....	42
Gambar 4.13. Grafik absorbansi koaksi ekstrak tiga <i>natural dye</i> dari dua jenis tanaman: a) DN-EG+BG-EG+BG-KR, b) BH-SD+DN-SD+BG-NP, c) BH-SD+DN-KR+BG-KR, dan dari tiga jenis tanaman: d) DN-EG+BH-SD+BH-NP, e) BH-SD+DN-KR+BH-NP, f) BG-SD+DN-KR+BH-NP.....	44
Gambar 4.14. Posisi pita energi dari berbagai komponen <i>DSSC</i>	47
Gambar 4.15. Kurva karakteristik (I-V) <i>DSSC natural dye</i> BH-SD (a) dan DN-SD (b).....	49
Gambar 4.16. Kurva karakteristik (I-V) <i>DSSC koaksi natural dye</i> DN-SD+BH-SD (a) dan BH-SD+DN-NP (b).....	51

	Halaman
Gambar 4.17. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi <i>natural dye</i> DN-SD+BH-SD+BG-NP (a) dan DN-EG+BH-SD+BH-NP....	53
Gambar 4.18. Grafik regresi polynomial ordo 3 koefisiesn determinan a) DSSC BH-SD, b) DSSC koaksi DN-SD+BD-SD, c) DSSC koaksi BH-SD+DN-NP, d) DSSC BG-EG+BH-SD, e) DSSC DN-SD+ BH-SD+BG-NP dan f) DN-EG+BH-SD+BH-NP	60

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 4.1.	Puncak absorbansi, rentang absorbansi energi <i>bangap</i> dan koefisien absorbansi <i>natural dye</i> tunggal.....	45
Tabel 4.2.	Puncak absorbansi, rentang absorbansi energi <i>bangdap</i> dan koefisien absorbs koaksi dua <i>natural dye</i>	46
Tabel 4.3.	Puncak absorbansi, rentang absorbansi energi <i>bangdap</i> dan koefisien absorbs koaksi tiga <i>natural dye</i>	47
Tabel 4.4.	Performa DSSC <i>natural dye</i> BH-SD <i>natural dye</i> tunggal yang berasal dari bagian vegetasi eceng gondok, senduduk Kurawa dan nipah.....	48
Tabel 4.5.	Performa DSSC koaksi dua <i>natural dyes</i> dari satu vegetasi.....	49
Tabel 4.6.	Performa DSSC koaksi dua <i>natural dyes</i> dari dua vegetasi.....	50
Tabel 4.7.	Performa DSSC koaksi tiga <i>natural dyes</i> dari dua vegetasi.....	51
Tabel 4.8.	Performa DSSC koaksi tiga <i>natural dyes</i> dari tiga vegetasi.....	52
Tabel 4.9.	Daya keluaran (P_{out}) dan efisiensi yang dihasilkan oleh koaksi dua <i>natural dye</i> dalam satu vegetasi.....	53
Tabel 4.10.	Daya keluaran (P_{out}) dan efisiensi yang dihasilkan oleh koaksi dua <i>natural dye</i> dalam dua vegetasi.....	54
Tabel 4.11.	Daya keluaran (P_{out}) dan efisiensi yang dihasilkan oleh koaksi tiga <i>natural dye</i> dalam dua vegetasi.....	56
Tabel 4.12.	Daya keluaran (P_{out}) dan efisiensi yang dihasilkan oleh koaksi tiga <i>natural dye</i> dalam tiga vegetasi.....	56
Tabel 4.13.	Persamaan regresiasi polynomial dan koefisien determinan tegangan terbuka (V_{oc}) arus hubungan singkat (I_{sc}) Daya maksimum (P_{max}), <i>field factor</i> (FF) dan efisiensi <i>natural dye</i> tunggal.....	57
Tabel 4.14.	Persamaan Regresi polynomial dan koefisiesndeterniman tegangan terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), daya maksimum (P_{mak}), <i>field factor</i> (FF) dan efisiensi DSSC koaksi dua <i>natural dye</i>	58

Tabel 4.15.	Persamaan Regresi polynomial dan koefisiesndeterminan tegangan terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), daya maksimum (P_{mak}), field factor (FF) dan efisiensi DSSC koaksi tiga <i>natural dye</i>	59
-------------	---	----

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Alur Tahapan Penelitian Keseluruhan.....	75
Lampiran 2. Preparasi <i>Natural Dye</i>	76
Lampiran 3. Alur penelitian menggunakan <i>natural dye</i> tunggal.....	77
Lampiran 4. Alur penelitian koaksi dua campuran <i>natural dye</i>	78
Lampiran 5. Alur penelitian koaksi tiga campuran <i>natural dye</i>	79
Lampiran 6. Hasil analisis FTIR daun senduduk (<i>Melastoma malabathricum</i> Linn).....	80
Lampiran 7. Hasil analisis FTIR daun Kuning Rawa (<i>Ludwigia Peruvian</i>).....	81
Lampiran 8. Hasil analisis FTIR daun Nipa (<i>N. Fruticans Wurmb</i>).....	82
Lampiran 9. Hasil analisis FTIR Bunga eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>).....	83
Lampiran 10. Hasil analisis FTIR Bunga senduduk (<i>Melastoma malabathricum</i> Linn).....	84
Lampiran 11. Hasil analisis FTIR Bunga kuning rawa (<i>Ludwigia peruviana</i>).....	85
Lampiran 12. Perbandingan nilai P_{max} , FF dan Efisiensi DSSC <i>natural dye</i> tunggal pada kondisi tidak ditambah asam dan tidak ditambah ko-adsorpsi dengan yang ditambah asam dan ditambah ko-adsorpsi.....	86
Lampiran 13. Kurva karakteristik (I-V) DSSC <i>natural dye</i> DN-SD.....	87
Lampiran 14. Kurva karakteristik (I-V) DSSC <i>natural dye</i> BH-NP.....	88
Lampiran 15. Kurva karakteristik (I-V) DSSC <i>natural dye</i> DN-NP.....	89
Lampiran 16. Hasil pengukuran dan perhitungan performan DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> dari satu vegetasi.....	90
Lampiran 17. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> , DSSC DN-NP + BH-NP.....	91
Lampiran 18. Hasil pengukuran dan perhitungan performan DSSC koaksi dua <i>natural dyes</i> dari dua vegetasi.....	92

	Halaman
Lampiran 19. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> , DSSC BG-EG + BH-SD.....	93
Lampiran 20. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> , DSSC BG-EG + BH-NP.....	94
Lampiran 21. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> , DSSC DN-EG + BH-SD.....	95
Lampiran 22. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> , DSSC BH-SD + BH-NP.....	96
Lampiran 23. Hasil pengukuran dan perhitungan performan DSSC koaksi tiga <i>natural dyes</i> dari dua vegetasi.....	97
Lampiran 24. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi tiga <i>natural dye</i> , DSSC DN-EG + BG-EG + BG-KR.....	98
Lampiran 25. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi tiga <i>natural dye</i> , DSSC BH-SD + DN-KR + BG-KR.....	99
Lampiran 26. Hasil pengukuran dan perhitungan performan DSSC koaksi tiga <i>natural dyes</i> dari tiga vegetasi.....	100
Lampiran 27. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi tiga <i>natural dye</i> , DSSC BH-SD +DN-KR + BH-NP.....	101
Lampiran 28. Kurva karakteristik (I-V) DSSC koaksi tiga <i>natural dye</i> , DSSC BG-SD + DN-KR + BH-NP.....	102
Lampiran 29. Hasil pengukuran tegangan terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), daya maksimum (P_{mak}), fill faktor (FF) dan efisiensi DSSC <i>natural dye</i> tunggal selama 23 hari pengamatan.....	103
Lampiran 30. Hasil pengukuran tegangan terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), daya maksimum (P_{mak}), field factor (FF) dan efisiensi DSSC koaksi dua <i>natural dye</i> selama 24 hari pengamatan.....	104
Lampiran 31. Hasil pengukuran tegangan terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), daya maksimum (P_{mak}), field factor (FF) dan efisiensi DSSC koaksi tiga <i>natural dye</i> selama 25 hari pengamatan.....	105

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Teknologi pemanfaatan energi surya secara langsung sebagai sumber panas maupun secara tidak langsung menjadi energi listrik menggunakan sistem sel fotovoltaik merupakan teknologi ramah lingkungan, saat ini telah memasuki generasi ketiga. Sel surya generasi pertama menggunakan bahan silikon kristal tunggal yang menghasilkan listrik dengan efisiensi cukup tinggi tetapi harganya relative mahal. Pengembangan generasi ini kemudian dilanjutkan dengan tipe polikristal silikon *wafer*, tetapi efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan tipe silikon kristal tunggal.

Sel surya generasi kedua disebut teknologi lapis tipis dibuat dari semikonduktor seperti CdTe (*Cadmium Telluride*) dan CIGS (*Copper Indium Gallium Selenide*). Keunggulan sel surya generasi kedua ini dapat dideposisikan pada substrat yang lentur sehingga menghasilkan sel surya yang fleksibel. Kelemahan sel surya generasi kedua ini adalah Cadmiun mudah terbakar dan akan menyebabkan polusi yang berbahaya.

Generasi ketiga sel surya disebut dengan *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* adalah sel surya semikonduktor yang secara langsung dapat mengubah sebagian radiasi matahari menjadi arus listrik dengan menggunakan prinsip fotoelektrokimia (Grätzel, 2003; Tobin *et al.*, 2011; Gong *et al.*, 2012). Sel surya ini diperkenalkan pertama oleh Grätzel pada tahun 1991 kemudian disebut sel Grätzel sel atau *Dye Sensitized Solar Cells* (Beibei *et al.*, 2010). Prinsip kerja DSSC menyerupai prinsip fotosintesis tumbuhan (Connell *et al.*, 2010).

DSSC tersusun dari lapisan kaca substrat (*Transparent Conductive Oxide/TCO*), lapisan konduksi (*Indium Tin Oxide/ITO* atau *Flourine Tin Oxide/FTO*), katalis, elektrolit, dye (sensitizer), pasta titanium dioksida (TiO_2), lapisan konduksi (*Indium Tin Oxide/ITO* atau *Flourine Tin Oxide/FTO*), dan lapisan kaca substrat (*Transparent Conductive Oxide/TCO*) yang berkaitan satu sama lainnya sehingga disebut juga sebagai *sandwich* (Kumila dan Prajitno, 2017; Selim dan Mohamed, 2017; Shakeel *et al.*, 2017).

Prinsip operasi *DSSC* dapat dijelaskan dalam lima tahap. Pertama, dengan *DSSC* yang terpapar cahaya akan mengakibatkan molekul *dye* menerima energi, sehingga elektron pada valensi terluar akan lepas atau tereksitasi dari orbitnya. Kedua, elektron yang tereksitasi tersebut akan terinjeksi ke nanopartikel semikonduktor TiO_2 , dengan laju injeksi terjadi pada urutan femto-detik ke picodetik (Asbury *et al.*, 1999; Hannappel *et al.*, 1997; dan Tachibana *et al.*, 1996). Ketiga, pasangan redoks (I/I^3) akan mengurangi bentuk teroksidasi *dye* setelah transfer elektron ke nanopartikel TiO_2 kembali kepada bentuk semula. Proses ini dikenal sebagai proses regenerasi yang terjadi pada urutan nanodetik (Fitzmaurice dan Frei, 1991; dan Alebbi *et al.*, 1998). Keempat, dengan proses regenerasi, maka muatan positif (atau lubang) pindahkan ke pasangan redoks yang menciptakan pemisahan muatan yang lebih besar antara lubang dan elektron. Oleh karena itu, elektroda pembanding kemudian mengurangi pasangan redoks. Kelima, dengan pemulihan pasangan redoks maka akan menyebabkan perbedaan muatan antramuka nanopartikel dengan elektroda pembanding, sehingga elektron akan melakukan perjalanan dari nano partikel dan berakhir di elektroda pembanding, selanjutnya proses akan berulang.

Performansi *DSSC* ditentukan oleh beberapa faktor yaitu luasan spektrum gelombang cahaya yang dimiliki oleh *dye*, energi cahaya matahari yang dapat diserap oleh molekul *dye*, ikatan molekul *dye* pada permukaan semi konduktor (Lai *et al.*, 2008; Beibei *et al.*, 2010), ketebalan lapisan semi konduktor TiO_2 (Calogero dan Marco, 2008), luas permukaan semi konduktor TiO_2 (Nadeak dan Susanti, 2012), sumber spektrum dan intensitas cahaya, kemurnian elektrolit garam, pelarut, co-absorber dan katalis, ukuran luasan aktif sel (Calogero dan Marco, 2008).

Beberapa upaya dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja *DSSC* berbahan dasar *natural dye* diantaranya adalah, meningkatkan stabilitas *dye* dengan metode perendaman dalam waktu yang lama (Lai *et al.*, 2008), penambahan gugus kromofor (Chang dan Lo, 2010a; Gómez-Ortíz *et al.*, 2010), meningkatkan keasaman pelarut (Chang dan Lo, 2010a; Senthil *et al.*, 2011), penambahan koadsorpsi asam asetat (Kumara *et al.*, 2006) dan optimasi struktur *dye* (Zhou *et*

al., 2011). Alternatif lain untuk meningkatkan performan DSSC adalah dengan memperluas spektrum gelombang cahaya yang dapat diserap *dye* yaitu dengan koaksi gabungan atau campuran beberapa jenis *natural dye* yang berbeda (Bahtiar *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2016; Pratiwi *et al.*, 2017; Sanjay *et al.*, 2018; Kabir *et al.*, 2019b; Kabir *et al.*, 2019a; Kabir *et al.*, 2019c; Sengupta *et al.*, 2015; Ganta *et al.*, 2017; Fistiani *et al.*, 2017) hasilnya menunjukkan bahwa koaksi *natural dye* yang berbeda dapat menghasilkan performan lebih baik dibandingkan dengan *natural dye* tunggal.

Penggunaan pigmen *dye* pada DSSC berkembang pesat, dari awal menggunakan *dye* berbahan kompleks logam, kemudian pemanfaatan *dye* berbahan organik sintesis dan terakhir memanfaatkan organik *natural dye* (Ooyama dan Harima, 2009; Dewi dan Gunawan, 2010; Nazeeruddin *et al.*, 2011; Sokolský *et al.*, 2011; Narayan, 2012). Perkembangan yang pesat dalam memanfaatkan *natural dye* organik pada sistem DSSC dikarenakan beberapa faktor, antara lain yaitu: jumlahnya yang banyak atau tidak terbatas, harga murah, ramah lingkungan, tidak beracun, dan mudah dalam proses fabrikasi (Nadeak dan Susanti, 2012; Narayan, 2012; Susmiyanto *et al.*, 2013; Gokilamani *et al.*, 2014; Selim dan Mohamed, 2017). Namun pada sisi lain *natural dye* organik memiliki sifat dimana absorbansi rendah, rekombinasi yang cepat, ikatan *dye* dengan semi konduktor lemah, dan stabilitas *dye* kurang baik (Hao *et al.*, 2006; Furukawa *et al.*, 2009; Lee dan Yang, 2011; Listorti *et al.*, 2011; Nazeeruddin *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2011; Narayan, 2012).

Natural dye diperoleh dari proses ekstraksi bagian tumbuh-tumbuhan seperti akar, daun, bunga dan buah (Bahtiar *et al.*, 2015). Beberapa jenis pigmen pada tumbuhan yang dapat diekstrak, yaitu betalain, karotenoid, klorofil, dan flavonoid (Narayan, 2012). Pigmen betalain seperti *betacyanin* dan *betaxanthin* yang terdapat pada jamur dan *caryophyllates*. Pigmen karotenoid seperti karoten terdapat wortel. Pigmen klorofil a dan klorofil b terdapat pada tumbuhan fotosintensis. Pigmen flavonoid seperti *anthocyanins*, *aurones*, *flavonoid*, dan *proanthocyanidins* terdapat pada tumbuhan *angiospermae* dan *gymnospermae*.

Secara umum lahan dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu lahan basah dan lahan kering. Lahan basah adalah lahan yang memiliki kadar air tinggi atau

jenuh air baik bersifat permanen maupun bersifat musiman sebagai contoh persawahan, lahan gambut, rawa-rawa, daerah payau dan juga hutan bakau. Lahan kering adalah lahan yang memiliki kandungan air yang rendah, bahkan ekstrimnya adalah lahan kering ini merupakan jenis lahan yang cenderung gersang, dan tidak memiliki sumber air yang pasti, seperti sungai, danau ataupun saluran irigasi. Sumatera Selatan sebagian besar wilayahnya terdiri atas lahan basah atau rawa, memiliki keanekaragaman vegetasi seperti senduduk (*Melastoma malabathricum* Linn), kuning rawa (*Ludwigia peruviana*), nipa (*Nypa fruticans*), eceng gondok (*Eichornia crassipes*), purun, kiambang dan sebagainya. Oleh karena itu dalam penelitian ini memanfaatkan potensi vegetasi rawa sebagai sumber *natural dye*. Pemilihan vegetasi rawa sebagai sumber *natural dye* didasarkan pada kandungan pigmen utamanya yaitu antosianin, karoten dan klorofil, sehingga jenis tanaman yang dipilih adalah senduduk, nipah dan eceng gondok.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian secara umum adalah untuk mengembangkan potensi koaksi beberapa vegetasi rawa sebagai sumber *natural dye* untuk pemeka cahaya pada sistem *DSSC*. Adapun tujuan khusus adalah untuk:

- 1) Mendeterminasi performan *DSSC* yang menggunakan pemeka cahaya *natural dye* tunggal yang diambil dari masing-masing bagian vegetasi yang digunakan;
- 2) Mendeterminasi performan *DSSC* yang menggunakan pemeka cahaya koaksi dua dan koaksi tiga *natural dye* yang berasal dari satu, dua dan tiga vegetasi yang berbeda;
- 3) Menentukan pola perubahan karakteristik kelistrikan *DSSC* yang menggunakan pemeka cahaya *natural dye* yang berasal dari vegetasi rawa selama penyimpanan.

1.3. Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

- 1) Diduga setiap vegetasi rawa dan bagian (daun, buah, bunga) yang digunakan sebagai sumber *natural dye* untuk pemeka cahaya pada sistem *DSSC* dapat

membangkitkan potensial listrik yang berbeda satu sama lain;

- 2) Diduga bahwa koaksi dua dan koaksi tiga *natural dye* yang berasal dari satu, dua dan tiga vegetasi rawa yang berbeda sebagai pemeka cahaya pada sistem DSSC akan menghasilkan performan yang lebih baik dari tunggal *dye*;
- 3) Diduga bahwa selama masa pemakaian atau penyimpanan akan terjadi perubahan terhadap performan DSSC yang menggunakan pemeka cahaya *natural dye* tunggal, koaksi dua dan koaksi tiga baik yang berasal dari satu jenis vegetasi, dua dan tiga vegetasi.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini, yaitu:

- 1) Sumber pewarna alami yang digunakan sebagai *natural dye* adalah vegetasi eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), vegetasi senduduk (*Melastoma malabathricum* Linn), vegetasi nipa (*Nypa fruticans* Wurmb) dan vegetasi kuning rawa (*Ludwigia peruviana*);
- 2) Asumsi yang digunakan selama proses penelitian adalah struktur dan ketebalan semikonduktor TiO_2 yang digunakan sama yaitu 0,494 mm, konsentrasi larutan sama, struktur dan ketebalan elektrode lawan yang digunakan sama, perbandingan koaksi dua atau tiga *natural dye* dengan volume yang sama, dan jarak DSSC terhadap sumber cahaya tetap yaitu 10 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, R., Hara, K., Sayama, K., Domen, K., dan Arakawa, H. (2000) : Steady Hydrogen Evolution from Water on Eosin Y-Fixed TiO₂ Photocatalyst using a Silane- Coupling Reagent under Visible Light Irradiation, *Journal of Photochemistry and Photobiology A*, 137, 63–69
- Aduloju, kelvin alaba dan Ezema, F. (2011) “Effect of natural dye extracting temperature on the performances of dye sensitized solar cells using *Petrocarpus Erinaceus*,” *Archives of Physics Research*, 2(3), hal. 191–196.
- Alebbi, M.; Bignozzi, C. A.; Heimer, T. A.; Hasselmann, G. M.; Meyer, G. J. 1998. *The Journal of Physical Chemistry B*, 102 (39), 7577-7581.
- Alfredo, I. (2010) “Bab 1 pendahuluan,” *Pelayanan Kesehatan*, (2014), hal. 1–6. Tersedia pada: http://library.oum.edu.my/repository/725/2/Chapter_1.pdf.
- Alias, N. N. dan Yaacob, K. A. (2016) “Natural dye sensitizer in dye sensitized solar cell,” *Sains Malaysiana*, 45(8), hal. 1227–1234.
- Ammar, A. M., Hemdan S. H. Mohamed, H.S.H, Yousef, M.M.K., Abdel-Hafez, G.M., Hassanien, A.S. dan Ahmed S. G. Khalil, A.S.G. (2019) “Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) based on extracted natural dyes,” *Journal of Nanomaterials*, 2019. doi: 10.1155/2019/1867271.
- Andarwulan, Nuri dan RH Fitri Faradilla. *Pewarna Alami untuk Pangan*. Bogor: Seafast Center, 2012.
- Asbury, J. B.; Ellingson, R. J.; Ghosh, H. N.; Ferrere, S.; Nozik, A. J.; Lian, T. Q., *Journal of Physical Chemistry B* 1999, 103 (16), 3110-3119.
- Bae, E., dan Choi, W. (2006) : Effect of The Anchoring Group (Carboxylate vs Phosphonate) in Ru-Complex-Sensitized TiO₂ on Hydrogen Production under Visible Light, *Journal of Physical Chemistry B*, 110, 14792–14799
- Bahtiar, H., Wibowo, N. A. dan Rondonuwu, F. S. (2015) “Konstruksi Sel Surya Bio menggunakan Campuran Klorofil-Karotenoid sebagai Sensitizer,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 11(1), hal. 19. doi: 10.12962/j24604682.v11i1.780.
- Bashar, H., Bhuiyan, M.M.H., Hossaina, M.R., Kabira, F., Rahaman, M.S., Manira, M.S. dan Ikegami, T. (2019a) “Study on combination of natural red and green dyes to improve the power conversion efficiency of dye sensitized solar cells,” *Optik*, 185(March), hal. 620–625. doi: 10.1016/j.ijleo.2019.03.043.
- Beibei, M., GAO Rui, WANG LiDuo*, ZHU YiFeng, SHI YanTao, GENG Yi, DONG HaoPeng dan QIU Yong (2010) “Recent progress in interface modification for dye-sensitized solar cells,” *Science China Chemistry*, 53(8), hal. 1669–1678. doi: 10.1007/s11426-010-4042-8.

- Bi, G., Tian, S., Feng, Z., dan Cheng, J. (1996) : Study on the Sensitized Photolysis of Pyrethroids: Kinetic Characteristic of Photooxidation by Singlet Oxygen, *Journal of Chemosphere*, 32, 1237–1243.
- Bintang, Maria. *Biokimia: Teknik Penelitian*. Jakarta: Erlangga, 2010.
- Boschloo, G., Haggman, L., dan Hagfeldt, A. (2006) : Quantification of the Effect of 4-Tert-Butylpyridine Addition to I-/I³⁻ Redox Electrolytes in Dye-Sensitized Nanostructured TiO₂ Solar Cells. *Journal of Physical Chemistry B*, 110, 13144–13150
- Byranvand MM, Kharat AN, Badiei A, Bazargana M. Electron transfer in dyesensitized solar cells. *J Optoelectron Biomed Mater* 2012;4:49–57.
- Calogero, G. dan Marco, G. Di (2008) “Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), hal. 1341–1346. doi: 10.1016/j.solmat.2008.05.007.
- Calogero, G., Yumb, J.H., Sinopoli, A., Marco, G.D., Gra'tzel, M., dan Nazeeruddin, M.K. 2012. Anthocyanins and Betalains as Light-Harvesting Pigments for Dye-Sensitized Solar Cells, *Elsevier Journal of Solar Energy*, 86, 1563–1575.
- Chang, H., H.M. Wub, T.L. Chenc, K.D. Huangd, C.S. Jwoe, dan Y.J. Loa (2010) “Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea,” *Journal of Alloys and Compounds*, 495(2), hal. 606–610. doi: 10.1016/j.jallcom.2009.10.057.
- Chang, H. dan Lo, Y. J. (2010b) “Pomegranate leaves and mulberry fruit as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells,” *Solar Energy*, 84(10), hal. 1833–1837. doi: 10.1016/j.solener.2010.07.009.
- Chen, Y.S., Li, C., Zeng, Z.H., Wang, W.B., Wang, X.S., dan Zhang, B.W. 2005. Efficient Electron Injection Due to a Special Adsorbing Group's Combination of Carboxyl and Hydroxyl: Dye-Sensitized Solar Cells Based on New Hemicyanine Dyes, *Journal of Materials Chemistry*, 15, 1654–1661.
- Cheung, S.T.C., Fung, A.K.M., dan Lam, M.H.W. 1998. Visible Photosensitization of TiO₂ Photodegradation of CCl₄ in Aqueous Medium, *Journal of Chemosphere*, 36, 2461–2473.
- Cho, Y., Choi, W., Lee, C.H., Hyeon, T., dan Lee, H.I. (2001) : Visible Light-Induced Degradation of Carbon Tetrachloride on Dye-Sensitized TiO₂, *Journal of Environmental Science and Technology*, 35, 966–970
- Connell, L.M., Li, G., dan Brudvig, G.W. 2010. Energy Conversion in Natural and Artificial Photosynthesis, *Elsevier Journal of Chemistry and Biology Review*, 17, 434–447.
- Cui, H., Hwang, H.M., Cook, S., dan Zeng, K. (2001) : Effect of Photosensitizer Riboflavin on The Fate of 2,4,6-Trinitrotoluene in a Freshwater Environment, *Journal of Chemosphere*, 44, 621–625.

- Davies, Kavin. *Plant pigment and Their Manipulation*. New Zealand: Blackwell Publishing, 2004.
- Delazar, A., Lutfun Nahar , Sanaz Hamedeyazdan , and Satyajit D. Sarker. *Microwave-Assisted Extraction in Natural Product Isolation vol. 864*. New York: Springer, 2012
- Demam, J.M. (1997) : *Kimia Makanan Edisi Kedua*, K. Padmawinata, Pent., ITB Press, Bandung.
- Dewi, P. A. dan Gunawan, A. H. (2010) “Pengaruh pelarut metanol dan pelarut metanol-asam asetat-air terhadap efisiensi dye-sensitized solar cell dari ekstrak bunga rosela (*Hibiscus sabdariffa*),” *Jurnal Sains & Matematika (JSM)*, 18(4), hal. 132–138.
- Escalada, J.P, Pajares, A., dan Gianotti, J. 2006. Dye-Sensitized Photodegradation of The Fungicide Carbendazim and Related Benzimidazoles, *Journal of Chemosphere*, 65, 237–244.
- Fitzmaurice, D. J.; Frei, H. 1991. *Langmuir*, 7 (6), 1129-1137.
- Fung, A.K.M., Chiu, B.K.W., dan Lam, M.H.W. (2003) : Surface Modification of TiO₂ by a Ruthenium(II) Polypyridyl Complex via Silyl-Linkage for the Sensitized Photocatalytic Degradation of Carbon Tetrachloride by Visible Irradiation, *Journal of Water Research*, 37, 1939–1947.
- Furukawa, S., Hiroshi Iino, Tomohisa Iwamoto, Koudai Kukita, dan Shoji Yamauchi (2009) “Characteristics of dye-sensitized solar cells using natural dye,” *Thin Solid Films*, 518(2), hal. 526–529. doi: 10.1016/j.tsf.2009.07.045.
- Ganta D., J. Jara, R. Villanueva. 2017. Dye-sensitized solar cells using Aloe Vera and Cladode of Cactus extracts as natural sensitizers. Elsevier. *Chemical Physics Letters* 679 (2017) 97–101
- Gokilamani, N., N. Muthukumarasamy, M. Thambidurai, A. Ranjitha, Dhayalan Velauthapillai (2014) “Grape pigment (malvidin-3-fructoside) as natural sensitizer for dye-sensitized solar cells.” doi: 10.1007/s40243-014-0033-6.
- Gómez-Ortíz, N. M., I.A.Vázquez-Maldonado, A.R.Pérez-Espadas, G.J.Mena-Rejo n, J.A.Azamar-Barrios, G.Oskam (2010) “Dye-sensitized solar cells with natural dyes extracted from achiote seeds,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, hal. 40–44. doi: 10.1016/j.solmat.2009.05.013.
- Gong, J., Liang, J. dan Sumathy, K. (2012) “Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), hal. 5848–5860. doi: 10.1016/j.rser.2012.04.044.
- Grätzel, M. (2003) “Dye-sensitized solar cells,” *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 4(2), hal. 145–153. doi: 10.1016/S1389-5567(03)00026-1.
- Guo, M., Diao, P., Ren, Y.J., Meng, F., Tian, H., dan Cai, S.M. (2005) : Photoelectrochemical Studies of Nanocrystalline TiO₂ co-sensitized by

Novel Cyanine Dyes, *Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells*, 88, 23–35.

- Hannappel, T., Thomas Hannappel, Bernd Burfeindt, and Winfried Storck, dan Frank Willig (1997) “Measurement of ultrafast photoinduced electron transfer from chemically anchored Ru-dye molecules into empty electronic states in a colloidal anatase TiO₂ film,” *Journal of Physical Chemistry B*, 101(35), hal. 6799–6802. doi: 10.1021/jp971581q.
- Hao, S., Jihuai Wu, Yunfang Huang, dan Jianming Lin (2006) “Natural dyes as photosensitizers for dye-sensitized solar cell,” *Solar Energy*, 80(2), hal. 209–214. doi: 10.1016/j.solener.2005.05.009.
- Hemalatha, K. V., S.N. Karthick, C. Justin Raj, N.-Y. Hong, S.-K. Kim, dan H.-J. Kim (2012) “Performance of *Kerria japonica* and *Rosa chinensis* flower dyes as sensitizers for dye-sensitized solar cells,” *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 96, hal. 305–309. doi: 10.1016/j.saa.2012.05.027.
- Ibrahim S. dan Marham Sitorus. *Teknik Laboratorium Kimia Organik*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2013.
- Kabir, F., Bhuiyan, M. M. H., Manir, M. S., M.S. Rahamanb, M.A. Khana, T. Ikegami (2019a) “Development of dye-sensitized solar cell based on combination of natural dyes extracted from Malabar spinach and red spinach,” *Results in Physics*, 14(June), hal. 102474. doi: 10.1016/j.rinp.2019.102474.
- Kabir, F., Md Mosharraf H. Bhuiyan, Md Robiul Hossain, Humayra Bashar, Md Saifur Rahaman, Md Serajum Manir, Ruhul A. Khan, dan Tomoaki Ikegami (2019c) “Effect of combination of natural dyes and post-TiCl₄ treatment in improving the photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells,” *Comptes Rendus Chimie*, 22(9–10), hal. 659–666. doi: 10.1016/j.crci.2019.08.002.
- Kabir, F., Bhuiyan, M. M. H., Hossain, M. R., H. Bashar, M.S. Rahaman, M.S. Manir, S.M. Ullah, S.S. Uddin, M.Z.I. Mollah, R.A. Khan, S. Huque, M.A. Khan (2019b) “Improvement of efficiency of Dye Sensitized Solar Cells by optimizing the combination ratio of Natural Red and Yellow dyes,” *Optik*, 179(July 2018), hal. 252–258. doi: 10.1016/j.ijleo.2018.10.150.
- Kalyanasundaram, K., dan Gratzel, M. (1998) : Applications of Functionalized Transition Metal Complexes in Photonic and Optoelectronic Devices, *Journal of Coordination Chemistry Reviews*, 77, 347–414.
- Kar, P., Verma, S., Das, A., dan Ghosh, H.N. (2009) : Interfacial Electron Transfer Dynamics Involving a New Bis-Thiocyanate Ruthenium(II) – Polypyridyl Complex, Coupled Strongly to Nanocrystalline TiO₂, through a Pendant Catecholate Functionality, *Journal of Physical Chemistry C*, 113, 7970–7977
- Kim, M.R., Park, S.H., Kim, J.Udan Lee, J.K. (2011) : Dye-Sensitized Solar Cells Based on Polymer Electrolytes, 223-225 dalam Kosyachenko, L.A., Eds, *Solar Cells - Dye-Sensitized Devices*, 492 p., InTech, Croatia.

- King, R. R.; Law, D. C.; Edmondson, K. M.; Fetzer, C. M.; Kinsey, G. S.; Yoon, H.; Sherif, R. A.; Karam, N. H., *Appl. Phys. Lett.* 2007, 90 (18).
- Kishimoto, Sanae, T. Maoka, K. Sumitomo, A. Ohmiya. Analysis of Carotenoid Composition in Petals of *Calendula* (*Calendula officinalis* L.). *Biosci, Biotechnol, Biochem* 69 (11) (2005): 2122- 2128.
- Klein, J., Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation Technologies. Commission, C. E., Ed. 2009.
- Kopidakis, N., Neale, N.R., dan Frank, A.J. (2006) : Effect of an Adsorbent on Recombination and Band-Edge Movement in Dye-Sensitized TiO₂ Solar Cells: Evidence for Surface Passivation. *Journal of Physical Chemistry B*, 110, 12485–12489.
- Kumar, K. A., Subalakshmi, K. dan Senthilselvan, J. (2016) “Co-sensitization of natural dyes for improved efficiency in dye-sensitized solar cell application,” *AIP Conference Proceedings*, 1731, hal. 1–4. doi: 10.1063/1.4947823.
- Kumara, G. R. A., S. Kaneko, M. Okuya, B. Onwona-Agyeman, A. Konno, dan K. Tennakone (2006) “Shiso leaf pigments for dye-sensitized solid-state solar cell,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90(9), hal. 1220–1226. doi: 10.1016/j.solmat.2005.07.007.
- Kumila, B. N. dan Prajitno, G. (2017) “The Effect of Gel-Electrolyte on Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Prototype based on Nanosized-TiO₂ Using Mangosteen Pericarp as Absorber,” *Journal Of Natural Sciences And Mathematics Research*, 3(1), hal. 186. doi: 10.21580/jnsmr.2017.3.1.1692.
- Kuo, C.G., dan Sheen, B.J. (2011) : Seaweed Chlorophyll on the Light-electron Efficiency of DSSC, *Journal of the Chinese Chemical Society*, 58, 186-190.
- Kushwaha, S., dan Bahadur, L. (2012) : Natural Alkannin and Anthocyanin as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 12, 978-983.
- Lai, W.H., Sub, Y.H., Teoh, L.G., dan Hon, M.H. 2007. Commercial and Natural Dyes as Photosensitizers for a Water-Based Dye-Sensitized Solar Cell Loaded with Gold Nanoparticles, *Elsevier Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195, 307–313.
- Lai, wei hao *et al.* (2008) “Commercial and natural dyes as photosensitizers for a water-based dye-sensitized solar cell loaded with gold nanoparticles,” *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195, hal. 307–313. doi: 10.1016/j.jphotochem.2007.10.018.
- Larson, R.A., Stackhouse, P. L., dan Crowley, T.O. (1992) : Riboflavin Tetraacetate: a Potentially Useful Photosensitizing Agent for The Treatment of Contaminated Waters, *Journal Environmental Science and Technology*, 26, 1792–1798.

- Lee, J. K. dan Yang, M. (2011) "Progress in light harvesting and charge injection of dye-sensitized solar cells," *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 176(15), hal. 1142–1160. doi: 10.1016/j.mseb.2011.06.018.
- Lim, A., Noramaliyana HajiManaf, Kushan Tennakoon, R.L.N. Chandrakanthi, Linda Biaw Leng Lim, J.M.R. Sarath Bandara, dan Piyasiri Ekanayake (2015) "Higher performance of DSSC with dyes from cladophora sp. As mixed cosensitizer through synergistic effect," *Journal of Biophysics*, 2015. doi: 10.1155/2015/510467.
- Listorti, A., O'Regan, B. dan Durrant, J. R. (2011) "Electron transfer dynamics in dye-sensitized solar cells," *Chemistry of Materials*, 23(15), hal. 3381–3399. doi: 10.1021/cm200651e.
- Liu. Bao-Qi, Xiao-Peng Zhao, Wei Luo (2008). The synergistic effect of two photosynthetic pigments in dye-sensitized mesoporous TiO₂ solar cells. *Dyes and Pigments* 76 (2008) 327e331. Available at: www.elsevier.com/locate/dyepig. doi:10.1016/j.dyepig.2006.09.004
- Luo, P., Niu, H., Zheng, G., Bai, X., Zhang, M., dan Wang, W. (2009) : From Salmon Pink to Blue Natural Sensitizers for Solar Cells: *Canna indica* L., *Salvia splendens*, *Cowberry* and *Solanum nigrum* L, *Elsevier Journal of Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*.
- Matthews D, Infelta P, Grätzel M. (1966). Calculation of the photocurrent-potential characteristic for regenerative, sensitized semiconductor electrodes. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 1996;44:119–55
- Muchammad dan Setiawan, H. (2011). Peningkatan efisiensi modul surya 50 wp dengan penambahan reflektor. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. UWH, Semarang, pp. 45-50.
- Nadeak, S. M. R. dan Susanti, D. (2012) "Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga," *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), hal. 2–7.
- Narayan, M. R. (2012) "Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), hal. 208–215. doi: 10.1016/j.rser.2011.07.148.
- Nazeeruddin, M. K., Baranoff, E. dan Grätzel, M. (2011) "Dye-sensitized solar cells: A brief overview," *Solar Energy*, 85(6), hal. 1172–1178. doi: 10.1016/j.solener.2011.01.018.
- Ogura, R.Y., Nakane, S., Morooka, M., Orihashi, M., Suzuki, Y., dan Noda, K. (2009) : High-Performance Dye-Sensitized Solar Cell with a Multiple Dye System, *Applied Physics Letters*, 94, 3 pages.
- Ooyama, Y. dan Harima, Y. (2009) "Molecular Designs and Syntheses of Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells Yousuke Ooyama * [a] and Yutaka Harima * [a]," hal. 2903–2934. doi: 10.1002/ejoc.200900236.
- Park, K.H., Kim, T.Y., Park, J.Y., Jin, E.M., Choi, D.Y., dan Lee, J.W. 2013. Adsorption Characteristics of Gardenia Yellow as Natural

- Photosensitizer for Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal of Dye and Pigments* 96, 595-601.
- Peng, T., Dai, K., Yi, H., Ke, D., Cai, P., dan Zan, L. 2008: Photosensitization of Different Ruthenium (II) Complex Dyes on TiO₂ for Photocatalytic H₂ Evolution under Visible-Light, *Chemical Physics Letters*, 460, 216–219.
- Phadke, S.A. (2010) : *Dye Sensitized Solar Cells with Templated TiO₂ Coatings*, Disertasi Program Doktor Philosophy, State University of New Jersey.
- Puangpetch, T., Sommakettarin, P., Chavadej, S., dan Sreethawong, T. (2010) : Hydrogen Production from Water Splitting over Eosin Y-Sensitized Mesoporous- Assembled Perovskite Titanate Nanocrystal Photocatalysts under Visible Light Irradiation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, 12428–12442.
- Purwanto, Helmy, Indah Hartati, dan Laeli Kurniasari (2010). “Pengembangan *Microwave Assisted Extractor* (MAE) pada Produksi Minyak Jahe dengan Kadar Zingiberene Tinggi”. *Momentum* 6, no. 2 (2010): 9-16
- Pratiwi, D. D., F Nurosyid, Kusumandari, A Supriyanto dan R Suryana(2017) “Performance improvement of dye-sensitized solar cells (DSSC) by using dyes mixture from chlorophyll and anthocyanin,” *Journal of Physics: Conference Series*, 909(1). doi: 10.1088/1742-6596/909/1/012025.
- Romadoni, S., Bahri, S. dan Yusminar (2014) “konversi pelehap nipah menjadi bio-oil dengan variasi katalis NiMo/lempung cengar melalui proses pirolisis,” *jom FTeknik*, 1(2), hal. 1–10.
- Ruhane, T. A. M. Tauhidul Islam, Md. Saifur Rahaman, M.M.H. Bhuiyan, Jahid M.M. Islam, M.K. Newaz, K.A. Khan, dan Mubarak A. Khan (2017) “Photo current enhancement of natural dye sensitized solar cell by optimizing dye extraction and its loading period,” *Optik*, 149, hal. 174–183. doi: 10.1016/j.ijleo.2017.09.024.
- Sanjay, P., K. Deepa, J. Madhavan dan S Senthil (2018) “Performance of TiO₂ based dye-sensitized solar cells fabricated with dye extracted from leaves of *Peltophorum pterocarpum* and *Acalypha amentacea* as sensitizer,” *Materials Letters*, 219, hal. 158–162. doi: 10.1016/j.matlet.2018.02.085.
- Sarker, S.D., Zahid Latif, dan Alexander I. Gray (2006). *Natural Products Isolation Vol. 20*, Ed. 2nd. New Jersey: Humana Press Inc., Totowa NJ.
- Sarwar, S., Kwan-Woo Ko, Jisu Han, Chi-Hwan Han, Yongseok Jun, dan Sungjun Hong (2017) “Improved Long-term Stability of Dye-Sensitized Solar Cell by Zeolite Additive in Electrolyte,” *Electrochimica Acta*, 245, hal. 526–530. doi: 10.1016/j.electacta.2017.05.191.
- Sauvage, F. (2014) “A Review on Current Status of Stability and Knowledge on Liquid Electrolyte-Based Dye-Sensitized Solar Cells,” *Advances in Chemistry*, 2014, hal. 1–23. doi: 10.1155/2014/939525.
- Sauv´e, G., Cass, M.E., dan Coia, G. (2000) : Dye Sensitization of Nanocrystalline Titaniumdioxide with Osmium and Ruthenium

- Polypyridyl Complexes, *Journal of Physical Chemistry B*, 104, 6821–6836.
- Selim, Y. dan Mohamed, A. (2017) “Role of Dyestuff in Improving Dye-Sensitized Solar Cell Performance,” *Renewable Energy and Sustainable Development*, 3(1), hal. 79–82. doi: 10.21622/resd.2017.03.1.079.
- Sengupta, D., B. Mondal, K. Mukherjee. 2015. Visible light absorption and photosensitizing properties of spinach leaves and beetroot extracted natural dyes, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*.
- Senthil, T. S. N. Muthukumarasamy, Dhayalan Velauthapillai, S. Agilan, M. Thambidurai, dan R. Balasundaraprabhu (2011) “Natural dye (cyanidin 3-O-glucoside) sensitized nanocrystalline TiO₂ solar cell fabricated using liquid electrolyte/quasi-solid-state polymer electrolyte,” *Renewable Energy*, 36(9), hal. 2484–2488. doi: 10.1016/j.renene.2011.01.031.
- Shakeel Ahmad, M., Pandey, A. K. dan Abd Rahim, N. (2017) “Advancements in the development of TiO₂ photoanodes and its fabrication methods for dye sensitized solar cell (DSSC) applications. A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(March), hal. 89–108. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.129.
- Sinha, D., De, D. dan Ayaz, A. (2018) “Performance and stability analysis of curcumin dye as a photo sensitizer used in nanostructured ZnO based DSSC,” *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 193, hal. 467–474. doi: 10.1016/j.saa.2017.12.058.
- Sokolský, M., Martin Kusko, Michal Kaiser, Július Cirák (2011) “Fabrication and Characterization of Dye-sensitized Solar Cells Based on Natural Organic Dyes,” 4(2), hal. 26–29.
- Sreekala, C.O., Jinchu, I., Sreelatha, K.S., Janu, Y., Prasad, N., Kumar, M., Sadh, A.K, dan Roy, M.S. (2012) : Influence of Solvents and Surface Treatment on Photovoltaic Response of DSSC Based on Natural Curcumin Dye, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 10, 1-8.
- Sun, Y. (2009) : *Sensitizer Molecule Engineering*, Disertasi Program Doktor Philosophy, Bowling Green State University, 7–10.
- Susmiyanto, D., Wibowo, N. A. dan Sutresno, A. (2013) “Fabrikasi Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) dengan Memanfaatkan Ekstrak Antosianin Ubi,” 4(1), hal. 3–7.
- Syafinar, R., N. Gomesh, M. Irwanto, M. Fareq, dan Y.M. Irwan (2015a) *Chlorophyll Pigments as Nature Based Dye for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*, *Energy Procedia*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.584.
- Syafinar, R., N. Gomesh, M. Irwanto, M. Fareq, dan Y.M. Irwan (2015b) *Potential of Purple Cabbage, Coffee, Blueberry and Turmeric as Nature Based Dyes for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, *Energy Procedia*. Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.569.

- Tachibana, Y., Jacques E. Moser, Michael Graetzel, David R. Klug, dan James R. Durrant (1996) "Subpicosecond interfacial charge separation in dye-sensitized nanocrystalline titanium dioxide films," *Journal of Physical Chemistry*, 100(51), hal. 20056–20062. doi: 10.1021/jp962227f.
- Tadesse, S., Abebe, A., Chebude, Y., Garcia, I.V., dan Yohannes, T. (2012) : Natural Dye-Sensitized Solar Cells using Pigments Extracted from *Syzygium Guineense*, *Journal of Photonics for Energy*, 2, 1-10.
- Tekerek, S., Kudret, A., dan Alver, Ü. (2011) : Dye-Sensitized Solar Cells Fabricated with Black Raspberry, Black Carrot and Rosella Juice, *Indian Journal of Physics*, 85, 1469-1476.
- Tennakone, K., dan Bandara, J. (2001) : Photocatalytic Activity of Dye-Sensitized Tin(IV) Oxide Nanocrystalline Particles Attached to Zinc Oxide Particles: Long Distance Electron Transfer via Ballistic Transport of Electrons Across Nanocrystallites, *Journal of Applied Catalysis A*, 208, 335–341.
- Tensiska, E., Sukarminah, dan Natalia, D. (2006) : Ekstraksi Pewarna Alami dari Buah Arben (*Rubus idaeus* (Linn.)) dan Aplikasinya pada Sistem Pangan. <http://digilib.umm.ac.id>.
- Tobin, L. L., Thomas O'Reilly, Dominic Zerulla, dan John T. Sheridan (2011) "Characterising dye-sensitised solar cells," *Optik*, 122(14), hal. 1225–1230. doi: 10.1016/j.ijleo.2010.07.028.
- Wolfbauer, G., Alan M. Bond, John C. Eklund, Douglas R. MacFarlane (2001) : A channel flow cell system specifically designed to test the efficiency of redox shuttles in dye sensitized solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 70 (2001) 85-101.
- Wongcharee, K., Meeyooa, V., dan Chavadej, S. (2007) : Dye-Sensitized Solar Cell using Natural Dyes Extracted from Rosella and Blue Pea flowers, *Elsevier Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, 566–571.
- Wu, Lan, J.Z., Hao, S., Li, P., Lin, J., dan Huang, M. (2008) : Progress on the Electrolytes for Dye Sensitized Solar Cells, *Journal of Pure and Applied Chemistry*, 80, 2241-2258.
- Yamazaki, E., Murayama, M., Nishikawa, N., Hashimoto, N., Shoyama, M., dan Kurita, O. (2007) : Utilization of Natural Carotenoids as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells, *Elsevier Journal of Solar Energy*, 81, 512–516.
- Yamazaki, E., Murayama, M., Nishikawa, N., Hashimoto, N., Shoyama, M., dan Kurita, O. (2007) : Utilization of Natural Carotenoids as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells, *Elsevier Journal of Solar Energy*, 81, 512–516.
- Yum, J.H., Baranoff, E., Wenger, S., Nazeeruddin, M.K., dan Gratzel, M. (2011) : Panchromatic Engineering for Dye-Sensitized Solar Cells, *Journal The Royal Society of Chemistry*, 4, 842–857.
- Yuniwati, Murni, dkk. "Optimasi Kondisi Proses Ekstraksi Zat Pewarna dalam

- Daun Suji dengan Pelarut Etanol". *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi Periode III* (2012): 257-263.
- Zanni, M.T., Greenblatt, B.J., Davis, A.V., dan Neumark, D.M. (1999). Photodissociation of gas phase I₃ using femtosecond photoelectron Spectroscopy. *JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS VOLUME 111, NUMBER 7*.
- Zhang, Z., Evans, N., Zakeeruddin, S.M., Humphry, B.R., dan Gratzel, M. (2007) : Effects of b-Guanidinoalkyl Acids as Coadsorbents in Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Physical Chemistry C*, 111, 398–403.
- Zhao, J. H.; Wang, A. H.; Green, M. A.; Ferrazza, F. (1998) *Appl. Phys. Lett.* 1998, 73 (14), 1991-1993.
- Zhou, H., Liqiong Wu, Yurong Gao, dan Tingli Ma (2011). "Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 219(2–3), hal. 188–194. doi: 10.1016/j.jphotochem.2011.02.008.
- Zou, Tang-Bin, En-Qin Xia 1, Tai-Ping He, Ming-Yuan Huang, Qing Jia, dan Hua-Wen Li (2014). "Ultrasound-Assisted Extraction of Mangiferin from Mango (*Mangifera indica* L.) Leaves using Response Surface Methodology". *Molecules* 19 (2014): 1411-1421.