



**PENGARUH VARIASI PH TERHADAP POLA ABSORBANSI BERBAGAI
NATURAL DYE SEBAGAI BAHAN *PHOTOSENSITIZER DYE*
*SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)***

SKRIPSI

Oleh

**Firman Wahidi
NIM 151810201042**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PENGARUH VARIASI PH TERHADAP POLA ABSORBANSI BERBAGAI
NATURAL DYE SEBAGAI BAHAN *PHOTOSENSITIZER DYE*
*SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar sarjana Sains

Oleh

Firman Wahidi
NIM 151810201042

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2019

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa terimakasih kepada:

1. Ayahanda Nito dan Ibunda Rahayu Mas Tutik
2. Seluruh Dosen Jurusan Fisika yang selama ini telah membimbing saya
3. Dan kepada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



MOTO

“Selalu berikan yang terbaik meskipun itu tidak menjadikanmu yang terbaik”.



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Firman Wahidi

NIM : 151810201042

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Variasi pH Terhadap Pola Absorbansi Berbagai *Natural Dye* Sebagai Bahan *Photosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 05 Oktober 2019
Yang menyatakan,

Firman Wahidi
NIM151810201042

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI pH TERHADAP POLA ABSORBANSI BERBAGAI
NATURAL DYE SEBAGAI BAHAN PHOTSENSITIZER DYE
SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Oleh

Firman Wahidi

NIM 151810201042

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Novita Andarini, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi pH Terhadap Pola Absorbansi Berbagai *Natural Dye* Sebagai Bahan *Photosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*” telah diuji dan disahkan pada

Hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji

Ketua

Sekretaris

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.
NIP 198111112005012001

Novita Andarini, S.Si., M.Si.
NIP 197211122000032001

Anggota I

Anggota II

Drs. Sujito Ph.D.
NIP 196102041987111001

Dra. Arry Yuariatun Nurhayati, M.Si.
NIP 196109091986012001

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Sujito Ph.D.
NIP 196102041987111001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi pH Terhadap Pola Absorbansi Berbagai *Natural Dye* Sebagai Bahan *Photosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*; Firman Wahidi, 151810201042; 2019: 170 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



PRAKATA

Dengan memanjatkan puji syukur atas rahmat Allah SWT serta tidak lupa sholawat serta salam untuk baginda Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi pH Terhadap Pola Absorbansi Berbagai *Natural Dye* Sebagai Bahan *Photosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*”.

Penyusunan skripsi ini dilakukan untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan semua pihak yang terlibat, baik berupa kritik maupun saran. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU) dan Ibu Novita Andarini, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota (DPA), yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam membimbing penulisan maupun pengerjaan dari awal hingga selesai,
2. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Penguji I dan Dra. Arry Yuariatun Nurhayati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II untuk semua kritik dan saran yang telah diberikan sebagai penyempurnaan skripsi ini,
3. Bapak Bowo Eko Cahyo, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama masa perkuliahan,
4. Dan teman-teman angkatan 2015 dan 2016 yang telah banyak membantu proses pengerjaan skripsi ini.

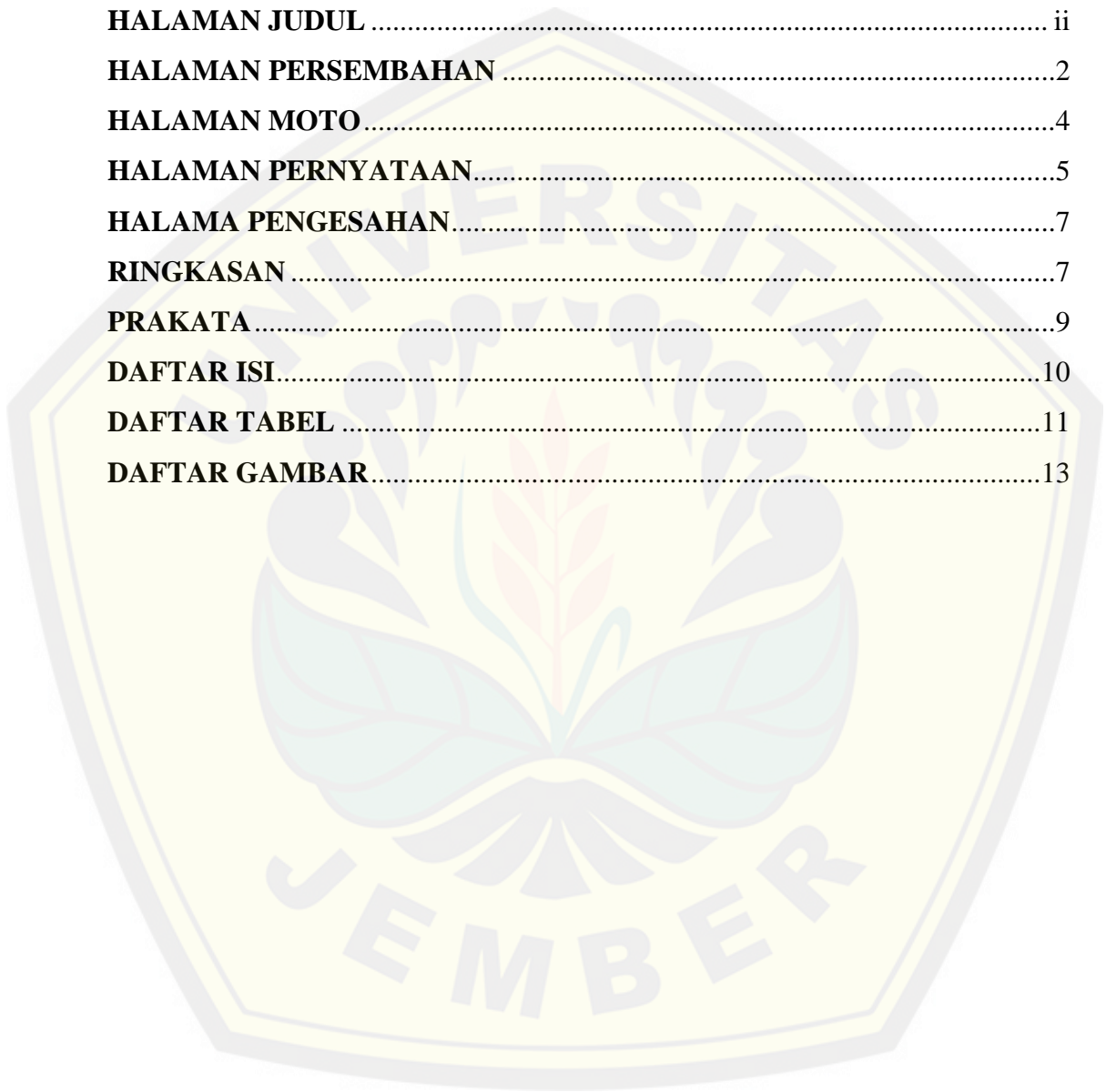
Penulis sadar bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga skripsi ini bermanfaat dan memberikan pengetahuan bagi siapapun yang membacanya.

Jember, Oktober 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	2
HALAMAN MOTO	4
HALAMAN PERNYATAAN	5
HALAMA PENGESAHAN	7
RINGKASAN	7
PRAKATA	9
DAFTAR ISI	10
DAFTAR TABEL	11
DAFTAR GAMBAR	13



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2. 1 Absorpsi maksimum kelompok betalain..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 2 Kandungan nutrisi daun kelor**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 3 Kandungan total klorofil berdasarkan ketinggian**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 4 Kandungan nutrisi tanaman kangkung darat..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 5 Kadar klorofil dalam daun Kangkung...**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 6 Kandungan senyawa aktif buaha belimbing wuluh ...**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 7 Kandungan senyawa buah dan daun asam jawa . **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 1 Pergeseran panjang gelombang ekstrak daun kelor dengan penambahan asam sulfat**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 2 Pergeseran panjang gelombang ekstrak daun kelor dengan penambahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 3 Pergeseran panjang gelombang ekstrak daun kangkung dengan penambahan asam sulfat.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 4 Pergeseran panjang gelombang ekstrak daun kangkung dengan penambahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 5 Pergeseran panjang gelombang belimbing wuluh dengan penambahan asam sulfat**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 6 Pergeseran panjang gelombang belimbing wuluh dengan penambahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 7 Pergeseran panjang gelombang asam jawa dengan penambahan asam sulfat**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4. 8 Pergeseran panjang gelombang buah asam jawa dengan penamabahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Tabel C. 1 Data absorbansi daun kelor dengan penambahan asam format.... **Error! Bookmark not defined.**

Tabel C. 2 Data absorbansi daun kangkung dengan penambahan asam format
.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel C. 3 Data absorbansi belimbing wuluh dengan penambahan asam format
.....**Error! Bookmark not defined.**

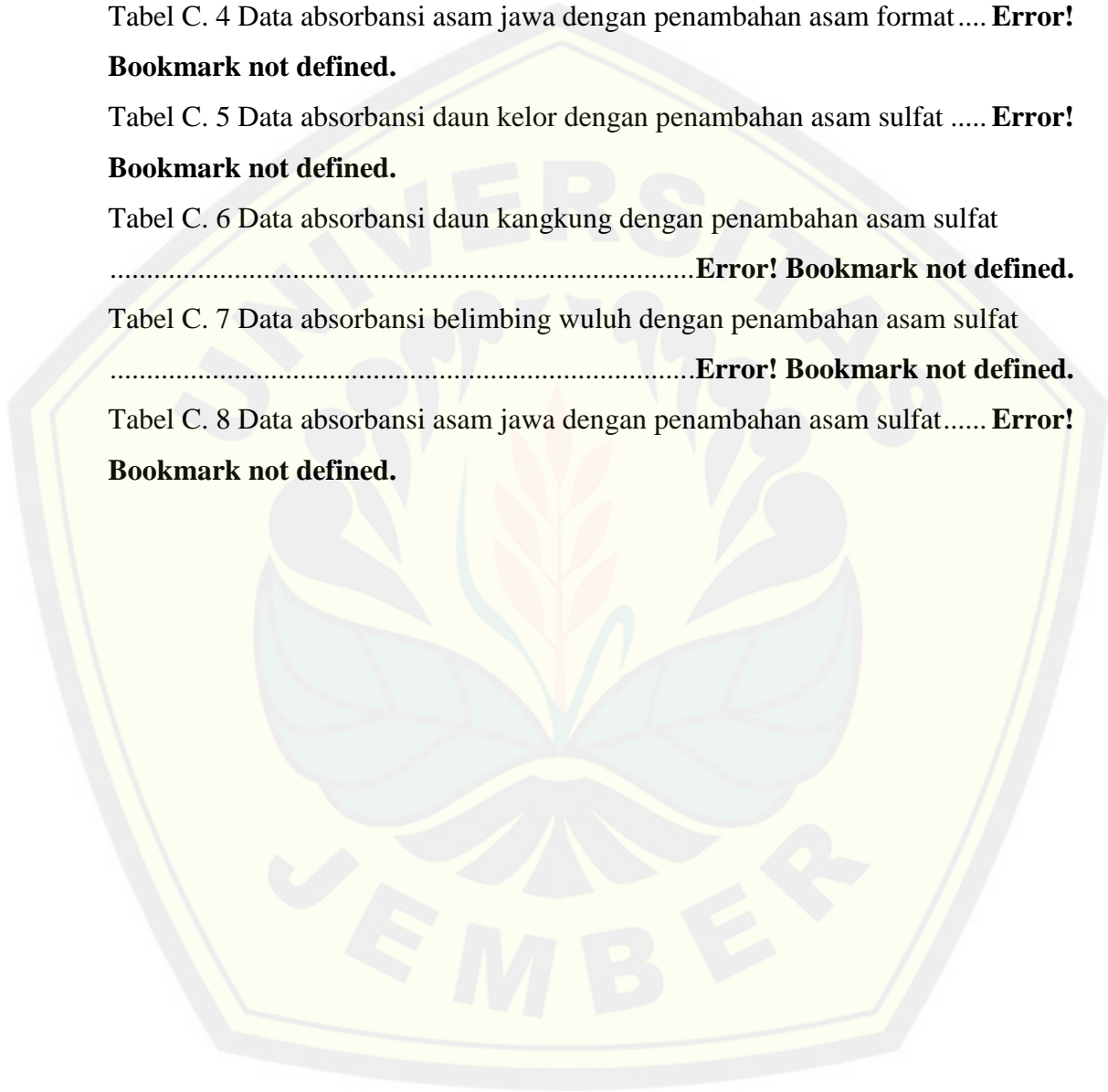
Tabel C. 4 Data absorbansi asam jawa dengan penambahan asam format.... **Error!
Bookmark not defined.**

Tabel C. 5 Data absorbansi daun kelor dengan penambahan asam sulfat **Error!
Bookmark not defined.**

Tabel C. 6 Data absorbansi daun kangkung dengan penambahan asam sulfat
.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel C. 7 Data absorbansi belimbing wuluh dengan penambahan asam sulfat
.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel C. 8 Data absorbansi asam jawa dengan penambahan asam sulfat..... **Error!
Bookmark not defined.**



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	19
Gambar 2. 2 Skema kerja <i>DSSC</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Nilai absrbansi dye ruthenium N719 dengan variasi konsentrasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 Struktur molekul dye N3, N719, dan black dye	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5 Mekanisme transfer elektron pada <i>natural dye</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 Struktur molekul a. Flavonoid b. Isoflavonoid c. Neoflavonoid	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Struktur molekul A. Flavonol, B. Flavon C. Dihydroflavonol, D. Flavan 3-oI, E. Flavonon, F. Antosianidin, G. Khalkon, H. Dihidrokhalkon, I. Auron.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 Struktur molekul: a. Sianidin, b. Antosianin...	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Struktur molekul: a. β -karoten, b. Xantofil, c. Karotenoid	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10 Struktur molekul: a. Klorofil-a, b. Klorofil-b	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11 Spektrum cahaya tampak dan sifat komplementernya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 12 Struktur molekul betalain	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 13 Nilai absorbansi daun pandan dengan variasi pelarut	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 14 Nilai absorbansi <i>Acanthus sennii chiov</i> dengan pelarut (a) etanol (b) <i>distiled water</i> dan etanol (c) <i>distiled water</i> dimana (I) HCl 3% (II) HCl 2% (III) HCl 1%	Error! Bookmark not defined.

- Gambar 2. 15 Nilai absorbansi *Euphorbia cotinifolia* dengan pelarut: a. Etanol, b. *distiled water* dimana (I) HCl 3% (II) HCl 2% (III) HCl 1%
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 16 Absorbansi buah pinang dengan variasi pH menggunakan HCl
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 17 Absorbansi wortel ungu dengan variasi pH menggunakan HCl
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 18 Absorbansi wortel ungu dengan variasi pH menggunakan
CH₃COOH.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 19 Daun kelor**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 20 Daun kangkung**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 21 Buah belimbing wuluh**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 22 Struktur molekul senyawa golongan tanin: A. flavan-3-ol ((+)-catechin), B. dimeric B-type proanthocyanidin, C. monogalloyl glucose.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 23 Buah asam jawa.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2. 24 Skema kerja *UV-Vis Spectroscopy double beam* .**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 1 Absorbansi dye ekstrak daun kelor dan daun kangkung tanpa penambahan asam**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 2 Absorbansi dye ekstrak asam jawa dan buah belimbing wuluh tanpa penambahan asam 24
- Gambar 4. 3 Pola absorbansi dye ekstrak daun kelor berdasarkan variasi pH menggunakan: a.H₂SO₄ dan b.CH₂O₂..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 4 Pola absorbansi dye ekstrak daun kangkung dengan variasi pH menggunakan: a.H₂SO₄ dan b.CH₂O₂..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4. 5 Pola absorbansi dye ekstrak buah belimbing wuluh dengan variasi pH menggunakan: a.H₂SO₄ dan b.CH₂O₂..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 6 Pola absorbansi dye ekstrak buah asam jawa dengan variasi pH menggunakan: a.H₂SO₄ dan b.CH₂O₂..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 1 Hasil UV-Probe dye daun kelor dengan penambahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 2 Hasil UV-Probe dye daun kelor dengan penambahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 3 Hasil UV-Probe dye belimbing wuluh dengan penambahan asam format.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 4 Hasil UV-Probe dye asam jawa dengan penambahan asam format**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 5 Hasil UV-Probe dye daun kelor dengan penambahan asam sulfat**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 6 Hasil UV-Probe dye daun kelor dengan penambahan asam sulfat**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 7 Hasil UV-Probe dye belimbing wuluh dengan penambahan asam sulfat.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar B. 8 Hasil UV-Probe dye asam jawa dengan penambahan asam sulfat**Error! Bookmark not defined.**

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi matahari merupakan sumber energi alternatif yang menjanjikan karena tersedia melimpah dan merupakan sumber energi terbarukan. Pemanfaatan energi matahari membutuhkan suatu divais yang disebut sel surya. Perkembangan sel surya terbagi menjadi tiga generasi yaitu generasi pertama sel surya silikon kristal, generasi kedua sel surya *thin film*, dan generasi ketiga yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Sel surya silikon kristal merupakan sel surya yang dibuat menggunakan *monocrystalline silicon* atau *polycrystalline silicon*. Sel surya *monocrystalline silicon* mempunyai nilai efisiensi tertinggi diantara sel surya lain yaitu mencapai 25%. Kekurangan sel surya berbasis silikon kristal adalah biaya produksi yang tinggi untuk menghasilkan satu divais sel surya (Wang *et al*, 1990). Sel surya generasi kedua merupakan sel surya lapisan tipis (*thin film*), penggunaan metode lapisan tipis adalah untuk mengurangi biaya produksi. *Thin film solar cell* umumnya dibuat dari *amorphous silicon* (a-Si), *Cadmium Telluride* (Cd-Te), dan *Copper-Indium-Selenide* (CIS). Efisiensi maksimum yang mampu dihasilkan oleh *thin film solar cell* sebesar 15% (Grenn *et al*, 2011). *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah sel surya generasi ketiga yang bekerja berdasarkan prinsip *photosensitization* dari dye (zat warna) yang menempel pada permukaan semikonduktor dengan *band gap* yang lebar. Performa DSSC sangat bergantung pada jenis dye yang digunakan, DSSC menggunakan dye ruthenium bipyridyl menghasilkan efisiensi tertinggi mencapai 11%-12%, tetapi kekurangan dye ruthenium bipyridyl yaitu harga yang mahal, proses pembuatan yang rumit, serta ruthenium sendiri yang bersifat beracun dalam jumlah yang banyak dan bentuk tertentu sehingga tidak ramah lingkungan dan sulit untuk pengaplikasian lebih luas (Haryanto *et al*, 2014, Syafinar *et al*, 2015). Untuk mengatasi hal tersebut maka penggunaan dye sudah beralih ke natural dye yang berasal dari bahan alami.

Natural dye biasanya berasal dari bahan alami seperti daun, buah, dan akar tanaman. Natural dye memiliki keunggulan yaitu ramah lingkungan, tersedia secara melimpah, dan proses ekstraksi yang mudah sehingga natural dye dapat digunakan untuk photosensitizer meskipun

efisiensi yang dihasilkan masih jauh dari dye ruthenium bipyridyl complex (Oluwaseun *et al*, 2016).

Beberapa metode ekstraksi natural dye yang telah digunakan akan diuraikan sebagai berikut. Pada penelitian Chang *et al* (2010), daun bayam dan daun *ipomoea* digunakan sebagai bahan *natural dye*. Daun bayam dan daun *ipomoea* segar direndam dalam pelarut etanol kemudian dipanaskan secara tidak langsung dalam air mendidih untuk mengekstrak kandungan klorofilnya. Pada penelitian Hemalatha *et al* (2012), *natural dye* diekstrak dari bunga *K. Japonica* dan bunga *R. Chinensis*, bahan dikeringkan dalam *furnace* selama 10 jam pada suhu 65 °C kemudian ditumbuk menggunakan mortar sampai menjadi serbuk, selanjutnya 1 g bahan dilarutkan dalam 60 ml etanol dan disimpan selama 2 hari dalam ruang gelap untuk menghindari terjadinya fotodegradasi. Radwan (2015), melakukan percobaan menggunakan *natural dye* yang diekstrak dari wortel ungu dengan kandungan pigmen antosianin, kemudian dilakukan variasi pH dengan nilai (pH=7.4, pH = 5.8, pH = 4.8, pH = 3.8, pH = 2.8) untuk jenis asam HCl dan variasi pH (pH = 7.4, pH = 6.4, pH = 5.0, pH = 3.6, pH = 2.1, pH = 1.0) untuk jenis asam CH₃COOH. Metode ekstraksi yang digunakan yaitu 1 g serbuk wortel ungu dilarutkan dalam 10 ml etanol, kemudian HCl ditambahkan untuk menurunkan nilai pH dengan variasi (pH = 7.4, pH = 5.8, pH = 4.8, pH = 3.8, pH=2.8) selanjutnya dye disimpan dalam ruang gelap selama 24 jam. Proses yang sama dilakukan untuk jenis asam CH₃COOH. Sebanyak 1 g serbuk wortel ungu dilarutkan dalam 10 ml etanol kemudian CH₃COOH ditambahkan untuk menurunkan nilai pH dengan variasi (pH = 7.4, pH = 6.4, pH = 5.0, pH = 3.6, pH= 2.1, pH = 1.0). Hasil percobaan Radwan (2015), menunjukkan semakin rendah nilai pH semakin kecil nilai absorbansi yang dihasilkan baik untuk jenis asam CH₃COOH maupun jenis asam HCL. Ludin *et al* (2018), melakukan percobaan menggunakan *natural dye* yang diekstrak dari daun jahe dan bunga *clitoria ternatea* dengan variasi pelarut yaitu *ethyl ether*, *n-hexane*, air, *n-butyl*, *ethyl acetate*, *acetone*, *acetonitrile*, *chloroform*, metanol, dan etanol. Metode ekstraksi yang digunakan yaitu daun jahe dikeringkan dalam oven, kemudian kedua bahan digiling sampai menjadi serbuk. Bahan dalam bentuk serbuk kemudian dilarutkan dalam pelarut yaitu *ethyl*

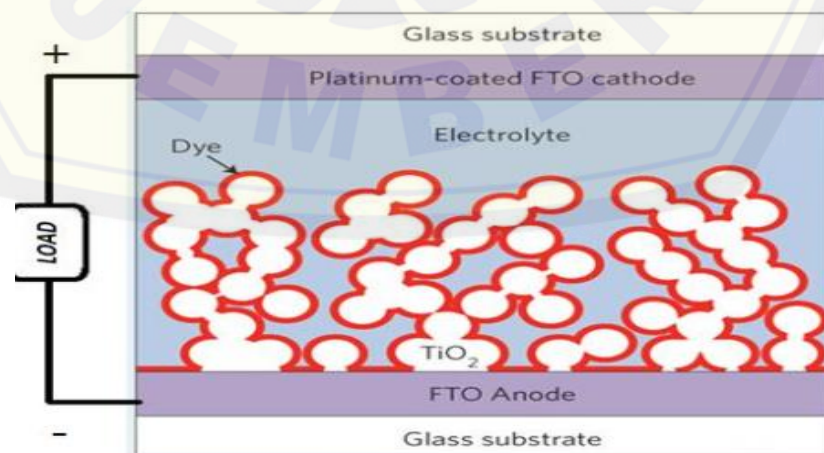
*ether, n-hexane, air, n-butyl, ethyl acetate, acetone, acetonitrile, chloroform, metanol, dan etanol. Hasil percobaan Ludin et al (2018), menunjukkan bahwa nilai absorbansi tertinggi untuk dye yang diekstrak dari daun jahe dan bunga *clitoria ternatea* dengan menggunakan pelarut etanol.*

Berdasarkan referensi di atas maka pada penelitian ini dilakukan ekstraksi pada buah asam jawa dan buah belimbing wuluh, dan daun kangkung serta daun kelor untuk dijadikan *natural dye*. Bahan tersebut dikeringkan menggunakan oven kemudian ditumbuk menggunakan mortar sampai menjadi serbuk. Tahap selanjutnya bahan dilarutkan dalam etanol. Nilai pH larutan divariasikan mulai dari pH alami larutan hingga pH = 1. Untuk daun kelor dan daun kangkung pH alami larutan adalah 6 sehingga variasi (pH = 6.0, pH = 5.0, pH=4.0, pH = 3.0, pH= 2.0, pH = 1.0). Buah belimbing memiliki pH = 2.6 sehingga variasi pH buah belimbing adalah (pH = 2.6, pH = 2.0, pH = 1.5, pH=1.0), dan variasi pH asam jawa yaitu (pH = 3.7, pH = 3.0, pH = 2.5, pH = 2.0, pH = 1.5, pH = 1.0) dikarenakan asam jawa memiliki pH = 3.7. Variasi pH dilakukan dengan menggunakan dua jenis asam yaitu H_2SO_4 dan CH_2O_2 yang ditambahkan secara terpisah. Dye hasil ekstraksi akan diuji menggunakan *UV-Vis spectroscopy* untuk mengetahui pola absorbansi, serapan panjang gelombangnya, serta mengetahui pengaruh variasi pH yang dikondisikan dengan jenis asam yang berbeda terhadap pola absorbansi yang dihasilkan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*

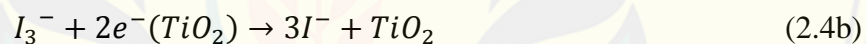
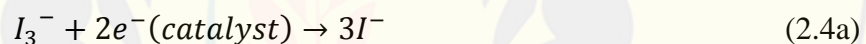
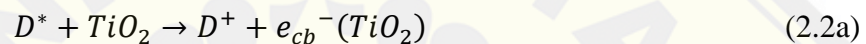
Dye Sensitized Solar Cell atau yang biasa dikenal dengan *DSSC* merupakan sel surya generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Grätzel dan Brian O'Regan tahun 1991. Prinsip kerja dari *DSSC* berbeda dengan sel surya berbasis silikon kristal, dimana proses penyerapan cahaya dan transfer elektron dilakukan oleh bagian yang berbeda. *DSSC* mampu mengubah cahaya tampak menjadi listrik melalui proses *photosensitization* dari dye yang menempel pada permukaan semikonduktor yang memiliki *band gap* lebar (Grätzel & Brian, 1991). *DSSC* mempunyai beberapa keunggulan antaranya biaya pembuatan yang lebih murah, dapat bekerja pada keadaan minim cahaya, mempunyai spektrum serapan yang lebar, serta dye dapat dibuat menggunakan bahan organik (Gong *et al*, 2017). *DSSC* terdiri dari 4 bagian utama yaitu elektroda kerja (anoda), dye, larutan elektrolit, dan *counter electrode* (katoda) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Elektroda kerja yang terdiri dari FTO dan semikonduktor berfungsi sebagai penghantar elektron yang tereksitasi, sementara itu dye berperan sebagai *photosensitizer* atau penghasil elektron. Larutan elektrolit berfungsi sebagai mediator elektron antara anoda dan katoda dengan pasangan redoks I_3^-/I^- sedangkan *counter electrode* berfungsi sebagai penghasil ion I^- untuk meregenerasi elektron yang tereksitasi dari dye (Grätzel, 2004).



Gambar 2.1 *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* (sumber: Radwan, 2015)

Arus pada *DSSC* timbul saat cahaya diserap oleh molekul dye yang melekat pada permukaan semikonduktor TiO_2 sehingga elektron pada molekul dye tereksitasi dan terinjeksi menuju pita konduksi semikonduktor TiO_2 yang kemudian mengalir pada loop eksternal menuju beban dan *counter electrode*. Larutan elektrolit berfungsi sebagai jembatan untuk mengembalikan elektron pada molekul dye agar kembali seperti semula melalui reaksi redoksi Iodin dan Triiodida (Grätzel, 2004).

Secara lengkap Calogero *et al* (2012), menjabarkan skema kerja dari *DSSC* berdasarkan reaksi terhadap cahaya dan reaksi redoks yang terjadi:



Dye menyerap cahaya dengan energi sebesar (hv) sehingga elektron dapat tereksitasi menuju keadaan (D^*) seperti pada persamaan (2.1), tingkat energi tereksitasi dye harus lebih tinggi dari energi pita konduksi (cb) semikonduktor TiO_2 . Elektron yang tereksitasi akan terinjeksi menuju semikonduktor TiO_2 seperti persamaan (2.2a). Reaksi deaktivasi (2.2b) akan muncul saat terjadi injeksi elektron menuju semikonduktor TiO_2 . Elektron akan mengalir melalui loop eksternal menuju *counter electrode* dan melalui larutan elektrolit. Saat melalui larutan elektrolit maka terjadi reaksi redoks iodin (2.4a) dan transfer elektron menuju dye. Oksidasi iodida (2.3a) dan redoks iodin (2.4a) harus mampu mencegah terjadinya laju rekombinasi (2.3b) dan (2.4b) agar dihasilkan arus yang maksimum. Pasangan redoks I_3^-/I^- dalam pelarut organik berfungsi sebagai pembawa muatan elektron agar terjadi regenerasi elektron dye. Siklus elektron dapat terus berlangsung asalkan reaksi redoks mampu mencegah terjadinya laju

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dan di Laboratorium Tanah Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Jember. Penelitian dimulai bulan Februari 2019 sampai Juli 2019. Kegiatan penelitian meliputi kajian kepustakaan, tahap persiapan yaitu: pengumpulan bahan, tahap eksperimen pembuatan *natural dye* sebagai bahan *photosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dan tahap karakterisasi untuk mendapatkan hasil.

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian Pengaruh Variasi pH terhadap Pola Absorbansi Berbagai *Natural Dye* Sebagai Bahan *photosensitizer Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* akan dilakukan secara eksperimen. Tahapan utama pembuatan dye yaitu ekstraksi bahan alami. Sebelum bahan diekstrak bahan dikeringkan dalam oven, kemudian ditumbuk menggunakan mortar keramik, setelah itu proses perendaman bahan dalam pelarut dan pengadukan (ekstraksi), terakhir proses penyimpanan. *Natural dye* hasil ekstraksi kemudian dikarakterisasi menggunakan alat *UV-Vis spectroscopy* untuk mengetahui pola absorbansinya.

Tahapan awal penelitian dimulai dengan kajian kepustakaan mengenai bahan dan jenis pigmen yang dapat digunakan sebagai *natural dye*, jenis pelarut yang digunakan, serta metode ekstraksi agar dye yang dihasilkan mampu menjadi *photosensitizer* yang baik, serta karakterisasi *UV-Vis spectroscopy spectroscopy*. Tahap selanjutnya mempersiapkan alat dan bahan yang meliputi cawan petri, cawan porselin, erlenmeyer, gelas ukur, gelas beaker, indikator pH universal, spatula kaca, timbangan digital, oven, *magnetic stirrer*, mortar keramik, pipet tetes, pipet ukur, *UV-Vis spectroscopy*, bahan yang digunakan yaitu daun kangkung, buah asam jawa, daun kelor, dan buah belimbing wuluh, etanol, asam sulfat (H_2SO_4) dan Asam format (CH_2O_2) untuk menaikkan kadar keasaman larutan dye. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.1.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini akan dibagi menjadi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol sebagai berikut:

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bahan alam yang diekstrak menjadi dye, nilai pH dye, dan jenis asam yang digunakan. Bahan alami yang digunakan untuk membuat dye yaitu daun kangkung, buah asam jawa, daun kelor, dan buah belimbing wuluh. Jenis asam yang akan ditambahkan adalah asam sulfat dan asam format. Nilai pH akan divariasikan dari pH alami larutan sampai pH = 1.0.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat penelitian ini adalah hasil karakterisasi *UV-Vis spectroscopy* berupa nilai absorbansi. Nilai absorbansi dapat berubah berdasarkan perubahan nilai pH yang dikondisikan dengan jenis asam berbeda.

3.4.3 Variabel Kontrol

Pada penelitian ini variabel kontrol yang digunakan adalah :

1. Temperatur pengeringan bahan pada 100 °C
2. Waktu pengeringan selama 5 jam (daun kangkung, buah belimbing wuluh dan daun kelor), dan selama 10 jam (buah asam jawa)
3. Waktu penumbukan selama 2 jam
4. Suhu ekstraksi (suhu ruang)
5. Nilai pH awal larutan sesuai nilai pH alami bahan saat dilarutkan dalam etanol (untuk kelor dan kangkung pH = 6.0 , untuk belimbing pH = 2.6, dan untuk asam jawa memiliki pH = 3.7)
6. Konsentrasi larutan dye (0,05 g /ml)
7. Waktu penyimpanan selama 24 jam
8. Jenis pelarut yang digunakan hanya etanol
9. Tebal kuvet yang digunakan untuk karakterisasi sebesar 1 cm
10. Alat *UV-Vis spectroscopy* yang digunakan tipe *double beam*.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Dye ekstrak daun kangkung dan daun kelor mempunyai pola absorbansi yang sama yaitu memiliki tiga puncak absorbansi dan rentang serapan pada panjang gelombang (400–700) nm. Semakin lebar serapan panjang gelombang maka semakin banyak spektrum cahaya yang mampu diserap oleh dye sehingga dapat menghasilkan efisiensi yang optimum. Absorbansi menggambarkan jumlah cahaya yang terserap oleh dye sehingga semakin banyak jumlah cahaya (foton) yang terserap maka jumlah elektron tereksitasi dan terinjeksi menuju anoda lebih banyak dan arus yang dihasilkan pada *DSSC* semakin besar. Semakin besar arus yang dihasilkan oleh *DSSC* maka efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya akan lebih baik apabila dilakukan analisis terhadap energi gap dan koefisien absorpsi masing-masing *natural dye* sehingga dapat diperkirakan berapa besar efisiensi *DSSC* yang dapat dihasilkan oleh masing-masing *natural dye*.

DAFTAR PUSTAKA

Jurnal

- Abodunrin, T. J., O. Obafemi, A. O. Boyo, T. Adebayo, R. Jimoh. 2015. The Effect of Electrolyte on Dye Sensitized Solar Cells using Natural Dye from Mango (*M. indica* L.) Leaf as Sensitizer. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, 5: 205-213.
- Al-Alwani, M. A. M, A. B. Mohamad, A. A. H. Kadhum, N. A. Ludin, N. E. Safie, M. Z. Razali, M. Ismail, K. Sopian. 2017. Natural Dye Extracted from Pandanus Amaryllifolius Leaves as Sensitizer in Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cells. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 12: 747 – 761.
- Alhamed, M., A. S. Issa, A. W. Doubal. 2012. Studying of Natural Dyes Properties as Photo-Sensitizer for Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Journal of Electron Devices*, 16: 1370-1383.
- Andayani, R., S. Chismirina, I. Kumalasari. 2014. Pengaruh Ekstrak Buah Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi*) terhadap Interaksi Streptococcus Sanguinis dan Streptococcus Mutans Secara In Vitro. *Cakradonya Dent J*, 6(2):678-744.
- Armstrong, G. A., J. E. Hearst. 1996. Genetics and Molecular Biology of Carotenoid Pigment Biosynthesis. *FASEB J.*, 10: 228-237.
- Ayalew, W.A., D. W. Ayele. 2016. Dye-Sensitized Solar Cells Using Natural Dye as Light-Harvesting Materials Extracted from *Acanthus Sennii* Chiovenda Flower and *Euphorbia Cotinifolia* Leaf. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 1: 488-494.
- Calogero, G., J.H. Yum, A. Sinopoli, G. Di Marco, M. Grätzel, M. K. Nazeeruddin. 2012. Anthocyanins and Betalains as Light-Harvesting Pigments for Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energy*, 86: 1563–1575.
- Chang, H., H.M. Wu, T.L. Chen, K.D. Huang, C.S. Jwo, Y.J. Lo. 2010. Dye-sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted from Spinach and Ipomoea. *Journal Of Alloys And Compounds*, 495: 606-610.
- Cherepy, N. J., G. P. Smestad, M. Grätzel, J. Z. Zhang. 1997. Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-Sensitized TiO₂ Nano-Crystalline Electrode. *Journal of Physical Chemistry*, 101: 9342–51.

- Cho, Y., W. Choi, L. Chung-Hak., T. Hyeon, L. Ho-In. 2001. Visible Light-Induced Degradation of Carbon Tetrachloride on Dye-Sensitized TiO₂. *Journal of Environmental Science and Technology*, 35: 966–970.
- Chowdhury, S.S, G. M. Uddin, N. Mumtahana, M. Hossain, S.M. R. Hasan. 2012. N-Vitro Antioxidant And Cytotoxic Potential of Hydromethanolic Extract of Averrhoa Bilimbi L. Fruits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 3(7): 2263-2268.
- Dobrzański, L.A., M.M. Szindler, M. Szindler, A. Dudek, K. Krawiec. 2015. The influence of natural and synthetic dyes on the absorbance of nanocrystalline TiO₂ used in dye sensitized solar cells. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 69 (2): 53-58.
- Fahrunnida dan R. Pratiwi. 2015. Kandungan Saponin Buah, Daun dan Tangkai Daun Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi L.). *Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*: 220-224.
- Fajri, R. Rahmatu, N. Alam. 2018. Kadar Klorofil dan Vitamin C Daun Kelor (*Moringa Oleifera* Lam) dari Berbagai Ketinggian Tempat Tumbuh. *Agrotekbis*, 6 (2) : 152 – 158.
- Godibo D. J., S. T. Anshebo, T. Y. Anshebo. 2015. Dye Sensitized Solar Cells Using Natural Pigments from Five Plants and Quasi-Solid State Electrolyte. *J. Braz. Chem. Soc.*, 26 (1): 92-101.
- Gong, J., K. Sumathy, Q. Qiao, Z. Zhou. 2017. Review on Dye-sensitized Solar Cells (DSSCs): Advanced Techniques and Research Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68: 234–246.
- Gopalakrishnan, L., K. Doriy, D. S. Kumar. 2016. Moringa Oleifera: A Review on Nutritive Importance and Its Medicinal Application. *Food Science and Human Wellness*, 5: 49–56.
- Grätzel, M., B. O'Reagen. 1991. A low-cost, High-efficiency Solar Cell Based on Dye-sensitized Colloidal TiO₂ Film. *Letter to Nature*, 353: 737-740.
- Grätzel, M. 2004. Conversion of Sunlight to Electric Power by Nanocrystalline Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 164: 3–14.
- Green, M., K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. Dunlop. 2011. Solar cell efficiency tables version 39. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 20 (1) : 12-20.

- Hamadani, M., J. Safaei-Ghomi, M. Hosseinpour, R. Masoomi, V. Jabbari. 2014. Uses of New Natural Dye Photosensitizers in Fabrication of High Potential Dye-sensitized Solar Cells (DSSCs). *Materials Science in Semiconductor Processing*, 27: 733–739.
- Hardani, H., M. I. Darmawan, Cari, A. Supriyanto. 2016. Pengaruh Konsentrasi Ruthenium (N719) sebagai Fotosensitizer dalam Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Transparan. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 12 (3): 104-108.
- Hardeli, S., Riky, Fernando T, Maulidis, S. Ridwan. 2013. Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*: 155-161.
- Haryanto, D. A., S. Landuma, A. Purwanto. 2014. Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) using Annato Seeds (*Bixa orellana* Linn). *Nanoscience and Nanotechnology Symposium AIP Conf. Proc*, 1586 : 104-108.
- Hemalatha K.V., S.N. Karthick, C. Justin Raj, N.-Y. Hong, S.-K. Kim, 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 : 305–309.
- Hug, H., M. Bader, P. Mair, T. Glatzel. 2014. Biophotovoltaics: Natural Pigments in Dye-Sensitized Solar Cells. *Applied Energy*, 115: 216–225.
- Isnain, W. dan Nurhaedah M. 2017. Ragam Manfaat Tanaman Kelor (*Moringa Oleifera* Lamk.) Bagi Masyarakat. *Info Teknis EBONI*, 14 (1): 63 – 75.
- Karki, I.B., J.J. Nakarmi, P.K. Mandal, S. Chatterjee. 2012. Absorption Spectra of Natural Dyes and Their Effect on Efficiency of ZnO Based Dye-Sensitized Solar Cells. *Nepal Journal of Science and Technology*, 13 (1): 179-185.
- Karon, B., M. Ibrahim, A. Mahmood, A. K. M. M. Huq, M. M. U. Chowdhury, Md. A. Hossain, M. A. Rashid. Preliminary Antimicrobial, Cytotoxic and Chemical Investigations of *Averrhoa Bilimbi* Linn and *Zizyphus Mauritiana* Lam. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 14 (2): 127-131.
- Ludin¹, N. A, M. A. M. Al-Alwani, A. B. Mohamad, A. A. H. Kadhum, N. H. Hamid, M. A. Ibrahim, M. A. M. Teridi¹, T. M. A. Al-Hakeem, A. Mukhlus, K. Sopian. 2018. Utilization of Natural Dyes from *Zingiber Officinale* Leaves and *Clitoria Ternatea* Flowers to Prepare New Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Cells. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 13: 7451 – 7465.

- Luo, P., H. Niu, G. Zheng, X. Bai, M. Zhang, W. Wang. 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*: 1-22.
- Martínez, A. R. H., S. Vargas, M. Estevez, R. Rodríguez. 2010. Dye-sensitized Solar Cells from Extracted Bracts *Bougainvillea* Betalain Pigments. *1st International Congress on Instrumentation and Applied Science*: 26-29.
- Meng, S., J. Ren, E. Kaxiras. 2008. Natural Dyes Adsorbed on TiO₂ Nanowire for Photovoltaic Applications: Enhanced Light Absorption and Ultrafast Electron Injection. *Nano Letters*, 8 (10): 3266-3272.
- Munim, A., E.Hanani, Rahmadiyah. 2009. Karakterisasi Ekstrak Etanolik Daun Asam Jawa (*Tamarindus Indica* L.). *Majalah Ilmu Kefarmasian*, 6 (1): 38-44.
- Najm, A. S., A. B. Mohamad, N. A. Ludin. 2017. The Extraction and Absorption Study of Natural Dye from *Areca Catechu* for Dye Sensitized Solar Cell Application. *The 1st UKM-ISESCO-COMSATS International Workshop on Nanotechnology for Young Scientists (IWYS2016) AIP Conf. Proc.*, 1838: 1-7.
- Oka, A.A. 2007. Pengaruh Pemberian Pupuk Kascing Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea Reptans* Poir). *J. Sains MIPA*, 13(1): 26 – 28.
- Oluwaseun, A., T. Kamil, A. A. Oladiran. 2016. Review on Natural Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *International Journal Of Engineering Technologies*, 2 (2) : 34-41.
- Pratiwi, D. D., F. Nurosyid, A. Supriyanto, R. Suryana. 2016. Optical properties of natural dyes on the dyesensitized solar cells (DSSC) performance. *Journal of Physics: Conference Series*, 776 (1) : 1-6.
- Pratiwi, D.D., F Nurosyid, Kusumandari, A Supriyanto and 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) : 1-6.
- Ramelan, A.H., S. Wangyuningsih, S. Saputro, E. Supriyanto, Q.A, Hanif. 2017. TiO₂ Nanostructure Synthesized by Sol-Gel for Dye Sensitized Solar Cells as Renewable Energy Source. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 176: 1-7.

- Ryan, M. 2009. Progress in Ruthenium Complexes for Dye Sensitized Solar Cells. *Platinum Metals Rev.*, 53 (4): 216–218.
- Saputra, O. dan N. Anggraini. 2016. Khasiat Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L.) terhadap Penyembuhan Acne Vulgaris. *Majority*, 5 (1): 76-80.
- Siddique, K. I., M. N. Uddin, S. Islam, S. Parvin, M. Shahriar. (2013). Phytochemical screenings, thrombolytic activity and antimicrobial properties of the bark extracts of *Averrhoa bilimbi*. *J App Pharm. Sci.*, 3 (03): 094-096.
- Syafinar, R., N. Gomesh, M. Irwanto, M. Fareq, Y.M. Irwan. 2015. Chlorophyll Pigments as Nature Based Dye for Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). *Energy Procedia*, 79: 896 – 902.
- Tadesse, S., A. Abebe, Y. Chebude, I.V. Garcia, T. Yohannes. 2012. Natural Dye-Sensitized Solar Cells using Pigments Extracted from *Syzygium Guineense*. *Journal of Photonics for Energy*, 2: 1-10.
- Tennakone, K., G.R.R.A. Kumara, A.R. Kumarasinghe, P.M. Sirimanne, K.G.U. Wijayantha. 1996. Efficient photosensitization of nanocrystalline TiO_2 films by tanins and related phenolic substances. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 94: 217-220.
- Wang, A., J. Zhao, M. Green. 1990. 24% efficient silicon solar cells. *Applied Physics Letters*, 57 (6): 605-607.
- Wang, X. F., O. Kitao, E. Hosono, H. Zhou, S. Sasaki, H. Tamiaki. 2010. TiO_2 and ZnO-Based Solar Cells using Chlorophyll a Derivative Sensitizer for Light-Harvesting and Energy Conversion. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 210: 145–152.
- Wibowo, H.Y dan Sitawati. 2017. Respon Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea Reptans* Poir) dengan Interval Penyiraman pada Pipa Vertikal. *Plantropical Journal of Agricultural Science*, 2 (2): 148-154.
- Wongcharee, K., V. Meeyoo, S. Chavadej. 2007. Dye-sensitized Solar Cell using Natural Dyes Extracted from Rosella and Blue Pea Flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91: 566–571.
- Yuniarni, U., S.Hazar, W. Oktiwilianti, R. Choesrina. 2015. Aktivitas Antiinflamasi Ekstrak Etanol Buah dan Daun Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Serta Kombinasinya pada Tikus Jantan Galur Wistar. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM Kesehatan*, 1 (1): 83-88.

Zhang, D., S. M. Lanier, J. A. Downing, J. L. Avent, J. Lum, J. L. McHale. 2008. Betalain Pigments for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195: 72–80.

Skripsi/Thesis

Radwan, I.M. 2015. Dye Sensitized Solar Cells Based on Natural Dyes Extracted from Plant Roots. *Thesis*. Gaza: Department of Physics Faculty of Science Deanery of Higher Studies Islamic University of Gaza.

Rahmi, N. 2017. Kandungan Klorofil pada Beberapa Jenis Tanaman Sayuran sebagai Pengembangan Praktikum Fisiologi Tumbuhan. *Skripsi*. Banda Aceh: Fakultas Tarbiyah Dan Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

Liu, Xueyang. 2014. TiO₂ Crystal Nanorods and Their Application in Dye-Sensitized Solar Cells. *Thesis*. Victoria: Deakin University.

Buku

Anonim. 2009. *Introduction to Ultraviolet-Visible Spectroscopy*. London: Royal Society of Chemistry.

Grotewold, E. 2006. *The Science of Flavonoid*. Columbus: Springer.

Harborne, J.B. 1996. *Metode Fotokimia Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*. Bandung: Institute Teknologi Bandung.

Kumar, Subodh. 2006. *ORGANIC CHEMISTRY: Spectroscopy of Organic Compounds*. Amritsar: Departement Chemistry of Guru Nanak University.

Matsumoto, K., R. Yanagi, Y. Oe. 2018. *Recent Advances in the Synthesis of Carboxylic Acid Esters*. Osaka: Intech Open.

Sastrohamidjojo, H. 1991. *Dasar-Dasar Spektroskopi*. Yogyakarta: Liberty.

Siengalewicz, P., J. Mulzer, U. Rinner. 2014. *Synthesis of Esters and Lactones*. Vienna: University of Vienna.

Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis Dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Lampung: AURA.

Simbolan, J. M. dan Katharina, N. 2007. *Cegah Malnutrisi dengan Kelor*. Yogyakarta: Kanisius.

Vihakas, M. 2014. *Flavonoids and Other Phenolic Compounds: Characterization and Interactions with Lepidopteran and Sawfly Larvae*. Turku: Painosalama Oy.

Internet

Noya, A. B. I. 2018. *Manfaat Asam Jawa Tidak Seasam Rasanya*.
<https://www.alodokter.com/manfaat-asam-jawa-tidak-seasam-rasanya>.
[Diakses pada 12 Agustus 2019].

Pratama, A. 2017. *Inilah 5 Manfaat Belimbing Wuluh, Tak Hanya untuk Bumbu Masakan*.
<https://www.grid.id/read/04172225/inilah-5-manfaat-belimbing-wuluh-tak-hanya-untuk-bumbu-masakan?page=all>. [Diakses pada 12 Agustus 2019].

Sulaeman, A. 2018. *Daun Kelor Terkenal Lewat Ungkapan Punya Manfaat Menjanjikan, Termasuk Jadi Azimat Kesaktian*.
<https://intisari.grid.id/read/031276366/daun-kelor-terkenal-lewat-ungkapan-punya-manfaat-menjanjikan-termasuk-jadi-azimat-kesaktian?page=all>.
[Diakses pada 12 Agustus 2019].

Yuli. 2014. *Khasiat dan Manfaat Tanaman Kangkung*.
<https://www.carakhasiatmanfaat.com/artikel/khasiat-dan-manfaat-kangkung.html>. [Diakses pada 12 Agustus 2019].