



**EKSTRAKSI JANTUNG PISANG UNTUK FABRIKASI *DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* MENGGUNAKAN IRADIASI GELOMBANG MIKRO**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika**

oleh

Laras Ati

4211415035

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2020**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 23 Desember 2019

Pembimbing



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

NIP. 19741120 199903 1 003

## PERNYATAAN

Dengan ini, saya

Nama : Laras Ati

NIM : 4211415035

Program studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Ekstraksi Jantung Pisang untuk Fabrikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro” ini benar-benar karya saya sendiri bukan jiplakan dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang atau pihak lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya secara pribadi siap menanggung resiko/sanksi hukum yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.



Semarang, 30 Desember 2019

Laras Ati

4211415035

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Ekstraksi Jantung Pisang untuk Fabrikasi *Dye-Sensitized Solar Cell*  
menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro

disusun oleh

Laras Ati

4211415035

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada  
tanggal 30 Desember 2019.



**Dr. Sugianto, M.Si.**

NIP. 196102191993031001

Penguji I

**Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S.**

NIP. 196308211988031004

Sekretaris

**Dr. Suharto Linuwih, M.Si.**

NIP. 196807141996031005

Penguji II

**Dr. Budi Astuti, M.Sc.**

NIP. 197902162005012001

Pembimbing

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

NIP. 196102191993031001

## **PERSEMBAHAN**

*Kupersembahkan skripsi ini untuk Allah SWT sebagai bentuk pengabdian dan rasa bersyukur; Ibu, almarhum Ayah, serta Bapak Sri Mulyono sebagai rasa hormat atas segala rasa kasih sayang, cinta, dan pengorbanannya; teman seperjuangan Fisika sebagai rasa terima kasih atas pengalaman menyenangkan dan menyedihkan selama masa perkuliahan*

## **MOTTO**

- *Jagalah alam niscaya alam akan menjaga kita (PALAFI)*
  - *Tetaplah maju sekalipun harus merangkak*
  - *Tidak ada tetes keringat kita yang sia-sia begitu saja*
- *Niatkan segala sesuatunya untuk kebahagiaan orangtua dan keluarga, niscaya Allah akan mempermudah jalan kita*

## **PRAKATA**

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Ekstraksi Jantung Pisang untuk Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro".

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan tenaga, pikiran, sarana, dan dana dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Prof. Fathur Rohman, M.Hum., selaku rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Sugianto, M.Si., selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., selaku ketua Jurusan Fisika yang telah menyemangati dan membina mahasiswa fisika.
4. Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T. selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran serta meluangkan waktu memberikan masukan, saran dan motivasi selama penyusunan skripsi.
5. Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S. selaku penguji I yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan, arahan dan koreksi dalam penulisan skripsi ini.
6. Dr. Budi Astuti, M.Sc. selaku penguji II skripsi yang telah banyak memberikan koreksi dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Rodhotul Muttaqin, S.Si., yang telah membantu kelancaran dalam penelitian di laboratorium.
8. Bapak Wasi, S.Si., yang telah meminjamkan laptop demi kelancaran penulis menyelesaikan skripsi.
9. Keluarga PALAFI terutama angkatan X (Farid, Udin, Piay, Luqman, dan Riza), Nia, Nanda yang selalu memberikan motivasi dan semangat dalam pengerjaan skripsi.

10. Eva Amellia Defi, rekan satu laboratorium material komposit 2 yang selalu kebersamai dari awal hingga akhir penelitian.
11. Rekan satu kamar penulis, Ina yang selalu menemani penulis dalam suka maupun duka.
12. Ciwi-ciwi (Deska, Tari, Fina, Ani, Amanda, Laely, Ika) yang selalu ada dalam perjuangan penulis menyelesaikan skripsi.
13. Kukuh dan Candrasa yang telah berusaha membantu penulis menyelamatkan data-data skripsi dari virus *ransomware*, walaupun datanya tidak bisa terselamatkan.
14. Teman seperjuangan Fisika 2015 yang telah mengalami susah sedih senang bersama dalam menghadapi skripsi.
15. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan pengetahuan. Demikian penulis menyampaikan ungkapan ini, dan suatu hal yang tidak ilmiah apabila penulis tidak menerima kritik dan sumbangan saran dari pembaca sebagai bahan pijakan di kemudian hari.

Semoga laporan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Semarang, 30 Desember 2019

Penulis

## ABSTRAK

**Ati, Laras.** (2019). *Ekstraksi Jantung Pisang untuk Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro*. Skripsi, Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Prof. Dr. Sutikno, S.T., M.T.

**Kata Kunci:** DSSC, Jantung pisang, Iradiasi gelombang mikro

Salah satu masalah yang dihadapi dalam pembuatan *dye-sensitized solar cell* yaitu nilai efisiensi yang masih relatif kecil dibandingkan sel surya konvensional berbahan silikon, sehingga dalam penelitian ini digunakan iradiasi gelombang mikro dalam proses pelapisan ekstrak jantung pisang, dengan tujuan agar pigmen antosianin yang terserap dalam elektroda kerja lebih banyak sehingga intensitas energi matahari yang diserap dan nilai efisiensi DSSC diharapkan menjadi lebih besar. Proses ekstraksi jantung pisang dilakukan dengan menghancurkan jantung pisang yang dicampur dengan pelarut. Ekstrak jantung pisang dibuat dalam lima variasi fraksi massa jantung pisang. Ekstrak jantung pisang yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui kandungan antosianinnya, dan dilanjutkan karakterisasi menggunakan *Ocean Optic Vis-Nir* USB 4000 untuk mengetahui sifat optiknya. Hasil karakterisasi menunjukkan absorbansi maksimum 1,7353 pada fraksi massa 0,45. Proses iradiasi dilakukan menggunakan Electrolux Microwave (EMM 2308X) pada daya 150 Watt. Setelah sandwich DSSC tersusun, sampel dikarakterisasi menggunakan I-V meter Nacrieble 101 untuk mengetahui sifat listriknya. DSSC yang tidak diiradiasi gelombang mikro memiliki efisiensi sebesar  $3,69 \times 10^{-6}$  %, sedangkan DSSC yang diiradiasi gelombang mikro memiliki efisiensi maksimum sebesar 0,57 %. Hal ini membuktikan bahwa iradiasi gelombang mikro dapat meningkatkan performa DSSC. Selain karakterisasi sifat optik dan sifat listrik, dalam penelitian ini dilakukan pula karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* untuk mengetahui struktur permukaan sampel.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PRAKATA .....	vi
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Batasan Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi Matahari.....	4
2.2 Sel Surya.....	5
2.3 Dye-Sensitized Solar Cell.....	7
2.3.1 <i>Komponen DSSC</i> .....	7
2.3.2 <i>Proses yang Terjadi di Dalam DSSC</i> .....	8
2.4 Antosianin Jantung Pisang.....	9
2.5 Iradiasi Gelombang Mikro.....	12

2.6	Teknik Deposisi <i>Doctor Blade</i> .....	12
BAB III METODE PENELITIAN .....		14
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	14
3.2	Alat dan Bahan yang Digunakan .....	14
3.2.1	<i>Peralatan</i> .....	14
3.2.2	<i>Bahan yang Digunakan</i> .....	15
3.2.3	<i>Alat Karakterisasi</i> .....	16
3.3	Metode Penelitian.....	17
3.3.1	<i>Preparasi Substrat ITO</i> .....	18
3.3.2	<i>Preparasi dan Ekstraksi Dye Jantung Pisang sebagai Fotosensitizer</i> .....	18
3.3.3	<i>Preparasi Elektroda Kerja</i> .....	19
3.3.4	<i>Iradiasi Gelombang Mikro</i> .....	20
3.3.5	<i>Pembuatan Elektroda Pembanding</i> .....	20
3.3.6	<i>Fabrikasi DSSC</i> .....	21
3.4	Teknik Pengumpulan dan Analisis Data .....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		24
4.1	Hasil Ekstraksi Jantung Pisang .....	24
4.2	Film Tipis Bahan Semikonduktor TiO <sub>2</sub> .....	28
4.3	Iradiasi Gelombang Mikro.....	29
4.4	Elektroda Pembanding .....	30
4.5	Hasil Karakterisasi Ekstrak Jantung Pisang .....	31
4.5.1	<i>Analisis Gugus Fungsi Ekstrak Jantung Pisang</i> .....	31
4.5.2	<i>Analisis Sifat Optik Ekstrak Jantung Pisang</i> .....	33

4.6	Hasil Karakterisasi Struktur Permukaan Elektroda Kerja .....	38
4.7	Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Dye Sensitized Solar Cell .....	39
BAB V PENUTUP .....		44
5.1	Kesimpulan .....	44
5.2	Saran .....	44
DAFTAR PUSTAKA .....		45
<i>Lampiran</i> .....		54

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Pita Absorpsi Infra Merah .....	11
3.1 Alat-alat yang Digunakan dalam Penelitian .....	14
3.2 Bahan-bahan yang Digunakan dalam Penelitian .....	15
3.3 Alat-alat yang Digunakan untuk Karakterisasi .....	16
3.4 Komposisi Ekstrak Jantung Pisang .....	19
3.5 Komposisi Bahan Pembuatan Pasta TiO <sub>2</sub> .....	20
4.1 Data Distilasi Ekstrak Jantung Pisang.....	27
4.2 Data Pengamatan pada Iradiasi Gelombang Mikro .....	29
4.3 Warna-warna dalam spektrum tampak.....	35
4.4 Parameter sifat listrik Dye Sensitized Solar Cell berbahan ekstrak jantung pisang .....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Sinar Matahari.....	4
2.2 Cara Kerja Sel Surya dengan Prinsip p-n Junction .....	5
2.3 Struktur DSSC .....	7
2.4 Struktur Kimia Antosianin.....	10
2.5 Prinsip dari Teknik Doctor Blade .....	12
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17
3.2 Struktur DSSC dengan Ekstrak Jantung Pisang.....	21
3.3 Penetasan Larutan Elektrolit.....	21
3.4 Spektrometer <i>Ocean Optic VIS-NIR</i> USB 4000 .....	22
3.5 Phenom ProX Desktop SEM .....	22
3.6 I-V Meter Nacrieble 101 .....	23
4.1 (a) Proses pencampuran etanol, aquades, dan asam asetat; (b) Proses pencampuran pelarut dan jantung pisang; dan (c) Proses penghancuran jantung pisang.....	25
4.2 (a) Penyaringan pertama; dan (b) Penyaringan kedua .....	26
4.3 Proses distilasi ekstrak jantung pisang .....	26
4.4 Proses pengentalan ekstrak jantung pisang .....	27
4.5 Ekstrak jantung pisang yang telah dikentalkan.....	28
4.6 Kaca ITO berukuran 2 x 1 cm .....	28
4.7 Elektroda Kerja .....	29
4.8 Elektroda kerja yang diiradiasi lebih dari 150 W .....	30
4.9 Proses iradiasi gelombang mikro .....	30
4.10 (a) Proses pembuatan pasta karbon; (b) deposisi pasta karbon; dan (c) elektroda pembanding.....	31
4.11 Gugus fungsi ekstrak jantung pisang .....	32
4.12 Grafik hubungan panjang gelombang dan absorbansi ekstrak jantung pisang..	34

4.13	Perhitungan Celah Pita Energi dengan Metode Tauc Plot .....	37
4.14	Struktur permukaan elektroda kerja sampel (a) B1 dengan iradiasi gelombang mikro, dan (b) B1 tanpa iradiasi gelombang mikro.....	38
4.15	Pengukuran sifat listrik sel surya organik menggunakan I-V Meter Nacrieble 101 .....	39
4.16	Kurva I-V Dye-Sensitized Solar Cell berbahan ekstrak jantung pisang pada sampel (a) B1 (b) B2 (c) B3 (d) B4 (e) B5, dan (f) B6.....	40
4.17	(a) Sampel yang tidak diiradiasi gelombang mikro dan (b) sampel yang diiradiasi gelombang mikro .....	42

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Daftar Publikasi .....	53
2 Kartu Jalan Penelitian .....	54
3 Hasil Karakterisasi Sifat Optik dengan Spektrometer Vis-Nir USB 4000.....	58
4 Hasil Karakterisasi Gugus Fungsi Ekstrak Jantung Pisang menggunakan <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....	61
5 Hasil Karakterisasi Struktur Permukaan Elektroda Kerja menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	64
6 Foto-foto Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell Berbahan Ekstrak Jantung Pisang .....	67

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sel surya adalah sebuah piranti fotovoltaik yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Secara sederhana sel surya terdiri atas persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n yang jika terkena sinar matahari akan menghasilkan arus listrik. Berdasarkan bahan pembuatannya, sel surya terdiri atas dua jenis, yaitu sel surya berbahan non organik dan sel surya berbahan organik (*dye sensitized solar cell*). DSSC merupakan sel surya yang dikembangkan pertama kali oleh Gratzel (2003), sehingga disebut juga sel Gratzel (Maddu *et al.*, 2007). Keunggulan DSSC yaitu bahan dasar pembuatannya relatif lebih murah dan ramah lingkungan (Kotteswaran *et al.*, 2018).

Bahan organik yang terdapat dalam DSSC adalah bahan organik yang mengandung pigmen warna seperti antosianin, betalainin, serta klorofil dan turunannya. Pigmen warna ini akan digunakan sebagai pewarna yang berfungsi sebagai *sensitizer* (pengindera) yang menerima energi matahari. Pada beberapa penelitian sebelumnya telah digunakan pigmen warna dalam DSSC, seperti antosianin pada blueberry (Mizuno *et al.*, 2018), klorofil pada daun bayam (Kabir *et al.*, 2019), dan antosianin pada kembang sepatu (Richhariya & Kumar, 2018).

Selain tanaman-tanaman tersebut, terdapat bahan lain yang dapat diekstrak untuk dijadikan *dye (fotosensitizer)* contohnya jantung pisang. Jantung pisang merupakan salah satu sumber antosianin. Hal ini dapat dilihat dari warnanya yang merah keunguan. Beberapa penelitian tentang DSSC yang terbuat dari ekstrak jantung pisang telah dilakukan di antaranya dengan metode *spin coating* (Sutikno *et al.*, 2014; Sutikno, *et al.*, 2019) dan metode penyemprotan (Sutikno, *et al.*, 2019). Berdasarkan



hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan ekstrak jantung pisang sebagai pengindera untuk DSSC dapat diteliti lebih lanjut. Selain karena jantung pisang sangat mudah didapatkan, kandungan antosianin jantung pisang sebanyak  $224,41 \pm 1,91$  mg/kg dapat mendukung fungsinya sebagai dye dalam DSSC (Kamal, 2019).

Salah satu masalah yang dihadapi dalam DSSC yaitu kecilnya nilai efisiensi yang dihasilkan sehingga belum mencapai nilai efisiensi sel surya berbahan dasar silikon. Hal ini salah satunya disebabkan oleh sedikitnya dye yang terabsorpsi pada elektroda kerja. Salah satu upaya meningkatkan jumlah dye yang terabsorpsi pada elektroda kerja yaitu dengan iradiasi gelombang mikro yang dikenal sebagai teknologi perawatan non-kontak untuk pemanasan yang cepat, terkontrol secara tepat, dan selektif tanpa menyebabkan gradien suhu karena prinsip kerjanya berasal dari osilasi dipol di bawah bidang eksternal (Cao *et al.*, 2016; Fujii *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017; Pinto *et al.*, 2017; Reeja-Jayan *et al.*, 2012). Iradiasi gelombang mikro digunakan untuk mempercepat penyerapan dye pada  $\text{TiO}_2$ . Absorpsi pada  $\text{TiO}_2$  dapat dengan mudah dikontrol dengan jumlah waktu dan durasi gelombang mikro. Pendekatan gelombang mikro dapat memberikan alternatif yang efisien untuk mengontrol jumlah absorpsi pewarna pada  $\text{TiO}_2$  dan meningkatkan pemanfaatan pewarna, yang mengarah ke peningkatan efisiensi dibandingkan dengan proses pencelupan konvensional (Wang & Chen, 2018).

## **1.2 Batasan Masalah**

1. Dye dibuat dengan bahan dasar ekstrak jantung pisang.
2. Uji efisiensi dengan pengukuran arus dan tegangan menggunakan I-V meter.
3. Variasi yang digunakan adalah massa jantung pisang.
4. Fabrikasi DSSC menggunakan iradiasi gelombang mikro.

### **1.3 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana iradiasi gelombang mikro yang optimum pada DSSC berbahan dasar ekstrak jantung pisang?
2. Bagaimana pengaruh iradiasi gelombang mikro terhadap performa DSSC?

### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Untuk mengetahui iradiasi gelombang mikro yang optimum pada DSSC berbahan dasar ekstrak jantung pisang.
2. Untuk mengetahui pengaruh iradiasi gelombang mikro terhadap performa DSSC.

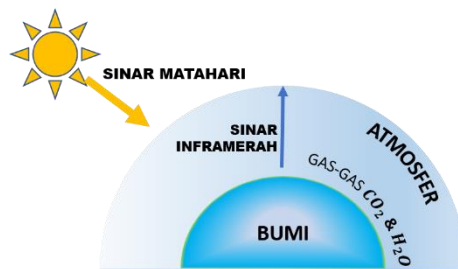
### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
2. Hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan untuk pembuatan sel surya tersensitasi zat warna.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Matahari



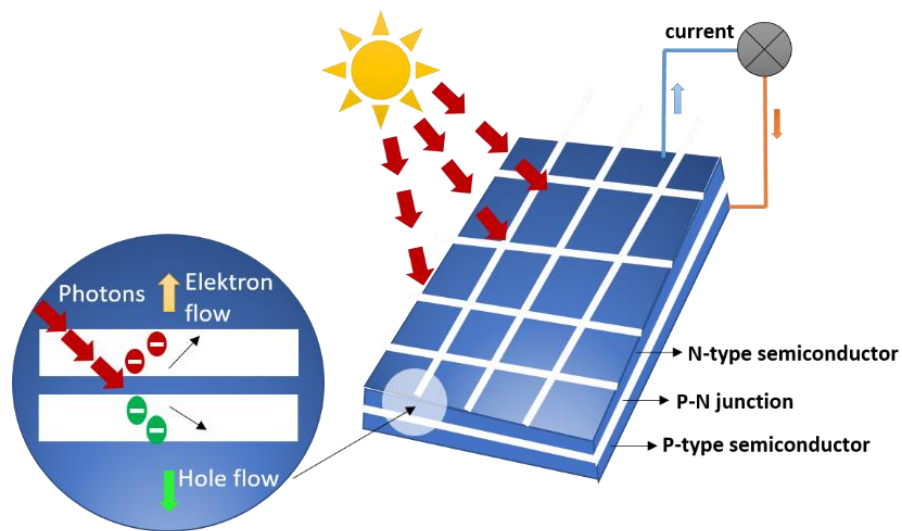
Gambar 2. 1 Sinar Matahari

Matahari adalah salah satu komponen yang penting dan sangat berpengaruh bagi kehidupan di muka bumi. Energi radiasi matahari berbentuk sinar dan gelombang elektromagnetik. Ketika matahari bersinar, maka iradiasi matahari akan meningkat sehingga mempengaruhi jumlah energi matahari yang sampai ke bumi, medan magnetik di sekitar bumi, dan jumlah partikel bermuatan yang dipancarkan matahari sehingga dapat mengubah sinar kosmik yang sampai ke bumi. Jumlah energi surya yang diterima bumi sangat besar yaitu rata-rata  $6,3 \times 10^{20}$  Joule/jam setara dengan energi 40 siklon tropis atau 60 energi yang dilepas pada gempa yang besar (Syamsudin, 2018).

Energi surya merupakan energi yang tidak bersifat polutif dan tidak dapat habis. Kekurangan dari energi surya ini adalah intensitasnya yang tidak konstan. Arus energi surya yang rendah mengakibatkan dipakainya sistem dan kolektor yang luas permukaannya besar untuk mengumpulkan dan mengkonsentrasikan energi itu. Sistem kolektor ini berharga cukup mahal dan terdapat masalah bahwa sistem-sistem di bumi tidak dapat diharapkan akan menerima persediaan yang terus menerus dari energi surya. Hal ini berarti diperlukan sebuah sistem penyimpanan energi atau konversi lain

untuk menyimpan energi pada malam hari serta pada saat cuaca mendung (Widayana, 2012).

## 2.2 Sel Surya



Gambar 2.2 Cara Kerja Sel Surya dengan Prinsip Sambungan p-n (sumber: <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>)

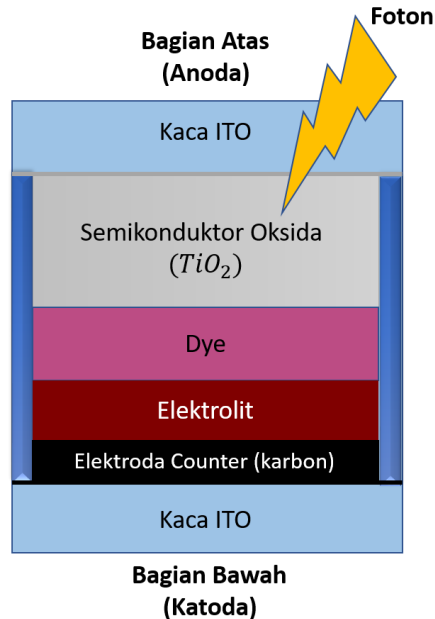
Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltaiik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali ditemukan oleh Bacquere, seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839. Apabila sebuah logam dikenai suatu cahaya dalam bentuk foton dengan frekuensi tertentu, maka energi kinetik dari foton akan menembak ke atom-atom logam tersebut. Atom logam yang diiradiasi akan melepaskan elektron-elektronnya. Elektron-elektron bebas inilah yang mengalirkan arus dengan jumlah tertentu (Hani, 2015).

Bahan sel surya terdiri atas kaca pelindung dan material adesif transparan yang melindungi bahan sel surya dari keadaan lingkungan, material anti refleksi untuk menyerap lebih banyak cahaya, dan mengurangi jumlah cahaya yang dipantulkan, semikonduktor tipe p dan tipe n (terbuat dari campuran silikon) untuk menghasilkan medan listrik, saluran awal dan saluran akhir (terbuat dari logam tipis) untuk mengirim elektron ke perabot listrik. Prinsip kerja sel surya sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya bersentuhan dengan sel surya dan diserap oleh bahan semikonduktor, terjadi pelepasan elektron. Apabila elektron tersebut dapat menempuh perjalanan menuju bahan semikonduktor pada lapisan yang berbeda, terjadi perubahan sigma gaya-gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semikonduktor, menyebabkan aliran medan listrik yang menyebabkan elektron dapat disalurkan ke saluran awal dan akhir untuk digunakan pada perabot listrik (Widodo *et al.*, 2010).

Dalam keadaan cuaca yang cerah, sebuah sel surya akan menghasilkan tegangan konstan sebesar 0,5 V sampai 0,7 V dengan arus sekitar 20 mA dan jumlah energi yang diterima akan mencapai optimal jika posisi sel surya (tegak lurus) terhadap sinar matahari selain itu juga tergantung dari konstruksi sel surya itu sendiri. Ini berarti bahwa sebuah sel surya akan menghasilkan daya  $0,6 \text{ V} \times 20 \text{ mA} = 12 \text{ mW}$ . Jika matahari memancarkan energinya ke permukaan bumi, maka bisa dibayangkan energi yang dihasilkan sel surya rata-rata yang besar dibandingkan dengan bahan bakar fosil (BBM) dengan proses fotosintesis yang memakan waktu jutaan tahun (Manan, 2009).

Sel surya yang telah banyak dikembangkan dan memiliki efisiensi yang tinggi adalah sel surya berbasis silikon. Tetapi sel surya yang mendominasi pasar ini masih memiliki harga yang relatif mahal karena proses produksinya sulit dan memerlukan teknologi yang tinggi. Oleh karena itu terus dikembangkan sel surya jenis lain dengan bahan baku yang murah, proses pembuatan yang mudah, dan memiliki efisiensi cukup baik, salah satunya adalah DSSC. Namun efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya silikon yang dapat mencapai 24% (Prasetyowati, 2017).

## 2.3 Dye-Sensitized Solar Cell



Gambar 2.3 Struktur DSSC

DSSC merupakan sel surya yang dikembangkan pertama kali oleh Gratzel (2003), sehingga disebut juga sel Gratzel (Maddu *et al.*, 2007). DSSC adalah salah satu jenis sel surya yang memanfaatkan kandungan organik tumbuhan (Huda & Santoso, 2019). Keunggulan DSSC yaitu bahan dasar pembuatannya relatif lebih murah dan ramah lingkungan (Kotteswaran *et al.*, 2018). DSSC terdiri atas sepasang kaca elektroda yaitu elektroda kerja dan elektroda pembanding yang mengapit elektrolit.

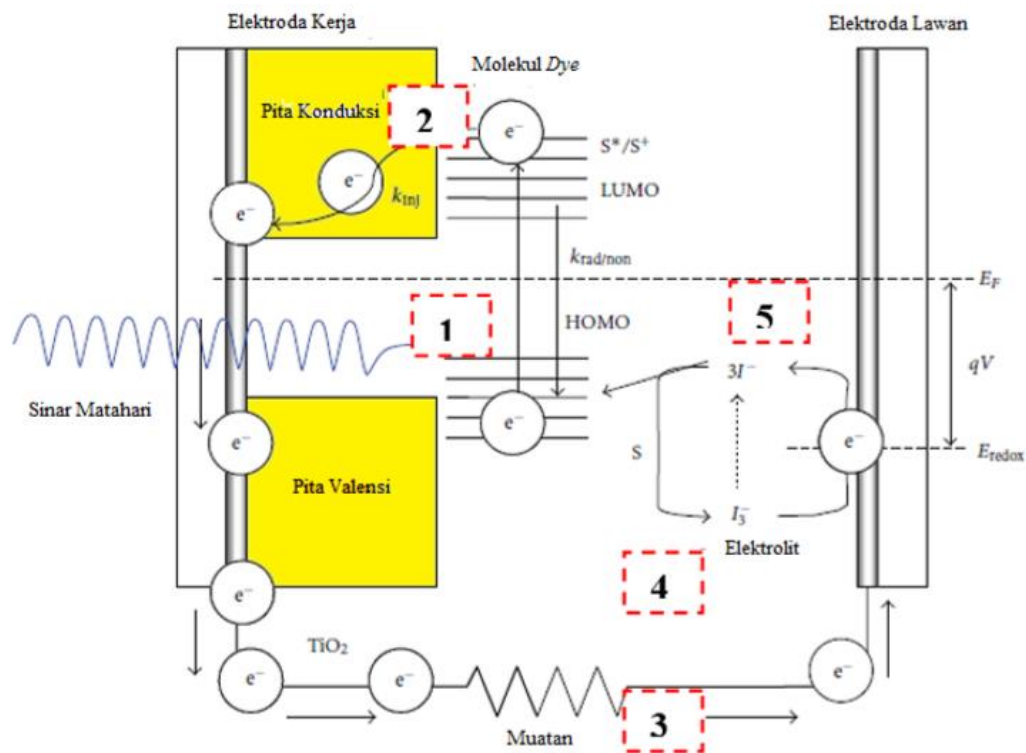
### 2.3.1 Komponen DSSC

Salah satu komponen penting pada DSSC ialah fotoelektroda. DSSC menggunakan fotoelektroda yang tersensitisasi oleh bahan pelapis sebagai penangkap cahaya matahari. Kini fotoelektroda yang umum digunakan adalah bahan semikonduktor  $TiO_2$  (Komalasari *et al.*, 2014) yang merupakan bahan yang berharga murah, stabil secara kimia, dan tidak bersifat toksik (Listorti *et al.*, 2011; Nadaek & Susanti, 2012). Semikonduktor diberi zat warna untuk menyerap sinar matahari. Semikonduktor

tersensitasi ini berperan sebagai anoda sedangkan lapisan karbon berperan sebagai katoda (Fitra *et al.*, 2013). Selain  $\text{TiO}_2$ , dye, dan katalis, elektrolit juga berperan dalam meningkatkan kinerja DSSC. Elektrolit berfungsi untuk menggantikan elektron yang hilang pada pita HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) dye akibat bereksitasi ke pita LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) melalui proses reaksi reduksi-oksidasi (redoks). Kecepatan reaksi redoks akan menentukan kinerja DSSC (Hari Prasetyo *et al.*, 2014).

### 2.3.2 Proses yang Terjadi di Dalam DSSC

Proses yang terjadi di dalam DSSC dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2. 4 Skema Cara Kerja DSSC (Sokolsky *et al.*, 2011)

1. Saat dye menyerap foton, maka dye akan tereksitasi dari level HOMO ke level LUMO, sehingga elektron dari dye mendapatkan energi untuk tereksitasi ( $S^*$ ):  
 $S + \text{foton} \rightarrow S^*$

2. Elektron yang tereksitasi akan diinjeksikan pada pita konduksi TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> bertindak sebagai akseptor/kolektor elektron. Molekul dye yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi (S<sup>+</sup>):  $S^* + TiO_2 \rightarrow e^- (TiO_2) + S^+$
3. Elektron kemudian akan diteruskan ke elektroda pembanding.
4. Elektrolit bertindak sebagai mediator elektron sehingga menghasilkan proses siklus dalam sel. Elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis (Kumara & Sukma, 2012).
5. Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit maka molekul dye akan kembali pada keadaan awal.

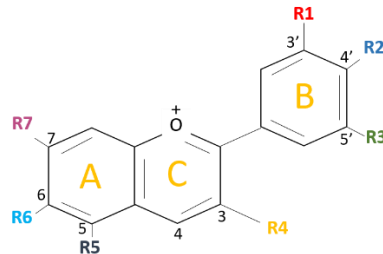
#### **2.4 Antosianin Jantung Pisang**

Jantung pisang adalah bunga yang dihasilkan oleh pohon pisang (*Musa spp.*) yaitu sejenis tumbuhan dari keluarga *Musaceae* yang berfungsi untuk menghasilkan buah pisang. Jantung pisang dihasilkan semasa proses pisang berbunga dan menghasilkan tandan pisang. Hanya dalam keadaan tertentu atau spesies tertentu jumlah tandan dan jantung pisang melebihi satu. Ukuran jantung pisang sekitar 25 – 40 cm dengan ukuran lilit tengah jantung 12 – 25 cm (Novitasari *et al.*, 2013).

Antosianin adalah kelompok pigmen yang menyebabkan warna kemerah-merahan yang terdapat di dalam cairan sel yang bersifat larut dalam air (Husna *et al.*, 2013). Secara kimia antosianin merupakan turunan struktur aromatik tunggal, yaitu sianidin, dan semuanya terbentuk dari pigmen sianidin dengan penambahan atau pengurangan gugus hidroksil, metilasi, dan glikosilasi. Antosianin adalah senyawa yang bersifat amfoter, yaitu memiliki kemampuan untuk bereaksi baik dengan asam maupun dengan basa. Dalam media asam antosianin berwarna merah, dan pada media basa berubah menjadi ungu dan biru (Samber *et al.*, 2009). Antosianin adalah metabolit sekunder dari famili flavonoid, dalam jumlah besar ditemukan dalam buah-buahan dan sayur-sayuran (Supriyono, 2008). Antosianin memiliki struktur kimia yang terdiri dari



kation tujuh hydroxyl flavilium. Molekul ini berfungsi dalam penyerapan cahaya dan membentuk warna seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Struktur Kimia Antosianin

Antosianin yang terbentuk secara alami mempunyai gugus hydroxyl (HO-) pada posisi 3 dan selalu terhubung dengan molekul glukosa yang dibutuhkan untuk kesetimbangan termal dan posisi 5 terdapat satu atau lebih group hydroxyl atau methoxyl (CH<sub>3</sub>O-) pada cincin B. Ragam warna yang diperlihatkan oleh antosianin bergantung pada nomor dan posisi dari gugusan yang ada. Gugus-gugus fungsi yang terkandung dalam suatu larutan atau ekstrak dapat diketahui berdasarkan puncak-puncak serapannya pada daerah infra merah seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Dalam DSSC, pigmen antosianin digunakan dalam pembuatan dye atau bahan fotoaktif yang berperan sebagai pengindera. Salah satu bahan organik yang mengandung pigmen antosianin adalah jantung pisang. Terdapat berbagai jenis pisang yang memiliki perbedaan kandungan antosianin dalam jantung pisang pada setiap jenisnya. Jantung pisang raja mengandung antosianin dengan senyawa turunan sianidin yang lebih dominan dengan kadar total monomer pada ekstrak etanol yang diasamkan dengan asam asetat yang paling banyak sebesar 30,22 mg/L. Antosianin yang diperoleh stabil pada pH 1- 3 dan tidak terlalu mengalami kerusakan dengan variasi suhu, dengan persentase degradasi tertinggi sebesar 61,97 % pada ekstrak etanol yang diasamkan dengan asam sitrat pada pemanasan suhu 100 °C (Alvionita *et al.*, 2016). Pada pisang kepok dengan larutan pengeksrak asam tartarat diperoleh kandungan antosianin total sebesar 33,20 ± 0,12 mg/100 g (Lestario *et al.*, 2014), kandungan pigmen antosianin

pada pisang klutuk sebesar  $909,44 \pm 225,97$  mg/100 gram berat kering, sedangkan untuk pisang ambon memiliki kandungan antosianin sebesar  $1515,40 \pm 156,06$  mg/100 g berat kering (Lestario *et al.*, 2009).

Tabel 2.1 Pita Absorpsi Infra Merah (Kristianingrum, 2012)

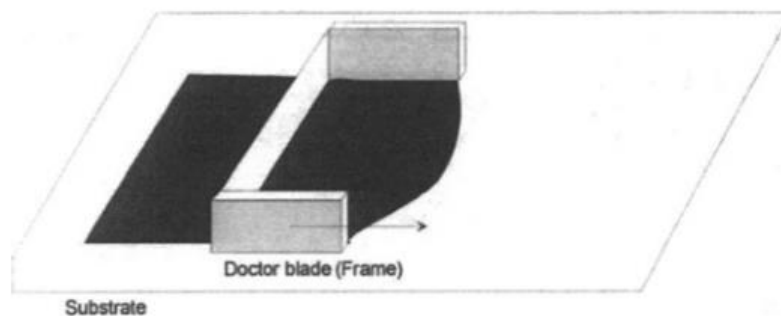
Gugus	Senyawa	Frekuensi (cm <sup>-1</sup> )	Nama Lingkungannya
OH atau NH	Alkohol	3580-3650	Lingkungan vibrasi ulur hidrogen
	Asam	2500-2700	
	Amina primer dan sekunder	3310-3500	
	Amida	3140-3320	
	CH	Alkana	
	Alkena	3010-3095	
	Aromatik	-3030	
	Alkana	2853-2962	
	Aldehida	2700-2900	
SH	Sulfur	2500-2700	
C≡C	Alkana	2190-2260	
C≡N	Alkilnitril	2240-2260	
	Iosianat	2240-2275	
	Arilnitril	2220-2240	
-N=C=N	Diimida	2130-2155	
-N <sub>3</sub>	Azida	2120-2160	
>CO	Aldehid	1720-1740	
	Keton	1675-1725	
	Asam karboksilat	1700-1725	Lingkungan ikatan ganda dua
	Ester	2000-2300	
	Asilhalida	1755-1850	
	Amida	1670-1700	
CN	Oksim	1640-1690	
CO	β diketon	1540-1640	Daerah sidik jari
C=O	Ester	1650	
C=C	Alkena	1620-1680	
N-H(b)	Amina	1575-1650	
-N=N-	Azo	1575-1630	

## 2.5 Iradiasi Gelombang Mikro

Iradiasi gelombang mikro dikenal sebagai teknologi perawatan non-kontak untuk pemanasan yang cepat, terkontrol secara tepat, dan selektif tanpa menyebabkan gradien suhu dalam berbagai aplikasi karena prinsip kerjanya berasal dari osilasi dipol di bawah bidang eksternal (Cao *et al.*, 2016; Fujii *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017; Pinto *et al.*, 2017; Reeja-Jayan *et al.*, 2012). Iradiasi gelombang mikro digunakan untuk mempercepat penyerapan dye pada TiO<sub>2</sub>. Kondisi adsorpsi pada TiO<sub>2</sub> dapat dengan mudah dikontrol dengan variasi waktu gelombang mikro dan durasi gelombang mikro. Iradiasi gelombang mikro dapat memberikan alternatif yang efisien mengontrol jumlah penyerapan pewarna pada TiO<sub>2</sub> dan meningkatkan pemanfaatan pewarna, yang mengarah ke peningkatan efisiensi dibandingkan dengan proses pencelupan konvensional (Wang & Chen, 2018).

## 2.6 Teknik Deposisi *Doctor Blade*

*Doctor Blade* adalah salah satu teknik yang banyak digunakan untuk memproduksi film tipis (Berni *et al.*, 2004). Lapisan dibentuk oleh pisau yang tetap dengan permukaan pengecoran bergerak, atau dengan bingkai yang bergerak sepanjang permukaan tetap seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.6 Prinsip dari Teknik *Doctor Blade* (Berni *et al.*, 2004)

Pada beberapa penelitian, dilakukan modifikasi teknik *Doctor Blade* dengan memanfaatkan batang pengaduk untuk meratakan permukaan, seperti pada pembuatan

*dye sensitized solar cell* berbahan klorofil daun jarak (Prayogo *et al.*, 2014), pada pembuatan *dye sensitized solar cell* berbahan bunga rosella (Andari, 2017), dan pada sintesis serbuk  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  sebagai lapisan elektroda untuk aplikasi *dye-sensitized solar cell* (Retnaningsih *et al.*, 2015).

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Material Komposit II gedung D9 lantai 3 Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang pada bulan Januari 2019 sampai Oktober 2019.

#### 3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

Terdapat beberapa tahap yang dilakukan dalam pembuatan *dye-sensitized solar cell* (DSSC) berbahan ekstrak jantung pisang yang meliputi ekstraksi jantung pisang, pembuatan elektroda kerja, pembuatan elektroda pembanding, dan fabrikasi *dye-sensitized solar cell* (DSSC). Pada setiap tahap digunakan alat dan bahan yang memiliki kegunaan berbeda-beda seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2. Selain alat dan bahan penelitian, digunakan juga alat-alat karakterisasi untuk mengetahui karakter dari masing-masing sampel yang telah dibuat seperti Tabel 3.3.

##### 3.2.1 Peralatan

Tabel 3.1 Alat-alat yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Nama Peralatan	Kegunaan
1.	Timbangan digital	Mengukur massa jantung pisang, TiO <sub>2</sub> , CMC
2.	Pisau	Memotong jantung pisang
3.	Blender	Menghaluskan jantung pisang
4.	Saringan	Memisahkan ampas dan ekstrak jantung pisang pada penyaringan tahap 1
5.	Corong	Meletakkan kertas saring pada penyaringan tahap 2
6.	Distilator	Memisahkan pelarut dengan ekstrak jantung pisang

No.	Nama Peralatan	Kegunaan
7.	Bunsen	Sumber pemanas untuk destilator
8.	<i>Magnetic heated stirrer</i>	Mencampurkan pelarut; sebagai pemanas untuk memisahkan ekstrak dan larutan sisa destilasi
9.	Multimeter digital	Mengetahui sisi konduktif substrat ITO
10.	Gelas ukur	Mengukur volume pelarut
11.	Gunting	Memotong kertas saring
12.	Pipet	Mengambil pelarut dalam skala kecil
13.	Spatula	Alat untuk mengambil TiO <sub>2</sub> , CMC ketika akan ditimbang
14.	<i>Scriber pen</i>	Pemotong kaca substrat ITO
15.	Cawan Petri	Tempat meletakkan substrat ketika dipanaskan dengan oven dan microwave
16.	Oven	Memanaskan elektroda kerja dan elektroda counter
17.	Electrolux Microwave Oven EMM 2308X	Mengiradiasi elektroda kerja
18.	<i>Ultrasonic Cleaner</i>	Mencuci substrat ITO

### 3.2.2 *Bahan yang Digunakan*

Tabel 3.2 Bahan-bahan yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Kaca Indium Titanium Oxide (ITO)	Substrat
2.	Bubuk TiO <sub>2</sub>	Semikonduktor
3.	Jantung pisang	Fotosensitizer
4.	Ethylene Glycol	Bahan cair larutan elektrolit
5.	PEDOT: PSS	Larutan elektrolit
6.	Aquades / air suling	Larutan ekstraksi
7.	Etanol	Larutan ekstraksi

No.	Bahan	Kegunaan
8.	Asam asetat	Larutan ekstraksi
9.	Acetyl Acetone	Pembersih substrat
10.	Metanol	Pembersih substrat
11.	Kertas saring	Menyaring ekstrak jantung pisang
12.	<i>Kapton tape</i>	Alas dalam proses iradiasi gelombang mikro
13.	Karbon aktif	Bahan elektroda kerja
14.	Aluminium foil	Pelindung dari sinar matahari dalam penyimpanan ekstrak jantung pisang
15.	Plastik klip	Tempat menyimpan substrat
16.	Kertas puyer	Tempat menyimpan substrat
17.	<i>Carboxymethyl Cellulose (CMC)</i>	Perekat

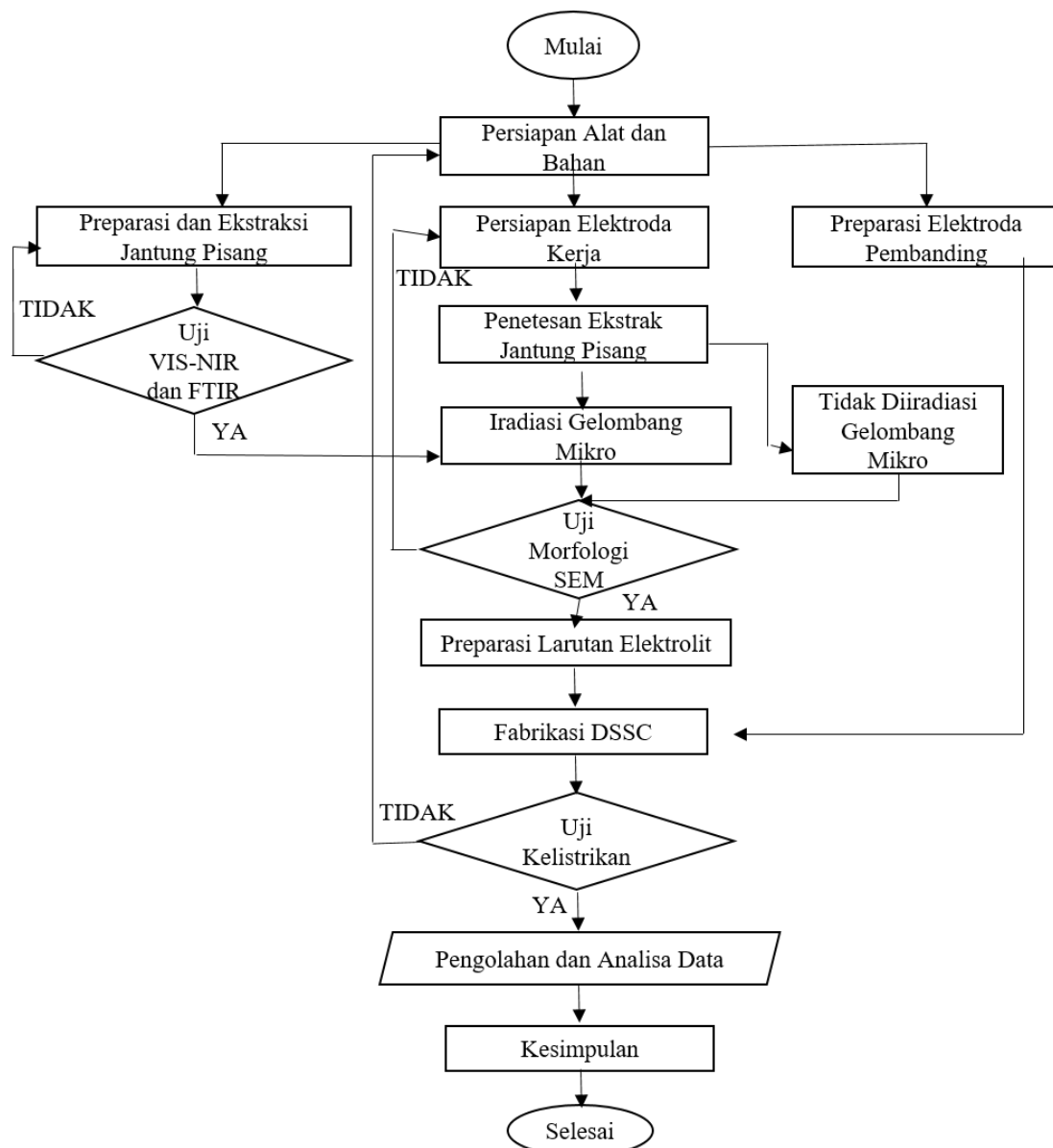
### 3.2.3 Alat Karakterisasi

Tabel 3.3 Alat-alat yang Digunakan untuk Karakterisasi

No.	Nama Alat	Kegunaan
1.	<i>Ocean Optic Vis-Nir</i> USB 4000	Untuk mengetahui sifat optik ekstrak jantung pisang
2.	Perkin Elmer Frontier FTIR Spectroscopy	Untuk mengetahui gugus fungsi ekstrak jantung pisang
3.	I-V Meter Nacriable 101	Untuk mengetahui sifat listrik DSSC
4.	Phenom ProX Desktop SEM	Untuk mengetahui struktur permukaan elektroda kerja

### 3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



### 3.3.1 *Preparasi Substrat ITO*

Substrat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Indium Titanium Oxide (ITO) *coated glass* berukuran 100 mm × 100 mm × 1,1 mm dari Zhuhai Kaivo Optoelectronic Technology CO., Ltd. Substrat dipotong dengan ukuran 2 x 1 cm menggunakan *scriber pen*. Substrat yang telah dipotong kemudian dicuci menggunakan *ultrasonic cleaner*, pencucian pertama menggunakan aseton dilanjutkan pencucian dengan etanol, masing-masing selama 5 menit. Setelah dicuci, substrat dikeringkan dengan gas nitrogen. Substrat disimpan dalam kertas puyer agar tidak teroksidasi.

### 3.3.2 *Preparasi dan Ekstraksi Dye Jantung Pisang sebagai Fotosensitizer*

Jantung pisang yang digunakan dalam penelitian diperoleh dari daerah Gunungpati, Kota Semarang. Preparasi ekstraksi jantung pisang dimulai dengan disiapkannya jantung pisang yang akan digunakan dalam penelitian (yang masih berwarna ungu) dan ditimbang massanya. Setelah itu, jantung pisang dicuci dengan menggunakan air. Kandungan antosianin pada pigmen alami ekstrak jantung pisang diekstrak menggunakan pelarut etanol, aquades, dan asam asetat dengan perbandingan campuran larutan 25 : 1 : 5 (Sutikno *et al.*, 2017). Pembuatan pigmen alami divariasikan dalam 5 fraksi massa dengan massa pelarut tetap sebanyak 186 gram. Campuran pelarut yang digunakan yaitu 150 gram etanol, 6 gram asam asetat, dan 30 gram aquades. Pencampuran larutan dilakukan dengan menggunakan *magnetic heated stirrer* dengan kecepatan 1500 rpm selama 1 menit. Proses ekstraksi menggunakan parameter fraksi massa dengan persamaan,

$$X = \frac{a}{a+b} \quad (1)$$

dengan a adalah massa jantung pisang, b adalah massa pelarut, dan X adalah fraksi massa.

Tabel 3.4 Komposisi Ekstrak Jantung Pisang

Kode Sampel	Fraksi Massa	Pelarut (g)	Jantung Pisang (g)
A1	0,25	186	62,00
A2	0,30	186	79,70
A3	0,35	186	100,15
A4	0,40	186	124,00
A5	0,45	186	152,18

Jantung pisang kemudian dihaluskan bersama pelarut menggunakan blender selama 2 menit. Untuk menghilangkan ampas jantung pisang maka dilakukan penyaringan dengan menggunakan saringan besar lalu disaring kembali menggunakan kertas saring kasar berukuran  $0,45 \mu\text{m}$  sehingga dihasilkan larutan jernih. Larutan yang sudah tidak tercampur dengan ampasnya kemudian didistilasi menggunakan alat distilasi sederhana. Proses distilasi dilakukan selama 2 sampai 3 jam. Untuk menghilangkan sisa pelarut yang masih tercampur dalam ekstrak, dilakukan pemanasan menggunakan *magnetic heated stirrer* (pengaduk panas magnetik) pada kecepatan 1500 rpm selama 60 menit.

### 3.3.3 Preparasi Elektroda Kerja

Elektroda dibuat dari kaca konduktif ITO yang di atasnya dideposisikan larutan  $\text{TiO}_2$  dengan menggunakan teknik *Doctor Blade* yang dimodifikasi. Larutan  $\text{TiO}_2$  dibuat dengan cara mencampurkan serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan pelarut yang terdiri atas etanol, aquades, dan asam asetat serta variasi massa CMC seperti Tabel 3.5, kemudian distirer selama 30 menit pada kecepatan putar 1500 rpm.

Tabel 3.5 Komposisi Bahan Pembuatan Pasta TiO<sub>2</sub>

Kode Sampel	Serbuk TiO <sub>2</sub> (g)	CMC (g)	Etanol (ml)	Asam Asetat (ml)
B1	4	2,0	10	0,4
B2	4	2,2	10	0,4
B3	4	2,4	10	0,4
B4	4	2,6	10	0,4
B5	4	2,8	10	0,4
B6	4	3,0	10	0,4

Pasta TiO<sub>2</sub> yang telah dibuat kemudian dideposisikan ke substrat kaca menggunakan teknik *Doctor Blade* yang dimodifikasi, selanjutnya dilakukan pemanasan pada suhu 120 °C selama 20 menit. Elektroda kerja kemudian didinginkan sampai tercapai suhu ruang.

#### 3.3.4 *Iradiasi Gelombang Mikro*

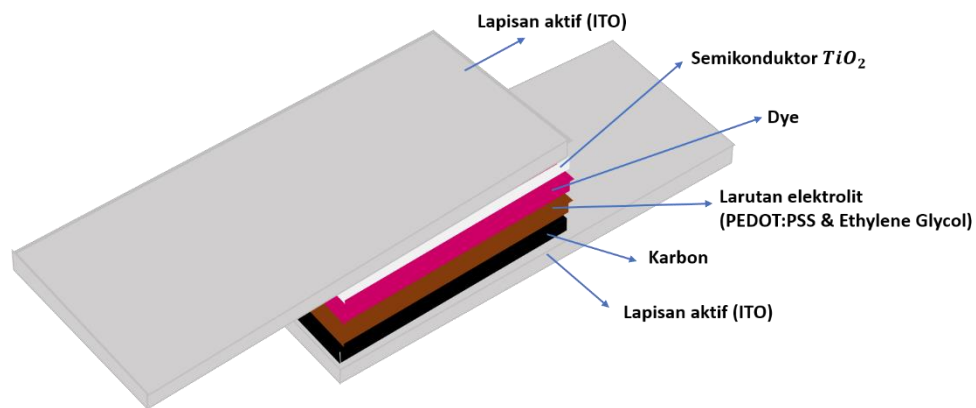
Ekstrak jantung pisang kemudian diteteskan pada elektroda kerja yang telah dibuat. Setelah ditetesi ekstrak jantung pisang, elektroda kerja kemudian diiradiasi dengan gelombang mikro menggunakan Electrolux Microwave Oven EMM 2308X pada daya 150 W selama  $\pm 15$  menit. Pada proses iradiasi bagian bawah elektroda kerja dilapisi dengan *kapton tape*.

#### 3.3.5 *Pembuatan Elektroda Pemanding*

Elektroda pemanding dibuat dengan mencampurkan karbon aktif, CMC, dan aquades. Pasta karbon dideposisikan ke substrat dengan teknik *Doctor Blade* yang dimodifikasi dan dipanaskan menggunakan oven pada suhu 180 °C selama 1 jam.

### 3.3.6 Fabrikasi DSSC

Setiap lapisan yang telah dibuat kemudian disusun sesuai dengan desain pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Struktur DSSC dengan Ekstrak Jantung Pisang

Larutan elektrolit PEDOT:PSS dan *ethylene glycol* ditetaskan antara elektroda kerja dan elektroda counter seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Penetesan Larutan Elektrolit

### 3.4 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data penelitian DSSC diperoleh dari hasil-hasil karakterisasi yang dilakukan. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi dan sifat optik ekstrak jantung pisang, untuk mengetahui struktur permukaan elektroda kerja, dan untuk mengetahui sifat listrik DSSC berbahan ekstrak jantung pisang.

Untuk mengetahui gugus fungsi dari ekstrak jantung pisang dilakukan karakterisasi menggunakan Perkin Elmer Frontier *FTIR Spectroscopy*. Berdasarkan hasil penelitian akan diperoleh gugus-gugus fungsi penyusun ekstrak jantung pisang sehingga dapat diketahui keberadaan pigmen antosianin.

Karakterisasi sifat optik ekstrak jantung pisang dilakukan dengan *Ocean Optic VIS-NIR USB 4000* pada panjang gelombang 350-900 nm seperti pada Gambar 3.4. Berdasarkan hasil pengujian akan diketahui absorbansi dari masing-masing fraksi massa, sehingga dapat diketahui fraksi massa yang memiliki absorbansi maksimum dan paling baik digunakan sebagai *fotosensitizer*.



Gambar 3.4 Spektrometer Ocean Optic VIS-NIR USB 4000

Struktur permukaan elektroda kerja yang telah ditetesi dye (ekstrak jantung pisang) dapat diketahui dengan karakterisasi menggunakan Phenom ProX Desktop SEM yang ada di Laboratorium pengujian Fisika UNNES. Citra gambar yang ditampilkan setelah karakterisasi menggunakan SEM dapat digunakan untuk menganalisis struktur permukaan sampel.



Gambar 3.5 Phenom ProX Desktop SEM (sumber: <https://www.phenom-world.com/desktop-scanning-electron-microscopes/phenom-pro-x>)

Analisis sifat listrik DSSC berbahan ekstrak jantung pisang didapatkan dari hasil karakterisasi menggunakan I-V Meter Nacrieble 101 seperti Gambar 3.6. Hasil karakterisasi menggunakan I-V Meter Nacrieble 101 dapat digunakan untuk menghitung nilai arus maksimal ( $I_{max}$ ), tegangan maksimal ( $V_{max}$ ), arus hubung pendek ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), daya masukan ( $P_{in}$ ) untuk melakukan perhitungan daya maksimal ( $P_{max}$ ), *fill factor* (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ). Hasil ini akan mengindikasikan performa DSSC berbahan ekstrak jantung pisang yang teriradiasi gelombang mikro.



Gambar 3.6 I-V Meter Nacrieble 101

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

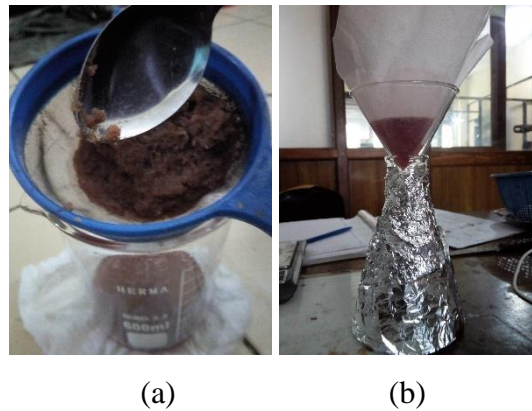
Pada bagian ini dipaparkan hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian disajikan dalam beberapa sub bab, diantaranya: hasil ekstraksi jantung pisang, film tipis bahan semikonduktor, iradiasi gelombang mikro, elektroda pembanding, hasil karakterisasi ekstrak jantung pisang, hasil karakterisasi struktur permukaan elektroda kerja, dan hasil karakterisasi sifat listrik *dye sensitized solar cell*.

#### **4.1 Hasil Ekstraksi Jantung Pisang**

Ekstraksi jantung pisang menggunakan pelarut etanol, asam asetat, dan aquades karena antosianin bersifat polar dan akan mudah larut dalam pelarut polar. Pencampuran pelarut berlangsung dengan mudah karena pelarut cepat mencapai homogen. Pada saat penuangan masing-masing pelarut, muncul gelembung-gelembung kecil yang menandakan terjadinya reaksi antar pelarut, namun pelarut tetap berwarna bening. Pelarut yang telah homogen digunakan untuk mengekstrak jantung pisang sehingga jantung pisang halus dan pigmen antosianin terlarut, ditandai dengan berubahnya warna pelarut menjadi merah keunguan. Proses penghancuran jantung pisang dengan blender tidak berjalan lancar karena serat-serat jantung pisang sering melilit mata pisau blender dan blender berhenti bekerja, sehingga perlu tindakan tambahan yaitu mengguncang-guncangkan blender. Proses-proses ini ditunjukkan pada Gambar 4.1.







Gambar 4.2 (a) Penyaringan pertama; dan (b) Penyaringan kedua

Larutan hasil penyaringan kemudian didistilasi untuk memisahkan pelarut yang masih tercampur dalam ekstrak jantung pisang. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa diperlukan waktu 2 sampai 3 jam untuk mendistilasi larutan dengan volume 225 – 270 ml menggunakan distilator sederhana seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Proses distilasi ekstrak jantung pisang

Pemanas yang digunakan pada proses distilasi ekstrak jantung pisang adalah bunsen berbahan bakar spiritus sehingga menyebabkan suhu yang dihasilkan pada proses distilasi tidak stabil. Hal ini mengakibatkan perbedaan waktu distilasi sampel. Sampel A1-A5 yang didistilasi dapat diamati waktu dan suhu ketika pertama kali pelarut menetes seperti yang tersaji dalam Tabel 4.1. Proses menetesnya pelarut ditandai dengan mendidihnya ekstrak jantung pisang pada suhu antara 74-83 °C. Setelah mendidih dan mencapai titik uapnya, pelarut dalam ekstrak jantung pisang akan

menguap menuju pipa distilator, uap kemudian dialirkan menuju pipa kondensor yang di sekelilingnya diisi penuh air dingin. Tujuan diberikannya air dingin yaitu agar uap air hasil pemanasan ekstrak jantung pisang dapat mengembun, kemudian dialirkan melalui pipa sampai larutan menetes sehingga pelarut tidak menguap ke udara dan menimbulkan polusi. Menetesnya pelarut ini menandakan bahwa titik didih ekstrak jantung pisang telah tercapai. Cairan yg memiliki titik didih lebih tinggi akan bertahan dalam labu distilator dan berwarna lebih pekat.

Tabel 4.1 Data Distilasi Ekstrak Jantung Pisang

Variabel	Kode Sampel				
	A1	A2	A3	A4	A5
Volume awal (ml)	250	270	225	255	245
Volume akhir (ml)	200	240	215	210	150
Suhu pertama pelarut menetes (°C)	74,0	80,0	82,0	82,5	83,0
Waktu pertama pelarut menetes (menit ke- )	37	54	60	40	33
Suhu tertinggi (°C)	81	82	83	84	90

Ekstrak yang telah didistilasi kemudian diaduk dan dipanaskan menggunakan *magnetic heated stirrer* sehingga dihasilkan ekstrak yang berwarna ungu kehitaman seperti Gambar 4.4. Penguapan pelarut berlangsung lambat sehingga dibutuhkan waktu 1 jam agar dihasilkan pelarut yang kental.



Gambar 4.4 Proses pengentalan ekstrak jantung pisang

Kelima ekstrak yang telah dikentalkan disimpan dalam botol tidak tembus cahaya agar ekstrak tidak rusak karena paparan sinar matahari seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Ekstrak jantung pisang yang telah dikentalkan

#### 4.2 Film Tipis Bahan Semikonduktor $\text{TiO}_2$

Substrat ITO yang dipotong menggunakan *scriber pen* seperti pada Gambar 4.6 dengan cara menggoreskan *scriber pen* mengikuti ukuran yang telah dibuat dengan penggaris. Pemotongan harus dilakukan dengan sekali gores pada kaca agar tidak merusak permukaan kaca. Permukaan yang telah digores kemudian ditekan untuk mematahkan kaca, pematahan ini harus dilakukan dengan hati-hati karena kaca cukup tebal, sehingga dimungkinkan pecah disebabkan pemotongan kaca tidak mempertimbangkan arah orientasi garis pemotongan.



Gambar 4.6 Kaca ITO berukuran 2 x 1 cm

Deposisi pasta  $\text{TiO}_2$  ke substrat ITO dilakukan dengan teknik *Doctor Blade* yang dimodifikasi yaitu menggunakan batang pengaduk magnetik untuk meratakan permukaan sampel, akan tetapi dengan teknik ini dihasilkan permukaan sampel yang tidak rata seperti Gambar 4.7. Hal ini dikarenakan, pada saat perataan pasta  $\text{TiO}_2$

dengan batang pengaduk, ada sebagian pasta yang ikut tergeser dan menempel pada batang pengaduk.



Gambar 4.7 Elektroda Kerja

### 4.3 Iradiasi Gelombang Mikro

Iradiasi gelombang mikro diberikan pada elektroda kerja berukuran  $2 \times 1$  cm dengan tujuan untuk meningkatkan absorpsi ekstrak jantung pisang pada  $\text{TiO}_2$ . Iradiasi gelombang mikro menyebabkan permukaan granula sampel yang menjadi lebih besar sehingga menyebabkan daya absorpsi lebih banyak karena pori-porinya menjadi lebih besar (Sasue *et al.*, 2017).

Pada penelitian ini, proses iradiasi gelombang mikro dilakukan dalam beberapa variasi daya untuk mengetahui iradiasi yang optimum pada DSSC berbahan ekstrak jantung pisang seperti ditunjukkan Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengamatan pada Iradiasi Gelombang Mikro

Mode	Daya (Watt)	Keadaan
Low	150	Utuh
Defrost	300	Pecah
Medium	450	Pecah
Medium High	600	Pecah
High	800	Pecah

Daya optimum yang diperoleh sebesar 150 W, sedangkan pada daya di atas 150 W, elektroda kerja pecah, seperti ditunjukkan Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Elektroda kerja yang diiradiasi lebih dari 150 W

Elektroda kerja yang telah ditetesi dye (ekstrak jantung pisang) dibuat dalam dua perlakuan yaitu diiradiasi dengan gelombang mikro, seperti Gambar 4.9 dan tidak diiradiasi dengan gelombang mikro. Sampel yang diiradiasi gelombang mikro, ekstrak jantung pisang lebih cepat kering dan meresap ke  $\text{TiO}_2$  sedangkan sampel yang tidak diiradiasi memerlukan waktu yang lebih lama untuk meresapkan dye ke  $\text{TiO}_2$ . Pada sampel yang tidak diiradiasi gelombang mikro, ekstrak jantung pisang mengalir ke sekitar elektroda kerja sehingga ekstrak yang terabsorpsi menjadi tidak maksimal.

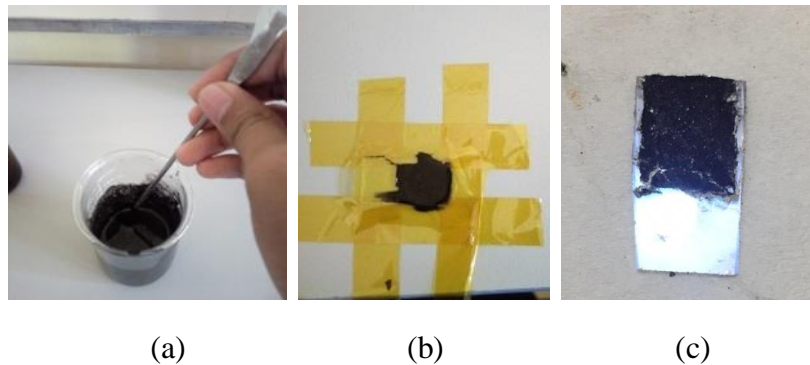


Gambar 4.9 Proses iradiasi gelombang mikro

#### 4.4 Elektroda Pemanding

Pembuatan elektroda pemanding dilakukan dengan pengadukan manual karena pada saat dilakukan pencampuran karbon aktif, CMC, dan pelarut menggunakan pengaduk panas magnetik seperti Gambar 4.10, campuran sangat cepat mengental sehingga

batang magnetik pada pengaduk panas magnetik tidak dapat berputar dan semua bahan tidak tercampur dengan baik. Karbon yang dihasilkan memiliki daya rekat yang bagus dan permukaannya yang rata tetapi ada beberapa bagian yang berpori.

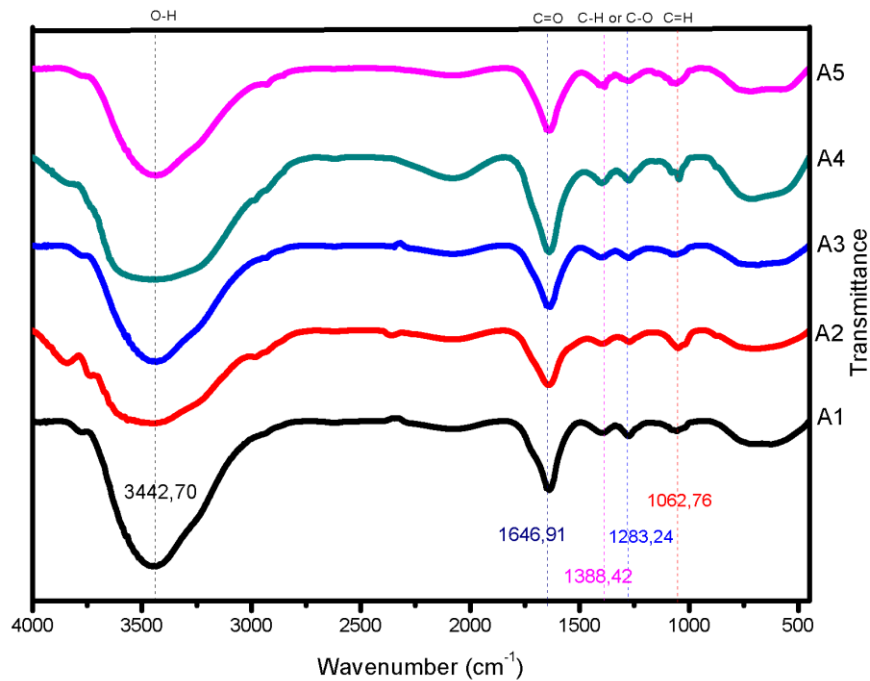


Gambar 4.10 (a) Proses pembuatan pasta karbon; (b) deposisi pasta karbon; dan (c) elektroda pembanding

## 4.5 Hasil Karakterisasi Ekstrak Jantung Pisang

### 4.5.1 Analisis Gugus Fungsi Ekstrak Jantung Pisang

Gugus fungsi dari senyawa kimia aktif pada ekstrak jantung pisang dapat diidentifikasi dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*). Puncak-puncak serapan dari ekstrak jantung pisang tersebut akan menunjukkan gugus fungsi antosianin yang merupakan bahan fotoaktif yang diperlukan sebagai pengindera untuk menerima energi matahari pada DSSC seperti Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Gugus fungsi ekstrak jantung pisang

Hasil spektrum FTIR dari ekstrak jantung pisang memiliki beberapa puncak serapan yang mengindikasikan adanya beberapa gugus fungsi, antara lain pada bilangan gelombang  $3442.70 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan ikatan O-H (Al-Alwani *et al.*, 2018), puncak serapan  $1646.91 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan C=O (He *et al.*, 2018), puncak serapan  $1283.24\text{-}1388.42 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan dari C-H metil bending vibration atau C-O stretching vibration dari kelompok hidroksil, dan puncak serapan  $1062.76 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan ikatan C=H aromatik (Munawaroh *et al.*, 2016).

Pada bilangan gelombang  $3500 \text{ cm}^{-1}$ , sampel A5 menunjukkan puncak serapan yang paling tajam. Hal ini menunjukkan bahwa pada sampel A5, kandungan gugus fungsi O-H adalah yang paling banyak. Dari gugus fungsi yang terbaca dapat diketahui bahwa larutan dye mengandung antosianin karena gugus fungsi O-H dan C-H merupakan struktur kimia dari antosianin (Primananda & Rezvozano, 2017). Tajamnya puncak serapan O-H pada sampel A5 dikarenakan massa jantung pisang yang

digunakan pada proses ekstraksi lebih banyak dibandingkan sampel-sampel lain sehingga menyebabkan ekstrak antosianin yang terlarut juga lebih banyak.

Berdasarkan hasil ini, karena terdapat kandungan antosianin maka ekstrak jantung pisang dapat dikarakterisasi lebih lanjut yaitu karakterisasi sifat optik sehingga diketahui absorbansi dari ekstrak jantung pisang.

#### **4.5.2 Analisis Sifat Optik Ekstrak Jantung Pisang**

Karakterisasi sifat optik digunakan untuk mengetahui rentang spektrum panjang gelombang serapan, panjang gelombang serapan maksimum, dan tingkat absorbansi maksimum ekstrak jantung pisang. Dengan diketahuinya rentang nilai spektrum panjang gelombang serapan ekstrak jantung pisang, maka dapat diketahui spektrum panjang gelombang cahaya yang dapat diserap ekstrak jantung pisang dengan baik.

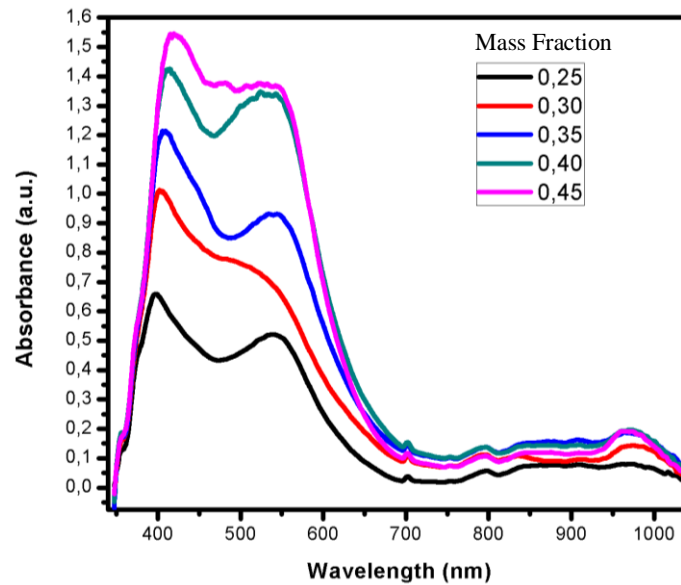
Hasil karakterisasi menggunakan *Ocean Optic VIS-NIR USB 4000* menunjukkan bahwa rentang spektrum serapan terbaik ekstrak jantung pisang yaitu pada panjang gelombang 350 sampai 700 nm. Hal ini menunjukkan bahwa antosianin jantung pisang memiliki spektrum serapan cahaya yang lebar dari spektrum warna ungu hingga merah. Semua puncak absorbansi ekstrak jantung pisang terdapat pada panjang gelombang antara 400 sampai 415 nm. Puncak serapan ini menunjukkan bahwa antosianin jantung pisang sangat signifikan dan dominan menyerap spektrum cahaya warna ungu seperti pada Tabel 4.3.

Absorbansi sampel  $A(\lambda)$  sebagai fungsi dari panjang gelombang didefinisikan oleh rasio logaritmik intensitas cahaya yang masuk  $I_0(\lambda)$  dan intensitas cahaya yang ditransmisikan  $I_t(\lambda)$  melalui sampel:

$$A(\lambda) = \log_{10} \frac{I_0(\lambda)}{I_t(\lambda)} = -\log_{10} T(\lambda) \quad (2)$$



Dengan  $T(\lambda)$  adalah transmitansi dari sampel (Pazoki *et al.*, 2017). Panjang gelombang serapan maksimum paling tinggi adalah pada sampel A5 yaitu 1,7353 kemudian sampel A4, A3, A2, dan A1 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik hubungan panjang gelombang dan absorbansi ekstrak jantung pisang

Berdasarkan hasil ini, dapat diketahui bahwa semakin besar fraksi massa jantung pisang yang digunakan, maka semakin besar absorbansi yang dihasilkan. Semakin besarnya nilai absorbansi berbanding lurus dengan semakin banyaknya pigmen antosianin yang terlarut dalam ekstrak. Ekstrak jantung pisang yang memiliki absorbansi tertinggi paling optimum digunakan sebagai photosensitizer karena banyaknya pigmen antosianin yang terlarut menyebabkan cahaya yang diberikan lebih banyak yang diserap daripada yang diteruskan.

Tabel 4.3 Warna-warna dalam spektrum tampak (Bruno &amp; Svoronos, 2005)

Warna	Frekuensi	Panjang Gelombang
Ungu	668-789 THz	380-450 nm
Biru	606-668 THz	450-495 nm
Hijau	526-606 THz	495-570 nm
Kuning	508-526 THz	570-590 nm
Jingga	484-508 THz	590-620 nm
Merah	400-484 THz	620-750 nm

Data absorbansi ekstrak jantung pisang dapat digunakan untuk menghitung celah pita energi. Celah pita energi merupakan perbedaan antara ujung atas pita valensi ( $E_v$ ) dengan ujung bawah pita konduksi ( $E_c$ ) atau celah energi adalah energi maksimum yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Due *et al.*, 2019). Celah pita energi yang kecil menyebabkan semakin mudahnya eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi (Virrisya & Astuti, 2019).

Penentuan celah energi material sangat penting untuk dikaji. Hal ini karena dengan mengetahui nilai celah energi suatu material, dapat ditentukan apakah material tersebut bersifat isolator, semikonduktor atau konduktor. Selain itu, salah satu topik penelitian yang sedang dikembangkan adalah identifikasi potensi material-material organik sebagai dye alami pada Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). Salah satu syarat suatu dye alami adalah memiliki nilai celah energi yang lebih kecil dari nilai celah energi semikonduktor yang digunakan pada DSSC (Dandara *et al.*, 2019).

Metode Tauc plot adalah sebuah metode penentuan celah pita optik dengan melihat grafik linear hubungan  $E$  (eV) pada sumbu-x dan  $(\alpha h\nu)^{1/m}$  pada sumbu-y. Hubungan antara energi foton ( $h\nu$ ) dan koefisien absorpsi ( $\alpha$ ) ditentukan dengan persamaan:

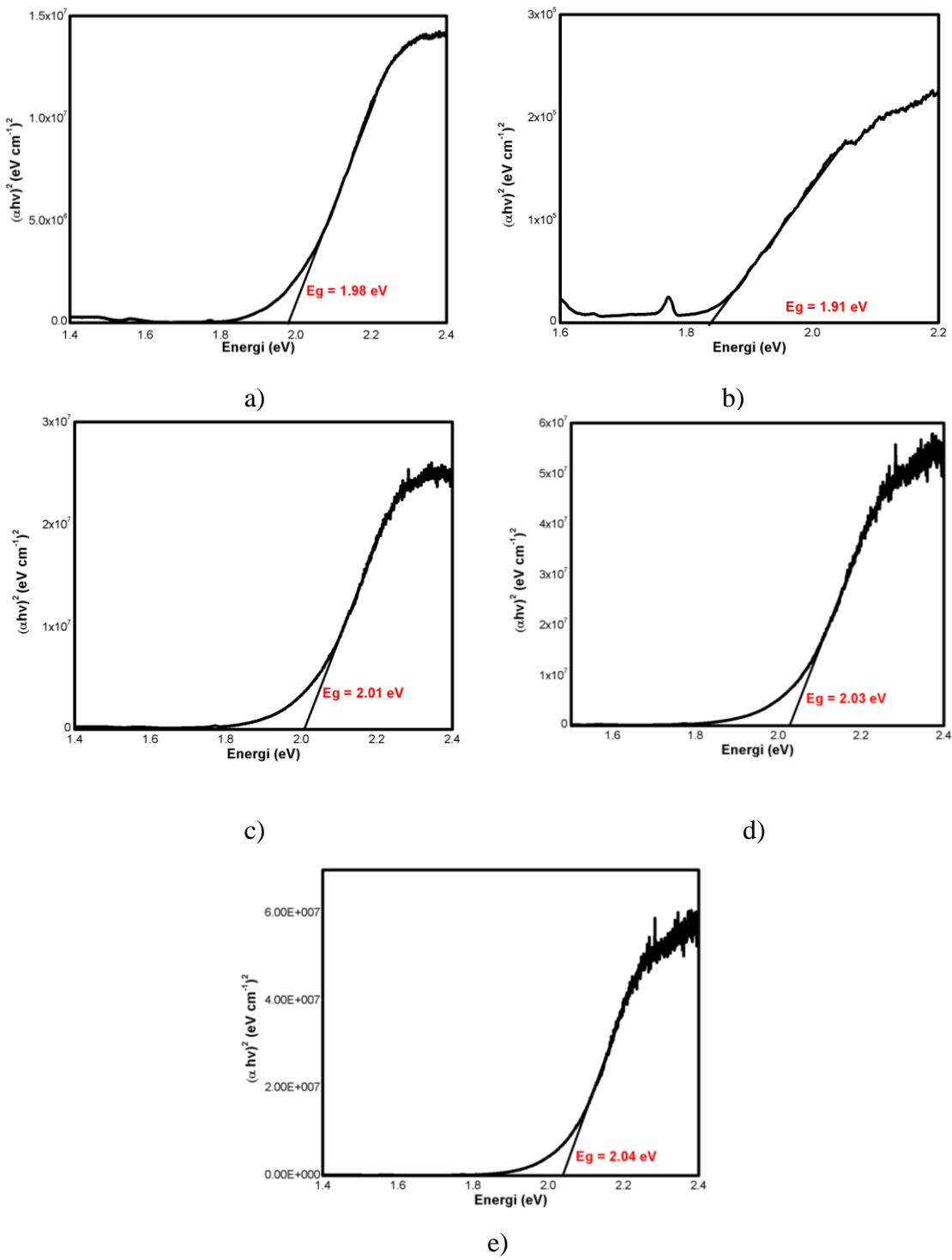
$$(\alpha h\nu)^{1/m} = c (h\nu - E_g) \quad (3)$$

Menurut Missa *et al.* (2018) ekstrak bahan organik daun alpukat termasuk dalam *direct transition* dengan nilai celah energi rata-rata 1,834 eV. Hal ini dikarenakan senyawa hasil ekstrak daun alpukat cenderung menyerap foton dengan energi eksitasi minimum dan memiliki nilai momentum sama. Hasil ini kemudian dijadikan rujukan untuk menghitung nilai celah energi ekstrak jantung pisang, sehingga rumus untuk menghitung nilai celah energi:

$$(\alpha h\nu)^2 = c (h\nu - E_g) \quad (4)$$

dengan  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s,  $c$  adalah konstanta kecepatan cahaya, dan  $E_g$  adalah celah energi material.

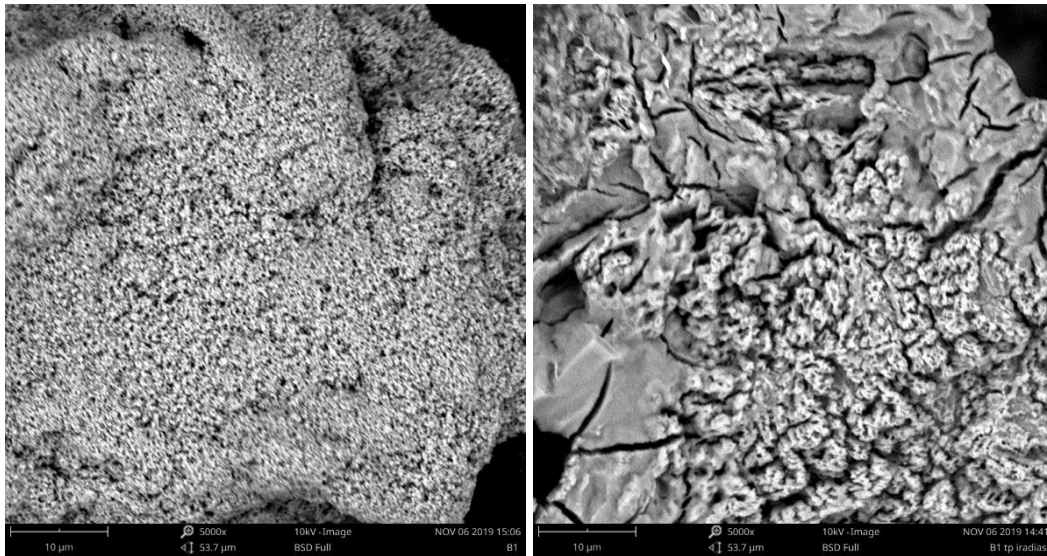
Hasil perhitungan dengan metode *Tauc Plot* menunjukkan bahwa ekstrak jantung pisang memiliki energi gap (celah energi) sebesar 1,91 – 2,04 eV seperti ditunjukkan pada Gambar 4.13. Sementara itu, diketahui bahwa semikonduktor  $\text{TiO}_2$  memiliki nilai energi band gap pada fasa anatase sebesar 3,2 eV, sedangkan pada fasa rutil sebesar 3,0 eV (A. S. A & Sudaryanto, 2016; L. A *et al.*, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa ekstrak jantung pisang dapat digunakan sebagai dye dalam DSSC karena memenuhi syarat yaitu memiliki energi gap yang lebih kecil dari semikonduktor  $\text{TiO}_2$ .



Gambar 4.13 Perhitungan Celah Pita Energi dengan Metode *Tauc Plot*

#### 4.6 Hasil Karakterisasi Struktur Permukaan Elektroda Kerja

Uji struktur permukaan bertujuan untuk mengetahui perbedaan struktur permukaan dan homogenitas elektroda kerja yang diiradiasi dan tanpa iradiasi gelombang mikro. Hasil karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* dari elektroda kerja yang ditetesi ekstrak jantung pisang ditunjukkan seperti Gambar 4.14.



(a)

(b)

Gambar 4.14 Struktur permukaan elektroda kerja sampel (a) B1 dengan iradiasi gelombang mikro, dan (b) B1 tanpa iradiasi gelombang mikro

Berdasarkan Gambar 4.14. dapat dilihat bahwa permukaan elektroda kerja memiliki struktur permukaan yang kasar, baik pada elektroda kerja yang diiradiasi menggunakan gelombang mikro maupun pada elektroda kerja yang tidak diiradiasi dengan gelombang mikro. Namun terdapat perbedaan antara kedua sampel, pada elektroda kerja yang diiradiasi gelombang mikro cenderung memiliki pori-pori yang lebih banyak, sedangkan pada elektroda kerja yang tidak diiradiasi gelombang mikro memiliki pori-pori yang besar, lebih sedikit dan cenderung berbentuk koloid.

Berdasarkan hasil tersebut dapat dibuktikan bahwa iradiasi gelombang mikro menyebabkan permukaan granula sampel menjadi lebih besar sehingga dapat meningkatkan daya absorpsi karena pori-porinya menjadi lebih banyak.

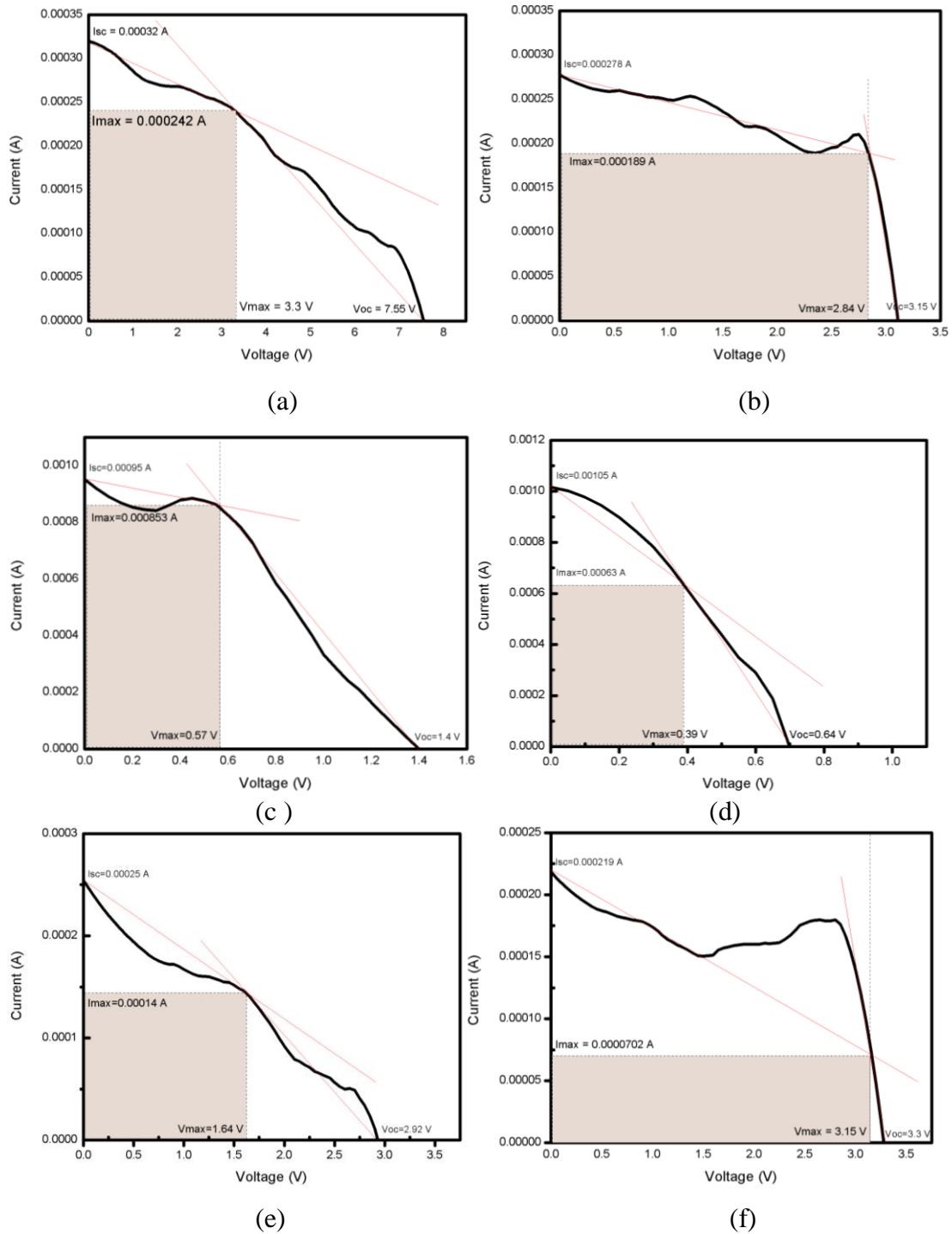
#### 4.7 Hasil Karakterisasi Sifat Listrik Dye Sensitized Solar Cell

Karakterisasi sifat listrik dilakukan dengan iluminasi cahaya lampu halogen 50 W seperti ditunjukkan Gambar 4.15. Pencahayaan dilakukan pada box tertutup bertujuan agar cahaya yang diberikan terpusat pada sampel dan tidak tersebar sehingga pencahayaan yang diperoleh sampel optimum.



Gambar 4.15 Pengukuran sifat listrik sel surya organik menggunakan I-V Meter Nacrieble 101

Kurva karakteristik I-V dengan variasi massa perekat CMC pada elektroda kerja ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Kurva I-V Dye-Sensitized Solar Cell berbahan ekstrak jantung pisang pada sampel (a) B1 (b) B2 (c) B3 (d) B4 (e) B5, dan (f) B6.

Berdasarkan kurva I-V pada Gambar 4.16 didapatkan nilai tegangan listrik rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), arus listrik rangkaian pendek ( $I_{sc}$ ), tegangan listrik maksimum ( $V_{max}$ ), dan arus listrik maksimum ( $I_{max}$ ) yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai daya maksimum ( $P_{max}$ ), *fill factor* (FF), dan efisiensi ( $\eta$ ) *dye-sensitized solar cell* (DSSC) berbahan ekstrak jantung pisang dengan luas area aktif sel adalah  $1 \text{ cm}^2$  seperti pada Tabel 4.3. Nilai *Fill Factor* (FF) dapat dikorelasikan langsung dengan arus dan tegangan maksimum yang diterima dalam kondisi iluminasi (Gopakumar *et al.*, 2018) dan dapat dihitung dengan persamaan FF (Chatterjee, 2018):

$$FF = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (3)$$

sedangkan nilai efisisiensi menyatakan perbandingan antara energi yang dihasilkan sel surya terhadap besarnya energi matahari yang diserapnya (Rahman *et al.*, 2019) dan dapat dihitung dengan persamaan efisiensi (Aksoy *et al.*, 2019):

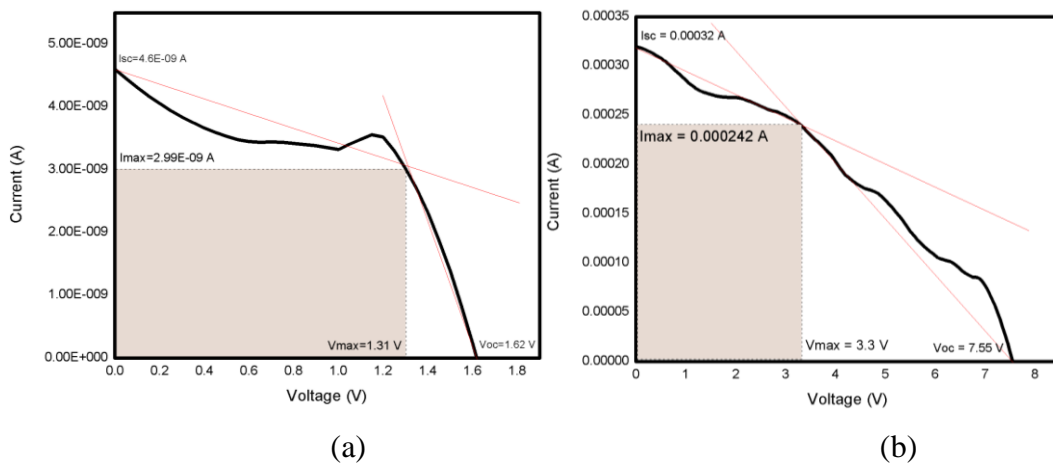
$$\eta = \frac{FF \times I_{sc} \times V_{oc}}{I_{max} \times V_{max}} \times 100 \% \quad (4)$$

Tabel 4.4 Parameter sifat listrik *dye-sensitized solar cell* berbahan ekstrak jantung pisang

Kode Sampel	Vmax (V)	I <sub>max</sub> (A)	V <sub>oc</sub> (V)	I <sub>sc</sub> (A)	FF	η (%)
B1	3,30	$2,42 \times 10^{-4}$	7,55	$3,20 \times 10^{-4}$	0,33	0,570
B2	2,84	$1,89 \times 10^{-4}$	3,15	$2,78 \times 10^{-4}$	0,61	0,430
B3	0,57	$8,53 \times 10^{-4}$	1,40	$9,50 \times 10^{-4}$	0,34	0,360
B4	0,39	$6,30 \times 10^{-4}$	0,64	$1,05 \times 10^{-3}$	0,44	0,240
B5	1,64	$1,40 \times 10^{-4}$	2,92	$2,50 \times 10^{-4}$	0,31	0,181
B6	3,15	$7,02 \times 10^{-4}$	3,30	$2,19 \times 10^{-4}$	0,31	0,179



Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa nilai efisiensi tertinggi *dye-sensitized solar cell* berbahan ekstrak jantung pisang yaitu sampel B1 sebesar 0,57%. Penambahan massa perekat pada elektroda kerja menyebabkan konduktivitas sel berkurang. Hal ini dibuktikan dengan semakin menurunnya efisiensi DSSC ketika massa perekat CMC semakin bertambah. Selain pengaruh penambahan massa perekat CMC, diketahui juga pengaruh pemberian iradiasi gelombang mikro pada performa DSSC seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4. 17 (a) Sampel yang tidak diiradiasi gelombang mikro dan (b) sampel yang diiradiasi gelombang mikro

Berdasarkan kurva I-V pada Gambar 4.17, dapat diketahui parameter sifat listrik dari sampel B1 baik yang tidak diiradiasi gelombang mikro maupun pada sampel yang diiradiasi gelombang mikro.

Tabel 4. 5 Parameter sifat listrik DSSC tanpa iradiasi gelombang mikro dan dengan iradiasi gelombang mikro

Kode Sampel	Vmax (V)	Imax (A)	Voc (V)	Isc (A)	FF	$\eta$ (%)
B1 tanpa iradiasi	1,31	$2,99 \times 10^{-9}$	1,62	$4,60 \times 10^{-9}$	0,62	$3,69 \times 10^{-6}$
B1	3,30	$2,42 \times 10^{-4}$	7,55	$3,20 \times 10^{-4}$	0,33	$5,70 \times 10^{-1}$

Pemberian iradiasi gelombang mikro memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada performa *dye-sensitized solar cell*. Sampel B1 yang diberi iradiasi gelombang mikro mampu menghasilkan efisiensi sebesar 0,57%, sedangkan sampel B1 yang tidak diiradiasi gelombang mikro hanya mampu memberikan efisiensi sebesar  $3,69 \times 10^{-6} \%$ . Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wang (2018), yang membuktikan bahwa iradiasi gelombang mikro dapat meningkatkan performa DSSC yang ditunjukkan dengan meningkatnya efisiensi DSSC.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Iradiasi gelombang mikro yang optimum pada elektroda kerja berbahan ekstrak jantung pisang diperoleh pada daya 150 W selama  $\pm 15$  menit.
2. Iradiasi gelombang mikro menyebabkan elektroda kerja memiliki banyak pori sehingga ekstrak jantung pisang yang diserap menjadi lebih banyak. Hal ini berpengaruh pada efisiensi DSSC di mana pada variasi sampel yang sama, DSSC yang diiradiasi gelombang mikro memiliki efisiensi sebesar 0,57% sedangkan DSSC yang tidak diiradiasi gelombang mikro memiliki efisiensi sebesar  $3,69 \times 10^{-6} \%$ .

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai iradiasi yang paling efisien agar menghasilkan performa DSSC yang terbaik.
2. Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell menggunakan iradiasi gelombang mikro dapat dikembangkan lebih lanjut agar didapatkan efisiensi yang semakin besar / mendekati efisiensi sel surya berbahan silikon.

## DAFTAR PUSTAKA

- A, A. S., & Sudaryanto. (2016). *Penambahan N Pada TiO<sub>2</sub> Dan Pengaruhnya Pada Energi Band Gap TiO<sub>2</sub> Sebagai Bahan Pengolah Limbah.*
- A, L., A, T., A, H., & A, S. (2018). Investigasi Struktur dan Energi Band Gap Partikel Nano TiO<sub>2</sub> Hasil Sintesis Menggunakan Metode Sol-Gel. *Journal of Physical Science and Engineering*, 3(1), 8–15. <https://doi.org/10.17977/um024v3i12018p008>
- Aksoy, S., Gorgun, K., Caglar, Y., & Caglar, M. (2019). Effect of loading and standby time of the organic dye N719 on the photovoltaic performance of ZnO based DSSC. *Journal of Molecular Structure*, 1189, 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2019.04.040>
- Al-Alwani, M. A. M., Ludin, N. A., Mohamad, A. B., Kadhum, A. A. H., & Mukhlus, A. (2018). Application of dyes extracted from *Alternanthera dentata* leaves and *Musa acuminata* bracts as natural sensitizers for dye-sensitized solar cells. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 192, 487–498. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.11.018>
- Alvionita, J., Darwis, D., & Efdi, M. (2016). Ekstraksi dan Identifikasi Senyawa Antosianin dari Jantung Pisang Raja (*Musa x paradisiaca* L.) serta Uji Aktivitas Antioksidannya. *Jurnal Riset Kimia*, 9(2), 21. <https://doi.org/10.25077/jrk.v9i2.284>
- Andari, R. (2017). *Sintesis dan Karakterisasi Dye Sensitized Solar Cells ( DSSC ) dengan Sensitizer Antosianin dari Bunga Rosella.* 01(02), 61–71.
- Berni, A., Mennig, M., & Schmidt, H. (2004). *Doctor Blade.* [https://doi.org/10.1007/978-0-387-88953-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-0-387-88953-5_10)

- Bruno, T. J., & Svoronos, P. D. N. (2005). CRC handbook of fundamental spectroscopic correlation charts. In *CRC Handbook of Fundamental Spectroscopic Correlation Charts*. <https://doi.org/10.1201/9780849332500>
- Cao, Q., Yang, S., Gao, Q., Lei, L., Yu, Y., Shao, J., & Liu, Y. (2016). Fast and Controllable Crystallization of Perovskite Films by Microwave Irradiation Process. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 8(12), 7854–7861. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b01558>
- Chatterjee, S. (2018). Performance of Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) Fabricated with Zinc Oxide (ZnO) Nanopowders and Nanorods. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 27(6), 2713–2718. <https://doi.org/10.1007/s11665-018-3285-y>
- Dandara, M. E., Pingak, R. K., & Johannes, A. Z. (2019). Estimasi Celah Energi Senyawa Hasil Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) Menggunakan Metode Tauc Plot. *Jurnal Fisika*, 4(1), 48–51.
- Due, Y. P., Bukit, M., & Johannes, A. Z. (2019). *Kajian Awal Spektrum Serapan UV-Vis Senyawa Hasil Ekstrak Daun Jeruk Nipis (Citrus aurantifolia) Asal Tarus Kabupaten Kupang*. 4(1), 34–41.
- Fitra, M., Daut, I., Gomesh, N., Irwanto, M., & Irwan, Y. M. (2013). Dye solar cell using Syzigium Oleina organic dye. *Energy Procedia*, 36, 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.039>
- Fujii, S., Kawamura, S., Mochizuki, D., Maitani, M. M., Suzuki, E., & Wada, Y. (2015). Microwave sintering of Ag-nanoparticle thin films on a polyimide substrate. *AIP Advances*, 5(12). <https://doi.org/10.1063/1.4939095>
- Gopakumar, G., Ashok, A., Vijayaraghavan, S. N., Nair, S. V., & Shanmugam, M. (2018). MoO<sub>3</sub> surface passivation on TiO<sub>2</sub>: An efficient approach to minimize loss in fill factor and maximum power of dye sensitized solar cell. *Applied Surface*

- Science*, 447, 554–560. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.04.013>
- Gratzel, M. (2003). *Dye-sensitized solar cells*. 4, 145–153. [https://doi.org/10.1016/S1389-5567\(03\)00026-1](https://doi.org/10.1016/S1389-5567(03)00026-1)
- Hani, S. (2015). *Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell*. 7(2), 157–163.
- Hari Prasetyo, Y., Wahyuningsih, S., & Suryana, R. (2014). Studi Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) (Halaman 47 S.d. 49). *Jurnal Fisika Indonesia UGM*, 18(53), 47–49. <https://doi.org/10.22146/jfi.24388>
- He, Y., Wen, L., Yu, H., Zheng, F., Wang, Z., Xu, X., ... Hao, J. (2018). Effects of high hydrostatic pressure-assisted organic acids on the copigmentation of *Vitis amurensis* Rupr anthocyanins. *Food Chemistry*, 268(June), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.052>
- Huda, A., & Santoso, H. (2019). Pengoptimalan Energi Terbarukan menggunakan Maximum Power Point Tracking Berbasis Adaptive Neuro Fuzzy Inference System dan Photovoltaic Berbasis Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Inovtek Polbeng*, 09(1), 95–102.
- Husna, N., Novita, M., & Rohaya, S. (2013). Kandungan Antosianin dan Aktivitas Antioksidan Ubi Jalar Ungu Segar dan Produk Olahannya. *Jurnal Agritech Fakultas Teknologi Pertanian UGM*, 33(3), 296–302. <https://doi.org/10.22146/agritech.9551>
- Kabir, F., Sakib, S. N., & Matin, N. (2019). Stability study of natural green dye based DSSC. *Optik*, 181, 458–464. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.12.077>
- Kamal, M. (2019). *Extraction and Quantification of Anthocyanin from Banana Bracts Using Different pH and Solvent Concentration*. 4(2), 60–64. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/332780316\\_Extraction\\_and\\_Quantific](https://www.researchgate.net/publication/332780316_Extraction_and_Quantific)

ation\_of\_Anthocyanin\_from\_Banana\_Bracts\_Using\_Different\_pH\_and\_Solvent\_Concentration

- Komalasari, M., Akbar, T. F., & Sunendar, B. (2014). Pengaruh Konsentrasi Kitosan pada Sintesis Nanopartikel TiO<sub>2</sub> untuk Aplikasi pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 4, 13–18.
- Kotteswaran, S., Pandian, M. S., & Ramasamy, P. (2018). Synthesis, optical, electrochemical and photovoltaic properties of donor modified organic dyes for dye-sensitized solar cell (DSSC) applications. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(8), 6672–6678. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-8653-8>
- Kristianingrum, S. (2012). *Handout Spektroskopi Infra Merah*.
- Lestario, L. N., Kristiarso, M., Catur, W., & Kristijanto, A. I. (2014). *Stabilitas Antosianin Jantung Pisang Kepok ( Musa paradisiaca L ) terhadap Cahaya sebagai Pewarna Agar-agar*. 34(4), 374–381.
- Lestario, L. N., Lukito, D., & Timotius, H. (2009). Kandungan Antosianin dan Antosianidin dari Jantung Pisang Klutuk ( Musa brachycarpa Back ) dan Pisang Ambon ( Musa acuminata Colla ). *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 20(2), 143–148.
- Listorti, A., O'Regan, B., & Durrant, J. R. (2011). Electron transfer dynamics in dye-sensitized solar cells. *Chemistry of Materials*, 23(15), 3381–3399. <https://doi.org/10.1021/cm200651e>
- Liu, H., Wu, Z., Gao, H., Shao, J., Zou, H., Yao, D., ... Yang, B. (2017). One-Step Preparation of Cesium Lead Halide CsPbX<sub>3</sub> (X = Cl, Br, and I) Perovskite Nanocrystals by Microwave Irradiation. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 9(49), 42919–42927. <https://doi.org/10.1021/acsami.7b14677>

- Maddu, A., Zuhri, M., & . I. (2007). Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersensitasi Dye. *MAKARA of Technology Series*, 11(2), 78–84. <https://doi.org/10.7454/mst.v11i2.529>
- Manan, S. (2009). Energi Matahari, Sumber Energi Alternatif yang Effisien, Handal dan Ramah Lingkungan di Indonesia. *Gema Teknologi*, 31–35. Retrieved from <http://eprints.undip.ac.id/1722>
- Missa, M. M. Y., Pingak, R. K., & Sutaji, H. I. (2018). *Penentuan Celah Energi Optik Ekstrak Daun Alpukat ( Persea Americana Mill ) Asal Desa Oinlasi menggunakan Metode Tauc Plot*. 3(2), 86–90.
- Mizuno, A., Yamada, G., & Ohtani, N. (2018). Natural dye-sensitized solar cells containing anthocyanin dyes extracted from frozen blueberry using column chromatography method. *2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, WCPEC 2018 - A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC and 34th EU PVSEC*, 1129–1131. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2018.8547843>
- Munawaroh, H., Adillah, G. F., Saputri, L. N. M. Z., Hanif, Q. A., Hidayat, R., & Wahyuningsih, S. (2016). The co-pigmentation of anthocyanin isolated from mangosteen pericarp (*Garcinia Mangostana* L.) as Natural Dye for Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012061>
- Nadaek, S., & Susanti, D. (2012). Variasi temperatur dan waktu tahan kalsinasi terhadap unjuk kerja semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai dye sensitized solar cell (DSSC) dengan dye dari ekstrak buah naga. *Jurnal Teknik ITS*, 1, 2–7. Retrieved from <http://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/883>
- Novitasari, A., Ambarwati, A., Lusua, A., Purnamasari, D., Hapsari, E., & Ardiyani, N.



- D. (2013). INOVASI DARI JANTUNG PISANG ( *Musa spp.* ). *Jurnal*.
- Pazoki, M., Cappel, U. B., Johansson, E. M. J., Hagfeldt, A., & Boschloo, G. (2017). Characterization techniques for dye-sensitized solar cells. *Energy and Environmental Science*, 10(3), 672–709. <https://doi.org/10.1039/c6ee02732f>
- Pinto, A. H., Shin, S. W., Isaac, E., Knutson, T. R., Aydil, E. S., & Penn, R. L. (2017). Controlling Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) phase in microwave solvothermal synthesis. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(44), 23179–23189. <https://doi.org/10.1039/c7ta06086f>
- Prasetyowati, R. (2017). Studi Preparasi Dan Karakterisasi Sel Surya Berbasis Titania Melalui Penyisipan Logam Tembaga (Cu) Dengan Berbagai Variasi Massa Pada Lapisan Aktif Titania. *Jurnal Sains Dasar*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.21831/jsd.v6i1.12129>
- Prayogo, A. F., Pramono, S. H., & Maulana, E. (2014). *Pengujian dan Analisis Performansi Dye-sensitized Solar Cell ( DSSC ) terhadap Cahaya*. 1–7.
- Primananda, I., & Rezvozano, R. D. (2017). Karakteristik Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berbasis Zat Pewarna Alami dari Ekstrak Jantung Pisang. *METAL: Jurnal Sistem Mekanik Dan Termal*, 1(2), 99–108. <https://doi.org/10.25077/metal.1.2.99-108.2017>
- Rahman, F. H., Rokhmat, M., & Wibowo, E. (2019). *Pembuatan Sel Surya Berbahan TiO<sub>2</sub> dengan Penyisipan Partikel Emas menggunakan Metode Elektroplating*. 6, 1165. <https://doi.org/10.1101/541979>
- Reeja-Jayan, B., Harrison, K. L., Yang, K., Wang, C. L., Yilmaz, A. E., & Manthiram, A. (2012). Microwave-assisted low-temperature growth of thin films in solution. *Scientific Reports*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep01003>
- Retnaningsih, L., Muliani, L., & Anggraini, P. N. (2015). Analisis Hasil Sintesis

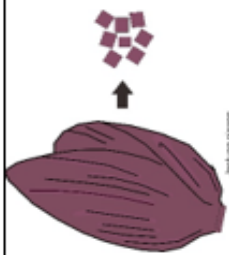

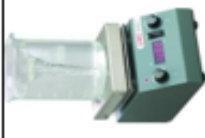

- Serbuk TiO<sub>2</sub> / ZnO sebagai Lapisan Elektroda untuk Aplikasi Dye-sensitized Solar Cell. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*, 15(2), 55.  
<https://doi.org/10.14203/jet.v15.55-59>
- Richhariya, G., & Kumar, A. (2018). Fabrication and characterization of mixed dye: Natural and synthetic organic dye. *Optical Materials*, 79(March), 296–301.  
<https://doi.org/10.1016/j.optmat.2018.03.056>
- Samber, L. N., Semangun, H., & Prasetyo, B. (2009). Karakteristik Antosianin Sebagai Pewarna Alami. *Program Studi Magister Biologi Universitas Kristen Satya Wacana*, 2(4), 1–4. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/173239-ID-karakteristik-antosianin-sebagai-pewarna.pdf>
- Sasue, R., Frans, H., & Ir, H. (2017). *Analisis Pengaruh Radiasi Gelombang Mikro Pada Struktur Kristal Pati ( Starch )*. 6(1), 2013–2016.
- Supriyono, T. (2008). Kandungan Beta Karoten, Polifenol Total dan Aktivitas “Merantas” Radikal Bebas Kefir Susu Kacang Hijau (*Vigna radiata*) oleh Pengaruh Jumlah Starter (*Lactobacillus bulgaricus* dan *Candida kefir*) dan Konsentrasi Glukosa. *Tesis*, 119.
- Sutikno, Hadi, S., Wulandari, R. D. A., Yulianti, I., Edi, S. S., & Prastiyanto, D. (2019). Performance Stability and Optical Properties of *Musa Acuminata* bracts-based Dye-Sensitized Solar Cell. *Materials Today: Proceedings*, 13, 311–316.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.03.233>
- Sutikno, S., Dharmaputera, N. M., & Rahayu, S. (2014). Fabrication and Characterization of Banana Flower Extract Anthocyanin-Based Organic Solar Cell. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 1(2), 89–93.  
<https://doi.org/10.12720/joaat.1.2.89-93>
- Sutikno, Wulandari, R. D. A., Hadi, S., Yulianti, I., Edi, S. S., & Prastiyanto, D.

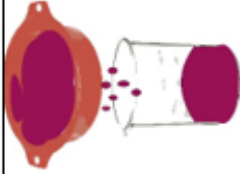
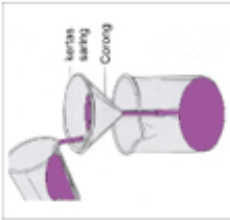
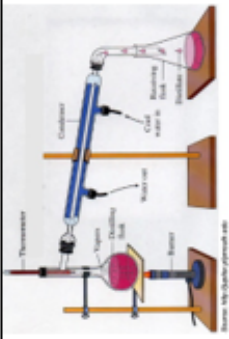


- (2019). Natural Dye of *Musa acuminata* bracts as Light Absorbing Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell. *Materials Today: Proceedings*, 13, 246–251. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2019.03.222>
- Sutikno, Yulianti, I., & Saputra, D. S. (2017). An Investigation of pH Effects on the Properties of the Fabricated Banana Flower Extracts-based Organic Solar Cell. *Oriental Journal of Chemistry*, 33, 318–323.
- Syamsudin, F. I. (2018). *Analisis Pengaruh Aktivitas Matahari Terhadap*. 179–183.
- Virrisya, & Astuti. (2019). Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel ZnO didoping Mn Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 308–314.
- Wang, C. L., & Chen, C. Y. (2018). Fast and controllable sensitization of dye-sensitized solar cells by microwave irradiation. *Solar Energy*, 169(March), 249–254. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.04.064>
- Widayana, G. (2012). Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 9, 37–46.
- Widodo, D. A., Suryono, & Tantyantoro, A. (2010). Pemberdayaan Energi Matahari sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas. *Teknik Elektro*, 2, 133–138. <https://doi.org/10.1093/occmmed/kqq062>

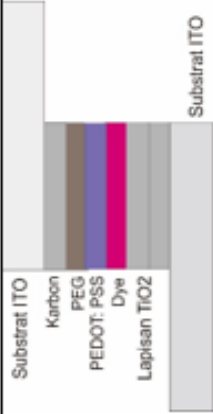

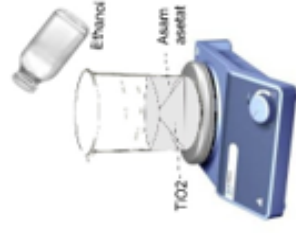
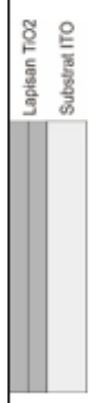


Lampiran 1 Daftar Publikasi


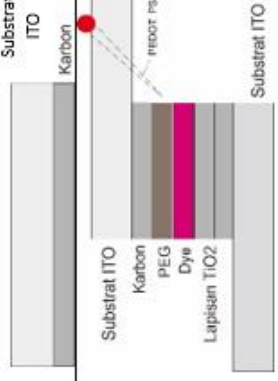
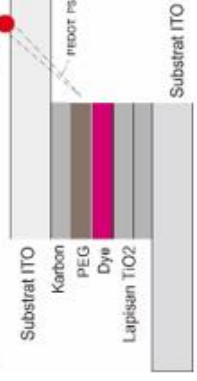



## Lampiran 2 Kartu Jalan Penelitian

No	Tahapan	Struktur	Alat	Bahan	Variabel	Metode
1.	Pemotongan jantung pisang		- Pisau - Tatakan	Jantung pisang	Ukuran	Pemotongan jantung pisang
2.	Penimbangan massa pelarut		- Timbangan digital - Gelas beker 100 ml	- DI water - Ethanol 96% - Asam asetat	- Massa: Ethanol = 150 gram - Asam Asetat = 6 gram - DI water = 30 gram	Penimbangan massa pelarut
3.	Pencampuran pelarut		- Heated magnetic stirrer - gelas beker 250 ml - stopwatch	- DI water - Ethanol 96% - Asam asetat	- Ukuran - Kecepatan : 1500 rpm - Waktu : 30 menit	Pencampuran dengan heated magnetic stirrer
4.	Penghancuran jantung pisang		- Blender - Stopwatch	Potongan jantung pisang	- Fraksi massa = 0,25 ; 0,3 ; 0,35 ; 0,4 ; 0,45	Penghancuran dengan blender

5.	Penyaringan pertama ekstrak jantung pisang		- Saringan 70 mess - Gelas beker 250 ml	Larutan jantung pisang	Ukuran residu	Penyaringan dengan saringan 70 mess
6.	Penyaringan kedua ekstrak jantung pisang		- Kertas saring 0,45 $\mu\text{m}$ - Gelas ukur 100 ml - Corong kaca	Larutan jantung pisang	Ukuran residu	Penyaringan dengan kertas saring
7.	Proses penyulingan ekstrak jantung pisang		- Destilator - Spirtus - Bunsen - Gelas beker - Botol kaca - Aluminium foil	Larutan hasil filtrasi	Volume	Menggunakan destilator
8.	Karakterisasi sampel menggunakan VIS-NIR dan FTIR		Alat karakterisasi VIS-NIR dan FTIR	- Larutan hasil sulingan - Botol kaca	Sifat optik dan gugus fungsi	Karakterisasi pada rentang spektrum panjang gelombang 350-1000 nm
9.	Proses pengadukan filtrat ekstrak jantung pisang		Heated magnetic stirrer	- Larutan hasil penyulingan - Botol - Aluminium foil	- Kecepatan = 1500 rpm - Waktu = 60 menit	- Hasil pengadukan disimpan dalam botol yang ditutupi aluminium foil

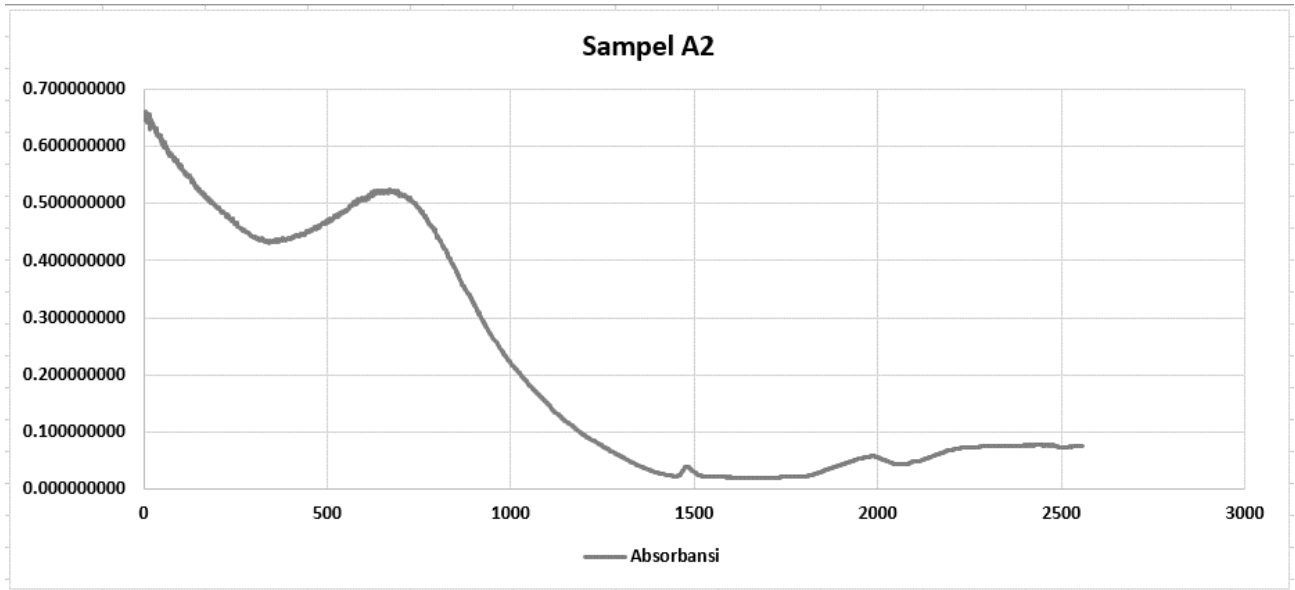
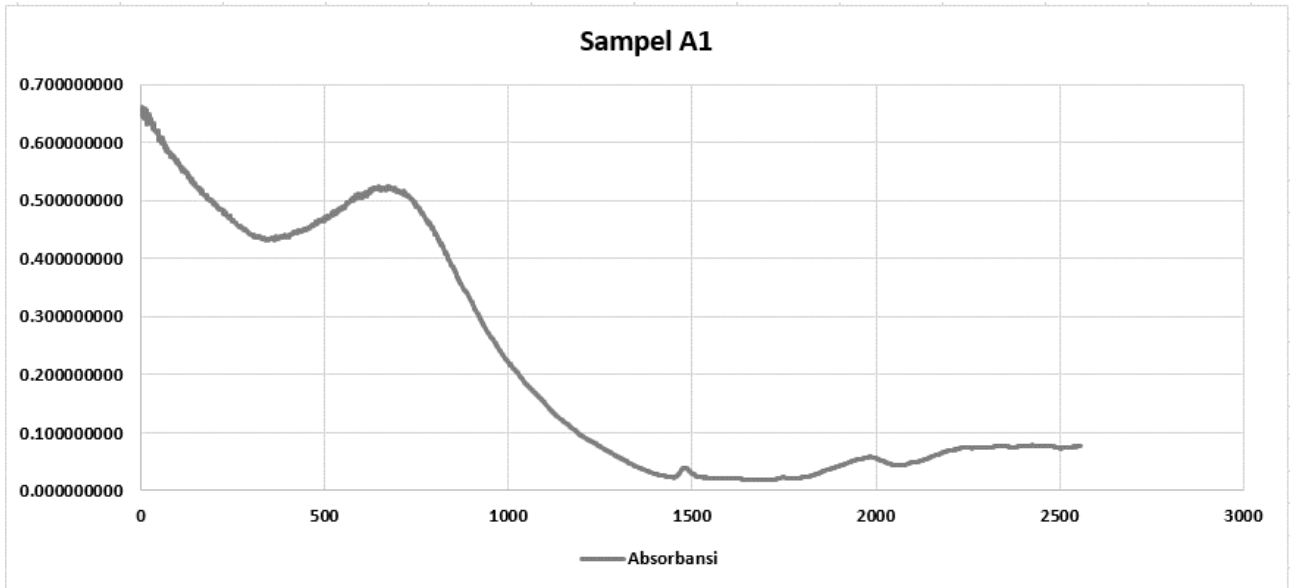
10.	Pembuatan Desain DSSC				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Struktur layer elektroda</li> <li>- Jumlah kerja = 2</li> <li>- Jenis bahan = <math>\text{TiO}_2</math></li> </ul>	
11.	Pemotongan ITO-coated substrat glass		- Subscriber pen - Mistar	Kaca ITO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ukuran p x l = 2 x 1 cm dan 1 x 1 cm</li> <li>- Jumlah = 24</li> </ul>	Kaca ITO dipotong sepanjang 2 x 1 cm dan 1 x 1 cm
12.	Pembuatan pasta $\text{TiO}_2$		- Gelas beker 250 ml - Heated magnetic stirrer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Serbuk <math>\text{TiO}_2</math></li> <li>- Asam asetat</li> <li>- Ethanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Massa <math>\text{TiO}_2 = 4 \text{ g}</math></li> <li>- Volume asam asetat = 0,4 ml</li> <li>- Volume etanol = 20 ml</li> </ul>	Pembuatan pasta $\text{TiO}_2$ sambil <i>distirring</i>
13.	Deposisi $\text{TiO}_2$ ke substrat kaca (Pembuatan elektroda kerja)		Kaca, magnetik pengaduk	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kaca ITO</li> <li>- Pasta <math>\text{TiO}_2</math></li> </ul>		Deposisi $\text{TiO}_2$ dengan teknik Doctor Blade
14.	Pelapisan elektroda dengan dye jantung pisang		Pipet tetes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dye jantung pisang</li> <li>- Elektroda kerja</li> </ul>		Pelapisan dye dengan teknik tetes
15.	Iradiasi gelombang mikro		Microwave	Elektroda kerja	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Daya = 130 W</li> <li>- Waktu = ±15 menit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelapisan dye dengan teknik tetes</li> <li>- Iradiasi gelombang mikro menggunakan microwave</li> </ul>

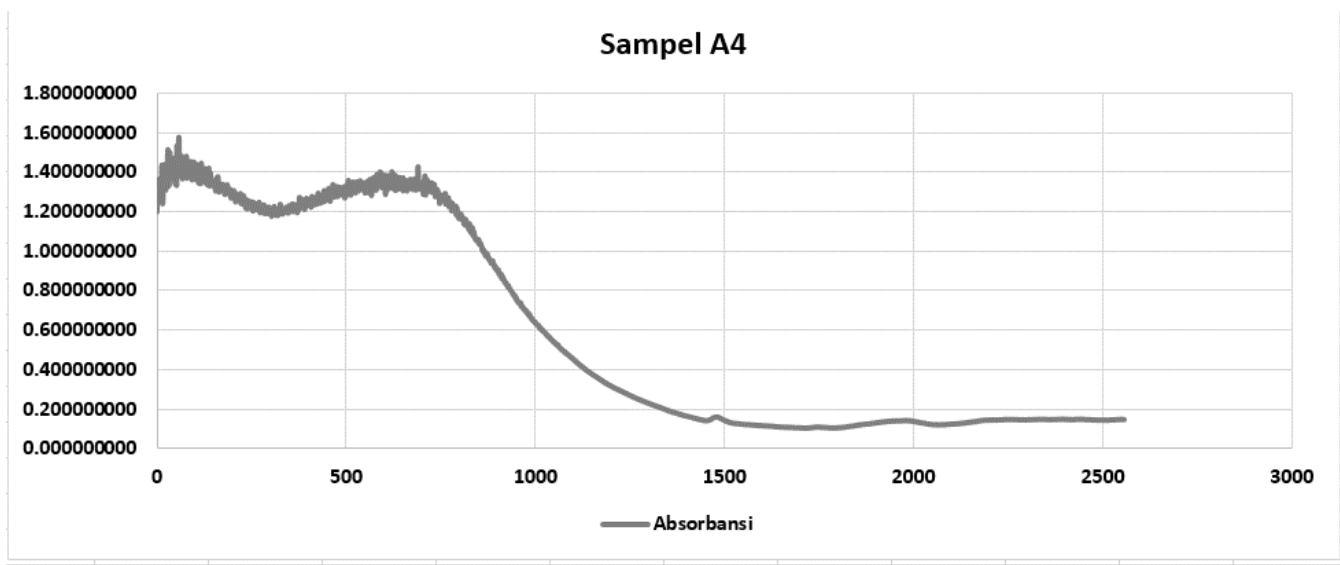
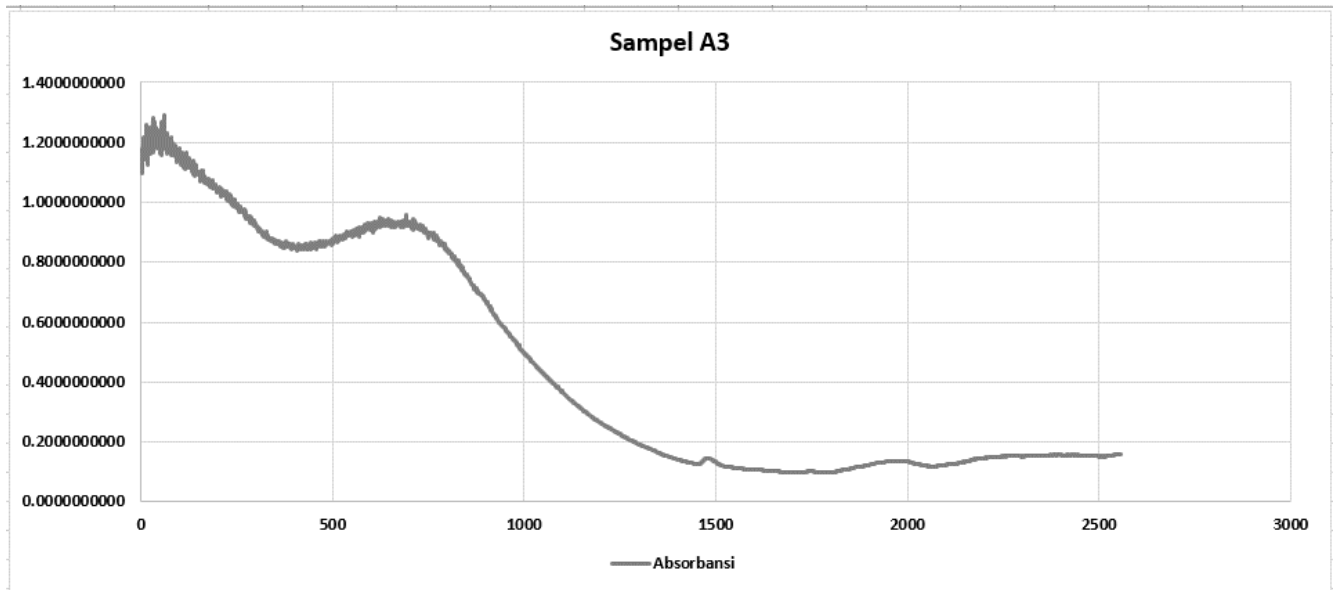
16.	Karakterisasi lapisan TiO <sub>2</sub>		Alat karakterisasi SEM	Elektroda kerja	Struktur	
17.	Pembuatan Elektroda Pemandang		- Spin coater - Sputtering	- Karbon aktif - CMC - Kaca ITO	Teknik Pembuatan	Elektroda pemandang dibuat menggunakan teknik spin coating
18.	Fabrikasi DSSC		Penjepit kertas	- Elektroda kerja yang telah ditetesi dye - Elektroda pemandang - Larutan elektrolit (PEG, PEDOT, PSS)	Struktur	- Pelapisan elektroda kerja dengan PEG - Penetesan larutan elektrolit PEDOT: PSS
19.	Karakterisasi DSSC		I-V meter	Sandwich DSSC	Sifat Listrik	Iminasi dengan cahaya datang dengan lampu halogen 50 W

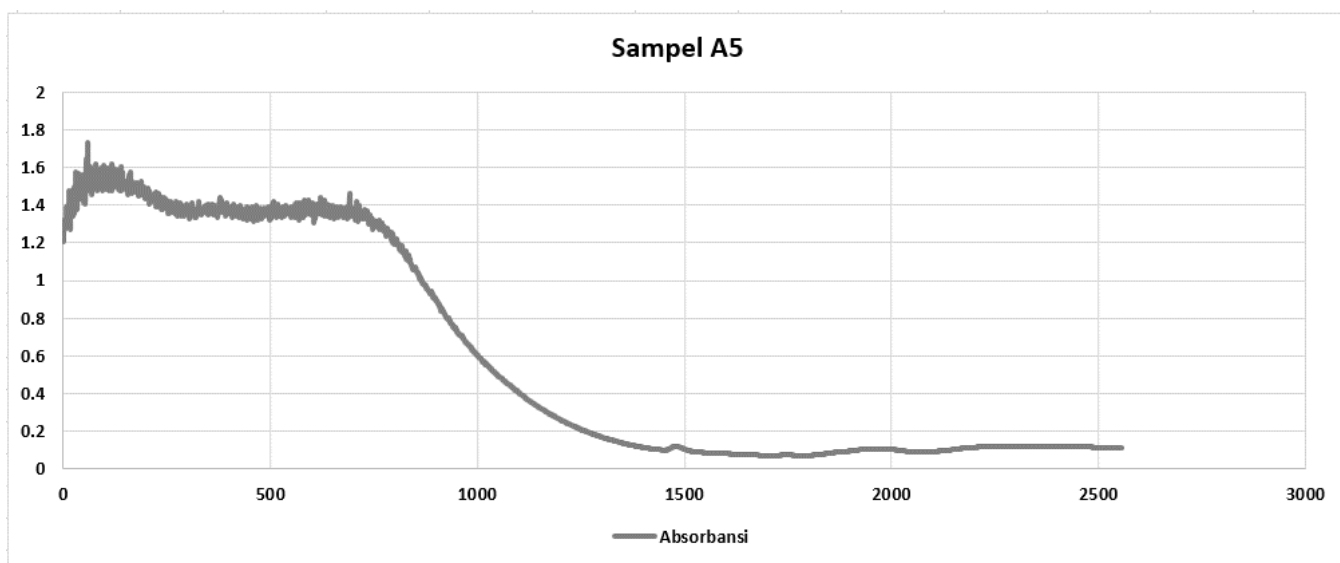


### Lampiran 3

Hasil Karakterisasi Sifat Optik dengan Spektrometer Vis-Nir USB 4000







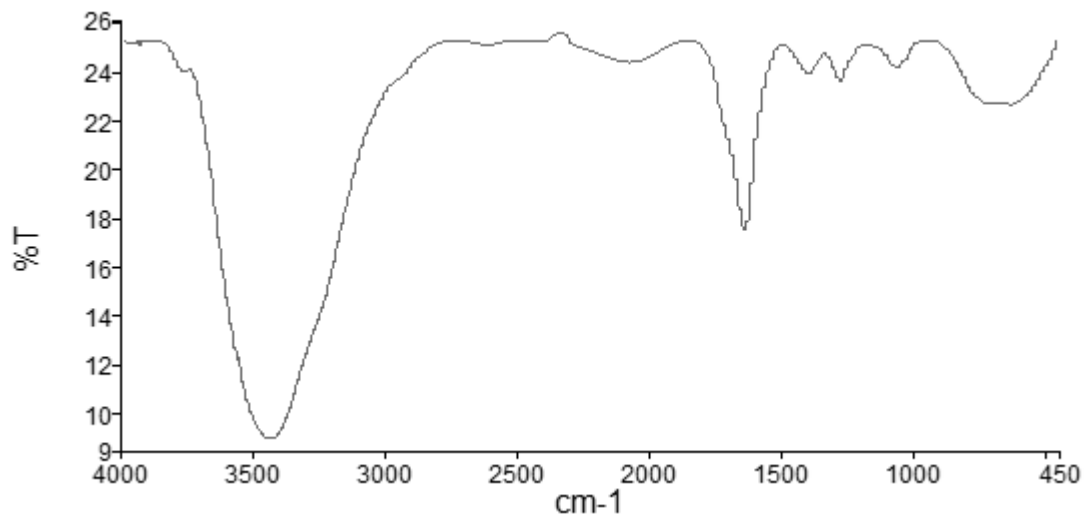
**Tabel.** Puncak absorbansi ekstrak jantung pisang

No.	Fraksi mol	Kode Sampel	Panjang gelombang serapan maksimum/ $\lambda_{\max}$ (nm)	Transmitansi minimum/ $T_{\min}$ (nm)	Absorbansi maksimum/ $A_{\max}$ (nm)
1.	0.25	A1	402.92	0.2229	0.6519
2.	0.30	A2	406.33	0.0894	1.0484
3.	0.35	A3	412.51	0.0511	1.2912
4.	0.40	A4	412.51	0.0267	1.5732
5.	0.45	A5	412.51	0.0184	1.7353

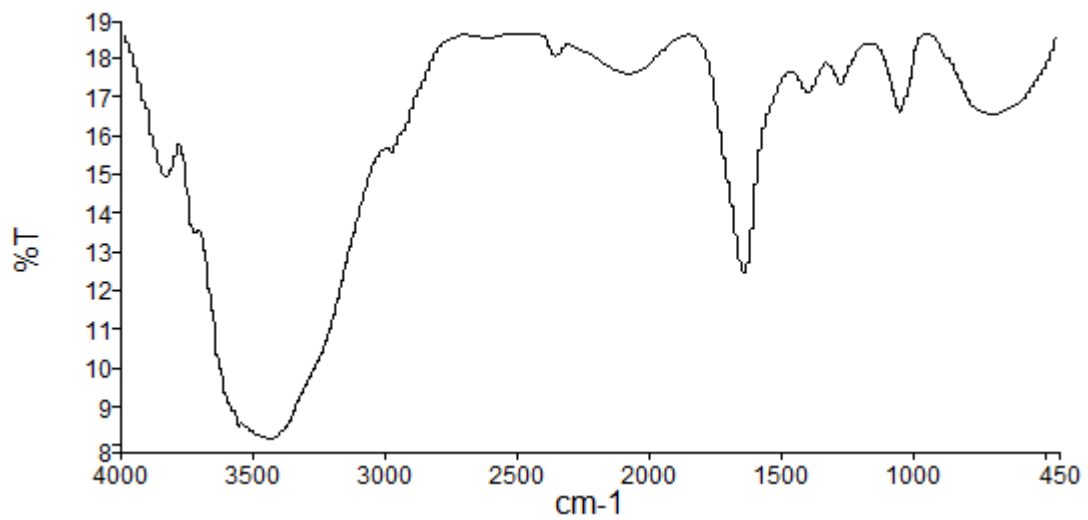
## Lampiran 4

Hasil Karakterisasi Gugus Fungsi Ekstrak Jantung Pisang menggunakan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

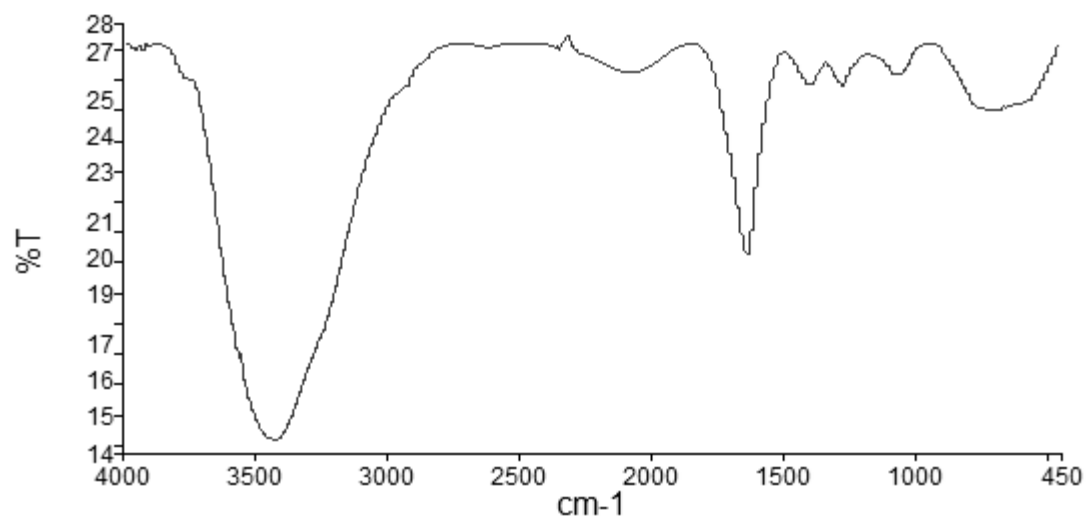
### 1. Sampel A1



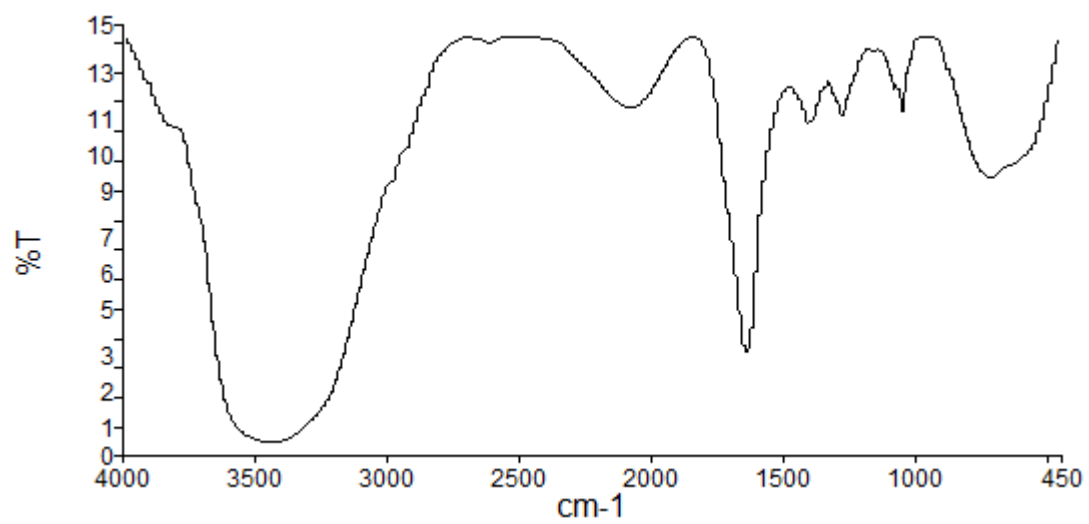
### 2. Sampel A2



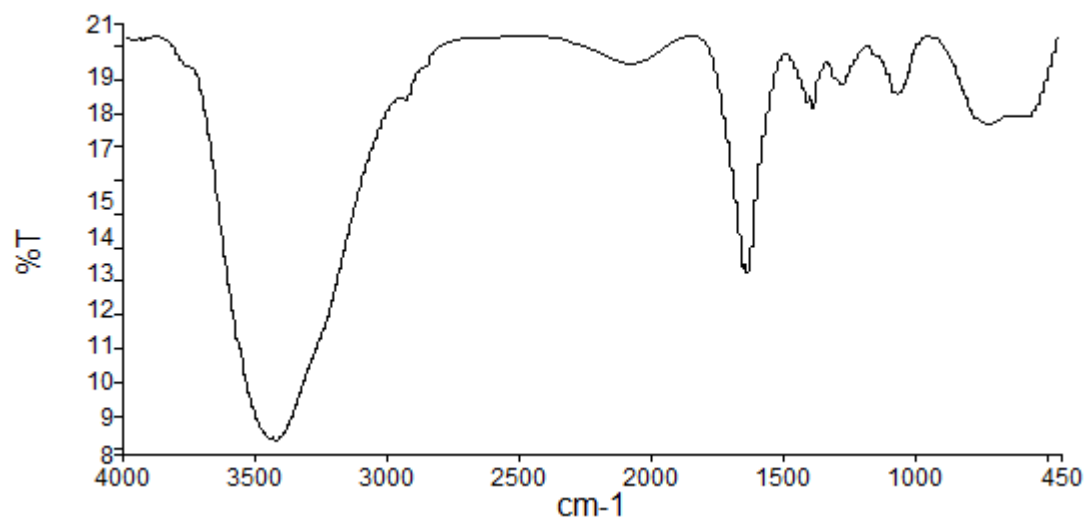
## 3. Sampel A3



## 4. Sampel A4

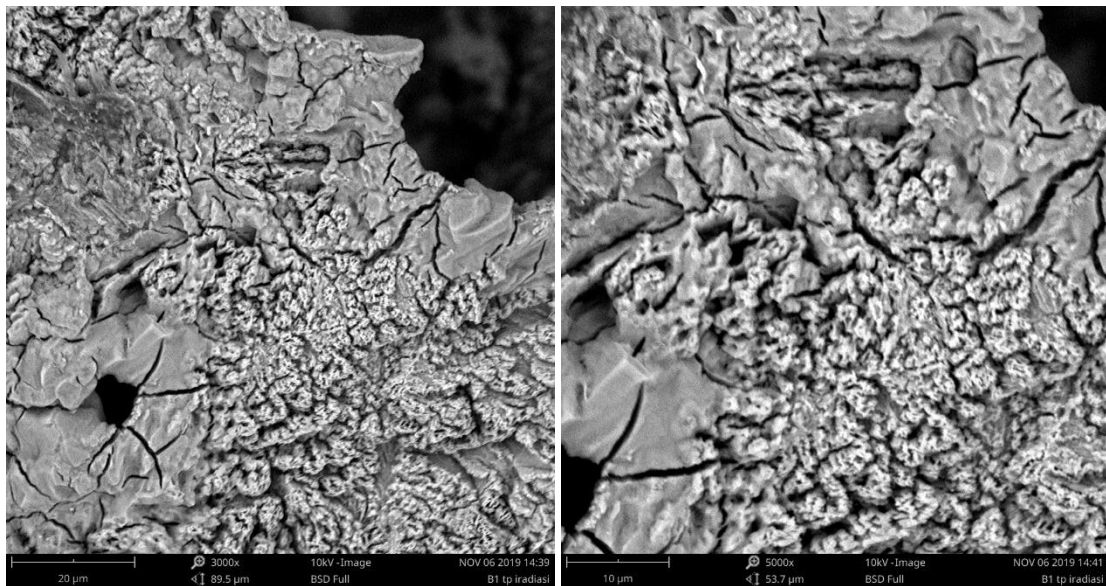


## 5. Sampel A5



## Lampiran 5

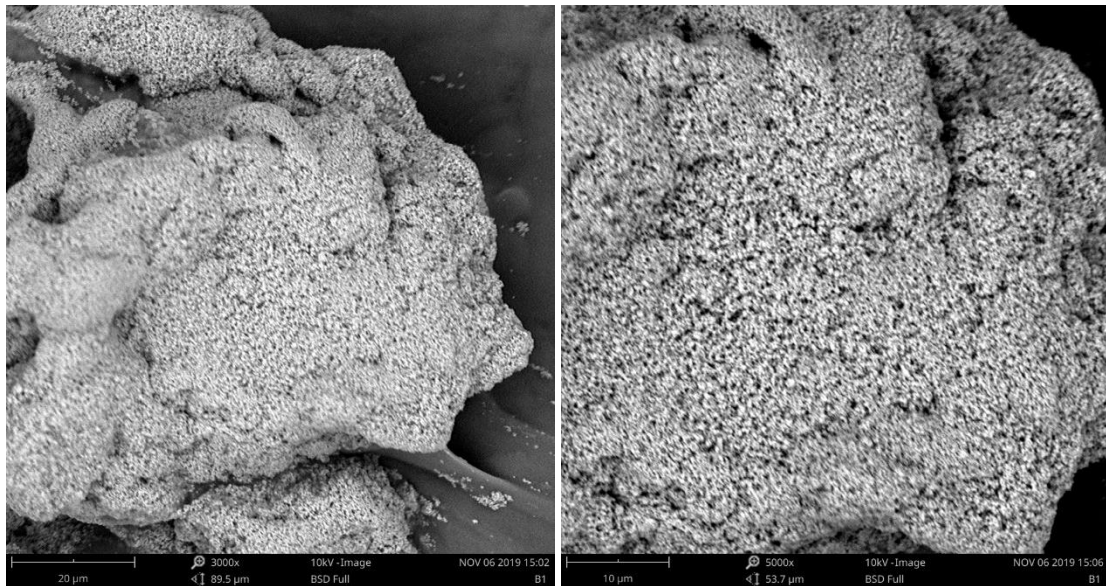
### Hasil Karakterisasi Struktur Permukaan Elektroda Kerja menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*



(a)

(b)

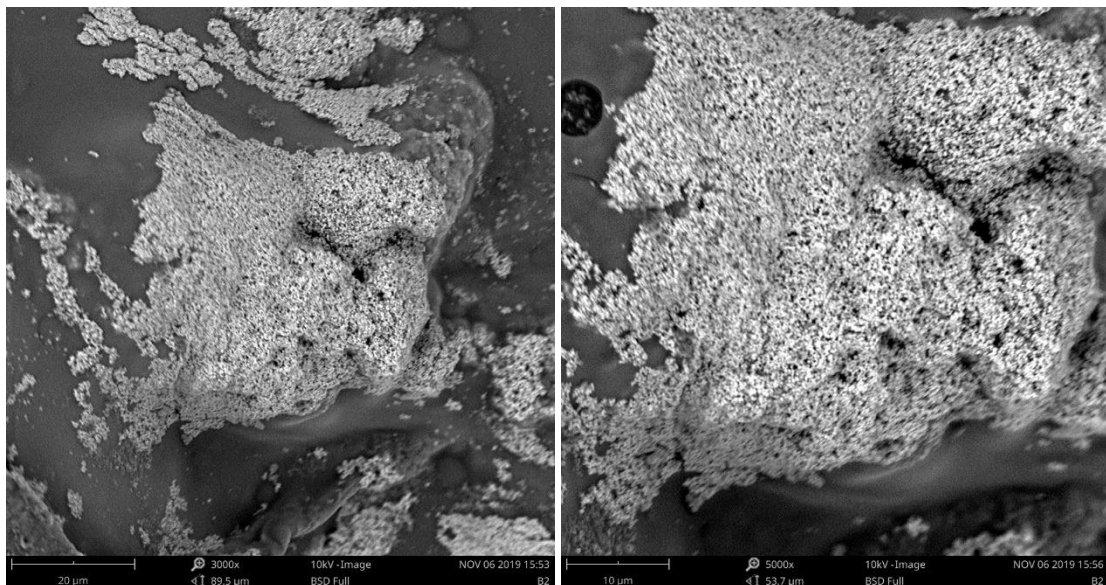
Struktur permukaan elektroda kerja sampel B1 tanpa iradiasi gelombang mikro dengan perbesaran (a) 3000X dan (b) 5000X



(a)

(b)

Struktur permukaan elektroda kerja sampel B1 dengan iradiasi gelombang mikro pada perbesaran (a) 3000X dan (b) 5000X

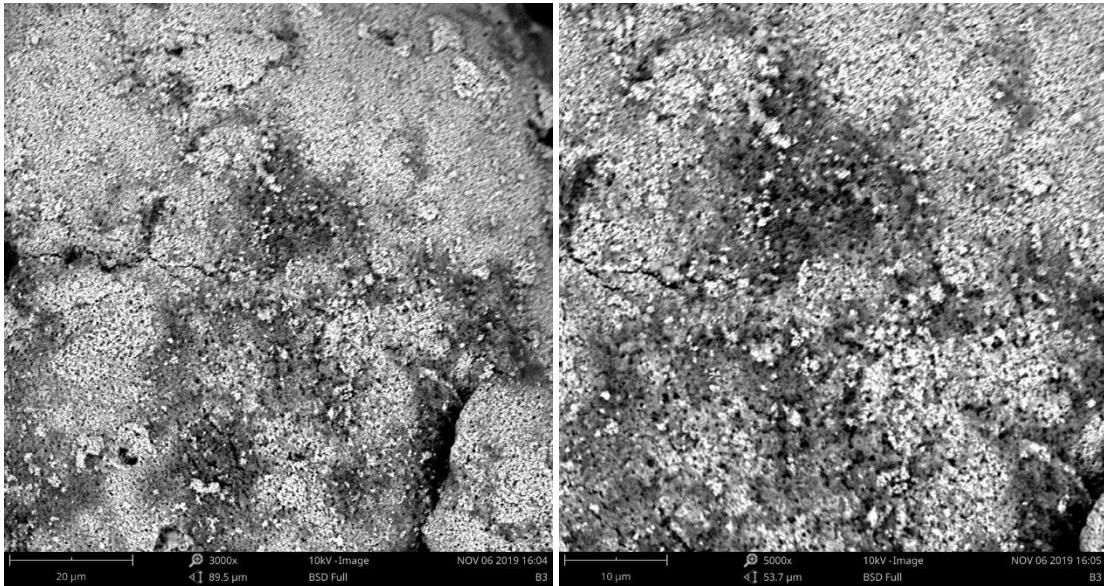


(a)

(b)

Struktur permukaan elektroda kerja sampel B2 dengan iradiasi gelombang mikro pada perbesaran (a) 3000X dan (b) 5000X





(a)

(b)

Struktur permukaan elektroda kerja sampel B3 dengan iradiasi gelombang mikro pada perbesaran (a) 3000X dan (b) 5000X

## Lampiran 6

### Foto-foto Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell Berbahan Ekstrak Jantung Pisang



Pencucian substrat ITO



Penimbangan massa  $\text{TiO}_2$



Pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$



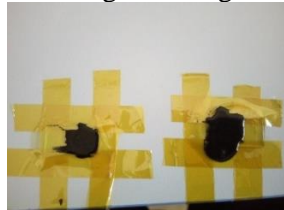
Deposisi pasta  $\text{TiO}_2$



Iradiasi gelombang mikro



Pembuatan pasta karbon



Deposisi pasta karbon



Pemanasan elektroda *counter*