

**PEMBUATAN PROTOTIPE *DYE SENSITIZED SOLAR*
CELL MENGGUNAKAN EKSTRAK KULIT BUAH
KETAPANG (*Terminalia Catappa*) DAN KULIT
JANTUNG PISANG KEPOK (*Musa Paradisiaca*)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagai Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains
dalam Ilmu Kimia



Disusun Oleh :

Nama : M. Wahyudi Hasibuan

NIM : 1508036002

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

2021

i

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M Wahyudi Hasibuan

NIM : 1508036002

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

“Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Ketapang (*Terminalia Catappa*) dan Kulit Jantung Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*)”

Secara keseluruhan menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian atau hasil karya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 30 Jan 2021

Pembuat Pernyataan



M Wahyudi Hasibuan

NIM : 1508036002

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul: **Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Ketapang (*Terminalia Catappa*) dan Kulit Jantung Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*)**

Nama : M. Wahyudi Hasibuan

NIM 1508036002

Jurusan : Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Ilmu Kimia

Semarang, 23 Maret 2021

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang

Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd.
NIP. 198304152009122006

Sekretaris Sidang

Dr. Ervin Tri Suryandari, M.Si.
NIP. 197407162009122001

Penguji I

Mulyatun, S.Pd., M.Si.
NIP. 198305042011012008



Penguji II

Wirda Udaibah, M.Si.
NIP. 198501042009122003

Pembimbing I

Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd.
NIP. 198304152009122006

Pembimbing II

Kustomo, S.Pd., M.Sc.
NIP. 19880226 201903 1 007

NOTA DINAS

Semarang 30 Jan 2021

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Walisongo

Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Ketapang (*Terminalia Catappa L.*) dan Kulit Jantung Pisang Kepok (*Musa Paradisiasa*)

Penulis : M Wahyudi Hasibuan

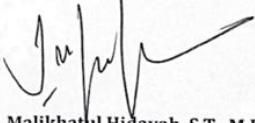
NIM : 1508036002

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb

Semarang, 30 Januari 2021
Pembimbing I,



Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd
NIP.198304152009122006

NOTA DINAS

Semarang 30 Jan 2021

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Walisongo

Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell*
Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Ketapang (*Terminalia Catappa L.*) dan Kulit Jantung Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*)

Penulis : M Wahyudi Hasibuan

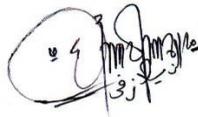
NIM : 1508036002

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb

Semarang 30 Jan 2021
Pembimbing II,



Kustomo, S.Pd., M.Sc

NIP 198802262019031007

ABSTRAK

Judul : Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Ketapang (*Terminalia Catappa L.*) dan Kulit Jantung Pisang Kepok (*Musa Paradisiasa*)

Nama : M Wahyudi Hasibuan

NIM : 1508036002

Telah dilakukan penelitian mengenai pembuatan DSSC dengan senyawa klorofil dari kulit buah ketapang dan antosianin dari kulit jantung pisang sebagai pewarna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang maksimu ekstrak pewarna dan membuat rancangan DSSC, serta mengkarakterisasi penyusunnya. Berdasarkan hasil yang diperoleh panjang gelombang maksimum ekstrak kulit buah ketapang adalah 666 nm dan ekstrak kulit jantung pisang 515 nm. Hasil karakterisasi XRD dari bahan TiO_2 dilapisi ekstark kulit buah ketapang dan ekstrak kulit jantung pisang adalah bahan TiO_2 bersifat anatase serta puncak 2θ tertinggi dari TiO_2 dilapisi kulit buah ketapang adalah 25.48° dan ukuran kristallinnya sebesar 72.39 nm sedangkan TiO_2 dilapisi kulit jantung pisang puncak tertinggi adalah 25.47° dan ukuran kristalnya adalah 52.30 nm. Pengukuran efisiensi DSSC pada ekstrak kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang tidak dapat diukur disebabkan oleh V_0 dan I_0 yang tidak diketahui disebabkan tidak terjadinya proses reaksi redoks didalam rangkaian DSSC.

Kata kunci: DSSC, Kulit Buah Ketapang, Kulit Jantung Pisang Kepok, TiO_2 Anatase.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'Alamin puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul: Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell* Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Ketapang (*Terminalia Catappa L.*) dan Kulit Jantung Pisang Kepok (*Musa Paradisiaca*)..

Sholawat dan salam semoga tetap terlimpahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW yang senantiasa memupuk rasa semangat dan keyakinan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan studi serta dalam rangka memperoleh gelar Sarjana studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama

kepada yang saya hormati:

1. Kepada Bapak Syafaruddin Hasibuan selaku Ayah kandung saya yang selalu memberikan nasehat dan masukan yang selalu membuat saya bersemangat dalam menempuh semua ini saat ini dan seterusnya dimasa depan.

2. Kepada Ibu Ratna Waty Lubis selaku ibu kandung saya yang selalu mendo'akan saya disetiap langkah saya sampai saat ini dan akan datang dimasa depan.

3. Kepada Nenek saya Kastina Matondang selaku nenek yang sangat berjasa bagi saya dalam memberikan motivasi selama ini.

4. Kepada Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag, selaku Rektor UIN Walisongo Semarang.

5. Kepada Bapak Dr. Ismail, SM, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.

6. Kepada Ibu Hj. Malikhatul Hidayah, ST, M.Pd selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang dan dosen wali serta menjadi dosen pembimbing skripsi pertama saya yang selalu memberikan arahan serta masukan dan nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

7. Kepada Ibu Mulyatun, M.Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Walisongo.

8. Kepada Bapak Kustomo, M.Sc selaku dosen pembimbing skripsi kedua saya yang telah meberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.

9. Bapak/Ibu dosen dan staff di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang, khususnya Jurusan Kimia yang telah banyak membantu kami untuk dapat melaksanakan penulisan dalam studi.

10. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Islam Koordinator Komisariat Walisongo Cabang Semarang yang selalu mengingatkan saya akan keseimbangan pendidikan dan beroganisasi.

11. Keluarga besar Organisasi Daerah Himpunan Mahasiswa Sumatera Utara UIN Walisongo Semarang yang selalu memberikan do'anya serta menjadi teman yang selalu mengingatkan saya untuk segera menyelesaikan skripsi.

12. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi dan ini dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan sekaligus dapat meberikan masukan dalam penelitian.

Semarang, 30 Jan 2021

Penulis,



M Wahyudi Hasibuan

NIM.1508036002

MOTTO

“Sebaik-Baik Teman Adalah BUKU”

“Yakin Usaha Sampai [YAKUSA]”

“Yakinkan dengan iman

Usahakan dengan ilmu

Sampaikan dengan amal”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
PERNYATAAN KEALIAN.....	1
NOTA DINAS.....	3
ABSTRAK	6
KATA PENGANTAR	7
MOTTO	10
DAFTAR ISI	11
DAFTAR TABEL.....	12
DAFTAR GAMBAR	13
DAFTAR LAMPIRAN.....	15
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	10
C. Tujuan Penelitian	11
D. Manfaat Penelitian.....	11
BAB II	13
KAJIAN TEORI.....	13
A. Landasan Teori.....	13
1. Prototype Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).....	13
2. Kulit Buah Ketapang (<i>Terminalia catappa L.</i>).....	23
3. Kulit Jantung Pisang (<i>Musa Paradisiaca L.</i>).....	24
4. Ekstraksi Pemisahan Kmia	45
5. Antosianin.....	46
6. Instrumentasi	53

B. Kajian Pustaka.....	61
BAB III	67
METODA PENELITIAN.....	67
A. Alat dan Bahan	67
B. Cara Kerja	68
Grafik Skema Kerja.....	73
BAB IV	59
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
A. Deskripsi Data.....	59
1. Analisis Serapan Zat Warna Pada Pigmen.....	60
2. Uji <i>XRD</i> Pada Serbuk TiO ₂ Sebagai Bahan Semikonduktor.....	64
3. Karakterisasi Nilai Efisiensi DSSC.....	73
BAB V.....	85
PENUTUP	85
A. Kesimpulan.....	85
B. Saran	86
DAFTAR PUSTAKA.....	88
LAMPIRAN	110
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	103

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Nilai Ukuran kristal TiO_2 Dilapisi Ekstrak Kulit Buah Ketapang	68
Tabel 4.2. Nilai Ukuran kristal TiO_2 Dilapisi Ekstrak Kulit Jantung Pisang Kepok	80
Tabel 4.3 Nilai Variasi Tegangan dan Arus Kulit Buah Ketapang.	83
Tabel 4.4 Nilai Variasi Tegangan dan Arus Kulit Jantung Pisang Kepok	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur DSSC dengan modifikasi gambar	15
Gambar 2.2. Prinsip DSSC.....	18
Gambar 2.3. Sistematika struktur aplikasi DSSC	19
Gambar 2.4. Kulit buah ketapang.....	23
Gambar 2.5. Kulit Jantung Pisang.....	24
Gambar 2.6. Struktur Antosianin	47
Gambar 2.7. Difraksi Sinar-X.....	55
Gambar 2.8. Difraksi sinar X untuk dari TS-1	57
Gambar 2.11. Skema spektrofotometer UV-Vis (Double-beam)	60
Gambar 2.12. Spektrofotometer Uv-Visible.....	61
Gambar 2.16. Ilustrasi Skema Deposisi Pasta TiO ₂ Pada Kaca.....	71
Gambar 2.17. Rangkaian pengukuran I-V.....	72
Gambar 4.1. Spektra ultraviolet tampak larutan zat warna kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang kepok	68
Gambar 4.2. (kiri) Ekstrak Kulit buah ketapang. (kanan) Ekstrak kulit jantung pisang.....	70
Gambar 4.3. Difraktogram TiO ₂ dilapisi ekstrak kulit buah ketapang dan ekstrak kulit jantung pisang hasil analisis	73

Gambar 4.4. Kurva arus-tegangan DSSC Kulit Buah Ketapang.....	79
Gambar 4.5 Kurva arus-tegangan DSSC Kulit Jantung Pisang Kepok.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Umum Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell menggunakan kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang.....	91
Lampiran 2. Preparasi Ekstrak Kulit Buah Ketapang.....	92
Lampiran 3. Preparasi Ekstrak Kulit Jantung Pisang Kepok.....	92
Lampiran 4. Preparasi Larutan Elektrolit.....	93
Lampiran 5. Pembuatan Pasta TiO ₂	93
Lampiran 6. Pembuatan DSSC-Dye.....	93
Lampiran 7. Pelapisan Kaca Substrat ITO-Pasta TiO ₂	94
Lampiran 8. Pembuatan Elektroda Pembanding.....	94
Lampiran 9. Perakitan dan Pengukuran DSSC.....	94
Lampiran 10. Perhitungan Arus dan Tegangan DSSC.....	98
Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian.....	101
Lampiran 12. Hasil Analisis.....	103

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi berdampak pada kebutuhan energi yang meningkat serta memaksa manusia untuk bergantung kepada energi. Sumber energi semakin menipis dan memaksa manusia untuk menemukan cara dalam menemukan pengganti energi tersebut. (Bagavathi and Dhanemozhi, 2019) Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) sehendaknya harus terinspirasi dari Al-qur'an sebagai wadah rujukan dalam menyikapi persoalan teknologi dan pengetahuan karena Al-qur'an mendorong manusia untuk berfikir, melihat dan mengamati fenomena-fenomena alam semesta ciptaan Allah yang menarik untuk diselidiki, diteliti dan dikembangkan.

Sebagaimana Allah berfirman:

قُلْ انظُرُوا مَاذَا فِي السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ، وَمَا تُغْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ

“Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi. Tidaklah bermanfaat tanda kekuasaan Allah dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang-orang yang tidak beriman (Qs. Yunus:101).

Sel surya adalah salah satu teknologi alternatif penting dalam pembuatan DSSC. Ada berbagai jenis sel surya yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi matahari memberikan sedikit emisi bagi lingkungan kita daripada metode produksi energi lainnya. Pengembangan prototipe DSSC memanfaatkan sumber cahaya matahari yang dapat dikonversi

menjadi energi listrik. Cahaya matahari dapat dimanfaatkan untuk sel surya, karena sel surya dapat merubah sinar matahari seperti ultra violet menjadi listrik. (Ekasari, Ekasari, and Yudoyono, 2015) Keuntungan menggunakan *dye sensitized solar cell* adalah biaya fabrikasi terjangkau, mampu dioperasikan dibawah kondisi penyinaran yang terhambur atau berserakan, bentuk sel dibuat bersifat transparan optis sehingga memberikan nilai lebih dari segi artistik. (Patel et al, 2015) Perkembangan prototipe dapat dibuat alat yang memungkinkan lebih efisien sebagai perancangan alat DSSC, dengan material elektrolit berfase cair, gel maupun padat sehingga dapat membentuk fotoelektrokimia. (Dinesh et al, 2019)

Energi matahari sebagai energi alternatif sudah diprediksi oleh ilmuwan Gretzel pada tahun 1991. Energi terbarukan dapat dimanfaatkan melalui cahaya matahari yang melimpah. Iklim negara yang tropis dapat mengubah sinar matahari menjadi energi listrik dalam bentuk DSSc. Energi mempunyai peranan penting dalam setiap segi kehidupan manusia. Penyediaan energi saat ini masih bergantung pada minyak, gas bumi dan berbagai sumber bahan bakar fosil lainnya. Dengan semakin menipisnya cadangan energi fosil ini, negara-negara didunia sedang berlomba-lomba mengembangkan energi alternatif yang dapat diperbaharui. (Quan, 2018) Pengembangan DSSC yang efisien dengan biaya relatif rendah berdasarkan sel surya yang disensitisasi pewarna (DSSC) menjadikan DSSC berpotensi dalam memanfaatkan energi matahari dalam mewujudkan efisiensi

tinggi pada DSSC bahan semikonduktor berpori seperti TiO_2 (Roopaei et al, 2015). Perkembangan yang sangat menakjubkan dalam hal fabrikasi dan karakterisasi material nanokristalin memiliki kesempatan untuk mengembangkan rancangan ini. Salah satu pengembangan prototype yang sangat potensial dan relatif murah adalah dari sel surya organik, karena bahannya mudah didapat, murah dan ramah lingkungan.

Alternatif Penggunaan DSSC dengan memanfaatkan energi matahari dapat difabrikasikan melalui TiO_2 dan pewarna sebagai penyerap sinar matahari. TiO_2 juga disebut Titania atau Titanium (IV)oksida merupakan bentuk oksida dari titanium secara kimia dapat dituliskan TiO_2 . Senyawa dimanfaatkan secara luas dalam bidang anatase sebagai pigmen, bakterisida, pasta gigi, fotokatalis dan elektroda dalam sel. (stefani, 2016) Titanium dioksida dapat dihasilkan dari reaksi kimia antara senyawa titanium tetraklorida (TiCl_4) dan O_2 yang dilewatkan melalui lorong silika pada suhu 700°C . Sifat senyawa TiO_2 adalah tidak tembus cahaya, berwarna putih, lembam, tidak beracun, dan harganya relatif murah. Titanium oksida memiliki tiga fase struktur kristal, yaitu anatase, rutil, dan brokhit. Akan tetapi hanya anatase dan rutil saja keberadaannya cukup stabil. (Stefanie, 2106) Anatase diketahui sebagai kristal titania yang lebih proaktif daripada rutil. Hal ini disebabkan harga E_g TiO_2 jenis anatase lebih tinggi yaitu 3,2 eV sedangkan rutil sebesar 3,0 eV. Harga E_g yang lebih tinggi akan menghasilkan luas permukaan aktif yang lebih besar sehingga menghasilkan fotoaktivitas yang lebih efektif. (Hanaor, 2010).

Potensi TiO₂ sebagai pengembangan DSSC sangat baik, TiO₂ memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan daya oksidatif tinggi. TiO₂ mampu memberikan dan menerima elektron yang akan mengadsorpsi elektron ke pita konduksi dan ditransfer ke rangkaian luar. Penambahan pewarna pada TiO₂ disebabkan untuk penyerapan energi foton dari sel surya yang melimpah, salah satu contoh pewarna yang bisa digunakan adalah antosianin dan klorofil. Antosianin adalah salah satu pewarna alami karena merupakan zat pewarna berwarna merah, jingga, ungu ataupun biru yang banyak terdapat pada tumbuh-tumbuhan. (Hidayat and Saati, 2006) Stabilitas antosianin dipengaruhi oleh suhu dan lingkungan, kenaikan suhu disebabkan oleh laju degradasi antosianin meningkat selama pengolahan dan penyimpanan. Stabilitas antosianin sebagai fungsi suhu dan lama pemanasan dinyatakan sebagai persen retensi dalam pembentukan zat warna. Warna dan stabilitas pigmen antosianin tergantung pada struktur molekul secara keseluruhan. Bagaimanapun, antosianin tidak stabil karena kondisi pemrosesan dan penyimpanannya. Beberapa faktor yang mempengaruhi kestabilan pigmen antara lain jenis spesies tanaman, kondisi lingkungan dan tanah, ekstraksi dan parameter pemrosesan seperti pH, temperatur penyimpanan, konsentrasi, struktur kimia, cahaya (Rein, 2005) Klorofil adalah pigmen pemberi warna hijau pada tumbuhan. Senyawa ini berperan penting dalam pemrosesan fotosintesis tumbuhan dengan menyerap sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi/kimia. (Muthalib, 2009) Sifat fisik klorofil adalah menerima dan atau

memantulkan cahaya dengan gelombang yang berlainan (fluoresensi). Sifat kimia klorofil adalah tidak larut dalam air, melainkan larut dalam pelarut yang lebih polar. (Dwidjoseputro, 1981) Klorofil merupakan faktor utama yang mempengaruhi fotosintesis. Klorofil merupakan pigmen utama yang terdapat dalam kloroplas. Klorofil menyebabkan cahaya berubah menjadi radiasi elektromagnetik pada spektrum kasat mata (visible). Misalnya, cahaya matahari mengandung semua warna spektrum kasat mata dari merah sampai violet, tetapi seluruh panjang gelombang unsurnya tidak diserap dengan baik secara merata oleh klorofil. Klorofil dapat menampung energi cahaya yang diserap oleh pigmen cahaya atau pigmen lainnya melali fotosintesis, sehingga fotosintesis disebut sebagai pigmen pusat reaksi fotosintesis. Dalam proses fotosintesis tumbuhan hanya dapat memanfaatkan sinar matahari dengan bentuk panjang gelombang antara 400-700 nm (Ai, 2011).

Kulit jantung pisang dan kulit buah ketapang memiliki senyawa antosianin dan klorofil yang terurai sempurna menjadi ion dalam larutan air. Kulit jantung pisang memiliki antosianin juga banyak mengandung air, sehingga apabila dicelupkan pada larutan asam maupun basa tersebut akan timbul beda potensial antara zat warna sehingga terjadilah potensial elektroda yang dapat menghasilkan arus listrik juga. Kulit buah ketapang memiliki kandungan klorofil yang juga banyak mengandung air, sehingga apabila dicelupkan, pada larutan asam maupun basa akan terjadi potensial elektroda yang dapat menghasilkan arus listrik. Antosianin

dan klorofil memiliki sifat hidrofilik yang mudah larut dan stabil dalam air dan juga mudah larut dalam senyawa organik karena bersifat polar seperti aseton, etanol, metanol, dan kloroform. Kombinasi pelarut polar dengan asam organik yang tepat hingga mendapatkan kondisi pH yang sangat asam (pH 1-2) dapat lebih memantapkan kestabilan antosianin dalam bentuk kation flavium merah, sedangkan apabila pelarut dikombinasikan dengan asam lemah maka perubahan warna antosianin akan berubah menjadi warna merah memudar pada pH 3; merah keunguan pada pH 4; ungu pada pH 5-6; dan ungu biru pada pH 7 (Pedro, Granato, and Rosso, 2015) Kondisi bebas cahaya, temperatur rendah, kopigment, ion logam, oksigen, enzim, konsentrasi, dan tekanan pun menjadi faktor penting agar kestabilan antosianin tetap terjaga sehingga kesetimbangan antosianin tidak mudah bergeser dan pada akhirnya mengalami degradasi (Kruszewski, 2017). Banyak pewarna seperti berasal dari antosianin dan klorofil yang diteliti untuk digunakan dalam prinsip DSSC guna mendapatkan efisiensi yang tinggi, optimisasi sirkuit pendek I_{sc} dan rangkaian voltase terbuka V_{oc} sel surya. Zat warna sepenuhnya terprotonasi pada adsorpsi transfer proton ke permukaan TiO_2 sehingga elektron bermuatan positif sehingga meningkatkan adsorpsi elektron yang mengakibatkan tereksitasinya elektron dari pita valensi ke pita konduktif menghasilkan arus-tegangan yang tinggi. (Elsa, 2013) Elektrolit akan menjadi rendah karena pergeseran positif dari pita konduksi yang diinduksi oleh permukaan yang tereksitasi. Jika zat

warna tidak mengeksitasi elektron, nilai untuk V_{oc} , dan I_{sc} akan rendah. (Murugalakshmi, Anitha, and Dhanemozhi, 2019)

Hal ini sejalan pula dengan prinsip sel volta. Jika dua buah logam dicelupkan dalam larutan elektrolit, maka akan terjadi reaksi spontan (reduksi – oksidasi) sehingga menimbulkan arus listrik. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai jenis (Xue et al, 2020) Peralihan energi ini berlangsung terus selama ada beda potensial yang lebih dikenal dengan tegangan listrik. Terjadinya tegangan disebabkan adanya beda muatan yang mempunyai tenaga potensial untuk menggerakkan suatu muatan lain dengan cara menarik atau menolak. Beda potensial atau tegangan listrik dapat dihasilkan dengan memberikan tegangan listrik dari suatu pembangkit listrik pada salah satu tempat penghantar. Dengan kata lain, dalam suatu rangkaian listrik, tegangan listrik diartikan sebagai beda potensial di antara dua titik. (Young, Freedman, and Ford, 2018) Arus Listrik merupakan aliran elektron-elektron dari atom ke atom yang terjadi pada sebuah penghantar dengan kecepatan dalam waktu tertentu. Penyebab timbulnya arus listrik tersebut dikarenakan adanya beda potensial pada kedua ujung penghantar yang terjadi karena mendapatkan suatu tenaga untuk mendorong elektron-elektron tersebut berpindah - pindah tempat. (Xue et al, 2020) Kecepatan perpindahan arus listrik ini dapat disebut laju arus yang dapat ditulis dengan I dengan satuan ampere. Sebuah benda bermuatan positif jika benda tersebut kehilangan elektron dan bermuatan negatif jika benda tersebut kelebihan elektron. Bahan yang dapat digunakan sebagai *Dye*

Sensitized Solar Cell (DSSC) adalah semikonduktor yang dapat mengadsorpsi foton sehingga terjadi reaksi redoks yang menyebabkan fotodegradasi oleh foton tersebut. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) juga substansinya dapat mempercepat reaksi kimia dengan memanfaatkan foton sebagai sumber energi pemicunya. DSSC tersusun dari beberapa bahan, diantaranya adalah zat warna (dye) yang berfungsi untuk menyerap radiasi matahari dan semikonduktor celah lebar seperti TiO_2 sebagai transport pembawa muatan.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini memilih bahan organik berupa kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang sebagai bahan dasar pembuatan DSSC. Kulit jantung pisang dan kulit buah ketapang sangat jarang digunakan untuk kehidupan sehari-hari sehingga hanya akan terbuang. Penggunaan kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang adalah dengan memanfaatkan sebaik mungkin bagian yang biasanya tidak digunakan masyarakat atau yang sering tidak digunakan masyarakat dengan membuat energi terbarukan. Kandungan senyawa yang terdapat pada kulit jantung pisang adalah antosianin, sedangkan kulit buah ketapang adalah klorofil sehingga menjadikannya potensial sebagai bahan dasar dye dalam pembuatan DSSC. Dalam penelitian ini yang digunakan adalah antosianin dari kulit jantung pisang yang mana sebagai indikator dalam fabrikasi ataupun pembuatan prototipe DSSC guna menghasilkan voltase yang sebagaimana diharapkan lebih baik dari penelitian sebelumnya.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakterisasi kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*) dan kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) yang dilakukan dengan metode maserasi melalui Uv-Vis ?
2. Bagaimana karakterisasi difragtogram *XRD* terhadap kristal TiO_2 ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakterisasi kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*) yang dilakukan dengan metode maserasi melalui Uv-Vis.
2. Untuk mengetahui karakterisasi difragtogram *XRD* terhadap kristal TiO_2 .

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagi Instansi

Memberikan informasi mengenai efisiensi yang dihasilkan dari sel surya pewarna tersensitasi dari ekstrak kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*).

b. Bagi Peneliti maupun Perguruan Tinggi

1. Meningkatkan pengetahuan peneliti dan menambah masukan pengetahuan ke Perguruan Tinggi mengenai efisiensi yang dihasilkan dari sel surya pewarna tersensitasi dari ekstrak kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*).
2. Dapat dijadikan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.

c. Bagi Masyarakat

Menambah pengetahuan masyarakat mengenai manfaat dari efisiensi yang dihasilkan kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*).

E. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Sensitizer sel surya berbahan organik berasal dari ekstrak kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*).
2. Karakterisasi kristal TiO_2 menggunakan instrument Difraksi Sinar X.
3. Ekstraksi Kulit Jantung Pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*) menggunakan metode maserasi dengan pelarut methanol, asam asetat dan aquades.
4. Karakteristik Ekstraksi kulit jantung pisang kepok (*Musa Paradiciasa*) dan kulit buah ketapang (*Terminalia Catappa L*)

- menggunakan instrument spektrofotometer UV-VIS
5. Rangkaian sel surya diukur efesiensinya dengan menentukan nilai tegangan dan arus listriknya.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Landasan Teori

1. Prototype Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Suatu semikonduktor dapat berfungsi sebagai fotokatalis untuk reaksi fotodegradasi senyawa-senyawa organik. Reaksi Semikonduktor tersebut terjadi melalui mekanisme oksidasi-reduksi karena karakter struktur elektroniknya yang memiliki pita valensi terisi dan pita konduksi yang kosong. Penyerapan energi foton $h\nu$ akan mengakibatkan elektron pada pita valensi tereksitasi ke pita konduksi dengan meninggalkan lubang (*hole*) pada pita valensi. Selanjutnya, elektron akan bereaksi dengan oksidator, biasanya oksigen (hasil reduksi), dan *hole* akan bereaksi dengan reduktor atau reaksi oksidasi (Hoffmann et al. 2015). Reaksi oksidasi substrat yang lebih efektif dapat terjadi akibat terbentuknya hidrogen peroksida (oksidator), yaitu hasil reaksi antara molekul air dengan oksigen tereduksi.

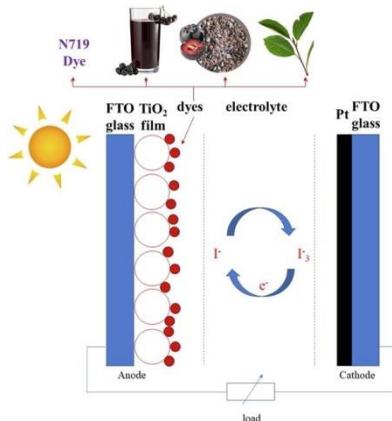
Kemampuan semikonduktor fotokatalis logam transisi dilaporkan dapat mengalami peningkatan apabila memiliki ukuran partikel dalam kisaran nanometer. Apabila mengalami penurunan dimensi partikel semikonduktor sampai ke daerah nanometer (1-10 nm) ternyata terjadi kenaikan band gap (E_g), sebagai ukuran kemampuan fotokatalis, seiring dengan semakin turunnya ukuran partikel. Suatu partikel nano semikonduktor fotokatalis hanya dapat dibuat dalam suatu matriks yang berpori dengan kisaran

dimensi pada skala nanometer seperti lempung, aerogel dan zeolit. Perkembangan mekanisme konversi sel surya menjadi energi listrik yang berkelanjutan melalui sistem yang disebut sel *fotovolt*. Sel surya merupakan salah satu dari mekanisme yang bekerja berdasarkan efek fotovoltaik yang mana foton dari radiasi diserap lalu dikonversi menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik sendiri adalah peristiwa terjadinya muatan listrik didalam suatu bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 2016).

Sistem fotovoltaik non konvensional yang telah diteliti dan paling populer adalah sistem fotovoltaik generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Grätzel dimana sistem ini dinamakan sel surya pewarna tersensitisasi (Halme, 2020). Sejak pertengahan 1980-an, kelompok Gratzel di EPFL telah menjadi kekuatan pendorong utama untuk pengembangan sel surya peka warna. Kelompok Gratzel menemukan sel-sel efisiensi konversi lebih dari 10% berdasarkan TiO₂ nano-porous berbiaya rendah yang didepositkan ke kaca konduksi (O'Regan and Gratzel, 2017). Fotokatalis merupakan suatu gabungan antara proses fotokimia dan katalis. Proses fotokimia merupakan suatu proses transformasi kimia dengan bantuan cahaya sebagai pemicunya. Sedangkan katalis merupakan suatu substansi yang dapat mempercepat laju reaksi.

Selama proses reaksi berlangsung katalis akan ikut bereaksi dan pada akhir reaksi katalis dihasilkan kembali. Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa material

yang digunakan sebagai katalis dalam suatu reaksi kimia dengan kemampuannya dalam menyerap foton sebagai pemicu aktivitas disebut dengan material fotokatalis. Sel surya tersensitasi saat ini sangat banyak menarik perhatian para peneliti untuk mengembangkan jenis energi tenaga surya ini sebagai alternatif piranti fotovoltaik konvensional (sel surya p-n silicon). Sel surya TiO_2 tersensitisasi *dye* terdiri dari lapisan nanokristal TiO_2 berpori sebagai fotoanoda, *dye* sebagai fotosensitizer, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) yang diberi lapisan katalis (Li, Wang, Kang, Wang, and Qiu, 2016). TiO_2 adalah material fotokatalis memiliki daya oksidasi yang cukup kuat, fotostabilitas yang tinggi dan selektivitas redoks. Syarat untuk meningkatkan aktivitas katalis dari TiO_2 dengan memperbesar luas permukaan dari TiO_2 .



Gambar 2.1. Struktur DSSC dengan modifikasi gambar (Chindeka et al. 2020)

DSSC berbentuk struktur sandwich, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO_2 tersensitisasi zat warna dan elektroda lawan terkatalisasi mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Sel surya p-n silikon, pada sel surya tersensitisasi

dye cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat pada permukaan partikel TiO₂ yang bertindak sebagai donor elektron dan berperan sebagai pompa fotoelektrokimia. Elektron-elektron dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) ketika molekul *dye* menyerap foton dengan energi yang sesuai, mirip dengan fungsi klorofil pada proses fotosintesis tumbuhan. Sedangkan lapisan TiO₂ bertindak sebagai penerima atau pemberi elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi. Elektrolit redoks, biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I/I₃⁻) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Grätzel, 2015).

Rangkaian reaksi kimia di dalam sel adalah sebagai berikut (Li et al. 2006):

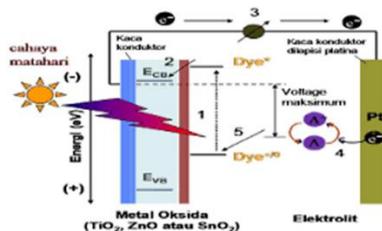


(Murugalakshmi, Anitha, and Dhanemozhi, 2019)

Prinsip kerja sel surya TiO₂ tersensitisasi *dye* ditunjukkan secara skematik pada Gambar 2.1, sedangkan urutan proses yang terjadi di dalam sel surya dirangkum pada persamaan (1-5). *Dye* (D) menyerap sebuah foton mengakibatkan elektron tereksitasi dari level *HOMO* ke *LUMO* pada molekul *dye*. *Dye* tereksitasi (D*) menginjeksi sebuah elektron kedalam pita konduksi (CB)

semikonduktor (TiO_2) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi TiO_2 . Elektron tersebut melintas melewati partikel-partikel TiO_2 menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan TCO (*Transparent Conductive Oxide*), selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektron masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I^+) yang ada di dalam elektrolit. *Dye* teroksidasi (D^+) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I_3^-) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (D). (Choi, Park, and Hoffmann, 2015)

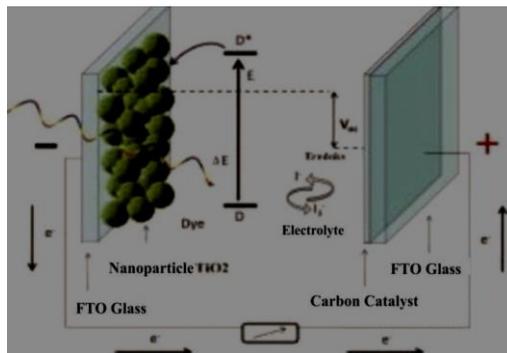
Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I/I_3^-). Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Chindeka et al, 2020).



Gambar 2.2. Prinsip DSSC (Ye et al. 2019)

Dalam penelitian ini sel surya yang dikembangkan menggunakan elektroda nanokristal TiO_2 yang dibuat dari koloid TiO_2 dan *dye* antosianin yang diekstrak dari kulit buah ketapang

yang sudah dikeringkan, Sedangkan untuk mengurangi degradasi elektrolit digunakan elektrolit padat berbasis gel polimer PEG (*polyethylene glycol*) yang mengandung kopel redoks (I/I_3^-) sebagai pengganti elektrolit cair. Penggunaan matriks polimer bagi kopel redoks sebagai elektrolit padat pada sel surya tersensitasi dye telah dilakukan oleh beberapa kelompok peneliti, diantaranya menggunakan PEO atau *polyethylene oxide* (De Freitas et al, 2016), PAN atau *polyacrylonitrile* (Wang et al., 2016) dan PEG (Joseph, Son, Vittal, Lee, and Kim, 2016). Namun, sejauh ini belum ada yang menggabungkan penggunaan *dye* alami dan elektrolit padat berbasis gel polimer secara bersamaan pada sistem sel surya fotoelektrokimia tersensitisasi zat warna. Adapun kekurangan dari sel surya fotoelektrokimia adalah stabilitasnya yang rendah, terutama akibat degradasi dan kebocoran pada elektrolit cair yang digunakan.



Gambar 2.3. Sistematika struktur aplikasi DSSC(Slamet and Krisdiyanto, 2017)

Oleh karena itu, akhir-akhir ini pengembangan penelitian sel surya fotoelektrokimia ini diarahkan pada penggunaan

elektrolit padat untuk mengurangi degradasi dan kebocoran elektrolit yang dapat meningkatkan stabilitas sel, misalnya elektrolit berbasis polimer yang mengandung kopel redoks atau berbasis bahan organik atau anorganik sebagai lubang konduktor yang mana sel surya terbuat dari bahan semi konduktor seperti Silikon, Titanium Oksida, Germanium, dan lain-lain (McDonald, Cyr, Levina, and Sargent, 2015). Sel surya dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan perkembangan teknologi dan bahan pembuatan yang digunakan, yakni sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon multikristal, sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*), dan sel surya organik atau *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* atau Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (*SSPT*) (Grätzel, 2017).

Banyak pewarna yang diteliti untuk digunakan dalam sel surya yang peka terhadap zat warna. Pada tahun 1993, kelompok Gratzel menemukan pewarna N3. Ini sangat stabil dan efisiensi konversi energi-ke-listrik dari sel berdasarkan N3 mencapai 10%. Kinerja cis-di (*thiocyanato*) bis (*2,2'-bipyridyl-4-4'-dicarboxylate*) ruthenium (II) (N3) ditemukan luar biasa dan tak tertandingi oleh sensitizer lain yang dikenal. Efisiensi pemanenan cahaya (*LHE*) adalah 98% pada penyerapan maksimum dari sensitizer dan masih 88% pada panjang gelombang setengah tinggi maksimum. Insiden efisiensi konversi foton ke arus monokromatik (*IPCE*) sangat mengesankan, nilai *IPCE* melebihi 80% dalam rentang panjang gelombang antara 480 dan 600 nm, mencapai dataran tinggi 100% antara 510 dan 570 nm. Elektron menyuntikkan dari kompleks bersemangat ke semikonduktor terjadi pada hasil kuantum

mendekati 100%. The sensitizer telah berkelanjutan lebih dari 107 turnovers tanpa dekomposisi signifikan sejak awal iluminasi (Nazeeruddin et al, 2017).

Untuk mendapatkan efisiensi konversi yang tinggi, optimisasi sirkuit pendek *photocurrent* I_{sc} dan rangkaian fotovoltage terbuka V_{oc} sel surya sangat penting. Pita konduksi TiO_2 diketahui memiliki ketergantungan Nernstian pada pH. The sensitizer sepenuhnya terprotonasi pada adsorpsi transfer sebagian besar proton ke permukaan TiO_2 , pengisian secara positif. Medan listrik yang terkait dengan permukaan dipole yang dihasilkan dalam mode ini meningkatkan adsorpsi kompleks rutenium anionik dan membantu injeksi elektron dari sensitisasi keadaan tereksitasi ke pita konduksi TiO_2 , yang mendukung fotokurrent yang tinggi. Namun fotovoltaiik akan menjadi rendah karena pergeseran positif dari pita konduksi yang diinduksi oleh permukaan yang ter protonasi. Jika sensitizer tidak membawa proton sama sekali, nilai tinggi untuk V_{oc} , tetapi I_{sc} rendah. Dengan demikian, harus ada tingkat optimal protonasi dari sensitizer bahwa produk I_{sc} dan V_{oc} yang menentukan efisiensi konversi sel mencapai maksimum (Nazeeruddin et al. 2017).

Sel surya dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan dalam menyerap cahaya matahari, yaitu sel surya anorganik dan organik (Grätzel, 2015). Sel Surya Anorganik menggunakan bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon sebagai material yang menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari.

Sel Surya Organik menggunakan material organik atau dye untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (dye) yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (dye) secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja sel surya organik meniru sistem kerja fotosintesis. (Hagfeldt et al, 2015)

Perkembangan yang menarik dari teknologi sel surya saat ini adalah sel surya ini terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya TiO_2) yang direndam dalam sebuah fotosensitizer (pemeka cahaya). Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dari DSSC merupakan salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC di berbagai negara akhir-akhir ini, selain dari proses produksi yang sederhana dan biaya produksi yang murah. DSSC dengan bahan dasar TiO_2 secara umum performanya masih belum tergantikan.

Kemampuan semikonduktor sebagai fotokatalis hanya dimungkinkan jika terjadi radiasi foton terhadap bahan semikonduktor tersebut. Seperti telah disebutkan bahwa radiasi foton terhadap elektron pada pita valensi dapat mengakibatkan eksitasi elektron ke pita konduksi dan kekosongan yang ditimbulkannya dinamakan dengan hole atau muatan positif. Adanya elektron dan hole pada permukaan semikonduktor TiO_2 atau Fe_2O_3 yang menyebabkan bahan tersebut memiliki sisi pereduksi dan pengoksidasi yang memungkinkan terjadinya reaksi

redoks dengan bantuan sinar matahari atau sinar ultraviolet. Reaksi peruraian suatu senyawa pada permukaan semikonduktor dengan bantuan sinar matahari atau sinar ultraviolet disebut dengan fotodegradasi.

Mekanisme fotodegradasi sampai sekarang masih belum jelas, namun reaksi tersebut umumnya dimulai dengan adsorpsi substrat ke permukaan semikonduktor. Nanorods TiO_2 (diameter 5-10 nm, panjang 100-200 nm, SBET 203 m_2/g) lebih tinggi fotokatalitik daripada P25 (70% anatase), ST01, JRC01 (*anatase*), JRC03 (*rutile*) dalam mengkatalisis $\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2$ dengan UV. Keseluruhan efisiensi konversi sel berdasarkan bahan ini adalah 7,12% dibandingkan dengan 5,82% untuk P25. Sintesis campuran-pelarut-termal anatase (sedikit rutil) 10 nm dari TiCl_4 memberikan efisiensi konversi sel yang lebih tinggi sebesar 9,13% dibandingkan dengan 8,49% (TiO_2 dari Solaronix). Film Thinner 6 μm memiliki kerapatan optik yang sama dengan 10 μm film Solaronix (Lao et al, 2015).'

2. Kulit Buah Ketapang (*Terminalia catappa L.*)



Gambar 2.4. Kulit buah ketapang (Syamsuhidayat et al, 2015).

Tumbuhan ketapang (*Terminalia catappa* L.) adalah termasuk familia Combretaceae, Menurut Backer, dijelaskan bahwa tumbuhan Ketapang (*Terminalia catappa* L.) mempunyai klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisio : Magnoliophyta

Classis : Magnoliopsida

Ordo : Myrtales

Familia : Combretaceae

Genus : Terminalia

Species: Terminalia catappa L.

Tumbuhan *Terminalia catappa* L. memiliki batang bertajuk rindang dengan cabang-cabang yang tumbuh mendatar dan bertingkat-tingkat. Daun tersebar, sebagian besar berjejalan di ujung ranting, bertangkai pendek atau hampir duduk. Helaiian daun bulat telur terbalik, dengan panjang 8-38 cm dan lebar 5-19 cm, dengan ujung lebar dan pangkal yang menyempit, helaiian dipangkal bentuk jantung, dibagian sisi bawah pangkal daun terdapat kelenjar di kiri-kanan ibu tulang daun, permukaan atas licin dan bagian bawah berambut halus, berwarna kemerahan jika akan rontok. Bunga berukuran kecil, terkumpul dalam bulir dekat ujung ranting, panjang 4-8. Buah berbentuk bulat telur gepeng, bersegi atau bersayap sempit (Syamsuhidayat et al, 2015).

3. Kulit Jantung Pisang (*Musa Paradisiaca* L.)



Gambar 2.5. Kulit Jantung Pisang kepok (Satuhu, 2018)

Tanaman pisang termasuk dalam golongan monokotil tahunan, pohon yang tersusun atas batang semu. Batang semu ini merupakan tumpukan pelapah daun yang tersusun secara rapat dan teratur.

Menurut sejarah, pisang berasal dari Asia Tenggara yang oleh para penyebar agama Islam disebarkan ke Afrika Barat, Amerika Selatan dan Amerika Tengah. Selanjutnya pisang menyebar ke seluruh dunia, meliputi daerah tropis dan sub tropis. Negara-negara penghasil pisang yang terkenal diantaranya Brasil, Filipina, Panama, Honduras, India, Equador, Thailand, Karibia, Columbia, Meksiko, Venezuela dan Hawaii. Indonesia merupakan negara penghasil pisang nomor empat di dunia (Satuhu, 2018).

Jantung pisang merupakan bunga yang dihasilkan oleh pokok pisang yang berfungsi untuk menghasilkan buah pisang. Jantung pisang dihasilkan semasa proses pisang berbunga dan menghasilkan tandan pisang sehingga lengkap.

Kedudukan tanaman pisang dalam sistematika (taksonomi) tumbuhan adalah sebagai berikut :

Kingdom : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Liliopsida

Ordo : Zingiberales

Famili : Musaceae

Genus : Musa

Spesies : Musa paradisiaca L. (Tjitrosoepomo, 2017)

Struktur jantung pisang memiliki banyak lapisan kulit, dari yang paling gelap coklat-ungu kemerahan dibagian luar dan berwarna putih krim susu dibagian dalam . Kulit jantung pisang umumnya keras dan akan terbuka apabila waktu Bgi mendedahkan bunga betina (novitasari et al, 2015).

3. Ekstraksi Pemisahan Kmia

Ekstraksi adalah metode pemisahan yang terdapat didalam ilmu kimia yang didasari pada perpindahan massa komponen dari sampel bahan alam ke dalam pelarut organik yang akan digunakan (Ilyas, 2015).

Teknik ekstraksi senyawa organik bahan alam yang umum digunakan antara lain yaitu maserasi, perklorasi dan sokhletasi (Atun, 2015).

a. Maserasi

Maserasi adalah proses perpindahan komponen sampel bahan alam dengan menggunakan pelarut organik pada suhu kamar (Ilyas, 2015). Pelarut organik yang biasanya digunakan yaitu metanol, etanol, aseton, kloroform atau sesuai dengan kebutuhan. Maserasi biasa dilakukan dengan berulang-ulang kali sampai

senyawa yang diinginkan benar-benar sudah habis, maserasi ini disebut remaserasi (Atun, 2015).

b. Perklorasi

Perklorasi adalah proses ekstraksi yang menggunakan pelarut organik dengan cara mengalirkan penyaring melalui serbuk simplia (Ilyas, 2015). Proses perklorasi dilakukan dengan menggunakan kolom perkulator yang diisi dengan sampel kemudian dialiri dengan pelarut organik dan ekstraksinya dikeluarkan melalui keran secara perlahan (Atun, 2015). Kerugian dari perklorasi yaitu sampel tidak terkena pelarut organik secara merata dan tidak dapat melarutkan komponen senyawa secara efisien (Irawan, 2015).

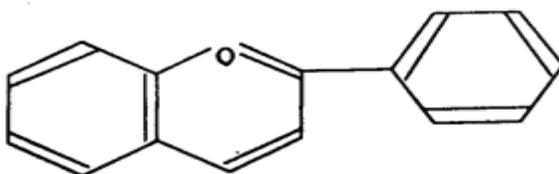
c. Sokhletasi

Sokhletasi merupakan metode ekstraksi zat padat dengan menggunakan pelarut organik tertentu secara berulang-ulang. Sokhletasi menggunakan alat khusus sokhlet sehingga terjadi ekstraksi konstan dengan adanya pendingin balik (Atun, 2015). Metode sokhletasi merupakan teknik yang stabil dan dapat menghasilkan hasil ekstraksi lebih murni dibandingkan dengan teknik ekstraksi konvensional lainnya. Keuntungan dari penggunaan metode sokhletasi yaitu penggunaan suhu tinggi akan mengakibatkan peningkatan laju perpindahan massa. Tidak membutuhkan tahap 20 penyaringan dan sirkulasi pelarut selalu baru menuju ke bahan padat (Haeria, 2015).

4. Antosianin

Antosianin adalah golongan senyawa yang kimia organik yang larut dalam pelarut polar, serta memiliki pengaruh dalam memberikan warna orange, merah, ungu, biru hingga hitam seperti bunga, biji-bijian, sayuran serta tumbuh-tumbuhan. Antosianin merupakan senyawa turunan polifenol yang keberadaannya sangat melimpah di alam dengan keanekaragaman dalam berbagai jenis tumbuhan dan memiliki banyak fungsi fisiologis penting pada setiap organisme hidup (Du et. al, 2015).

Struktur antosianin yang merupakan zat warna alami golongan flavonoid dengan tiga atom karbon yang diikat oleh sebuah atom oksigen untuk menghubungkan dua cincin aromatik benzene (C_6H_6) di dalam struktur utamanya. Antosianin mempunyai karakteristik kerangka karbon ($C_6C_3C_6$) dengan struktur dasar antosianin adalah 2-fenil-benzofirilium dari garam flavilium (Santoso and Estiasih, 2015)



Gambar 2.6. Struktur Antosianin(Malarselvi et al, 2019)

Secara kimia, antosianin merupakan turunan suatu struktur aromatik tunggal yaitu sianidin, dimana semua jenis antosianin memiliki perbedaan yang didasarkan pada ikatan antara gugus R3' dan R5' dengan cincin aromatik antosianin (Siregar, 2016).

Antosianin memiliki sifat hidrofilik yang mudah larut dan stabil dalam air dan juga mudah larut dalam senyawa organik karena bersifat polar seperti aseton, etanol, metanol, dan kloroform. Kombinasi pelarut polar dengan asam organik yang tepat hingga mendapatkan kondisi pH yang sangat asam (pH 1-2) dapat lebih memantapkan kestabilan antosianin dalam bentuk kation flavium merah, sedangkan apabila pelarut dikombinasikan dengan asam lemah maka perubahan warna antosianin akan berubah menjadi warna merah memudar pada pH 3; merah keunguan pada pH 4; ungu pada pH 5-6; dan ungu biru pada pH 7 (Pedro, Granato, and Rosso 2015).

Kondisi bebas cahaya, temperatur rendah, kopigment, ion logam, oksigen, keasaman, enzim, konsentrasi, dan tekanan pun menjadi faktor penting agar kestabilan antosianin tetap terjaga sehingga kesetimbangan antosianin tidak mudah bergeser dan pada akhirnya mengalami degradasi (Kruszewski, 2017).

Tak dapat dipungkiri bahwa kebutuhan akan energi semakin hari semakin meningkat. Namun hal ini tidak diimbangi dengan pasokan energi tak terbarukan itu sendiri. Sebagai contoh energi listrik, sumber energi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik adalah BBM dan gas. Dimana pasokan sumber energi ini semakin menipis sehingga secara tidak langsung mempengaruhi tarif dasar listrik. Di Indonesia, tarif dasar listrik (TDL) terus meningkat yang tentu akan berdampak negatif pada kehidupan ekonomi masyarakat. Keadaan ini tentu saja harus segera diatasi,

mengingat saat ini hampir semua peralatan menggunakan listrik sebagai sumber energinya.

Karenanya masyarakat dituntut untuk lebih kreatif dalam menciptakan sumber energi baru sebagai sumber energi alternatif. Energi alternatif terus berupaya dikembangkan untuk menggantikan fungsi sumber energi tak terbarukan tersebut khususnya energi listrik. Berbagai jenis energi listrik alternatif telah berkembang diantaranya pemanfaatan energi listrik dari sel surya.

Energi listrik dari sel surya atau yang lebih kenal sebagai energi surya telah banyak dimanfaatkan diberbagai bidang. Namun, permasalahan lain muncul bagi masyarakat ekonomi menengah ke bawah. Tidak semua lapisan masyarakat dapat menikmati energi surya ini karena biaya yang harus dikeluarkan untuk memperolehnya juga tidak sedikit.

Pada dasarnya, energi listrik dapat diperoleh dari berbagai sumber termasuk buah dan sayur. Keasaman pada beberapa jenis buah mampu menghasilkan energi listrik karena bersifat elektrolit. Kulit jantung pisang memiliki senyawa antosianin yang terurai sempurna menjadi ion dalam larutan air. Kulit jantung pisang memiliki antosianin juga banyak mengandung air, sehingga apabila ada dua logam yang berbeda dicelupkan, pada larutan buah-buahan dan sayuran tersebut akan timbul beda potensial antara logam dan air sehingga terjadilah potensial elektroda yang dapat menghasilkan arus listrik juga.

Hal ini sejalan pula dengan prinsip sel volta. Jika dua buah logam dicelupkan dalam larutan elektrolit, maka akan terjadi reaksi spontan (reduksi – oksidasi) sehingga menimbulkan arus listrik. Dari konsep dasar ini, maka buah-buahan dapat digunakan sebagai sumber energi listrik alternatif. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai jenis buah yang bersifat asam, sedangkan tingkat keasaman buah berbeda-beda antara buah yang satu dengan yang lain. Dimana tingkat keasaman dapat diukur dengan pH yang dimiliki, semakin tinggi tingkat keasaman maka pH akan semakin rendah dan demikian pula sebaliknya. Keragaman nilai pH ini tentu saja akan menghasilkan energi listrik yang beragam pula (David, 2015).

Karena itu bila sepotong kawat penghantar dihubungkan diantara kedua benda yang berbeda muatan menyebabkan terjadinya perpindahan energi diantara benda-benda itu. Peralihan energi ini berlangsung terus selama ada beda potensial yang lebih dikenal dengan tegangan listrik. Terjadinya tegangan disebabkan adanya beda tiap muatan yang mempunyai tenaga potensial untuk menggerakkan suatu muatan lain dengan cara menarik atau menolak. Beda potensial atau tegangan listrik dapat dihasilkan dengan memberikan tegangan listrik dari suatu pembangkit listrik pada salah satu tempat penghantar. Dengan kata lain, dalam suatu rangkaian listrik, tegangan listrik diartikan sebagai beda potensial di antara dua titik (Young, Freedman, and Ford, 2015).

Arus Listrik merupakan aliran elektron-elektron dari atom ke atom yang terjadi pada sebuah penghantar dengan kecepatan

dalam waktu tertentu. Penyebab timbulnya arus listrik tersebut dikarenakan adanya beda potensial pada kedua ujung penghantar yang terjadi karena mendapatkan suatu tenaga untuk mendorong elektron-elektron tersebut berpindah-pindah tempat. Kecepatan perpindahan arus listrik ini dapat disebut laju arus yang dapat ditulis dengan I dengan satuan ampere.

Sebuah benda bermuatan positif jika benda tersebut kehilangan elektron dan bermuatan negatif jika benda tersebut kelebihan elektron. Dalam keadaan berbeda muatan inilah munculnya tenaga potensial yang berada di antara benda – benda itu.

Arus listrik dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Arus bolak balik (*Alternating Current*)

Arus bolak-balik (AC) adalah arus yang mengalir dengan polaritas yang berubah dan dimana masing-masing terminal polaritasnya bergantian. Pada umumnya arus AC ini adalah arus yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti alat-alat elektronika yang dipakai didalam rumah kita. Arus listrik ini dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang bernama generator yang ada pada pembangkit listrik.

b. Arus Searah (*Direct Current*)

Arus searah (DC) merupakan arus yang mengalir dengan arah yang tetap (konstan) dengan masing-masing terminal selalu tetap pada polaritasnya. Arus ini bisa terjadi karena berasal dari akumulator (*Accu*). Arus listrik searah ini dapat dihasilkan dengan cara merubah arus AC menjadi DC menggunakan *power supply*

dengan dioda sebagai penyearah arus yang dapat menyearahkan arus bolak-balik menjadi arus searah.

Daya listrik adalah energi yang dibawa oleh elektron yang bergerak tiap satuan waktu. Karena ada arus yang mengalir dalam rangkaian maka akan ada konversi energi listrik menjadi energi bentuk lain. Contoh, arus mengalir melalui filamen merubah energi listrik menjadi terang dan energi panas. Daya listrik dapat didefinisikan sebagai ukuran (*rate*) pada saat energi listrik dikonversi (Young et al., 2015) dan merupakan kuantitas yang penting dalam rangkaian-rangkaian praktis. Daya merupakan ukuran disipasi energi dalam sebuah alat (Situmorang, 2016).

Karena tegangan dan arus dapat berubah sesuai fungsi dari waktu, kita segera memperkirakan bahwa nilai sesaat dan nilai rata-rata dapat digunakan untuk menggambarkan disipasi. Konsumsi daya dalam arus ac lebih rumit karena tegangannya sinusoidal dan arusnya berubah secara kontiniu dalam amplitudo, dan dapat keluar atau masuk fase. Ada beberapa sirkuit ac yang sekaligus memiliki komponen resistif dan juga reaktif. Komponen resistif mendisipasi (membuang) energi pada rangkaian ac, sama halnya dengan rangkaian dc.

Sel surya adalah alat yang dapat mengubah sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaiik pertama kali diamati lebih dari 150 tahun yang lalu. Ilmuwan Becquerel mendeteksi tegangan foto ketika sinar matahari bersinar pada salah satu dari dua elektroda yang ditempatkan dalam larutan elektrolit. Para peneliti di Bell Telephone Laboratories menunjukkan konversi praktis

pertama dari radiasi matahari menjadi listrik melalui penggunaan sel surya tipe p-n persimpangan dengan efisiensi 6%. Itu digunakan dalam program luar angkasa seperti satelit. Pada awal 1970-an, krisis minyak menyebabkan pertimbangan serius terhadap fotovoltaik. Pekerjaan ini berfokus pada peningkatan kinerja, menurunkan biaya dan meningkatkan keandalan. Meskipun sel fotovoltaik terdapat dalam berbagai bentuk, struktur yang paling umum didasarkan pada penggunaan bahan semikonduktor dimana sambungan p-n telah terbentuk (Yamamoto et al, 2016).

Proses mekanisme pada sel surya berdasarkan efek fotovoltaik dimana radiasi diserap lalu dikonversi menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik merupakan suatu peristiwa terjadinya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 2017). Struktur sel surya p-n junction didesain untuk mengatasi persoalan kehilangan energi tak terbarukan. Prinsip dasar dari sel surya p-n junction adalah pembagian spektrum cahaya matahari kedalam dua atau lebih bagian sisi, lalu masing-masing bagian tersebut dapat diserap oleh beberapa sel surya yang memiliki celah pita energi yang berbeda.

6. Instrumentasi

a. Difaksi Sinar-X (XRD)

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik. Jika sinar-X berinteraksi dengan elektron-elektron dari materi yang dilewati maka akan dihasilkan hamburan. Pada saat sinar-X dihamburkan oleh lingkungan didalam kristal maka akan terjadi interferensi baik konstruktif atau destruktif yang menghasilkan difraksi.

Material yang dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal tersebut terjadi karena penyerapan serta hamburan oleh atom-atom dalam material. Berkas sinar yang diberikan oleh material, ada yang saling menghilangkan karena fase yang berbeda dan ada yang menguatkan fase yang sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan merupakan berkas difraksi (Syam, 2017).

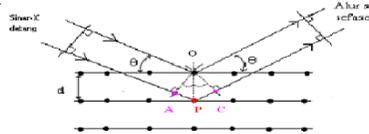
Hukum Bragg menyatakan bahwa jika berkas sinar-X ditembakkan pada permukaan kristal pada sudut θ , sebagian dihamburkan oleh lapisan atom-atom dipermukaan. Bagian yang tidak dihamburkan akan menembus menuju lapisan kedua atom-atom dan dihamburkan sebagian sehingga yang tidak terhambur selanjutnya akan lewat menuju lapisan ketiga dan seterusnya. Efek kumulatif dari hamburan yang berasal dari pusat kristal-pusat kristal yang berjarak teratur adalah terjadinya difraksi sinar. Syarat terjadinya difraksi :

1. Jarak antar lapisan dari atom-atom secara kasar harus sama dengan panjang gelombang radiasi

2. Pusat hamburan harus terdistribusi teratur dalam ruang
 W.L Bragg menggambarkan difraksi sinar-X oleh kristal ditunjukkan seperti gambar 4. Berkas cahaya sempit ditembakkan pada permukaan kristal pada sudut θ , hamburan terjadi sebagai konsekuensi dari interaksi radiasi dengan atom-atom pada lokasi O dan P. Jika :

$$AP + PC = n\lambda$$

Dimana n adalah suatu bilangan integrasi, radiasi yang terhambur dan kristal akan nampak memantulkan radiasi sinar-X.



Gambar 2.7. Difraksi Sinar-X(Kimia and Muzakir 2012)

Dapat dilihat :

$$AP = PC = d \sin \theta$$

Dimana d adalah jarak antar bidang kristal. Maka kondisi untuk interferensi konstruktif disinari pada sudut θ adalah :

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots(\text{Persamaan 6})$$

dengan n = bilangan bulat,

λ = panjang gelombang sinar-X,

θ = sudut difraksi

d = jarak antar bidang.

Persamaan ini dikenal dengan Hukum Bragg. Dengan menggunakan persamaan tersebut, untuk kasus yang sederhana, parameter sel yang akurat dan tipe struktur kristal dapat ditentukan. (Kimia and Muzakir 2012)

Sinar-X nampak dipantulkan dari kristal hanya pada saat sudutnya memenuhi persamaan Bragg, selain dari sudut tersebut maka terjadi interferensi destruktif.

Identifikasi spesies dari pola difraksi didasarkan pada posisi garis (dalam θ dan 2θ) dan intensitas relatifnya. Harga 2θ ditentukan oleh harga d . Dengan bantuan persamaan Bragg, maka harga d dapat dihitung dari panjang gelombang yang diketahui dan sudut terukur. Intesitas garis tergantung pada jumlah dan jenis pusat atom pemantul yang ada pada setiap lapisan. Identifikasi kristal dilakukan secara empiris dimana diperlukan data standar mengenai harga d dan garis intensitas dari senyawa murni. Standar diatur dengan urutan mulai dari harga d dengan garis intensitas paling besar.

Eliminasi dari senyawa-senyawa yang mungkin dapat dilakukan dengan mempertimbangkan harga d dengan garis intensitas tertinggi kedua, ketiga dan seterusnya. Biasanya tiga atau empat harga d cukup untuk mengidentifikasi senyawa dengan tepat. Dengan mengukur intensitas dari garis difraksi dan membandingkannya dengan standar maka analisis kuantitatif dari campuran kristal dapat dilakukan (Skoog and West, 2015).

Jarak antar kisi atau *d-spacing* yaitu besarnya jarak antar bidang yang didapatkan pada struktur kristal (Setiabudi, Hardian and Mudzakir, 2012). Ukuran kristal suatu material juga dapat diketahui dengan menggunakan XRD.

Ukuran kristal suatu material dapat dicari dengan menggunakan metode *scherrer* (Sumadiyasa and Manuaba, 2018).

Metode *scherrer* dilakukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X. Semakin lebar puncak difraksi, maka semakin kecil ukuran kristal material. Perhitungan nilai kristal suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 7 (Sumadiyasa and Manuaba, 2018).

$$D = K \frac{\lambda}{\beta \cos \theta} \dots\dots\dots \text{(Persamaan 7)}$$

Deangan, D: Ukuran kristal material

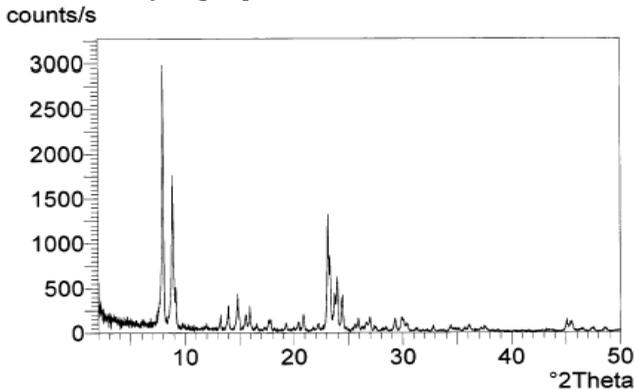
K: Konstanta material (0.9)

λ : Panjang gelombang sinar-X (1.54060 nm)

β : FWHM dari puncak yang dipilih

θ : Sudut difraksi

Pada penelitian ini, pola difraksi sinar-X yang diharapkan dari sampel adalah pola struktur MFI. Gambar 2.7 merupakan contoh struktur MFI dari TS-1 yang diambil dari penelitian Fahriyati (2018). Pola difraksi ini nantinya menjadi acuan dalam analisa data XRD yang diperoleh.

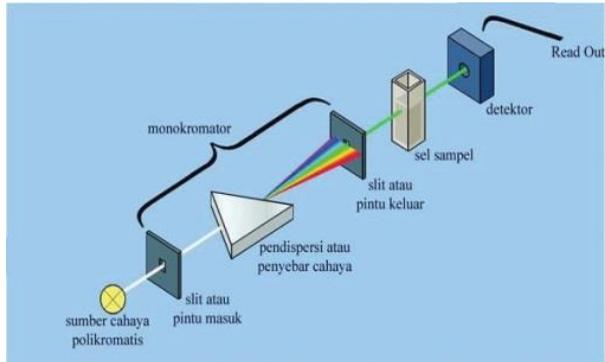


Gambar 2.8. Difraksi sinar X untuk dari TS-1(Kimia and Muzakir, 2012)

Pola difraksi sinar-X pada gambar 2.8 dihasilkan pada $2\theta = 5-50^\circ$. Pada Gambar 2.7 tampak bahwa pola difraksi sinar X pada sampel TS-1 memiliki puncak-puncak tinggi di $2\theta = 7,92^\circ; 7,94^\circ; 8,80^\circ; 23,06^\circ; 23,08^\circ; 23,10^\circ; 23,24^\circ; 23,26^\circ; \text{ dan } 23,28^\circ$. Pola difraksi TS-1 ini kemudian akan dibandingkan dengan pola difraksi ZSM-5 dengan tipe struktur kerangka MFI sebagai standar yang diambil dari *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites* International Zeolite Association (Treacy et al, 2015) dan dengan pola difraksi milik TiO_2 .

b. UV-VIS Spectrophotometer

Sinar ultraviolet jauh memiliki rentang panjang gelombang $\pm 10-200$ nm, sedangkan ultraviolet dekat memiliki rentang panjang gelombang $\pm 200-400$ nm. Interaksi senyawa organik dengan sinar ultraviolet dan sinar tampak, dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik. Bagian dari molekul yang paling cepat bereaksi dengan sinar tersebut adalah elektron-elektron ikatan dan elektron-elektron non ikatan (elektron bebas). Sinar ultra dan sinar tampak merupakan energi, yang bila mengenai elektron-elektron tersebut, maka elektron akan tereksitasi dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi, eksitasi elektron-elektron ini, direkam dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron-elektron yang terdapat dalam molekul yang dianalisis. Makin mudah elektron-elektron bereksitasi makin besar panjang gelombang yang diabsorpsi, makin banyak elektron yang bereksitasi makin tinggi absorbansi. (Suhartati, 2017)



Gambar 2.10. Diagram alat spektrometer UV-Vis (single beam)(Suhartati, 2017)

Pada umumnya terdapat dua tipe instrumen spektrofotometer, yaitu single-beam dan double-beam.

a. Single-beam instrument

Pada gambar (2.10), digunakan untuk kuantitatif dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tunggal. Single-beam instrument mempunyai beberapa keuntungan yaitu sederhana, harganya murah, dan mengurangi biaya yang ada merupakan keuntungan yang nyata. Beberapa instrumen menghasilkan single-beam instrument untuk pengukuran sinar ultra violet dan sinar tampak. Panjang gelombang paling rendah adalah 190 sampai 210 nm dan paling tinggi adalah 800 sampai 1000 nm (Skoog, DA, 1996). Double- beam dibuat untuk digunakan pada panjang gelombang 190 sampai 750 nm.

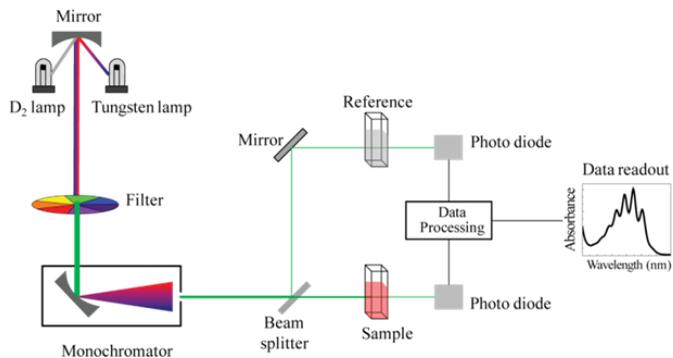
b. Double-beam instrument

Pada gambar 2.11 mempunyai dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V yang disebut pemecah

sinar. Sinar pertama melewati larutan blanko dan sinar kedua secara serentak melewati sampel (Skoog, DA, 2016).

Sumber sinar polikromatis, untuk sinar UV adalah lampu deuterium, sedangkan sinar Visibel atau sinar tampak adalah lampu wolfram. Monokromator pada spektrometer UV-Vis digunakan lensa prisma dan filter optik. Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas dengan lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto atau detektor panas atau detektor dioda foto, berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik.

Diagram spektrofotometer UV-Vis (Double-beam) dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Skema spektrofotometer UV-Vis (Double-beam)(Suhartati, 2017)

UV-Vis mengacu pada spektroskopi penyerapan atau spektroskopi reflektansi di wilayah spektrum ultraviolet - terlihat . Ini berarti menggunakan cahaya dalam rentang terlihat dan berdekatan. Penyerapan atau pemantulan dalam rentang yang terlihat secara langsung mempengaruhi warna yang dirasakan dari

bahan kimia yang terlibat. Di spektrum ini, atom dan molekul mengalami transisi elektronik. Absorpsi spektroskopi adalah pelengkap untuk spektroskopi fluoresensi, dalam fluoresensi yang berhubungan dengan transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar, sementara penyerapan mengukur transisi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi. Molekul yang mengandung π -elektron atau elektron non-ikatan (n-elektron) dapat menyerap energi dalam bentuk ultraviolet atau cahaya tampak untuk merangsang elektron ini ke orbital molekul anti-ikatan yang lebih tinggi (Douglas et al, 2017). Semakin mudah menggerakkan elektron (yaitu celah energi yang lebih rendah antara HOMO dan LUMO), semakin panjang panjang gelombang cahaya yang dapat diserap. Ada empat jenis transisi yang mungkin (π - π^* , n- π^* , σ - σ^* , dan n- σ^*), dan mereka dapat dipesan sebagai berikut: σ - $\sigma^* > n$ - $\sigma^* > \pi$ - $\pi^* > n$ - π^* (Suhartati, 2017)



Gambar 2.12. Spektrofotometer Uv-Visible (UIN Walisongo, 2021)

B. Kajian Pustaka

Bagian ini memuat penelitian-penelitian yang dijadikan kajian-kajian dalam membuat penelitian yang akan dilakukan.

1. penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Akhiruddin Maddu (2017) bahwa efisiensi yang dihasilkan dari

penggunaan ekstrak antosianin kol merah cukup baik adalah hasil pengujian sel-sel karakterisasi I-V adalah Hasil pengujian sel-sel ini memperlihatkan karakteristik I-V yang ideal dengan parameter keluaran: tegangan rangkaian buka (V_{oc}) 500 mV, arus rangkaian pendek (I_{sc}) 5,6 μA dan 7,2 μA untuk masing-masing sel, fill factor (FF) 48% untuk kedua sel, konversi energi (η) 0,023% dan 0,055% masing-masing untuk sel yang direndam dengan dye selama 1 jam dan 24 jam.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Nening Lestari (2018) dengan menggunakan pewarna tersintesis berupa dari kompleks besi formazan hanya mampu menghasilkan efisiensi light harvesting sebesar 4,22% yang menunjukkan kurang dari 5% sehingga harus ada dari pewarna tersensitasi yang lebih baik efisiensinya.
3. Penelitian yang dilakukan Rachmawatin Ningsih dan Erna Hastuti tentang Karakterisasi Ekstrak Teh Hitam dan Tinta Cumi-Cumi Sebagai Fotosensitiser Pada Sel Surya Berbasis Pewarna Tersensitisasi bahwa penelitian ini telah dilakukan pembuatan rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) dengan menggunakan zat pewarna organik dari ekstrak kasar teh hitam (*Camellia sinensis*) dan tinta sotong (*Sepia acuelata*). Sistem sel surya terdiri dari kristal TiO_2 , kaca konduktor, zat pewarna (*dye*), larutan elektrolit redoks I^-/I_3^- dan elektroda karbon. Kristal TiO_2 dikarakterisasi menggunakan instrumen Difraksi Sinar-X. Ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong dianalisa serapan panjang gelombangnya menggunakan

spektrofotometer UV-Vis. Rangkaian sel surya diukur nilai tegangan dan arus listriknya. Hasil Difraksi Sinar-X menunjukkan bahwa kristal TiO₂ termasuk fase kristal anatase dengan ukuran kristal sebesar 2,6 nm. Hasil spektra UV-Vis ekstrak kasar teh hitam dan tinta sotong menunjukkan range daerah serapan panjang gelombang berturut-turut yaitu 232-240 nm dan 203-207 nm. Besar tegangan listrik sel surya tanpa perendaman, pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,014 Volt dan 0,023 Volt. Besar tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak kasar teh hitam selama 1 jam pada ruangan tanpa sinar dan di bawah lampu halogen berturut-turut sebesar 0,364 Volt dan 0,401 Volt. Sedangkan yang direndam selama 2 minggu berturut-turut sebesar 0,113 Volt dan 0,18 Volt. Besar nilai arus listrik sel surya tidak dapat diukur, begitu juga dengan besar tegangan listrik sel surya yang direndam dalam ekstrak tinta sotong.

4. Penelitian yang dilakukan Kurnia Arini Putri (2017) tentang Ekstraksi Zat Warna Daun Ketapang (*Terminalia Catappa L.*) Dan Aplikasinya Pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) bahwa penelitian ini adalah untuk menentukan nilai efisiensi yang dihasilkan dari ekstrak daun ketapang dan untuk mengetahui pengaruh kandungan senyawa dalam ekstrak daun ketapang terhadap nilai efisiensi DSSC. Dalam penelitian ini digunakan ekstrak daun ketapang n-heksan, etilasetat, metanol dan campuran sebagai zat warna. Nilai efisiensi diukur menggunakan rangkaian DSSC sedangkan karakterisasi

senyawa dalam ekstrak menggunakan UV-Vis dan FTIR. Hasil pengukuran nilai efisiensi dari ekstrak daun ketapang nheksan, etil asetat, metanol dan campuran berturut-turut 0.0051%, 0.09%, 0.12% dan 0.22%. Kemudian ekstrak daun ketapang n-heksan, etil asetat, metanol dan campuran dikarakterisasi menggunakan UV-Vis dan FTIR. Hasil karakterisasi UV-Vis dengan panjang gelombang maksimum berturut-turut 667 nm, 665.9 nm, 665.9 nm dan 209 nm. Hasil karakterisasi dengan menggunakan FTIR diidentifikasi adanya gugus ausokrom seperti -OH, C-N, -NH, dan C-O serta gugus kromofor seperti C=O dan C=C. Hasil karakterisasi morfologi komponen DSSC dengan menggunakan SEM dari ekstrak campuran yaitu *dye* tidak terabsorpsi secara merata dalam TiO₂.

5. Penelitian yang dilakukan oleh Vitriany Ekasari dan Gatut Yuduyono (2013) tentang Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum*) Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan *Spin Coating* bahwa fabrikasi DSSC dengan menggunakan dye ekstrak jahe merah (*Zingiber officinale Linn Var. Rubrum*) dengan variasi larutan TiO₂ fase anatase dengan teknik pelapisan Spin Coating. Variasi larutan TiO₂ yang digunakan yaitu Larutan TiO₂ yang dicampur dengan menggunakan dye ekstrak jahe merah dan tanpa dicampur. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan sumber cahaya lampu halogen. diperoleh karakteristik dari DSSC tersebut

adalah Voc 500 mV, Isc 0,05 mA, P max 15,87 mWatt, FF 0,64 untuk sampel A. Sedangkan untuk sampel B diperoleh Voc 296 mV, Isc 0,02 mA, P max 1,7368 mWatt, FF 0,34. Dengan teknik pencampuran dye pada larutan TiO₂ akan menghasilkan nilai tegangan dan arus yang lebih besar dan waktu preparasi yang lebih efisien.

6. Penelitian yang dilakukan oleh Joko Suryadi (2015) tentang Pembuatan dan Penentuan Nilai Efisiensi Sel Surya Berpewarna Tersensitisasi dengan Senyawa Antosianin dari Buah Manggis (*Garcinia mangostana* L.) sebagai Pewarna Pensensitisasi bahwa penelitian mengenai pembuatan dan penentuan nilai efisiensi DSSC dengan senyawa antosianin dari kulit buah manggis sebagai pewarna pensensitisasi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat rancangan DSSC, mengkarakterisasi penyusunnya dan menentukan nilai efisiensinya. Penelitian dilakukan dengan pembuatan elektroda kerja (working electrode) dari lapis tipis TiO₂ yang mengadsorb antosianin kulit buah manggis, elektroda perlawanan (counter electrode) dari karbon dan elektrolit I⁻/I³⁻ sebagai pasangan redoks. Karakterisasi DSSC meliputi kristalinitas TiO₂, ukuran rongga dan ketebalan lapis tipis TiO₂, serapan panjang gelombang maksimum zat pewarna, analisis gugus fungsi antosianin serta ikatan antara TiO₂ dengan molekul antosianin. Nilai efisiensi DSSC ditentukan dengan metode kurva arus dan tegangan. Hasil penelitian menunjukkan karakterisasi masing-masing penyusun DSSC

telah memenuhi syarat sebagai rancangan DSSC dan nilai efisiensi rancangan DSSC adalah sebesar $2,2 \times 10^{-3} \%$.

7. Penelitian yang dilakukan oleh Hidayatul Fitriya (2017) tentang Pengaruh Lama Perendaman TiO₂ Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC) bahwa penelitian ini adalah persiapan pewarna, kontra-elektroda persiapan, persiapan TiO₂, proses elektrolit dan perakitan. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 menit, 60 menit, dan 90 menit waktu pencelupan. Hasilnya menunjukkan bahwa perendaman hasaffect ke output DSSC. 60 menit perendaman dapat menghasilkan output yang lebih tinggi pada 12 P.M dengan penerangan 729,2 Watt/m², yang 173,6 mV tegangan dan 0.621 mA saat ini. Ini juga menghasilkan 0,0493% efisiensi pada saat yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa hasaffect pencelupan ke DSSC output seperti arus, tegangan, dan efisiensi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah mortar, alu, erlenmayer Hermes, aluminium foil Klin Pak, multimeter Fluk 179, potensiometer tocos cosmos 5K Ω , Magnetic Stirrer Digital MS 2000, Hotplat Stirrer Merk Ika HS-7, Scotch (3M) tape (lakban/penjepit), batang gelas, neraca analitik Mettler Toledo AL-204 , kertas saring (indrasari), spatula, furnice Thermolyne, grafit powder, Spektrofotometer UV-Visible Orion Aquamate 8000, Difraksi Sinar-X (XRD) PanAnalytical.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah substrat kaca Indium Thin Oxide, TiO₂ Merck, Polivinyl Alcohol (PVA) sigma aldrich, Iodin (proanalysis), Kalium Iodida (proanalysis), asetonitril (proanalysis), etanol (proanalysis), metanol (proanalysis), asam asetat (proanalysis) , aseton (teknis), aquades (UIN Walisongo), graphite powder, kulit jantung pisang kepok dan kulit buah ketapang.

B. Cara Kerja

1. Preparasi Ekstrak Kulit Jantung Pisang dan Kulit Buah Ketapang

Kulit jantung pisang kering dan kulit buah ketapang dipotong kecil-kecil lalu diblender sampai halus dan ditimbang

menggunakan timbangan digital masing-masing sebanyak 50 gram. kulit jantung pisang dan kulit buah ketapang yang telah halus dimasukkan dalam erlenmeyer (bisa dengan gelas beker) yang telah dilapisi alumunium foil, kemudian masing-masing direndam selama 2 x 24 jam dengan campuran pelarut 150 mL metanol p.a, 24 mL asam asetat p.a dan 84 mL aquades dalam erlenmeyer. Selama proses perendaman erlenmeyer di simpan dalam tempat yang gelap. Setelah 2 x 24 jam, cairan ekstrak disaring menggunakan kertas saring dan dimasukkan dalam botol yang dilapisi alumunium foil. Hal ini bertujuan agar pigmen dari kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang tidak terkena cahaya sehingga mudah terdegradasi.

2. Uji UV-Visible

Cairan ekstraksi pigmen kulit jantung pisang dan kulit buah ketapang dimasukkan ke dalam kuvet. Dimasukkan juga cairan perbandingan masing-masing pelarut 150: 24: 84 ke dalam kuvet. Diukur pada panjang gelombang 200-800 nm untuk karakterisasi ekstrak kulit buah ketapang dan jantung pisang (Santoso and Estiasih 2014). Diamati panjang gelombang maksimumnya dan diketahui panjang gelombang/tingkat absorbansi cahaya.

3. Pembuatan Larutan Elektrolit

Kalium Iodida (KI) sebanyak 0,83 g dilarutkan dalam 10 mL asetonitril kemudian diaduk sampai larut. Ditambahkan 0,127 g I₂ dalam larutan tersebut dan diaduk hingga larut sempurna. Larutan kemudian disimpan dalam botol tertutup.



Gambar 3.1 Larutan Elektrolit

4. Pembuatan Pasta TiO₂

Polivinil Alkohol (PVA) sebanyak 0,5 gram ditambahkan ke dalam akuades, diaduk sambil dipanaskan di atas tungku pemanas 80 °C sampai membentuk suspensi sebagai pengikat TiO₂ p.a merck. Suspensi ditambahkan pada bubuk TiO₂ sebanyak 4,5 gram. Campuran digerus dengan mortar sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan.

5. Pelapisan Kaca Substrat ITO – Pasta TiO₂

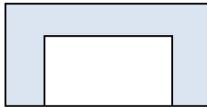
Indium-Tin-Oxide (ITO) dipotong menjadi ukuran 1,5 x 1,5 cm dibentuk area tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan Scotch tape pada bagian kaca yang konduktif dengan menggunakan teknik *Doctor Blade* sehingga terbentuk area sebesar 1 x 0,6 cm yang berfungsi sebagai pengatur ketebalan pasta TiO₂.



Gambar 3.2 Pelapisan Kaca Substart-TiO₂

6. Preparasi Pasta TiO₂ - Dye

Kaca substrat *ITO* dengan luasan 2,5 cm x 2,5 cm direndam dengan etanol sebelum dilapisi. Tepi substrat sepanjang 2 cm dan 1,5 cm dari tepi diberi isolasi untuk mengontrol kerapian deposisi TiO₂ dan ketebalan lapisan. Pasta TiO₂ diletakkan pada tepi substrat dan diratakan dengan spatula. Lapis tipis TiO₂ dibiarkan kering di udara terbuka dan isolasi dilepas. Kaca berlapis TiO₂ kemudian dipanaskan dalam tungku listrik (*furnace*) pada suhu 450 °C selama 30 menit. Lapisan TiO₂ direndam dalam larutan pigmen ekstrak kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang kepok masing-masing selama kurang lebih 30 menit kemudian lapisan TiO₂ akan menjadi berwarna merah-keunguan.



Gambar 3.3 Ilustrasi Skema Deposisi Pasta TiO₂ Pada Kaca

7. Pembuatan Elektroda Pembanding

Kaca *ITO* dibersihkan menggunakan aseton kemudian sumber karbon didapatkan dari graphite pensil. Graphite diarsirkan ke *ITO* pada bagian konduktifnya setelah itu dipanaskan pada temperatur 450°C selama 10 menit agar karbon membentuk kontak yang baik sesama partikel karbon dan dengan kaca konduktif *ITO*.

8. Perakitan dan pengukuran Efisiensi DSSC

DSSC dirakit menjadi model berlapis (sandwich) dengan elektroda perlawanan diletakkan berhadapan dengan lapisan TiO₂. DSSC kemudian dijepit agar strukturnya baik. Elektrolit diteteskan pada sela-sela ruang antar elektroda. Rancangan DSSC kemudian ditentukan nilai efisiensinya dengan alat hambatan geser ALPHA 10k Ω dan multimeter digital HELES. Pengukuran dilakukan dengan memvariasi tegangan menggunakan hambatan geser hingga diperoleh tegangan rangkaian terbuka (Voc) dan arus hubung singkat (Isc). Pengukuran dilakukan pada kondisi di bawah sinar matahari langsung seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4. Rangkaian pengukuran I-V(Dinesh et al, 2019)



Gambar 3.5. Prototip DDSC Kulit Buah Ketapang



Gambar 3.6. Prototipe DSSC Kulit Jantung Pisang

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan tentang proses ekstraksi kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang kepok. Bab ini juga membahas proses preparasi prototipe DSSC dan karakterisasi XRD berupa sifat kristal dan ukuran kristal.

A. Deskripsi Data

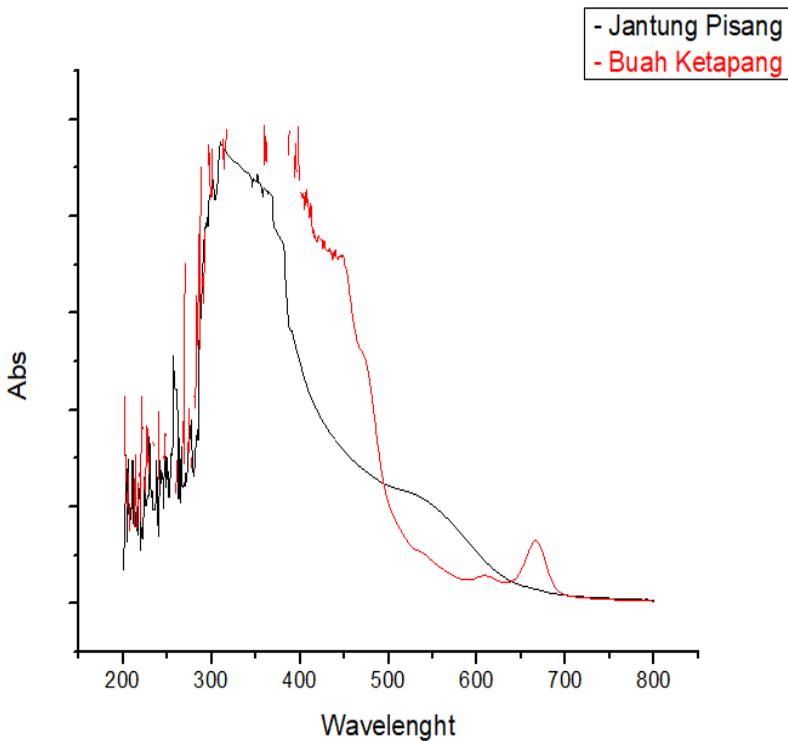
1. Analisis Absorbansi Pewarna (*Dye*) Klorofil dan Antosianin

Pengujian yang dilakukan terhadap dye ekstrak kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang dengan spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengukur nilai absorbansi yang ingin didapat dan nilai panjang gelombang yang ingin diketahui. Jarak atau range yang digunakan adalah 200-800 nm (santoso, 2015).

Ekstraksi Zat warna dilakukan dengan teknik maserasi selama 48 jam. Analisis larutan zat warna dari kulit buah ketapang dihasilkan panjang gelombang maksimum 666 nm. Zat warna tersebut menyerap spektrum pada gelombang tampak sehingga menandakan zat warna klorofil. Zat warna klorofil pada kulit buah ketapang berwarna hijau karena menyerap spektrum biru-merah sehingga memantulkan warna hijau. Pigmen klorofil berdasarkan kurva serapan UV-Vis menunjukkan puncak utama disekitar 400 nm, sejumlah puncak kecil antara 500 nm dan 600 nm dan satu puncak utama diatas 625 nm, Warna hijau pada

ekstrak kulit buah terdapat pada satuan puncak diatas 625 nm (Herborne, 1987).

Spektrum panjang gelombang maksimum kulit jantung pisang kepek yang dihasilkan adalah 515 nm . Panjang gelombang 515 nm menunjukkan ciri dari antosianin. Antosianin jenis sianidin-3-glukosida memiliki panjang gelombang maksimum 219 nm, 317 nm dan 525 nm (wiwin *et al*, 2015). Potensi dijadikannya pewarna sebagai sumber DSSC adalah hasil luas spektrum, panjang gelombang maksimum dan spektrum absorbansi yang dihasilkan.



Gambar 4.1. Spektra ultraviolet tampak larutan zat warna kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang kepek

Kurva grafik penyerapan panjang gelombang yang ditampilkan pada gambar 4.1 disimpulkan bahwa nilai absorbansi yang dihasilkan dengan panjang gelombang yang diketahui diatas memungkinkan zat warna mampu menyerap energi sinar matahari dalam memaksimalkan kinerja DSSC. Kulit buah ketapang akan menghasilkan warna kuning kecoklatan sedangkan kulit jantung pisang berwarna merah kebiruan. Kulit buah ketapang terindikasi mengandung klorofil sedangkan kulit jantung pisang mengandung antosianin.



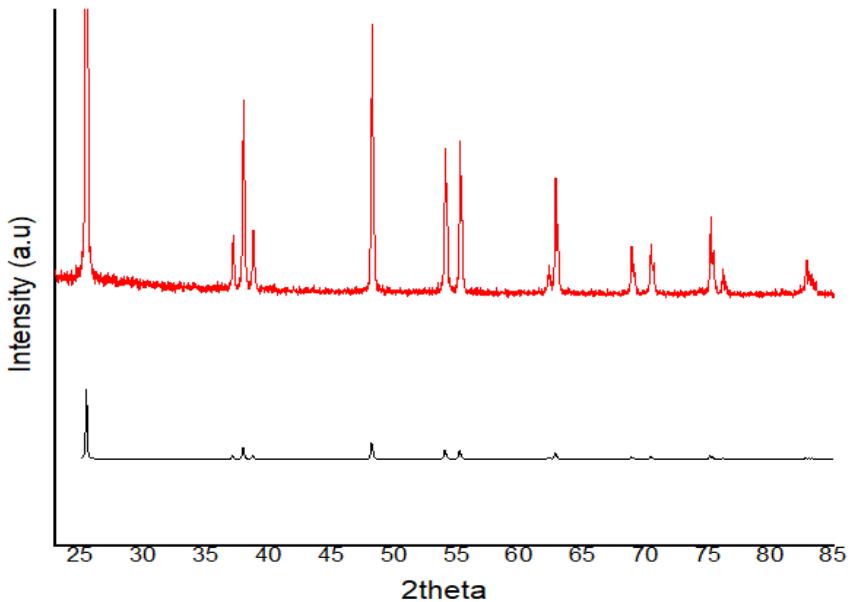
Gambar. (kiri) Ekstrak Kulit buah ketapang. (kanan) Ekstrak kulit jantung pisang

Kulit jantung pisang dan kulit buah ketapang memiliki sifat autotrof. Autotrof adalah kemampuan untuk merubah bahan

anorganik menjadi organik dengan bantuan cahaya tetapi bisa bereaksi dengan asam-basa, pada keadaan asam akan berubah warna hijau keabuan sedangkan dalam keadaan basa akan berubah warna kuning kehijauan (Farida, 2014)

2. Uji XRD Pada Serbuk TiO₂ Sebagai Bahan Semikonduktor

TiO₂ dalam DSSC adalah bahan semikonduktor yang pita konduksi akan diisi oleh elektron terinjeksi dari molekul. Elektron tereksitasi oleh cahaya sehingga akan berikatan antar sesama elektron-elektronnya. Nano partikel TiO₂ merupakan semikonduktor tipe-n yang mempunyai ukuran partikel. TiO₂ memiliki daya oksidatif yang tinggi dan stabilitas yang tinggi. Pada fase anatase lebih stabil dalam penyerapan sinar uv daripada broklite dan rutile. Hasil XRD pada gambar 4.2 digunakan untuk menganalisis struktur dan ukuran kristal. Ukuran kristal dapat diukur dengan menggunakan rumus formula *debye scirrer* seperti persamaan 7. Struktur kristal dapat diukur dengan menggunakan data JCPDS (Francesca *et al*, 2018). Uji XRD pada penelitian ini dilakukan pada sampel temperatur 450°C. Hasil uji XRD dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.2. Difraktogram TiO₂ dilapisi ekstrak kulit buah ketapang dan ekstrak kulit jantung pisang hasil analisis

Data difragtogram diatas pada gambar 4.2 bahwa hasil karakterisasi XRD struktur kristal TiO₂ dilapisi ekstrak kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang adalah berfase anatase dengan pemanasan 450°C. Perbedaan intensitas dari TiO₂ dilapisi ekstrak kulit buah ketapang dan ekstrak kulit jantung pisang disebabkan oleh pengaruh kalsinasi yang tidak maksimal. Intensitas yang tinggi menunjukkan keteraturan letak atom-atom dalam kristal semakin baik. Perbedaa Pelapisan TiO₂ dengan ekstrak zat warna kulit buah ketapang dengan kulit jantung pisang tidak terjadi perubahan yang signifikan pada puncak spesifik TiO₂. Puncak-puncak karekterisasi TiO₂ kulit buah ketapang berada pada 3

puncak 2θ yaitu 25.48° dan 48.34° dan puncak kulit jantung pisang berada pada puncak 2θ yaitu 25.47° dan 48.18° Data tersebut disesuaikan dengan data JCPDS (*Joint Commite on Powder Diffraction Standart*) TiO_2 nomor 21-1272 }(Francesca, et al. 2018).

Ukuran kristal TiO_2 dilapisi ekstrak kulit buah ketapang dari sudut 2θ tertinggi yaitu 72.397 nm dan ukuran kristal TiO_2 dilapisi ekstrak kulit jantung pisang adalah 59.30 nm.

Tabel 4.1. Nilai Ukuran Kristal TiO_2 Dilapisi Ekstrak Kulit Buah Ketapang

NO	2θ ($^\circ$)	θ (rad)	FWHM ($^\circ$)	B (rad)	H	K	L	D (nm)
1	25.48°	0.223	0.1443	0.002128	0	0	1	72.397
2	38.74°	0.338	0.1443	0.002128	0	0	4	65.15808
3	48.34°	0.421	0.1443	0.002128	2	0	0	65.1587
4	37.22°	0.324	0.1443	0.002128	1	0	3	65.1579
5	38.74°	0.338	0.1443	0.002128	1	1	3	65.1580
6	63.03°	0.549	0.1443	0.002128	2	0	4	65.1599

Tabel 4.2. Nilai Ukuran Kristal TiO_2 Dilapisi Ekstrak Kulit Jantung Pisang Kepok

NO	2θ ($^\circ$)	θ (rad)	FWHM ($^\circ$)	B (rad)	h	K	L	D (nm)
1	25.47°	0.222	0.134	0.002338	0	0	1	59.3049
2	37.95°	0.331	0.166	0.002896	0	0	4	47.8785

3	48.18°	0.420	0.193	0.003367	2	0	0	41.1817
4	38.73°	0.337	0.176	0.003071	1	0	3	45.1502
5	37.10°	0.323	0.166	0.002896	1	1	3	47.9779
6	62.81°	0.548	0.193	0.003367	2	0	4	41.1821

Data yang diketahui diatas disimpulkan bahwa ukuran kristal memiliki sifat kristalin dengan ukuran kristal yang kurang dari 100 nm. Ukuran normal suatu kristal material berada pada kisaran 1-100 nm, lebih dari 100 nm maka ukuran kristal dari suatu puncak difraksi akan melebar karena disebabkan ukuran kristal dan regangan kristal. (Manuaba, 2018)

3. Analisa Keluaran DSSC Dibawah Sinar Matahari

Kulit buah ketapang dan kulit jantrung pisang dalam pengukuran efisiensi DSSC dilakukan dengan metode kurva arus dan tegangan. Tujuannya adalah untuk mengetahui keefektifan dari satu susunan komponen DSSC dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Metode kurva arus dan tegangan menggunakan variasi nilai hambatan untuk menentukan besaran-besaran yang dibutuhkan dalam pengukuran efisiensi DSSC. Besaran tersebut adalah tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung pendek (I_{sc}), fill factor (FF) dan Efisiensi (η). Nilai efisiensi menunjukkan keefektifan DSSC dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. (Vitriany E, 2013)

Pada pengerjaan skema ini menggunakan teknik doctor blade. Setiap deposisi yang dilapisi oleh TiO_2 dilakukan merata secara

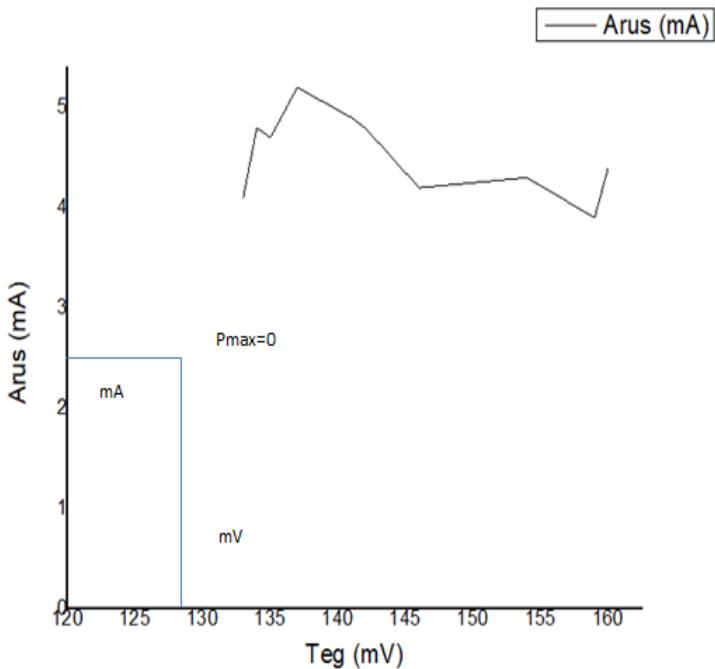
sempurna dan mempermudah penyerapan zat warna ketika perendaman berlangsung selama kurang lebih 48 jam. Pengujian efisiensi prototipe DSSC dalam bentuk sandwich menggunakan berupa alat multimeter, Sinar matahari yang merupakan komponen penting dalam prinsip DSSC berbahan baku organik yang mana sinar matahari akan menghasilkan energi foton ($h\nu$) yang mampu menghasilkan energi terbarukan ketika mengenai objeknya seperti halnya mekanisme fotosintesis yang terjadi pada tumbuh-tumbuhan. Multimeter yang digunakan berfungsi untuk menentukan tegangan (V) dan arus (A) sedangkan potensiometer berfungsi sebagai pengatur tegangan pada rangkaian alat DSSC untuk mendapatkan nilai P_{maks} dan I_{maks} . Pada kulit buah ketapang didapat hasil pengukuran tegangan dan arus sebagai berikut:

Tabel 4.5. Nilai Variasi Arus-Tegangan Kulit Buah Ketapang

Kulit Buah Ketapang	
Tegangan (V)	Arus (A)
111.7	2.2
115.9	2.39
120.2	2.43
121.5	2.45
125	2.5
129.8	2.58
128.1	2.68
134.9	2.78

139	2.77
146.4	2.9

Penentuan Isc dan Voc dapat dilihat dari kurva I-V DSSC kulit buah ketapang sebagai berikut:



Gambar 4.6. Kurva I-V DSSC Kulit Buah Ketapang

Nilai yang didapat dari pengukuran ini berupa Tegangan rata-rata sebesar 127.2 mV dan arus rata-rata 0.025 mA. .

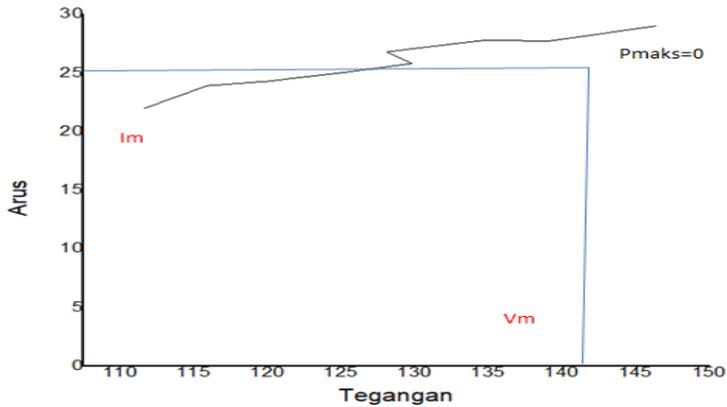
Efisiensi Kulit jantung pisang kepok dengan menggunakan metode yang sama perlakuannya terhadap kulit buah ketapang

tersebut dihasilkan dari perhitungan variasi arus-tegangan.
Hasil pengukuran arus-tegangan sebagai berikut :

Tabel 4.5 Nilai Variasi Arus Tegangan Kulit Jantung Pisang

Kulit Jantung Pisang	
Tegangan (V)	Arus (A)
133	4.1
134	4.8
135	4.7
137	5.2
141	4.9
142	4.8
146	4.2
154	4.3
159	3.9
160	4.4

Sebagaimana kurva I-V DSSC yang daihasilkan pada kulit jantung pisang sebagai berikut:



Gambar 4.7. Kurva I-V DSSC Kulit Jantung Pisang

Kurva yang ditampilkan diatas terlihat bahwa nilai arus *short circuit* dan tegangan *open circuit* tidak dapat diukur dikarenakan pada pembuatan bahan semikonduktor TiO_2 melalui proses kalsinasi pada saat dekomposisi TiO_2 tidak sepenuhnya kristalin air keluar sehingga berdampak pada tidak terjadinya proses transfer elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Nilai yang didapat dari pengukuran ini berupa Tegangan rata-rata sebesar 141.1 mV dan arus rata-rata 0.048 mA. Data yang didapat tidak sesuai dengan harapan sehingga harga V_0 dan I_0 tidak dapat digunakan untuk langkah penelitian selanjutnya.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

A. Kesimpulan

1. Nilai karakterisasi dari ekstrak kulit buah ketapang dengan panjang gelombang maksimum 666 nm sedangkan pada kulit jantung pisang kepok dengan panjang gelombang maksimum 320 dan 515 nm.
2. Pada TiO_2 - zat warna kulit buah ketapang dihasilkan fasa anatase dengan ukuran partikel 72.397nm dengan puncak tertinggi 2θ sebesar $25,48^\circ$ dan pada kulit jantung pisang memiliki ukuran partikel 59.30 $^\circ$ dengan puncak tertinggi 2θ adalah 25.47° .

B. Saran

1. Dalam penelitian ini harus dilakukan penelitian lebih lanjut guna menghasilkan efisiensi yang lebih baik dari penelitian ini.
2. Pada pembuatan TiO_2 sebagai bahan semikonduktor harus melalui proses dekomposisi sehingga pada proses kalsinasi elektron pada TiO_2 dapat terabsorpsi dari pita valensi ke pita konduksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bagavathi, N, and A Clara Dhanemozhi. 2019. "ScienceDirect Fabrication of Dye Sensitized Solar Cells by the Plasmonic Effect of Silver Nanoparticles and Basella Alba Dye." *Materials Today: Proceedings* 8: 271–78.
- Chauhan, R. (2013). *Synthesis and Characterization of Silver Doped Cadmium Oxide nanoparticles. Journal of Advanced Physics*,2(2),116-118.
<https://doi.org/10.1166/jap.2013.1058>
- Chindeka, Francis et al. 2020. "Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Push-Pull Asymmetrical Substituted Zinc and Copper Phthalocyanines and Reduced Graphene Oxide Nanosheets." *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*(February):112612.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112612>.
- Choi, Jina, Hyunwoong Park, and Michael R. Hoffmann. 2015. "Combinatorial Doping of TiO₂ with Platinum (Pt), Chromium (Cr), Vanadium (V), and Nickel (Ni) to Achieve Enhanced Photocatalytic Activity with Visible Light Irradiation." *Journal of Materials Research* 25(1): 149–58.
- Dinesh, V P et al. 2019. "Nano-Structures & Nano-Objects Novel Stainless Steel Based , Eco-Friendly Dye-Sensitized Solar Cells Using Electrospun Porous ZnO Nanofibers." *Nano-Structures & Nano-Objects* 19(100311): 2352-507X.
- Ekasari, Vitriany, Vitriany Ekasari, and Gatut Yudoyono. 2015. "Fabrikasi Dssc Dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan Tio₂ Nanopartikel Berfase Anatase Dengan Teknik Pelapisan Spin Coating." *Jurnal Sains dan Seni ITS* 2(1): B15–20.
- De Freitas, Jilian Nei et al. 2016. "Dye-Sensitized Solar Cells and

- Solar Module Using Polymer Electrolytes: Stability and Performance Investigations.” *International Journal of Photoenergy*: 1–6.
- Grätzel, Michael. 2015. “Dye-Sensitized Solar Cells.” *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 4(2): 145–53.
- Hagfeldt, Anders et al. 2015. “Dye-Sensitized Solar Cells.” *Dye-Sensitized Solar Cells Anders* 110: 6595–6663.
- Joseph, James et al. 2006. “Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells with Siloxane Poly(Ethylene Glycol) Hybrid Gel Electrolyte.” *Semiconductor Science and Technology* 21(5): 697–701.
- R,Hardian, and Ahmad Muzakir. 2012. *Karakterisasi Material ;Kimia Penelitian*.UPI Press
- Kruszewski, Bartosz. 2017. “The Effect of High Pressure Techniques on the Stability of Anthocyanins in The Effect of High Pressure Techniques on the Stability of Anthocyanins in Fruit and Vegetables.” *Journal of Molecular Sciences* 18(February): 1–23.
- Lao, Chunfeng et al. 2005. “Mix-Solvent-Thermal Method for the Synthesis of Anatase Nanocrystalline Titanium Dioxide Used in Dye-Sensitized Solar Cell.” *Solar Energy Materials and Solar Cells* 85(3): 457–65.
- Li, Bin et al. 2006. “Review of Recent Progress in Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells.” *Solar Energy Materials and Solar Cells* 90(5): 549–73.
- Malarselvi, R Ida, G Ragasudha, C Ramachandra Raja, and R Priscilla. 2019. “Materials Today: Proceedings Effect of Organic Dyes and Polypyrrole on the Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells.” *material proceedings* 2214–7853(xxxx):1–3.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.692>.

- Manuaba, I B S. 2018. "Determining Crystallite Size Using Scherrer Formula, Williamson-Hull Plot, and Particle Size with SEM." *Buletin Fisika* 19(1): 28–35.
- McDonald, S. A., P. W. Cyr, L. Levina, and E. H. Sargent. 2004. "Photoconductivity from PbS-Nanocrystal/Semiconducting Polymer Composites for Solution-Processible, Quantum-Size Tunable Infrared Photodetectors." *Applied Physics Letters* 85(11): 2089–91.
- Murugalakshmi, M, A Anitha, and A Clara Dhanemozhi. 2019. "ScienceDirect Study of Dye Sensitized Solar Cell Using Mirabilis Jalapa Flower Extract." *Materials Today: Proceedings* 8: 357–61.
- Nazeeruddin, Md. K. et al. 2017. "Acid–Base Equilibria of (2,2'-Bipyridyl-4,4'-Dicarboxylic Acid)Ruthenium(II) Complexes and the Effect of Protonation on Charge-Transfer Sensitization of Nanocrystalline Titania." *Inorganic Chemistry* 38(26): 6298–6305.
- Patel, Punit, Ayyan Karmakar, Chetan Jariwala, and Jayesh P. Ruparelia. 2015. "Preparation and Characterization of SnO₂ Thin Film Coating Using Rf-Plasma Enhanced Reactive Thermal Evaporation." *Procedia Engineering* 51(December 2013): 473–79.
- Pedro, Alessandra Cristina, Daniel Granato, and Neiva Deliberali Rosso. 2015. "Extraction of Anthocyanins and Polyphenols from Black Rice (*Oryza Sativa* L .) by Modeling and Assessing Their Reversibility and Stability." *Food Chemistry* xxx: xxx–xxx.
- Quan, Vo Anh. 2018. "Degradation of the Solar Cell Dye Sensitizer N719 Preliminary Building of Dye-Sensitized Solar Cell V." 实验室搭建.
- Roopaei, Hadi, Ahmad Reza Zohdi, Zahra Abbasi, and Mehrnoosh

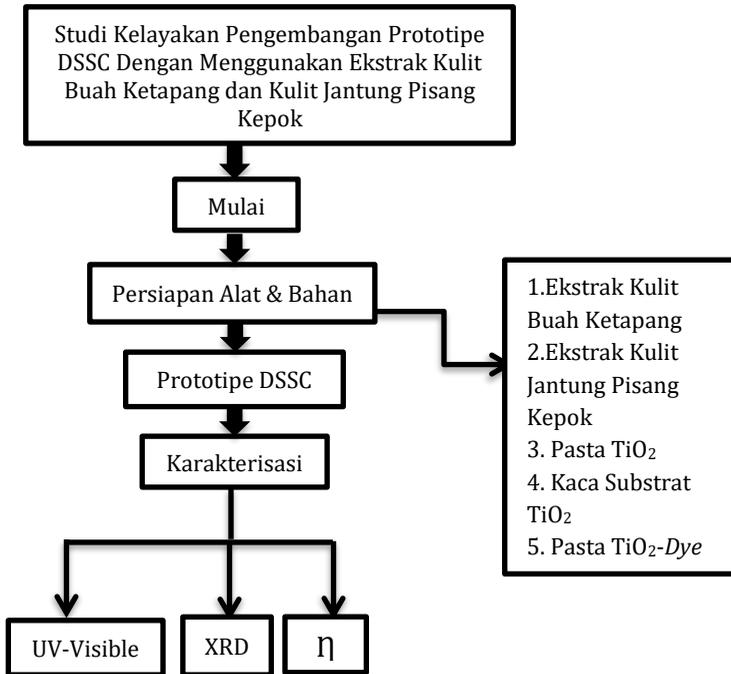
- Bazrafkan. 2015. "Preparation of New Photocatalyst for Removal of Alizarin Red-S from Aqueous Solution." *Indian Journal of Science and Technology* 7(November): 1882–87.
- Santoso, Wahyu Eka Arief, and Teti Estiasih. 2014. "Kopigmentasi Ubi Jalar Ungu Dengan Kopigmen Na-Kasienat Dan Protein Whey Serta Stabilitasnya Terhadap Pemanasan." *Jurnal Pangan dan Agroindustri* 2(4): 121–27.
- Slamet, Domo, and Didik Krisdiyanto. 2017. "Synthesis of ZnO Nanoparticles Doped Zirconium Oxychloride by PSTA BATAN Yogyakarta Production as Photoanode Semiconductors for Dye Sensitized Solar Cell." *PROC. INTERNAT. CONF. SCI. ENGIN* 1(October): 91–97.
- Suhartati, Tati. 2017. "DASAR-DASAR SPEKTROFOTOMETRI UV-VIS DAN SPEKTROMETRI MASSA UNTUK PENENTUAN STRUKTUR SENYAWA ORGANIK." *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-VIS dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*: 1–106.
- Vitriany Ekasari, gatut Yudoyono. 2013. "Fabrikasi Dssc Dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum) Variasi Larutan T." *Jurnal Sains Dan Seni POMITS* 2(1): 2337–3520.
- Wang, Guiqiang et al. 2004. "Gel Polymer Electrolytes Based on Polyacrylonitrile and a Novel Quaternary Ammonium Salt for Dye-Sensitized Solar Cells." *Materials Research Bulletin* 39(13): 2113–18.
- Xue, Dongyang et al. 2020. "Sensors and Actuators B: Chemical Enhancing the Sensitivity of the Reference Electrode Free AlGaN / GaN HEMT Based PH Sensors by Controlling the Threshold Voltage." *Sensors and Actuators B: Chemical journal* 306(September 2019).
- Ye, Xin-yu et al. 2019. "Non-Aqueous Preparation of Anatase TiO₂ Hollow Microspheres for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells."

Advanced Powder Technology journal 30: 2408–15.

Yamamoto, Kenji et al. 2016. "A High Efficiency Thin Film Silicon Solar Cell and Module." *Solar Energy* 77(6): 939–4

LAMPIRAN

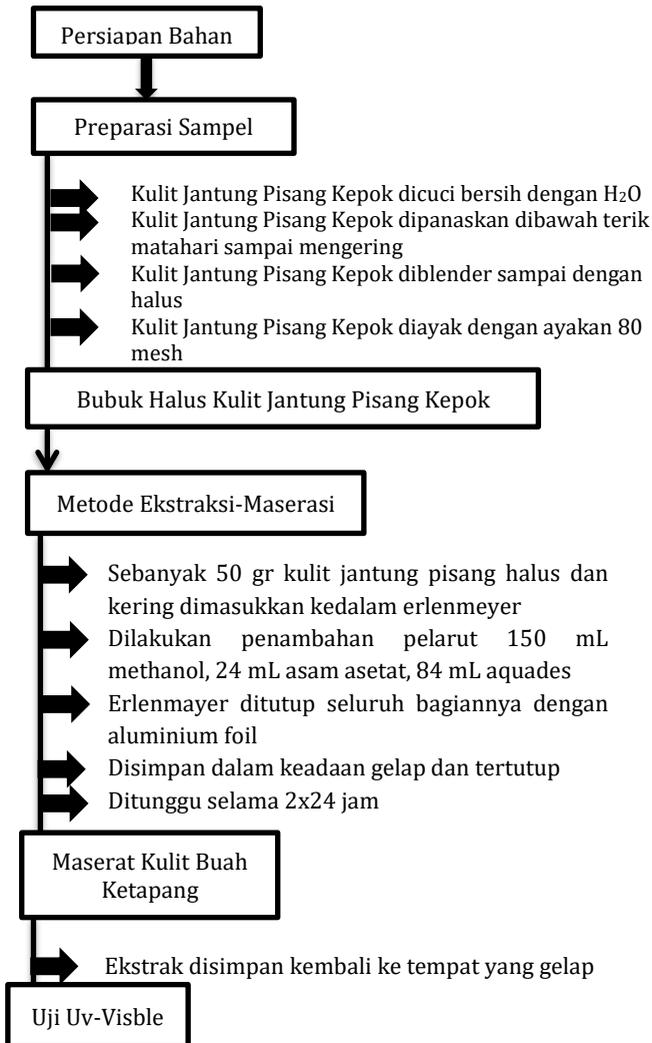
1. Skema Umum Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell menggunakan kulit buah ketapang dan kulit jantung pisang



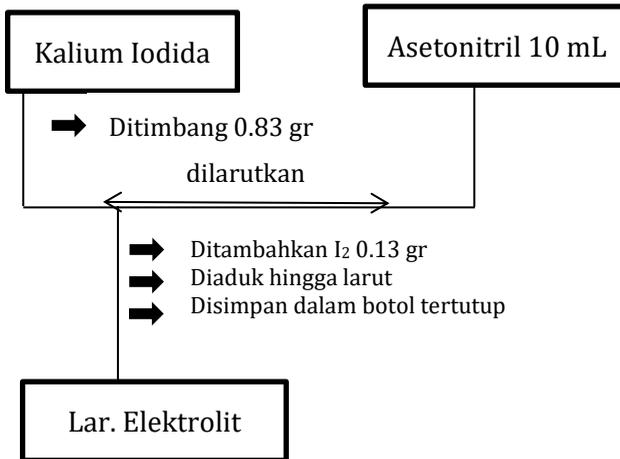
2. Preparasi Ekstrak Kulit Buah Ketapang



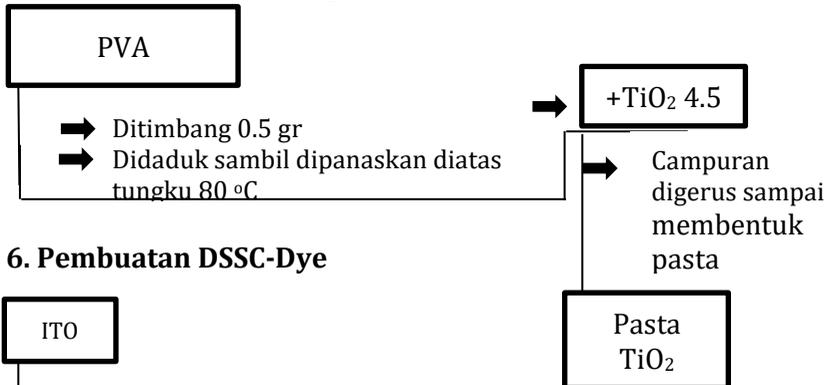
3. Preparasi Ekstrak Kulit Jantung Pisang Kepok



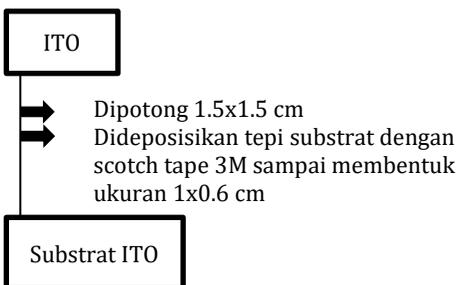
4. Preparasi Larutan Elektrolit



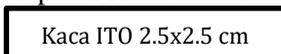
5. Pembuatan Pasta TiO₂

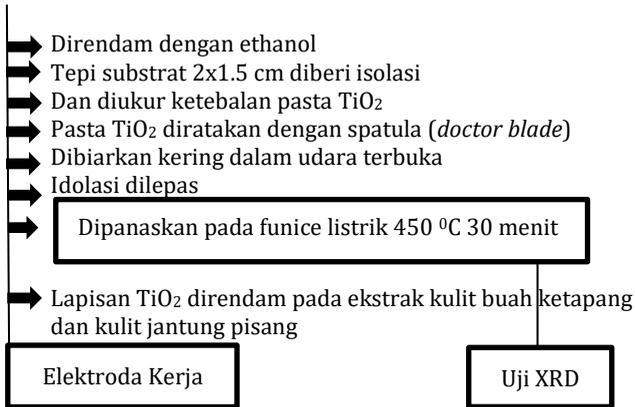


6. Pembuatan DSSC-Dye

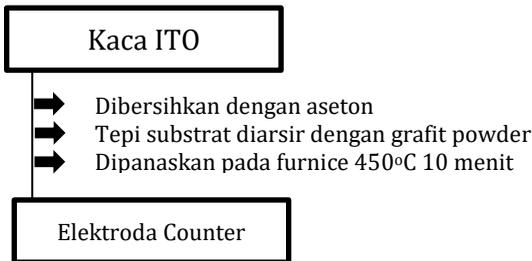


7. Pelapisan Kaca Substrat ITO-Pasta TiO₂

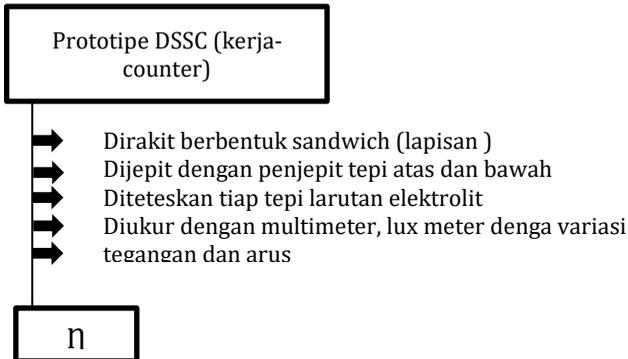




8. Pembuatan Elektroda Pembanding



9. Perakitan dan Pengukuran DSSC



Lampiran 10. Perhitungan Nilai Efisiensi DSSC
a. Kulit Buah Ketapang

Kulit Buah Ketapang	
Tegangan (V)	Arus (A)
111.7	2.2
115.9	2.39
120.2	2.43
121.5	2.45
125	2.5
129.8	2.58
128.1	2.68
134.9	2.78
139	2.77
146.4	2.9

b. Kulit Jantung Pisang Kepok

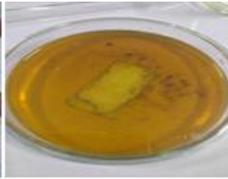
Kulit Jantung Pisang	
Tegangan (V)	Arus (A)
133	4.1
134	4.8
135	4.7
137	5.2
141	4.9
142	4.8
146	4.2
154	4.3
159	3.9
160	4.4

Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian

a. Kulit Buah Ketapang



SETELAH
PERENDAMAN



PERENDAMAN TiO_2



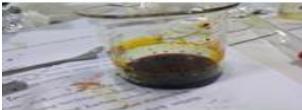
HASIL EKSTRAKSI KULIT BUAH
KETAPANG



RANCANGAN JADI DIWAS
SEMIKONDUKTOR



PENGUKURAN EFEISIENSI
DIWAS SEMIKONDUKTOR



ELEKTROLIT



HASIL PEMANASAN $\text{TiO}_2/\text{C}_2\text{H}_4$
PADA SUHU 450 °C



PASTA TiO_2



DIWAS SEMIKONDUKTOR



b. Kulit Jantung Pisang



Ekstrak Kulit
Jantung Pisang



Perendaman kulit jantung
pisang dengan pelarut
methanol;as.asetat;aquade
s



Kulit Jantung
Pisang



Mengukur η
kulit Jantung
Pisang



Perendaman TiO_2
ke ekstrak kulit
jantung pisang

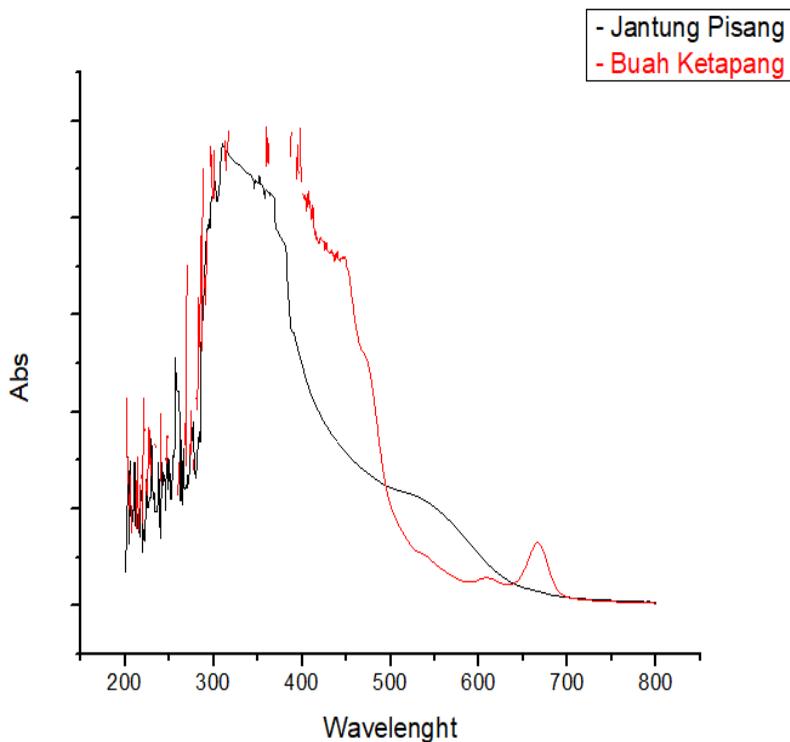


Pelapisan TiO_2
ke kaca substrat

Lampiran 12. Hasil Analisis

a. Uv-Visible

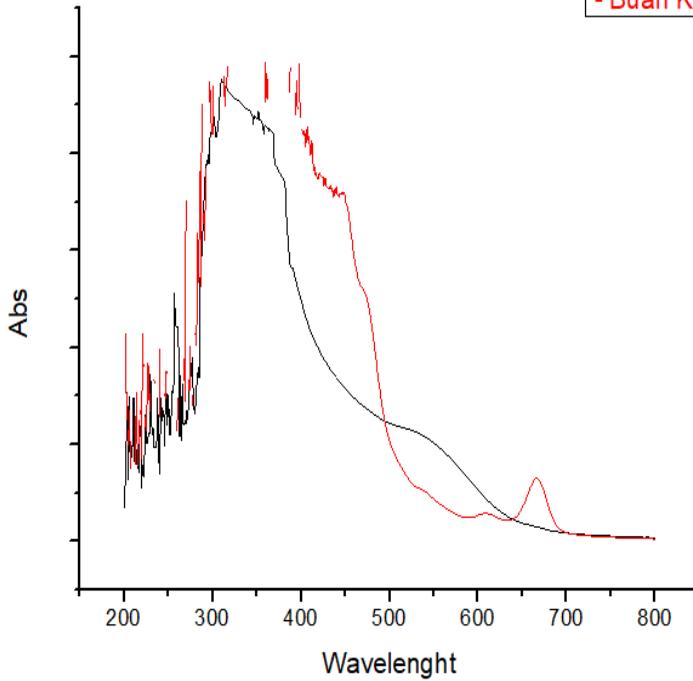
1. Kulit Buah Ketapang



1	TEST SETUP		
2	Orion AquaMate 8000 UV-Vis v1.006 2W2V087202		
3			
4	Scanning 12:02pm 10Dec18		
5	Test Nam: BUKETPANG		
6	Measure: Absorbance		
7	Start Wav: 200.0nm		
8	Stop Wav: 800.0nm		
9	Sample Pc: Auto 3		
10	Scan Spce: Fast		
11	Interval: 1.0nm		
12	ID# (0-9): 1		
13	Auto Print: Off		
14	Auto Save: On		
15	Data File: WAHYUDI		
16			
17	ID#	1	
18	Wavelength	Abs	
19	200	0.854	
20	201	****	
21	202	2.139	
22	203	1.247	
23	204	****	
24	205	0.993	
25			

2. Kulit Jantung Pisang Kepok

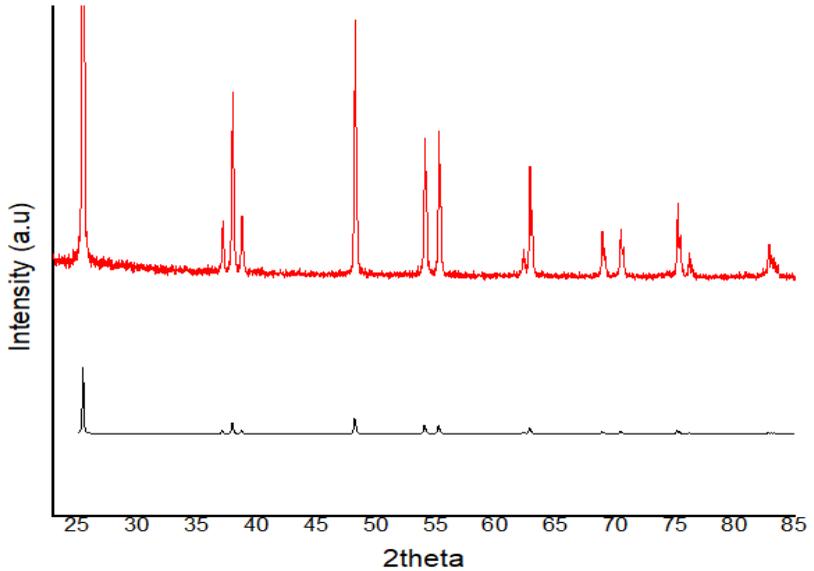
- Jantung Pisang
- Buah Ketapang



```
1 TEST SETUP
2 Orion AquaMate 8000 UV-VIS v1.006 2W2V087202
3
4 Scanning 12.14pm 19Nov20
5 Test Name WHYLIDI
6 Measurement Absorbance
7 Start Wav 200.0nm
8 Stop Wav 800.0nm
9 Sample Pt Auto 6
10 Scan Speed Fast
11 Interval 1.0nm
12 ID# (0=Off) 1
13 Auto Print Off
14 Auto Save On
15 Data File IKULITJP
16
17
18 ID# 1
19 Wavelength Abs
20 200 0.455
21 201 0.347
22 202 0.975
23 203 1.071
24 204 1.535
25 205 0.63
...
```

Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.

b. XRD
1. Kulit Buah Ketapang



Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type 0000000083053861
 Diffractometer Number 0
 Goniometer Radius [mm] 240.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 100.00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.4890	1965(121)	0.1443	3.49177	100.00
25.5529	978(64)	0.1443	3.49184	49.74
37.1318	130(27)	0.1443	2.41932	6.59

NO	2θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	B (rad)	h	k	l	D (nm)
1	25.48°	0.223	0.1443	0.002128	0	0	1	72.397
2	38.74°	0.338	0.1443	0.002128	0	0	4	65.15808

3	48.34°	0.421	0.1443	0.002128	2	0	0	65.1587
4	37.22°	0.324	0.1443	0.002128	1	0	3	65.1579
5	38.74°	0.338	0.1443	0.002128	1	1	3	65.1580
6	63.03°	0.549	0.1443	0.002128	2	0	4	65.1599

Perhitungan:

Dik : $D = K \frac{\lambda}{\beta \cos \theta'}$, Dimana K: Konstanta

λ : 1.54060

β : FWHM (rad)

1 der=0.01745 radian

maka :

Peak 1

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002128 \cos 0.222} = 723.970 \text{ \AA} = 72.397 \text{ nm}$$

Peak 2

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002128 \cos 0.338} = 651.5808 \text{ \AA} = 65.15808 \text{ nm}$$

Peak 3

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002128 \cos 0.421} = 651.587 \text{ \AA} = 65.1587 \text{ nm}$$

Peak 4

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002128 \cos 0.324} = 651.579 \text{ \AA} = 65.1579 \text{ nm}$$

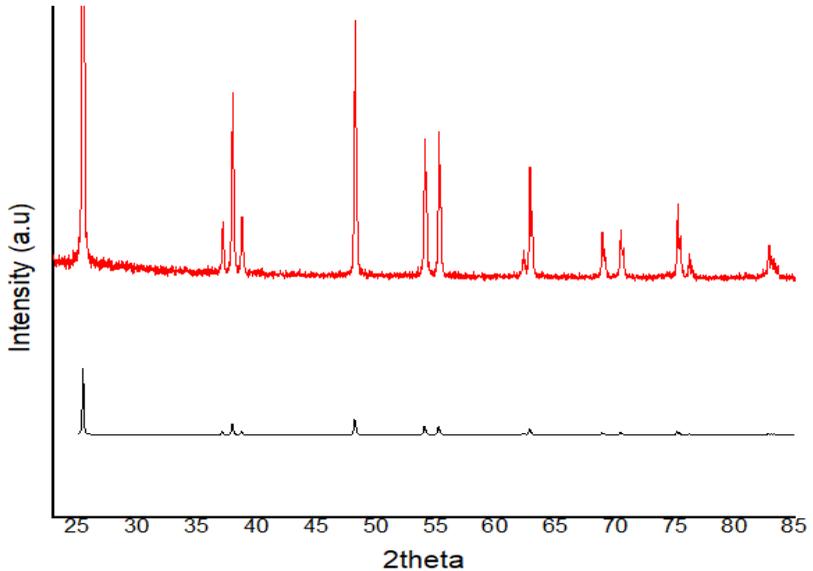
Peak 5

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002128 \cos 0.338} = 651.580 \text{ \AA} = 65.1580 \text{ nm}$$

Peak 6

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002128 \cos 0.549} = 651.599 \text{ \AA} = 65.1599 \text{ nm}$$

2. Kulit Jantung Pisang Kepok



06521220-1 TiO2 Anatase.raw, 1/25/2021 2:14:39 PM

Area List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle
Yes		■	1	[25.185 ° - 25.754 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	25.185 °
Yes		■	2	[36.946 ° - 37.373 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	36.946 °
Yes		■	3	[37.677 ° - 38.287 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	37.677 °
Yes		■	4	[38.490 ° - 39.018 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	38.490 °
Yes		■	5	[47.895 ° - 48.545 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	47.895 °
Yes		■	6	[53.684 ° - 54.334 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	53.684 °
Yes		■	7	[54.964 ° - 55.533 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	54.964 °
Yes		■	8	[62.602 ° - 63.170 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	62.602 °
Yes		■	9	[70.097 ° - 70.829 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	70.097 °
Yes		■	10	[74.851 ° - 75.744 °]	Area List #1	06521220-1 TiO2 Anatase.raw #1	74.851 °

Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM
25.754 °	6.05	6.72	25.477 °	3.49342 Å	200	193	0.134
37.373 °	1.96	1.77	37.108 °	2.42082 Å	10.5	8.58	0.166
38.287 °	2.29	2.23	37.956 °	2.36867 Å	36.0	33.7	0.166
39.018 °	1.57	1.33	38.728 °	2.32320 Å	11.7	10.2	0.179

NO	2θ (°)	θ (rad)	FWHM (°)	B (rad)	h	k	l	D (nm)
1	25.47°	0.222	0.134	0.002338	0	0	1	59.3049

2	37.95°	0.331	0.166	0.002896	0	0	4	47.8785
3	48.18°	0.420	0.193	0.003367	2	0	0	41.1817
4	38.73°	0.337	0.176	0.003071	1	0	3	45.1502
5	37.10°	0.323	0.166	0.002896	1	1	3	47.9779
6	62.81°	0.548	0.193	0.003367	2	0	4	41.1821

Perhitungan:

Dik : $D = K \frac{\lambda}{\beta \cos \theta}$, Dimana K: Konstanta

λ : 1.54060

β : FWHM (rad)

1 der=0.01745 radian

maka :

Peak 1

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002338 \cos 0.222} = 593.049 \text{ \AA} = 59.3049 \text{ nm}$$

Peak 2

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002896 \cos 0.331} = 478.785 \text{ \AA} = 47.8785 \text{ nm}$$

Peak 3

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.003367 \cos 0.420} = 411.817 \text{ \AA} = 41.1817 \text{ nm}$$

Peak 4

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.003071 \cos 0.337} = 451.502 \text{ \AA} = 45.1502 \text{ nm}$$

Peak 5

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{ \AA}}{0.002896 \cos 0.323} = 479.779 \text{ \AA} = 47.9779 \text{ nm}$$

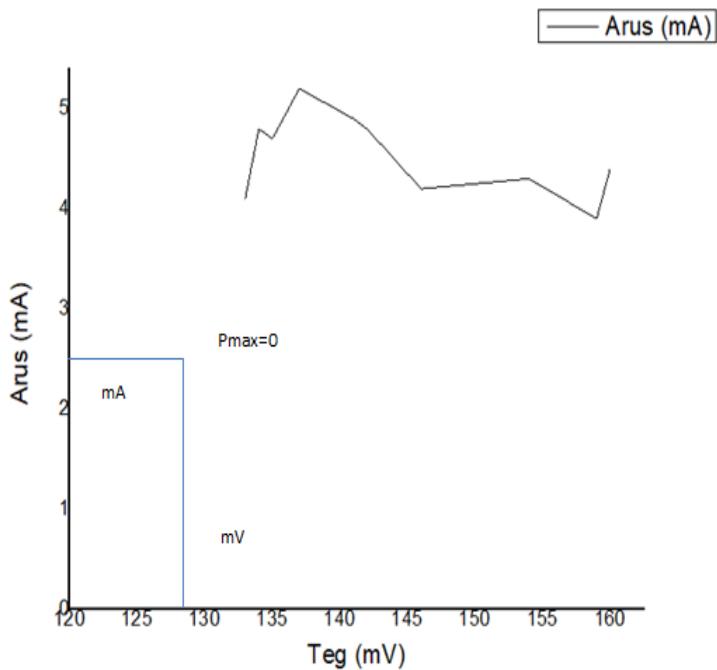
Peak 6

$$D = 0.9 \frac{1.54060 \text{Å}}{0.003367 \cos 0.548} = 411.821 \text{Å} = 41.1821 \text{ nm}$$

c. Karakterisasi Nilai Efisiensi DSSC

1. Kulit Buah Ketapang

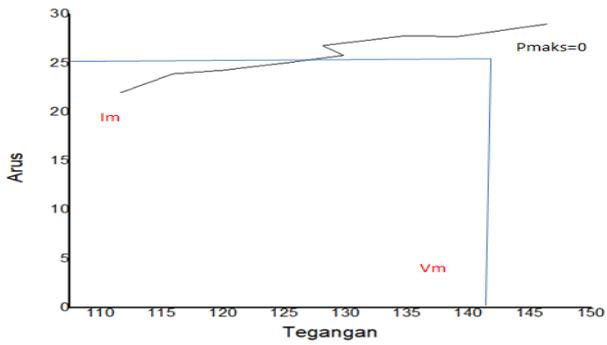
Kulit Buah Ketapang	
Tegangan (V)	Arus (A)
111.7	2.2
115.9	2.39
120.2	2.43
121.5	2.45
125	2.5
129.8	2.58
128.1	2.68
134.9	2.78
139	2.77
146.4	2.9



2. Kulit Jantung Pisang Kepok

Kulit Jantung Pisang	
Tegangan (V)	Arus (A)
133	4.1
134	4.8

135	4.7
137	5.2
141	4.9
142	4.8
146	4.2
154	4.3
159	3.9
160	4.4



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Identitas diri

Nama Lengkap : M Wahyudi Hasibuan

Tempat, Tgl Lahir : Medan, 08 Juli 1997

NIM : 1508036002

Jenis Kelamin : Laki-laki

Agama : Islam

Pekerjaan : Mahasiswa

Alamat : Jl. Pancasila G. Datuk Arrasyid Kec. Batangkuis,
Kab. Deliserdang, SUMUT

Telepon/HP : 082240764854

Email : yudihhasibuan07@gmail.com

Riwayat Pendidikan

Formal

1. SD N 101866 Batangkuis tahun 2003-2009.
2. MTS S Darularafah Raya Medan tahun 2009-2012.
3. MA S Darularafah Raya Medan tahun 2012-2015.
4. UIN Walisongo Semarang tahun 2015-2021.

Non Formal

1. Pengurus OPPDA Darularafah tahun 2013-2014
2. Wakil Ketua Orda HIMSU (Himpunan Mahasiswa Sumatera Utara) UIN Walisongo tahun 2016-2017.

3. Wakil Ketua Bidang PTKP (Perguruan Tinggi Kemahasiswaan dan Pemuda) Komisariat Sains dan Teknologi HMI Korkom Walisongo Cabang Semarang tahun 2018-2019.

4. Ketua Bidang PTKP (Perguruan Tinggi Kemahasiswaan dan Pemuda) Koordinator Komisariat Walisongo Cabang Semarang tahun 2020-2021.

