

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN CARBON DOTS KLOOROFIL DAUN
KELOR (*Moringa Oliefera*) SEBAGAI DYE PADA *DYE SENSITIZED*
*SOLAR CELLS (DSSC)***

SKRIPSI



Oleh

Eko Nur Romadhon NPM 15330050

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN
ALAM DAN TEKNOLOGI INFORMASI**

UNIVERSITAS PGRI SEMARANG

AGUSTUS 2022

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN CARBON DOTS KLOOROFIL DAUN
KELOR (*Moringa Oliefera*) SEBAGAI DYE PADA DYE SENSITIZED
SOLAR CELLS (DSSC)**

Skripsi

Diajukan kepada Universitas PGRI Semarang
untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan
Program Sarjana Pendidikan Fisika



Oleh

Eko Nur Romadhon NPM 15330050

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN
ALAM DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
AGUSTUS 2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi Berjudul

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN CARBON DOTS KLOOROFIL DAUN KELOR
(*Moringa Oliefera*) SEBAGAI DYE PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELLS
(DSSC)

yang disusun oleh Eko Nur Romadhon

NPM 15330050

Telah disetujui dan siap diujikan. Semarang, 19 Agustus 2022

Pembimbing I



Wawan Kurniawan, S.Si., M. Si.
NPP. 088101212

Pembimbing II



Ummi Kaltsum, S.Si., M. Sc.
NPP. 128601369

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Berjudul

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN CARBON DOTS KLOOROFIL DAUN KELOR
(*Moringa Oliefera*) SEBAGAI DYE PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELLS
(DSSC)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh Eko Nur Romadhon

NPM 15330050

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada hari Jum'at, tanggal 19 Agustus
2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Pendidikan

Panitia Ujian

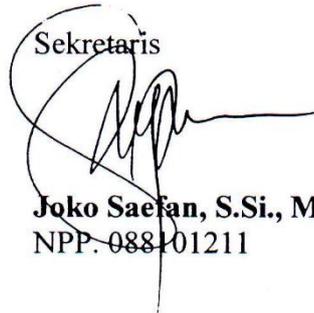
Ketua



Supandi, S.Si., M.Si.
NPP. 097401245



Sekretaris



Joko Saefan, S.Si., M.Sc.
NPP. 088101211

Anggota Penguji

1. **Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si.** (.....)
NPP. 088101212
2. **Ummi Kaltsum, S.Si., M.Sc.** (.....)
NPP. 128601369
3. **Dr. Affandi Faisal Kurniawan, S. Si, M.Si.** (.....)
NPP. 10830157

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dan/ atau karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 19 Agustus 2022



Eko Nur Romadhon

NPM. 15330050

PERSEMBAHAN

Dipersembahkan untuk orang-orang telah mendukung dan bekerja keras demi membantu selesainya skripsi ini:

1. Pembimbing penulis yang memberikan bantuan dan ilmu yang sangat berharga, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Teman seperjuangan penelitian skripsi yang telah memberikan bantuan, diskusi dan kerjasamanya.
3. Kedua orang tuaku senantiasa memberikan dukungan, doa, dan semangat tanpa henti kepada penulis.
4. Alm adikku tersayang, Zumrotul Faizah Ramadahani yang selalu memotivasiku menjadi kakak yang lebih baik dan patut untuk diteladani.
5. Sahabat-sahabatku yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi kepada saya.
6. Keluarga besar Pendidikan Fisika Angkatan 2015 yang selalu memberikan motivasi kepada saya.
7. Seluruh pembaca skripsi ini, terima kasih sudah mau membaca skripsi ini. Semoga menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi para pembaca.
8. Almamater tecinta Universitas PGRI Semarang.

EFEKTIVITAS PENGGUNAAN CARBON DOTS KLOOROFIL DAUN KELOR
(*Moringa Oleifera*) SEBAGAI DYE PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELLS
(DSSC)

Eko Nur Romadhon

Jurusan S1 Pendidikan Fisika, FPMIPATI, Universitas PGRI Semarang

Email: ekonrr13@gmail.com

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik diperkirakan mengalami peningkatan sebesar 6,5% kelajuan energi pertahun, dalam periode tahun 2018 sampai 2025. Meningkatnya kebutuhan ini mengakibatkan banyaknya penggunaan bahan bakar fosil dan batu bara yang mana keduanya merupakan sumber energi yang tidak dapat di perbaharukan. Negara Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki potensi energi alternatif berupa sinar matahari. Sel surya merupakan alat yang digunakan untuk memanfaatkan sinar matahari sebagai energi listrik. Pada penelitian ini sel surya yang di gunakan adalah sel surya Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dan efektivitas penggunaan Carbon Dots sebagai dye pada DSSC. Penelitian ini menggunakan desain penelitian eksperimen berupa penggunaan carbon dots klorofil dari daun kelor (*Moringa Oleifera*) digunakan sebagai pewarna dye dalam DSSC. Pada penelitian ini, Carbon Dots dibuat dengan menggunakan microwave dengan variasi lama pembuatan 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Dari hasil uji efektivitas DSSC menggunakan dye dari carbon dots didapatkan bahwa nilai efisien paling tinggi terjadi pada DSSC yang menggunakan dye carbon dots 10 menit sebesar 0,9551 %. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan dye carbon dots bekerja dengan baik seperti pada dye klorofil daun kelor.

Kata kunci : Carbon Dots, Daun Kelor ,Dye Sensitized Solar Cells,

EFFECTIVENESS OF USING CARBON DOTS FROM CHLOROPHYLL
MORINGA LEAF (*Moringa Oleifera*) AS DYE ON DYE SENSITIZED SOLAR
CELLS (DSSC)

Eko Nur Romadhon

Undergraduate Degree Physics Education, FPMIPATI, Universitas PGRI
Semarang

Email: ekonrr13@gmail.com

ABSTRACT

The need for electrical energy is estimated to increase by 6.5% the rate of energy per year, in the period from 2018 to 2025. This increasing need results in the increasing use of fossil fuels and coal, both of which are non-renewable energy sources. Indonesia is a tropical country that has the potential for alternative energy in the form of sunlight. Solar cells are devices that are used to utilize sunlight as electrical energy. In this study, the solar cells used were Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). DSSC is a photoelectrochemical-based solar cell. The purpose of this study was to determine the performance and effectiveness of using Carbon Dots as a dye in DSSC. This study used an experimental research design in the form of carbon dots of chlorophyll from Moringa leaf (*Moringa Oleifera*) used as a dye in DSSC. In this study, Carbon Dots were made using a microwave with variations of 5 minutes, 10 minutes and 15 minutes. From the results of the effectiveness test of DSSC using dye from carbon dots, it was found that the highest efficient value occurred in DSSC that used dye carbon dots 10 minutes at 0.9551%. Overall, this study shows that the use of carbon dots dye works well as in Moringa leaf chlorophyll dye.

Keywords : *Carbon Dots, Dye Sensitized Solar Cells, Moringa Leaves*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “EFEKTIVITAS PENGGUNAAN *CARBON DOTS* KLOOROFIL DAUN KELOR (*Moringa Oliefera*) SEBAGAI DYE PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC)” sebagai syarat untuk menyelesaikan program pendidikan S1.

Skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si., dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan skripsi ini.
2. Ummi Kaltsum, S.Si., M.Sc., dosen pembimbing II yang telah membimbing, mengarahkan, memotivasi dan mendanai dalam penulisan skripsi ini.
3. Dr. Affandi Faisal Kurniawan, S. Si, M.Si., dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Joko Saefan, S.Si.,M.Sc., Ketua Program Studi Pendidikan Fisika.
5. Supandi,S.Si.,M.Si., Dekan FPMIPATI
6. Dr. Sri Suciati, M.Hum., Rektor Universitas PGRI Semarang.
7. Nia Aulia Rakhmawati, S.Pd., pihak yang membantu dalam penyusunan skripsi dan penyelesaian skripsi ini.
8. Malik Anwar, S.T., pihak yang membantu dalam pengujian hasil penelitian.
9. Serta berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Harapan penulis, mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi pembaca. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Semarang, 19 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN.....	v
PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1. Latar Belakang.....	1
2. Permasalahan.....	3
3. Tujuan Penelitian.....	3
4. Manfaat Penelitian.....	3
5. Definisi Istilah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERRPIKIR.....	4
A. Landasan Teori.....	4
B. Kerangka Berpikir.....	13
C. Hipotesa Penelitian.....	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
A. Subjek, Lokasi dan Waktu.....	16
B. Bahan yang Digunakan.....	16
C. Alat yang Digunakan.....	16
D. Variabel Penelitian.....	17
E. Prosedur/Cara Kerja.....	17
F. Teknik Pengumpulan Data.....	19
G. Analisis dan Interpretasi Data.....	20

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	21
A. Hasil Penelitian dan Pembahasan	21
B. Uji Elektrisitas	25
C. Uji Karakteristik	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
A. Kesimpulan.....	37
B. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	41

DAFTAR TABEL

4.1. Tabel hasil uji elektrisitas DSSC.....	25
4.2. Tabel ukuran kristal TiO ₂	29
4.3. Tabel UV Vis dye 0.....	30
4.4. Tabel UV Vis dye 5.....	30
4.5. Tabel UV Vis dye 10.....	31
4.6. Tabel UV Vis dye 15.....	30
4.7. Tabel hasil perhitungan energi bandgap.....	33
4.8. Panjang gelombang spektrum warna.....	34
4.9. Tabel hasil perhitungan kandungan klorofil pada dye.....	35

DAFTAR GAMBAR

2.1. Tamanan kelor atau <i>Moringa Oliefera</i>	4
2.2. Struktur molekul klorofil	6
2.3. Sintesis nanopartikel	7
2.4. Komponen DSSC	8
2.5. Rangkaian DSSC	11
2.6. Kuarva I-V	11
2.7. Bagan krangka berfikir	14
4.1. Hasil sintesis carbon dots	21
4.2. Hasil pelarutan carbon dots dengan ethanol	22
4.3. Hasil penyinaran carbon dots dengan sinar UV	22
4.4. Hasil pendeposisian kaca ITO	23
4.5. Kalsinasi kaca ITO	23
4.6. Hasil pembuatan elektroda lawan	24
4.7. Hasil pemberian dye	24
4.8. Hasil fabrikasi DSSC	25
4.9. Skema prinsip kerja DSSC	25
4.10. Hasil pengujian XRD	27
4.11. Indeks miller TiO_2	27
4.12. Tetragonal fase anatase TiO_2	28
4.13. Hasil pengujian dye	29
4.13. Hasil perhitungan bandgap	33
4.14. Hasil morfologi SEM	36

DAFTAR LAMPIRAN

1. Pembuatan pasta TiO ₂	42
2. Pendeposisi pasta ke ITO dan proses kalsinasi	43
3. Hasil kalsinasi dan pemberian dye	43
4. Perakitan DSSC dan pengujian elektrivitasnya	44
5. Hasil carbon dots	44
6. Hasil pengujian XRD.....	45
7. Hasil pengujian UV-Vis	49
8. Hasil uji SEM	57
9. Hasil pengujian tegangan.....	59

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia pada periode 2018–2050, diperkirakan akan terus meningkat secara signifikan di semua sektor. Pada tahun 2018, kebutuhan energi listrik dari 235 TWh diperkirakan akan meningkat menjadi 364 TWh pada tahun 2025 atau sebesar 6,5% kelajuan energi per tahun. Adanya penambahan jumlah penduduk, pertumbuhan perekonomian yang signifikan, kemajuan teknologi, perkembangan industri, serta meningkatnya standar kenyamanan hidup masyarakat diasumsikan menjadi faktor penyebab tingginya pertumbuhan kebutuhan listrik (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2020, p. 60).

Batubara masih mendominasi sebagai bahan bakar pembangkit listrik pada tahun 2017, yaitu sebesar 65% atau sekitar 83 juta ton (348 juta SBM). Bahan bakar fosil dan bahan bakar lain seperti gas dan minyak masing-masing 18% (93 juta SBM) dan 5% (24 juta SBM). Sisanya sebesar 13% (68% juta SBM) dipenuhi dengan bahan bakar dari energi terbarukan seperti panas bumi, air, matahari, serta biomassa (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), 2019, p. 63).

Sebagai negara beriklim tropis, Indonesia memiliki potensi energi alternatif berupa sinar matahari. Untuk memanfaatkan energi cahaya pada sinar matahari, diperlukan suatu alat pengubah dari cahaya matahari menjadi energi listrik yang dikenal dengan sel surya. Namun, jenis sel surya yang banyak dijumpai memiliki kekurangan, antara lain memerlukan material dengan kemurnian tinggi dan material yang digunakan dinilai berbahaya bagi lingkungan.

Atas dasar itulah kemudian dikembangkan jenis sel surya baru yang dinamakan *Dye Sensitized Solar Cell* atau yang disingkat sebagai DSSC. DSSC pertama kali dikembangkan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991. DSSC merupakan sel surya generasi ketiga yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Ardianto et al., 2015).

DSSC adalah seperangkat sel surya yang berbasis fotoelektrokimia yang terjadi transfer muatan listrik dari suatu fasa ke fasa lain. Penggunaan *dye* sebagai material *sensitizer* dengan donor elektron pada partikel TiO_2 dan elektrolit sebagai transpor elektronnya. *Ruthenium* kompleks yang dibutuhkan dalam DSSC sangatlah mahal, sehingga pengetahuan tentang fotosintesis sangat berkembang seperti pigmen klorofil dan karotenoid yang merupakan pigmen yang efektif dari matahari (Bahtiar et al., 2015).

Klorofil sebagai bahan pembuatan DSSC banyak menarik perhatian para peneliti karena mempunyai banyak kandungan klorofil a maupun klorofil b (Gibson et al., 2017). Tanaman kelor (*Moringa oleifera* atau MO) merupakan tanaman khas daerah tropis yang mudah tumbuh serta telah diakui memiliki banyak kegunaan secara nasional maupun internasional. Di Indonesia, tanaman kelor banyak ditanam sebagai pagar hidup di sekitar rumah maupun ditanam di sawah. Tanaman kelor juga ditanam sebagai tanaman penghijau dan digunakan untuk pemenuhan pangan, obat-obatan, bahan kosmetik dan ritual adat budaya (Bahriyah et al., 2015).

Dye klorofil tanaman kelor yang diekstrak dengan *ethanol* telah menunjukkan pewarna dari daun memiliki spektrum penyerapan pada panjang gelombang antara 498 nm – 647 nm. Dengan nilai klorofil a sebanyak 27,79 mg/l dan klorofil b 63,7 mg/l maka total klorofilnya adalah 91,35 mg/l (Romadhon et al., 2018).

Carbon nanodots atau *Carbon Dots* adalah jenis material baru dari keluarga karbon dengan ukuran partikelnya di bawah <10 nm, memiliki sifat tidak beracun dan memiliki gugus dengan muatan-muatan di permukaan yang sangat reaktif terhadap ion-ion logam. *Carbon Dots* dapat diperoleh dari proses polimerisasi dan karbonisasi dari bahan alam (organik) seperti kulit manggis, lemon dan bawang merah (Aji et al., 2017).

Klorofil paling banyak ditemukan pada daun tumbuhan, sehingga berpotensi digunakan sebagai *carbon dots*. Tingginya kandungan karbon dalam klorofil berpotensi menjadi sumber karbon dalam pembuatan *carbon dots* (Wulandari, 2020).

Dalam penelitian ini akan dilakukan variasi waktu sintesis klorofil *carbon dots* yang digunakan sebagai *dye* dari sel surya organik. Penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan klorofil *carbon dots* terhadap sel surya dan mengetahui efisiensi dari sel surya tersebut.

B. Permasalahan

Penelitian yang dilakukan berdasarkan permasalahan di atas adalah bagaimanakah kinerja dan efektivitas penggunaan sintesis klorofil *carbon dots* dari daun kelor yang disintesis dengan *microwave* sebagai *dye* dari *Dye Sensitized Solar Cells*?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja dan efektivitas penggunaan *carbon dots* sebagai *dye* pada *Dye Sensitized Solar Cells*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu pada pembuatan klorofil *Carbon dots* yang digunakan sebagai *dye* pada panel surya sel organik. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi literatur pada penelitian berikutnya terutama dalam penelitian pemanfaatan *carbon dots* sebagai *dye* khususnya pada pigmen klorofil.

E. Definisi Istilah

1. *Dye* adalah pewarna yang terbuat dari ekstrak tumbuhan seperti daun, batang, kulit buah, buah dan akar yang akan digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC.
2. *Dye Sensitized Solar Cells* merupakan sel surya generasi ketiga yang berbasis fotoelektrokimia yang terbuat ekstrak tumbuhan mengandung mempunyai unsur warna.
3. *Carbon Dots* merupakan salah satu jenis karbon yang berukuran nanopartikel yaitu kurang dari 10 nm.
4. *Titanium Dioksida* atau TiO_2 merupakan bahan semikonduktor yang berwarna putih, yang memiliki energi gap 3,2 eV sampai 4,8 eV. Pada penelitian sebelumnya, peneliti menggunakannya untuk aplikasi DSSC.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERRPIKIR

A. Landasan Teori

1. Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*)

Tanaman kelor atau *Moringa oleifera* sangat banyak tumbuh di Indonesia. Menurut Simbolan dan Katrina (2007), tanaman kelor itu merupakan tanaman peradu, dengan ketinggian tanaman berkisar 7 meter sampai dengan 11 meter yang tumbuh subur dari dataran rendah sampai tinggi dengan ketinggian 700 meter di atas permukaan laut. Tanaman kelor mampu tumbuh pada iklim subtropis dan tropis (Isnain & M, 2017).

Pemanfaatan tanaman kelor masih sangatlah terbatas. Masyarakat biasa menggunakan daun kelor sebagai pelengkap dalam masakan sehari-hari, tanaman kelor bahkan digunakan sebagai tanaman hias yang tumbuh di teras rumah (Dewi FK et al., 2010). Seiring berkembangnya informasi, masyarakat semakin mengetahui bahwa tanaman kelor atau *Moringa oleifera* memiliki berbagai manfaat bagi kehidupan masyarakat.



Gambar 2. 1 Tanaman kelor atau *Moringa Oleifera*

Menurut *Integrated Taxonomy Information* (2021) tanaman kelor memiliki klasifikasi sebagai berikut:

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Subdivisi	: <i>Angiospermae</i>
Klas	: <i>Dicotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Brassicales</i>
Familia	: <i>Moringaceae</i>
Genus	: <i>Moringa</i>
Spesies	: <i>Moringa olieifera Lamk</i>

(*Integrated Taxonomy Information*, 2021)

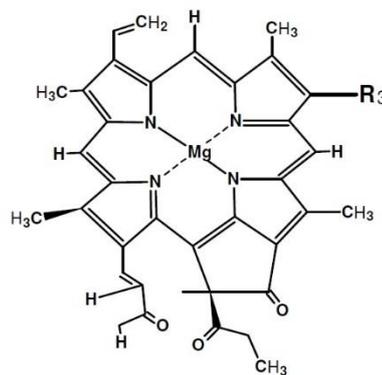
Tanaman kelor merupakan tanaman yang berumur panjang, mudah perawatannya dan berbunga sepanjang tahun. Tanaman kelor memiliki manfaat banyak dari daun, kulit batang, biji, hingga akarnya. Gizi yang terkandung dalam daun kelor diantaranya adalah protein, B-karoten, vitamin C mineral terutama zat besi dan kalsium menurut Rifani dan Maulana (2015) (dalam (Rahmatu dkk., 2018).

Daun kelor dalam bentuk segar mengandung vitamin A 6.80 mg empat kali lebih banyak dibandingkan dengan wortel, nilai vitamin C 220 mg jauh lebih banyak dari jeruk, vitamin B 423 mg per 100 gram, kalsium empat kali lebih banyak dari pada susu sebesar 440 mg, kalium 259 mg tiga kali lebih banyak dari pada pisang, besi 0.7 mg dua puluh lima kali lebih banyak dibanding bayam dan protein 2711.8 mg dua kali banyak dibanding yoghurt yang mudah dicerna dan diasimilasi oleh tubuh manusia (Krisnadi A D, 2015).

Tanaman kelor memiliki dua jenis klorofil yaitu klorofil a dan b masing-masing klorofil a 27,79 mg/l, klorofil b 63,7 mg/l, dan total klorofilnya adalah 91,35 mg/l yang didapatkan dari proses ekstraksi menggunakan *ethanol*. Sementara itu memiliki spektrum penyerapan di panjang gelombang antara 498 nm – 647 nm (Romadhon et al., 2018).

1.1. Klorofil

Klorofil adalah pigmen berwarna hijau yang dapat diperoleh dari proses ekstraksi. Ekstraksi klorofil biasanya menggunakan alkohol atau bisa juga menggunakan aquades (Aryanti et al., 2016). Pigmen hijau pada klorofil banyak mengandung *porphyrin* dengan sebuah ion *magnesium* (Mg^{2+}) yang berada di tengah berikatan dengan rantai hidrofobik yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Levent, 2011).



Gambar 2. 2 Struktur molekul klorofil

Klorofil terdapat pada jaringan dalam lamella organel intraseluler. Perbedaan komposisi warna hijau pada tanaman dipengaruhi oleh klorofil a dan klorofil b. Pigmen klorofil berperan penting dalam proses fotosintesis pada tumbuhan, dikarenakan pigmen tersebut menyerap radiasi cahaya matahari dan melepaskan elektron dalam proses fotokimia, sehingga mengubah energi kimia dalam bentuk ATP (*adenosin trifosfat*). Dengan demikian kandungan klorofil akan mempengaruhi kelangsungan proses fotosintesis (Sumenda, 2011).

2. Carbon Dots (C-Dots)

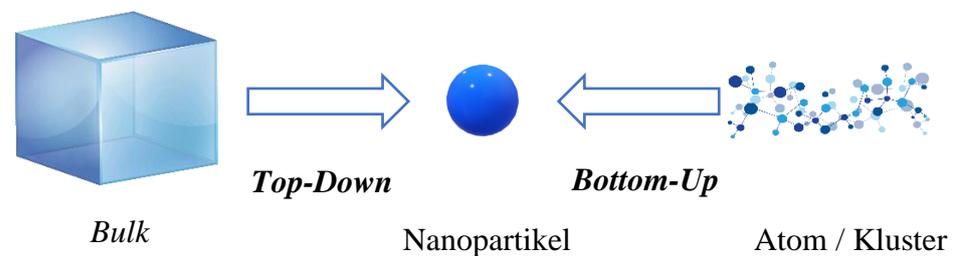
Carbon dots (C-Dots) atau yang sering dikenal dengan *Carbon nanodots* adalah salah satu jenis karbon berukuran nanopartikel (*Carbon nanoparticles*) sekitar kurang dari 10 nm (Wulandari, 2020). *Carbon dots* (C-dots) merupakan material karbon berbasis nano material yang berdimensi -0, potensial dikembangkan sebagai salah satu material semikonduktor berbasis kuantum dots (Dewi et al., 2016). Contoh jenis-

jenis *carbon nanoparticles* lainnya adalah *Graphene*, *Carbon nanotubes*, dan *Fullerenes*.

Carbon dots dilaporkan memiliki elektron yang berperan sebagai aseptor dan pendonor, sehingga *carbon dots* berpotensi diaplikasikan pada bidang optronik, katalis, dan sensor sebagai material semikonduktor (Yun, 2018). *Carbon dots* berpotensi sebagai katalisator karena memiliki tingkat aktifitas fotokatalis yang baik (Wang & Hu, 2014).

2.1 Sintesis Carbon Dots

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode sederhana sintesis nanopartikel (Abdullah et al., 2008).



Gambar 2. 3 Sintesis nanopartikel

Sintesis *Carbons Dots* secara umum dibagi menjadi dua cara yaitu:

a. Metode *Top-Down*

Top-Down merupakan salah satu cara mensintesis *carbon dots* dengan cara memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nano. Contoh dari metode *top down* adalah elektrokimia, *arc-discharge*, dan *laser ablation*.

b. Metode *Bottom-Up*

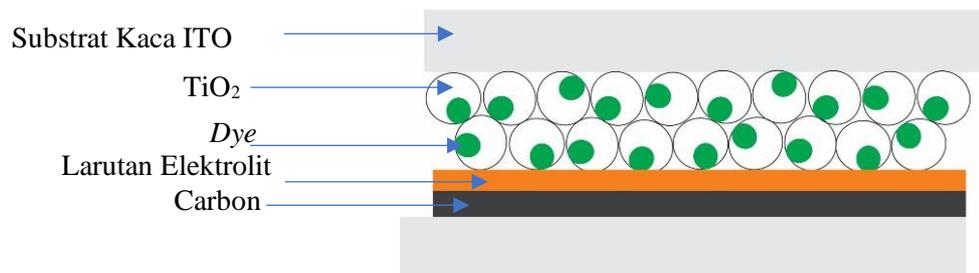
Bottom-Up merupakan metode yang mana penyusunan partikel berukuran nano yang berasal dari atom atau molekul yang diinginkan. Contoh dari metode *bottom Up* adalah hidrotermal dan *microwave*.

3. Sel surya

3.1. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

DSSC adalah sel surya organik berbasis fotoelektrokimia merupakan sel surya generasi ketiga yang menjadi terobosan baru dalam pembuatan sel surya yang murah.

DSSC sendiri muncul seiring dengan pesatnya perkembangan nanoteknologi yang beberapa tahun ke depan dan akan menjadi sangat penting bagi kehidupan manusia. Michael Gratzel dan Brian O'Regan merupakan penemu sel surya ini pertama kali pada tahun 1991 dan dikenal dengan Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya konvensional yang terdapat di pasaran tepatnya sel surya silikon yang dapat mencapai efisiensi 17-25%. Gambar 2.4 merupakan gambar komponen DSSC.



Gambar 2. 4 Komponen DSSC

3.2. Material DSSC

Material penyusun DSSC terdiri dari elektroda kerja, berupa substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO), *Titanium Dioxide* (TiO_2), *dye* alami serta elektroda lawan yang terdiri dari substrat kaca ITO dan karbon, dan elektrolit.

3.3. Substrat DSSC

Substrat yang digunakan pada DSSC adalah TCO (*Transparent Conductive Oxide*) jenis kaca transparan konduktif. Material substrat berfungsi sebagai lapisan konduktif yang mengalirkan muatan. Pada umumnya material yang sering digunakan sebagai substrat pada DSSC adalah *Flourine-Doped Tin Oxide* (SnF atau FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO).

3.4. Zat Pewarna (*dye*)

Zat pewarna atau *dye* merupakan komponen pigmen warna yang diperoleh dari ekstraksi pada tumbuhan. Terjadinya proses fotosintesis pada tumbuhan telah membuktikan bahwa senyawa pada tumbuhan dapat digunakan sebagai *dye*.

3.5. Elektroda

Pada DSSC terdapat elektroda yang merupakan bahan semi konduktor. Semikonduktor yang sering digunakan adalah *Titanium Dioxida* atau TiO_2 . TiO_2 bersifat *inert*, stabil terhadap fotokorosi dan memiliki nilai bandgap yang tinggi ($>3\text{eV}$) dan memiliki transmisi optik yang baik.

3.6. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari :

1) *Iodine* (I^-) dan *triiodine* (I^{-3})

Sebagai pasangan redoks dalam pelarut

2) Katalis Elektroda

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi *triiodide* pada ITO.

3) Platina

Material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC.

Sebagai alternatif, Kay & Gratzel mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter* elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter* elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodine yang menyerupai elektroda platina.

4. Karakteristik *Dye Sensitized Solar Cells*

4.1. *X-ray diffraction* (XRD)

XRD merupakan metode analisis untuk mengetahui struktur, fasa dan ukuran kristal yang terbentuk pada serbuk TiO_2 . Instrumen XRD ini bekerja dengan menembakkan *Sinar x* pada kristal. Ketika seberkas sinar mengenai bidang kristal pada sudut θ akan menghamburkan *Sinar*

x yang memiliki panjang gelombang (λ). Sinar yang dihamburkan akan ditangkap detektor kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi Sinar x yang memenuhi *Hukum Bragg* pada persamaan (2.1). Dimana d merupakan jarak antara bidang (nm), θ adalah sudut sinar datang pada permukaan kristal dan n bilangan bulat.

$$2d \sin\theta = n\lambda \quad (2.1)$$

Untuk mengetahui struktur kristal dapat menggunakan persamaan bragg. Struktur kristal akan diidentifikasi dari puncak-puncak difraksi yang paling kuat. Setiap puncak yang muncul mewakili jarak antar bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu pada bidang 3 dimensi.

4.2. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) digunakan untuk mengetahui struktur tapak morfologi dan ketebalan dari TiO_2 yang telah dideposisikan pada substrat kaca ITO.

4.3. *Ultra Violet Visible* (UV-Vis) *Spectrophotometer*

Spektrofotometer sinar ultra violet dan sinar tampak merupakan alat untuk mengetahui sifat optik lapisan dan absorbansi. Sinar ultraviolet memiliki panjang gelombang pada rentang 200-400 nm, dan sinar tampak (*visible*) pada rentang 400-750 nm. Penyerapan energi cahaya oleh sistem kimia pada panjang gelombang tertentu dengan nilai transmitansi (T) ditentukan dengan menggunakan persamaan *Lambert–Beer* (2.2)

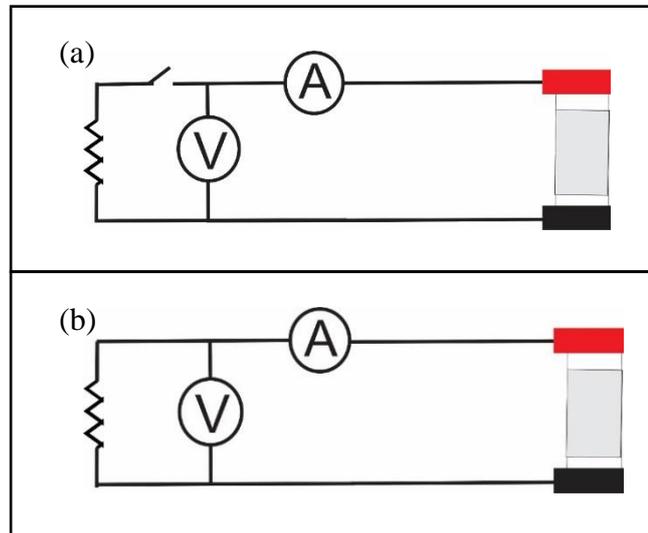
$$T = \frac{I_t}{I_0} \quad (2.2)$$

Nilai transmitansi menyatakan perbandingan antara intensitas cahaya setelah melewati sampel (I_t) dan intensitas cahaya datang (I_0). Selain transmitansi, hasil uji UV-Vis juga bisa dinyatakan dalam absorbansi pada persamaan (2.3).

$$A = -\log T \quad (2.3)$$

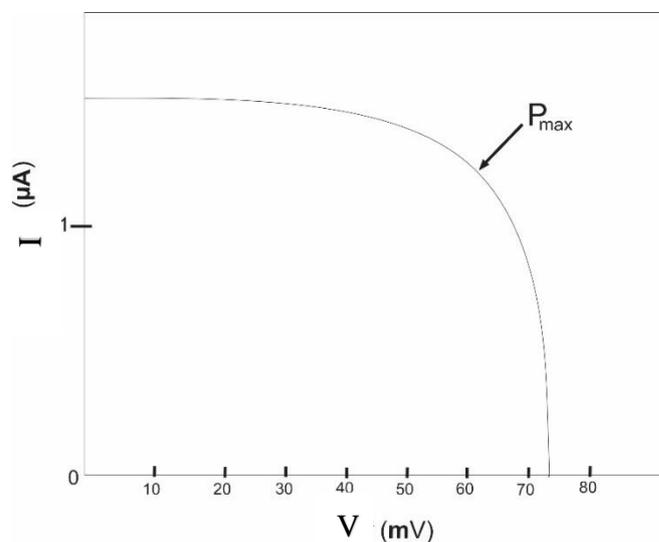
4.4. Pengujian Elektrisitas

Pada DSSC yang telah dirangkai, dilakukan pengujian elektrisitas untuk mendapatkan nilai tegangan dan kuat arus yang terukur menggunakan multimeter digital. Pengujian elektrisitas sendiri menggunakan sumber cahaya lampu.



Gambar 2. 5 Rangkaian DSSC (a) *Open Circuit*; (b) *Closed Circuit*

Arus *open* (I_{oc}) dan tegangan *open* (V_{oc}) diukur, menggunakan rangkaian sesuai dengan Gambar 2.5a rangkaian *open circuit* dan 2.5b rangkaian *closed circuit*. A merupakan posisi multimeter untuk mengukur kuat arus dan V adalah posisi multimeter untuk mengukur tegangan ketika hambatan diubah.



Gambar 2. 6 Kurva I-V

Gambar kurva I-V menunjukkan bahwa P_{max} adalah daya maksimum yang diperoleh dari perhitungan perkalian arus dan tegangan yang menghasilkan nilai terbesar (Siddiq, 2015). *Fill factor* (FF) merupakan parameter yang ikut menentukan nilai efisiensi dari DSSC. Secara grafik *fill factor* adalah luasan maksimum persegi panjang yang dibentuk pada daerah di bawah kurva I-V. Untuk mengetahui nilai *fill factor* dapat menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut

$$ff = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{oc}} \times 100\% \quad (2.4)$$

Keterangan

ff : *fill factor*

V_m : tegangan pada saat daya maksimum (V)

I_m : arus pada saat daya maksimum (A)

V_{oc} : tegangan pada saat *open circuit* (V)

I_{oc} : kuat arus pada saat *open circuit* (A)

Sementara, itu untuk menentukan nilai efisiensi (η) menggunakan persamaan (2.6)

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{oc} \cdot ff \quad (2.5)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya} \cdot A} \times 100\% \quad (2.6)$$

Keterangan

P_{max} : daya maksimal yang merupakan perhitungan perkalian arus dan tegangan terukur yang menghasilkan nilai terbesar (watt).

P_{cahaya} : daya cahaya matahari yang di ukur melalui luxmeter atau *pyranometer* (watt/m^2). Satu lux setara dengan $0,0079 \text{ W/m}^2$.

A : luas permukaan DSSC (m^2).

Dari persamaan (2.4) – (2.6) dapat dilakukan substitusi maka didapatkan persamaan (2.7)

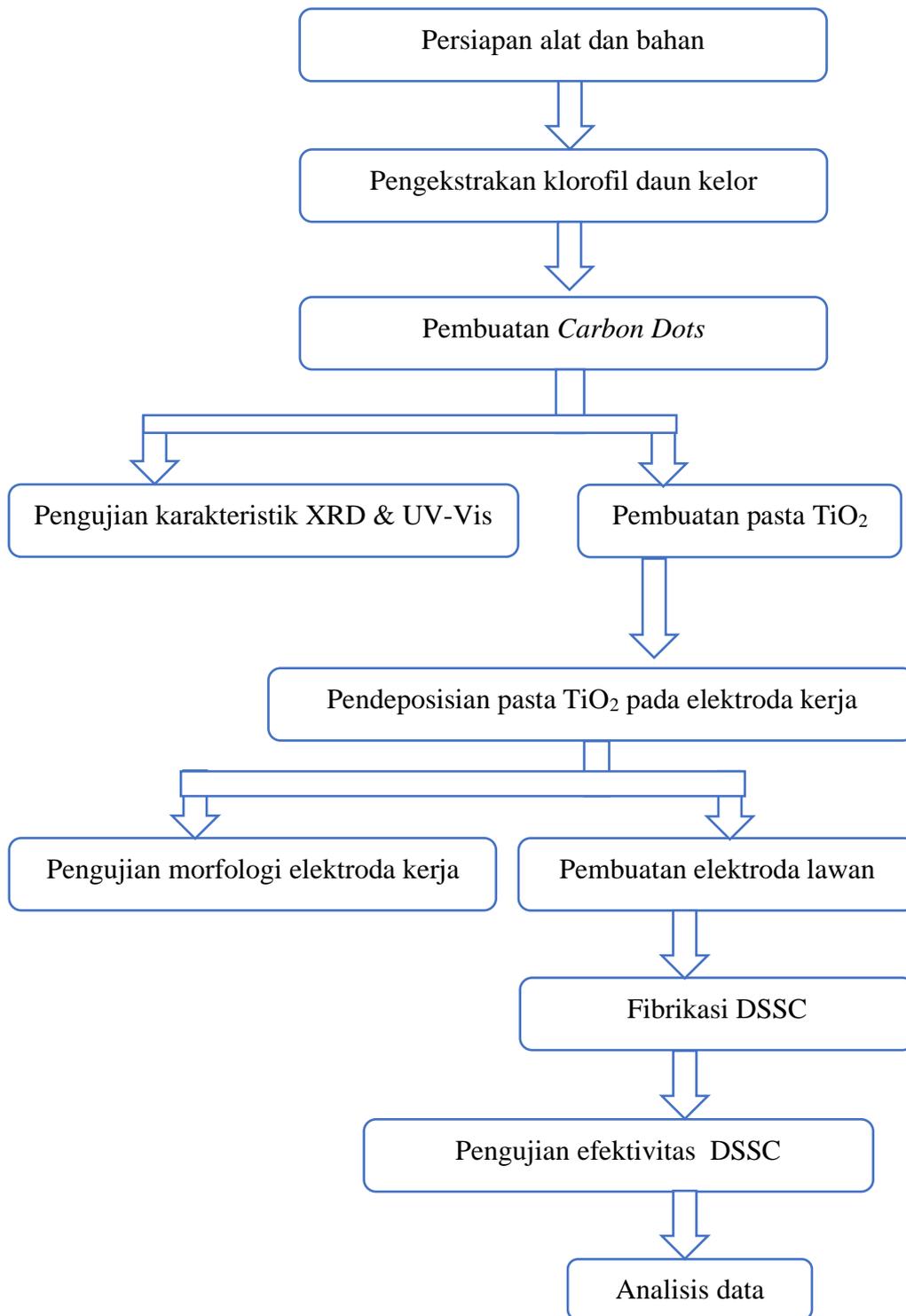
$$\eta = \frac{V_m \cdot I_m}{P_{\text{cahaya}} \cdot A} \times 100\% \quad (2.7)$$

B. Kerangka Berpikir

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan pada tahun 2018 dengan judul “Pengaruh Peningkatan Intensitas Cahaya Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cells* Menggunakan *Dye* Daun Kelor (*Moringa Oliefera*)” dan penambahan berbagai literasi guna mengembangkan penelitian. Penelitian eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas performa DSSC dengan penggunaan *dye* t *CarbonDots* dari daun kelor (*Moringa Oliefera*).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian yaitu *dye* klorofil, *dye carbon dots* 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Variabel kontrol kaca ITO, pasta TiO_2 yang digunakan sebagai elektroda kerja dan elektroda lawan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah performa DSSC sebagai bahan uji elektivitas.

Penelitian ini dilakukan dengan membuat *carbon dots* dari klorofil daun kelor dengan variasi lama sintesis 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Setelah itu dilanjutkan dengan pembuatan komponen elektroda kerja yang terdiri dari kaca ITO dan pasta TiO_2 . Setelah itu dilakukan pembuatan larutan elektrolit dan disusul dengan pembuatan elektroda lawan yang terdiri dari kaca ITO dan karbon dari jelaga lilin. Setelah elektroda kerja dan elektroda lawan selesai, kemudian dilakukan perakitan *Dye Sensitized Solar Cells*. Kemudian dilakukan pengujian uji kelistrikan pada DSSC yang telah dibuat. Skema kerangka berfikir ditampilkan pada Gambar 2.7



Gambar 2. 7 Bagan kerangka berpikir

C. Hipotesa Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah hipotesis asosiatif yang menjelaskan hubungan antar variabel sebagai berikut:

- H_0 : Adanya perbedaan efektivitas performa DSSC dengan variasi dye *carbon dots* yang dibuat.
- H_a : Tidak adanya perbedaan efektivitas performa DSSC dengan variasi dye *carbon dots* yang dibuat.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Subjek, Lokasi dan Waktu

1. Subjek

Penelitian ini merupakan penelitian berbentuk eksperimen dengan subjek penelitian berupa *carbon dots klorofil* dari daun kelor *Moringa oleifera* yang diekstrak. Subjek tersebut akan digunakan pewarna *dye* dalam DSSC sebagai sumber data penelitian.

2. Lokasi

Penelitian eksperimen ini dilakukan di Laboratorium Fisika Modern Gedung Utama Universitas PGRI Semarang Jl. Sidodadi Timur No.24 Dr. Cipto, Karangtempel, Semarang Timur.

3. Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada 20 Agustus 2021 – 20 Desember 2021. Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan alat dan bahan yang dilakukan

B. Bahan yang Digunakan

Berikut bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Titanium (IV) Oxide* (TiO₂)
2. *Ethanol*
3. PVA
4. Kalium Iodida
5. *Iodine*
6. *Acetone*
7. *Aquades*
8. Kaca ITO 25 mm x50 mm

C. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Gelas kimia
2. *Magnetic stirrer*

3. *Hot plate Scilogex MS7-H550*
4. *Microwave GE*
5. Neraca timbang Fujitsu *Electronic Balance*
6. Lampu Philips Essensial 13W
7. Multimeter EXTECH
8. *PCB board*
9. Resistor 1K, 10K, 100K
10. Penjepit buaya
11. Kabel jumper

D. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat berbagai variabel yang telah ditentukan untuk diteliti. Variabel yang ada pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terkait, dan variabel kontrol.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama waktu yang digunakan dalam pengekstrakan nanopartikel klorofil dari daun kelor sebagai pewarna atau *dye*. Lama waktu dalam pengekstrakan adalah 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Panjang gelombang pada puncak absorbansi dari hasil Uji Uv-Vis dan morfologi DSSC. Variabel dependen (terkait) dalam penelitian adalah performansi efisiensi DSSC. Variabel kontrol penelitian ini adalah lama waktu perendaman lapisan titania pada *dye*, volume pelarut *aquades* yang digunakan untuk ekstraksi daun kelor, dan luas preparasi titania pada kaca ITO.

E. Prosedur/Cara Kerja

1. Pembuatan *Carbon dots* nanopartikel daun kelor sebagai *dye*
 - a. Daun kelor dipisahkan dari tangkainya, kemudian dibersihkan dengan air yang mengalir.
 - b. Daun kelor dimasukkan dalam mortal dan diblender hingga halus.
 - c. Daun kelor yang sudah halus disaring menggunakan kain untuk didapatkan ekstrak daun kelor.

- d. Gelas ukur disiapkan sebanyak 3 buah. Ekstrak daun kelor diletakkan masing-masing 50 ml pada tiap gelas ukur.
- e. Larutan ekstrak daun kelor dimasukkan ke dalam *microwave* dengan masing-masing perlakuan 5 menit, 10 menit dan 15 menit.
- f. Setelah itu, *carbon* akan terbentuk pada gelas ukur. *Carbon* diencerkan dengan *ethanol*.
- g. *Carbon dots* diencerkan dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 24 jam.
- h. Larutan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring dan dimasukkan ke dalam botol penyimpanan.

2. Pembuatan Pasta TiO₂

Pembuatan pasta TiO₂ dimulai dengan mempersiapkan gelas ukur, *magnetic stirrer* dan *hotplate*. Untuk bahan yang digunakan adalah *aquades*, serbuk TiO₂ dan PVA (*Polivinil alcohol*).

- a. PVA ditimbang sebanyak 0.3 gram, kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur.
- b. PVA dilarutkan dengan *aquades* sebanyak 13.5 ml dan diaduk selama 30 menit dengan suhu 75°C.
- c. Serbuk TiO₂ sebanyak 5.4 gram ditambahkan ke dalam larutan PVA yang telah diaduk, kemudian diaduk lagi selama 2 jam dengan suhu 50°C hingga larutan mengental.

3. Pembuatan elektroda kerja

Elektroda kerja terdiri dari kaca ITO dan pasta TiO₂. Pembuatan elektroda kerja sebagai berikut:

- a. Kaca ITO diukur resistensinya dengan menggunakan multimeter
- b. Area kerja dibuat dari kaca ITO dengan luasan 2,2 cm x 3,2 cm, Solasi kertas digunakan sebagai batas area.
- c. Pasta TiO₂ dideposisikan ke area kerja dengan metode *doctor blade*.
- d. Setelah itu, kaca TiO₂ dipanaskan di atas *hot plate* dengan suhu 60°C selama 30 menit.

- e. Solasi kertas dilepaskan pada kaca ITO dan kemudian dilakukan kalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 200°C selama 2 jam.
 - f. Elektroda kerja yang sudah jadi diredam dengan masing-masing *dye* selama 24 jam.
4. Pembuatan elektroda lawan
- Elektroda lawan pada rangkaian menggunakan *carbon* dari jelaga lilin dengan pembuatan:
- a. Kaca ITO dengan ukuran 25 x 50 x 1,1 mm disiapkan dan diukur resistensinya pada salah satu sisi kaca ITO.
 - b. Lilin dinyalakan dengan menggunakan korek api.
 - c. Sisi resistensi kaca ITO dioleskan pada bara api yang dihasilkan oleh lilin hingga dihasilkan jelaga yang menempel pada permukaan kaca.
5. Pembuatan larutan elektrolit
- Pembuatan larutan elektrolit menggunakan Kalium Iodida (KI) sebanyak 0,83 gram lalu ditambahkan dengan Iodida (I_2) sebanyak 0,127 gram dan dilarutkan dengan *aquades* sebanyak 10 ml.
6. Fabrikasi DSSC
- Fabrikasi DSSC adalah perakitan DSSC dengan tahapan penggabungan elektroda kerja dengan elektroda lawannya dan diberikan larutan elektrolit yang telah dibuat.

F. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik eksperimen. Teknik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pada masing-masing *dye* terhadap kinerja efisiensi DSSC. Data penelitian ini didapat dengan melakukan berbagai uji tingkat fotokatalis dengan menggunakan berbagai parameter uji sebagai berikut:

1. Pengujian absorbansi *dye*

Pengujian ini menggunakan alat spektrofotometer UV-VIS Visible yang bertujuan untuk menentukan nilai absorbansi dari larutan *carbon dots* digunakan sebagai *dye* pada sel surya organik.

2. Pengujian Parameter kisi struktur kristal *X-Ray Diffraction* (XRD)
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ukuran kristal dan fase dari sampel serbuk TiO_2 murni yang digunakan pada penelitian ini.
3. Pengujian karakteristik morfologi permukaan yang telah diberi *dye*
Pengujian menggunakan alat SEM yang bertujuan untuk melihat persebaran *dye* pada sel surya organik yang telah dilakukan perendapan pada larutan *dye*.
4. Pengujian elektrisitas pada DSSC
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat arus serta tegangan yang dihasilkan sel surya organik.

G. Analisis dan Interpretasi Data

Data yang telah didapat selanjutnya akan dilakukan analisis untuk mengetahui efisiensi sel surya organik yang menggunakan varian lama waktu pembuatan *dye carbon dots* klorofil tersebut dengan menggunakan *microwave*. Data akan ditampilkan dalam bentuk grafik selanjutnya akan dilakukan analisis. Grafik akan ditampilkan menggunakan *software* origin, excel, match 3, xpowder dan vesta untuk menentukan nilai absorbansi, energi *gap* dan volt.

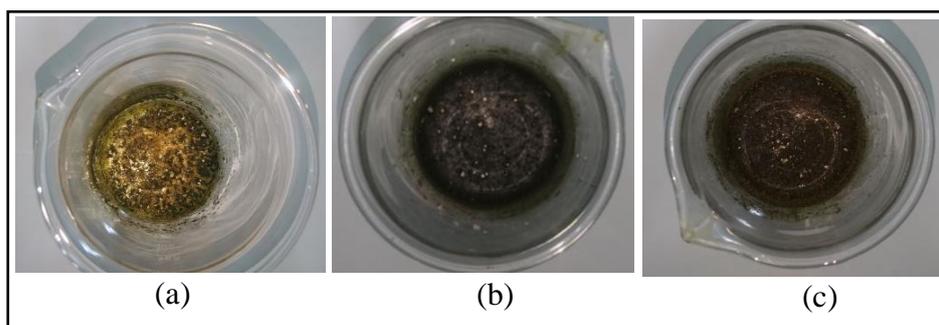
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian dan Pembahasan

a. Hasil *Carbon Dots* dengan *Microwave*

Carbon-Dots dibuat dengan cara mensintesis klorofil yang telah diekstrak dari daun kelor menggunakan metode *Bottom-Up* sederhana dengan alat *microwave*. Keunggulan menggunakan metode ini dengan alat *microwave* adalah memanfaatkan pancaran gelombang elektromagnetik yang dipancarkan *microwave* secara kontinu (Al Ghifari et al., 2017). Hasil dari sintesis *carbon dots* dapat dilihat pada Gambar 4.1a *carbon dots* dengan lama waktu sintesisnya 5 menit, Gambar 4.1b *carbon dots* dengan lama waktu sintesis 10 menit dan Gambar 4.1c *carbon dots* dengan lama waktu sintesis 15 menit. Dari Gambar 4.1a sampai 4.1c menunjukkan adanya *carbon* yang mengendap di bawah gelas beker.



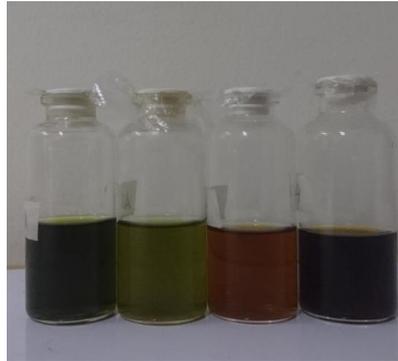
Gambar 4. 1 Hasil sintesis carbon dots

(a) 5 menit; (b) 10 menit; (c) 15 menit.

b. Hasil Pelarutan *Carbon Dots*

Hasil sintesis *carbon dots* sendiri meninggalkan *carbon* pada tempat sintesisnya. Oleh karena itu, dilakukan pengenceran *carbon dots* menggunakan *ethanol*. Pengenceran ini bertujuan untuk memudahkan dalam pemberian *dye* pada DSSC. Hasil dari pelarutan *carbon dots* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada larutan *carbon* tersebut

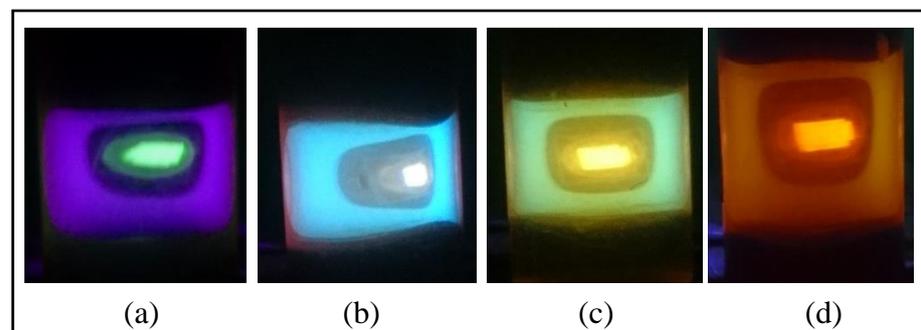
dilakukan pengujian UV-Vis guna untuk mengetahui panjang gelombang absorbansinya.



Gambar 4. 2 Hasil pelarutan *carbon dots* dengan *ethanol*

c. Hasil *Fluorescence*

Sintesis *Carbon Dots* dari klorofil daun tanaman dengan metode sederhana *bottom up* menggunakan *microwave* telah dilakukan. Sintesis *Carbon Dots* ini memvariasikan waktu pemanasan (*microwave*) yaitu 0 menit, 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Pengujian awal terbentuknya *carbon dots* menurut (Liu et al., 2019) adalah berpendarnya (*fluorescence*) *carbon dots* yang diradiasi dengan sinar ultraviolet. Pada penelitian ini, telah dilakukan penyinaran larutan *carbon dots* dengan lampu senter ultraviolet dengan panjang gelombang 395 nm. Hasil menunjukkan adanya *fluorescence* yang terjadi pada *carbon dots* dengan variasi lama pembuatan *carbon dots* 5 menit dan 10 menit ditunjukkan pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Hasil penyinaran larutan *carbon dots* dengan sinar UV

(a) *Carbon dots* 0 menit; (b) *Carbon dots* 5 menit;

(c) *Carbon dots* 10 menit; (d) *Carbon dots* 15 menit.

d. Hasil Pendeposisian TiO_2 terhadap kaca ITO

Pendeposisian pasta TiO_2 sendiri dilakukan dengan metode *doctor blade* (Romadhon et al., 2018). Setelah pasta dideposisi di substrat kaca ITO, substrat dipanaskan di *hot plate* dengan tujuan untuk melepaskan solatip dan kemudian dilakukan kalsinasi elektroda kerja.



Gambar 4.4 Hasil pendeposisian ke kaca ITO

e. Hasil Kalsinasi Elektroda Kerja

Proses kalsinasi ini dilakukan dengan suhu 200°C dengan lama proses kalsinasi 2 jam dan penurunan-suhunya secara bertahap dari 200°C sampai suhu 45°C . Proses kalsinasi pada elektroda kerja bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa organik berasal dari pasta *precursor* TiO_2 (Wahyudi & Widiyandari, 2011), agar molekul oksida saling mengikat sempurna serta pelarut dapat menguap dan membentuk nanopori (Marthua et al., 2012). Gambar 4.5a menunjukkan proses kalsinasi dan Gambar 4.5b menunjukkan hasil dari proses kalsinasi.

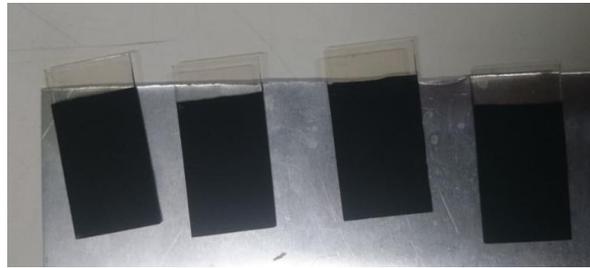


Gambar 4. 5 Kalsinasi kaca ITO

(a) Proses kalsinasi; (b) Hasil proses kalsinasi

f. Hasil pembuatan elektroda lawan

Pembuatan elektroda lawan dengan memberikan jelaga lilin terhadap kaca ITO yang memiliki sisi konduktif (Romadhon et al., 2018). Hasil dari pemberian jelaga lilin pada kaca ITO dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Hasil pembuatan elektroda lawan

g. Hasil penyisipan *Carbon Dots* pada elektroda kerja

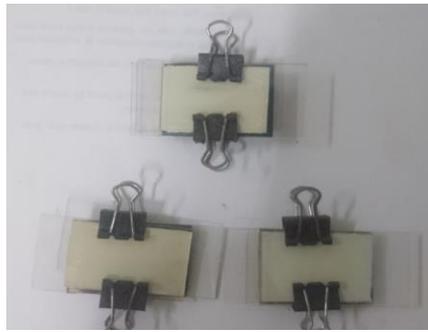
Penyisipan *dye* pada elektroda kerja dilakukan dengan perendaman elektroda kerja yang dilakukan selama 24 jam (Ardianto et al., 2015). Perendaman ini bertujuan agar *dye* menempel sempurna dan mendapatkan performansi kinerja DSSC yang optimal pada *prototype* ini. Hasil dari perendaman dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Hasil pemberian *dye*

h. Hasil Fibrikasi *Dye Sensitized Solar Cells*

Fibrikasi DSSC sendiri merupakan penggabungan dari elektroda kerja, larutan elektrolit dan elektroda lawan yang menghasilkan DSSC yang siap dilakukan pengujian kelistrikkannya atau uji elektrisitas. Hasil proses fibrikasi dari DSSC dapat dilihat pada Gambar 4.8



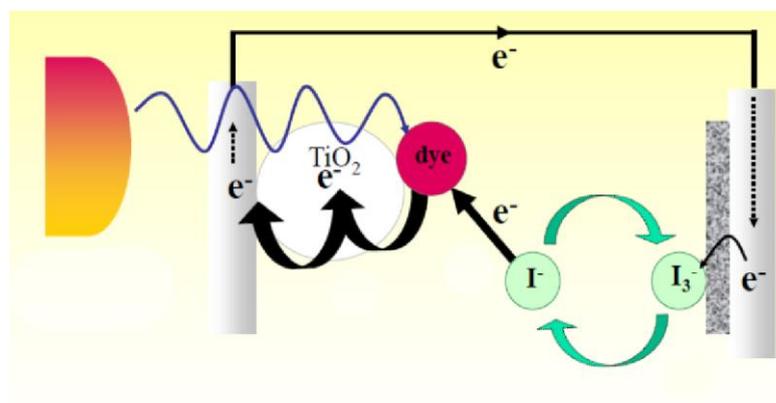
Gambar 4. 8 Hasil Fibrikasi DSSC

B. Uji Elektrisitas

Uji Elektrisitas dilakukan dengan sumber cahaya yang konstan dengan penerangan lampu *Philip* 13 Watt. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan DSSC. Hasil dari pengujian elektrisitas dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Hasil uji elektrisitas DSSC

	Im (μA)	Vm (V)	Isc (μA)	Voc (V)	ff	η (%)
0 menit	0.6	0.0452	1.4	0.0596	0.325	0.9495
5 menit	0.6	0.0196	0.9	0.0668	0.195	0.4117
10 menit	0.8	0.0341	1.6	0.0693	0.246	0.9551
15 menit	0.2	0.0384	0.7	0.0567	0.193	0.2688



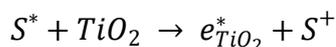
Gambar 4. 9 Skema prinsip kerja DSSC

Pada pengujian ini terjadi proses yang menghasilkan listrik. Gambar 4.9 merupakan gambar prinsip kerja DSSC. Ketika DSSC terkena sinar

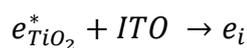
kemudian diserap oleh molekul dye yang telah berikatan dengan bahan semikonduktor TiO_2 pada elektroda kerja. Penyerapan cahaya ini, akan menyebabkan terjadinya proses eksitasi elektron pada dye. Elektron tereksitasi dari ground state (S) ke excited state (S^*)



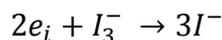
Setelah itu elektron yang telah tereksitasi dari dye akan terinjeksi menuju pita konduksi TiO_2 .



$e_{\text{TiO}_2}^*$ yang telah terbentuk kemudian akan menuju ke anoda kaca ITO dan terbentuk arus listrik pada anoda.



e_i pada anoda tersebut akan menuju rangkaian uji *open circuit & closed circuit*, setelah itu kembali lagi menuju katoda pada DSSC. Adanya katalis pada elektroda lawan berupa jelaga lilin, elektron akan diterima elektrolit sehingga terjadinya pembentukan hole. Elektrolit I_3^- berakibat sebagai pendonor elektron sebelumnya. Iodide berfungsi untuk mereduksi pewarna yang telah mengalami oksidasi.



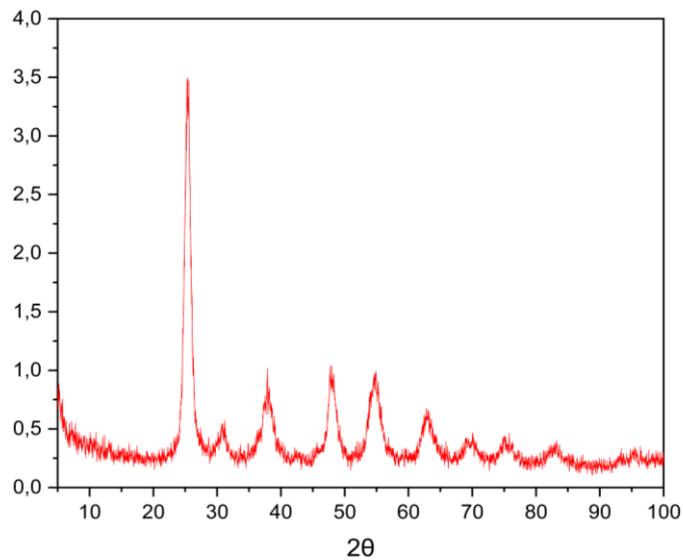
Iodida I_3^- yang terdapat pada elektroda lawan dalam larutan elektrolit saling berhubungan elektron. Demikian juga dengan I^- dihasilkan pada elektroda lawan yang akan disebarkan ke arah yang berlawanan dengan elektrolit. Hal ini akan menunjukkan terjadinya pembentukan siklus transfer elektron. Hal ini menyebabkan terjadinya konversi energi cahaya menjadi energi listrik

C. Uji Karakteristik

a. X-Ray Diffraction (XRD)

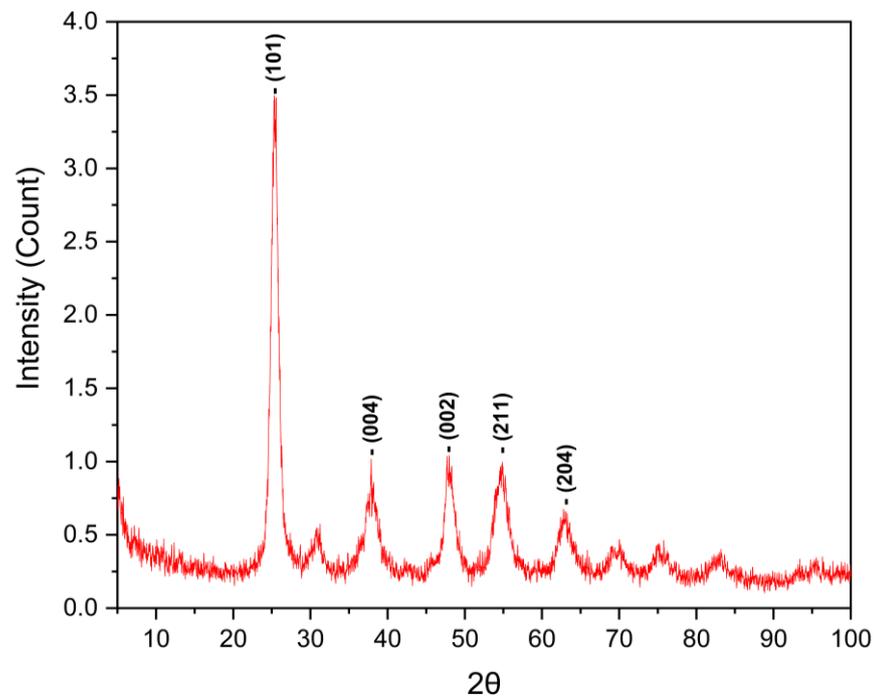
X-Ray Diffraction atau XRD merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ukuran kristal dan fase kristal yang terbentuk pada *Titanium (IV) Oxide* (TiO_2). Pengujian ini menghasilkan grafik pada Gambar 4.10.

Pengujian XRD merupakan salah satu karakteristik sifat gelombang



Gambar 4.10 Hasil pengujian XRD

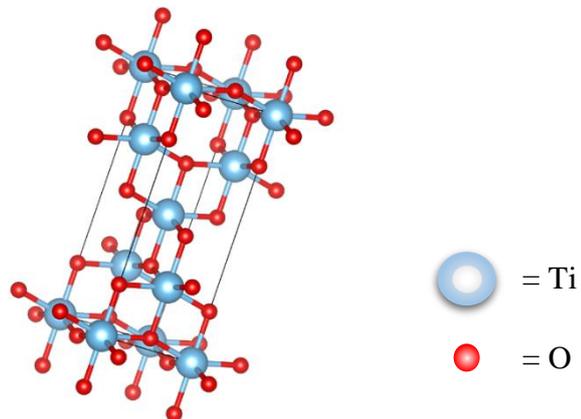
dalam partikel yang terjadi karena interaksi antara dua atau lebih gelombang yang memiliki frekuensi sama dan sefase.



Gambar 4.11 Indeks Miller dari TiO_2

Data uji XRD serbuk TiO_2 memperlihatkan adanya puncak-puncak yang dihasilkan pada sudut 2θ . Untuk menentukan index miller

menggunakan software *MACTH 3, PowderX & Origin 2022*. Didapatkan hasil analisis indeks millernya ditunjukkan Gambar 4.11.



Gambar 4. 12 Tetragonal fase anatase TiO_2

Dari data yang didapatkan dari software *MACTH 3*. TiO_2 yang digunakan memiliki struktur kristal yang berbentuk *tetragonal* pada fase anatase yang ditunjukkan pada gambar 4.12, kemudian olah dengan software *Vasta* agar mendapatkan gambaran bentuk kristal dari TiO_2 .

Untuk ukuran kristal yang terbentuk dapat diketahui dengan persamaan persamaan *Debye Scherrer* (4.1).

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4.1)$$

Keterangan:

D : Ukuran kristal

k : Faktor bentuk dari kristal (0,9-1)

λ : Panjang gelombang dari *Sinar-x* (1,54056 \AA)

θ : Sudut difraksi (derajat)

β : Nilai dari *Full Width at Half Maximum* (FWHM) (rad)

Dibawah ini hasil ukuran kristal TiO₂ yang disajikan pada Tabel 4.2

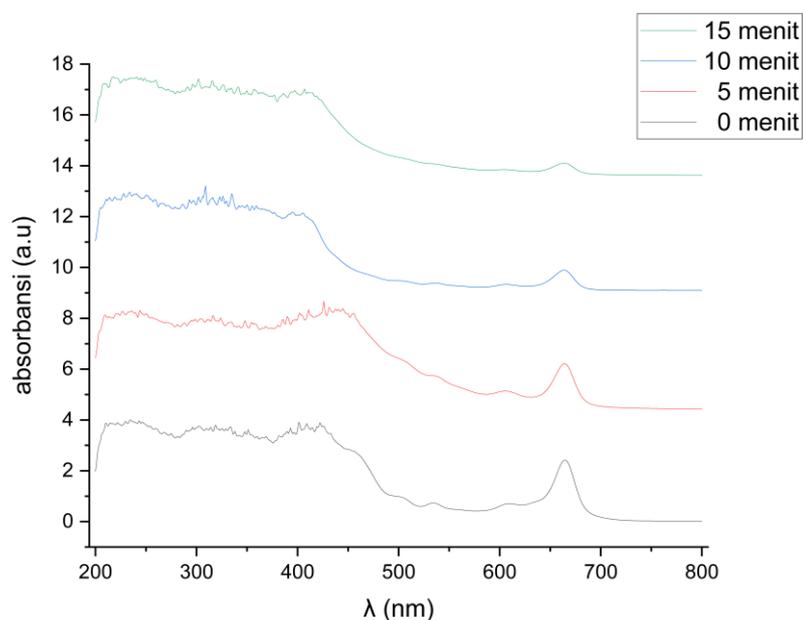
Tabel 4. 2 Hasil ukuran kristal TiO₂

2θ	FWHM	Ukuran Kristal D (nm)
25.38165	1.20331	6.996772056
37.90356	1.91089	4.544667739
48.03415	1.48207	6.06725627
54.7189	1.99233	4.641842978
62.98609	1.85206	5.20092308

Ukuran kristal XRD paling besar adalah 6.99772056 nm dan yang paling kecil dengan ukuran 4.544667739 nm sehingga memiliki rata-rata ukuran kristal TiO₂ yang digunakan pada penelitian ini adalah 5.49029 nm.

b. UV-VIS

Pengujian spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mengetahui nilai absorbansi dari sampel pigmen klorofil dan *carbon dots* dari tanaman *Moringa Oleifera* atau tanaman kelor . Hasil dari pengujian UV-Vis terdapat pada gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Hasil pengujian *dye*

Pada tabel di atas dapat dilihat terdapat empat sampel yaitu 0 menit, 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Dari keempat sampel didapatkan nilai absorbansi masing masing yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 – 4.6

Tabel 4. 3 UV Vis *dye* 0 menit

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)
664.0	2.417
610.0	0.708
534.0	0.735
422.0	3.893
409.0	3.860
393.0	3.683
369.0	3.348
351.0	3.618
334.0	3.731
314.0	3.710
302.0	3.752
234.0	4.003
215.0	3.879

Tabel 4. 4 UV-Vis *dye* 5 menit

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)
664.0	1.018
607.0	0.451
536.0	0.510
405.0	3.258
395.0	3.294
359.0	3.553
345.0	3.554
335.0	4.028
326.0	3.926

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)
316.0	3.882
309.0	4.323
266.0	3.653
250.0	3.964

Tabel 4.5 UV Vis *dye* 10 menit

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)
664.0	0.622
604.0	0.369
407.0	3.543
397.0	3.477
386.0	3.376
357.0	3.537
350.0	3.475
341.0	3.622
327.0	3.702
316.0	3.863
302.0	3.945
241.0	4.007
218.0	4.008

Tabel 4. 6 UV-Vis *dye* 15 menit

Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)
664.0	1.823
605.0	0.745
456.0	3.793
437.0	3.957
431.0	4.032
411.0	3.949

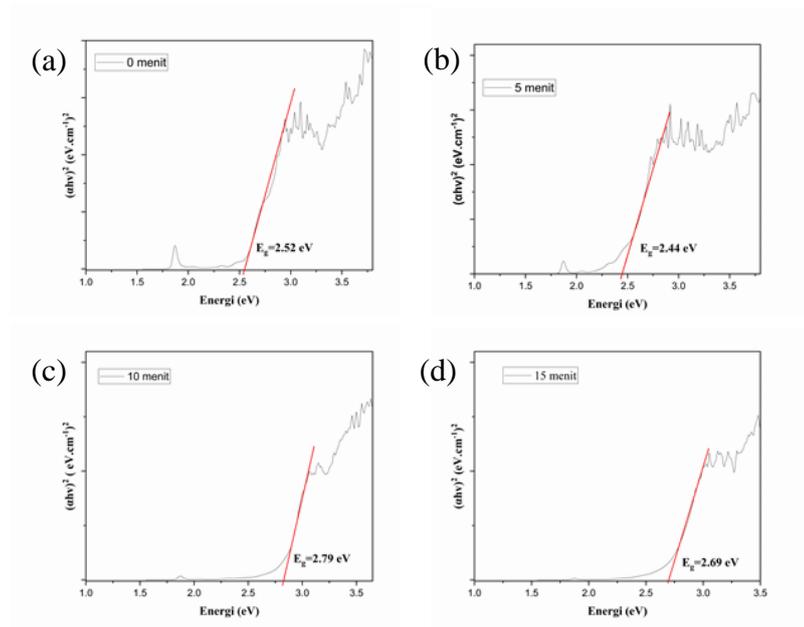
Panjang gelombang (nm)	Absorbansi (a.u)
402.0	3.821
390.0	3.679
369.0	3.273
355.0	3.440
348.0	3.507
334.0	3.458
316.0	3.710

c. Energi Bandgap

Energi bandgap adalah energi yang diperlukan untuk melakukan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Atau transisi elektron dari orbital yang terisi penuh ke orbital kosong. Energi bandgap dihitung menggunakan persamaan (4.2):

$$B. \quad \alpha^2 = \frac{hc}{\lambda} - Eg \quad (4.2)$$

dengan α adalah koefisien absorbansi (m^{-1}), λ adalah panjang gelombang (m), h adalah tetapan *Planck* (4136×10^{-15} eV.s) dan Eg adalah enegigap dari C-Dots (eV). Hasil perhitungan energi gap C-Dots dari klorofil daun kelor menggunakan metode *Touch Plot* ditunjukkan pada gambar 4.14 (a - d)



Gambar 4. 14 Hasil Perhitungan band gap.

(a) 0 menit; (b) 5 menit; (c) 10 menit; (d) 15 menit.

Hasil dari perhitungan band gap disajikan pada tabel 4.7 yang menunjukkan menunjukkan energi gap (E_g) yang dihasilkan C-dot klorofil dari daun kelor berkisar 2.44 eV sampai 2.79 eV. Ini menunjukkan bahwa sintesis C-Dots dengan lama waktu 10 menit menghasilkan energi gap yang paling tinggi.

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Energi Gap pada *Dye*

Waktu <i>Microwave</i>	Energi Gap
0 menit	2.52 eV
5 menit	2.44 eV
10 menit	2.79 eV
15 menit	2.69 eV

Tabel 4.8 Panjang Gelombang Spektrum Warna

Warna	Panjang Gelombang	Energi Gap
Ungu	380 nm – 450 nm	3.26 eV – 2.76 eV
Biru	450 nm – 495 nm	2.76 eV – 2.51 eV
Hijau	495 nm – 570 nm	2.51 eV – 2.18 eV
Kuning	570 nm – 590 nm	2.18 eV – 2.10 eV
Jingga	590 nm – 620 nm	2.10 eV – 2.00 eV
Merah	620 nm – 740 nm	2.00 eV – 1.65 eV

Dari energi gap pada tabel 4.7 memiliki rentangan nilai 2.44 eV sampai 2.79 eV hal ini selaras dengan energi gap yang dihasilkan pada tabel 4.8 pada rentang spektrum cahaya dengan warna hijau sampai ungu dengan nilai energi gap 2.18 eV sampai 3.26 eV. Pada hasil sintesis carbon dots dengan lama sintesis 10 menit menunjukkan energi gap yang paling besar sebesar 2.79 eV terdapat pada rentang cahaya warna ungu.

d. Analisis Kadar Klorofil

Analisis kadar klorofil untuk pelarut *ethanol* menggunakan persamaan *Wintermans & de Mots* (4.3) – (4.5) dengan panjang gelombang 649 nm dan 665 nm (Ajiningrum, 2019).

$$\text{Klorofil. a} = 13,7 A_{665} - 5,76 A_{649} \text{ (mg/l)} \quad (4.3)$$

$$\text{Klorofil. b} = 25,8 A_{649} - 7,60 A_{665} \text{ (mg/l)} \quad (4.4)$$

$$\text{Total Klorofil} = 20,0 A_{649} + 6,10 A_{665} \text{ (mg/l)} \quad (4.5)$$

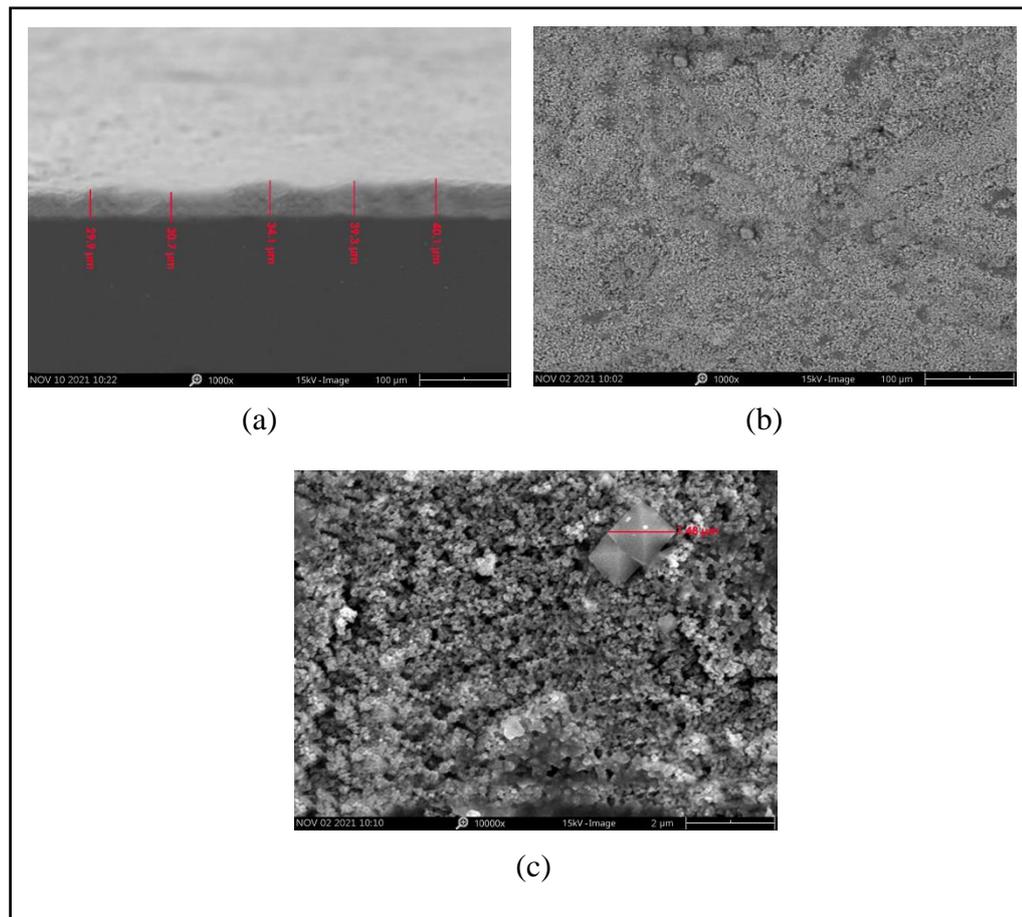
Tabel 4. 8 Hasil Perhitungan Kandungan Klorofil pada *Dye*

<i>Time</i>	A ₆₄₉ (au)	A ₆₆₅ (au)	Klorofil a (mg/l)	Klorofil b (mg/l)	Total Klorofil (mg/l)
0	1.198	2.416	26.19872	12.5468	38.6976
5	0.914	1.816	19.61456	9.7796	29.3576
10	0.624	1.01	10.24276	8.4232	18.641
15	0.413	0.618	6.08772	5.9586	12.0298

Tabel 4.8 adalah hasil perhitungan kandungan klorofil pada *dye* menggunakan persamaan (4.3) - (4.5). Didapatkan bahwa pengaruh dari sintesis *carbon dots* menggunakan *microwave* menyebabkan adanya penurunan nilai total klorofil. Penurunan kadar klorofil mengindikasikan bahwa jumlah atom oksigen bertambah dan bergabung dengan struktur *carbon dots* (Ding et al., 2016).

e. *Scanning Electron Microscop* atau SEM

Pengujian *Scanning Electron Microscop* atau SEM bertujuan untuk mengetahui morfologi pada material semikonduktor TiO₂. Pengujian dilakukan pada sampel elektroda kerja yang telah dideposisi dengan TiO₂ dan direndam *dye* dari *carbon dots* klorofil daun kelor. Penampakan bentuk morfologi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.15 (a)-(c)



Gambar 4. 15 Hasil morfologi SEM

- (a) Ketebalan lapisan pasta TiO_2
- (b) Persebaran *dye* pada eletroda kerja
- (c) Bulir TiO_2

Ketebalan lapisan pasta TiO_2 dapat dilihat pada Gambar 4.15a menunjukkan bahwa ketebalan elektroda kerja dari 29.9 μm sampai 40.1 μm dengan rata-rata ketebalan 34.82 μm . Pada gambar 4.15b menunjukkan persebaran *dye carbon dots* yang tersebar merata pada elektroda kerja dikarenakan perendaman yang dilakukan selama 24 jam. Pada Gambar 4.15c menunjukkan ditemukan bulir TiO_2 yang berada dihamparan *dye* dengan ukuran bulir TiO_2 1,48 μm .

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa performansi DSSC dengan variasi *dye* dari *carbon dots* 5 menit, 10 menit, dan 15 menit memiliki efektivitas yang berbeda beda. Efisiensi pada DSSC *dye carbon dots* 5 menit memiliki efisiensi sebesar 0,41 %, 10 menit memiliki efisiensi sebesar 0,95% dan 15 menit memiliki efisiensi sebesar 0,26%. Nilai efisiensi terbesar terdapat pada *dye carbon dots* 10 menit yang memiliki nilai 0,95%, hal ini didukung dengan nilai energi band gap yang besar juga sebesar 2,79 eV. Secara keseluruhan penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *dye carbon dots* bekerja dengan baik seperti *dye* klorofil daun kelor.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan dapat diberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Melakukan pengujian TEM agar dapat mengetahui ukuran dari *carbon dots* yang telah disintesis menggunakan *microwave*.
2. Pengujian DSSC seharusnya menggunakan lampu dengan karakteristik sama dengan cahaya matahari, sehingga didapatkan hasil yang sesuai.
3. Untuk pengukuran tegangan dan kuat arus dilakukan komputerisasi, sehingga pencatatan nilai pada DSSC lebih akurat per sekian detiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Virgus, Y., Nirmin, & Khairurrijal. (2008). Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(2), 33–57.
- Aji, M. P., Susanto, Wiguna, P. A., & Sulhadi. (2017). Facile Synthesis Of Luminescent Carbon Dots From Mangosteen Peel By Pyrolysis Method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 11(2), 119–126. <https://doi.org/10.1007/s40094-017-0250-3>
- Ajiningrum, P. S. (2019). Kadar Total Pigmen Klorofil Tanaman Avicennia Marina pada Tingkat Perkembangan Daun yang Berbeda. *STIGMA: Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Unipa*, 11(02), 52–59. <https://doi.org/10.36456/stigma.vol11.no02.a1734>
- Al Ghifari, A. D., Putra, W. P., & Isnaeni, I. (2017). Analisis Fotoluminesensi Karbon Dot Dari Daun Teh Dan Daun Pepaya Dengan Teknik Microwave. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) VI SNF2017-MPS*. Universitas Negeri Jakarta. Oktober 20017
- Ardianto, R., Nugroho, W. A., & Sutan, S. M. (2015). Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil Nannochloropsis Sp. sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO₂. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 3(3), 325–337.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019: The Impact of Increased Utilization of New and Renewable Energy on the National Economy*. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri dan Energi (PPIPE).
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). (2020). *Indonesia Energy Outlook 2020 - Special Edition Dampak Pandemi COVID-19 terhadap Sektor Energi di Indonesia*. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri dan Energi (PPIPE).
- Bahriyah, I., Hayati, A., & Zayadi, H. (2015). Studi Etnobotani Tanaman Kelor (Moringa oleifera) di Desa Sumber Kecamatan Tambelangan Kabupaten Sampang

Madura. *Biosaintropis*, 1(1), 61–67.
<http://biosaintropis.unisma.ac.id/index.php/biosaintropis/article/view/50/25>

Bahtiar, H., Wibowo, N. A., & Rondonuwu, F. S. (2015). Konstruksi Sel Surya Bio menggunakan Campuran Klorofil-Karotenoid sebagai Sensitizer. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v11i1.780>

Ding, H., Yu, S. B., Wei, J. S., & Xiong, H. M. (2016). *Full-Color Light-Emitting Carbon Dots With A Surface-State-Controlled Luminescence Mechanism*. *ACS Nano*, 10(1), 484–491.

Gibson, M., Kasman, & Iqbal. (2017). Analisa Kualitas Klorofil Daun Jarak Keyar (*Ricinus comunis L*) Sebagai Bahan Pewarna pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Gravitasi*, 16(2), 31–40.

Liu, M., Chen, B., & Li, C. H.-. (2019). Carbon Dots: Synthesis, Formation Mechanism, Fluorescence Origin And Sensing Applications. *Pubs.Rsc.Org*, 320 - 328 <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2019/gc/c8gc02736f>

Marthua, S., Nadeak, R., & Susanti, D. (2012). *Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga*. *Jurnal Teknik ITS Vol 1*, 2–7.

Romadhon, E. N., Fauziah, A. Nila, S. & Kaltsum, U. (2018). Pengaruh Peningkatan Intensitas Cahaya Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Menggunakan Dye Klorofil Daun Kelor (*Moringa Oleifera*). Prosiding SEMANASIONAL SAINS BIOLOGI 171–174. Universitas PGRI Semarang 30 Agustus 2018. <http://prosiding.upgris.ac.id/index.php/snsev/snse2018/paper/view/2981>

Siddiq, N. A. (2015). *Fabrikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) Berstruktur Bilayer Anatase TiO₂ Dalam Rangkaian Seri dan Paralel*. Teknik Fisika. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

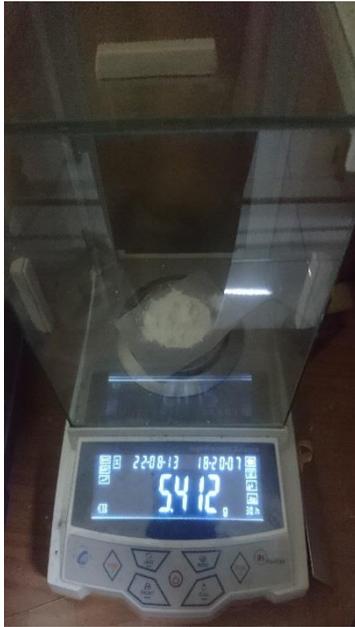
Wahyudi, B., & Widiyandari, H. (2011). Deposisi Nanopartikel Titanium Dioksida (TiO₂) di Atas Gelas Transparan Konduktif Dan Aplikasinya sebagai Elektroda

Kerja Pada Sel Surya Berbasis Dye (Dssc). *Jurnal Sains Dan Matematika* (Vol. 19 pp. 122–126).

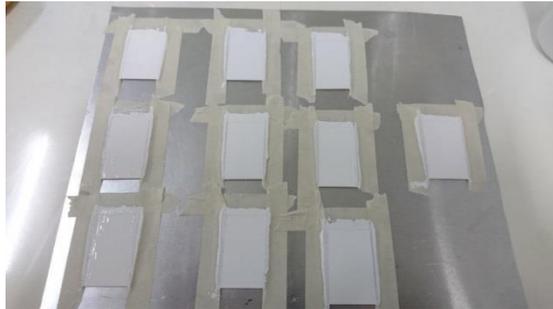
Wulandari, Y. K. (2020). *Carbon Nanodots Dari Klorofil Daun Pepaya Sebagai Suplemen Fertilizer.Fisika*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

LAMPIRAN

Pembuatan Pasta TiO₂



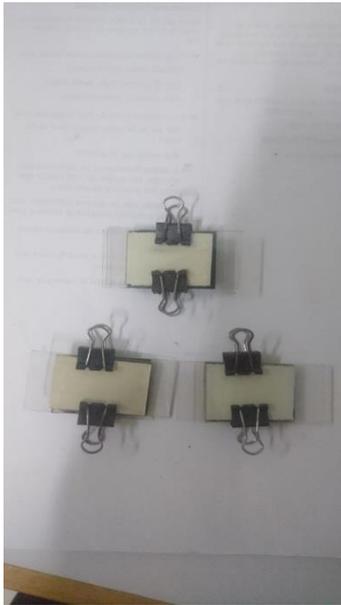
Pendeposisi Pasta ke ITO dan Proses Kalsinasi



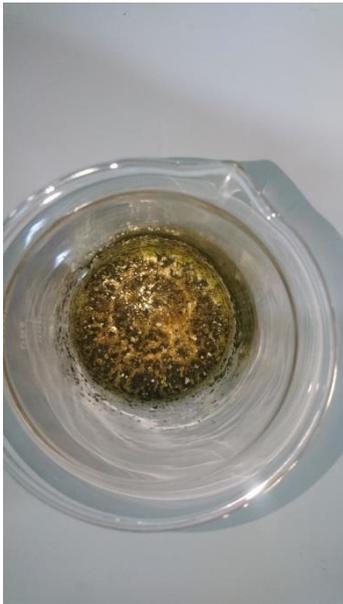
Hasil Kalsinasi dan Pemberian Dye



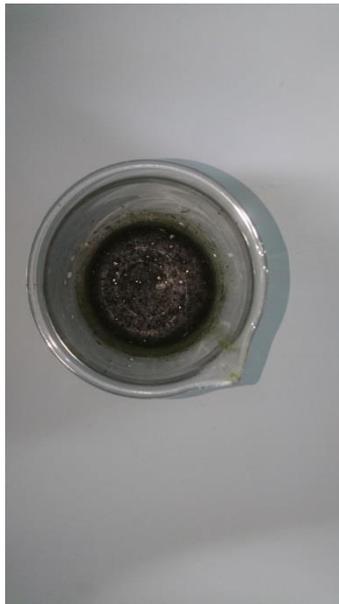
Perakitan DSSC dan Pengujian Elektrivitasnya



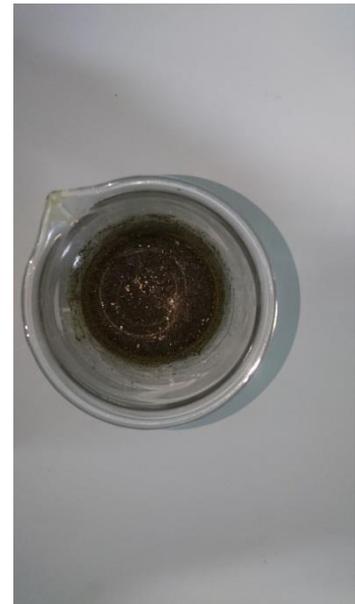
Hasil Carbon Dots



5 menit

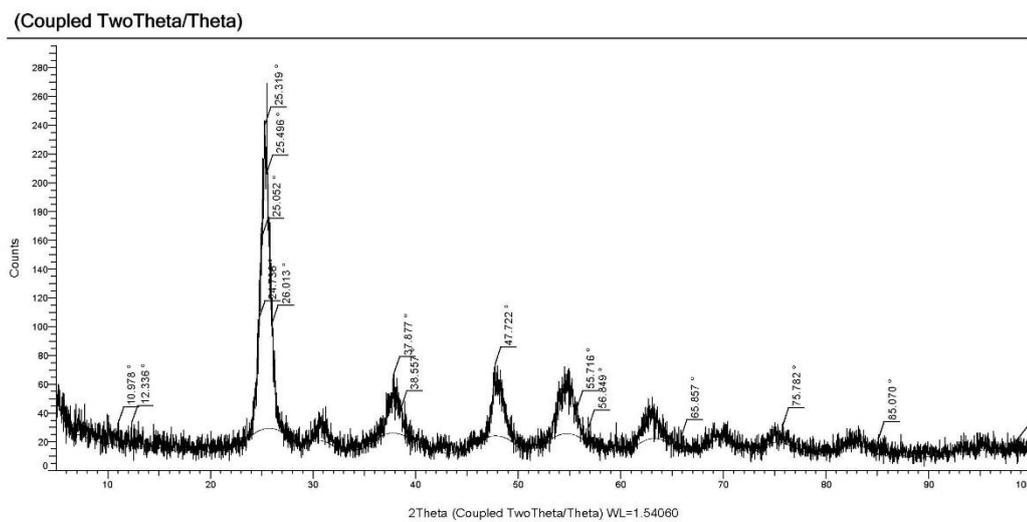


10 menit



15 menit

Hasi Pengujian XRD



Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)
Yes			13	Peak #13	Peak List #1	65.857 °
Yes			16	Peak #16	Peak List #1	98.772 °
Yes			15	Peak #15	Peak List #1	85.070 °
Yes			12	Peak #12	Peak List #1	56.849 °
Yes			14	Peak #14	Peak List #1	75.782 °
Yes			1	Peak #1	Peak List #1	10.978 °
Yes			2	Peak #2	Peak List #1	12.336 °
Yes			9	Peak #9	Peak List #1	38.557 °
Yes			11	Peak #11	Peak List #1	55.716 °
Yes			8	Peak #8	Peak List #1	37.877 °
Yes			10	Peak #10	Peak List #1	47.722 °
Yes			7	Peak #7	Peak List #1	26.013 °
Yes			3	Peak #3	Peak List #1	24.736 °
Yes			4	Peak #4	Peak List #1	25.052 °
Yes			6	Peak #6	Peak List #1	25.496 °
Yes			5	Peak #5	Peak List #1	25.319 °

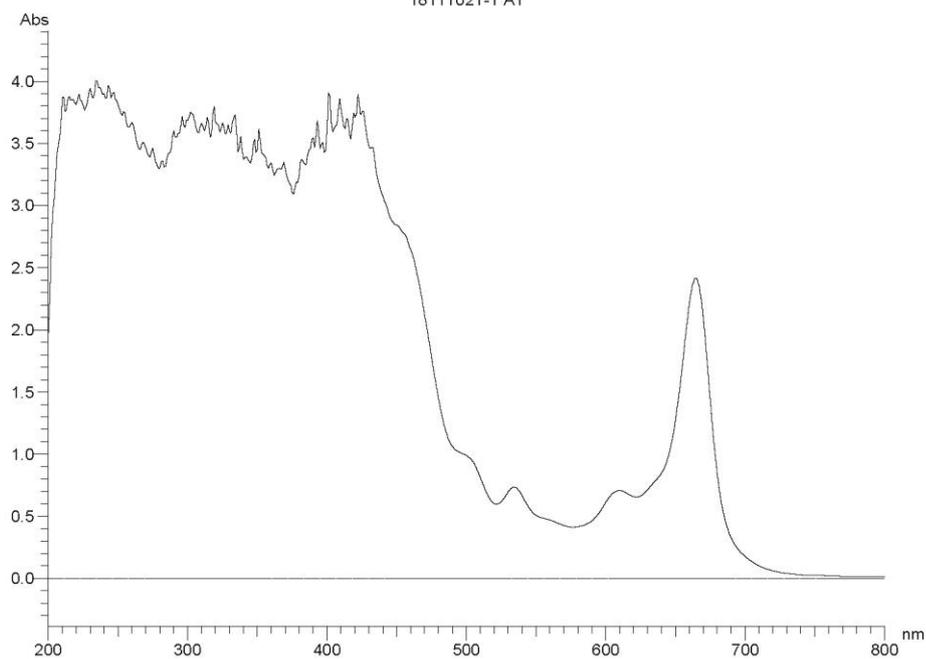
Angle
65.857 °
98.772 °
85.070 °
56.849 °
75.782 °
10.978 °
12.336 °
38.557 °
55.716 °
37.877 °
47.722 °
26.013 °
24.736 °
25.052 °
25.496 °
25.319 °

d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
1.41706 Å	9.69	23.0	4.6 %	n.a.	No
1.01473 Å	9.73	22.8	4.6 %	n.a.	No
1.13942 Å	9.97	21.5	4.7 %	n.a.	No
1.61827 Å	10.9	29.7	5.2 %	n.a.	No
1.25422 Å	12.0	31.2	5.7 %	n.a.	No
8.05282 Å	14.6	31.8	6.9 %	n.a.	No
7.16903 Å	15.5	32.7	7.3 %	n.a.	No
2.33311 Å	17.8	42.9	8.4 %	n.a.	No
1.64848 Å	19.1	43.2	9.1 %	n.a.	No
2.37342 Å	40.8	66.8	19.3 %	n.a.	No
1.90422 Å	49.2	73.3	23.3 %	n.a.	No
3.42268 Å	73.4	102	34.7 %	n.a.	No
3.59631 Å	78.0	106	37.0 %	n.a.	No
3.55170 Å	135	163	63.7 %	n.a.	No
3.49082 Å	178	207	84.1 %	n.a.	No
3.51488 Å	211	240	100.0 %	n.a.	No

Hasil Pengujian UV-Vis

Report Date: 10:36:14, 11/19/2021

18111021-1 A1



Sample: 18111021-1 A1
File name: 18111021-1 A1.UDS
Run Date: 10:09:00, 11/19/2021
Operator: User
Comment:

Instrument Model: U-2900 Spectrophotometer
Serial Number:
ROM Version: 2J15301 05

Instrument Parameters
Measurement Type: Wavelength Scan
Data Mode: Abs
Starting Wavelength: 800.0 nm
Ending Wavelength: 200.0 nm
Scan Speed: 400 nm/min
Sampling Interval: 1.0 nm
Slit Width: 1.50 nm
Lamp change mode: Auto
Auto change wavelength: 340.0 nm
Baseline Correction: System
Wait time: 0 s
Cycle Time: 0 min
Replicates: 1
Response: Medium
Path Length: 10.0 mm

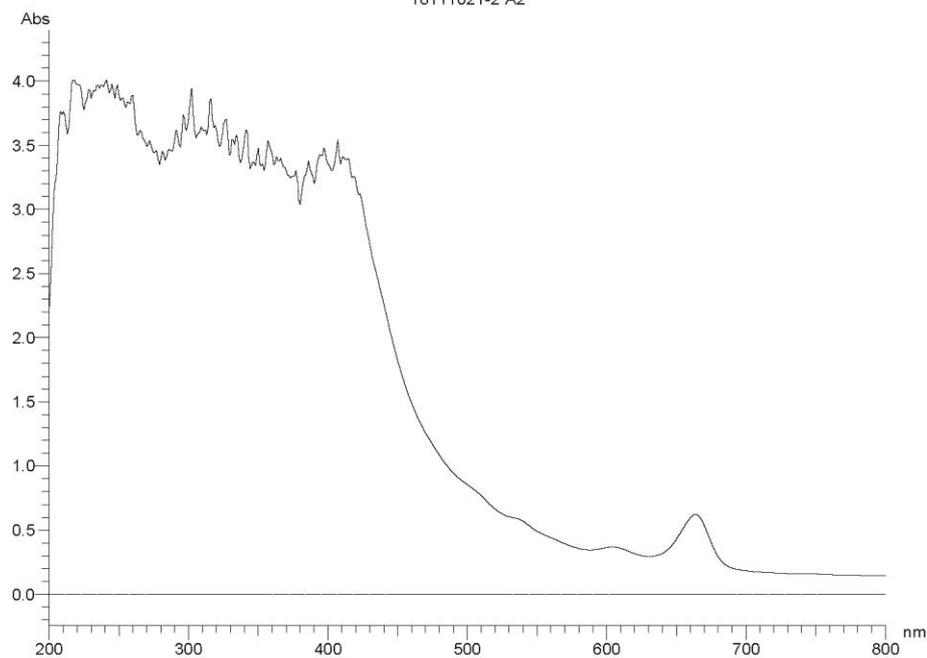
Peak Integration

Method: Rectangular
Sensitivity: 1
Threshold: 0.0100

Peaks Peak #	Start (nm)	Apex (nm)	End (nm)	Height (Abs)	Area (Abs*nm)	Valley (nm)	Valley (Ab
1	800.0	664.0	622.0	2.417	90.345	622.0	0.654
2	622.0	610.0	577.0	0.708	26.310	577.0	0.413
3	577.0	534.0	522.0	0.735	30.707	522.0	0.597
4	522.0	422.0	417.0	3.893	221.652	417.0	3.535
5	417.0	409.0	398.0	3.860	73.320	398.0	3.429
6	398.0	393.0	376.0	3.683	78.143	376.0	3.092
7	376.0	369.0	362.0	3.348	48.619	362.0	3.244
8	362.0	351.0	345.0	3.618	61.207	345.0	3.342
9	345.0	334.0	327.0	3.731	66.839	327.0	3.576
10	327.0	314.0	308.0	3.710	72.862	308.0	3.585
11	308.0	302.0	279.0	3.752	106.434	279.0	3.296
12	279.0	234.0	226.0	4.003	199.985	226.0	3.769
13	226.0	215.0	200.0	3.879	93.388	200.0	1.977

Report Date: 10:38:13, 11/19/2021

18111021-2 A2



Sample: 18111021-2 A2
File name: 18111021-2 A2.UDS
Run Date: 10:15:05, 11/19/2021
Operator: User
Comment:

Instrument
Model: U-2900 Spectrophotometer
Serial Number:
ROM Version: 2J15301 05

Instrument Parameters
Measurement Type: Wavelength Scan
Data Mode: Abs
Starting Wavelength: 800.0 nm
Ending Wavelength: 200.0 nm
Scan Speed: 400 nm/min
Sampling Interval: 1.0 nm
Slit Width: 1.50 nm
Lamp change mode: Auto
Auto change wavelength: 340.0 nm
Baseline Correction: System
Wait time: 0 s
Cycle Time: 0 min
Replicates: 1
Response: Medium
Path Length: 10.0 mm

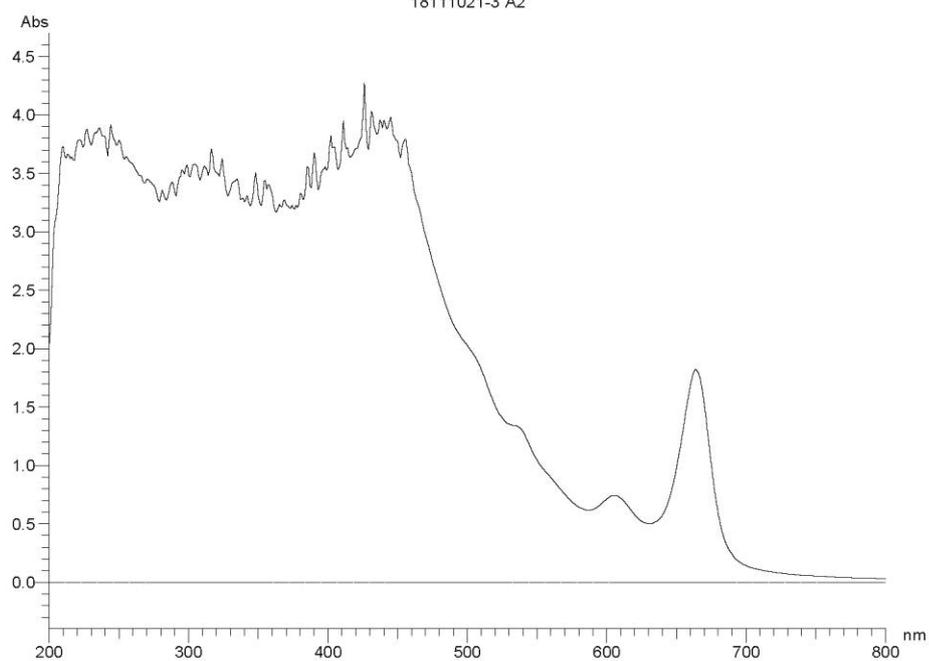
Peak Integration

Method: Rectangular
Sensitivity: 1
Threshold: 0.0100

Peaks Peak #	Start (nm)	Apex (nm)	End (nm)	Height (Abs)	Area (Abs*nm)	Valley (nm)	Valley (Ab
1	800.0	664.0	630.0	0.622	42.185	630.0	0.295
2	630.0	604.0	588.0	0.369	14.627	588.0	0.345
3	588.0	407.0	403.0	3.543	243.079	403.0	3.303
4	403.0	397.0	390.0	3.477	47.057	390.0	3.202
5	390.0	386.0	380.0	3.376	35.656	380.0	3.038
6	380.0	357.0	354.0	3.537	89.845	354.0	3.304
7	354.0	350.0	344.0	3.475	36.979	344.0	3.314
8	344.0	341.0	337.0	3.622	27.710	337.0	3.365
9	337.0	327.0	322.0	3.702	56.595	322.0	3.491
10	322.0	316.0	305.0	3.863	65.419	305.0	3.561
11	305.0	302.0	279.0	3.945	96.254	279.0	3.348
12	279.0	241.0	225.0	4.007	207.563	225.0	3.778
13	225.0	218.0	200.0	4.008	91.019	200.0	2.247

Report Date: 10:39:01, 11/19/2021

18111021-3 A2



Sample: 18111021-3 A3
File name: 18111021-3 A3.UDS
Run Date: 10:21:10, 11/19/2021
Operator: User
Comment:

Instrument
Model: U-2900 Spectrophotometer
Serial Number:
ROM Version: 2J15301 05

Instrument Parameters
Measurement Type: Wavelength Scan
Data Mode: Abs
Starting Wavelength: 800.0 nm
Ending Wavelength: 200.0 nm
Scan Speed: 400 nm/min
Sampling Interval: 1.0 nm
Slit Width: 1.50 nm
Lamp change mode: Auto
Auto change wavelength: 340.0 nm
Baseline Correction: System
Wait time: 0 s
Cycle Time: 0 min
Replicates: 1
Response: Medium
Path Length: 10.0 mm

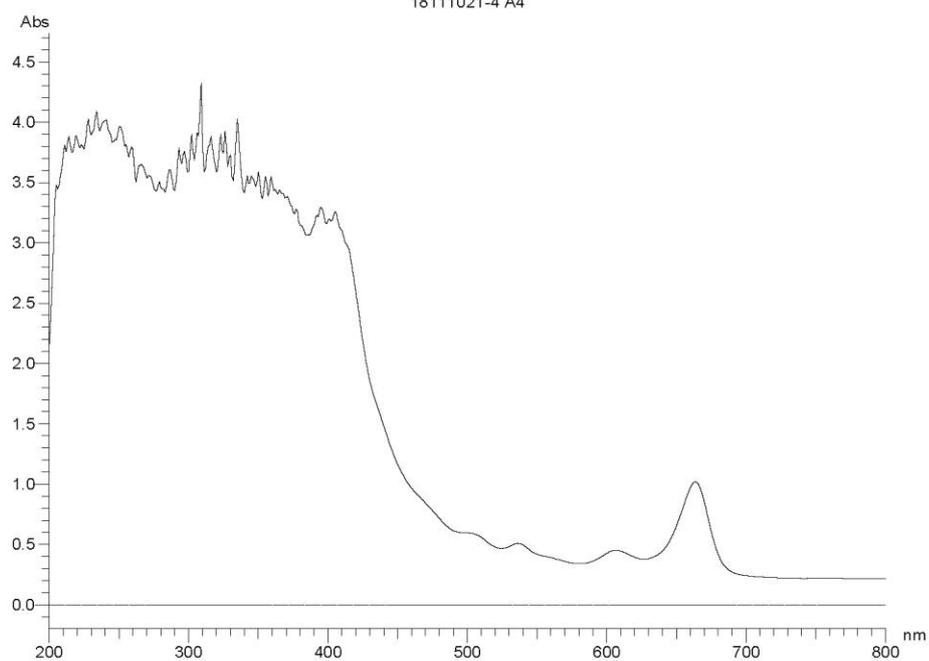
Peak Integration

Method: Rectangular
 Sensitivity: 1
 Threshold: 0.0100

Peaks Peak #	Start (nm)	Apex (nm)	End (nm)	Height (Abs)	Area (Abs*nm)	Valley (nm)	Valley (Ab
1	800.0	664.0	631.0	1.823	65.131	631.0	0.502
2	631.0	605.0	587.0	0.745	28.735	587.0	0.616
3	587.0	456.0	452.0	3.793	240.109	452.0	3.635
4	452.0	437.0	435.0	3.957	69.464	435.0	3.834
5	435.0	431.0	416.0	4.032	76.614	416.0	3.636
6	416.0	411.0	407.0	3.949	36.932	407.0	3.534
7	407.0	402.0	393.0	3.821	53.810	393.0	3.358
8	393.0	390.0	376.0	3.679	60.996	376.0	3.193
9	376.0	369.0	363.0	3.273	45.060	363.0	3.168
10	363.0	355.0	352.0	3.440	39.794	352.0	3.224
11	352.0	348.0	344.0	3.507	29.876	344.0	3.223
12	344.0	334.0	328.0	3.458	56.762	328.0	3.306
13	328.0	316.0	308.0	3.710	73.827	308.0	3.443
14	308.0	304.0	279.0	3.580	103.037	279.0	3.257
15	279.0	244.0	242.0	3.918	135.569	242.0	3.651
16	242.0	236.0	218.0	3.891	94.739	218.0	3.614
17	218.0	210.0	200.0	3.733	60.898	200.0	2.047

Report Date: 10:37:19, 11/19/2021

18111021-4 A4



Sample: 18111021-4 A4
File name: 18111021-4 A4. UDS
Run Date: 10:12:09, 11/19/2021
Operator: User
Comment:

Instrument
Model: U-2900 Spectrophotometer
Serial Number:
ROM Version: 2J15301 05

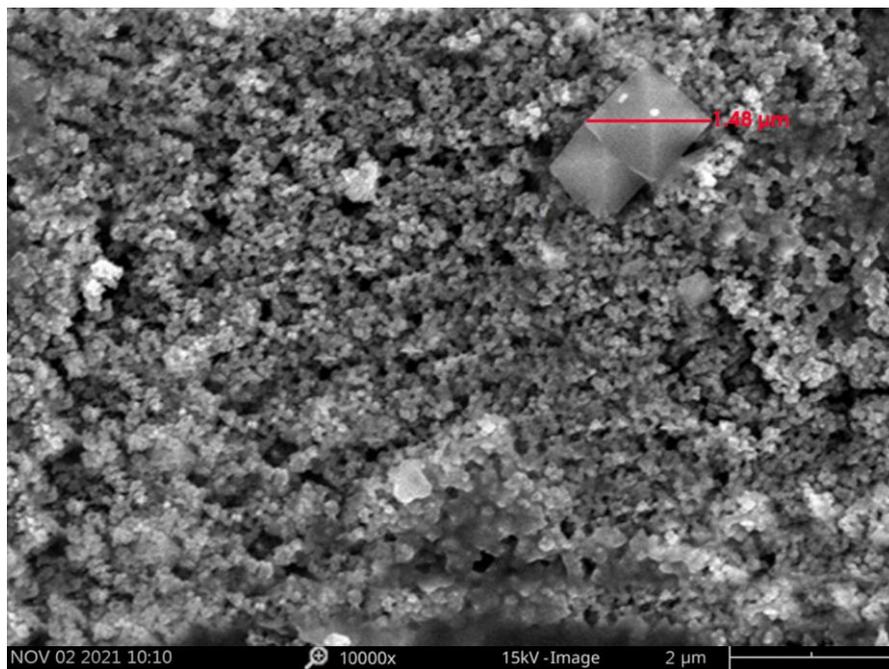
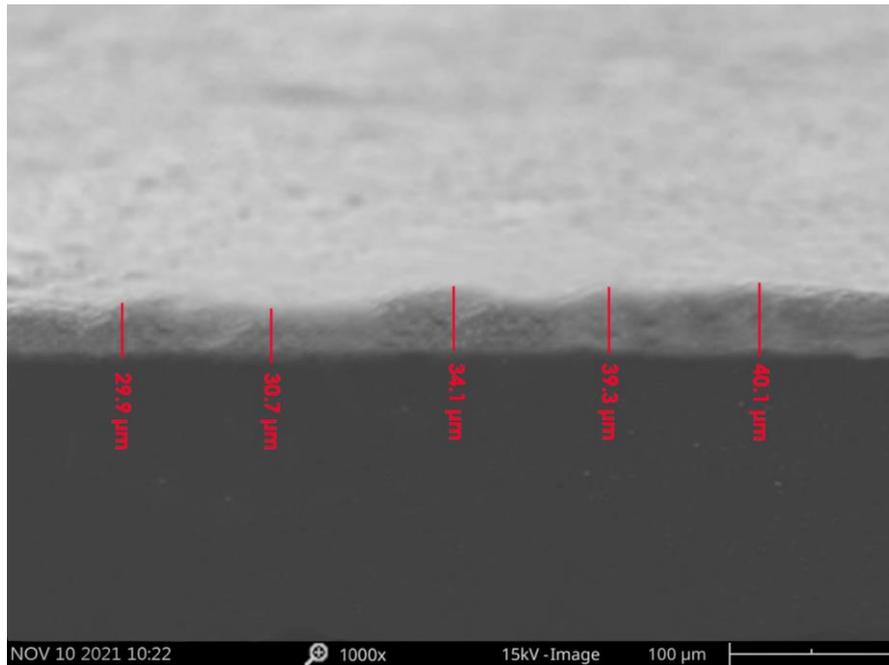
Instrument Parameters
Measurement Type: Wavelength Scan
Data Mode: Abs
Starting Wavelength: 800.0 nm
Ending Wavelength: 200.0 nm
Scan Speed: 400 nm/min
Sampling Interval: 1.0 nm
Slit Width: 1.50 nm
Lamp change mode: Auto
Auto change wavelength: 340.0 nm
Baseline Correction: System
Wait time: 0 s
Cycle Time: 0 min
Replicates: 1
Response: Medium
Path Length: 10.0 mm

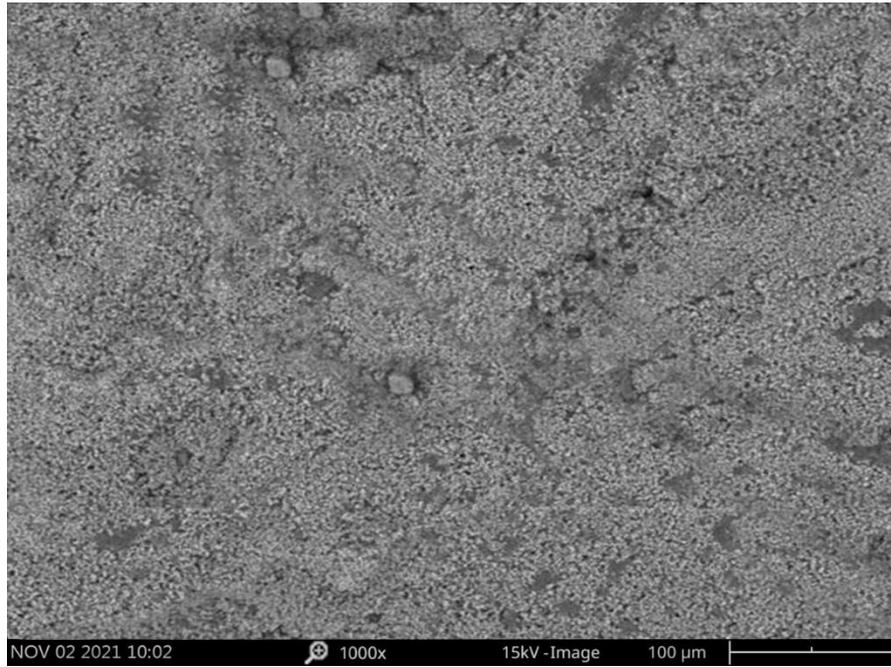
Peak Integration

Method: Rectangular
Sensitivity: 1
Threshold: 0.0100

Peaks Peak #	Start (nm)	Apex (nm)	End (nm)	Height (Abs)	Area (Abs*nm)	Valley (nm)	Valley (Ab
1	800.0	664.0	627.0	1.018	62.816	627.0	0.377
2	627.0	607.0	581.0	0.451	18.727	581.0	0.340
3	581.0	536.0	525.0	0.510	23.905	525.0	0.466
4	525.0	405.0	399.0	3.258	170.744	399.0	3.158
5	399.0	395.0	385.0	3.294	47.635	385.0	3.061
6	385.0	359.0	353.0	3.553	110.068	353.0	3.366
7	353.0	345.0	340.0	3.554	48.865	340.0	3.415
8	340.0	335.0	332.0	4.028	32.992	332.0	3.515
9	332.0	326.0	320.0	3.926	48.289	320.0	3.585
10	320.0	316.0	311.0	3.882	37.150	311.0	3.589
11	311.0	309.0	283.0	4.323	107.207	283.0	3.420
12	283.0	266.0	262.0	3.653	77.574	262.0	3.501
13	262.0	250.0	245.0	3.964	68.568	245.0	3.833
14	245.0	234.0	225.0	4.088	82.911	225.0	3.776
15	225.0	219.0	200.0	3.891	89.909	200.0	2.164

Hasil Uji SEM





Hasil Pengujian Tegangan dan Kuat Arus

K Ω	0 menit			5 menit		
	mV	μ A	P	mV	μ A	P
1	10,2	1,1	11,22	2,1	0,9	1,89
2	10,5	1,1	11,55	2,8	0,8	2,24
3	10,9	1,1	11,99	3,6	0,8	2,88
4	22,1	1	22,1	4,4	0,8	3,52
5	22,8	1	22,8	5,3	0,8	4,24
6	23,4	0,9	21,06	6	0,8	4,8
7	24,6	0,9	22,14	6,8	0,8	5,44
8	25,8	0,8	20,64	7,5	0,7	5,25
9	26,6	0,8	21,28	8,2	0,7	5,74
10	30,2	0,7	21,14	9,3	0,7	6,51
20	33,4	0,7	23,38	14,8	0,6	8,88
30	37,3	0,7	26,11	19,6	0,6	11,76
40	39,1	0,6	23,46	23,4	0,5	11,7
50	44,6	0,6	26,76	26,6	0,4	10,64
60	45,2	0,6	27,12	29,3	0,4	11,72
70	45,7	0,5	22,85	31,5	0,4	12,6
80	46,1	0,5	23,05	33,3	0,3	9,99
90	46,4	0,4	18,56	34,9	0,3	10,47
100	46,7	0,3	14,01	36,6	0,3	10,98
110	47	0,3	14,1	37,8	0,3	11,34
120	47,2	0,3	14,16	38,7	0,2	7,74
130	47,4	0,3	14,22	39,6	0,2	7,92
140	47,6	0,3	14,28	40,4	0,2	8,08
150	47,7	0,2	9,54	41,2	0,2	8,24
160	47,8	0,2	9,56	41,9	0,2	8,38
170	47,9	0,2	9,58	42,5	0,2	8,5
180	48,1	0,2	9,62	43	0,2	8,6
190	48,2	0,2	9,64	43,5	0,1	4,35
200	48,5	0,2	9,7	44,2	0,1	4,42
210	48,6	0,1	4,86	44,6	0,1	4,46
220	48,8	0,1	4,88	44,9	0,1	4,49
230	48,9	0,1	4,89	45,3	0,1	4,53
240	49	0,1	4,9	45,6	0,1	4,56
250	49,1	0,1	4,91	45,9	0,1	4,59
260	49,3	0,1	4,93	46,2	0,1	4,62
270	49,4	0,1	4,94	46,4	0,1	4,64
280	49,5	0,1	4,95	46,7	0,1	4,67
290	49,6	0,1	4,96	46,9	0,1	4,69
300	49,9	0,1	4,99	47,1	0,1	4,71
310	50	0,1	5	47,3	0,1	4,73
320	50,1	0,1	5,01	47,6	0,1	4,76
330	50,5	0,1	5,05	47,7	0,1	4,77

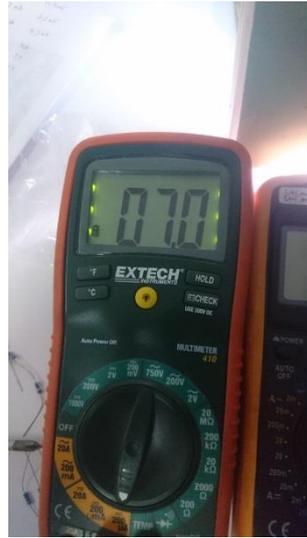
340	50,6	0,1	5,06		47,9	0,1	4,79
350	50,6	0,1	5,06		48	0,1	4,8
360	50,8	0,1	5,08		48,1	0,1	4,81
370	50,9	0,1	5,09		48,2	0,1	4,82
380	51,2	0,1	5,12		48,3	0,1	4,83
390	51,2	0,1	5,12		48,4	0	0
400	53	0,1	5,3		48,4	0	0
	Voc	59,6	mV		Voc	66,8	mV
	Isc	1,4	μ A		Isc	0,9	μ A
KΩ	10 menit				15 menit		
	mV	μA	P		mV	μA	P
1	3,2	1,5	4,8		1,7	0,7	1,19
2	4,7	1,5	7,05		2,4	0,7	1,68
3	6,2	1,5	9,3		3,1	0,7	2,17
4	7,5	1,4	10,5		3,8	0,7	2,66
5	8,8	1,4	12,32		4,6	0,7	3,22
6	10,1	1,4	14,14		5,3	0,7	3,71
7	11,3	1,3	14,69		5,9	0,7	4,13
8	12,5	1,3	16,25		6,6	0,6	3,96
9	13,6	1,3	17,68		7,2	0,6	4,32
10	14,4	1,2	17,28		7,8	0,6	4,68
20	23,1	1	23,1		13,3	0,6	7,98
30	29,4	0,9	26,46		17,6	0,5	8,8
40	34,1	0,8	27,28		21,1	0,4	8,44
50	37,7	0,7	26,39		24,2	0,4	9,68
60	40,6	0,6	24,36		26,5	0,4	10,6
70	42,8	0,5	21,4		28,8	0,3	8,64
80	44,7	0,5	22,35		30,5	0,3	9,15
90	46,3	0,4	18,52		32,2	0,3	9,66
100	47,6	0,4	19,04		33,5	0,2	6,7
110	48,6	0,4	19,44		34,5	0,2	6,9
120	49,5	0,3	14,85		35,5	0,2	7,1
130	50,4	0,3	15,12		36,2	0,2	7,24
140	51	0,3	15,3		37	0,2	7,4
150	51,8	0,3	15,54		37,7	0,2	7,54
160	52,1	0,2	10,42		38,4	0,2	7,68
170	52,7	0,2	10,54		38,8	0,1	3,88
180	53,1	0,2	10,62		39,3	0,1	3,93
190	53,4	0,2	10,68		39,8	0,1	3,98
200	54	0,2	10,8		40,6	0,1	4,06
210	54,2	0,2	10,84		40,7	0,1	4,07
220	54,4	0,2	10,88		41,2	0,1	4,12

230	54,7	0,2	10,94		41,5	0,1	4,15
240	54,9	0,1	5,49		41,8	0,1	4,18
250	55,1	0,1	5,51		41,9	0,1	4,19
260	55,3	0,1	5,53		42,1	0,1	4,21
270	55,4	0,1	5,54		42,3	0,1	4,23
280	55,7	0,1	5,57		42,6	0,1	4,26
290	55,8	0,1	5,58		42,7	0,1	4,27
300	56	0,1	5,6		43	0,1	4,3
310	56,3	0,1	5,63		43,2	0,1	4,32
320	56,4	0,1	5,64		43,3	0,1	4,33
330	56,6	0,1	5,66		43,4	0,1	4,34
340	56,7	0,1	5,67		43,6	0,1	4,36
350	56,8	0,1	5,68		43,7	0,1	4,37
360	56,9	0,1	5,69		43,7	0,1	4,37
370	57	0,1	5,7		43,9	0,1	4,39
380	57,1	0,1	5,71		43,9	0,1	4,39
390	57,1	0,1	5,71		44	0,1	4,4
400	57,3	0,1	5,73		44	0,1	4,4
	Voc	69,3	mV		Voc	56,7	mV
	Isc	1,6	μ A		Isc	0,7	μ A

Pengukuran Tegangan dengan Multimeter



Pengukuran Kuat Arus dengan Multimeter



Hasil Analisis Software Match 3

Match! Phase Analysis Report

Sample: 1833-2 T5_exported

Sample Data

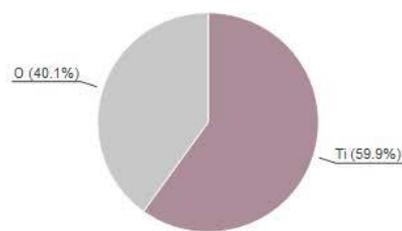
File name 1833-2 T5_exported.brx
 File path D:/SKRIPSI/IKRD/1833-2 T5/New folder
 Data collected Dec 5, 2021 19:00:13
 Data range 5.002° - 99.992°
 Original data range 5.002° - 99.992°
 Number of points 4678
 Step size 0.020
 Rietveld refinement converged No
 Alpha2 subtracted No
 Background subtr. No
 Data smoothed Yes
 Radiation X-rays
 Wavelength 1.541874 Å

Analysis Results

Phase composition



Elemental composition



Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	100.0	Anatase	O ₂ Ti
	5.5	Unidentified peak area	

Amounts calculated by RIR (Reference Intensity Ratio) method

Element	Amount (weight %)
Ti	59.9%
O	40.1% (*)
*LE (sum)	40.1%

Details of identified phases

A: Anatase (100.0 %)^{*}

Formula sum O₂Ti
 Entry number 96-900-9087
 Figure-of-Merit (FoM) 0.726683^{*}
 Total number of peaks 86
 Peaks in range 43
 Peaks matched 15
 Intensity scale factor 0.63^{*}
 Space group I 41/a m d
 Crystal system tetragonal
 Unit cell a= 3.7850 Å c= 9.5140 Å
 I/Ic 4.80
 Calc. density 3.893 g/cm³
 Reference Wyckoff R. W. G., "Second edition. Interscience Publishers, New York, New York", Crystal Structures 1, 239-444 (1963)

^{*}Theta values have been shifted internally for the calculation of the amounts, the intensity scaling factors as well as the figure-of-merit (FoM), due to the active search-match option 'Automatic zero point adaption'.

Search-Match

Settings

Reference database used COD-Inorg 2022.06.29
 Automatic zeropoint adaptation Yes
 Downgrade entries with low scaling factors Yes
 Minimum figure-of-merit (FoM) 0.60
 2theta window for peak corr. 0.30 deg.
 Minimum rel. int. for peak corr. 0
 Parameter/influence 2theta 0.50
 Parameter/influence intensities 0.50
 Parameter multiple/single phase(s) 0.50

Peak List

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0 (peak height)	Counts (peak area)	FWHM	Matched
1	7.24	12.2166	22.81	0.07	0.6093	
2	25.37	3.5104	1000.00	5.89	1.1374	A
3	30.88	2.8960	60.80	0.45	1.4217	
4	37.90	2.3737	153.86	1.42	1.7873	A
5	47.98	1.8962	193.60	1.39	1.3811	A
6	54.72	1.6775	183.15	1.93	2.0310	
7	62.93	1.4770	93.58	0.97	1.9904	A
8	69.34	1.3552	37.49	0.29	1.5029	
9	75.07	1.2654	42.75	0.36	1.6248	A
10	83.05	1.1629	36.65	0.34	1.7873	A
11	95.32	1.0430	30.34	0.22	1.3811	A
12	98.29	1.0193	21.83	0.38	3.3715	A

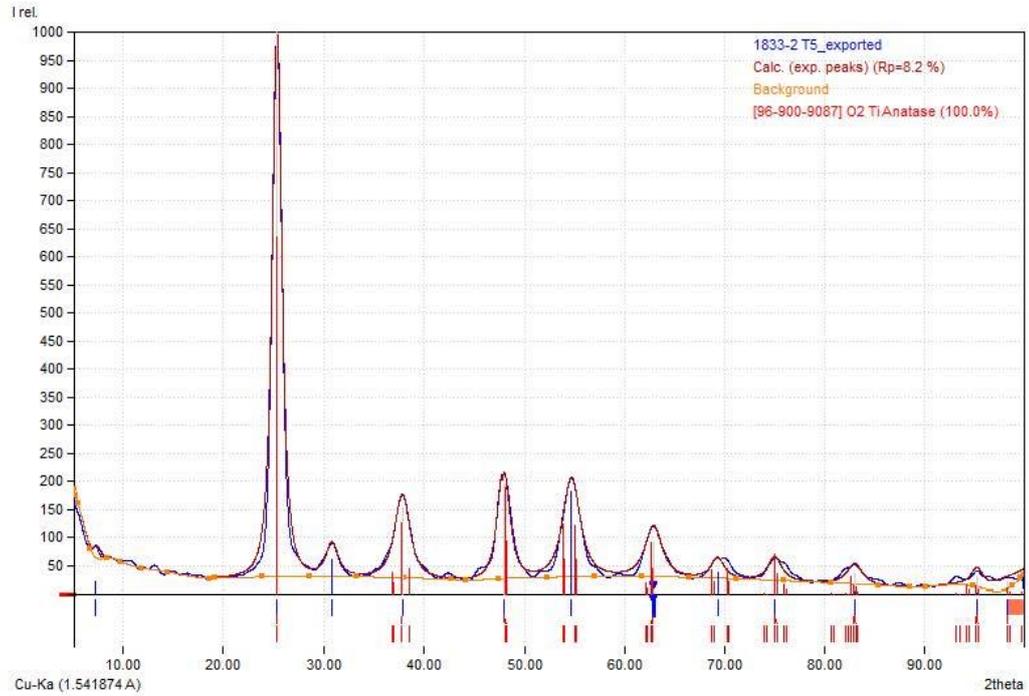
Integrated Profile Areas**Based on calculated profile**

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	1216	100.00%
Background radiation	568	46.73%
Diffraction peaks	648	53.27%
Peak area belonging to selected phases	581	47.80%
Peak area of phase A (Anatase)	581	47.80%
Unidentified peak area	67	5.47%

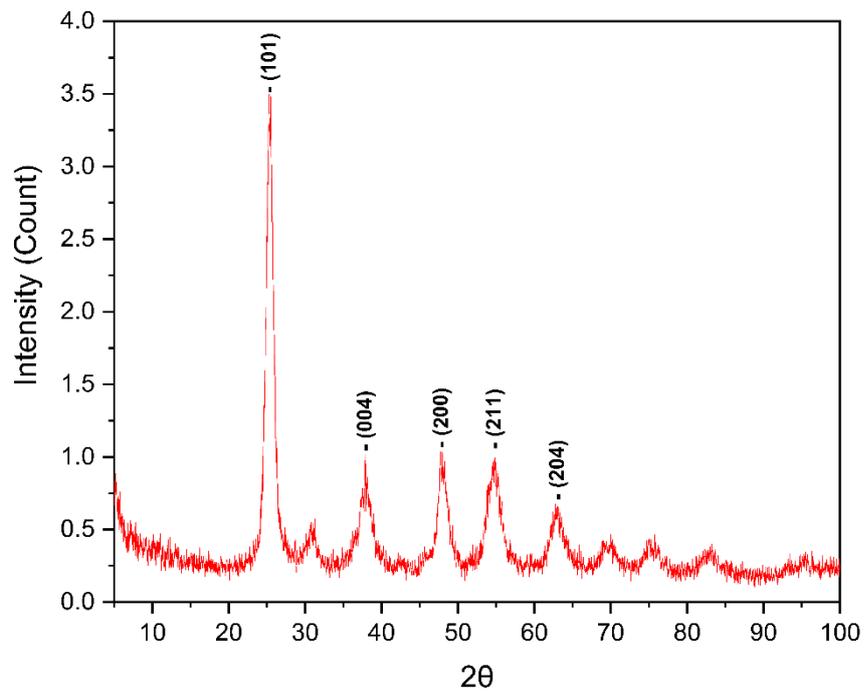
Peak Residuals

Peak data	Counts	Amount
Overall peak intensity	14	100.00%
Peak intensity belonging to selected phases	10	75.77%
Unidentified peak intensity	3	24.23%

Diffraction Pattern Graphics



Match! Copyright © 2003-2022 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany



Hasil Perhitungan Energi Bandgap

