

**PERBANDINGAN SIFAT OPTIK *CARBON NANODOTS*  
BERBAHAN DASAR GULA PASIR DAN AIR JERUK DENGAN  
METODE SINTESIS *HYDROTHERMAL* DAN *MICROWAVE***

**SKRIPSI**

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh  
**SILMA MAULA BILQIS**  
13306144005

**PROGRAM STUDI FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2017**

## PERSETUJUAN

Skripsi yang berjudul “**Perbandingan Sifat Optik *Carbon Nanodots* Berbahan Dasar Gula Pasir Dan Air Jeruk Dengan Metode Sintesis *Hydrothermal Dan Microwave***” yang disusun Silma Maula Bilqis, NIM. 13306144005 ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, 13 Oktober 2017

Pembimbing I,



Dr. Isnaeni, M.Sc.

NIP. 19780210 200012 1 004

Pembimbing II,



Wipsar Sunu Brams Dwandaru, Ph. D.

NIP. 19800129 200501 1 003

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

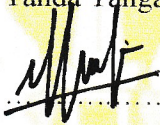

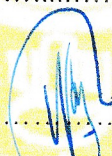
### PERBANDINGAN SIFAT OPTIK *CARBON NANODOTS* BERBAHAN DASAR GULA PASIR DAN AIR JERUK DENGAN METODE SINTESIS *HYDROTHERMAL* DAN *MICROWAVE*

Disusun oleh:

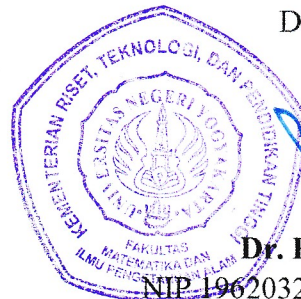
Silma Maula Bilqis  
NIM 13306144005

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta  
Pada tanggal 23 Oktober 2017

#### TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Dr. Isnaeni, M.Sc Ketua Penguji/Pembimbing I		15/11/2017
W.S. Brams Dwandaru, Ph.D Sekretaris/Pembimbing II		14/11/2017
Nur Kadarisman, M.Si Penguji		14/11/2017

Yogyakarta, 20 November 2017  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Dekan,



**Dr. Hartono**

NIP. 19620329 198702 1 002

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Silma Maula Bilqis

NIM : 13306144005

Program Studi : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Judul Skripsi : Perbandingan Sifat Optik *Carbon Nanodots* Berbahan Dasar Gula Pasir dan Air Jeruk dengan Metode Sintesis *Hydrothermal* dan *Microwave*

Menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila terbukti pernyataan saya tidak benar, sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Yogyakarta, 11 Oktober 2017

Yang Menyatakan,



Silma Maula Bilqis

NIM. 13306144005

## **MOTTO**

*“Karena setiap pilihan punya konsekuensinya masing-masing, selesaikan apa yang telah kamu pilih.”*

*“Allah tidak akan memberikan cobaan di luar batas kemampuan hamba-Nya. Jangan menyerah! Allah bersamamu.”*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir skripsi ini kupersembahkan untuk:

1. Ibunda Niemi dan Ayahanda Banita tercinta yang telah dan masih memberikan kasih sayangnya hingga aku bisa melewati semua tahapan kehidupan.
2. Semua dosen pengajar Universitas Negeri Yogyakarta khususnya Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat hingga tersusunnya karya ini.
3. Orang-orang terdekatku yang dikirim Allah untuk selalu memberikan dukungan, pengalaman serta pelajaran kehidupan untuk menjadi pribadi yang lebih baik.
4. Warga kelas Fisika E 2013 untuk kebersamaan dan cerita indah yang telah kalian torehkan di bagian hidupku.
5. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan doa hingga tersusunnya karya ini.

# PERBANDINGAN SIFAT OPTIK *CARBON NANODOTS* BERBAHAN DASAR GULA PASIR DAN AIR JERUK DENGAN METODE SINTESIS *HYDROTHERMAL* DAN *MICROWAVE*

Oleh:  
Silma Maula Bilqis  
13306144005

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan (1) membandingkan sifat optik C-dots berbahan dasar gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* dan (2) membandingkan sifat optik C-dots berbahan dasar air jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*.

Penelitian ini menghasilkan empat buah sampel larutan C-dots berbahan dasar gula pasir dan air jeruk. Larutan gula pasir dan air perasan jeruk yang terbentuk disintesis dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*. Hasil sintesis dari kedua metode dari masing-masing bahan dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, *Photoluminescence* (PL), *Time-Resolved Photoluminescence* (TRPL), *Transmission Electron Microscopy* (TEM) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

Sintesis C-dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* memiliki hasil penampakan dan karakterisasi yang berbeda. Hasil karakterisasi UV-Vis kedua metode menghasilkan puncak absorpsi pada panjang gelombang yang berbeda. Hasil karakterisasi PL menghasilkan emisi pada panjang gelombang puncak serta lebar grafik yang berbeda. Hasil TRPL menunjukkan waktu luruh elektron pada C-dots metode *microwave* lebih cepat luruh dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan C-dots larutan gula pasir yang dihasilkan dengan metode *microwave* memiliki *surface states* yang dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil TEM kedua metode menghasilkan C-dots dengan ukuran yang berbeda. Hasil FTIR menunjukkan larutan C-dots telah berhasil dibuat dari bahan dasar gula pasir dengan adanya gugus fungsi C=C. Hasil sintesis dan karakterisasi C-dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* memiliki kesimpulan yang sama dengan hasil C-dots larutan gula pasir.

**Kata kunci:** C-dots, metode *hydrothermal*, metode *microwave*

# **THE CARBON NANODOTS OPTICAL PROPERTIES COMPARISON OF SUGAR-BASED AND ORANGE JUICE BY HYDROTHERMAL AND MICROWAVE SYNTHESIS METHODS**

By:  
Silma Maula Bilqis  
13306144005

## **ABSTRACT**

This study aims to (1) compare the optical properties of sugar-based C-dots by hydrothermal and microwave methods and (2) compare the optical properties of C-dots based orange juice by hydrothermal and microwave methods.

This study produced four samples of C-dots solutions based on sugar and orange juice. The sugar solution and orange juice are synthesized by hydrothermal and microwave methods. The synthesis results of both methods of each material were characterized using UV-Vis, Photoluminescence (PL), Time-Resolved Photoluminescence (TRPL), Transmission Electron Microscopy (TEM) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) spectrometers.

The synthesis of C-dots sugar solution by hydrothermal and microwave methods has different appearance and characterization results. The result of UV-Vis characterization of both methods yielded the absorption peak at different wavelengths. The PL characterization results in emissions at the different peak wavelengths and graphs width. The TRPL results show that the disintegration time of electrons in C-dots of the microwave method is more rapid than in the hydrothermal method. It showed that C-dots of sugar solution produced by microwave method have dominant surface states compared to the hydrothermal method. The TEM result of both methods generate C-dots of different sizes. The FTIR results show that C-dots solution has been successfully prepared from the basic ingredients of sugar in the presence of a functional group C = C. The results of synthesis and characterization of C-dots of orange solution by hydrothermal and microwave method have the same conclusions with C-dots of sugar solution.

**Keywords:** C-dots, hydrothermal method, microwave method.



## KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi yang berjudul **“Perbandingan Sifat Optik *Carbon Nanodots* Berbahan Dasar Gula Pasir dan Air Jeruk dengan Metode Sintesis *Hydrothermal* dan *Microwave*”** sesuai dengan harapan. Tugas akhir skripsi ini tidak akan dapat selesai dengan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA UNY atas fasilitas dan bantuan yang diberikan dalam memperlancar administrasi tugas akhir.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir skripsi ini.
3. Nur Kadarisman, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin dalam penelitian tugas akhir skripsi ini.
4. Dr. Isnaeni, M.Sc., selaku dosen pembimbing pertama yang telah meluangkan waktu membimbing dan mengarahkan penulis selama penelitian berlangsung. Terima kasih pula untuk ilmu serta pengalaman luar biasa yang telah diberikan selama penelitian. (email : [isnaeniusman@gmail.com](mailto:isnaeniusman@gmail.com))

5. Wipzar Sunu Brams Dwandaru, Ph.D., selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktu di sela-sela kesibukan untuk membimbing dan mengarahkan penulis.
6. Laila Katriani, M.Si., selaku Penasehat Akademik yang telah memberikan arahan dan motivasi.
7. Seluruh Dosen Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat.
8. Haris Murtanto, selaku petugas laboratorium Fisika Koloid Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah menyediakan sarana dan fasilitas untuk kelancaran pelaksanaan tugas akhir skripsi.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan naskah skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk menjadi lebih baik. Semoga naskah skripsi ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan menambah wawasan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, 11 Oktober 2017

Penulis,



Silma Maula Bilqis

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL .....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
MOTTO .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRAC .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah .....	4
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah .....	5
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
A. <i>Carbon Nanodots</i> (C-dots).....	7
B. Metode <i>Hydrothermal</i> .....	8
C. Metode <i>Microwave</i> .....	9
D. Spektrofotometer UV-Vis .....	11
E. <i>Photoluminescence</i> (PL) .....	16
F. <i>Time-Resolved Photoluminescence</i> (TRPL) .....	21
G. <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM) .....	21
H. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR) .....	24
I. Kerangka Berpikir .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
B. Variable Penelitian .....	27
C. Jenis Penelitian.....	28
D. Alat dan Bahan.....	28

E. Langkah Penelitian.....	29
F. Diagram Alir .....	32

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Sintesis C-dots Larutan Gula Pasir dengan Metode <i>Hydrothermal</i> dan <i>Microwave</i> .....	33
B. Hasil Karakterisasi Optik C-dots Larutan Gula Pasir dengan Metode <i>Hydrothermal</i> dan <i>Microwave</i> .....	34
C. Hasil Sintesis C-dots Air Jeruk dengan Metode <i>Hydrothermal</i> dan <i>Microwave</i> .....	46
D. Hasil Karakterisasi Optik C-dots Air Jeruk dengan Metode <i>Hydrothermal</i> dan <i>Microwave</i> .....	48

**BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

A. Kesimpulan .....	62
B. Saran .....	63

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	64
<b>LAMPIRAN</b> .....	67

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
<b>Gambar 1.</b>	Proses sintesis C-dots dengan metode <i>hydrothermal</i> .....	8
<b>Gambar 2.</b>	Prosedur preparasi C-dots berlapis hidroksil fluoresens (Liu, <i>et al</i> , 2011) .....	9
<b>Gambar 3.</b>	Proses sintesis C-dots dengan metode <i>microwave</i> .....	10
<b>Gambar 4.</b>	Sintesis C-dots menggunakan metode <i>microwave</i> oleh (Zhu, <i>et al</i> , 2009) .....	11
<b>Gambar 5.</b>	Spektrofotometer UV-Vis (a) konvensional dan (b) <i>diode array</i> (Owen, 2000).....	13
<b>Gambar 6.</b>	Berbagai jenis eksitasi elektronik ( <a href="https://www.chemistry.msu.edu">https://www.chemistry.msu.edu</a> ) .....	14
<b>Gambar 7.</b>	hasil karakterisasi UV-Vis C-dots dari glukosa, sebelum (a) dan sesudah (b) pasivasi oleh TTDDA (Peng, <i>et al</i> , 2009) .....	16
<b>Gambar 8.</b>	Proses Luminesensi (Kurniawan, 2008) .....	17
<b>Gambar 9.</b>	Prinsip <i>photoluminescence spectroscopy</i> (PL) (Patel, 2015) .....	19
<b>Gambar 10.</b>	Dua pita fluoresensi yang diamati dalam C-dots, yang juga dapat dikaitkan dengan emisi <i>core</i> dan <i>surface states</i> (Zhu, <i>et al</i> , 2015) .....	20
<b>Gambar 11.</b>	Komponen dasar FTIR (Patel, 2015) .....	25
<b>Gambar 12.</b>	Bagan diagram alir .....	32
<b>Gambar 13.</b>	Hasil sintesis C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	33
<b>Gambar 14.</b>	Hasil karakterisasi UV-Vis C-dots larutan gula pasir dengan metode <i>hydrothermal</i> dan <i>microwave</i> .....	35
<b>Gambar 15.</b>	Hasil karakterisasi PL C-dots larutan gula pasir dengan metode <i>hydrothermal</i> dan metode <i>microwave</i> .....	36
<b>Gambar 16.</b>	Hasil <i>fitting</i> grafik PL C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	38
<b>Gambar 17.</b>	Hasil karakterisasi TRPL C-dots larutan gula pasir dengan metode <i>hydrothermal</i> dan metode <i>microwave</i> .....	39
<b>Gambar 18.</b>	Hasil fitting grafik TRPL C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	40
<b>Gambar 19.</b>	Hasil pengujian TEM C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	41
<b>Gambar 20.</b>	Hasil persentase persebaran ukuran diameter C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	41

	.....	43
<b>Gambar 21.</b>	Hasil karakterisasi FTIR C-dots larutan gula pasir .....	45
<b>Gambar 22.</b>	Hasil sintesis C-dots larutan jeruk dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	47
<b>Gambar 23.</b>	Hasil karakterisasi UV-Vis C-dots larutan jeruk dengan metode <i>hydrothermal</i> dan <i>microwave</i> .....	48
<b>Gambar 24.</b>	Hasil karakterisasi PL C-dots larutan jeruk dengan metode <i>hydrothermal</i> dan metode <i>microwave</i> .....	50
<b>Gambar 25.</b>	Hasil <i>fitting</i> grafik PL C-dots larutan jeruk dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	51
<b>Gambar 26.</b>	Hasil karakterisasi TRPL C-dots larutan jeruk dengan metode <i>hydrothermal</i> dan metode <i>microwave</i> .....	53
<b>Gambar 26.</b>	Hasil karakterisasi TRPL C-dots larutan jeruk dengan metode <i>hydrothermal</i> dan metode <i>microwave</i> .....	53
<b>Gambar 27.</b>	Hasil <i>fitting</i> grafik TRPL C-dots larutan jeruk dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	54
<b>Gambar 28.</b>	Hasil karakterisasi TEM larutan jeruk dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	55
<b>Gambar 29.</b>	Grafik persebaran ukuran diameter C-dots larutan jeruk dengan metode (a) <i>hydrothermal</i> dan (b) <i>microwave</i> .....	58
<b>Gambar 30.</b>	Hasil karakterisasi FTIR C-dots larutan jeruk .....	59

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Kromofor sederhana dan karakteristik penyerapan cahaya.....	15
<b>Tabel 2.</b> Hasil pengukuran diameter C-dots larutan gula pasir .....	43
<b>Tabel 3.</b> Perbandingan sifat optik hasil karakterisasi C-dots larutan gula pasir dengan metode <i>hydrothermal</i> dan <i>microwave</i> .....	46
<b>Tabel 4.</b> Hasil pengukuran diameter C-dots larutan jeruk.....	57
<b>Tabel 5.</b> Perbandingan sifat optik hasil karakterisasi C-dots larutan jeruk dengan metode <i>hydrothermal</i> dan <i>microwave</i> .....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran 1</b> Dokumentasi Alat, Bahan, dan Proses Pengambilan Data .....	66



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara tropis yang ditumbuhi berbagai macam tumbuhan. Mulai dari tumbuhan palawija, berbagai macam buah-buahan, sayuran, sampai tumbuhan suku rerumputan. Jeruk (*Citrus reticulata*) merupakan buah yang banyak ditemui di Indonesia. Waktu panen yang lebih dari sekali dalam setahun membuat jeruk banyak diminati petani. Jeruk siam merupakan jenis jeruk yang banyak diproduksi karena tumbuhannya cepat berbuah dan memiliki produktivitas tinggi. Selain jeruk, terdapat tebu yang merupakan tumbuhan suku rerumputan yang banyak ditemui di Indonesia. Tebu (*Saccharum officinarum*) merupakan tanaman penghasil gula pasir yang banyak dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Selain untuk dikonsumsi, gula pasir dan jeruk dapat dimanfaatkan dalam proses sintesis nanomaterial yang hasilnya dapat diaplikasikan dalam bidang nanoteknologi. Salah satu nanomaterial yang sedang dan terus dikembangkan adalah *carbon nanodots* (C-dots). C-dots memanfaatkan karbon yang terkandung di dalam gula pasir ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) dan buah jeruk ( $C_6H_8O_7$ ) untuk menghasilkan partikel karbon berukuran nano yang berdaya guna tinggi dalam kemajuan teknologi, seperti *white LED* (Wang, *et al*, 2011), *bioimaging* (Li, *et al*, 2014), *biolabelling and imaging* (Wang, *et al*, 2011), dan *metal-ion sensing* (LiQin, *et al*, 2011).

C-dots merupakan kelas baru dari nanomaterial karbon dengan ukuran di bawah 10 nm. Material ini pertama kali diperoleh saat pemurnian *single-walled carbon nanotubes* melalui Elektroforesis preparatif pada tahun 2004 (Li, *et al*, 2012). C-dots memiliki beberapa kelebihan yaitu toksisitas rendah (Li, *et al*, 2012), sifat fotoluminesensi yang kuat (Soni dan Maria, 2016), serta bahan baku melimpah di alam (Soni dan Maria, 2016). Bahan baku yang melimpah di alam menyebabkan banyaknya penelitian C-dots dengan berbagai macam bahan seperti susu kedelai (Zhu, *et al*, 2012), sari jeruk (Sahu, *et al*, 2012) dan citrid acid (Zhai, *et al*, 2012).

C-dots dapat disintesis dari berbagai macam metode. Metode dalam sintesis C-dots secara umum diklasifikasikan ke dalam dua cara, yaitu: metode *top-down* dan *bottom-up* (Baker dkk, 2010). Metode *top-down* merupakan metode sintesis secara fisika meliputi *laser ablation method*, *arc discharge method*, dan *plasma treatment*, sedangkan metode *bottom-up* merupakan metode sintesis secara kimia yang meliputi *electrochemical synthesis*, *hydrothermal synthesis*, *microwave synthesis* dan *support assisted synthesis* (Soni dan Maria, 2016).

Berbagai macam penelitian mengenai sintesis C-dots telah banyak dilakukan dengan metode yang berbeda. Metode *microwave* merupakan salah satu metode yang dilakukan dengan proses pemanasan menggunakan gelombang *micro*. Gelombang mikro yang dihasilkan dapat mempermudah dan mempercepat proses sintesis (Rahmayanti, 2015). Metode lain yang melibatkan proses pemanasan adalah *hydrothermal*. Metode *hydrothermal*

dikategorikan sebagai metode sintesis sederhana karena prinsip pemanasannya menggunakan kadar oksigen rendah (Dewi, 2016). Beberapa peneliti telah melakukan sintesis menggunakan metode *microwave* dan *hydrothermal* berbahan dasar bahan alam. Zhu, *et al* (2009) dalam Soni dan Maria (2016) mensintesis C-dots menggunakan metode *microwave* dalam hitungan menit. Jumlah PEG-200 yang berbeda dengan sakarida (glukosa, fruktosa, dll.) dilarutkan dalam air dan kemudian dipanaskan dalam *oven microwave* 500 W selama 2 sampai 10 menit. Perubahan warna dari tidak berwarna menjadi kuning sampai coklat muda mengindikasikan terbentuknya C-dots. Ada pula Liu, *et al* (2011) dalam Soni dan Maria (2016) mensintesis C-dots dari jelaga lilin dengan reaksi *hydrothermal*. Jelaga lilin yang dikumpulkan disonikasi dalam larutan NaOH dan dipanaskan pada suhu 200°C dalam wadah tertutup dalam reaksi poly tetrafluoro ethylene. Produk tersebut didinginkan sehingga dihasilkan supernatan coklat-kuning yang disentrifugasi kemudian dinetralisir dengan HCl, diikuti oleh dialisis.

Banyaknya penelitian yang dilakukan di atas memicu peneliti untuk mengetahui perbandingan sifat optik C-dots yang dihasilkan dari berbagai macam metode berbahan dasar bahan alam. Peneliti memilih metode *microwave* dan *hydrothermal* karena kedua metode tersebut diberi perlakuan yang hampir sama yaitu pemanasan namun dengan proses pemanasan yang berbeda. Bahan alam yang peneliti gunakan adalah gula pasir dan air jeruk karena ketersediaannya yang banyak di Indonesia serta

banyaknya kandungan karbon dalam gula pasir (sukrosa) dan air jeruk (asam sitrat). Skripsi ini akan membandingkan metode sintesis C-dots *hydrothermal* dan *microwave* berbahan dasar gula pasir dan air jeruk dengan melihat sifat optik yang dihasilkan. Perbandingan sifat optik berupa hasil karakterisasi spektrofotometer UV-VIS, *Photoluminescence* (PL), *Time-Resolved Photoluminescence* (TRPL), *Transmission Electron Microscopy* (TEM), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

## **B. Identifikasi Masalah**

Sesuai latar belakang di atas, maka terdapat beberapa permasalahan yang dapat diidentifikasi yaitu:

1. Perlu adanya pemanfaatan gula pasir dan buah jeruk untuk menghasilkan material baru berdaya guna tinggi. Hal ini terkait dengan masih sedikitnya peneliti yang menghasilkan C-dots berbahan dasar buah jeruk dan gula pasir di Indonesia.
2. C-dots memiliki banyak manfaat dalam kemajuan teknologi namun belum banyak dilakukan penelitian di Indonesia padahal sintesis C-dots terbilang mudah dan tidak memerlukan alat berat.
3. Metode *hydrothermal* dan metode *microwave* menggunakan cara pemanasan yang hampir sama dalam proses sintesis C-dots sehingga perlu dilakukan perbandingan untuk mengetahui perbedaan sifat optik C-dots yang dihasilkan.

### **C. Batasan Masalah**

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Gula pasir yang digunakan berasal dari gula pasir bermerek Gulaku premium.
2. Jenis jeruk yang digunakan adalah jeruk siam Pontianak.
3. Metode sintesis C-dots yang digunakan adalah metode *microwave* dan metode *hydrothermal*.
4. Perbandingan sifat C-dots terbatas pada sifat optik yang dikarakterisasi menggunakan UV-Vis, PL, TRPL, TEM, dan FTIR.

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah tersebut, dapat diperoleh rumusan masalah sebagai berikut

1. Bagaimana perbandingan sifat optik C-dots berbahan dasar gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*?
2. Bagaimana perbandingan sifat optik C-dots berbahan dasar air jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*?

### **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Membandingkan sifat optik C-dots berbahan dasar gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*.
2. Membandingkan sifat optik C-dots berbahan dasar air jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*.

## F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Bagi mahasiswa
  - a. Mendapatkan informasi tentang perbandingan sifat optik C-dots berbahan dasar gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*.
  - b. Mendapatkan informasi tentang perbandingan sifat optik C-dots berbahan dasar jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*.
  - c. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya tentang C-dots.

2. Bagi universitas

Sebagai pengenalan penelitian untuk kemudian dapat dikembangkan lebih lanjut.

3. Bagi masyarakat

Sebagai pengetahuan baru tentang material C-dots yang dapat dibuat dari bahan alam yang mudah diperoleh dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. *Carbon Nanodots (C-dots)*

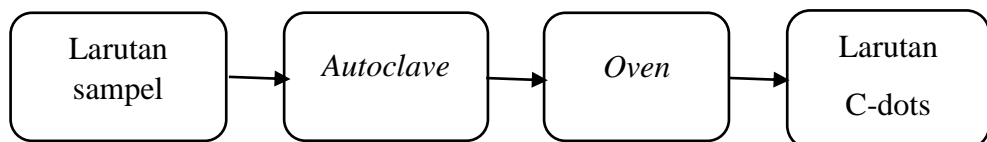
Secara khas, C-dots dengan ukuran dibawah 10 nm memiliki kerangka karbon  $sp^2$  dan permukaannya dilapisi dengan kelompok yang mengandung oksigen, polimer, atau spesies lainnya (Bao, *et al*, 2015). C-dots dengan fotostabilitasnya yang tinggi, biokompatibilitas yang baik, preparasi yang mudah, serta sifat optik yang unik berpotensi sebagai pengganti *semiconductor quantum dots* (QDs) dalam berbagai macam aplikasi seperti *biomedical imaging, analyte detection, full color display* dan *light-emitting devices* (LED) (Bao, *et al*, 2015).

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak metode sintesis yang telah dikembangkan. Metode sintesis yang berbeda menyebabkan perbedaan inti karbogenik (*carbogenic core*) dan struktur permukaan (*surface structure*) dari C-dots seiring dengan perbedaan karakteristik yang terkait dengan komposisi, luminesensi, fungsionalisasi, bio-kompatibilitas, pasivasi permukaan, dan sebagainya. Metode sintesis yang berbeda dengan menggunakan prekursor yang berbeda juga menghasilkan kadar karbon, oksigen, dan nitrogen yang berbeda, dengan gugus fungsi yang berbeda, dan karena itu menghasilkan perbedaan permukaan dan sifat fungsional lainnya. C-dots yang disintesis menggunakan metode yang berbeda ditemukan terdiri

dari karbon *amorf*, sampai *nanocrystalline graphitic* atau *turbostatic* ( $sp^2$  *Carbon*), sampai berlian seperti struktur inti ( $sp^3$  *Carbon*). Beberapa rute sintesis juga melibatkan pasivasi permukaan, melalui agen pasivasi seperti poli(etilen glikol) (PEG), poli(propionylethylenimine-co-ethylenimine) (PPEI-EI), dan lain-lain, yang juga penting dalam peningkatan fluoresensi, fungsionalisasi, kelarutan, dan lain-lain (Soni dan Maria 2016).

## B. Metode *Hydrothermal*

Secara umum, metode *hydrothermal* memiliki langkah kerja yang sederhana. Larutan sampel yang akan disintesis dituang dalam wadah dan kemudian wadah ditutup rapat. Wadah yang biasa digunakan adalah *autoclave*. Kemudian *autoclave* dimasukkan dalam *oven* dan dipanaskan selama beberapa jam pada suhu di atas  $100^\circ\text{C}$ . C-dots yang dihasilkan berupa larutan.



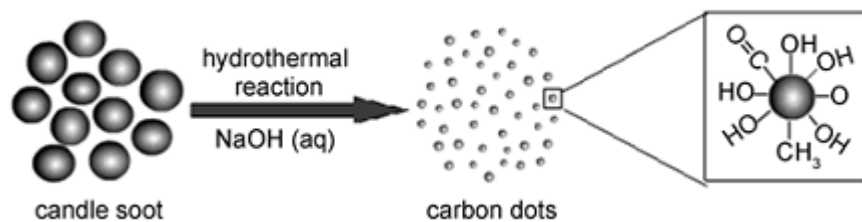
**Gambar 1.** Proses sintesis C-dots dengan metode *hydrothermal*

Banyak peneliti yang telah mensintesis C-dots menggunakan metode *hydrothermal* dari berbagai bahan. Peng, *et al* (2009) dalam Soni dan Maria (2016) melaporkan sintesis C-dots menggunakan karbohidrat. Karbohidrat didehidrasi menggunakan asam sulfat dan kemudian diperlakukan dengan  $\text{HNO}_3$ , untuk menghancurkan bahan karbon menjadi partikel nano



karbogenik yang lebih kecil dengan pergeseran biru (*blue shift*) dalam emisi, namun dengan fluoresensi yang lemah.

Liu, *et al* (2011) dalam Soni dan Maria (2016) mensintesis C-Dots dari jelaga lilin. Jelaga lilin yang dikumpulkan disonikasi dalam larutan NaOH dan dipanaskan pada suhu 200°C dalam wadah tertutup dalam reaksi polytetrafluoroethylene. Produk tersebut didinginkan, menghasilkan supernatan coklat-kuning yang disentrifugasi kemudian dinetralisir dengan HCl, diikuti oleh dialisis. C-dots berukuran sekitar 3 nm, berisi gugus hidroksil dan karbonil. Pengukuran potensial zeta menunjukkan permukaan bermuatan negatif. Prosedur preparasi C-dots oleh Liu, *et al* (2011) dengan metode *hydrothermal* seperti **Gambar 2**.



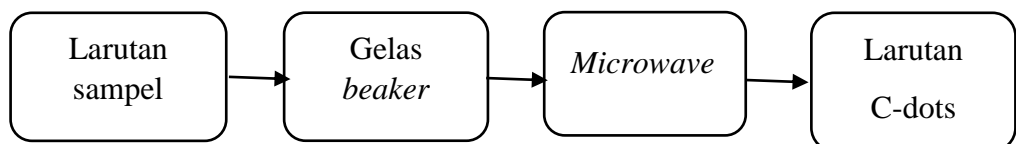
**Gambar 2.** Prosedur preparasi C-dots berlapis hidroksil fluoresens (Liu, *et al*, 2011)

### C. Metode *Microwave*

Salah satu metode yang sering digunakan dalam sintesis C-dots adalah metode *microwave*. Metode *microwave* merupakan salah satu metode sintesis C-dots secara *bottom-up*. Dengan perkembangan metode sintesis untuk nanomaterial anorganik, pendekatan melalui metode *microwave* telah diperkenalkan secara bertahap. Pendekatan ini berperan penting dalam

proses persiapan sampel dikarenakan pada proses ini menggunakan gelombang mikro yang dapat mempermudah dan mempercepat proses sintesis (Rahmayanti, 2015). Dibandingkan dengan metode pemanasan sederhana, metode *microwave* menyediakan energi yang intensif, homogen dan efisien, serta dapat mencapai suhu tinggi dan memulai reaksi dalam waktu yang sangat singkat (Nasriah, 2013). Prinsip dari metode *microwave* adalah menggetarkan molekul C-dots. Proses vibrasi menyebabkan rantai-rantai karbon mengalami penyusunan ulang sehingga hasilnya tidak banyak mengurangi kadar air dalam larutan dan tidak akan dihasilkan C-dots berupa gel (Rahmayanti, 2015).

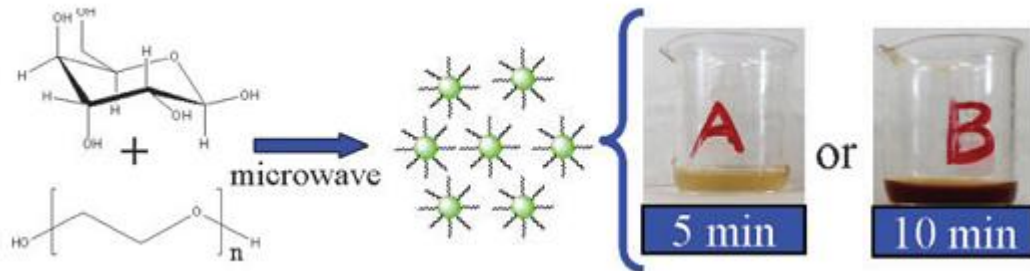
Secara umum, metode *microwave* memiliki langkah kerja yang sederhana. Larutan sampel yang akan disintesis dituang dalam gelas *beaker*. Kemudian gelas *beaker* dimasukkan dalam *microwave* dan dipanaskan selama beberapa menit.



**Gambar 3.** Proses sintesis C-dots dengan metode *microwave*

Banyak peneliti yang telah mensintesis C-dots menggunakan metode *microwave* dari berbagai bahan. Zhu, *et al* (2009) dalam Soni dan Maria (2016) mensintesis C-dots menggunakan metode *microwave* dalam hitungan menit. Jumlah PEG-200 yang berbeda dengan sakarida (glukosa, fruktosa, dan lain-lain) dilarutkan dalam air dan kemudian dipanaskan

dalam *oven microwave* 500 W selama 2-10 menit. Perubahan warna dari tidak berwarna menjadi kuning sampai coklat muda mengindikasikan terbentuknya C-dots.



**Gambar 4.** Sintesis C-dots menggunakan metode *microwave* oleh (Zhu, *et al*, 2009)

Wang, X. *et al* (2011) dalam Soni dan Maria (2016) juga melaporkan prosedur sintesis *microwave* menggunakan karbohidrat (glukosa, sukrosa, gliserol dan glikol) sebagai prekursor karbon, dengan sejumlah kecil ion anorganik namun tanpa agen pasivasi.

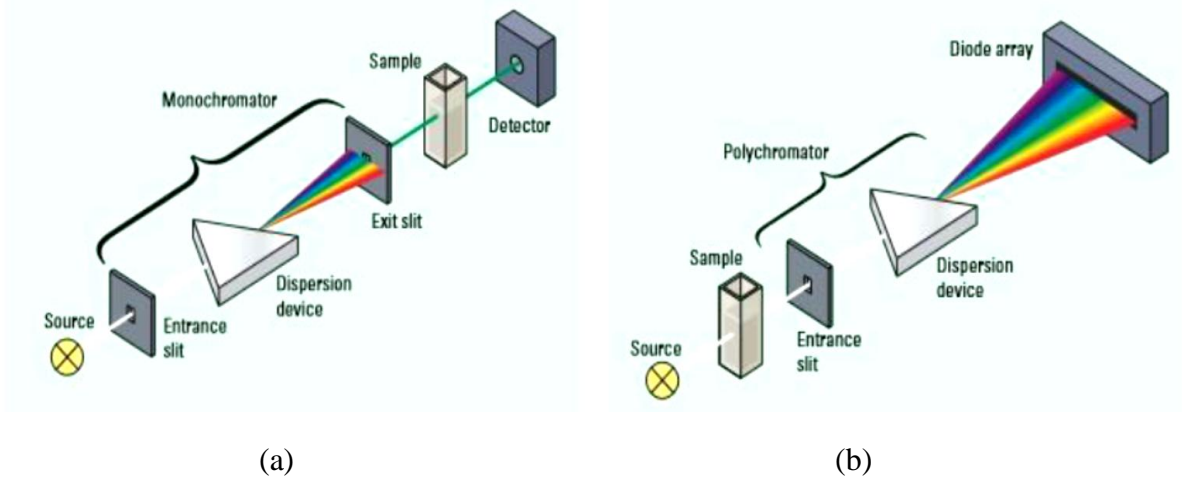
#### D. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrometer UV-Vis digunakan untuk mengkaji sifat absorpsi material dalam rentang panjang gelombang ultraviolet (mulai sekitar 200 nm) hingga mencakup semua panjang gelombang cahaya tampak (sampai sekitar 700 nm). Pengembangan lebih lanjut spektrometer ini menghasilkan spektrometer UV-Vis dan *near infrared* (NIR). Hal ini berarti spektrometer tersebut juga mendeteksi sifat absorpsi hingga daerah dekat inframerah (Abdullah, 2010).

Instrumen ini beroperasi dengan melewatkan seberkas sinar melalui sampel dan mengukur panjang gelombang cahaya yang mencapai detektor. Panjang gelombang memberi nilai informasi tentang struktur kimia dan intensitasnya terkait dengan jumlah molekul, yang berarti kuantitas atau konsentrasi. Informasi analitik dapat diungkap dalam istilah transmitansi, absorbansi atau daya serap energi (Patel, 2015).

Hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis adalah grafik hubungan antara panjang gelombang dengan absorbansi. Radiasi UV-Vis yang memiliki frekuensi yang sama dengan partikel sampel akan beresonansi, sehingga radiasi akan diserap oleh sampel. Absorbansi oleh sampel akan mengakibatkan terjadinya transisi elektron, yaitu elektron-elektron dari orbital dasar tereksitasi ke orbital yang lebih tinggi. Ketika elektron kembali ke orbital asal, elektron tersebut memancarkan energi dan energi itulah yang terdeteksi sebagai puncak-puncak absorbansi (Vita, 2015).

Pada dasarnya terdapat dua jenis spektrofotometer UV-Vis, yaitu spektrofotometer konvensional dan spektrofotometer *dioda array*. Spektrofotometer konvensional menggunakan cahaya polikromatis sebagai sumber cahaya yang didispersikan menjadi cahaya monokromatis menggunakan monokromator. Cahaya monokromatis ini dilewatkan pada sampel dan sinar transmisinya akan terdeteksi oleh detektor. Sedangkan pada spektrofotometer *dioda array* cahaya polikromatis dilewatkan pada sampel kemudian diteruskan pada polikromator. Dispersi cahaya dari polikromator akan terdeteksi oleh diode (Owen, 2000).

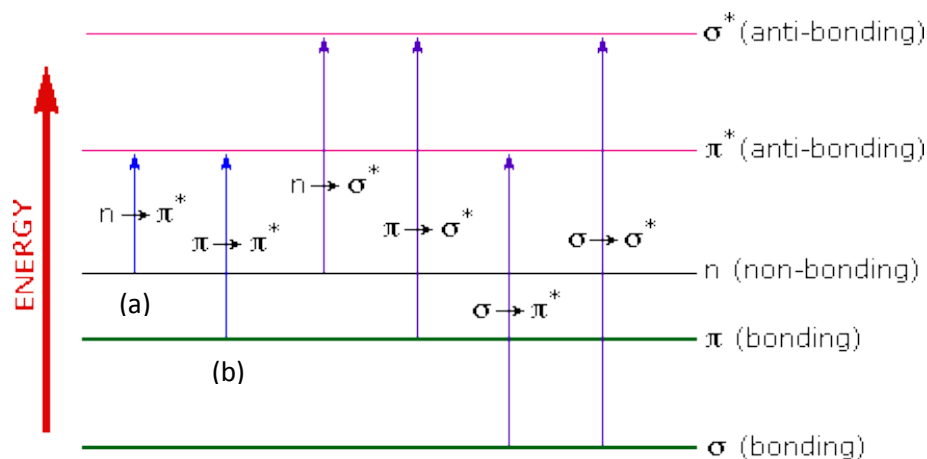


**Gambar 5.** Spektrofotometer UV-Vis (a) konvensional dan (b) *diode array* (Owen, 2000)

C-dots yang disintesis dengan metode yang berbeda memiliki sifat optik yang berbeda dan berbeda pula penjelasan absorbansinya. Absorpsi oleh C-dots diamati pada rentang UV, yang mana menunjukkan transisi dari *core* dan *surface state*,  $n-\pi^*$  dan  $\pi-\pi^*$  C=C, gugus fungsi dan atau efek ukuran kuantum. C-dots yang disintesis dengan metode fisika dan kimia menunjukkan satu atau dua puncak absorbansi pada 260-360 nm dalam rentang UV untuk Spektroskopi UV-Vis (Soni dan Maria 2016).

Transisi elektron terjadi akibat adanya penyerapan gelombang cahaya atau elektromagnetik oleh sampel. Transisi yang meliputi elektron  $\pi$ ,  $\sigma$ , dan  $n$  terjadi pada molekul organik dan sebagian kecil anion anorganik. Molekul tersebut mengabsorpsi cahaya elektromagnetik karena adanya elektron valensi, yang akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi (Kristianingrum, 2016). Diagram yang menunjukkan berbagai jenis eksitasi

elektronik (transisi elektron) yang mungkin terjadi pada molekul organik ditunjukkan oleh Gambar 6. (<https://www.chemistry.msu.edu>)



**Gambar 6.** Berbagai jenis eksitasi elektronik (<https://www.chemistry.msu.edu>)

Dari enam transisi yang diuraikan, hanya dua energi terendah (panah (a) dan (b)) yang dicapai oleh energi yang tersedia di spektrum 200 sampai 800 nm. Sebagai aturan, kenaikan elektron akan berasal dari orbital molekuler yang diduduki tertinggi (HOMO) ke orbital molekuler kosong yang paling rendah (LUMO), dan spesies yang dihasilkan disebut keadaan tereksitasi (<https://www.chemistry.msu.edu>).

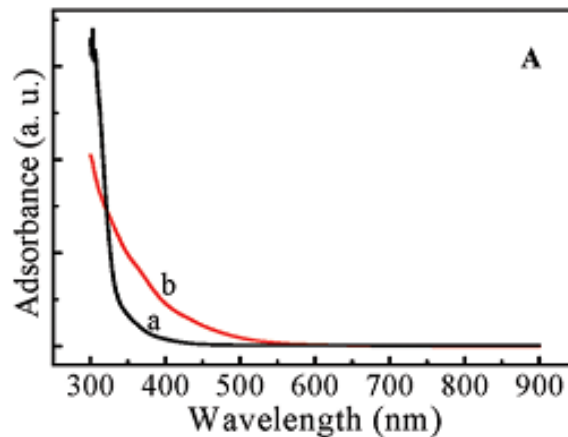
Ketika molekul sampel terkena cahaya yang memiliki energi yang sesuai dengan transisi elektronik yang mungkin terjadi di dalam molekul, sebagian energi cahaya akan diserap saat elektron dinaikkan ke orbital energi yang lebih tinggi. Sebuah spektrometer optik mencatat panjang gelombang di mana penyerapan (absorpsi) terjadi, bersamaan dengan

tingkat penyerapan (absorpsi) pada setiap panjang gelombang. Spektrum yang dihasilkan disajikan sebagai grafik absorbansi (A) versus panjang gelombang (<https://www.chemistry.msu.edu>). Gugus fungsi yang menyerap atau mengabsorpsi radiasi elektromagnetik di daerah panjang gelombang ultraviolet dan daerah cahaya tampak disebut kromofor (<https://wanibesak.wordpress.com>). Daftar beberapa kromofor sederhana dan karakteristik penyerapan cahaya disediakan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Kromofor sederhana dan karakteristik penyerapan cahaya (<https://www.chemistry.msu>)

Chromophore	Example	Excitation	$\lambda_{\max}$ , nm	$\epsilon$	Solvent
C=C	Ethene	$\pi \rightarrow \pi^*$	171	15,000	hexane
C $\equiv$ C	1-Hexyne	$\pi \rightarrow \pi^*$	180	10,000	hexane
C=O	Ethanal	$n \rightarrow \pi^*$	290	15	hexane
		$\pi \rightarrow \pi^*$	180	10,000	hexane
N=O	Nitromethane	$n \rightarrow \pi^*$	275	17	ethanol
		$\pi \rightarrow \pi^*$	200	5,000	ethanol
C-X	X=Br	$n \rightarrow \sigma^*$	205	200	hexane
	X=I	$n \rightarrow \sigma^*$	255	360	hexane

Salah satu contoh hasil UV-Vis C-dots dari glukosa dengan metode *hydrothermal* sebelum dan sesudah pasivasi oleh 4,7,10-trioxa-1,13-tridecanediamine (TTDDA).

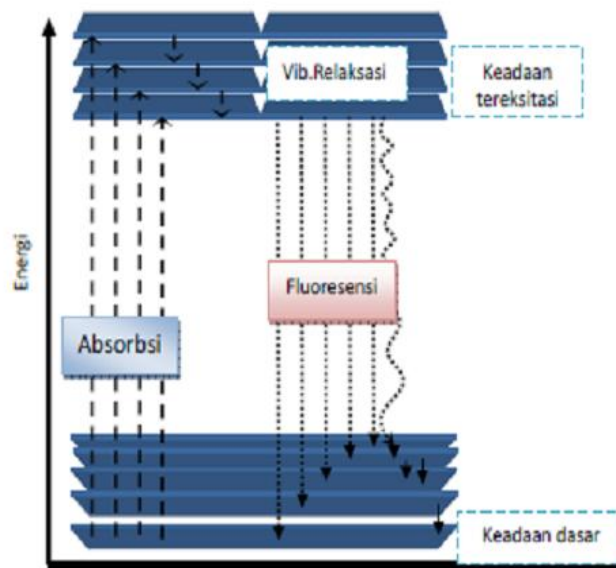


**Gambar 7.** Hasil karakterisasi UV-Vis C-dots dari glukosa, sebelum (a) dan sesudah (b) pasivasi oleh TTDDA (Peng, *et al*, 2009).

#### E. *Photoluminescence (PL)*

Luminesens (*luminescence*) merupakan fenomena emisi cahaya oleh suatu zat. Luminesens merupakan suatu dimana untuk dapat berlangsung harus menggunakan sumber eksitasi seperti lampu UV atau laser. Luminesens terjadi ketika elektron meloncat dari pita valensi menuju pita konduksi setelah dieksitasi oleh energi dari sumber eksitasi kemudian kembali lagi ke keadaan dasarnya karena tidak stabil. Luminesens terjadi ketika elektron pada material target kembali ke keadaan dasarnya setelah dieksitasi oleh energi dari sumber eksitasi dan kehilangan energi sebagai foton seperti diilustrasikan Gambar 8 (Kurniawan, 2008).





**Gambar 8.** Proses Luminesensi (Kurniawan, 2008)

Transisi elektron dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi terjadi ketika elektron dikenai energi. Kemudian terjadi relaksasi dimana sejumlah energi diemisikan ketika elektron kembali ke keadaan dasar dan dikenal sebagai luminisens (Rahmayanti, 2015).

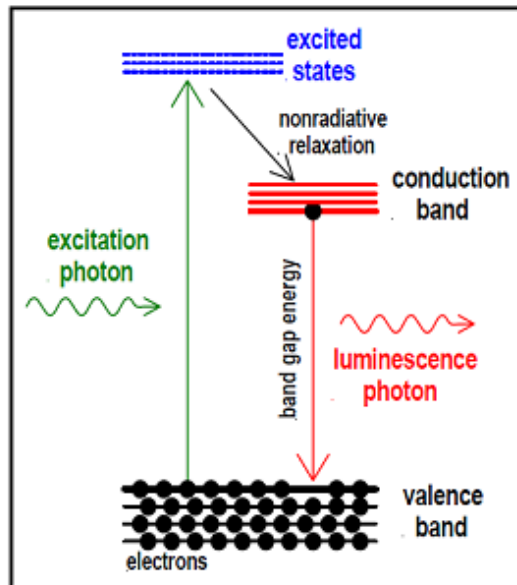
Luminisens dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti reaksi kimia, energi listrik, pergerakan pada tingkat sub atomik, atau peregangan dalam kristal. Berdasarkan sumber eksitasinya, dikenal beberapa jenis luminisens seperti fotoluminisens jika digunakan sumber eksitasi optis, sementara istilah elektroluminisens digunakan jika eksitasi terjadi akibat arus listrik. Jenis lainnya yakni jika terjadi akibat pemborbardiran material target yang dikenal dengan katodoluminisens (Rahmayanti, 2015)

Spektroskopi *photoluminescence* bersifat *contactless*, serbaguna, tidak merusak, metode optik yang kuat untuk menyelidiki struktur material

elektronik. Cahaya diarahkan ke sampel, dimana ia diserap dan menanamkan energi berlebih ke dalam bahan yang disebut proses *photo-excitation*. Salah satu cara kelebihan energi ini bisa dihamburkan oleh sampel melalui emisi cahaya atau *luminescence*. Dalam kasus *photo-excitation*, luminesensi ini disebut *photoluminescence*. Jadi *photoluminescence* adalah emisi spontan cahaya dari bahan di bawah eksitasi optik (Patel, 2015).

Prinsip dasar alat ini adalah cahaya dari laser dipaparkan secara langsung pada sampel. Sampel tersebut akan menyerap cahaya tersebut dan menyebabkan foto-eksitasi (eksitasi foton). Foto-eksitasi tersebut kemudian menyebabkan material melompat pada keadaan elektronik yang lebih tinggi dan kembali pada keadaan dasar dengan memancarkan foton. Pancaran foton tersebut kemudian difokuskan pada lensa yang kemudian akan diurai pada spektrometer dan dianalisis oleh detektor (<http://sasita1996.blogspot.com>)

Foto-eksitasi menyebabkan elektron dalam bahan bergerak ke keadaan tereksitasi. Ketika elektron ini kembali ke keadaan ekuilibriumnya, kelebihan energi dilepaskan dan mungkin termasuk emisi cahaya (proses radiasi) atau mungkin tidak (non proses radiasi) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



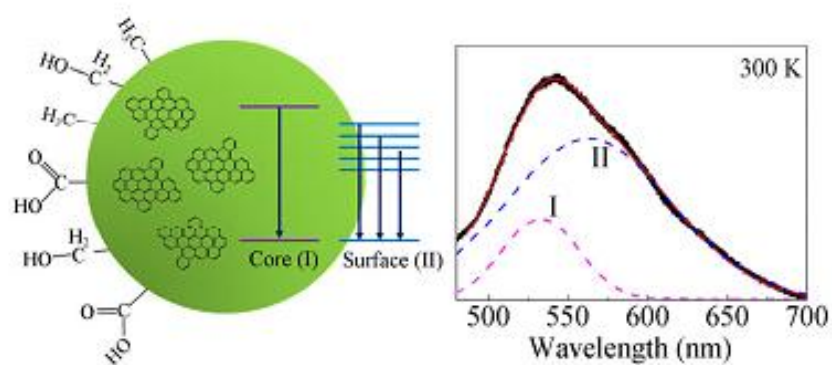
**Gambar 9.** Prinsip *photoluminescence spectroscopy* (PL)  
(Patel, 2015)

Energi cahaya yang dipancarkan (*photoluminescence*) berhubungan dengan perbedaan tingkat energi antara kedua elektron yang terlibat dalam transisi antara keadaan tereksitasi dan keadaan ekuilibrium. Jumlah cahaya yang dipancarkan berhubungan dengan kontribusi relatif dari proses radiasi. Spektroskop PL memberi informasi hanya pada tingkat energi rendah yang diteliti sistem. Dalam sistem semikonduktor, transisi radiasi yang paling umum adalah antara pita konduksi dan valensi, dengan perbedaan energi yang dikenal sebagai *band gap*. Selama percobaan spektroskopi PL, eksitasi diberikan oleh sinar laser dengan energi yang jauh lebih besar daripada celah pita optik. Foto pembawa eksitasi terdiri dari elektron dan lubang, yang mengendur ke tepi pita masing-masing dan bergabung kembali oleh memancarkan cahaya pada energi celah pita. Demikian *photoluminescence*

adalah proses eksitasi foton yang diikuti dengan emisi foton dan penting untuk menentukan celah pita, kemurnian, kualitas kristal dan tingkat cacat pengotor dari bahan semikonduktor. Ini juga membantu memahami fisika dasar mekanisme rekombinasi (Patel, 2015).

Spektrum PL sangat berbeda dengan spektrum penyerapan dalam artian spektrum penyerapan mengukur transisi dari keadaan dasar ke keadaan tereksitasi, sementara *photoluminescence* berurusan dengan transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar. Waktu antara penyerapan dan emisi biasanya sangat singkat. Spektrum eksitasi adalah grafik intensitas emisi versus panjang gelombang eksitasi yang terlihat seperti spektrum penyerapan. Nilai panjang gelombang di mana molekulnya menyerap energi dapat digunakan sebagai panjang gelombang eksitasi yang memberikan emisi yang kuat pada panjang gelombang bergeser merah (*red shift*), dengan nilai biasanya dua kali dari eksitasi panjang gelombang (Patel, 2015).

Salah satu contoh hasil karakterisasi PL yang berhubungan dengan struktur C-dots berupa *core* dan *surface state*



**Gambar 10.** Dua pita fluoresensi yang diamati dalam C-dots, yang juga dapat dikaitkan dengan emisi *core* dan *surface state* (Zhu, *et al*, 2015)

#### **F. *Time-Resolved Photoluminescence (TRPL)***

TRPL adalah perpanjangan dari spektroskopi normal dimana pulsa laser pendek digunakan untuk eksitasi dan detektor cepat digunakan untuk menentukan emisi dari bahan sebagai fungsi waktu setelah eksitasi. Teknik ini dapat digunakan untuk mengukur kualitas bahan, membantu mengidentifikasi emisi spektral dengan keadaan pancaran tertentu atau untuk mempelajari transfer energi dari satu komponen ke komponen lainnya dalam sistem campuran, seperti sel surya (<https://physics.anu.edu.au>). Waktu fluoresensi yang terjadi saat peluruhan terpancar dari single-state, juga dapat didekati sebagai peluruhan yang terjadi di wilayah waktu dari *picosecond* hingga *nanosecond* (<https://www.edinst.com>).

Analisis TRPL terdiri dari pengukuran evolusi spektrum luminesensi dari waktu ke waktu. TRPL mempelajari emisi luminesensi dari satu titik dalam sampel. Pengaturan yang berbeda dapat disusun untuk melakukan analisis TRPL dengan menggabungkan: (a) sumber laser pulsa; (b) sistem pemicu (*triggering system*); (c) jalur optic yang tepat untuk mengirim laser pulsa ke bahan; (d) optik pengumpul cahaya; (e) elemen dispersif spektral; (f) sebuah unit detektor (Nevin, *et al*, 2014).

#### **G. *Transmission Electron Microscope (TEM)***

TEM adalah alat yang paling teliti yang digunakan untuk menentukan ukuran partikel karena resolusinya yang sangat tinggi. Partikel dengan

ukuran beberapa nanometer dapat diamati dengan jelas menggunakan TEM (Abdullah, 2010)

TEM adalah teknik yang digunakan untuk menganalisis morfologi, cacat, struktur kristalografi, ukuran partikel, dan bahkan komposisi dari sampel. Dalam teknik ini seberkas elektron ditransmisikan melalui sampel ultra tipis, berinteraksi dengan sampel saat melewatinya. TEM beroperasi dengan prinsip dasar yang sama dengan mikroskop cahaya tetapi menggunakan elektron bukan cahaya. Apa yang dapat dilihat dengan mikroskop cahaya dibatasi oleh panjang gelombang cahaya. TEM menggunakan elektron sebagai "sumber cahaya" dan panjang gelombang yang jauh lebih rendah memungkinkan untuk mendapatkan resolusi seribu kali lebih baik daripada dengan mikroskop cahaya (Patel, 2015).

Prinsip kerja TEM sangat mirip dengan prinsip kerja peralatan *rontgen* di rumah sakit. Pada TEM, sampel yang sangat tipis ditembak dengan berkas elektron yang berenergi sangat tinggi (dipercepat pada tegangan ratusan kV). Berkas elektron dapat menembus bagian yang "lunak" sampel tetapi ditahan oleh bagian keras sampel (seperti partikel). Detektor yang berada di belakang sampel menangkap berkas elektron yang lolos dari bagian lunak sampel. Akibatnya detektor menangkap bayangan yang bentuknya sama dengan bentuk bagian keras sampel (bentuk partikel). Dalam pengoperasian TEM, salah satu tahap yang paling sulit dilakukan adalah mempersiapkan sampel. Sampel harus setipis mungkin sehingga dapat ditembus elektron. (Abdullah, 2010)

TEM menawarkan dua mode pengamatan sampel berupa: (1) mode gambar dan (2) mode difraksi. Dalam mode gambar, lensa kondensor dan aperture akan mengendalikan berkas elektron untuk mengenai sampel, berkas yang ditransmisikan akan difokuskan dan diperbesar oleh lensa obyektif dan lensa proyektor dan dari bentuk gambar di layar, dengan rincian yang dikenali terkait dengan contoh mikrostruktur. Dalam mode difraksi, pola difraksi elektron diperoleh pada layar neon, yang berasal dari area sampel yang diterangi oleh berkas elektron. Pola difraksi seluruhnya sama dengan pola difraksi sinar-X. Kristal akan menghasilkan pola berbintik pada layar dan polikristal akan menghasilkan bubuk atau pola cincin. Struktur mikro, misalnya ukuran butir, dan cacat kisi dipelajari menggunakan mode gambar, sedangkan struktur kristal dipelajari dengan mode difraksi (Patel, 2015).

Pengukuran diameter C-dots dari hasil karakterisasi TEM dilakukan dengan cara sederhana. Dari gambar yang dihasilkan diambil 30 titik C-dots secara acak dan diukur diameter masing-masing. Pengukuran dilakukan menggunakan penggaris dengan perbesaran ukuran gambar 42% dari ukuran gambar asli. Hasil pengukuran diameter dicatat sebagai pengukuran diameter (cm) yang kemudian satuan dalam sentimeter (cm) diubah ke dalam satuan nanometer (nm). Garis yang menunjukkan skala pada bagian bawah gambar diukur panjangnya menggunakan penggaris dengan perbesaran ukuran gambar 42% dari ukuran gambar asli. Hasil pengukuran ini dicatat sebagai lebar skala (cm) yang kemudian satuan dalam sentimeter

(cm) diubah ke dalam satuan nanometer (nm). Perhitungan untuk memperoleh ukuran diameter dari C-dots dinyatakan dalam rumus:

$$\text{ukuran diameter nm} = \frac{\text{pengukuran diameter nm} \times \text{skala (nm)}}{\text{lebar skala (nm)}}$$

#### H. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

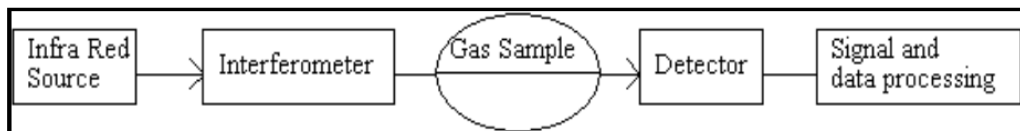
Spektroskopi inframerah merupakan teknik penting dalam kimia organik. Ini adalah sebuah cara yang mudah untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi tertentu dalam sebuah molekul. Alat ini juga bisa menggunakan koleksi unik dari pita absorpsi untuk mengkonfirmasi identitas dari senyawa murni atau untuk mendeteksi adanya kotoran tertentu. Analisis dengan spektroskopi inframerah (*infrared spectroscopy*) didasarkan pada fakta bahwa molekul memiliki frekuensi pada getaran internal tertentu. Frekuensi ini terjadi di daerah inframerah dari spektrum elektromagnetik:  $\sim 4000 \text{ cm}^{-1}$  sampai  $\sim 200 \text{ cm}^{-1}$  (Patel, 2015)

Ketika sampel diletakkan di berkas radiasi inframerah, sampel akan menyerap radiasi pada frekuensi yang sesuai dengan frekuensi getaran molekul, tapi akan mengirimkan semua frekuensi lainnya. Frekuensi radiasi yang diserap diukur dengan spektrometer inframerah, dan hasil plot dari energi yang diserap vs frekuensi disebut spektrum inframerah material. Identifikasi suatu zat dimungkinkan karena bahan yang berbeda memiliki getaran yang berbeda dan menghasilkan spektrum inframerah yang berbeda. Selanjutnya, dari frekuensi penyerapannya memungkinkan untuk



menentukan apakah berbagai gugus kimia ada atau tidak ada dalam struktur kimia (Patel, 2015).

Komponen dasar FTIR diperlihatkan secara skematis pada Gambar 7. Sumber inframerah memancarkan pita lebar dengan panjang gelombang radiasi inframerah yang berbeda. Radiasi IR (*infrared*) melewati interferometer yang memodulasi radiasi inframerah. Interferometer melakukan transformasi Fourier invers optik saat masuk radiasi inframerah. Sinar IR termodulasi melewati sampel gas dimana diserap ke berbagai luapan pada panjang gelombang yang berbeda oleh berbagai molekul yang ada. Akhirnya, intensitas sinar IR terdeteksi oleh detektor, yang merupakan nitrogen cair yang didinginkan MCT (Mercury-Cadmium-Telluride) detektor. Sinyal yang terdeteksi didigitalkan dan ditransformasikan Fourier oleh komputer untuk mendapatkan Spektrum IR dari gas sampel (Patel, 2015).



**Gambar 11.** Komponen dasar FTIR (Patel, 2015)

## I. Kerangka Berpikir

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan sifat optik C-dots berbahan dasar gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* dan membandingkan sifat optik C-dots berbahan dasar air jeruk dengan metode

*hydrothermal* dan *microwave*. Terdapat dua metode sintesis yang dilakukan untuk masing-masing bahan yaitu metode *hydrothermal* dan metode *microwave*.

Penelitian ini dimulai dengan mensintesis C-dots dari gula pasir dan air jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*. Kemudian dilakukan karakterisasi UV-Vis, PL, TRPL, TEM, dan FTIR untuk C-dots yang dihasilkan dari gula pasir dan air jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*. Hasil karakterisasi tersebut dibandingkan sifat optik C-dots dari metode *hydrothermal* dan metode *microwave*.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian dan pengujian dilakukan di Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), kawasan PUSPIPTEK Serpong Tangerang Selatan bulan Juni 2017 sampai dengan Agustus 2017. Sintesis C-dots dilakukan di Laboratorium Laser. Pengujian sampel meliputi UV-Vis, PL dan TRPL di Laboratorium Pico Laser, TEM di Laboratorium Uji Bahan 3 dan FTIR di Laboratorium Material.

#### **B. Variabel Penelitian**

Pada penelitian ini variabel yang diteliti adalah

##### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang menjadi sebab berubahnya suatu variabel lain yaitu variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah panjang gelombang pada grafik hasil karakterisasi UV-Vis dan PL, serta waktu pada grafik hasil karakterisasi TRPL.

##### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi akibat adanya variabel lain yaitu variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah absorbansi pada grafik hasil karakterisasi UV-Vis, intensitas pada grafik

hasil karakterisasi PL dan TRPL, serta diameter C-dots pada hasil karakterisasi TEM.

### 3. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat sama sehingga tidak mempengaruhi variabel terikat. Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain waktu *microwave*, waktu pengovenan (*hydrothermal*), suhu pada saat pengovenan (*hydrothermal*), volume larutan *microwave*, dan volume larutan *hydrothermal*.

## C. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk mengetahui perbandingan sifat optik C-dots berbahan dasar gula pasir dan air jeruk dengan metode sintesis *hydrothermal* dan *microwave* dari berbagai hasil pengujian.

## D. Alat dan Bahan

Alat dalam percobaan ini meliputi: (1) *microwave*; (2) *oven*; (3) pipet tetes; (4) gelas *beaker*; (5) *parafilm*; (6) *stopwatch*; (7) *autoclave*; (8) saringan teh; (9) timbangan digital; (10) *centrifuge*; dan (11) *magnetic stirrer*. Alat uji yang digunakan antara lain: (1) spektrofotometer UV-VIS; (2) PL; (3) TRPL; (4) TEM; dan (5) FTIR. Bahan yang digunakan dalam pembuatan C-dots adalah gula pasir dan air jeruk, serta aquades sebagai pelarutnya.

## E. Langkah Penelitian

Proses pembuatan C-dots dari gula pasir dan air jeruk dilakukan secara terpisah seperti berikut:

### 1. Pembuatan larutan gula pasir

Pembuatan larutan gula pasir sebagai *stock solution* dibuat dengan melarutkan gula pasir sebanyak 40 gram ke dalam 250 ml aquades. Gula pasir dan aquades diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Kemudian larutan gula pasir yang sudah tercampur dipindahkan ke dalam botol sebagai *stock solution*.

### 2. Pembuatan larutan jeruk

Pembuatan larutan jeruk sebagai *stock solution* dibuat dengan memeras jeruk. Air perasan jeruk disaring menggunakan saringan teh sebanyak 2 kali. Air perasan jeruk hasil saringan disentrifugasi selama 30 menit untuk memisahkan air jeruk dengan endapan. Larutan hasil *centrifuge* diambil menggunakan pipet tetes tanpa mengenai endapan yang ada di bawahnya dan disimpan dalam gelas *beaker* sebagai *stock solution*.

### 3. Sintesis C-dots dengan metode *microwave*

Sintesis C-dots dengan metode *microwave* untuk kedua bahan dilakukan terpisah dengan langkah yang sama. Sampel dituang pada gelas *beaker* sebanyak 50 ml lalu dimasukkan ke dalam *microwave* selama 40 menit untuk proses pemanasan menjadi C-dots. Sampel yang dihasilkan berupa kerak pada dasar gelas *beaker*. Kerak tersebut

didinginkan kemudian ditambahkan 100 ml aquades. Sampel digoyang-goyangkan sampai tercampur merata dan tidak meninggalkan sisa. Larutan C-dots dimasukkan ke dalam botol kecil untuk disentrifugasi selama 30 menit dengan tujuan memisahkan larutan C-dots dengan endapan. Endapan yang dihasilkan berada di dasar botol sedangkan larutan berada di atasnya sehingga mudah untuk diambil menggunakan pipet tetes. Larutan hasil sentrifugasi tersebut telah menjadi larutan C-dots tanpa endapan. Langkah tersebut berlaku untuk larutan gula pasir dan air jeruk.

#### 4. Sintesis C-dots dengan metode *hydrothermal*

Sintesis C-dots dengan metode *hydrothermal* untuk kedua bahan dilakukan terpisah dengan langkah yang sama. Sampel sebanyak 30 ml dituang ke dalam *autoclave* dan dipanaskan dalam oven selama 5 jam pada suhu 150 °C untuk proses pemanasan menjadi C-dots (proses *hydrothermal*). Kemudian *autoclave* dikeluarkan dari oven dan didiamkan selama kurang lebih 16 jam untuk proses *cooling down*. Sampel yang dihasilkan berupa larutan C-dots. Larutan C-dots dimasukkan ke dalam botol kecil untuk disentrifugasi selama 30 menit dengan tujuan memisahkan larutan C-dots dengan endapan. Endapan yang dihasilkan berada di dasar botol sedangkan larutan berada di atasnya sehingga mudah untuk diambil menggunakan pipet tetes. Larutan hasil *centrifuge* tersebut telah menjadi larutan C-dots tanpa endapan. Langkah tersebut berlaku untuk larutan gula pasir dan air jeruk.

#### 5. Pengujian spektrofotometer UV-VIS

Keempat sampel hasil sintesis diuji absorpsinya menggunakan Spectrometers MayP112615 spectrum 2068. Hasil karakterisasi yang diperoleh berupa puncak absorpsi pada panjang gelombang tertentu.

#### 6. Pengujian PL

Pengujian untuk mengetahui panjang gelombang emisi yang dihasilkan dengan alat uji PL menggunakan Spectrometers MayP112615 spectrum 2068. Laser yang digunakan berada pada panjang gelombang eksitasi 405 nm.

#### 7. Pengujian TRPL

Pengujian untuk menentukan waktu luruh emisi pendaran dari C-dots dilakukan dengan alat uji TRPL menggunakan Spectrometers MayP112615 spectrum 2068. Laser yang digunakan berada pada panjang gelombang eksitasi 405 nm.

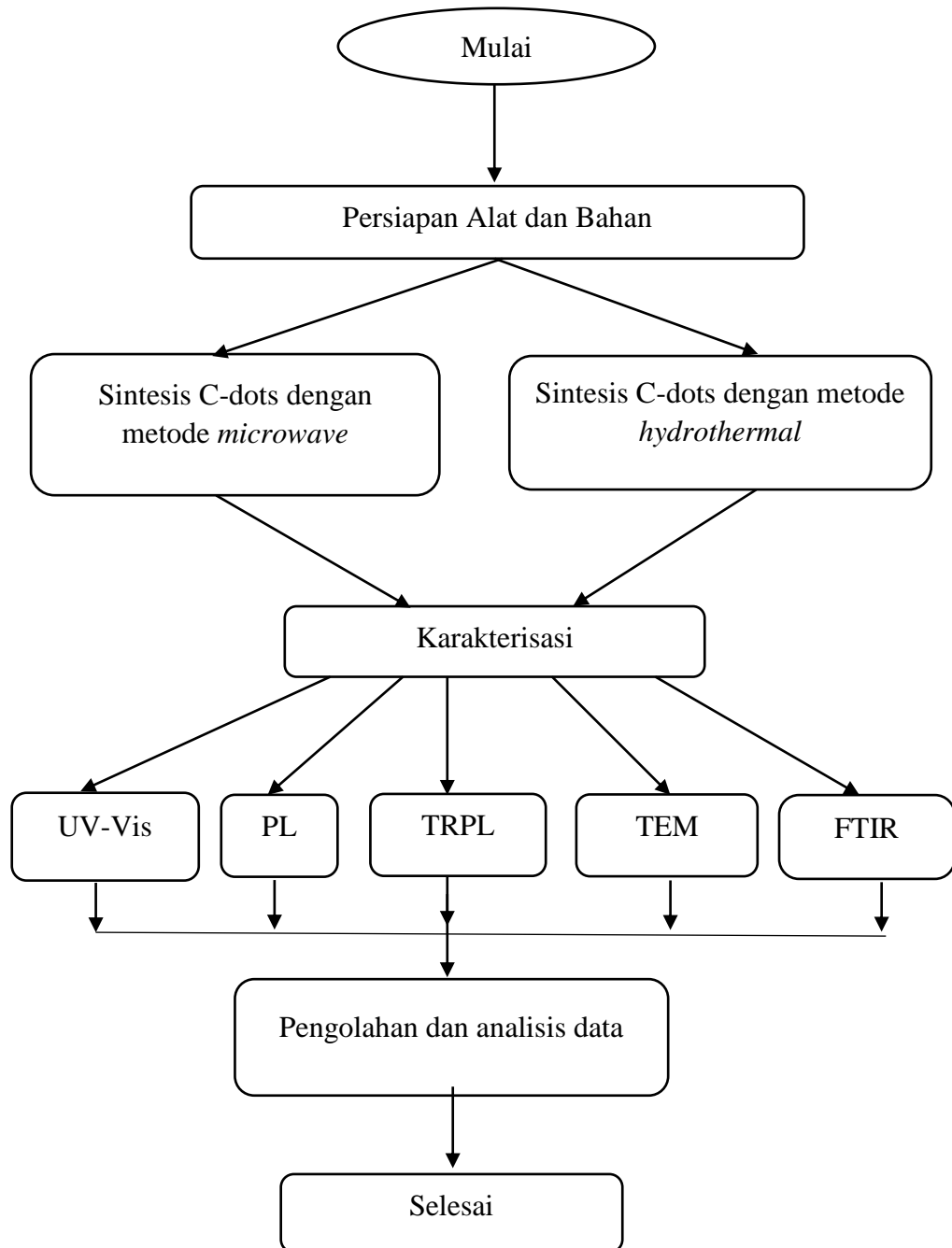
#### 8. Pengujian FTIR

Pengujian untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang dihasilkan oleh C-dots menggunakan FTIR dengan spektrum yang direkam menggunakan Thermo Scientific Seri Nicolet iS10 Smart iTR 500-4000.

#### 9. Pengujian TEM

Pengujian untuk melihat morfologi permukaan dan ukuran diameter partikel dari C-dots dilakukan dengan alat uji TEM.

## F. Diagram Alir



**Gambar 12.** Bagan diagram alir

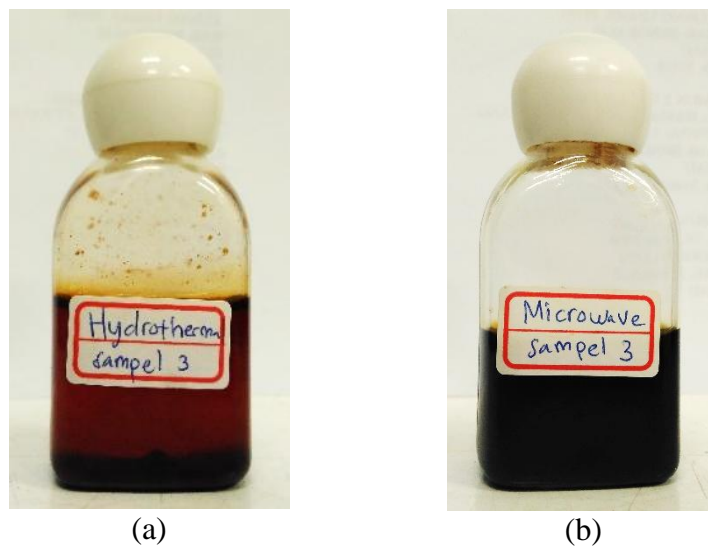


## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Hasil Sintesis C-dots Larutan Gula Pasir dengan Metode *Hydrothermal* dan *Microwave*

Hasil sintesis C-dots dari gula pasir dengan kedua metode memiliki penampakan warna sampel yang berbeda. C-dots yang dihasilkan pada metode *hydrothermal* berupa larutan berwarna coklat seperti yang terlihat pada Gambar 13a sedangkan larutan C-dots yang dihasilkan pada metode *microwave* berwarna coklat kehitaman seperti yang terlihat pada Gambar 13b.



**Gambar 13.** Hasil sintesis C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

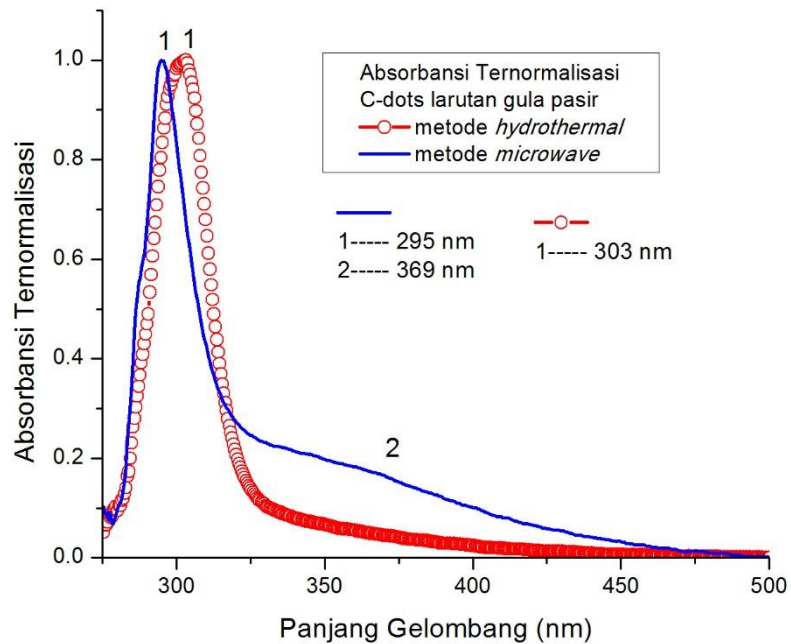
Warna larutan yang dihasilkan dari metode *microwave* lebih pekat dibandingkan dengan metode *hydrothermal*. Pada metode *microwave* terjadi

proses karbonisasi yang dicirikan dengan terbentuknya padatan berwarna coklat kehitaman, sedangkan pada metode *hydrothermal* terjadi proses karbonisasi yang menghasilkan larutan berwarna coklat dan endapan berwarna coklat kehitaman. Pada metode *hydrothermal* pelarut tidak mengalami penguapan keluar dari *autoclave* sehingga dihasilkan larutan.

Pengujian sederhana untuk mengetahui keberhasilan sintesis C-dots dari kedua metode dilakukan dengan menembakkan sinar UV. Hasil dari penyinaran UV diperoleh pendaran untuk kedua sampel. Selain melakukan pengujian sederhana ini, dilakukan pula pengujian dengan alat uji UV-Vis, PL, TRPL, TEM, dan FTIR yang akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

## **2. Hasil Karakterisasi Optik C-dots Larutan Gula Pasir dengan Metode *Hydrothermal* dan *Microwave***

Hasil sintesis C-dots berbahan dasar gula pasir berdasarkan kedua metode untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi UV-Vis, PL, dan TRPL. Karakterisasi UV-Vis dilakukan untuk mengetahui pola absorpsi pada panjang gelombang tertentu. Hasil karakterisasi UV-Vis untuk kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 14.



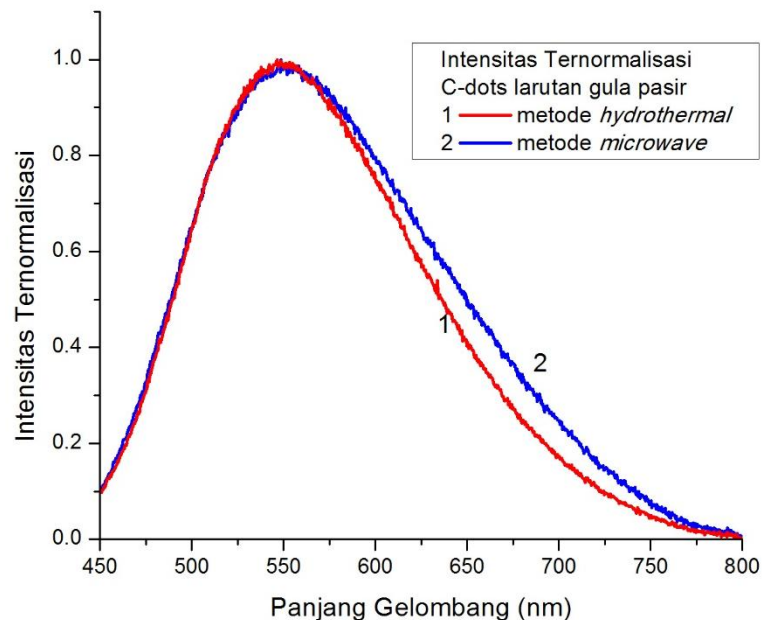
**Gambar 14.** Hasil karakterisasi UV-Vis C-dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*

Pola absorpsi yang terbentuk pada metode *hydrothermal* memiliki satu puncak absorpsi pada panjang gelombang 303 nm. Puncak absorpsi pada panjang gelombang tersebut menunjukkan transisi elektron  $\pi \rightarrow \pi^*$  (*core*). Pola absorpsi yang terbentuk pada metode *microwave* memiliki dua puncak absorpsi yaitu puncak 1 pada panjang gelombang 295 nm dan puncak 2 pada panjang gelombang 369 nm. Puncak absorpsi 1 pada panjang gelombang tersebut menunjukkan transisi elektron  $\pi \rightarrow \pi^*$  (*core*) dan puncak absorpsi 2 menunjukkan transisi elektron  $n \rightarrow \pi^*$  (*surface state*).

Pada grafik metode *hydrothermal* struktur C-dots yang berupa *surface state* tidak terlihat puncak absorpsinya. Namun demikian puncak *surface state* masih ada hanya saja pada saat dilakukan uji UV-Vis puncak tersebut

tidak terbaca. Grafik hasil karakterisasi UV-Vis pada metode *hydrothermal* memiliki bentuk yang landai dan tidak muncul puncak pada ekornya. Namun setelah dilakukan pasivasi pada permukaan C-dots dengan penambahan TTDDA pada sampel, muncul puncak pada ekor grafik seperti Gambar 7. Pada penelitian ini tidak tampaknya puncak dari surface state pada C-dots dengan metode *hydrothermal* bisa jadi disebabkan oleh tidak adanya agen pasivasi sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Peng (2009).

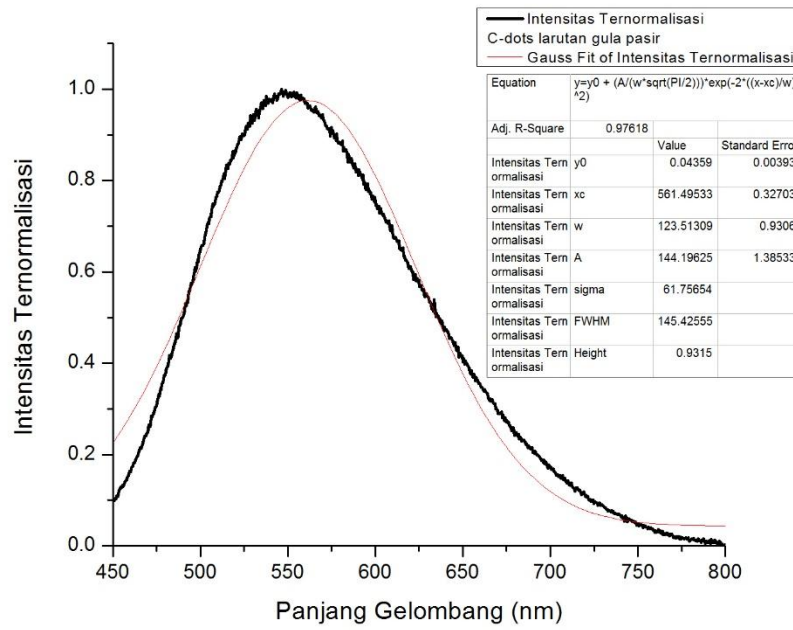
Selanjutnya dilakukan karakterisasi PL dengan panjang gelombang eksitasi 405 nm untuk mengetahui panjang gelombang emisi yang dihasilkan oleh C-dots. Hasil karakterisasi PL dari kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 15.



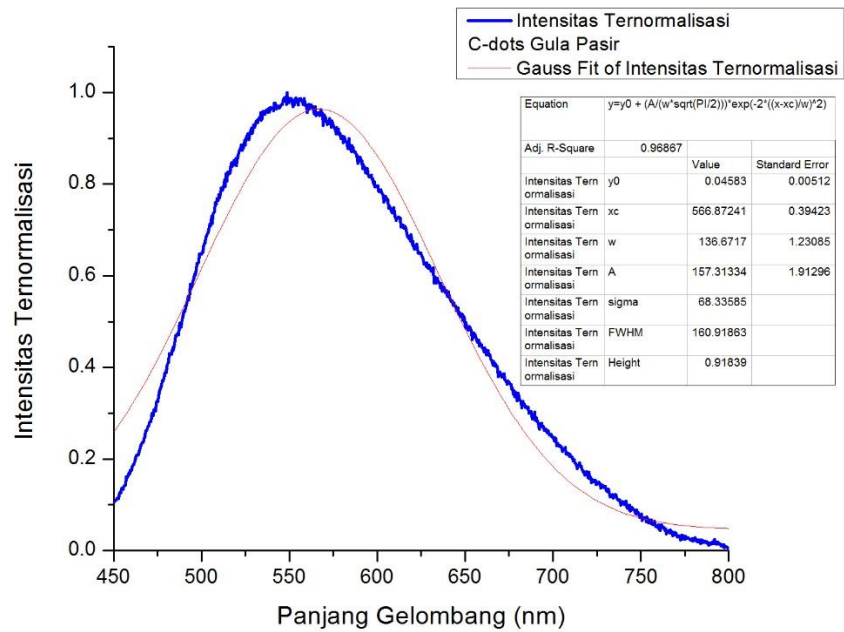
**Gambar 15.** Hasil karakterisasi PL C-dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan metode *microwave*

Grafik hasil karakterisasi PL dianalisis untuk memperoleh panjang gelombang puncak dan lebar dari grafik yang dihasilkan dari kedua metode sintesis. Emisi yang dihasilkan pada metode *hydrothermal* memiliki puncak pada panjang gelombang 561 nm sedangkan pada metode *microwave* puncak berada pada panjang gelombang 567 nm. Panjang gelombang yang diperoleh dari kedua metode sesuai dengan warna pendaran yang dihasilkan yaitu warna hijau yang memiliki panjang gelombang antara 500-570 nm.

Analisis untuk memperoleh lebar grafik dilakukan dengan pencocokan (*fitting*) menggunakan fungsi Gaussian. Lebar grafik (FWHM) yang dihasilkan dari metode *hydrothermal* sebesar 145 nm sedangkan untuk metode *microwave* diperoleh lebar grafik (FWHM) sebesar 161 nm. Dari kedua grafik yang ditunjukkan Gambar 15, grafik warna biru (metode *microwave*) lebih lebar daripada grafik warna merah (metode *hydrothermal*). Hal tersebut mengindikasikan bahwa *surface state* pada C-dots yang dihasilkan dari metode *microwave* lebih dominan dibandingkan dengan C-dots yang dihasilkan dari metode *hydrothermal* sesuai Gambar 10 pada kajian pustaka.



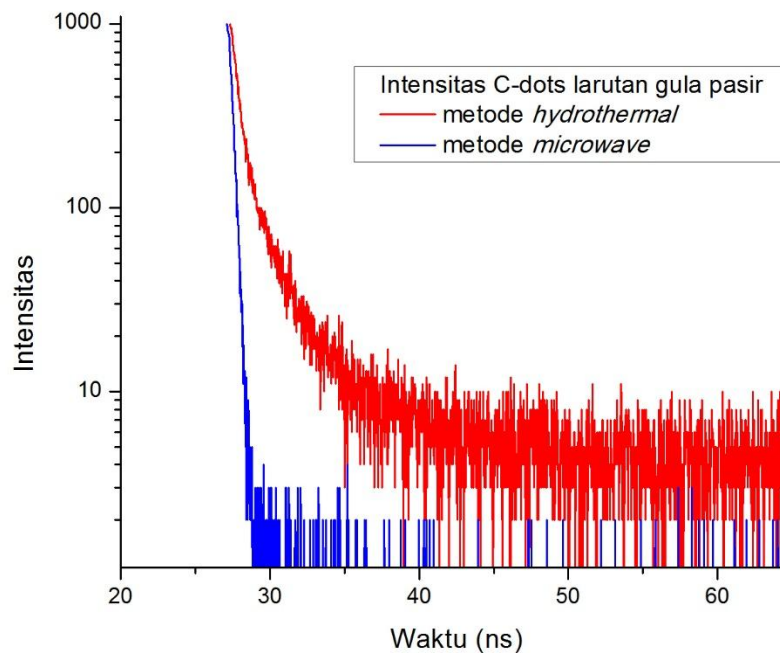
(a)



(b)

**Gambar 16.** Hasil *fitting* grafik PL C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

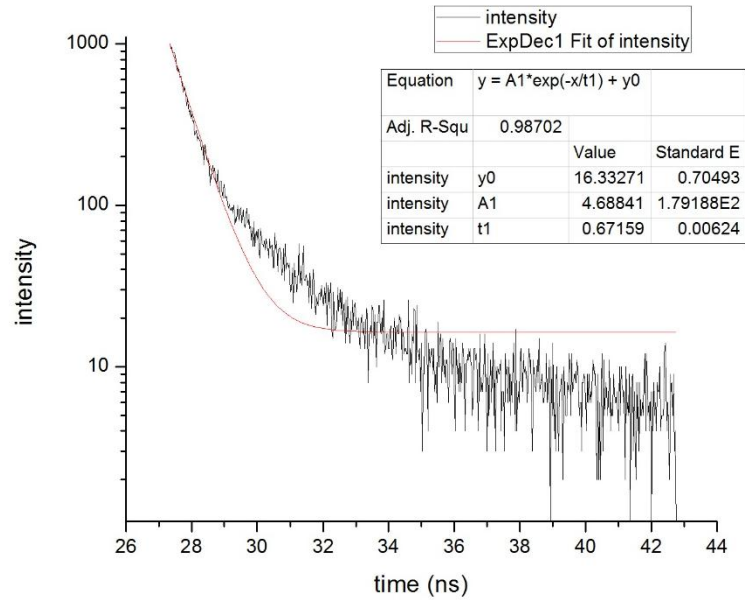
Selain karakterisasi UV-Vis dan karakterisasi PL, dilakukan pula karakterisasi TRPL untuk mengetahui waktu luruh elektron yang tereksitasi. Hasil karakterisasi TRPL dari kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 17.



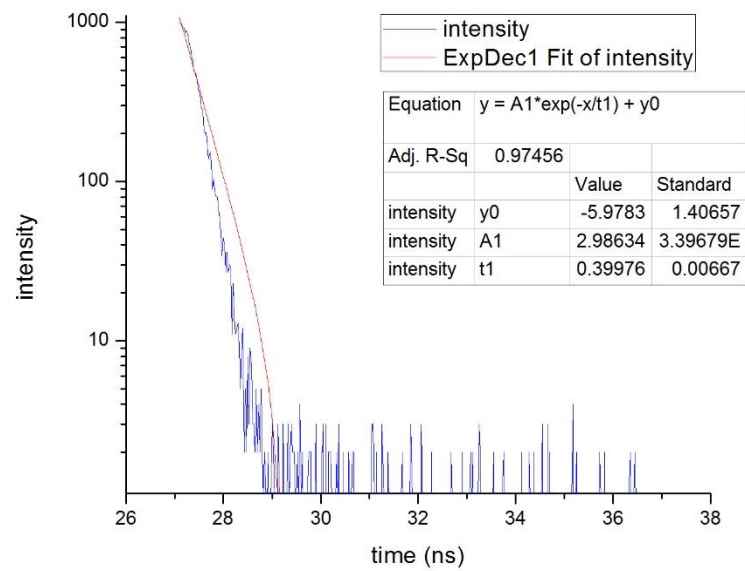
**Gambar 17.** Hasil karakterisasi TRPL C-dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan metode *microwave*

Grafik yang diperoleh dari hasil karakterisasi TRPL dianalisis dan dilakukan pencocokan (*fitting*) menggunakan fungsi *exponential decay* 1 pada aplikasi Origin. Hasil *fitting* diperoleh waktu luruh elektron pada metode *hydrothermal* sebesar 0,67159 ns, sedangkan pada metode *microwave* diperoleh waktu luruh elektron sebesar 0,39976 ns. Artinya waktu yang dibutuhkan elektron untuk kembali dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar (deeksitasi) selama 0,67159 ns pada metode *hydrothermal* dan 0,39976 ns pada metode *microwave*. Selain waktu luruh diperoleh pula

laju pelemahan ( $\nu$ ) dari intensitas C-dots untuk metode *hydrothermal* sebesar  $1,4890 \text{ ns}^{-1}$  sedangkan untuk metode *microwave* sebesar  $2,5015 \text{ ns}^{-1}$



(a)



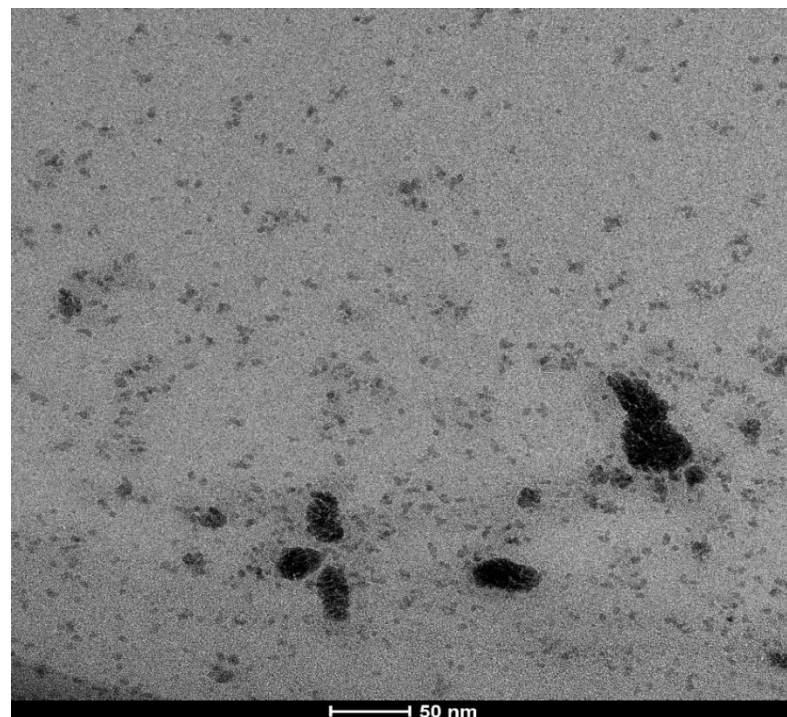
(b)

**Gambar 18.** Hasil *fitting* grafik TRPL C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

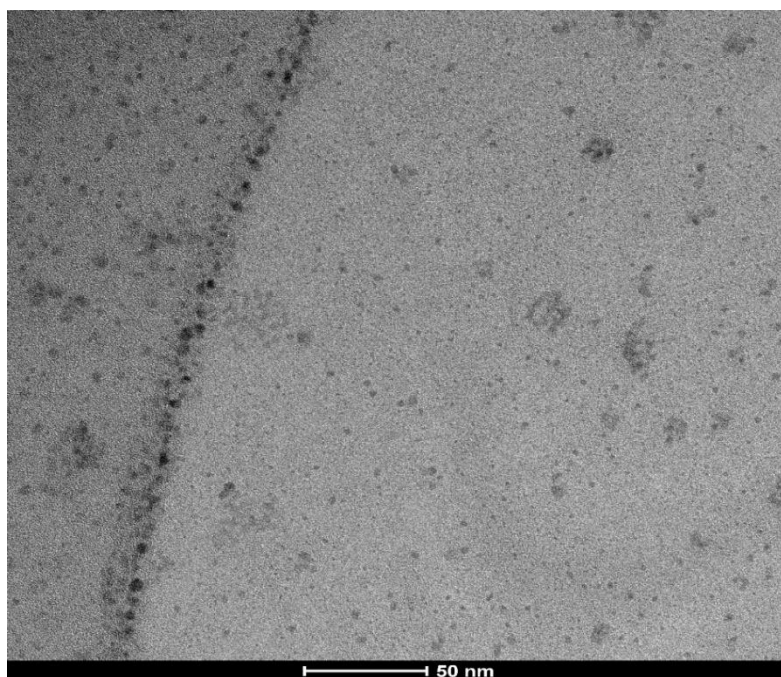


Pada metode *microwave* elektron lebih cepat luruh dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil ini menunjukkan bahwa *surface state* pada metode *microwave* lebih dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hal ini disebabkan kedudukan *surface state* yang berada di bawah *core* sehingga lebih cepat untuk turun ke keadaan dasar sesuai Gambar 10 pada kajian pustaka.

Selanjutnya dilakukan pengujian TEM untuk mengetahui morfologi dan ukuran diameter dari C-dots yang dihasilkan oleh kedua metode. Dari pengujian TEM diperoleh hasil untuk kedua metode seperti pada Gambar 19.



(a)



(b)

**Gambar 19.** Hasil pengujian TEM C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Dari kedua gambar terlihat bahwa C-dots larutan gula pasir yang dihasilkan oleh metode *microwave* lebih tersebar merata dibandingkan C-dots yang dihasilkan oleh metode *hydrothermal* yang cenderung untuk berkumpul di beberapa titik.

Dari pengukuran hasil TEM dan perhitungan diperoleh variasi ukuran diameter C-dots seperti tabel 2.

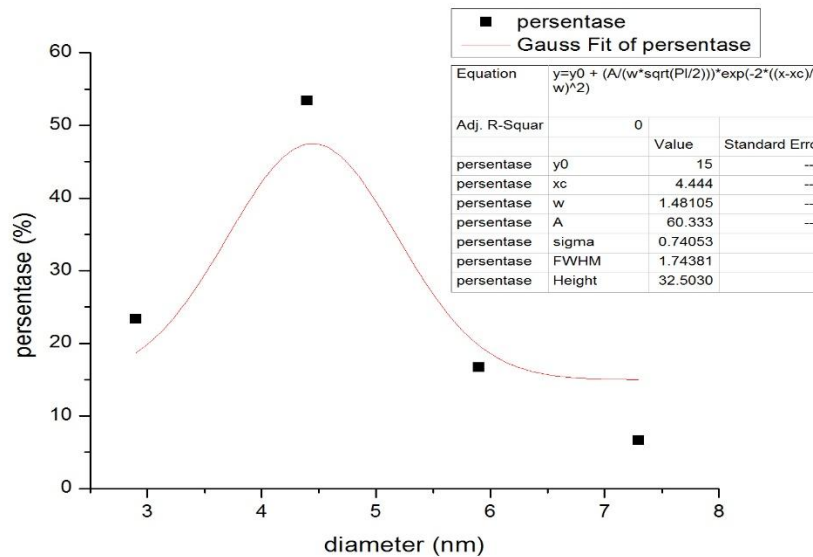
**Tabel 2. Hasil pengukuran diameter C-dots larutan gula pasir**

Ukuran C-dots pada Metode Hydrothermal (nm)	Ukuran C-dots pada Metode Microwave (nm)
2,9	1,9
4,4	2,9
5,9	3,8
7,3	4,8

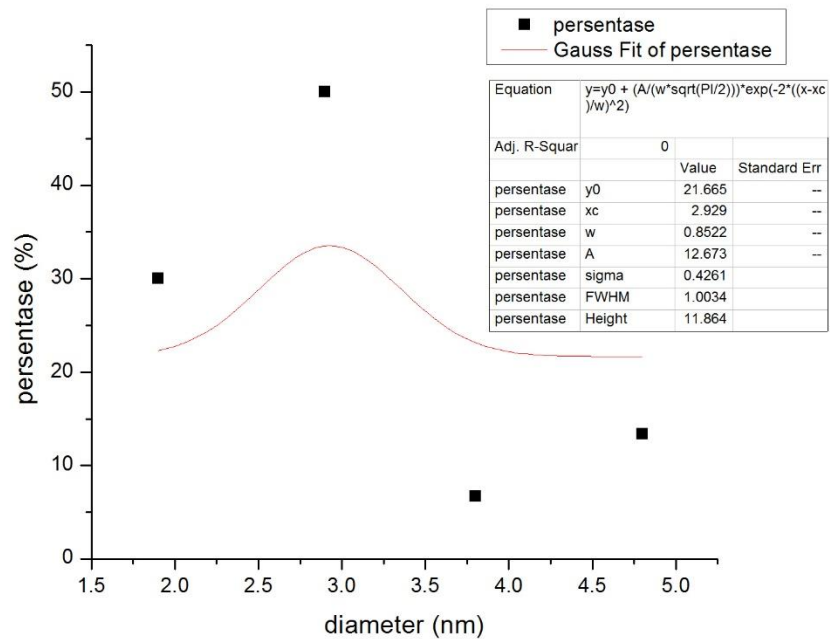
Untuk menghasilkan persentase jumlah C-dots pada ukuran tertentu dilakukan perhitungan statistic sederhana dengan rumus:

$$\text{jumlah C - dots \%} = \frac{\text{jumlah C-dots dengan ukuran yang sama}}{\text{jumlah titik C-dots yang diukur}} \times 100$$

Dari perhitungan jumlah C-dots (%) dan pengukuran diameter C-dots (nm) dapat dihasilkan grafik persentase persebaran ukuran diameter C-dots



(a)

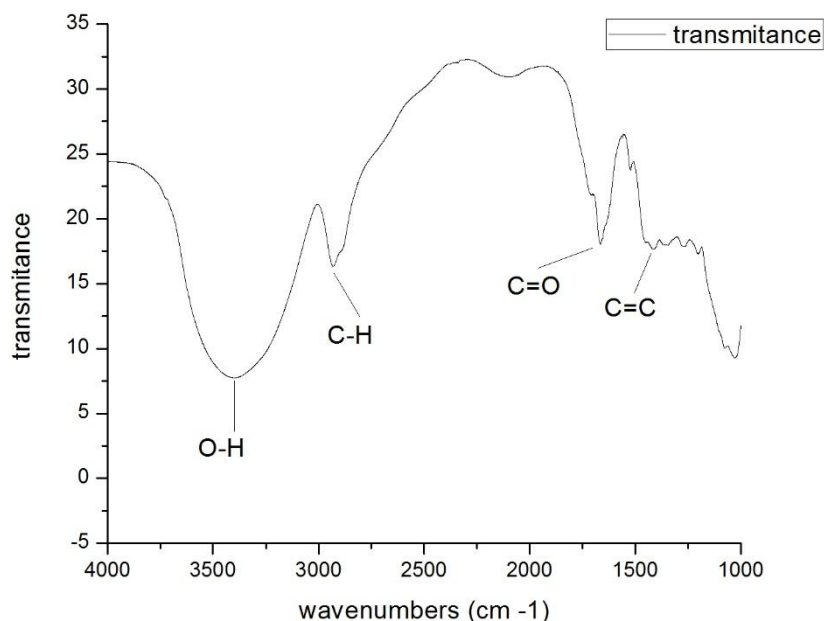


(b)

**Gambar 20.** Hasil persentase persebaran ukuran diameter C-dots larutan gula pasir dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Grafik hasil persebaran ukuran C-dots pada metode *hydrothermal* memperlihatkan bahwa ukuran diameter 4,4 nm memiliki persentase tertinggi. Pada metode *microwave* persentase tertinggi dihasilkan oleh C-dots yang berdiameter 2,9 nm.

Untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dalam C-dots larutan gula pasir, dilakukan karakterisasi FTIR. Hasil karakterisasi FTIR terlihat seperti pada Gambar 21.



**Gambar 21.** Hasil karakterisasi FTIR C-dots larutan gula pasir

Gugus fungsi yang terbentuk dalam C-dots larutan gula pasir adalah gugus O – H yang memiliki bilangan gelombang  $3400\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 2941\text{ nm}$ ) (Shi, *et al*, 2011), C – H yang memiliki bilangan gelombang  $2931\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 3412\text{ nm}$ ) (De dan Karak, 2013), C = O yang memiliki bilangan gelombang  $1666\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 6002\text{ nm}$ ) (Joseph dan Anappara, 2017), dan C = C yang memiliki bilangan gelombang  $1420\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 7042\text{ nm}$ ) (Han, *et al*, 2015). Hasil FTIR menunjukkan larutan C-dots telah berhasil dibuat dari bahan dasar gula pasir dengan adanya gugus fungsi C=C yang merupakan penyusun dari *core* pada C-dots. Gugus fungsi O-H, C-H, dan C=O merupakan bagian dari *surface state* pada C-dots.

Hasil perbandingan karakterisasi UV-Vis, PL, dan TRPL C-Dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* dapat dilihat pada Tabel 3.

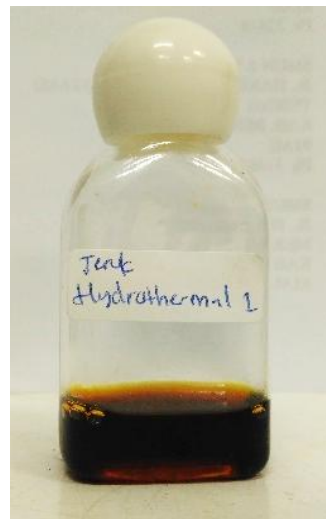
**Tabel 3.** Perbandingan sifat optik hasil karakterisasi C-dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*

Metode	Uv-Vis		PL		TRPL
	Puncak 1 (nm)	Puncak 2 (nm)	Puncak (nm)	Lebar grafik (nm)	Waktu luruh (ns)
<i>Hydrothermal</i>	303	-	548	157	0,67159
<i>Microwave</i>	295	369	547	175	0,39976

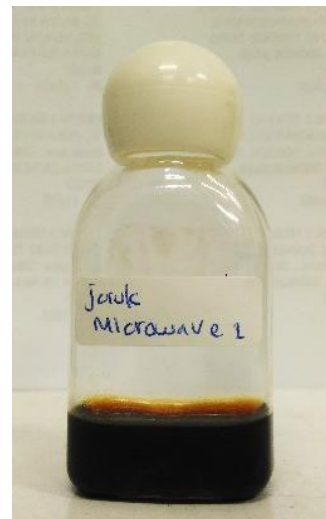
Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan C-dots larutan gula pasir yang dihasilkan dengan metode *microwave* memiliki *surface state* yang dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal* yang ditandai dengan munculnya puncak absorpsi kedua pada panjang gelombang tertentu. Pernyataan ini didukung pula dengan hasil karakterisasi PL dan TRPL yang menunjukkan lebar grafik yang dihasilkan oleh metode *microwave* lebih lebar dibandingkan pada metode *hydrothermal* dan waktu luruh elektron yang terjadi pada C-dots yang dihasilkan dari metode *microwave* lebih cepat turun ke keadaan dasar dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Pada metode *hydrothermal*, bagian *core* dari C-dots yang dihasilkan lebih dominan dibandingkan bagian *surface state*.

### 3. Hasil Sintesis C-dots Air Jeruk dengan Metode *Hydrothermal* dan *Microwave*

Hasil sintesis C-dots dari air jeruk dengan kedua metode memiliki penampakan warna sampel yang berbeda. Larutan C-dots yang dihasilkan pada metode *hydrothermal* berwarna coklat gelap seperti pada Gambar 22 (a), sedangkan C-dots yang dihasilkan pada metode *microwave* berupa larutan berwarna coklat kehitaman seperti yang terlihat pada Gambar 22 (b).



(a)



(b)

**Gambar 22.** Hasil sintesis C-dots larutan jeruk dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Seperti sintesis C-dots dari bahan dasar gula pasir, warna larutan sintesis C-dots berbahan dasar jeruk yang dihasilkan dari metode *microwave* lebih pekat dibandingkan dengan metode *hydrothermal*. Pada metode *microwave* terjadi proses karbonisasi yang dicirikan dengan terbentuknya padatan berwarna coklat kehitaman, sedangkan pada metode *hydrothermal*

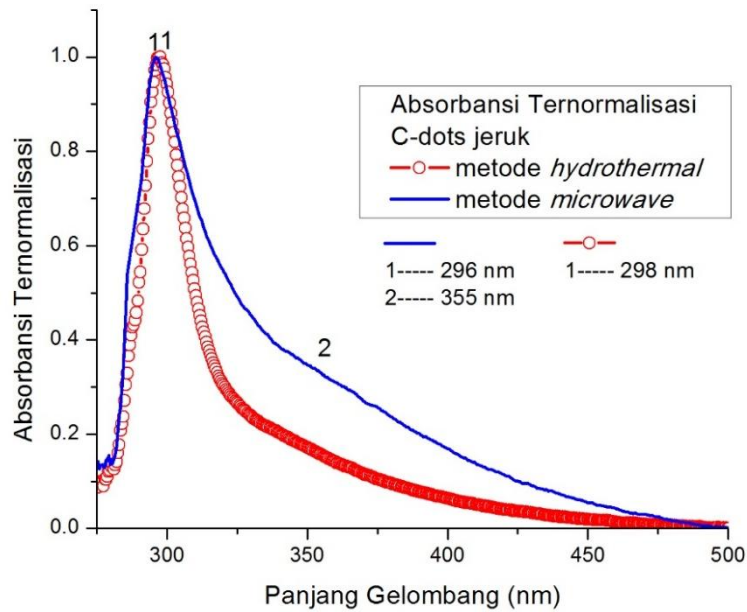
terjadi proses karbonisasi yang menghasilkan larutan berwarna coklat dan endapan berwarna coklat kehitaman. Pada metode *hydrothermal* pelarut tidak mengalami penguapan keluar dari *autoclave* sehingga dihasilkan larutan.

Pengujian sederhana untuk mengetahui keberhasilan sintesis C-dots dari kedua metode dilakukan dengan menembakkan sinar UV. Sama halnya dengan larutan gula pasir, hasil dari penyinaran UV diperoleh pendaran untuk kedua sampel. Selain melakukan pengujian sederhana, dilakukan pula pengujian dengan alat uji UV-Vis, PL, TRPL, TEM, dan FTIR yang akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

#### **4. Hasil Karakterisasi Optik C-dots Air Jeruk dengan Metode *Hydrothermal* dan *Microwave***

Seperti pada larutan gula pasir, hasil sintesis C-dots berbahan dasar air jeruk dari kedua metode untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi UV-Vis, PL, dan TRPL. Karakterisasi UV-Vis dilakukan untuk mengetahui pola absorpsi pada panjang gelombang tertentu. Hasil karakterisasi UV-Vis untuk kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 23.



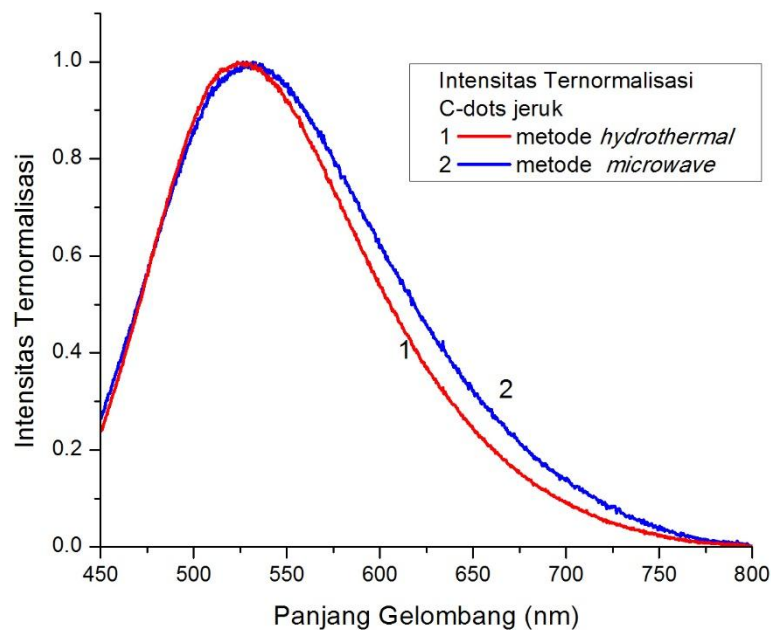


**Gambar 23.** Hasil karakterisasi UV-Vis C-dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*

Pola absorpsi yang terbentuk pada metode *hydrothermal* memiliki satu puncak absorpsi pada panjang gelombang 298 nm. Puncak absorpsi pada panjang gelombang tersebut menunjukkan transisi elektron  $\pi \rightarrow \pi^*$  (*core*). Pada grafik metode *hydrothermal* struktur C-dots yang berupa *surface state* tidak terlihat puncak absorpsinya. Namun demikian puncak *surface state* masih ada hanya saja pada saat dilakukan uji UV-Vis puncak tersebut tidak terbaca. Hal ini sama seperti yang terjadi pada C-dots berbahan dasar gula pasir dengan metode *hydrothermal*. Pola absorpsi yang terbentuk pada metode *microwave* memiliki dua puncak absorpsi yaitu puncak 1 pada panjang gelombang 296 nm dan puncak 2 pada panjang gelombang 355 nm. Puncak absorpsi 1 pada panjang gelombang tersebut menunjukkan transisi

elektron  $\pi \rightarrow \pi^*$  (*core*) dan puncak absorpsi 2 menunjukkan transisi elektron  $n \rightarrow \pi^*$  (*surface state*).

Selanjutnya dilakukan karakterisasi PL dengan panjang gelombang eksitasi 405 nm untuk mengetahui emisi yang dihasilkan oleh C-dots. Hasil karakterisasi PL dari kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 24.

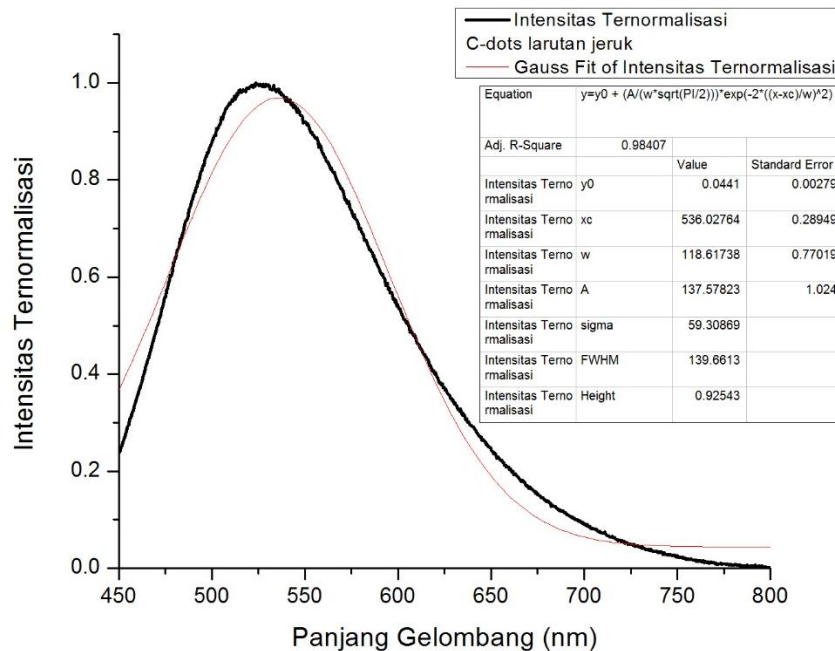


**Gambar 24.** Hasil karakterisasi PL C-dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan metode *microwave*

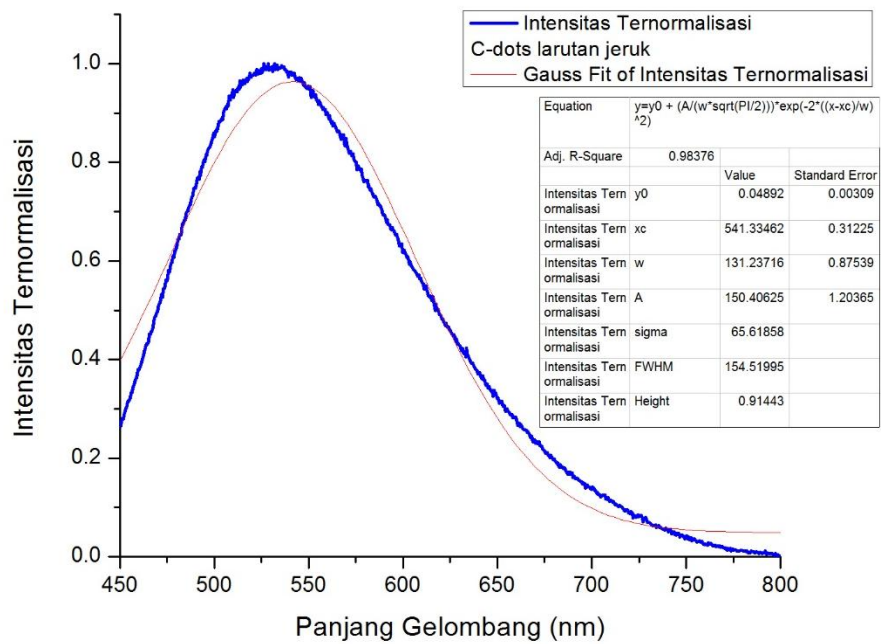
Grafik hasil karakterisasi PL dianalisis untuk memperoleh panjang gelombang puncak dan lebar dari grafik yang dihasilkan dari kedua metode sintesis. Emisi yang dihasilkan pada metode *hydrothermal* memiliki puncak pada panjang gelombang 536 nm sedangkan pada metode *microwave* puncak berada pada panjang gelombang 541 nm. Panjang gelombang yang

diperoleh dari kedua metode sesuai dengan warna pendaran yang dihasilkan yaitu warna hijau yang memiliki panjang gelombang antara 500-570 nm.

Analisis untuk memperoleh lebar grafik dilakukan dengan pencocokan (*fitting*) menggunakan fungsi Gaussian. Lebar grafik (FWHM) yang dihasilkan dari metode *hydrothermal* sebesar 140 nm sedangkan untuk metode *microwave* diperoleh lebar grafik (FWHM) sebesar 154 nm. Sama halnya pada larutan gula pasir, dari kedua grafik yang ditunjukkan Gambar 24, grafik warna biru (metode *microwave*) lebih lebar daripada grafik warna merah (metode *hydrothermal*). Hal tersebut mengindikasikan bahwa *surface state* pada C-dots yang dihasilkan dari metode *microwave* lebih dominan dibandingkan dengan C-dots yang dihasilkan dari metode *hydrothermal* sesuai dengan penjelasan Gambar 10 pada kajian pustaka.



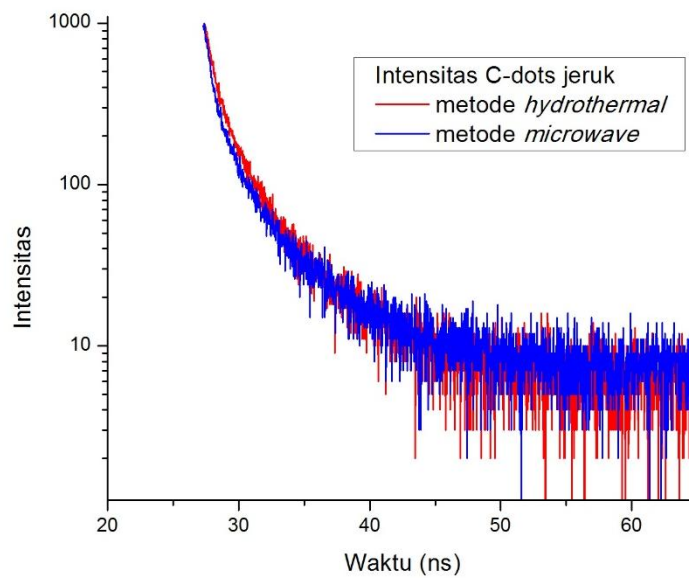
(a)



(b)

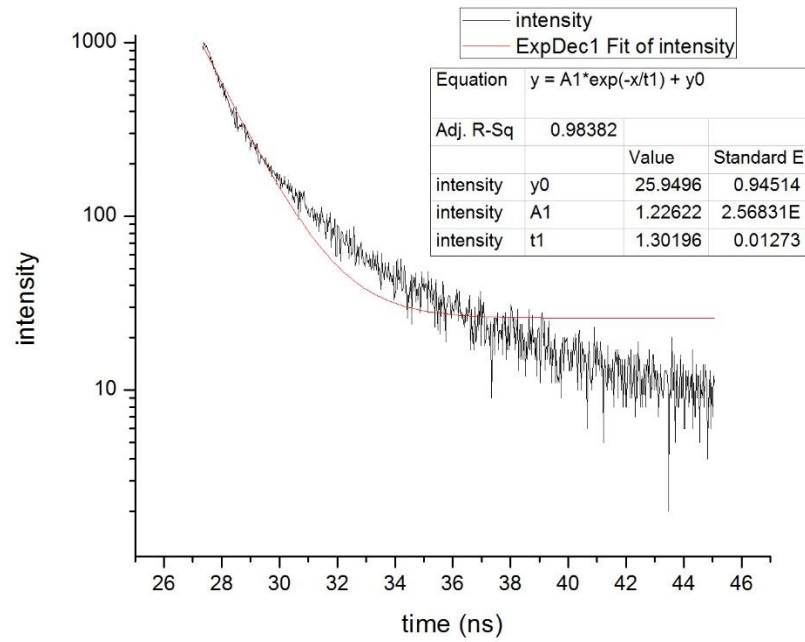
**Gambar 25.** Hasil *fitting* grafik PL C-dots larutan jeruk dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Selain karakterisasi UV-Vis dan karakterisasi PL, dilakukan juga karakterisasi TRPL untuk mengetahui waktu luruh elektron yang tereksitasi. Hasil karakterisasi TRPL dari kedua sampel ditunjukkan pada Gambar 26.

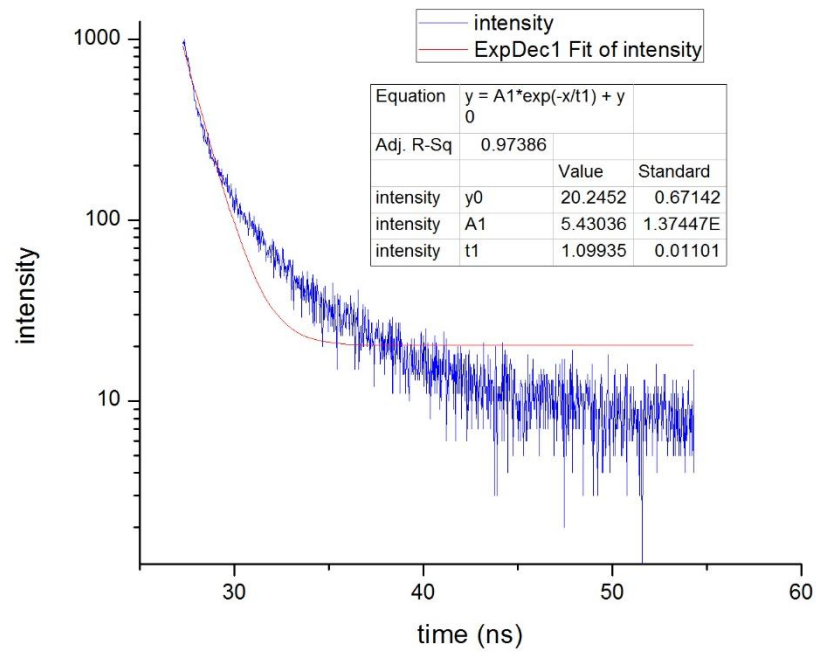


**Gambar 26.** Hasil karakterisasi TRPL C-dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan metode *microwave*

Grafik yang diperoleh dari hasil karakterisasi TRPL dianalisis dan dilakukan pencocokan (*fitting*) menggunakan fungsi *exponential decay* 1 pada aplikasi Origin. Hasil *fitting* diperoleh waktu luruh elektron pada metode *hydrothermal* sebesar 1,30196 ns, sedangkan pada metode *microwave* diperoleh waktu luruh elektron sebesar 1,09935 ns. Artinya waktu yang dibutuhkan elektron untuk kembali dari keadaan tereksitasi ke keadaan dasar selama 1,30196 ns pada metode *hydrothermal* dan 1,09935 ns pada metode *microwave*. Selain waktu luruh diperoleh pula laju pelemahan dari intensitas C-dots untuk metode *hydrothermal* sebesar  $0,7681 \text{ ns}^{-1}$  sedangkan untuk metode *microwave* sebesar  $0,9096 \text{ ns}^{-1}$



(a)

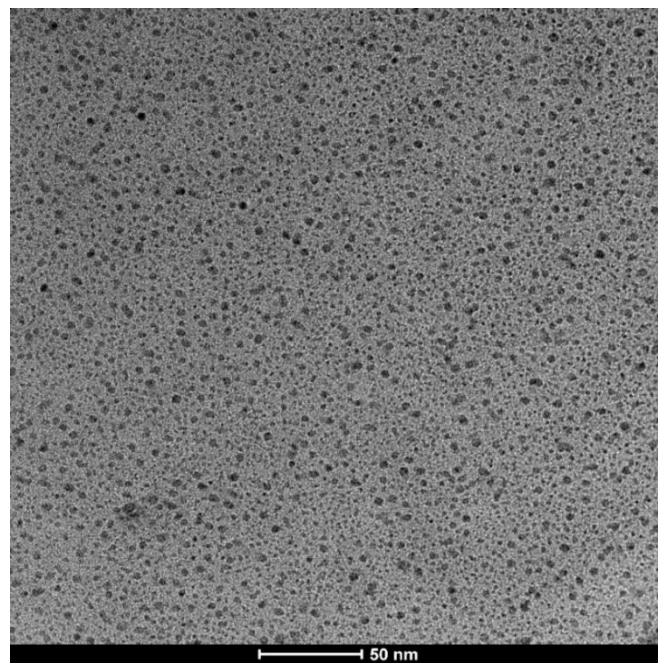


(b)

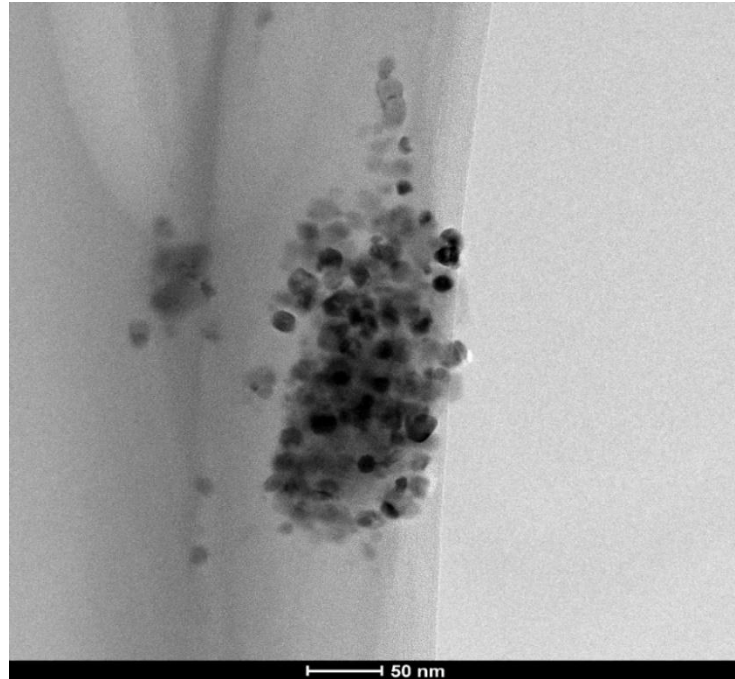
**Gambar 27.** Hasil *fitting* grafik TRPL C-dots larutan jeruk dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Pada metode *microwave* elektron lebih cepat luruh dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil ini menunjukkan bahwa *surface state* pada metode *microwave* lebih dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal*.

Selanjutnya dilakukan pengujian TEM untuk mengetahui morfologi dan ukuran diameter dari C-dots yang dihasilkan oleh kedua metode. Dari pengujian TEM diperoleh hasil untuk kedua metode seperti pada Gambar 28.



(a)



(b)

**Gambar 28.** Hasil karakterisasi TEM larutan jeruk dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Berbeda dengan hasil TEM pada larutan gula pasir, C-dots yang dihasilkan larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* lebih tersebar merata dibandingkan C-dots yang dihasilkan oleh metode *microwave* yang cenderung untuk berkumpul di satu titik. Ukuran C-dots yang dihasilkan dengan metode *microwave* jauh lebih besar dibandingkan dengan C-dots yang dihasilkan pada metode *hydrothermal*. Bahkan lebih besar dari C-dots yang dihasilkan dari larutan gula pasir untuk kedua metode.

Dari pengukuran hasil TEM dan perhitungan diperoleh variasi ukuran diameter C-dots seperti tabel 4.



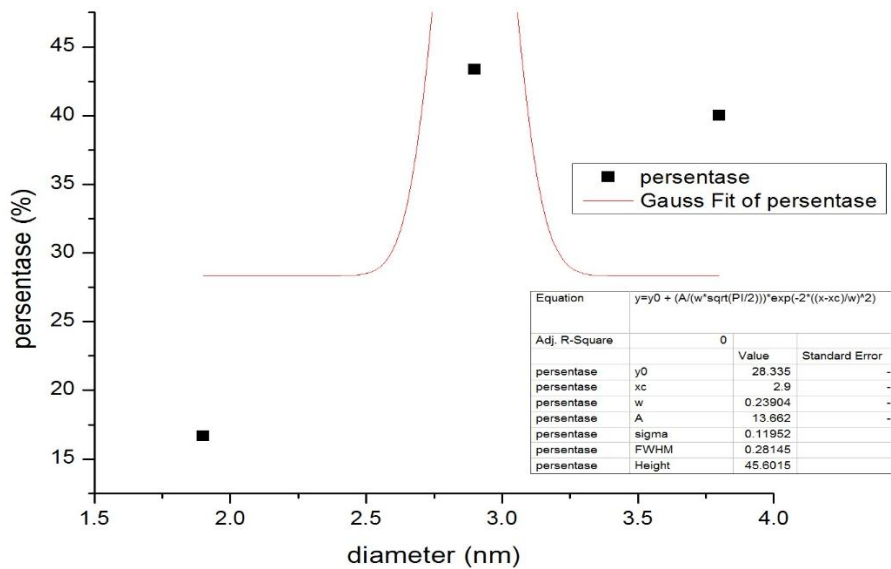
**Tabel 4. Hasil pengukuran diameter C-dots larutan jeruk**

Ukuran C-dots pada Metode Hydrothermal (nm)	Ukuran C-dots pada Metode Microwave (nm)
1,9	10,3
2,9	13,2
3,8	16,2

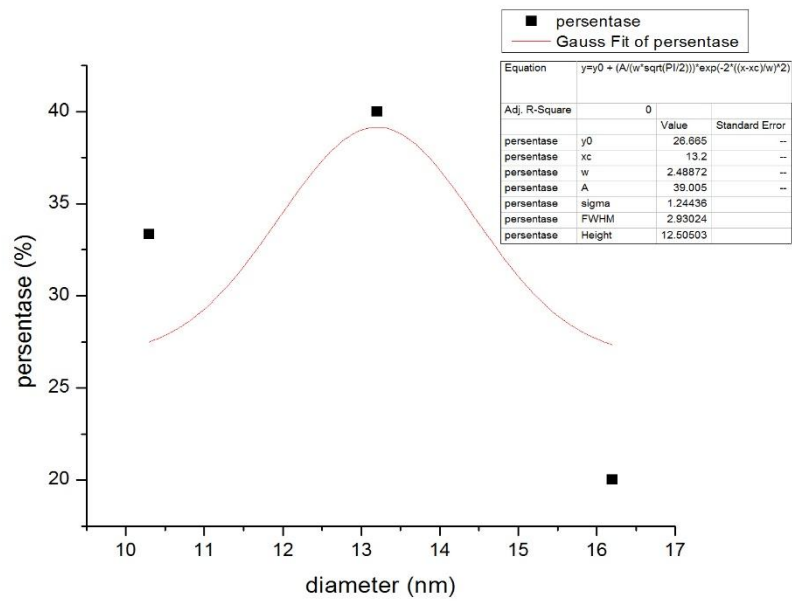
Untuk menghasilkan persentase jumlah C-dots pada ukuran tertentu dilakukan perhitungan statistik sederhana dengan rumus

$$\text{jumlah C - dots \%} = \frac{\text{jumlah C-dots dengan ukuran yang sama}}{\text{jumlah titik C-dots yang diukur}} \times 100\%$$

Dari perhitungan jumlah C-dots (%) dan pengukuran diameter C-dots (nm) dapat dihasilkan grafik persentase persebaran ukuran diameter C-dots



(a)

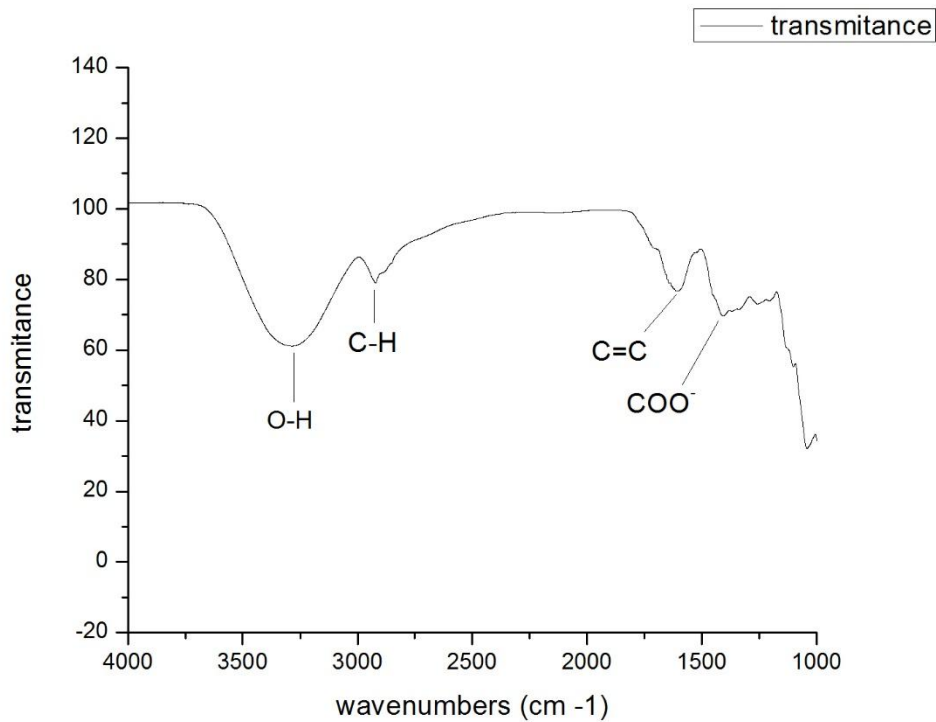


(b)

**Gambar 29.** Grafik persebaran ukuran diameter C-dots larutan jeruk dengan metode (a) *hydrothermal* dan (b) *microwave*

Grafik hasil persebaran ukuran C-dots pada metode *hydrothermal* memperlihatkan bahwa ukuran diameter 2,9 nm memiliki persentase tertinggi. Pada metode *microwave* persentase tertinggi dihasilkan oleh C-dots yang berdiameter 13,2 nm.

Untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dalam C-dots larutan jeruk, dilakukan karakterisasi FTIR. Hasil karakterisasi FTIR terlihat seperti pada Gambar 30.



**Gambar 30.** Hasil karakterisasi FTIR C-dots larutan jeruk

Gugus fungsi yang terbentuk dalam C-dots air jeruk adalah O–H yang memiliki bilangan gelombang  $3285\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 3044\text{ nm}$ ) (Zhu, *et al*, 2012), C–H yang memiliki bilangan gelombang  $2921\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 3423\text{ nm}$ ) (Zhu, *et al*, 2013), C=C yang memiliki bilangan gelombang  $1606\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 6227\text{ nm}$ ) (Kasibabu, *et al*, 2015) dan  $\text{COO}^-$  yang memiliki bilangan gelombang  $1407\text{ cm}^{-1}$  ( $\lambda = 7107\text{ nm}$ ) (Wen, *et al*, 2013). Hasil FTIR menunjukkan larutan C-dots telah berhasil dibuat dari bahan dasar gula pasir dengan adanya gugus fungsi C=C yang merupakan penyusun dari *core* pada C-dots. Gugus fungsi O-H, C-H, dan  $\text{COO}^-$  merupakan bagian dari *surface state* pada C-dots.

Hasil perbandingan karakterisasi UV-Vis, PL, dan TRPL C-Dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Perbandingan sifat optik hasil karakterisasi C-dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave*

Metode	Uv-Vis		PL		TRPL
	Puncak 1 (nm)	Puncak 2 (nm)	Puncak (nm)	Lebar grafik (nm)	Waktu luruh (ns)
<i>Hydrothermal</i>	298	-	524	135	1,30196
<i>Microwave</i>	296	355	532	153	1,09935

Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan C-dots larutan jeruk yang dihasilkan dengan metode *microwave* memiliki *surface state* yang dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal* yang ditandai dengan munculnya puncak absorpsi kedua pada panjang gelombang tertentu. Pernyataan ini didukung pula dengan hasil karakterisasi PL dan TRPL yang menunjukkan lebar grafik yang dihasilkan oleh metode *microwave* lebih lebar dibandingkan pada metode *hydrothermal* dan waktu luruh elektron yang terjadi pada C-dots yang dihasilkan dari metode *microwave* lebih cepat turun ke keadaan dasar dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Pada metode *hydrothermal*, bagian *core* dari C-dots yang dihasilkan lebih dominan dibandingkan bagian *surface state*.

Perbandingan sifat optik dari C-dots dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* untuk kedua bahan (gula pasir dan air jeruk) memiliki hasil yang

hampir serupa di mana *surface state* pada metode *microwave* lebih dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal*.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis C-dots larutan gula pasir dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* memiliki hasil penampakan dan karakterisasi yang berbeda. Hasil karakterisasi UV-Vis kedua metode menghasilkan puncak absorpsi pada panjang gelombang yang berbeda. Pada metode *microwave* terdapat dua puncak absorpsi. Hasil karakterisasi PL menghasilkan emisi pada panjang gelombang puncak yang berbeda. Lebar grafik PL pada metode *microwave* lebih lebar dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil TRPL menunjukkan waktu luruh elektron pada C-dots metode *microwave* lebih cepat luruh dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan C-dots larutan gula pasir yang dihasilkan dengan metode *microwave* memiliki *surface state* yang dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal*.
2. Sintesis C-dots larutan jeruk dengan metode *hydrothermal* dan *microwave* memiliki hasil penampakan dan karakterisasi yang berbeda. Hasil karakterisasi UV-Vis kedua metode menghasilkan puncak absorpsi pada panjang gelombang yang berbeda. Pada metode

*microwave* terdapat dua puncak absorpsi. Hasil karakterisasi PL menghasilkan emisi pada panjang gelombang puncak yang berbeda. Lebar grafik PL pada metode *microwave* lebih lebar dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil TRPL menunjukkan waktu luruh elektron pada C-dots metode *microwave* lebih cepat luruh dibandingkan pada metode *hydrothermal*. Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan C-dots larutan jeruk yang dihasilkan dengan metode *microwave* memiliki *surface state* yang dominan dibandingkan pada metode *hydrothermal*.

## **B. Saran**

Setelah terselesaikannya penelitian ini, terdapat saran yang perlu diperhatikan bagi penelitiannya selanjutnya yaitu:

1. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terkait perbandingan sifat optik C-dots metode *hydrothermal* dan *microwave* dengan variasi konsentrasi bahan untuk menghasilkan perbandingan data yang lebih baik.
2. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut terkait perbandingan sifat optik C-dots dengan metode sintesis yang lain.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin, K. (2010). *Karakterisasi Nanomaterial Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data*. Bandung: CV Rezeki Putera.
- Baker\*, S. N., et al. (2010). Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 49, 6726 – 6744.
- Bao, Lei C. L.-L.-W. et al. (2015). Photoluminescence-Tunable Carbon Nanodots: Surface-State Energy-Gap Tuning. *Adv. Mater.*, 1-5.
- De, Bibekananda, N. K. (2013). A green and facile approach for the synthesis of water soluble fluorescent carbon dots from banana juice. *RSC Adv*.
- Dewi, Adelina Ryan Candra, M. P. et al. (2016). Absorbance Spectrum Carbon Nanodots (C-Dots) Daun Tembakau. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, 129-134.
- Han, Shuai, H. Z. et al. (2015). Application of cow milk-derived carbon dots/Ag NPs composite as the antibacterial agent. *Applied Surface Science*, 368–373.
- (<https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/uv-vis/spectrum.htm>), diakses tanggal 15 September 2017 pukul 20.00 WIB.
- (<https://www.edinst.com/techniques/time-resolved-fluorescence/>), diakses tanggal 10 September 2017 pukul 15.35 WIB.
- (<https://physics.anu.edu.au/eme/capabilities/trpl.php>), diakses tanggal 12 September 2017 pukul 10.05 WIB.
- (<http://sasita1996.blogspot.com>), diakses pada tanggal 25 Agustus 2017 pukul 14.15 WIB.
- (<https://wanibesak.wordpress.com/2011/07/07/spektrofotometri-uv-ultraviolet/>), diakses tanggal 25 Agustus 2017 pukul 14.00 WIB.
- Joseph, Julin, A. A. (2017). Long Life-time Room-temperature Phosphorescence of Carbon Dots in Aluminum Sulfate. *ChemistrySelect*, 4058–4062.
- Kasibabu, Betha Saineelima B., S. L. (2015). Imaging of Bacterial and Fungal Cells Using Fluorescent Carbon Dots Prepared from Carica papaya Juice. *Springer*.
- Kristianingrum, S. (2016). *Spektroskopi Ultra Violet Dan Sinar Tampak (Spektroskopi Uv – Vis)*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.



- Kurniawan, C. (2008). *Studi Sifat Luminisens iNanopartikel CaxSrl xTiO3:RE(RE=Pr3+, Eu3+ dan Tb3+) yang Dipreparasi dengan Metode Sonokimia*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Li, Fan, C. L. et al. (2014). Mg/N double doping strategy to fabricate extremely high luminescent carbon dots for bioimaging. *RSC Adv*, 3201-3205.
- Li, Haitao, Z. K.-T. et al. (2012). Carbon nanodots: synthesis, properties and applications. *J. Mater. Chem*, 24230–24253.
- LiQin, LIU, Y. L. et al. (2011). One-step synthesis of fluorescent hydroxyls-coated carbon dots with hydrothermal reaction and its application to optical sensing. *Sci China Chem*, 1342–1347.
- Nevin, Austin, A. C. et al. (2014). Time-Resolved Photoluminescence Spectroscopy and Imaging: New Approaches to the Analysis of Cultural Heritage and Its Degradation. *Sensors*, 6338-6355.
- Owen, T. (n.d.). *Fundamental of Modern UV-Visible Spectroscopy*. Berlin: Agilent Technologies.
- Patel, N. H. (2015). *Basic Principle, Working and Instrumentation of Experimental Techniques*. Gujarat: Sardar Patel University.
- Peng, Hui, J. T.-S. et al. (2009). Simple Aqueous Solution Route to Luminescent Carbogenic Dots from Carbohydrates. *Chem. Mater*, 5563–5565.
- Rahmayanti, H. D. (2015). *Sintesis Carbon Nanodots Sulfur (C-Dots Sulfur) Dengan Metode Microwave*. Semarang: Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Sahu, Swagatika, B. B. et al. (2012). Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: application as excellent bio-imaging agents. *Chem. Commun*, 8835–8837.
- Shi, Wenbing, Q. W. et al. (2011). Carbon nanodots as peroxidase mimetics and their applications to glucose detection. *Chem. Commun*, 6695-6697.
- Soni, Saurabh. & Maria A. Loi (2016). *Luminescent Carbon Dots: Characteristics and Applications*. Groningen: Zernike Institute of Advanced Materials University of Groningen.
- Vita, E. (2015). *Kajian Pengaruh Konsentrasi Urea Dalam Sifat Optik Nanofiber Graphene Oxide/PVA (Polyvinyl Alcohol) yang Difabrikasi Menggunakan Teknik Electrosinning*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada .
- Wang, Fu, Y.-h. C.-y.-g. et al. (2011). White light-emitting devices based on carbon dots' electroluminescence. *Chem. Commun*, 3502-3504.

- Wang, Xiaohui, K. Q. et al, (2011). Microwave assisted one-step green synthesis of cell-permeable multicolor photoluminescent carbon dots without surface passivation reagents. *J. Mater. Chem*, 2445-2450.
- Wen, Xiaoming, P. Y.-R. et al, (2013). Intrinsic and Extrinsic Fluorescence in Carbon Nanodots: Ultrafast Time-Resolved Fluorescence and Carrier Dynamics. *Adv. Optical Mater.*, 173–178.
- Zhai, Xinyun, P. Z. et al, (2012). Highly luminescent carbon nanodots by microwave-assisted pyrolysis. *The Royal Society of Chemistry*.
- Zhu, Chengzhou, J. Z. et al, (2012). Bifunctional fluorescent carbon nanodots: green synthesis via soy milk and application as metal-free electrocatalysts for oxygen reduction. *Chem. Commun*, 9367–9369.
- Zhu, Shoujun, Q. M. et al, ( 2013). Highly Photoluminescent Carbon Dots for Multicolor Patterning, Sensors, and Bioimaging. *Angew. Chem. Int. Ed*, 1-6.
- Zhu, Shoujun, Y. S. et al, (2015). The photoluminescence mechanism in carbon dots (graphene quantum dots, carbon nanodots, and polymer dots): Current state and future perspective. *Nano Research*, 355–381.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Dokumentasi Alat, Bahan, dan Proses Pengambilan Data

