

*Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 13 Nomor 3 Tahun 2024, hal 60-73*

## KARAKTERISTIK CARBON DOTS (C-dots) DARI BUAH JERUK MANDARIN (*Citrus reticulata*) YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE HIDROTERMAL

<sup>1)</sup>Syifa' Uliya Salsabilla , <sup>2)</sup>Diah Hari Kusumawati, <sup>3)</sup>Fitriana

<sup>1)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [syifa.20005@mhs.unesa.ac.id](mailto:syifa.20005@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [diahkusumawati@unesa.ac.id](mailto:diahkusumawati@unesa.ac.id)

<sup>3)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [fitrianafitriana@unesa.ac.id](mailto:fitrianafitriana@unesa.ac.id)

### Abstrak

Penelitian dilatarbelakangi oleh kelimpahan jeruk mandarin serta berkembangnya ilmu sains di bidang nanoteknologi khususnya *carbon dots*. *Carbon dots* merupakan material baru yang memiliki ciri khas yaitu berpendar di bawah penyinaran UV. Pengambilan jeruk mandarin (*Citrus reticulata*) sebagai prekursor dikarenakan kandungan glukosa yang merupakan indikasi bahwa bahan tersebut dapat dijadikan *carbon dots*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh perubahan suhu pemanasan terhadap sifat C-dots serta mengetahui karakteristiknya ditinjau dari karakterisasi sifat optik, gugus fungsi, serapan, dan morfologi. Metode sintesis yang relatif mudah, ramah lingkungan, dan memberikan keuntungan dapat mengontrol ukuran partikel yang dihasilkan yaitu hidrotermal. Untuk mengetahui pengaruh pemanasan tersebut dapat dilakukan sintesis dengan mencampurkan sari jeruk dengan aquades selanjutnya dipanaskan menggunakan *Teflon-lined autoclave* selama 6 jam dengan suhu 150°C, 170°C, 200°C. C-dots yang telah disintesis memiliki ukuran 1 nm - 2 nm dengan warna kecoklatan yang berpendar menjadi warna hijau jika diletakkan di bawah penyinaran UV yang tersusun atas gugus fungsi O-H, C=O, C-O-C, dan *epoxy ring* dengan gelombang serapan 296.00 nm, 306.00 nm, dan 307.00 nm dan energi gap 3.23 eV, 3.24 eV, dan 3.26 eV. Perubahan suhu menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan yang digunakan maka fluoresensi menjadi lebih terang dengan serapan yang bertambah serta energi gap menjadi lebih besar.

**Kata kunci:** *carbon dots*, hidrotermal, fluoresensi, energi gap

### Abstract

Research inspired by abundance of tangerines and growth of nanotechnology science especially carbon dots. Carbon dots is a new material that has unique character that will glow below UV lights. Tangerines (*Citrus reticulata*) used as precursor because of its contain of glucose that indicates tangerines could be synthesized as carbon dots. This research goals is to know the effect of temperature changes to the characteristic of C-dots and to know its characteristic by the result of characterization, such as optical characteristic, functional groups, absorbance, and morphology. Synthesis method that easier to do, enviromental friendly, and can control particle size is hydrothermal. To know the effect of temperature change we can mix tangerine juice with aquades then heated in teflon-lined autoclave with temperature 150°C, 170°C, 200°C for 6 hours. Synthesized tangerine C-dots has particle size 1 nm to 2 nm, with brownish colour and its structured by functional groups that is O-H, C=O, C-O-C, and epoxy ring, and it absorbed at wavelength 296.00 nm, 306.00 nm, and 307.00 nm and energi gap calculation is 3.23 eV, 3.24 eV, and 3.26 eV. Temperature change shows that the higher temperature has more fluorescence intensity with higher absorbance wavelength and more energi gap value.

**Keywords:** *carbon dots*, hydrothermal, fluorescence, energy gap

## I. PENDAHULUAN

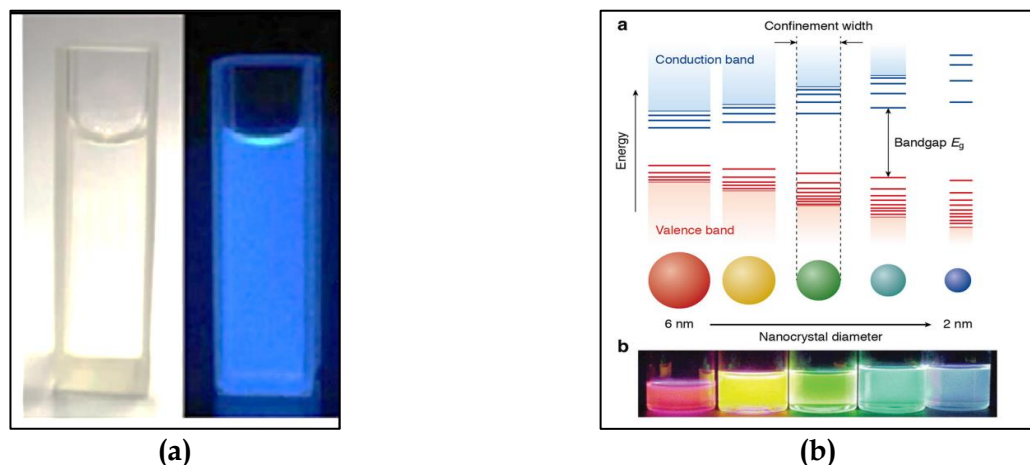
Jeruk keprok atau jeruk mandarin (*Citrus reticulata*) menurut Badan Pusat Statistika Jawa Timur, hasil jeruk keprok (mandarin) yang dipanen pada tahun 2022 berjumlah lebih dari 11 juta kuintal. Jeruk mandarin adalah salah satu komoditas yang banyak diproduksi karena memiliki pertumbuhan yang relatif cepat dibandingkan jenis jeruk yang lain. Jenis jeruk mandarin memiliki produktivitas yang tinggi serta cepat berbuah. Selain untuk kebutuhan konsumsi, jeruk mandarin bisa dimanfaatkan pada penelitian nanomaterial yang umumnya diaplikasikan dalam bidang nanoteknologi. Nanoteknologi yang saat ini dikembangkan yaitu *carbon dots* (C-dots). C-dots merupakan jenis baru dari material karbon yang berukuran kurang dari 10 nm. C-dots memanfaatkan kandungan karbon yang terkandung dalam buah jeruk yang berbentuk gula dan asam askorbat ( $C_6H_8O_6$ ) untuk membentuk partikel karbon berukuran nanometer yang berdaya guna tinggi pada kemajuan teknologi, seperti *bioimaging*, *biolabeling* and *imaging*, *white LED*, serta *metal ion sensing* (Aslan and Eskalen 2021).

**Tabel 1.** Referensi sintesis C-dots

Metode	Hasil	Referensi
Sari jeruk+ethylenediamine→hidrotermal 120°C, 2.5 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendaran berwarna hijau</li> <li>• Gugus fungsi C-OH, C-O-C, C=O, dan C-H</li> <li>• Serapan UV-Vis pada 288 nm</li> <li>• Ukuran partikel 1.5 nm- 4.5 nm</li> </ul>	Sahu, et al.(2012)
Sari jeruk+ethylenediamine→hidrotermal 120°C, 2.5 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gugus fungsi C=C, C-C, C-H, C-OH/C-O-C, C=O, -COOH, C=C, C-O, dan -COOH</li> <li>• Ukuran partikel kurang dari 5 nm</li> </ul>	Kumar, et al.(2014)
Sari jeruk →hidrotermal 170°C, 12 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gugus fungsi C=C dan C=O</li> <li>• Band gap 3.276 eV</li> <li>• Ukuran partikel <math>1.92 \pm 0.24</math> nm</li> </ul>	Aslan dan Eskalen (2021)
Sari jeruk+ethylenediamine→hidrotermal 200°C, 11 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendaran berwarna biru</li> <li>• Gugus fungsi C-C/C=C, C=N, C-O, dan C=O</li> <li>• Serapan UV-Vis 246 nm dan 346 nm</li> <li>• Ukuran partikel <math>1.86 \pm 0.18</math> nm</li> </ul>	Li, et al.(2017)
Sari lemon+ethanol→hidrotermal 190°C, 10 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendaran warna merah</li> <li>• Gugus fungsi O-H, N-H, -COOH, C-O, C=C/C=N, dan C-N</li> <li>• Serapan UV-Vis 268 nm</li> <li>• Ukuran partikel 4.6 nm</li> </ul>	Ding, et al.(2017)
Sari lemon→hidrotermal 150°C, 200°C, 240°C, dan 280°C 12 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendaran berwarna hijau terang</li> <li>• Gugus fungsi COOH, C-H, C-O-C, dan C=O</li> <li>• Serapan UV- Vis pada 283 nm</li> <li>• Ukuran partikel 13 nm - 4 nm</li> </ul>	Hoan, et al.(2019)
Sari lemon+ethylenediamine→hidrotermal 200°C, 10 jam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pendaran berwarna biru</li> <li>• Gugus fungsi O-H, N-H, C-O, -OH, C-H, C-N/C-O, N-H, dan C=C</li> <li>• Serapan UV-Vis 245 nm dan 353 nm</li> </ul>	Tadesse,et al.,(2020)

C-dots memiliki ukuran kurang dari 10 nm atau memiliki ukuran antara 2-20 nm yang bergantung pada material yang digunakan sebagai bahan utama (Haryadi, Purnama and Wibowo

2018). Bahan utama pada sintesis C-dots adalah rantai karbon dari suatu material. Secara morfologi C-dots berbentuk *quasi-spherical* dan memiliki struktur semacam grafit, amorf, atau dicirikan oleh inti kristal  $C_3N_4$  (Sciortino, Cannizo and Messina 2018). Struktur C-dots secara teknis tersusun dari unsur-unsur C dan H. Menurut (Oladzadabbasabadi, et al. 2023), permukaan C-dots tersusun atas berbagai macam gugus fungsi seperti gugus amino ( $-NH_2$ ), gugus hidroksil ( $-OH$ ), gugus karboksil ( $-COOH$ ), dan gugus karbonil ( $-C=O$ ) yang berperan terhadap fleksibilitas kimia, kelarutan dalam air, serta fungsionalisasi C-dots. Karena memiliki massa yang sangat kecil ilmuwan memungkinkan untuk menghitung dan mengubah ukuran *band-gap* dari C-dots dengan menambah atau mengurangi jumlah elektron C-dots. *Band-gap* pada C-dots bergantung pada frekuensi yang direspon (Yadav and Chaudhary 2014). Absorbansi C-dots pada rentang penyinaran UV menunjukkan transisi inti dan permukaan C-dots,  $n-\pi^*$ , dan  $\pi-\pi^*$ , gugus fungsi atau efek kurungan kuantum. C-dots yang disintesis menggunakan metode fisika atau kimia umumnya menunjukkan satu atau lebih serapan pada rentang 260 - 360 nm dalam rentang penyinaran UV pada UV-Vis. Keunggulan C-dots adalah proses kurungan quantum (*quantum confinement*) yang menjelaskan bahwa seluruh partikel terkurung dalam *band gap* yang dibentuk oleh *orbital highest occupied molecular orbital* (HOMO) dan *lowest unoccupied molecular orbital* (LUMO). Salah satu ciri khas C-dots adalah dapat berpendar di bawah penyinaran UV atau memiliki sifat fluoresensi yang merupakan efek dari kurungan kuantum. Ilmuwan membuktikan efek dari kurungan kuantum dengan penelitian yang menghasilkan data adanya perbedaan sifat fotoluminesensi C-dots berdasarkan ukurannya, di mana C-dots dengan ukuran kecil ( $\sim 1.2$  nm) menunjukkan pendaran mendekati sinar UV, C-dots berukuran medium ( $\sim 1.5$  nm - 3 nm) menghasilkan pendaran cahaya tampak, dan C-dots berukuran besar ( $\sim 3.8$  nm) menghasilkan pendaran yang mendekati sinar infra merah (Ganguly, et al. 2019). Pengamatan fluoresensi C-dots dapat dilakukan secara sederhana menggunakan penyinaran dengan lampu UV seperti pada **Gambar 1**, di mana sampel C-dots diamati dengan penyinaran UV pada ruangan tertutup untuk mengetahui warna pendaran yang dihasilkan.



**Gambar 1.** (a) Hasil karakterisasi pendaran C-dots pada cahaya tampak dan di bawah penyinaran UV 365 nm (Li, et al. 2017), (b) Efek kurungan kuantum pada *carbon dots* (Rabouw and Donega 2016)

C-dots dapat dibuat dengan berbagai jenis metode, namun secara umum metode sintesis C-dots terbagi dua yaitu *top down* dan *bottom up*. Pada metode *top down* sumber karbon yang berukuran lebih besar akan dipecah kembali menjadi partikel yang lebih kecil dengan proses sintesis tertentu seperti *laser ablation*, *electrochemical*, dan *arch discharge*. Keuntungan metode *top down* sangat membantu dan cocok pada industri mikrosistem C-dots yang dihasilkan umumnya memiliki inti kristal, namun metode ini memiliki kekurangan seperti, nanomaterial murni tidak dapat disintesis dari prekursor karbon yang berukuran besar, membutuhkan biaya yang mahal untuk proses

pemurniannya, dan juga tidak dapat mengontrol secara akurat ukuran dan morfologi C-dots yang akan disintesis (Yadav, et al. 2023). Sedangkan metode *bottom up* struktur nano terbentuk dari molekul organik seperti karbohidrat, asam organik, dan amina atau polimer prekursor melalui metode sintesis hidrotermal, *microwave*, dan pirolisis. Pada metode *bottom up* C-dots yang dihasilkan memiliki struktur inti amorf dengan doping yang tinggi dan beberapa gugus fungsi. Metode *bottom up* memiliki banyak kelebihan di antaranya yaitu, biaya sintesis yang terjangkau, ramah lingkungan, dan merupakan metode yang paling banyak digunakan salah satunya yaitu hidrotermal (Kumar, et al. 2021).

Hidrotermal merupakan metode yang sering dijumpai pada berbagai literatur terkait proses sintesis C-dots. Hidrotermal memiliki kelebihan mudah diterapkan, tidak membutuhkan banyak biaya serta menggunakan material yang tidak beracun untuk mengatur formasi C-dots (Jorns and Pappas 2021). Mekanisme metode hidrotermal secara bertahap yaitu sumber karbon mengalami reaksi kondensasi yang mengubah molekul kecil menjadi *polymeric intermediates*. Selanjutnya terjadi pengumpulan formasi ikatan kovalen dan ikatan elektrostatis. Polimer akan mengalami karbonisasi menjadi nanopartikel C-dots pada suhu tinggi. Permukaan C-dots baru terbentuk setelah inti C-dots terbentuk dengan berbagai gugus fungsi untuk mengoptimalkan komposisi C-dots (Bressi, et al. 2022). *Carbon dots* yang dihasilkan dari sintesis metode hidrotermal dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya yaitu suhu pemanasan. Penelitian menyebutkan bahwa C-dots yang terbuat dari bahan biomassa (selulosa, hemiselulosa, kitin, dan lignin), suhu di atas 180°C diperlukan untuk proses hidrolisis dan karbonisasi pada komponen biomassa. Namun pada suhu di atas 300°C sumber karbon akan mengalami oksidasi berlebihan yang menyebabkan kerusakan pada struktur permukaan C-dots yang berujung pada penurunan terhadap sifat optik C-dots. Pada suhu yang lebih tinggi akan terjadi pembentukan saluran-saluran *non-radiative* yang menyebabkan terjadinya eksitasi elektron ke *ground state* berlebihan melalui saluran *non-radiative*, sehingga terjadi penurunan intensitas pendaran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh transfer energi antara inti dengan permukaan yang tidak memadai oleh karena itu, menurunkan suhu reaksi menjadi pilihan pada pergeseran yang diamati dari emisi cahaya C-dots dari biru ke merah (Nazibudin, Zainuddin and Abdullah 2023).

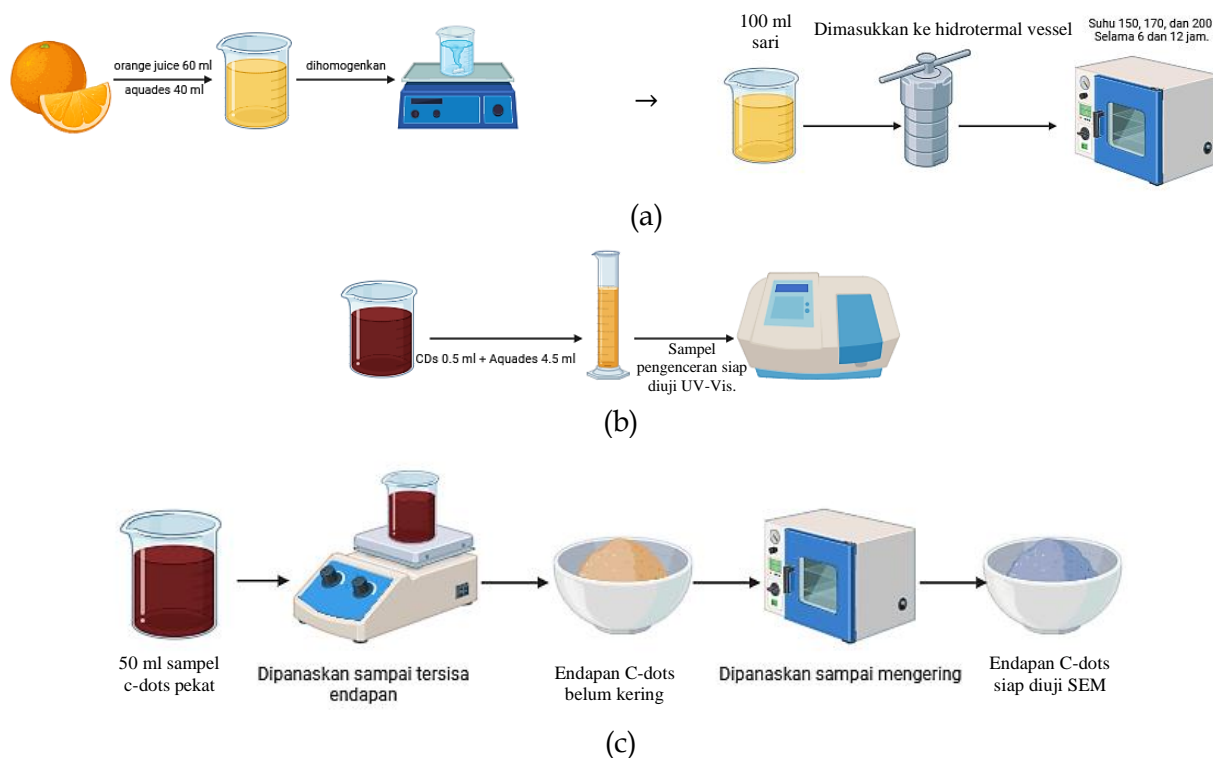
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memanfaatkan sari buah jeruk mandarin sebagai nanopartikel C-dots menggunakan metode hidrotermal dengan variasi suhu pemanasan. Kandungan senyawa karbon yang terdapat dalam asam aksorbat atau vitamin C akan melalui proses karbonisasi pada metode hidrotermal. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui karakteristik optik (absorbansi UV-Vis dan fluoresensi), gugus fungsi penyusun, dan morfologi dari C-dots yang terbuat dari sari buah jeruk mandarin. Karakterisasi dilakukan karena C-dots akan memiliki ciri khusus yang berbeda-beda berdasarkan bahan yang digunakan ataupun metode sintesis yang digunakan. Penggunaan metode hidrotermal juga berpengaruh terhadap karakteristik C-dots yang dihasilkan, dengan kata lain, suhu, lama waktu, dan tahapan-tahapan lain pada metode sintesis tersebut dapat mempengaruhi karakteristik C-dots yang dihasilkan.

## II. METODE

### A. Rancangan Penelitian

Penelitian dengan judul “Karakteristik *Carbon dots* Berbahan Dasar Jeruk Mandarin (*Citrus reticulata*) yang disintesis Menggunakan Metode Hidrotermal” merupakan penelitian di bidang riset eksperimental. Proses sintesis *carbon dots* dari buah jeruk mandarin dilakukan secara bertahap dengan urutan pembuatan larutan prekursor sebagai sumber karbon, proses sintesis C-dots menggunakan metode hidrotermal, dan proses karakterisasi menggunakan karakterisasi fluoresensi, UV-Vis, FTIR, dan SEM. Tahapan penelitian dapat dilihat melalui **Gambar 2**.





**Gambar 2.** Tahapan sintesis C-dots: (a) Pembuatan prekursor, (b) Preparasi karakterisasi UV-Vis, (c) Preparasi karakterisasi SEM.

**Tabel 2.** Daftar kode sampel

Jenis Sampel	Kode
Suhu Pemanasan 150°C selama 6 jam	CDs 150-6
Suhu Pemanasan 170°C selama 6 jam	CDs 170-6
Suhu Pemanasan 200°C selama 6 jam	CDs 200-6

## B. Variabel Operasional Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan tiga variabel yaitu variabel manipulasi, variabel kontrol, dan variabel respon. Variabel manipulasi yang digunakan yaitu waktu pemanasan selama 6 jam, serta suhu pemanasan c-dots yaitu 150°C, 170°C, dan 200°C. Variabel kontrol yang digunakan yaitu serta volume prekursor yang digunakan dalam proses sintesis C-dots yaitu 100 ml. Variabel respon yang akan didapatkan sebagai hasil dari penelitian ini yaitu melalui proses karakterisasi berupa karakterisasi fluoresensi, karakterisasi UV-Vis, karakterisasi FTIR, dan SEM.

## C. Teknik Pengumpulan Data

Sampel C-dots yang telah disintesis dan dilakukan preparasi selanjutnya diuji menggunakan senter UV, FTIR, UV-Vis, dan SEM. Proses karakterisasi fluoresensi pada sampel c-dots dari sari jeruk mandarin menggunakan penyinaran lampu UV atau senter UV yang dilakukan pada ruang penyinaran khusus. Terbentuknya pendaran biru, hijau, atau merah pada sampel c-dots merupakan syarat pertama sebelum proses karakterisasi selanjutnya yaitu FTIR, UV-Vis, dan SEM. Data yang didapatkan berupa warna pendaran, gugus fungsi penyusun C-dots, serapan UV-Vis, energi gap, dan morfologi serta ukuran partikel.

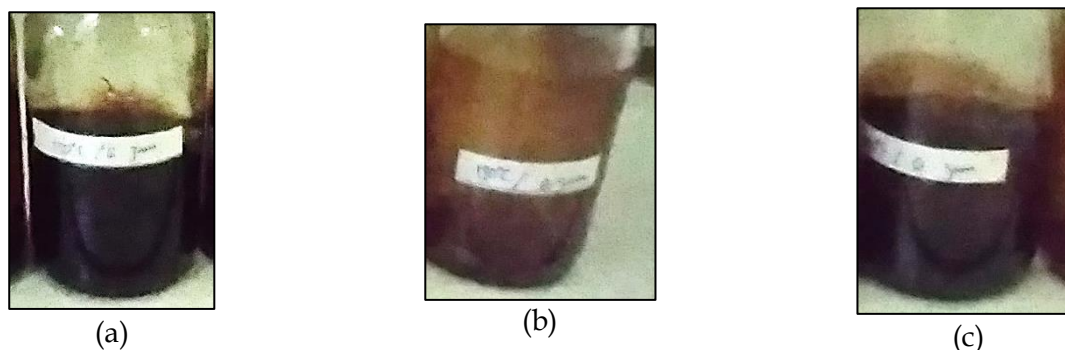
## D. Teknik Pengolahan Data

Berdasarkan hasil pengujian fluoresensi akan didapatkan gambar warna pendaran sampel yang selanjutnya diamati untuk menentukan warna pendaran yang paling terang. Hasil uji yang telah didapatkan menggunakan alat uji UV-Vis berupa data panjang gelombang serapan dan nilai serapannya, yang selanjutnya akan diolah menggunakan *software origin Lab* untuk dihitung nilai energi gapnya. Selanjutnya dari uji FTIR didapatkan data berupa bilangan gelombang dengan nilai transmitansi yang akan diolah menggunakan *software origin Lab* dan tabel korelasi bilangan FTIR

untuk diketahui gugus fungsi penyusun C-dots. Pada hasil uji SEM didapatkan data berupa gambar partikel C-dots yang telah disintesis. Gambar hasil uji SEM selanjutnya diukur diameter partikelnya menggunakan *software ImageJ* kemudian dibuat dalam bentuk histogram distribusi partikel menggunakan *software origin Lab*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Sintesis C-dots



**Gambar 3.** Hasil sintesis C-dots dari jeruk mandarin (*Citrus reticulata*): (a) CDs 200-6, (b) CDs 170-6, dan (c) CDs 150-6.

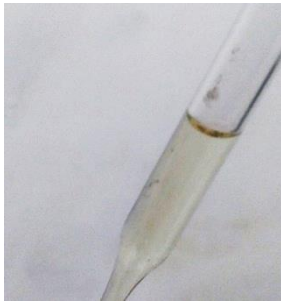
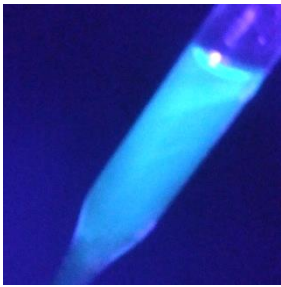
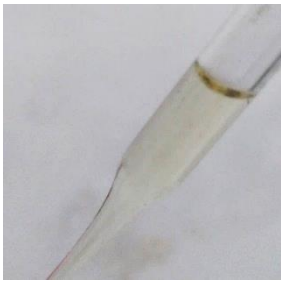
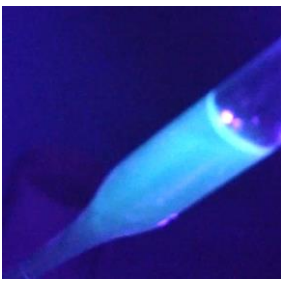
Berdasarkan **Gambar 3**, dapat dilihat bahwa C-dots yang telah disintesis memiliki warna kecokelatan. Hal ini dikarenakan adanya kandungan glukosa yang terdapat dalam prekursor yaitu jeruk mandarin yang menyebabkan adanya reaksi karamelisasi. Reaksi karamelisasi adalah proses yang terjadi karena adanya interaksi kandungan gula pada suhu yang melebihi titik didih gula ( $80^{\circ}\text{C}$ ) sehingga warnanya menjadi kecokelatan (Putra 2016).

#### B. Hasil Uji Fluoresensi

Sampel yang telah disintesis selanjutnya dilakukan karakterisasi fluoresensi. karakterisasi fluoresensi dilakukan dengan tujuan untuk melihat warna pendaran C-dots yang dihasilkan. Hal ini merujuk pada sifat C-dots yaitu berpendar di bawah sinar UV. Proses karakterisasi fluoresensi dapat dilakukan secara sederhana yaitu mencampurkan beberapa tetes larutan C-dots pekat ke dalam aquades, hal ini dilakukan karena C-dots yang terlalu pekat akan menghambat terjadinya pendaran yang dihasilkan. Setelah dicampurkan dengan aquades C-dots selanjutnya disinari menggunakan senter UV dengan panjang gelombang 365 nm dan diamati warna pendarannya. Hasil karakterisasi fluoresensi dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Hasil karakterisasi fluoresensi C-dots

Sampel	Tanpa penyinaran UV	Dengan Penyinaran UV
CDs 150-6		

Sampel	Tanpa penyinaran UV	Dengan Penyinaran UV
CDs 170-6		
CDs 200-6		

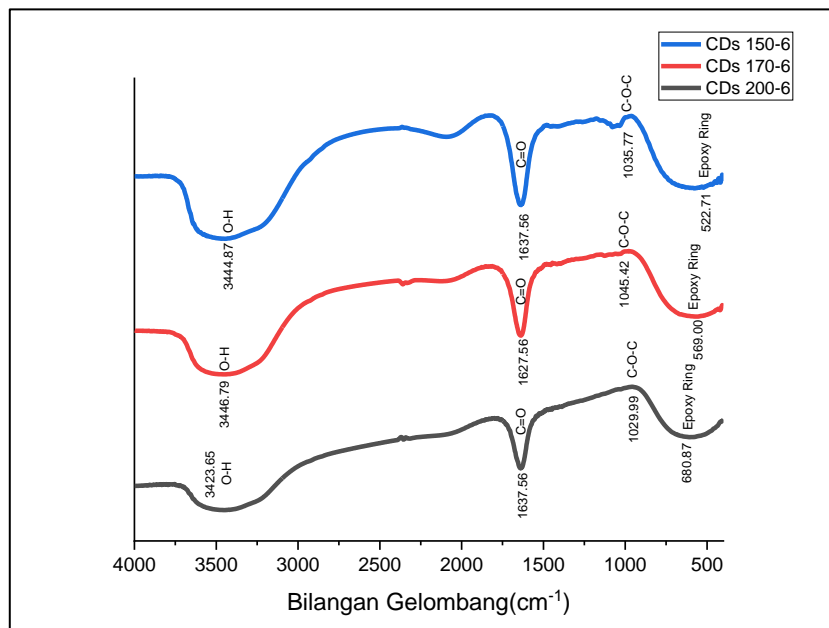
Berdasarkan **Tabel 3**, karakterisasi fluoresensi yang telah dilakukan secara keseluruhan memiliki warna hijau-kebiruan. Dapat dilihat bahwa sebelum disinari menggunakan senter UV larutan C-dots berwarna jernih dan agak kekuningan namun setelah disinari menggunakan senter UV warnanya berubah menjadi hijau-kebiruan. Terjadinya pendaran menunjukkan adanya efek kurungan kuantum yang disebabkan oleh transisi elektron dari orbital HOMO menuju LUMO yang memancarkan energi transisi sehingga dapat berpendar. Selanjutnya dari data yang telah didapatkan dapat dilihat bahwa sampel yang berpendar paling terang adalah sampel CDs 200-6.

Intensitas pendaran yang dihasilkan selanjutnya akan digunakan sebagai acuan untuk karakterisasi energi *gap* menggunakan UV-Vis, *photoluminescence*, dan karakterisasi SEM. Pada karakterisasi fluoresensi sampel yang memiliki pendaran berwarna kebiruan memiliki diameter partikel lebih kecil dibandingkan dengan sampel yang memiliki pendaran warna hijau. Selain itu sampel dengan pendaran yang mendekati warna biru juga memiliki nilai energi *gap* yang lebih besar daripada sampel dengan partikel berwarna hijau. Namun pada **Tabel 3**, hampir seluruh partikel memiliki warna pendaran yang hampir sama yaitu hijau-kebiruan maka perlu dilakukan karakterisasi lebih lanjut dikarenakan perbedaan energi *gap* dan panjang gelombang *photoluminescence* memiliki sedikit perbedaan antara satu sampel dengan yang lainnya. Hasil pendaran memiliki perbedaan dengan penelitian Li, et al.(2017) yang memiliki pendaran berwarna biru. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan ukuran sampel sehingga energi *gap* yang dihasilkan juga relatif berbeda dengan energi *gap* pada penelitian ini bernilai lebih besar. Untuk mendukung analisis data karakterisasi fluoresensi maka dapat dilakukan karakterisasi selanjutnya terkait sifat optik C-dots yaitu UV-Vis untuk membuktikan nilai energi *gap* dan *photoluminescence* untuk membuktikan panjang gelombang emisi dan intensitas pendaran berada pada rentang gelombang warna hijau karena pendaran yang dihasilkan berwarna hijau.

### C. Hasil Karakterisasi FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi penyusun C-dots. Sampel yang telah disintesis hanya perlu dilakukan penyaringan ulang tanpa perlu diencerkan sebelum dilakukan pembacaan pada spektrofotometer IR. Karakterisasi dilakukan menggunakan alat uji spektrofotometer IR tipe *Alpha II Compact FT-IR Spectrometer* dengan bilangan gelombang  $400 \text{ cm}^{-1}$

sampai  $4000\text{ cm}^{-1}$ . Hasil yang didapatkan dari karakterisasi FTIR berupa data bilangan gelombang dan transmitansi selanjutnya diubah menjadi grafik menggunakan *software Origin Lab*. Grafik dan tabel hasil karakterisasi FTIR dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Grafik FTIR *carbon dots* sari jeruk mandarin

**Gambar 4.** terdiri atas 3 grafik dengan warna berbeda yaitu grafik warna biru untuk sampel CDs 150-6, grafik warna merah, untuk sampel CDs 170-6, grafik warna hitam untuk sampel CDs 200-6. Lebih lanjut dapat diamati sampel CDs 150-6 vibrasi serapan terdeteksi pada bilangan gelombang  $3444.87\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus fungsi O-H, serapan pada bilangan gelombang  $1637.56\text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus C=O, vibrasi selanjutnya teramati pada bilangan gelombang  $1035.77\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi C-O-C, selanjutnya vibrasi pada bilangan gelombang  $522.71\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus epoksida (*epoxy ring*). Pada sampel CDs 170-6 puncak serapan terdeteksi pada bilangan gelombang  $3446.79\text{ cm}^{-1}$  -  $3423.65\text{ cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya gugus fungsi O-H, selanjutnya serapan pada bilangan gelombang  $1627.56\text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi C=O, vibrasi selanjutnya teramati pada bilangan gelombang  $1045.42\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-O-C, selanjutnya vibrasi pada bilangan gelombang  $569.00\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus epoksida (*epoxy ring*). Pada sampel CDs 200-6 puncak serapan terdeteksi pada bilangan gelombang  $3423.65\text{ cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya gugus fungsi O-H, selanjutnya vibrasi pada bilangan gelombang  $1637.56\text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus fungsi C=O, vibrasi selanjutnya teramati pada bilangan gelombang  $1029.99\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus fungsi C-O-C, selanjutnya vibrasi pada bilangan gelombang  $607.58\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan gugus epoksida (*epoxy ring*).

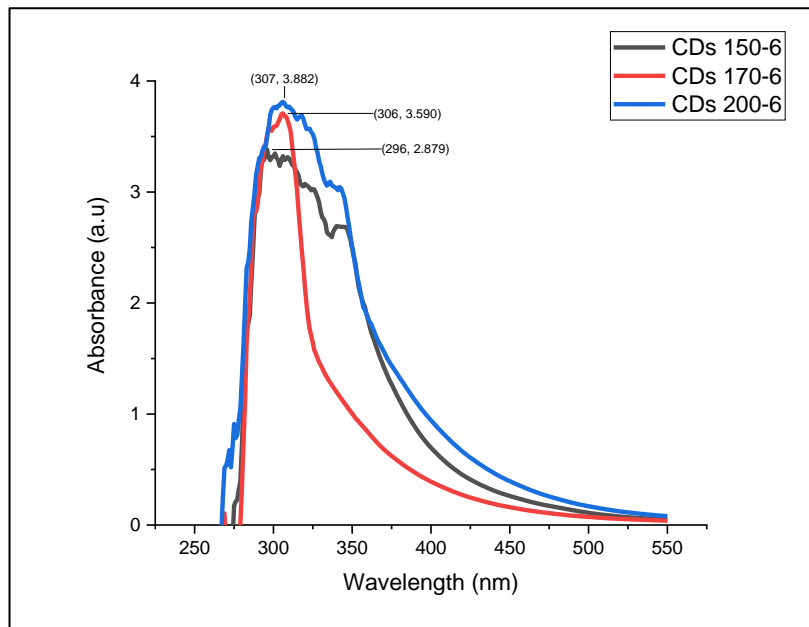
Struktur C-dots yang telah diamati menggunakan FTIR secara keseluruhan memiliki kemiripan dengan struktur C-dots yang disintesis oleh Kumar, et al.(2014) yang memiliki gugus O-H, C=O, C-O-C, dan gugus epoksida. Adanya perubahan suhu yang diterapkan pada proses sintesis tidak menunjukkan perubahan gugus fungsi yang signifikan namun tetap memiliki perbedaan bentuk grafik di mana vibrasi lebih terlihat jelas pada suhu pemanasan yang lebih rendah.

#### D. Hasil Uji UV-Vis

Sampel yang telah disintesis selanjutnya akan diuji serapannya menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sampel yang akan diujikan diencerkan terlebih dahulu dengan menambahkan 0.5 ml sampel ke dalam 4.5 ml aquades. Pengenceran sampel bertujuan untuk



memudahkan keterbacaan serapan serta panjang gelombangnya pada sampel. Hasil karakterisasi UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Grafik absorbansi UV-Vis sampel pemanasan 6 jam

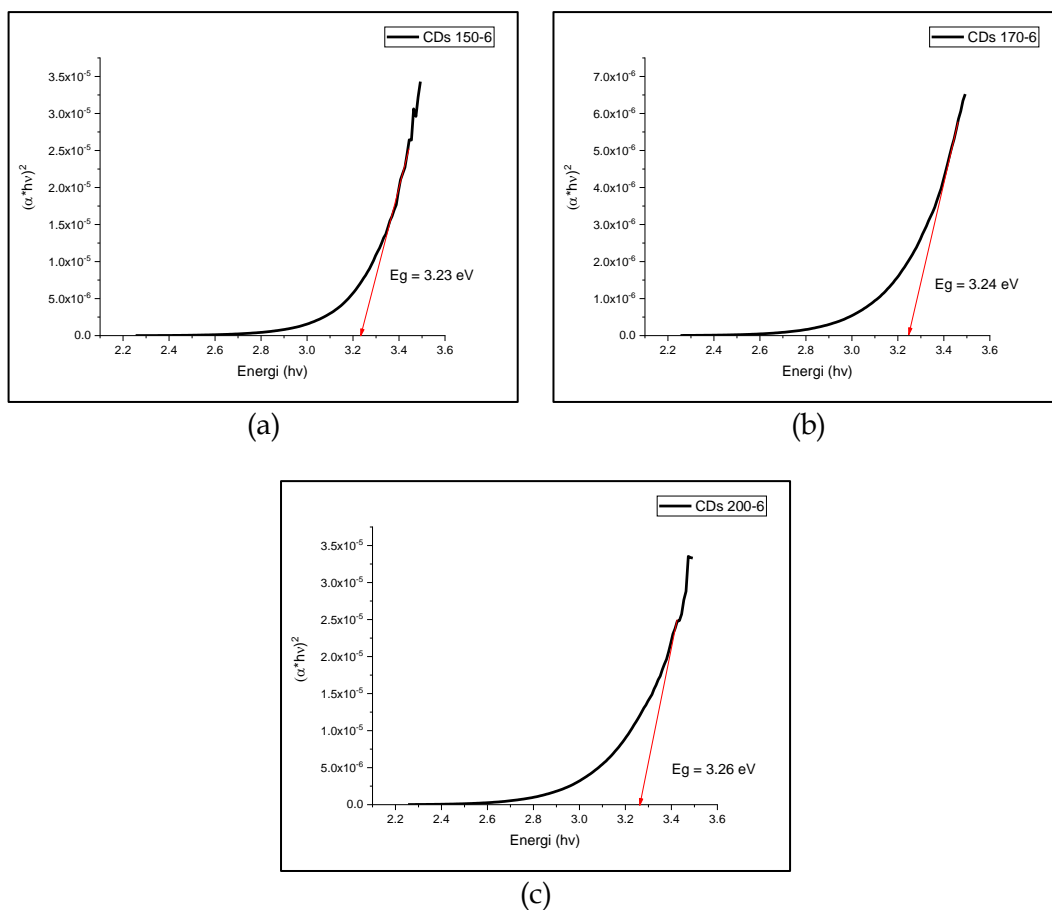
*Carbon dots* yang telah disintesis dari bahan sari jeruk dilakukan karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi UV-Vis dilakukan untuk menentukan puncak absorbansi dan nilai energi *gap*. Sebelum sampel dibaca menggunakan UV-Vis perlu dilakukan pengaturan alat uji berupa mengatur titik nol sampel menggunakan blanko berupa pelarut sampel yaitu aquades, selanjutnya masing-masing sampel dibaca serapannya pada rentang gelombang 250 nm sampai 550 nm. Data yang dihasilkan dari karakterisasi UV-Vis berupa grafik absorbansi UV-Vis pada **Gambar 5**, grafik energi *gap* pada **Gambar 6**.

Data serapan yang didapatkan perlu dilakukan pembacaan ulang dan olah data menggunakan *software Origin Lab*. Data yang didapatkan dari pembacaan UV-Vis, akan dibuat ulang grafiknya dengan menu *plot line*. Selanjutnya memilih panjang gelombang dengan serapan tertinggi. Serapan yang tinggi menunjukkan ikatan atom penyusun C-dots yang lebih banyak pada rentang gelombang yang terbaca, sehingga terbentuk puncak-puncak serapan seperti yang terlihat pada **Gambar 5** yang ditandai panjang gelombang dan nilai serapan. Puncak serapan yang terbaca pada rentang gelombang 250 nm hingga 550 nm dapat berjumlah lebih dari satu. Banyaknya serapan yang terbaca dapat menunjukkan ikatan atom yang berbeda sesuai dengan panjang gelombang tempat puncak serapan tertinggi. **Gambar 5** yang menjelaskan tentang panjang gelombang dan nilai serapan sampel C-dots yang telah disintesis. Terdapat 3 data masing-masing sampel yaitu CDs 150-6, CDs 170-6, dan CDs 200-6 yang berturut-turut terbaca serapannya pada panjang gelombang 296.00 nm, 306.00 nm, dan 307.00 nm dengan nilai serapan masing-masing yaitu 2.879, 3.590, dan 3.882 a.u. Masing-masing sampel hanya memiliki satu gelombang serapan yang artinya C-dots pada sampel tersebut didominasi oleh satu jenis ikatan atom penyusun dengan beberapa ikatan atom lain dengan jumlah yang lebih kecil. Berdasarkan referensi penelitian (Salsadilla 2023), sampel CDs 150-6, CDs 170-6, dan CDs 200-6 memiliki transisi  $n - \pi^*$  dengan ikatan C=O.

Secara keseluruhan sampel C-dots yang disintesis pada penelitian ini memiliki keterbacaan serapan pada panjang gelombang antara 296.00 nm hingga 307.00 nm, yang sesuai dengan serapan C-dots yang umumnya memiliki serapan 260 nm - 360 nm. Serapan C-dots yang terjadi pada panjang gelombang tersebut memiliki kemiripan dengan C-dots yang disintesis oleh Li, et al.(2017) yang memiliki serapan pada panjang gelombang 346.00 nm. Pada penelitian ini panjang gelombang

serapan sampel yang mendekati 346.00 nm dimiliki oleh CDs 170-6 dengan panjang gelombang 306.00 nm, dan CDs 200-6 dengan panjang gelombang 307.00 nm.

Perubahan suhu pemanasan yang dilakukan pada proses sintesis C-dots mengakibatkan perubahan panjang gelombang terjadinya serapan. Sampel CDs 150-6 memiliki panjang gelombang serapan yang paling kecil sedangkan sampel CDs 200-6 memiliki panjang gelombang serapan yang paling besar. Hal ini dapat disebabkan oleh kenaikan suhu di mana semakin bertambahnya suhu yang digunakan maka dapat menyebabkan kenaikan gelombang serapan yang terdeteksi. Pembacaan serapan menggunakan UV-Vis juga digunakan untuk menentukan energi *gap* yang dimiliki partikel C-dots. Energi *gap* menunjukkan ukuran partikel ditinjau dari besar atau kecilnya nilai energi *gap*. Untuk menentukan nilai energi *gap* dilakukan perhitungan menggunakan *software Origin Lab* dengan berdasarkan hukum Lambert-Beer dan Tauc's plot. Nilai energi *gap* yang dimiliki suatu sampel dapat diketahui dengan menarik garis lurus berimpitan dengan grafik energi *gap* hingga memotong sumbu X. Titik perpotongan antara garis lurus dan sumbu X merupakan nilai energi *gap* suatu sampel C-dots. Hasil energi *gap* C-dots pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Grafik energi *gap*: (a) Sampel CDs 150-6, (b) Sampel CDs 170-6, (c) Sampel CDs 200-6

**Gambar 6** merupakan bentuk grafik dari perhitungan energi *gap* yang telah dilakukan menggunakan *software Origin Lab*. Dapat dilihat pada gambar tersebut menunjukkan energi *gap* yang dimiliki oleh masing-masing sampel. Secara berurutan **Gambar 6** (a) adalah sampel CDs 150-6, (b) adalah sampel CDs 170-6, (c) merupakan sampel CDs 200-6. Secara keseluruhan data energi *gap* tersebut menunjukkan bahwa C-dots yang disintesis pada penelitian ini memiliki sifat semikonduktor yang memiliki kemiripan dengan penelitian (Kasmiarno, et al. 2021) dengan nilai energi *gap* pada rentang 2.52 eV sampai dengan 3.42 eV. Selain itu sifat semikonduktor C-dots yang disintesis pada penelitian ini juga dimiliki oleh C-dots yang disintesis oleh Mikail Aslan dan Hasan

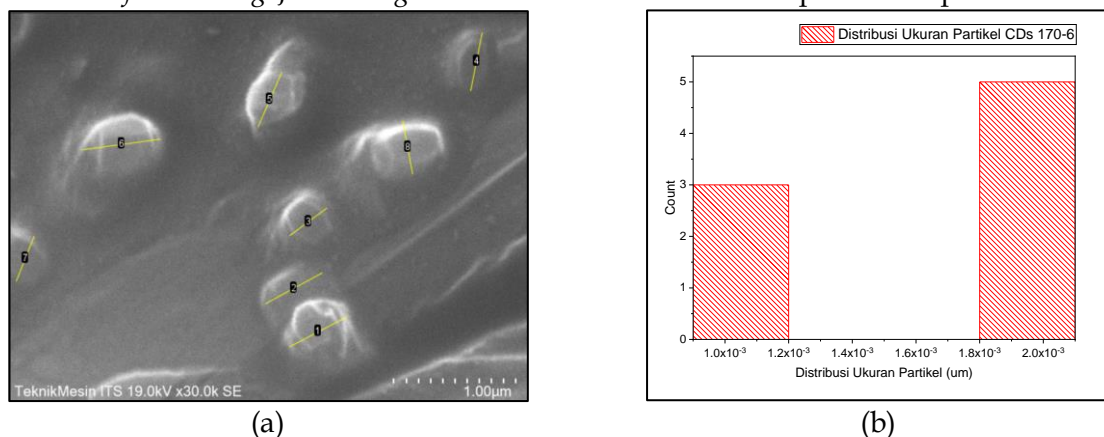
Eskalen dengan nilai energi *gap* sebesar 3.276 eV (Aslan and Eskalen 2021). Energi *gap* masing-masing sampel berturut-turut adalah 3.23 eV, 2.24 eV, dan 3.26 eV. Energi *gap* paling kecil dimiliki oleh sampel CDs 150-6 yang menunjukkan bahwa ukuran partikel C-dots pada sampel tersebut merupakan yang paling besar dibandingkan sampel-sampel yang lainnya. Sebaliknya sampel CDs 200-6 memiliki energi *gap* yang paling besar yang menunjukkan partikel C-dots pada sampel tersebut merupakan yang paling kecil dibanding sampel-sampel lain telah disintesis.

Hubungan energi *gap* terhadap ukuran partikel C-dots adalah efek dari kurungan kuantum (*quantum confinement*). Menurut teori *quantum confinement* ketika ukuran partikel semakin kecil maka jarak HOMO dan LUMO akan semakin besar sehingga elektron memerlukan energi yang lebih banyak untuk tereksitasi dari orbital HOMO menuju orbital LUMO. Energi *gap* juga berkaitan dengan transisi elektron. Berdasarkan nilai energi *gap* C-dots yang disintesis pada penelitian ini maka transisi elektron yang terjadi adalah dari  $n - \pi^*$ , hal ini juga dikaitkan dengan panjang gelombang serapan yang terdapat pada **Gambar 5** yang berada pada rentang 296.00 nm hingga 307.00 nm yang mana untuk transisi orbital  $n - \pi^*$  dimiliki oleh partikel dengan panjang gelombang serapan lebih dari 250.00 nm (Dachriyanus 2004). Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan maka untuk memperkuat hasil karakterisasi UV-Vis dapat dilakukan dengan karakterisasi *photoluminence* yang akan membuktikan terkait panjang gelombang emisi dan intensitas cahaya yang dipancarkan oleh C-dots.

Data UV-Vis yang telah didapatkan berkaitan dengan karakterisasi fluoresensi yang telah dilakukan sebelumnya. Nilai energi *gap* yang seluruhnya berada pada rentang 3.23 eV sampai 3.26 eV menunjukkan selisih yang tidak terlalu jauh. Hal ini mendukung hasil karakterisasi fluoresensi yang mana hasil pendaran semua sampel seluruhnya berwarna hijau-kebiruan. Karena UV-Vis tidak dapat menampilkan intensitas pendaran sampel maka diperlukan karakterisasi lebih lanjut menggunakan spektrofotometer untuk membuktikan panjang gelombang emisi serta intensitas emisi yang dihasilkan.

### E. Hasil Uji SEM

Karakterisasi SEM merupakan tahapan yang penting dalam menentukan C-dots benar-benar berukuran nanometer. Karakterisasi SEM memiliki beberapa tahapan preparasi sampel karena harus mengubah sampel cair menjadi serbuk untuk dapat diamati. Pada penelitian ini sampel cair pekat dituangkan dalam *beaker glass* lalu dipanaskan menggunakan *hot plate* sampai seluruh airnya menguap dan menyisakan endapan karamel. Selanjutnya karamel yang tersisa dalam *beaker glass* dipindahkan ke mortar dan dipanaskan kembali menggunakan oven sampai karamel benar-benar kering dan dapat ditumbuk menjadi serbuk. Pembacaan sampel dilakukan menggunakan alat uji SEM tipe *Hitachi FlexSEM 1000 II* dengan perbesaran 30000 kali pada skala 1  $\mu\text{m}$ . Hasil yang akan didapatkan dari karakterisasi SEM berupa foto sampel yang selanjutnya akan dianalisis menggunakan *software ImageJ* dan *Origin*. Hasil karakterisasi SEM dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Hasil karakterisasi SEM: (a) Gambar hasil karakterisasi pada skala 1  $\mu\text{m}$ , (b) Histogram distribusi partikel

**Gambar 7** menunjukkan 3 poin gambar yaitu (a) gambar hasil karakterisasi, (b) histogram distribusi partikel. Pada **Gambar 7** (a) terdapat bentuk-bentuk abstrak berwarna putih yang merupakan partikel C-dots. Adanya bentuk partikel abstrak tersebut menunjukkan bahwa C-dots yang dihasilkan tidak berbentuk bulat sempurna atau *zero dimensional* dan memiliki struktur amorf. Hal ini sesuai dengan penelitian Sciortino, et al.(2018) yang menyatakan bahwa C-dots berbentuk *quasi-spherical* dan memiliki struktur semacam grafit, amorf, atau seperti inti kristal  $C_3N_4$ . Pada gambar juga terlihat seperti lipatan garis yang disebabkan preparasi sampel pada saat akan melakukan pengambilan gambar partikel. Hal ini dapat disebabkan karena adanya reaksi penggabungan partikel C-dots karena waktu reaksi yang terlalu lama (Nazibudin, Zainuddin and Abdullah 2023) yang mana pada penelitian ini dibuktikan dengan proses preparasi sampel cair menjadi serbuk yang sama-sama menggunakan pemanasan seperti pada saat sintesis. Gambar sampel yang telah diambil selanjutnya ditandai dan didata ukuran partikelnya menggunakan *software ImageJ*. Gambar tersebut menunjukkan garis berwarna kuning yang merupakan diameter partikel yang telah disintesis. Batas partikel tampak kurang jelas sehingga garis yang ditarik untuk mengukur diameter hanya sebatas partikel yang terlihat jelas saja. Selanjutnya pada gambar tertulis perbesaran 30000 kali dengan skala  $1\mu m$ . Perbedaan skala dan rentang ukuran partikel yang berada pada nanometer menyebabkan perlunya pengaturan ulang skala pada perangkat lunak dan melakukan konversi ukuran dari satuan  $\mu m$  ke nm. Diameter yang telah terukur melalui *imageJ* selanjutnya disalin ke perangkat *origin Lab* untuk dicari distribusi partikelnya melalui bentuk histogram seperti pada **Gambar 7** (b). Histogram **Gambar 7** (b) menunjukkan bahwa terdapat 2 sebaran ukuran partikel C-dots yang telah disintesis. Sebaran pertama menunjukkan bahwa dari 3 partikel memiliki distribusi ukuran antara 1 nm hingga 1.2 nm. Selanjutnya pada sebaran partikel yang kedua sebanyak 5 partikel yang berhasil diamati memiliki distribusi ukuran antara 1.8 nm sampai 2 nm.

Hasil dari karakterisasi SEM yang menunjukkan bahwa C-dots yang telah disintesis memiliki ukuran sekitar 1 nm hingga 2 nm, memiliki kesesuaian dengan teori dari Haryadi, et al.(2018) yang mengatakan bahwa C-dots memiliki ukuran kurang dari 10 nm. Selain itu ukuran C-dots yang telah disintesis pada penelitian ini juga membuktikan analisis PL ukuran partikel yang menghasilkan emisi berwarna biru-kehijauan - hijau merupakan C-dots berukuran sedang, pernyataan ini didukung oleh teori Ganguly, et al.,(2019) yang menjelaskan C-dots yang menghasilkan pendaran cahaya tampak umumnya berukuran medium sekitar 1.5 nm sampai 3 nm. Ukuran C-dots yang telah disintesis pada penelitian ini juga menunjukkan kemiripan dengan penelitian Sahu, et al.,(2012) yang berhasil melakukan sintesis C-dots dengan ukuran 1.5 nm sampai 4.5 nm yang juga menghasilkan pendaran berwarna hijau.

#### IV. PENUTUP

##### A. Simpulan

Pada penelitian ini kenaikan suhu pemanasan berpengaruh terhadap karakteristik C-dots yang dihasilkan terutama pada sifat optik C-dots yang telah dikarakterisasi menggunakan fluoresensi dan UV-Vis, kenaikan suhu berperan dalam menentukan intensitas pendaran, serapan, dan energi *gap*, di mana semakin tinggi suhu pemanasan C-dots berpendar semakin terang diiringi dengan kenaikan gelombang serapan dan nilai energi *gap*. Struktur C-dots yang dikarakterisasi menggunakan serapan UV-Vis serta FTIR juga mengalami perubahan di mana semakin tinggi suhu dapat menyebabkan melemahnya ikatan atom yang terbentuk. Sintesis dan karakterisasi C-dots dari jeruk mandarin mendapatkan hasil berupa sifat optik C-dots dari jeruk mandarin meliputi serapan pada 296.00 nm, 306.00 nm, dan 307.00 nm serta pendaran yang dihasilkan berwarna hijau-kebiruan, dengan energi *gap* berturut-turut 3.23 eV, 3.24 eV, dan 3.26. Sifat morfologi dan struktur C-dots menunjukkan bahwa C-dots berbentuk amorf dengan ukuran rentang 1 nm hingga 2 nm yang memiliki gugus fungsi penyusun O-H, C=O, C-O-C.



## B. Saran

Setelah ditinjau dari hasil penelitian ini maka disarankan supaya peneliti menggunakan suhu pemanasan yang lebih bervariasi. Hal ini dapat dilakukan supaya proses identifikasi sifat C-dots yang dihasilkan memiliki ciri khas yang berbeda satu sama lain. Selain itu sebelum proses karakterisasi dapat dilakukan peninjauan kembali terhadap preparasi sampel serta performa alat uji supaya memberikan hasil yang memuaskan dan meminimalisir adanya analit asing yang dapat mengganggu proses karakterisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aslan, Mikail, dan Hasan Eskalen. 2021. "A study or carbon nanodots (carbon quantum dots) synthesized from tangerine juice using one-step hydrothermal method." *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* 1-9.
- Bressi, Viviana, Alina M. Balu, Daniela Iannazo, dan Claudia Espro. 2022. "Recent advances in synthesis of carbon dots from renewable biomass by high-efficient hydrothermal and microwave green approaches." *Green and Sustainable Chemistry* 1-9.
- Dachriyanus, Prof. Dr. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Ding, Hui, Yuan Ji, Ji-Shi Wei, Qing-Yu Gao, Zi-Yuan Zhou, dan Huan-Ming Xiong. 2017. "Facile synthesis of red-emitting carbon dots from pulp-free lemon for bioimaging." *Journal of Materials Chemistry B* 1-6.
- Ganguly, Sayan, Poushali Das, Susanta Banerjee, dan Narayan Chandra Das. 2019. "Advancement in science and technology of carbon dot-polymer hybrid composites: a review." *Functional Composites and Structures* 1-53.
- Haryadi, Muhammad Ridwhan Wira Purnama, dan Ari Wibowo. 2018. "C dots Derivied from Waste of Biomass and Their Photocatalytic Activities." *Indones. J. Chem* 594-599.
- Hoan, Bu Thi, Phuong Dinh Tam, dan Vuong-Hung Pham. 2019. "Green Synthesis of Highly Luminescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice." *Hindawi Journal of Nanotechnology* 1-9.
- Jorns, Mychele, dan Dimitri Pappas. 2021. "A Review of Fluorescent Carbon Dots, Their Synthesis, Physical and Chemical Characteristics, and Applications." *nanomaterials* 1-18.
- Kasmiarno, Laksmi Dewi, Andini Fikarda, Reforny Kristianti Gunawan, Isnaeni, Supandi, dan Nonni Soraya Sambudi. 2021. "Carbon Quantum Dots (CQDs) from Rambutan and Pandan Leaves for Cu<sup>2+</sup> Detection." *Waste Technology* 1-10.
- Kumar, Pawan, Shweta Duta, Ravinder Kaur, Mahesh Kumar, dan Geeta Bhatt. 2021. "A review on advancements in carbon quantum dots and their application in photovoltaics." *RSC Advances* 4174-4759.
- Li, Zhili, Ying Zhang, Qianqian Niu, Mingyao Mou, Yi Wu, Xiaoxuan Liu, Zhengyu Yan, dan Shenghua Liao. 2017. "A fluorescence probe based on the nitrogen-doped carbon dots prepared from orange juice for detecting Hg<sup>2+</sup> in water." *Journal of Luminescence* 274-280.
- Nazibudin, Nazatul Akmal, Mohammad Faiz Zainuddin, dan Che Azurhanim Che Abdullah. 2023. "Hydrothermal Synthesis of Carbon Quantum Dots: An Updated Review." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 192-206.
- Oladzadabbasabadi, Nazila, Mohammed Ali Dheyab, Abdorreza Mohammadi Nafchi, Mehran Ghasemlou, Elena P. Ivanova, dan Benu Adhikari. 2023. "Turning food wte into value-added carbon dots for sustainable food packaging application: a review." *Advances in Colloid and Interface Science* 1-25.
- Putra, I Nengah Kencana. 2016. "Upaya Memperbaiki Warna Gula Semut dengan Pemberian Na-Metabisulfit." *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan* 1-5.

- Rabouw, Freddy T., dan Celso de Mello Donega. 2016. "Excited-State Dynamics in Colloidal Semiconductor Nanocrystal." *Topics in Current Chemistry* 1-30.
- Sahu, Swagatika, Birendra Behera, Tapas K. Maiti, dan Sasmita Mohapatra. 2012. "Simple one-step synthesis of highly luminescent carbon dots from orange juice: application as excellent bio-imaging agents." *ChemComm* 8835-8837.
- Salsadilla, Chicha. 2023. "Pembuatan Material Fotokatalisis Carbon Dots (CDs) dari Limbah Bulu Ayam Menggunakan Metode Hidrotermal." *Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang* 1-96.
- Sciortino, Ailice, Andrea Cannizo, dan Fabrizio Messina. 2018. "Carbon Nanodots: A Review-From the Current Understanding of the Fundamental Photophysics to the Full Control of the Optical Response." *Journal of Carbon Research* 1-36.
- Sutanto, Dr. Heri, dan S.Si Singgih Wibowo. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida dan Titania (Sintesis, Deposisi, dan Aplikasi)*. Semarang: Penerbit Telescope.
- Yadav, Manisha, dan Anita Chaudhary. 2014. "Quantum Dots: An Introduction." *International Journal of Research in Advent Technology* 61-66.
- Yadav, Pradeep Kumar, Subhash Chandra, Vivek Kumar, Deepak Kumar, dan Syed Hadi Hasan. 2023. "Carbon Quantum Dots: Synthesis, Structure, Properties, and Catalytic Applications for Organic Synthesis." *catalysts* 1-22.