

## PENGARUH SUHU SINTESIS HIDROTERMAL TERHADAP SIFAT OPTIK KARBON DOTS TERDOPING NITROGEN (N-CDs)

Fathah Dian Sari<sup>1\*</sup>, Nurul Jannah<sup>2</sup>, Sundari Desi Nuryanti<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Prodi Farmasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta, Jalan IKIP PGRI I No. 117, Sonosewu, Ngestiharjo, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55197.

<sup>3</sup>Prodi S1 Farmasi, Fakultas Ilmu-Ilmu Kesehatan, Universitas Alma Ata, Jl. Brawijaya No.99 Jadan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183

\*E-mail: [fathahdian@upy.ac.id](mailto:fathahdian@upy.ac.id).

Riwayat Article

Received: 26 February 2025; Received in Revision: 12 March 2025; Accepted: 23 March 2025

### Abstract

Carbon dots (CDs) have attracted extensive attention in various optical and biomedical applications due to their unique fluorescence properties, high chemical stability, and biocompatibility. Nitrogen doping (N-CDs) is known to enhance the brightness and emissive quantum efficiency of CDs. This study aims to evaluate the effect of hydrothermal synthesis temperature on the optical properties of N-CDs synthesized using elephant grass as a carbon source and ethylenediamine as a nitrogen source. N-CDs were synthesized at various temperatures (150°C, 180°C, and 200°C) in a closed hydrothermal system. Characterization was carried out using UV-Vis spectroscopy, spectrofluorometer, and Fourier Transform Infrared (FTIR) to identify changes in their optical properties. The results showed that increasing the synthesis temperature affected the shift of the maximum emission wavelength and fluorescence intensity of N-CDs. At higher temperatures, there is an increase in electron delocalization that contributes to the red-shift of the emission, while at lower temperatures, N-CDs exhibit a blue-shift of higher intensity. In addition, FTIR analysis indicates changes in the functional groups on the surface of N-CDs due to temperature variation, which contributes to changes in optical properties. These findings provide further insight into the optimization of hydrothermal synthesis temperature in engineering the optical properties of N-CDs for applications in the fields of sensors, bioimaging, and optoelectronics.

**Keywords:** Carbon dots, nitrogen-doping, hydrothermal, optical properties

### Abstrak

Karbon dots (CDs) telah menarik perhatian luas dalam berbagai aplikasi optik dan biomedis karena memiliki sifat fluoresensi, stabilitas kimia, serta biokompatibilitas. Doping nitrogen diketahui dapat meningkatkan intensitas fluoresensi dan *quantum yield* (QY) dari CDs. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh suhu sintesis hidrotermal terhadap sifat optik karbon dots terdoping nitrogen (N-CDs) yang disintesis menggunakan rumput gajah sebagai sumber karbon dan etilendiamin sebagai sumber nitrogen. Karbon dots terdoping nitrogen disintesis pada variasi suhu (150°C, 180°C, dan 200°C) dengan metode hidrotermal satu tahap. Karakterisasi dilakukan menggunakan spektroskopi UV-Vis, spektrofluorometer, dan Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk mengidentifikasi perubahan sifat optik dan mengetahui gugus fungsi N-CDs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu sintesis mempengaruhi pergeseran panjang gelombang emisi maksimum dan intensitas fluoresensi N-CDs. Pada suhu yang lebih tinggi (200°C), terjadi peningkatan delokalisasi elektron yang berkontribusi terhadap pergeseran emisi merah (*red-shift*), sedangkan pada suhu yang lebih rendah, N-CDs menunjukkan emisi biru (*blue-shift*) dengan intensitas yang lebih tinggi. Selain itu, analisis FTIR mengindikasikan perubahan gugus fungsi pada permukaan N-CDs akibat variasi suhu, yang berkontribusi terhadap perubahan sifat optik dimana seiring dengan dengan meningkatnya suhu dari 150°C ke 200°C, terjadi penurunan gugus karboksil (-COOH) karena pelepasan CO<sub>2</sub> selama karbonisasi, selain itu gugus eter (C-O-C) berkurang seiring peningkatan grafitisasi struktur karbon. Hasil penelitian ini memberikan wawasan lebih lanjut mengenai optimasi suhu sintesis hidrotermal dalam rekayasa sifat optik N-CDs untuk aplikasi di bidang sensor, bioimaging, dan optoelektronik.

**Keywords:** Karbon dots, nitrogen-doping, hidrotermal, sifat optik

## 1. Introduction

Karbon dots (CDs) merupakan nanomaterial berbasis karbon yang telah banyak menarik perhatian peneliti karena memiliki aplikasi yang luas dalam berbagai bidang, seperti bioimaging, sensor optik, dan optoelektronik, karena sifat fluoresensinya yang unik, biokompatibilitas tinggi, serta kestabilan kimia, dan fotostabilitas yang baik. Salah satu pendekatan yang umum digunakan untuk meningkatkan kinerja optik CDs adalah doping dengan unsur heteroatom seperti nitrogen (N). Doping nitrogen dalam struktur CDs diketahui dapat meningkatkan kepadatan elektron pada permukaan, mengubah struktur elektronik, serta memperbaiki efisiensi kuantum fluoresensi (Sari *et al.*, 2023).

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam sintesis N-CDs adalah metode hidrotermal, yang memungkinkan kontrol struktur dan sifat optik melalui variasi parameter sintesis, terutama suhu reaksi (Alas and Genc, 2017; Bhattacharyya *et al.*, 2017; Meng *et al.*, 2019). Suhu dalam proses hidrotermal berperan penting dalam menentukan ukuran partikel, komposisi gugus fungsi, dan struktur elektronik dari N-CDs. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Liu *et al.* (2012), peningkatan suhu reaksi pada metode hidrotermal dari 150°C menjadi 200°C menyebabkan penurunan ukuran PPNDs (*Photoluminescent Polymer Nanodots*) dari 22 nm menjadi 2 nm dan mengakibatkan peningkatan nilai quantum yield dari 2,5 menjadi 6,2%. (Liu *et al.*, 2012). Meskipun beberapa penelitian telah menyoroiti efek suhu sintesis pada sifat CDs, masih terdapat kesenjangan dalam memahami bagaimana perubahan suhu mempengaruhi pergeseran panjang gelombang emisi serta intensitas fluoresensi dari N-CDs yang disintesis dari sumber karbon berbasis biomassa seperti rumput gajah.

Penelitian mengenai karbon dots telah berkembang pesat sejak pertama kali ditemukan secara tidak sengaja oleh Xu *et al.* pada tahun 2004 dalam proses pemurnian karbon *nanotube* (Xu *et al.*, 2004). Material baru berbasis karbon dengan karakteristik menyerupai partikel berdimensi nol ini menunjukkan sifat fotoluminesensi sehingga kemudian dikenal sebagai *carbon-based zero-dimensional material* atau Karbon dots (CDs) (Nair *et al.*, 2017). Penelitian tentang karbon dots banyak dikembangkan terutama dalam upaya meningkatkan sifat fluoresensi melalui teknik doping dan optimasi parameter sintesis. Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa doping nitrogen dapat meningkatkan efisiensi kuantum fluoresensi dan memperbaiki kestabilan emisi CDs. Misalnya, penelitian oleh Tang *et al.* (2020) melaporkan bahwa N-CDs yang disintesis pada suhu tinggi menunjukkan pergeseran emisi merah (*red-shift*) karena peningkatan delokalisasi elektron (Tang *et al.*, 2021). Sementara itu, penelitian oleh Li *et al.* (2021) menunjukkan bahwa suhu yang lebih rendah menghasilkan CDs dengan emisi biru (*blue-shift*) dan intensitas fluoresensi yang lebih tinggi, kemungkinan akibat ukuran partikel yang lebih kecil dan kandungan gugus fungsi oksigen yang lebih banyak. Namun demikian, belum banyak penelitian yang secara khusus membahas pengaruh suhu sintesis hidrotermal terhadap sifat optik N-CDs yang berasal dari sumber karbon berbasis biomassa, terutama rumput gajah. Tanaman ini memiliki kandungan karbon yang tinggi serta kaya akan senyawa fenolik (85,5% mg GAE/g ekstrak dalam etanol) dan lignoselulosa (40,58%), yang berpotensi mempengaruhi struktur dan sifat optik N-CDs yang dihasilkan (Sari, 2018; Kongkeitkajorn *et al.*, 2020; Budiyanto *et al.*, 2024).

Topik utama dalam penelitian ini adalah bagaimana suhu sintesis hidrotermal mempengaruhi sifat optik N-CDs yang disintesis dari rumput gajah dan etilendiamin sebagai sumber nitrogen. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan perubahan dalam spektrum serapan UV-Vis dan sifat fotoluminesensi N-CDs akibat pengaruh variasi suhu sintesis dengan metode hidrotermal, menganalisis pergeseran panjang gelombang emisi maksimum (*blue-shift* atau *red-shift*) serta intensitas fluoresensi sebagai fungsi suhu, dan mengidentifikasi perubahan gugus fungsi permukaan menggunakan spektroskopi FTIR dan mengkorelasikannya dengan sifat optik N-CDs.

Dengan memahami hubungan antara suhu sintesis dan sifat optik N-CDs, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru mengenai optimasi parameter sintesis hidrotermal untuk pengembangan material berbasis karbon dots dalam berbagai aplikasi, seperti sensor optik, bioimaging, dan optoelektronik. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada evaluasi pengaruh suhu sintesis hidrotermal terhadap sifat optik N-CDs yang dihasilkan dari bahan tersebut.

## 2. Methodology

### 2.1. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan analitik, pengaduk magnet, berbagai peralatan gelas laboratorium, Teflon autoklaf berkapasitas 25 mL, UV box reaktor, sentrifus Gemmyco (seri DM0412). Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Thermo Scientific Genesys UV-Vis), spektrofotometer FTIR (Thermo Scientific Nicolet iS-10), dan spektrofluorometer (Shimadzu RF-6000).

## **2.2. Bahan**

Penelitian ini menggunakan rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) yang diperoleh dari lahan pertanian di Kecamatan Sewon, Bantul, Yogyakarta sebagai sumber karbon, etilendiamin (EDA) dari Merck, akuabides dari CV. Progo Mulyo, dan kertas saring Whatman 42. Seluruh bahan kimia digunakan tanpa melalui proses pemurnian tambahan.

## **2.3. Prosedur Kerja**

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu sintesis karbon dots terdoping nitrogen (N-CDs), analisis sampel hasil sintesis dengan penyinaran di bawah lampu UV 365 nm, dan karakterisasi sampel menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofluorometer untuk melihat perubahan sifat optik karbon dots, serta FT-IR untuk melihat gugus-gugus fungsi pada N-CDs.

### **2.3.1 Sintesis N-CDs**

Sintesis N-CDs dari biomassa sebagai sumber karbon dilakukan dengan metode hidrotermal dengan mengatur parameter reaksi berupa suhu sintesis. Sintesis diawali dengan preparasi sumber karbon dimana rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dikeringkan kemudian dihaluskan hingga didapatkan serbuk. Satu gram rumput dimasukkan ke dalam Teflon autoklaf 25 mL dan ditambahkan 10 mL akuabides kemudian ditambahkan 0,05 mL etilendiamin dan dipanaskan pada suhu dengan variasi 150°C, 180°C, dan 200°C selama 6 jam. Penelitian ini mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya oleh Sari et al., 2023 (Sari et al., 2023) yang menggunakan metode hidrotermal pada suhu 180°C selama 6 jam untuk mensintesis *Graphene Quantum Dots* (GQDs). Pengaruh variasi suhu metode hidrotermal terhadap sifat optik karbon dots menjadi fokus utama penelitian ini yang pada penelitian Sari et al. (2023) belum dilakukan. Setelah proses hidrotermal, sampel didinginkan hingga suhu kamar. Dari hasil sintesis didapatkan larutan berwarna cokelat muda. Larutan kemudian disentrifugasi pada 12.000 rpm selama 15 menit dan disaring untuk karakterisasi lebih lanjut.

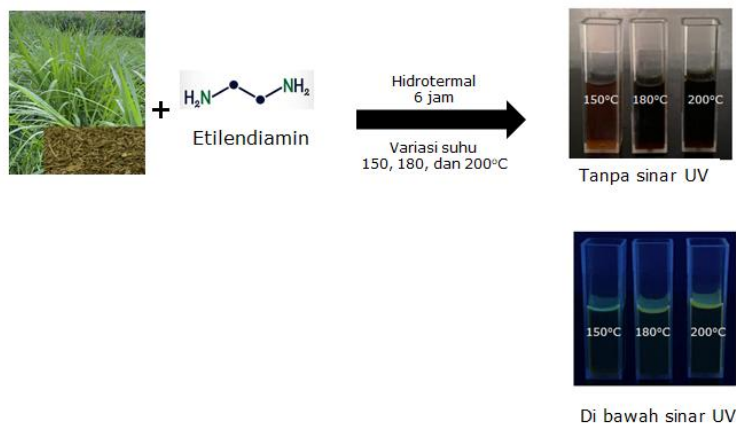
### **2.3.2 Karakterisasi N-CDs**

Sebanyak 0,1 mL larutan N-CDs hasil sintesis diencerkan dalam labu ukur 10 mL dan disinari dengan lampu UV 365 nm untuk mengamati pendaran yang muncul, kemudian sampel N-CDs dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 200-600 nm, spektrometer FT-IR Thermo pada bilangan 4000-500  $\text{cm}^{-1}$ , dan spektrofluorometer pada panjang gelombang eksitasi 300-600 nm.

## **3. Hasil Penelitian dan Pembahasan**

### **3.1. Sintesis CDs**

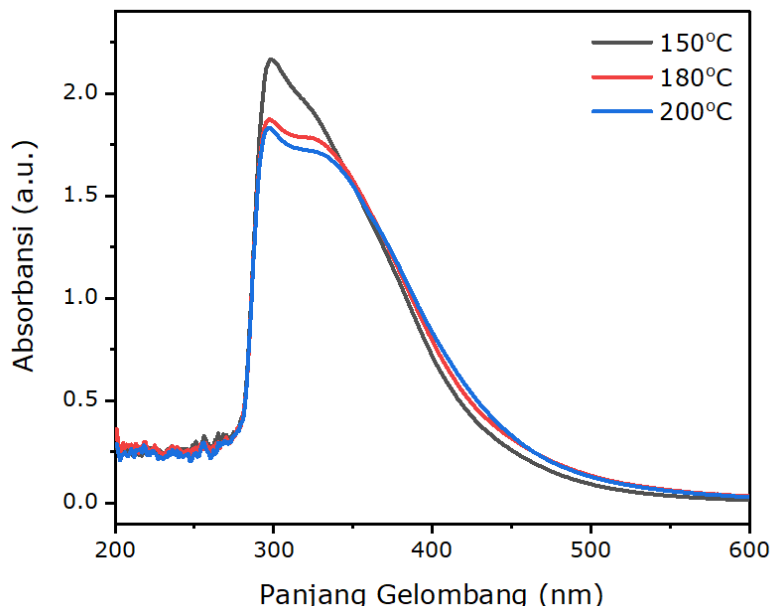
Sampel N-CDs dalam penelitian ini berhasil disintesis melalui metode hidrotermal satu tahap dengan menggunakan akuabides sebagai pelarut, tanpa modifikasi atau penambahan bahan kimia lainnya. Proses pembentukan N-CDs digambarkan dalam Gambar 1. Setelah menjalani perlakuan hidrotermal dengan variasi suhu 150°C, 180°C, dan 200°C selama 6 jam, diperoleh larutan bening berwarna cokelat muda yang menunjukkan pendaran biru saat disinari dengan lampu UV 365 nm (Gambar 1). Hal ini mengindikasikan terbentuknya material karbon berpendar, yaitu N-CDs.



**Gambar 1.** Skema sintesis N-CDs

### 3.2. Sifat Optik CDs

Karakterisasi optik N-CD dapat dilakukan dengan cara yang sederhana yaitu melalui analisis sifat absorbansi dan fluoresensinya. Sifat optik ini dievaluasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofluorometer (Gambar 2). Spektrum UV-Vis menunjukkan absorbansi maksimal pada 296, 298, dan 297 nm, berturut-turut untuk N-CDs yang disintesis pada suhu 150°C, 180°C, dan 200°C selama 6 jam. Kondisi ini mengindikasikan adanya transisi  $n-n^*$  dari ikatan  $C=C$  terkonjugasi  $sp^2$  dalam struktur aromatik inti karbon (Edison *et al.*, 2016; Du *et al.*, 2020). Selain itu, puncak lebar dalam rentang 300-500 nm menunjukkan adanya transisi  $n-n^*$ , yang kemungkinan besar terjadi akibat oksidasi gugus  $-NH_2$  menjadi  $-NO_2$  selama proses sintesis. Puncak ini juga dapat dikaitkan dengan transisi  $n-n^*$  yang berasal dari gugus fungsi oksigen (OCG) yang terdapat pada permukaan N-CDs (Sari *et al.*, 2024).



**Gambar 2.** Spektra UV-Vis N-CDs dengan berbagai variasi suhu hidrotermal

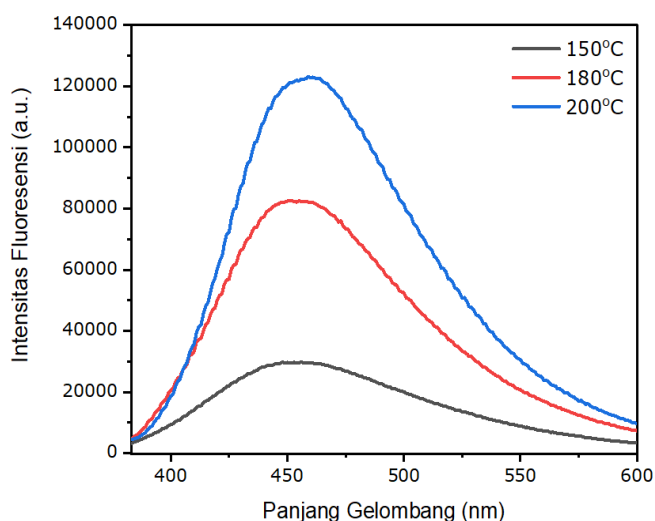
Transisi  $n-n^*$  merupakan transisi elektronik yang umum terjadi dalam molekul organik. Transisi ini terjadi pada elektron *non-bonding* dari pasangan elektron bebas (PEB) atom seperti oksigen, nitrogen, atau sulfur tereksitasi ke orbital antiikatan. Mekanisme ini berkontribusi pada sifat fluoresensi N-CDs. Kemunculan puncak serapan sekunder serupa juga telah dilaporkan dalam sampel N-doped yang disintesis oleh Sari *et al.*, 2023 (Sari *et al.*, 2023). Adanya dua puncak serapan dalam spektrum UV-Vis menunjukkan bahwa N-CDs yang mengalami doping atom memiliki tingkat energi yang berbeda akibat variasi keadaan permukaan N-CDs dengan berbagai

gugus fungsi. Oleh karena itu, keberadaan gugus fungsi pada permukaan N-CDs memainkan peran penting dalam menentukan karakteristik penyerapan dalam rentang UV-Vis.

### 3.2. Pengaruh suhu sintesis hidrotermal terhadap pembentukan CDs.

Selama proses hidrotermal, prekursor karbon mengalami dehidrasi, polimerisasi, dan karbonisasi. Oleh karena itu, suhu sintesis dalam metode hidrotermal berperan penting dalam menentukan sifat akhir CDs, termasuk sifat fluoresensinya (Ogi *et al.*, 2016). Untuk memperoleh N-CDs dengan fluoresensi optimal, diperlukan optimalisasi berbagai parameter reaksi hidrotermal, salah satunya adalah suhu hidrotermal.

Peningkatan suhu sintesis dalam metode hidrotermal menyebabkan N-CDs yang dihasilkan menunjukkan intensitas fluoresensi yang lebih tinggi (Gambar 3). Dari gambar tersebut, dapat terlihat bahwa intensitas fluoresensi tertinggi diperoleh pada suhu 180°C dengan waktu reaksi selama 6 jam.



**Gambar 3.** Intensitas fluoresensi N-CDs pada berbagai variasi suhu

Peningkatan suhu reaksi hidrotermal diketahui dapat meningkatkan intensitas fluoresensi N-CDs, hal ini mungkin disebabkan karena suhu reaksi yang lebih tinggi mampu menghasilkan lebih banyak inti karbon (Gambar 3). Sebaliknya, pada suhu sintesis yang lebih rendah, efisiensi reaksi pembentukan N-CDs menurun karena proses karbonisasi prekursor tidak berlangsung secara optimal (Zulfajri *et al.*, 2019). Akibatnya, intensitas fluoresensi N-CDs yang disintesis pada suhu lebih rendah juga mengalami penurunan.

Data menunjukkan hubungan antara residu rumput, panjang gelombang eksitasi ( $\lambda_{ex}$ ), panjang gelombang emisi ( $\lambda_{em}$ ), dan kuantum yield (QY) terhadap suhu hidrotermal pada sintesis N-CDs (Tabel 1). Massa residu rumput mengalami penurunan seiring dengan peningkatan suhu hidrotermal dari 150°C menjadi 200°C, yang berkontribusi pada peningkatan QY dari 15% menjadi 29%. Kenaikan nilai QY ini sejalan dengan peningkatan suhu hidrotermal, sebagaimana yang telah dilaporkan dalam penelitian sebelumnya (Liu *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2015)

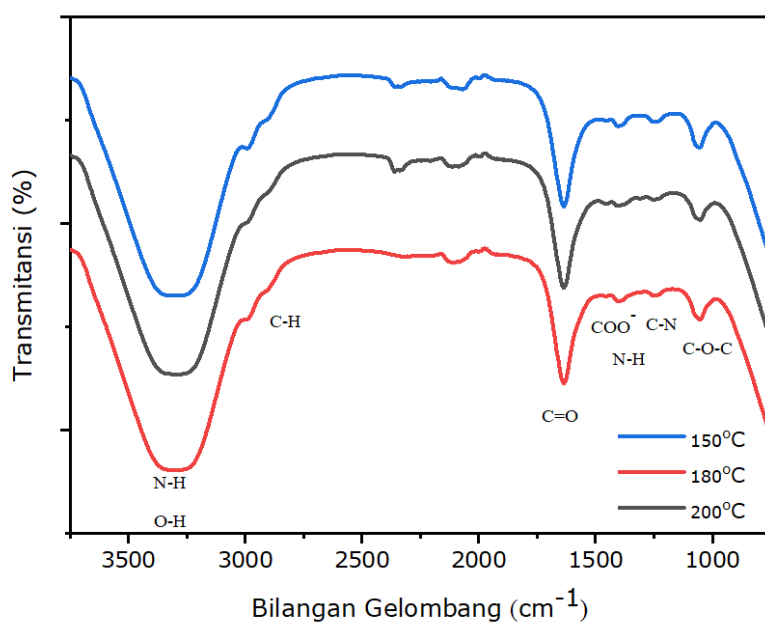
**Tabel 1.** Perbandingan N-CDs yang disintesis pada suhu reaksi yang berbeda selama 6 jam.

| Suhu (°C) | $\lambda_{ex}$ (nm) | $\lambda_{em}$ (nm) | QY (%) |
|-----------|---------------------|---------------------|--------|
| 150       | 362                 | 453                 | ~15    |
| 180       | 371                 | 455                 | ~26    |
| 200       | 377                 | 460                 | ~29    |

Peningkatan suhu hidrotermal juga menyebabkan pergeseran panjang gelombang eksitasi ke arah panjang gelombang yang lebih panjang yang mengindikasikan pergeseran merah (*red-shift*) pada panjang gelombang emisi (Tabel 1). Fenomena ini terjadi akibat perubahan dalam transisi tingkat

energi, perangkap energi permukaan, serta rekombinasi radiatif pasangan *hole*-elektron (Li *et al.*, 2015). Fenomena ini juga mungkin disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur permukaan N-CDs, khususnya jumlah gugus fungsi yang mengandung oksigen, memengaruhi perbedaan tingkat energi antara keadaan dasar dan keadaan tereksitasi pertama. Hal ini berdampak pada perubahan dalam serapan energi foton dan emisi, yang akhirnya menghasilkan pergeseran merah (Qu *et al.*, 2020).

Suhu merupakan faktor penting yang memengaruhi struktur dan sifat optik CDs. Peningkatan suhu hidrotermal dari 150°C hingga 180°C menyebabkan pergeseran panjang gelombang emisi secara bertahap dari biru ke merah. Pergeseran ini disebabkan oleh perbedaan dalam konjugasi efektif domain serta rasio gugus fungsi pada permukaan N-CDs. Rumput yang digunakan sebagai sumber karbon untuk N-CDs kaya akan karbohidrat dan selulosa, sehingga dalam proses pembentukannya dapat terjadi pembentukan senyawa transisi (Kongkeitkajorn *et al.*, 2020). Analisis ATR-FTIR mengkonfirmasi keberadaan C, N, dan O dalam N-CDs hasil sintesis, yang menunjukkan bahwa unsur C dan N berasal dari prekursor (Gambar 4). Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa proses hidrotermal dengan kombinasi etilendiamin sebagai sumber nitrogen dan rumput gajah sebagai sumber karbon memungkinkan terbentuknya gugus fungsi yang mengandung nitrogen pada N-CDs. Akibatnya, spesies nitrogen berhasil terintegrasi ke dalam N-CDs, se terdapat lebih dari satu tingkat energi pada spektra UV karena pengaruh dari keberadaan gugus-gugus fungsi pada N-CDs hasil sintesis (Gambar 4).



**Gambar 4.** Spektra FTIR N-CDs pada berbagai variasi suhu hidrotermal

Secara umum, ketika prekursor karbon dari bahan alami mengalami perlakuan hidrotermal di bawah tekanan dan suhu tinggi, molekul prekursor yang lebih kecil dapat berubah menjadi fluorofor (Ali *et al.*, 2021). Setelah pemanasan yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu selama proses hidrotermal, fluorofor yang terbentuk mengalami dehidrasi, polimerisasi, dan karbonisasi, sehingga menghasilkan N-CDs (L. S. Li *et al.*, 2018; Malavika *et al.*, 2021).

#### 4. Conclusion

Suhu hidrotermal memainkan peran penting dalam menentukan sifat optik N-CDs. Peningkatan suhu sintesis dari 150°C hingga 200°C menyebabkan pergeseran panjang gelombang emisi dari biru ke merah, yang berkaitan dengan perubahan dalam konjugasi domain dan rasio gugus fungsi pada permukaan N-CDs. Sumber karbon dari rumput, yang kaya akan karbohidrat dan selulosa, berkontribusi pada pembentukan senyawa transisi selama proses hidrotermal. Selain itu, suhu dan tekanan tinggi dalam perlakuan hidrotermal memungkinkan prekursor karbon berukuran kecil untuk mengalami transformasi menjadi fluorofor, yang selanjutnya mengalami dehidrasi, polimerisasi, dan karbonisasi hingga membentuk N-CDs. Oleh karena itu, pengaturan suhu hidrotermal yang optimal sangat penting untuk memperoleh N-CDs dengan sifat fluoresensi yang

diinginkan. Kajian terhadap keberadaan gugus-gugus fungsi pada N-CDs perlu dikaji lebih jauh untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat optik N-CDs

### Acknowledgement

Penelitian ini didukung oleh hibah internal LPPM Universitas PGRI Yogyakarta tahun 2024 nomor 0175/LPPM-UPY/I/2024.

### References

- Alas, M.O. and Genc, R., 2017, An investigation into the role of macromolecules of different polarity as passivating agent on the physical, chemical and structural properties of fluorescent carbon nanodots, *J. Nanoparticle Res.*, 19, 1–15.
- Bhattacharyya, S., Ehrat, F., Urban, P., Teves, R., Wyrwich, R., Döblinger, M., Feldmann, J., Urban, A.S., and Stolarczyk, J.K., 2017, Effect of nitrogen atom positioning on the trade-off between emissive and photocatalytic properties of carbon dots, *Nat. Commun.*, 8, 1–9.
- Budyanto, M., Puspitarini, S., Prasetyo, S., Subekti, H., Birhan, Y.S., Qosyim, A., and Ilhami, F.B., 2024, In vitro investigation on *Pennisetum purpureum* leaf extracts grown in Indonesia of phytochemical components, optical characteristics, and antioxidant-antibacterial activities, 84, 1–8.
- Du, F., Cheng, Z., Tan, W., Sun, L., and Ruan, G., 2020, Development of sulfur doped carbon quantum dots for highly selective and sensitive fluorescent detection of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> ions in oral ferrous gluconate samples, *Spectrochim. Acta - Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 226, 117602.
- Edison, T.N.J.I., Atchudan, R., Shim, J.J., Kalimuthu, S., Ahn, B.C., and Lee, Y.R., 2016, Turn-off fluorescence sensor for the detection of ferric ion in water using green synthesized N-doped carbon dots and its bio-imaging, *J. Photochem. Photobiol. B Biol.*, 158, 235–242.
- Kongkeitkajorn, M.B., Sae-Kuay, C., and Reungsang, A., 2020, Evaluation of napier grass for bioethanol production through a fermentation process, *Processes*, 8, .
- Li, Y., Shu, H., Wang, S., and Wang, J., 2015, Electronic and optical properties of graphene quantum dots: The role of many-body effects, *J. Phys. Chem. C*, 119, 4983–4989.
- Liu, S., Tian, J., Wang, L., Zhang, Y., Qin, X., Luo, Y., Asiri, A.M., Al-Youbi, A.O., and Sun, X., 2012, Hydrothermal treatment of grass: A low-cost, green route to nitrogen-doped, carbon-rich, photoluminescent polymer nanodots as an effective fluorescent sensing platform for label-free detection of Cu(II) ions, *Adv. Mater.*, 24, 2037–2041.
- Meng, W., Bai, X., Wang, B., Liu, Z., Lu, S., and Yang, B., 2019, Biomass-Derived Carbon Dots and Their Applications, *Energy Environ. Mater.*, 2, 172–192.
- Nair, R. V., Thomas, R.T., Sankar, V., Muhammad, H., Dong, M., and Pillai, S., 2017, Rapid, Acid-Free Synthesis of High-Quality Graphene Quantum Dots for Aggregation Induced Sensing of Metal Ions and Bioimaging, *ACS Omega*, 2, 8051–8061.
- Ogi, T., Aishima, K., Permatasari, F.A., Iskandar, F., Tanabe, E., and Okuyama, K., 2016, Kinetics of nitrogen-doped carbon dot formation: Via hydrothermal synthesis, *New J. Chem.*, 40, 5555–5561.
- Qu, D., Wang, X., Bao, Y., and Sun, Z., 2020, Recent advance of carbon dots in bio-related applications, *JPhys Mater.*, 3, .
- Sari, F.D., Chotimah, Roto, and Kartini, I., 2023, Highly fluorescent nitrogen-doped graphene quantum dots (N-GQDs) synthesized from *Pennisetum purpureum* for selective and sensitive detection of Fe<sup>3+</sup> ions, *Mater. Res. Express*, 10, .
- Sari, F.D., Lukmantoro, A., Hi, R.A., Moh, W., and Ulil, A., 2024, Interaction of 5 - Fluorouracil on the Surface of Graphene Oxide Nanosheets : Stability and Electronic Properties, *J. Electron. Mater.*, .
- Sari, N.K., 2018, Pembuatan bioetanol dari rumput gajah dengan distilasi batch, *J. Tek. Kim. Indones.*, 8, 94.
- Tang, J., Zhang, J., Zhang, W., Xiao, Y., Shi, Y., Kong, F., and Xu, W., 2021, Modulation of red-light emission from carbon quantum dots in acid-based environment and the detection of chromium (III) ions, *J. Mater. Sci. Technol.*, 83, 58–65.
- Wu, Q., Li, W., Wu, P., Li, J., Liu, S., and Zhan, X., 2015, RSC Advances carbon nanodots and their visible-light, 75711–75721.
- Xu, X., Ray, R., Gu, Y., Ploehn, H.J., Gearheart, L., Raker, K., and Scrivens, W.A., 2004, Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments, *J. Am. Chem. Soc.*, 126, 12736–12737.
- Zulfajri, M., Gedda, G., Chang, C.J., Chang, Y.P., and Huang, G.G., 2019, Cranberry Beans

Derived Carbon Dots as a Potential Fluorescence Sensor for Selective Detection of Fe<sup>3+</sup> Ions in Aqueous Solution, *ACS Omega*, 4, 15382–15392.